

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL CAMBIO DE LUMINARIAS EXTERIORES EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UTILIZANDO TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Freddy Steeven Santander Ocles

Director:

MSc. Eliana Carolina Ormeño Mejía

Ibarra - Ecuador

Diciembre 2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que se publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

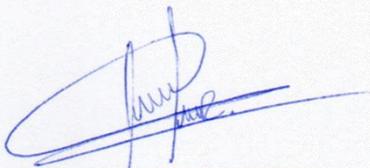
DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD	100397594-1
APELLIDOS Y NOMBRES	Santander Ocles Freddy Steeven
DIRECCIÓN	Jaime Roldós Aguilera 3-31 y Ramón Alarcón
EMAIL	fssantandero@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL	0960057795
DATOS DE LA OBRA	
TITULO	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL CAMBIO DE LUMINARIAS EXTERIORES EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UTILIZANDO TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.
AUTOR	Santander Ocles Freddy Steeven
FECHA	08 - 12 - 2020
PROGRAMA	Pregrado
TITULO POR EL QUE ASPIRA	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR	MSc. Eliana Ormeño

2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte, en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 8 días del mes de diciembre del 2020

EL AUTOR:



.....
Santander Ocles Freddy Steeven
100397594-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Eliana Ormeño en calidad de tutor del señor estudiante, Santander Ocles Freddy Steeven certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL CAMBIO DE LUMINARIAS EXTERIORES EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UTILIZANDO TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA"**.

Para la obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, aprobando la defensa, impresión y empastado.

MSc. Eliana Ormeño

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con mucho amor a mis padres, Willian Santander y Silvana Ocles, quienes con su ejemplo de esfuerzo, sacrificio y dedicación, constituyeron un pilar fundamental para la culminación de esta etapa de preparación profesional en mi vida.

A mi hermana, Joyce Santander decirle que es alguien capaz y que todo lo que se proponga lo va a poder conseguir, agradecerle además por su cariño, apoyo y momentos compartidos que son y serán recordados a lo largo de toda nuestra vida.

Son y serán por siempre lo más valioso que tendré en esta vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y darme la oportunidad de formarme como profesional.

A la facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, especialmente a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico por brindar docentes de excelencia académica quienes día a día comparten y forjan conocimientos.

A la MSc. Eliana Ormeño por su colaboración y tiempo invertido para la culminación de este trabajo de investigación, sabiendo guiarme con sus consejos, asesorías y enseñanzas.

A mis familiares, amigos y compañeros.

TABLA DE CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	i
CONSTANCIA	ii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
A1. Contextualización.....	xiii
A2. Planteamiento del problema.....	xiv
A3. Formulación del problema.....	xv
A4. Justificación	xv
A5. Alcance de la investigación	xv
A6. Viabilidad de la investigación	xvi
A7. Objetivo general.....	xvii
A8. Objetivos específicos	xvii
CAPÍTULO 1.....	1
Tecnología solar fotovoltaica	1
1.1 La energía solar.....	1
1.1.1 Radiación solar	1
1.1.2 Irradiancia solar	2
1.1.3 Irradiación o insolación solar.....	2
1.1.4 Radiación solar directa.....	2
1.1.5 Radiación solar difusa.....	2

1.1.6 Radiación solar reflejada.....	3
1.1.7 Radiación solar global.....	3
1.2 Análisis geográfico de la radiación solar	3
1.3 Iluminación	4
1.3.1 Conceptos de iluminación	4
1.3.2 Tipos de iluminación.	7
1.3.3 Iluminación según su ubicación.	8
1.4 Tipos de lámparas usadas en ambientes exteriores	8
1.4.1 Lámparas de vapor de sodio.....	8
1.4.2 Lámparas fluorescentes.....	9
1.4.3 Lámparas LED.....	9
1.5 Sistemas fotovoltaicos.....	11
1.5.1 Instalaciones conectadas a la red eléctrica.....	11
1.5.2 Instalaciones aisladas de la red eléctrica.....	12
1.6 Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo	13
1.6.1 Paneles solares fotovoltaicos.....	13
1.6.2 Baterías	17
1.6.3 Regulador de carga	20
1.7 Normatividad.	20
1.8 Aplicaciones relacionadas al proyecto.....	20
1.8.1 Terminal de Transporte del Norte – Medellín - Colombia.	21
1.8.2 Hotel “Solec Business” - Chiclayo – Perú.....	21
1.8.3 Escuela de Ingeniería en Ecoturismo – Riobamba – Ecuador.....	21
CAPÍTULO 2.....	23
Rediseño de iluminación del campus universitario.....	23
2.1 Descripción del lugar de estudio.....	24
2.2 Descripción de equipos y softwares utilizados.....	25
2.3 Procedimiento de adquisición de datos de iluminación.....	25
2.4 Iluminación exterior actual.....	27

2.4.1 Iluminancia media actual del campus universitario.....	27
2.4.2 Carga eléctrica actual de luminarias exteriores en el campus universitario .	29
2.5 Iluminación exterior propuesta.....	29
2.5.1 Rediseño de iluminación en el campus universitario	29
2.5.2 Carga eléctrica de luminarias exteriores propuestas en el campus universitario	32
2.6 Tipo de instalación fotovoltaica para el campus de la Universidad Técnica del Norte	32
2.7 Orientación y ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico	34
2.8 Cálculo de componentes del sistema fotovoltaico	35
2.8.1 Módulo solar	35
2.8.2 Acumulador de energía.....	36
2.8.3 Regulador de carga	37
2.9 Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos	37
CAPÍTULO 3.....	39
Análisis de factibilidad del proyecto	39
3.1 Factibilidad técnica.....	39
3.2 Flujo de caja.....	40
3.2.1 Evaluación de costos del proyecto.....	40
3.2.2 Evaluación de ingresos del proyecto.....	43
3.3 Factibilidad económica	45
3.3.1 Indicador VAN.....	45
3.3.2 Indicador TIR	46
3.3.3 Relación beneficio costo	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES.....	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Espectro electromagnético y luz visible.....	2
Fig. 2. Radiación solar global.....	3
Fig. 3. Insolación global anual promedio en Ecuador.....	4
Fig. 4. Iluminancia.....	5
Fig. 5. Flujo luminoso.....	5
Fig. 6. Luminancia en una superficie.....	6
Fig. 7. Intensidad luminosa.....	7
Fig. 8 Lámpara de vapor de sodio de alta presión.....	9
Fig. 9. Lámpara fluorescente.....	9
Fig. 10. Principio de funcionamiento del LED.....	10
Fig. 11. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red.....	12
Fig. 12. Sistema solar fotovoltaico aislado a la red.....	12
Fig. 13. Paneles solares.....	14
Fig. 14. Efecto fotoeléctrico del panel solar.....	14
Fig. 15. Principales tipos y comparación física de paneles solares.....	16
Fig. 16. Acumuladores - Baterías.....	17
Fig. 17. Regulador de carga.....	20
Fig. 18. Diagrama de flujo de metodología empleada.....	23
Fig. 19. Campus "El Olivo" Universidad Técnica del Norte.....	24
Fig. 20. Malla de medición de los 9 puntos.....	26
Fig. 21. Luminarias ornamentales exteriores de la UTN.....	27
Fig. 22. Simulación de iluminación general de la UTN.....	30
Fig. 23. Simulación de iluminación de parqueaderos de la UTN.....	31
Fig. 24. Simulación de iluminación de vías de acceso de la UTN.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo I

TABLA 1. 1 Fórmulas y magnitudes para iluminación	7
TABLA 1. 2 Composición y voltajes de funcionamiento de diodos emisores de luz	11
TABLA 1. 3 Tabla comparativa de paneles solares.....	16
TABLA 1. 4 Tipos y características de acumuladores	18

Capítulo II

TABLA 2. 1 Iluminancia media en parqueaderos y vías de acceso de la UTN	28
TABLA 2. 2 Carga eléctrica actual de luminarias en el campus de la UTN	29
TABLA 2. 3 Carga eléctrica con rediseño de iluminación en la UTN	32
TABLA 2. 4 Carga eléctrica de luminarias con potencia atenuada	34

Capítulo III

TABLA 3. 1 Consumo eléctrico de luminarias ornamentales	39
TABLA 3. 2 Costos de adquisición y transporte marítimo de luminarias solares.....	41
TABLA 3. 3 Costo de postes para luminarias solares	41
TABLA 3. 4 Costos de montaje y desmontaje de luminarias	42
TABLA 3. 5 Monto total de inversión.....	43
TABLA 3. 6 costo de reinversión del proyecto.....	42
TABLA 3. 7 Pliego tarifario según la agencia de regulación y control de electricidad ..	44
TABLA 3. 8 Consumo económico anual de luminarias ornamentales instaladas.....	44
TABLA 3. 9 Flujo de caja, VAN y TIR.....	46

RESUMEN

El presente trabajo de grado muestra un estudio de factibilidad para realizar el cambio de luminarias ornamentales que actualmente están instaladas en el campus de la Universidad Técnica del Norte, por luminarias solares autosustentables. Se ha considerado luminarias con tecnología LED, que son de bajo consumo y garantizan una larga vida útil. Además, la generación de energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos es renovable y amigable con el medio ambiente.

El estudio consideró las vías de acceso y parqueaderos como principales zonas de movilización dentro de la universidad, para luego establecer mediante normativa internacional la cantidad necesaria de iluminación con las cuales estas deben contar.

Se contempla además un diagnóstico de la situación actual de iluminación con el fin de determinar falencias y después realizar un rediseño adecuado de iluminación con el programa de simulación DIALux.

Se identifica la luminaria que cumpla con los niveles básicos de iluminación para estos entornos y se determinan los componentes necesarios tales como, panel solar, batería y regulador de carga, para que puedan funcionar de manera adecuada.

Una vez conocida la luminaria que garantice una correcta iluminación de las áreas establecidas y dimensionados sus respectivos componentes para la instalación solar se evalúa la factibilidad de la implementación de este cambio de luminarias, el cual se llevó a cabo mediante un análisis económico tomando en consideración valores monetarios de inversión y gasto.

El estudio demostró que técnicamente es factible el cambio de luminarias ornamentales por luminarias solares ya que se disminuye el consumo de energía eléctrica en un 100%, esto debido a que las luminarias solares elegidas son aisladas de la red eléctrica; mientras que económicamente no es viable realizar su ejecución, por lo que el monto de inversión inicial considerado no tendrá un retorno adecuado en el flujo de caja considerado para los 15 años de vida útil establecidos en el proyecto.

Palabras clave: factibilidad, iluminación, luminarias LED, energía renovable, sistema fotovoltaico aislado.

ABSTRACT

This degree work shows a feasibility study that will allow Technical University of the North to indicate whether or not it is convenient to make the change of the ornamental lights currently installed on the university campus for self-sustaining solar lights, since this type of luminaires have LED technology that guarantee a long operating life and the generation of electrical energy from the sun is renewable and friendly to the environment.

The study considered the access roads and parking lots as the main mobilization areas in the university, to then establish through international regulations the necessary amount of lighting that they must have.

A diagnosis of the current lighting situation is also considered in order to determine shortcomings and then carry out a suitable lighting redesign with the DIALux simulation program.

The luminaire that meets the basic lighting levels for these environments is identified and the necessary components such as solar panel, battery and charge regulator are determined so that they can function properly.

Once the luminaire that guarantees correct lighting of the established areas is known and its respective components for the solar installation are sized, the feasibility of implementing this change of luminaires is evaluated, which was carried out through an economic analysis taking into account values investment and spending of money.

The study showed that it is technically feasible to change ornamental luminaires by solar lights, being that electricity consumption is reduced to 100%, this is due to the fact that the chosen solar lights are isolated from the electricity grid, while it is not economically viable to carry out its execution, since the initial investment amount considered will not have an adequate return on the cash flow considered for the 15-year useful life established in the project.

Keywords: feasibility, lighting, LED luminaires, renewable energy, isolated photovoltaic system.

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización

Durante los últimos 250 años, las fuentes de energía explotadas en el mundo han sido fundamentalmente no renovables. A partir del siglo XVIII y como parte de la revolución industrial el uso del carbón comenzó a ser intensivo en los procesos industriales, dando paso posteriormente al uso del petróleo. Lamentablemente, la utilización de este tipo de combustibles conlleva procesos contaminantes que en las últimas décadas han colaborado a empeorar el panorama medioambiental a nivel mundial. De esta forma, en el contexto ambiental, surgen las energías renovables como respuesta a la demanda social para reducir emisiones de CO₂ y otros contaminantes de acción directa (Cortés González, 2008).

Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables siendo respetuosas con el medio ambiente y aunque también ocasionen efectos negativos sobre el entorno estas son mucho menores que los impactos ambientales generados por las energías convencionales que usan combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón) (Méndez & Cuervo, 2011).

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP) en su objetivo 7 sobre la “Energía asequible y no contaminante”. Menciona que desde el 2010 hasta el 2016 y gracias a los esfuerzos por promover la energía limpia, más de un 18 por ciento de la energía mundial es generada por fuentes renovables. Sin embargo, una de cada diez personas aún no tiene acceso a la electricidad. Debido que la demanda sigue en aumento, es preciso un incremento considerable en la producción de energía renovable en todo el mundo. Para garantizar el acceso universal a la electricidad, además, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y térmica (Organización de las Naciones Unidas, 2019, p. 37).

La energía solar puede ser aprovechada debido a su característica de ser ilimitada; es una excelente fuente de energía. Desde tiempo atrás la energía solar ha sido utilizada de formas simples como secar ropa, calentar agua o secar cosechas, pero en la actualidad se ha visto que es posible producir electricidad a través de sistemas solares fotovoltaicos, de ahí el interés de aplicarla en diferentes espacios para satisfacerlos de electricidad parcial o total (Chargoy & Reyes, 2014, p. 6).

Para los diferentes tipos de luminarias se adquiere una eficacia variable en cada una de ellas, por ejemplo, en las luminarias incandescentes; se encuentra una eficacia

lumínica del 15% y una duración aproximada de un año, en las luminarias fluorescentes hay una eficacia del 60% y una vida útil aproximada de dos años, mientras que en las luminarias del tipo LED (Diodos Emisores de Luz) se obtiene una eficacia de más del 90% y tienen una larga duración de funcionamiento (LedTecnología, 2016).

Por lo tanto, en las luminarias de tipo fluorescente e incandescente; la energía consumida no es aprovechada por completo incrementando el consumo de corriente eléctrica sin mayor beneficio, con pérdidas de energía en forma de calor y así incrementando el pago del servicio de la electricidad.

En la actualidad, la tecnología LED se puede acondicionar o incorporarse en un porcentaje mayor al 90% a todos los sistemas de iluminación actuales; ya que tienen mayor destello de luz y es menor el consumo de energía eléctrica (Chargoy & Reyes, 2014, p. 6).

A2. Planteamiento del problema

Es necesario entender que la tecnología va evolucionando cada vez más tanto en el sector electrónico como en el sector eléctrico, por lo que las formas conocidas de generación de energía y de iluminación se van tornando cada vez más obsoletas y contaminantes para el medio ambiente.

En la actualidad la iluminación exterior moderna es un elemento decorativo importante y que además proporciona orientación, seguridad y protección (ELDÍA, 2016, párr 2).

Las lámparas de iluminación anteriores a las luminarias tipo LED contienen un bajo rendimiento de funcionamiento y un alto nivel de pérdidas disipadas en forma de calor, esto ocasiona desperdicios innecesarios de energía eléctrica.

La Universidad Técnica del Norte consta con un total de 200 luminarias instaladas aproximadamente, inicialmente estas luminarias en la que la parte secundaria del poste contienen dos luminarias fluorescentes de 32 W y su parte principal tiene una de 250 W de potencia respectivamente, actualmente en el campus universitario estas han sido cambiadas por iluminación tipo LED, conteniendo la parte secundaria del poste dos lámparas de 18 W y en la parte principal un foco de 40 W, por lo que su eficiencia total aún sigue siendo baja. Además, la forma en la que estas luminarias están siendo alimentadas aún provienen de fuentes un tanto contaminantes para el medioambiente.

A3. Formulación del problema

¿Cómo ayudar a la “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE” a amenorar costos de consumo de energía eléctrica y contribuir a la producción de energías limpias para el medio ambiente?

A4. Justificación

En el Ecuador existen proyectos que se han enfocado en el uso de la energía solar como una alternativa a dos problemáticas: la contaminación ambiental y la escasez de petróleo a largo plazo (ECUATRAN, 2018, párr 2).

La idea de desarrollar este tipo de proyecto se debe a que se pretende analizar el grado de eficiencia de las luminarias y aprovechar el máximo rendimiento de la lámpara LED para hacer que el sistema de iluminación fotovoltaico tenga una alta eficiencia.

La finalidad de hacer el presente estudio Técnico-Económico es para aportar suficiente información a la universidad, de la factibilidad que le otorga el cambio total de las luminarias exteriores por iluminación tipo LED y que son alimentadas mediante paneles solares fotovoltaicos, además del beneficio que produce tanto al medio ambiente como a la disminución de carga energética consumida anualmente por sus postes ornamentales en las instalaciones dentro del campus.

A5. Alcance de la investigación

El proyecto por desarrollar se enfoca al estudio de factibilidad para el cambio de luminarias ornamentales actualmente instaladas por luminarias solares tipo LED en la “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”, este se encuentra orientado a las energías renovables, para la disminución de carga energética consumida por las instalaciones actuales y contribuir a la disminución de contaminación ambiental normalmente generada mediante combustibles fósiles en el Ecuador.

En la actualidad, el uso de iluminación en establecimientos públicos es de gran importancia; ARETHA (2017) señala que: “Los espacios exteriores como parques, monumentos, fachadas, etc. Son percibidos en función de cómo están iluminados, es un factor condicionante”.

El nivel de iluminación requerido depende de la actividad a realizar. Por lo general, los niveles se fijan mediante normas (Airfal, 2014).

Por medio de normativas nacionales e internacionales de alumbrado público e iluminación exterior, determinar si las instalaciones actuales cumplen con la cantidad de iluminación necesaria que el campus de la “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE” debería tener.

Al concluir este proyecto, si las condiciones de iluminación no cumplen con la cantidad de iluminación que deben brindar, se realizará un diseño apropiado en AutoCAD de la distribución necesaria que debería tener las luminarias en el campus universitario, se realizará la exportación de planos al programa DIALux para realizar una simulación apropiada de las condiciones de iluminación.

A6. Viabilidad de la investigación

La mayoría de los paneles solares tienen una vida útil de 40 años, su degradación es en promedio de 1% anual, por estándar todos los fabricantes ofrecen 25 años de garantía, durante todo ese periodo las celdas solares cambiarán su coloración de azul a café y producirán un 25% menos de su energía inicial (Energy, 2010).

Una de las principales ventajas de las lámparas LED es su vida útil (alrededor de 50.000 horas), sensiblemente superior a la que poseen otras luminarias, ya sean halógenas, de vapor de sodio o fluorescentes (Soluciones, 2019).

En la “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE” las luminarias exteriores de los postes ornamentales están encendidas alrededor de 11 horas al día, entonces esto hace que la vida útil de la luminaria LED tenga un aproximado de 13.52 años.

Hay que tener en cuenta además que las baterías y los inversores suelen tener que ser reemplazados cada 5 a 10 años (Pannellisolarifv, 2019).

A7. Objetivo general

Realizar un estudio de factibilidad Técnico-Económico para el cambio de luminarias exteriores en el campus de la “Universidad Técnica del Norte” utilizando tecnología solar fotovoltaica.

A8. Objetivos específicos

1. Realizar la recopilación bibliográfica de las tecnologías de paneles solares fotovoltaicos y luminarias tipo LED.
2. Determinar los parámetros de funcionamiento del sistema de alumbrado fotovoltaico con luminarias tipo LED.
3. Realizar el estudio de factibilidad técnico-económico para el cambio de luminarias exteriores en el campus de la “Universidad Técnica del Norte” utilizando tecnología solar fotovoltaica.

CAPÍTULO 1

Tecnología solar fotovoltaica

En el presente capítulo, con la finalidad de comprender los conceptos básicos de iluminación e instalaciones solares fotovoltaicas, es decir, su estructura, funcionamiento y componentes, se realizó la recopilación bibliográfica necesaria para este estudio de investigación.

1.1 La energía solar

El Sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso (principalmente hidrógeno). En su interior existen elevadas presiones, presentándose temperaturas de varios millones de grados que producen de forma espontánea e ininterrumpida un proceso de fusión nuclear, transformando el hidrogeno en helio, siendo éste el origen de la energía solar (Energía Solar, 2019, p. 2).

Desde la antigüedad, el sol ha sido utilizado como fuente de energía en diversas civilizaciones. Aun así, el uso activo de la energía solar es un logro de los tiempos modernos (Ammonit, 2019).

1.1.1 Radiación solar

La radiación solar es la transferencia de energía que se irradia desde el sol hacia todas las direcciones a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas (Babatunde, 2012).

La radiación se genera a partir de las reacciones termonucleares de fusión que se originan en el núcleo solar y que producen la radiación electromagnética (Energía Solar, 2017a).

Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad (AEMet, 2019).

El ser humano es capaz de percibir solo una cierta parte del espectro electromagnético total, a este intervalo de radiación se la llama "luz visible" y su rango de onda va desde 400 hasta 700 nm además su frecuencia va desde 750 a 430 THz (Young & Freedman, 2009, p. 1143).

En la Figura 1, se puede observar las diferentes longitudes de onda que se puede encontrar y el rango en las que el ser humano es capaz de percibir.

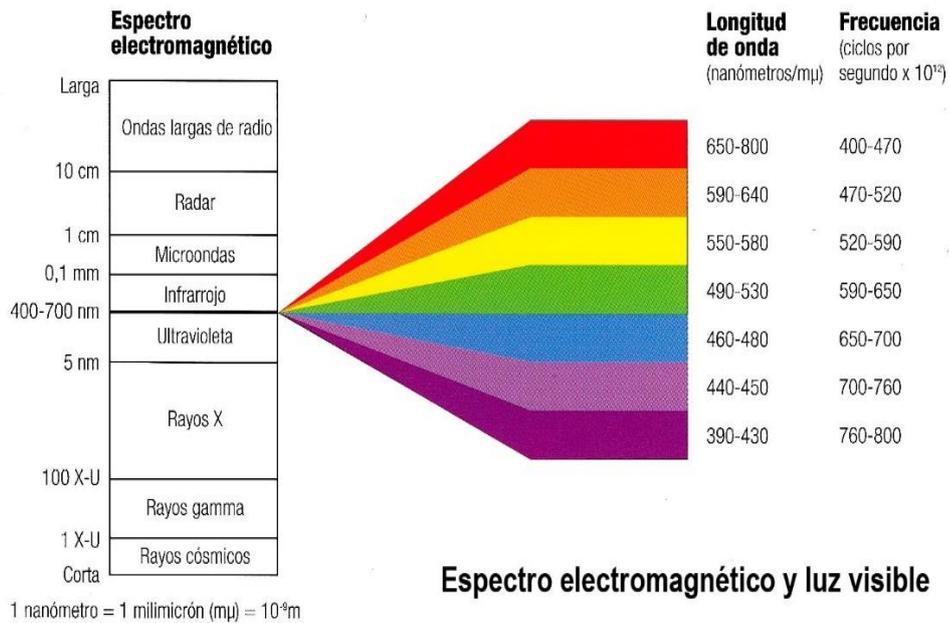


Fig. 1. Espectro electromagnético y luz visible
Fuente: (Edbar, 2019)

Por lo tanto, la energía que llega a la tierra emanada por el sol por medio de radiación es rentable para la utilización de producción de energías renovables y no contaminantes, ya que es inagotable y constante en el entorno en el que conviven los seres humanos.

1.1.2 Irradiancia solar

“Es la potencia instantánea recibida en W/m². La irradiancia que se recibe sobre una superficie perpendicular a los rayos de Sol en el exterior de la atmósfera puede considerarse como constante e igual a 1.367 W/m² “ (Nuñez, 2013, p. 27).

1.1.3 Irradiación o insolación solar

Según Gonzalbes, (2015) “Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m² o, en caso de un día, en Wh/m²/día.” (p. 60).

1.1.4 Radiación solar directa

Es aquel tipo de radiación que se obtiene directamente del sol sin haber presentado ningún tipo de cambio o alteración en el transcurso de su trayectoria (Montalvo Ureta, 2016, p. 31).

1.1.5 Radiación solar difusa

Es aquel tipo de radiación que ha golpeado al menos una partícula de gases atmosféricos y cambia de ángulo de incidencia, pero que sin embargo llega a alcanzar la superficie terrestre (Energá Solar, 2015).

1.1.6 Radiación solar reflejada

Es aquella radiación que refleja la superficie terrestre, esta cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada ya que no ven ninguna superficie terrestre, sin embargo, las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben (Construmática, 2019).

1.1.7 Radiación solar global

La radiación solar global es la radiación total que llega a la superficie terrestre, es decir, es la suma de las tres radiaciones anteriormente nombradas (Construmática, 2019). En la Figura 2, se aprecia un ejemplo de las tres radiaciones nombradas.

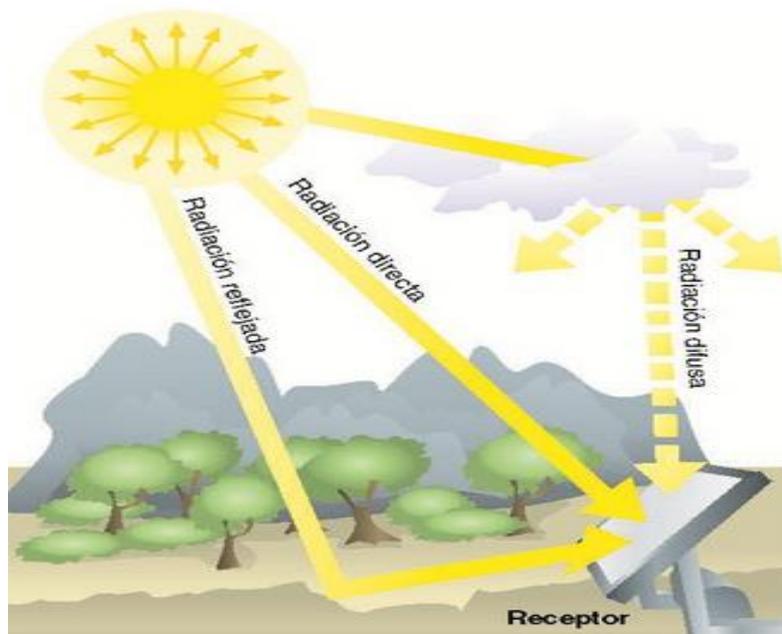


Fig. 2. Radiación solar global
Fuente: (Guzmán Hernández et al., 2019)

1.2 Análisis geográfico de la radiación solar

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere. Esto es debido a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año, esta situación en otros sitios del planeta no ocurre porque el ángulo de incidencia de la luz solar varía acorde a las estaciones del año (Corporación para la investigación energética, 2019).

En el Ecuador esta ventaja posicional quiere decir que la recepción de cantidad solar es mayor y más constante, misma que varía dentro del territorio nacional únicamente por condiciones climatológicas locales y que se alteran de acuerdo con la cercanía o lejanía del Sol (Corporación para la investigación energética, 2019).

El Consejo Nacional de Electricidad – CONELEC desarrolló en el Ecuador el Atlas Solar mediante imágenes satelitales, esto con el fin de representar la radiación solar global promedio, y determinar el nivel de insolación global en el país. Este valor es de alrededor 4,57 kWh/m²/día. En la Figura 3, se observa dicho mapa solar existente en el país.

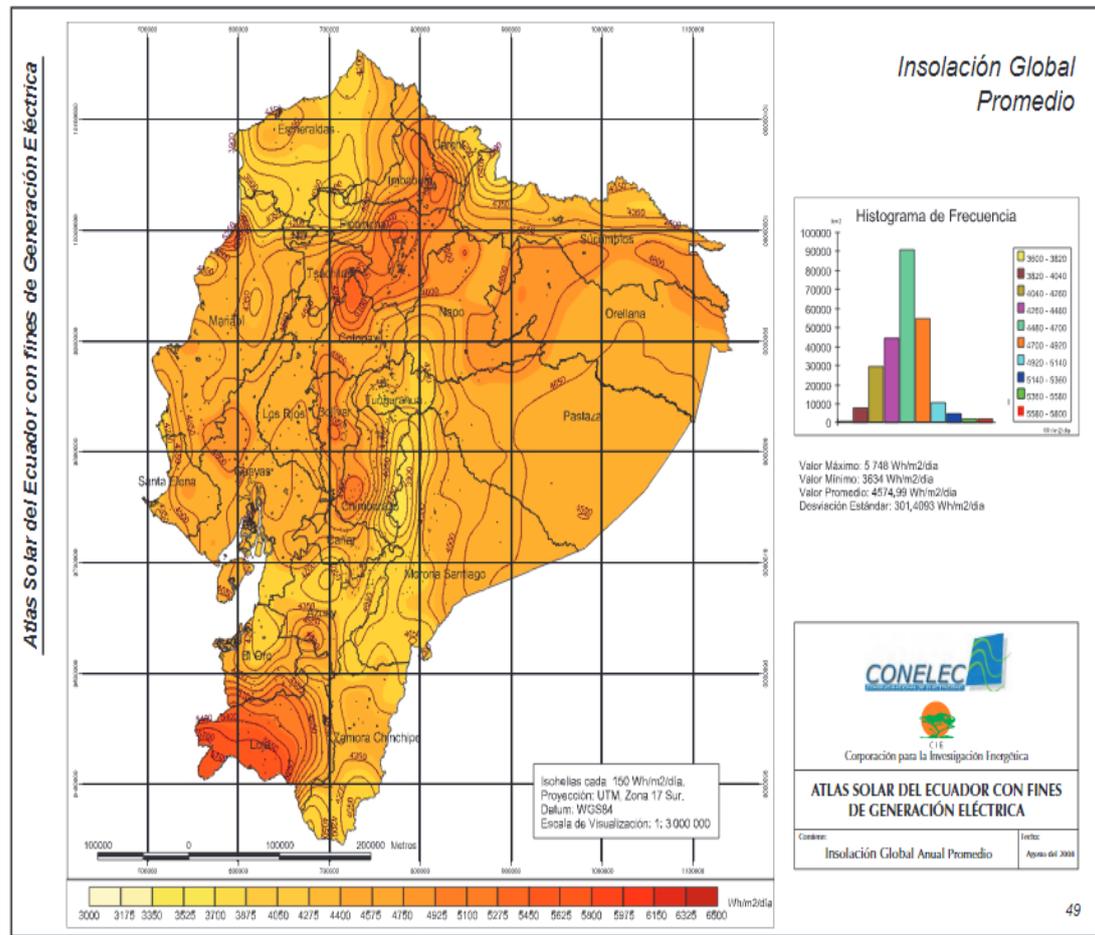


Fig. 3. Insolación global anual promedio en Ecuador
 Fuente: (Consejo Nacional de Electricidad, 2008)

1.3 Iluminación

La iluminación refiere a la acción y efecto de iluminar. También, por medio de esta palabra se alude a aquellas luces dispuestas en un determinado lugar con el objetivo de alumbrar o dar luz a algo (EcuRed, 2019).

1.3.1 Conceptos de iluminación

A continuación, se describirá los conceptos principalmente utilizados en el área de la iluminación de ambientes.

Iluminancia

La iluminancia según Sánchez & Laboratorios, (2019a) es: La cantidad de flujo luminoso recibido en una superficie, dividido por el área de dicha superficie; su unidad de medida es el lux. En la Figura 4, ejemplifica el concepto de iluminancia.

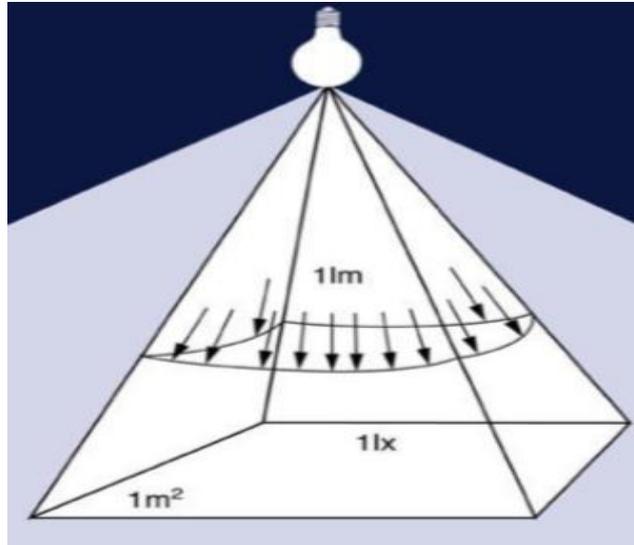


Fig. 4. Iluminancia
Fuente: (Sánchez & Laboratorios, 2019a)

Flujo luminoso

El flujo luminoso nos proporciona una medida cuantitativa y global de la cantidad luz que la fuente luminosa emite en todo el espacio que le rodea, su unidad de medida es el lumen (Sánchez & Laboratorios, 2019b).

En la Figura 5 se muestra el concepto gráficamente del flujo luminoso.



Fig. 5. Flujo luminoso
Fuente: (LIGHT PRO, 2017)

Luminancia

Cantidad de intensidad luminosa que emite una fuente primaria o secundaria en una determinada dirección de observación, dividida por el área de dicha superficie extensa su unidad de medida es la candela por metro cuadrado (Sánchez & Laboratorios, 2019c).

En la Figura 6, se observa gráficamente el concepto de luminancia sobre una superficie.

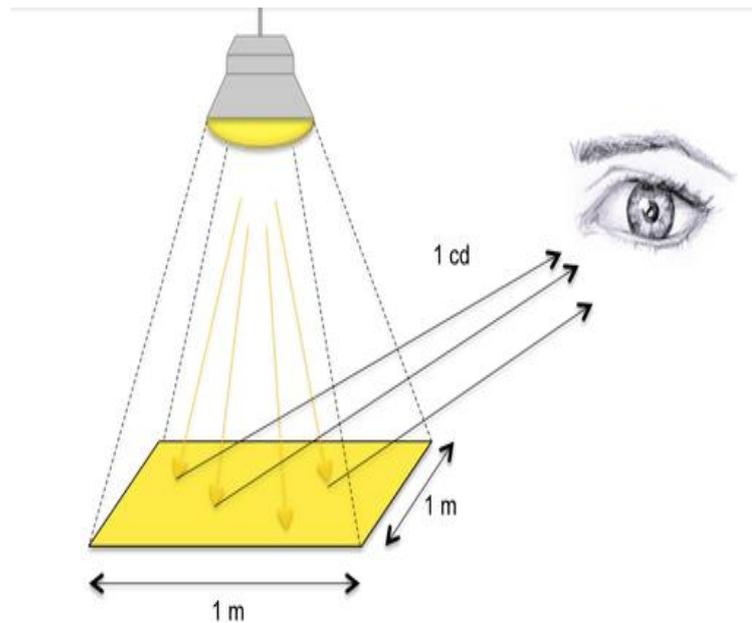


Fig. 6. Luminancia en una superficie
Fuente: (Blogspot, 2016)

Eficacia luminosa

Según TRILUX (2015), “Se entiende como la relación entre la cantidad de luz emitida y la potencia conectada de una lámpara de libre radiación en condiciones de ambiente.”

Deslumbramiento

Es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo visual, como superficies iluminadas, partes de las luminarias, ventanas y/o luces de techo (Isr, 2017a).

Intensidad luminosa

Es la cantidad de flujo luminoso que lleva cada uno de los rayos que la fuente emite en una determinada dirección por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida es la candela (Giménez et al., 2019).

En la Figura 7, se visualiza el concepto de intensidad luminosa en un objeto.



Fig. 7. Intensidad luminosa
Fuente: (Isr, 2017b)

Teniendo en cuenta las definiciones anteriormente nombradas sobre conceptos de iluminación en la Tabla 1.1, se realiza un resumen de unidades y fórmulas establecidas para un entendimiento más simple.

TABLA 1. 1
FÓRMULAS Y MAGNITUDES PARA ILUMINACIÓN

Magnitud	Símbolo	Unidad	Formula
Flujo luminoso	Φ	Lumen	Φ
Eficacia luminosa	ρ	Lúmenes por vatio	$\rho = \Phi/P$
Iluminancia	E	Lux	$E = \Phi/S$
Intensidad luminosa	I	Candela(cd)	$I = \Phi/\omega$
Luminancia	L	Candela por metro cuadrado (cd/m ²)	$L = I/S$

Fuente: (Sánchez & Laboratorios, 2019d)

1.3.2 Tipos de iluminación.

La mejor forma de iluminar un entorno es mediante la luz del sol. Pero una vez cumplido su ciclo de iluminación es muy importante complementar esta luz, es decir, que siga los mismos patrones de iluminación. Por lo cual en el ambiente encontramos dos tipos de iluminación.

- a) La iluminación artificial
- b) La iluminación natural

Artificial.

Este tipo de iluminación se refiere a la luz que proviene de objetos como el flash, lámparas o spots. En este caso, la dirección, el color, intensidad y calidad pueden ser manipuladas por el iluminador. Requiere conocimientos técnicos y resulta mucho más costosa que la luz natural (EcuRed, 2019).

Natural.

Esta iluminación se obtiene a partir de la luz que proviene del sol, por lo que varía constantemente a causa de la rotación terrestre. En la luz natural la calidad, dirección, intensidad y color no puede ser controlada por el hombre y se ve determinada por las condiciones naturales (EcuRed, 2019).

1.3.3 Iluminación según su ubicación.

Es el tipo de ambiente en el que luminaria va a ser instalada. Por lo tanto, esta colocación de luminarias puede ser en ambientes interiores o ambientes exteriores.

Iluminación Interior.

La iluminación interior es aquella que se localiza en los espacios interiores de un edificio, destinada a iluminar uniformemente las diferentes áreas dentro del mismo (Segob, 2014).

Iluminación Exterior.

Es un sistema de iluminación que tiene como finalidad principal proporcionar condiciones mínimas de iluminación para el tránsito seguro de peatones y vehículos en vialidades y espacios exteriores (Segob, 2014).

1.4 Tipos de lámparas usadas en ambientes exteriores

La utilización de luminarias para dotar de iluminación a ambientes exteriores es muy importante, ya que de esta manera se puede resaltar lugares que se quiera destacar en la oscuridad. Por lo cual entre las lámparas más utilizadas para iluminar ambientes exteriores tenemos:

- a) Lámparas de vapor de sodio
- b) Lámparas fluorescentes
- c) Lámparas LED

1.4.1 Lámpara de vapor de sodio

En este apartado se hablará sobre la lámpara de descarga, en cuyo tubo se introduce vapor de sodio. Se describe por lo tanto la lámpara de vapor de sodio de alta presión.

Lámparas de sodio de alta presión

Con este tipo de lámpara se consigue generar mayor confort que con las lámparas de vapor de sodio de baja presión ya que consigue un excelente equilibrio entre la calidad en la reproducción del color y la eficacia luminosa. El uso de las lámparas de sodio de alta presión (Figura 9) se recomienda en exteriores como en interiores, así como también para decoración de ambientes (Gudel & Gonzáles, 2012).

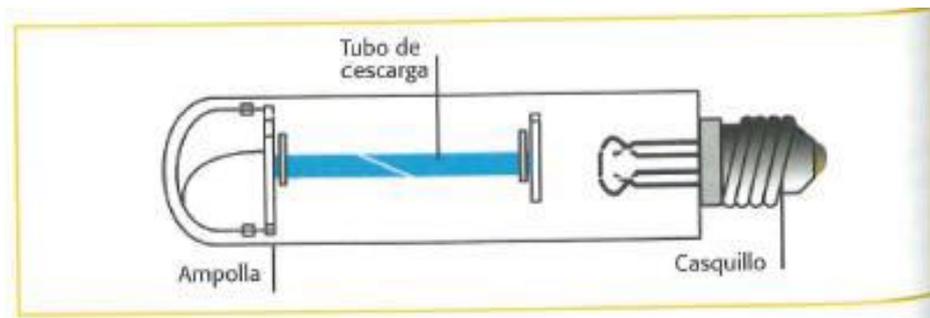


Fig. 8 Lámpara de vapor de sodio de alta presión
Fuente: (Gudel & Gonzáles, 2012)

1.4.2 Lámparas fluorescentes

Este tipo de lámpara está formada por un tubo de diámetro normalizado, este tubo normalmente es cilíndrico. Las lámparas fluorescentes (Figura 10) están cerradas en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. Este tubo de descarga está relleno de vapor de mercurio a baja presión con una pequeña cantidad de gas inerte, esto para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones. (Bejarano, 2011).

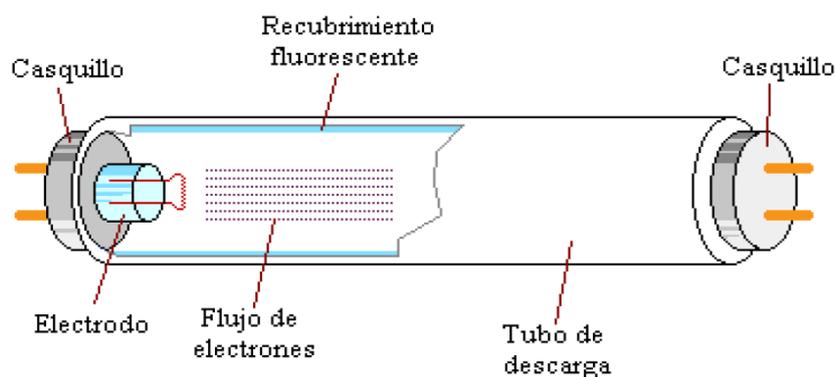


Fig. 9. Lámpara fluorescente
Fuente: (Montiel, 2011)

1.4.3 Lámparas LED

Según Ortiz (2014) sus orígenes se remontan al año 1927. En esa fecha, Oleg Vladimírovich Lósev publica en una revista rusa de tecnología el nacimiento del LED a

partir de óxido de zinc y carburo de silicio. Años más tarde, alrededor de 1962, el profesor Nick Holonyak desarrolla el dispositivo electrónico que actualmente conocemos como LED moderno. (p. 3)

El diodo emisor de luz es un tipo de diodo que puede emitir luz visible o invisible (infrarroja), transformando la energía eléctrica en energía luminosa cuando este es energizado. De esta manera en la Figura 11, se observa el principio de funcionamiento de un diodo emisor de luz (LED).

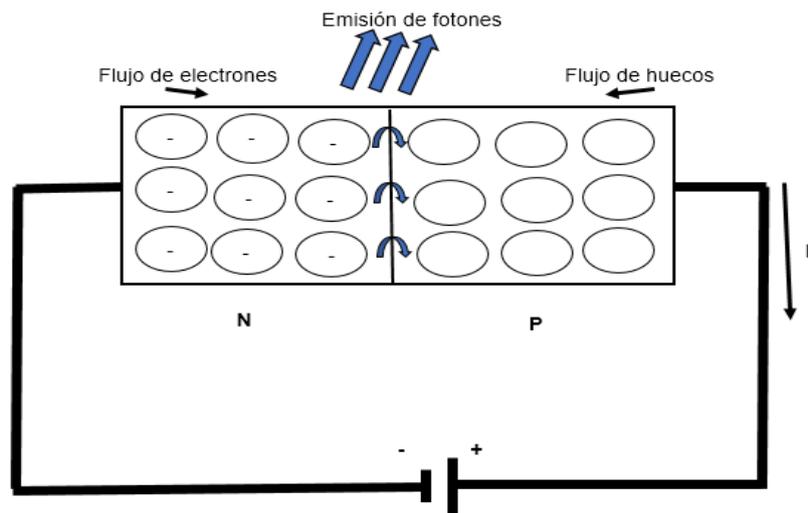


Fig. 10. Principio de funcionamiento del LED
Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de (Electricidad, 2015).

Los LED que emiten color incluyen una capa de material de semiconductor abundante con portadores positivos y otro con portadores negativos. Los portadores positivos (llamados agujeros) son partículas que carecen de electrones debido a su composición química. Por lo tanto, la capa de material positivo es una capa escamosa. Por el contrario, los portadores negativos son electrones libres que pertenecen a una capa n de material negativo porque su compuesto químico crea electrones en exceso (Khanh et al., 2015).

El principal material para la construcción de LEDs que emitan luz invisible (Infrarroja) es el Arseniuro de Galio (GaAs), mientras que para la construcción de LEDs que puedan emitir luz visible se especifica en la Tabla 1.2, con sus respectivos voltajes de funcionamiento (Boylestad & Nashelsky, 2009, p. 42).

TABLA 1. 2

COMPOSICIÓN Y VOLTAJES DE FUNCIONAMIENTO DE DIODOS EMISORES DE LUZ

COLOR	CONSTRUCCIÓN	VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO
Ámbar	AllnGaP	2.1 V
Azul	GaN	5.0 V
Verde	GaP	2.2 V
Naranja	GaAsP	2.0 V
Rojo	GaAsP	1.8 V
Blanco	GaN	4.1 V
Amarillo	AllnGaP	2.1 V

Fuente: (Boylestad & Nashelsky, 2009)

1.5 Sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos están indicados para un amplio abanico de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, bien sea para satisfacer las necesidades energéticas de quienes no disponen de la red eléctrica o para generar energía a la red eléctrica (Abella, 2019, p. 3).

De esta manera entonces se puede clasificar a los sistemas fotovoltaicos como:

- a) Sistemas fotovoltaicos conectadas a la red eléctrica
- b) Sistemas fotovoltaicos aisladas de la red eléctrica

1.5.1 Instalaciones conectadas a la red eléctrica

Los sistemas conectados a la red pueden o no contar con sistemas de acumulación ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica.

En ciertas ocasiones estos acumuladores pueden ser de bastante ayuda ya que compensarán parámetros eléctricos que puedan perjudicar el rendimiento de los equipos instalados.

En la Figura 12, se observa los equipos necesarios utilizados y la estructura de conexión de instalaciones conectadas a la red eléctrica.

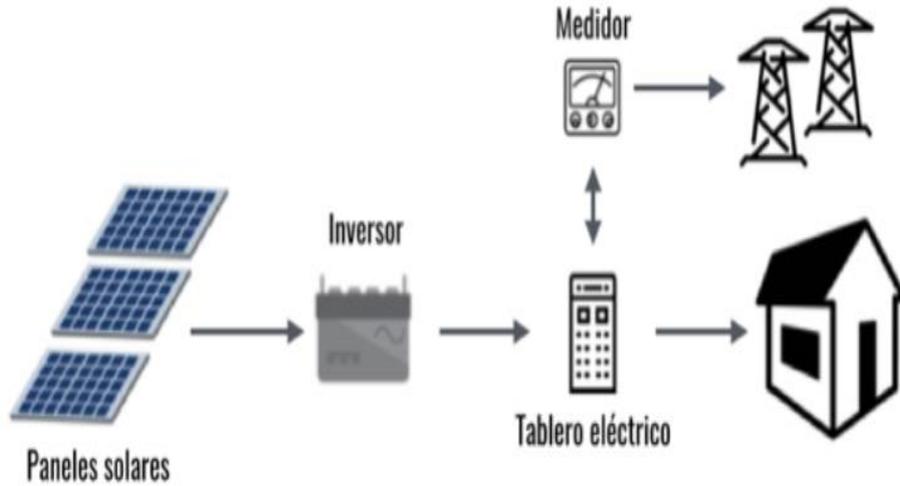


Fig. 11. Sistema solar fotovoltaico conectado a la red
Fuente: (SunSupply, 2017)

1.5.2 Instalaciones aisladas de la red eléctrica

Este tipo de instalaciones se utiliza en aquellos casos en los que tener acceso a la red eléctrica es bastante difícil, por lo que resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico en lugar de tender una nueva línea entre el punto de suministro y el de consumo (Energía Solar, 2017b).

En la Figura 13, se muestra el esquema de conexión que tienen los sistemas aislados de la red eléctrica o también llamados autónomos, el ejemplo presentado resulta útil para alimentar una carga de corriente directa (DC). Por el contrario, si se desea alimentar una carga de corriente alterna (AC) se debe incluir un inversor en la instalación.



Sistema solar fotovoltaico con baterías para cargas DC.

Fig. 12. Sistema solar fotovoltaico aislado a la red
Fuente: (SunSupply, 2017)

Para este caso de estudio se desarrollará con este tipo de configuración, es decir, luminarias autónomas para cargas de corriente directa. Con lo cual cada luminaria debe tener sus componentes fotovoltaicos necesarios para un desempeño adecuado. Esto se detallará más profundamente en el siguiente capítulo.

Valor de HSP para el “mes peor”

Para poder diseñar un sistema solar fotovoltaico autónomo, se debe conocer con cuanta energía solar se cuenta en el lugar donde se va a instalar, el denominado “mes peor” es el valor más bajo de irradiación que puede tener el área en un determinado mes. Este promedio se mide en Horas Solar Pico o HSP.

Una hora perfecta de sol representa una hora de sol luminoso, sin nubes. Por lo tanto, si una región tiene un HSP de 3, significa que se puede contar con un promedio de 3 horas de sol radiante sin nubes por día.

Según Cruceira, (2019) la UTN en el mes de mayo obtiene el valor más bajo de irradiación este valor es de 1,99 kWh/m², con lo cual se tomará como referencia estos datos, Por lo tanto, para obtener el HSP correspondiente se utiliza la Ecuación 1.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación promedio}}{1000^{\text{W}}/\text{m}^2} \quad (1)$$

Es decir, las horas solar pico (HSP) en la UTN es de 1,99 horas.

1.6 Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo

Dentro de los componentes que conforman un sistema fotovoltaico autónomo para cargas de corriente directa tenemos los siguientes:

- a) Paneles solares fotovoltaicos
- b) Baterías
- c) Reguladores de carga

1.6.1 Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos, son un tipo de panel solar diseñado para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica (Figura 14). La función principal de estos módulos es la de proporcionar energía a la instalación a partir de la irradiación solar, aprovechando el efecto fotoeléctrico (Pareja Aparicio, 2010).



Fig. 13. Paneles solares
Fuente: (Monsolar, 2019)

Un panel fotovoltaico está constituido por la unión de varias células solares conectadas eléctricamente entre sí, generalmente los paneles de 12 V están compuestos por 36 células y los paneles de 24 V están compuestas de 72 células. La mayor parte de los paneles fotovoltaicos se construyen asociando primero células en serie hasta alcanzar el voltaje deseado para su utilización, y luego asociándolos en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseado (Nuñez, 2013b, p. 46).

El principio del efecto fotoeléctrico consiste en la excitación de material semiconductor (silicio) por la acción directa de la radiación solar (fotones), esta provoca el movimiento de los electrones y, en definitiva, una corriente eléctrica cuando el circuito está cerrado (Roldán Viloría, 2010, p. 107).

En la Figura 15, se observa el principio de funcionamiento del efecto fotoeléctrico.

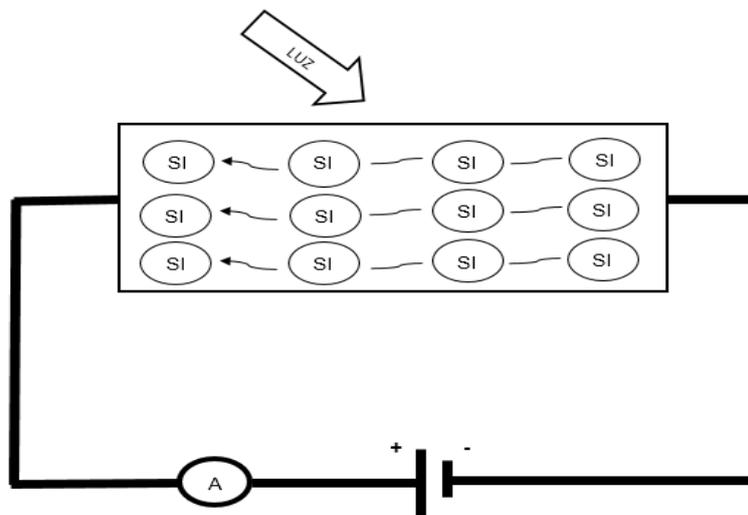


Fig. 14. Efecto fotoeléctrico del panel solar
Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de (Fernández, 2015)

Los paneles solares son también comúnmente diferenciados por su método de fabricación. Entre los paneles solares más comúnmente utilizados para instalaciones fotovoltaicas tenemos:

- a) Paneles solares monocristalinos
- b) Paneles solares policristalinos
- c) Paneles solares amorfos

Paneles solares monocristalinos

Se obtienen del silicio puro fundido y dopado con boro, son las placas más utilizadas ya que proporcionan el rendimiento más elevado, en alrededor de 20% en la fabricación en serie y un 24% en modelos de laboratorio (Tobajas Vásquez, 2015a).

Las células monocristalinas son bastante utilizadas en instalaciones donde no hay mucha exposición a la luz solar ya que en este tipo de condiciones es donde se obtiene su mayor rendimiento (EcoInventos, 2019, párr 3).

Paneles solares policristalinos

Se obtienen del silicio, pero en menor cantidad a los paneles monocristalinos, su proceso de fabricación es menos complicado, por lo cual su precio de venta es menor. Tienen un rendimiento excepcional del 12% al 14% con baja luminosidad y cuentan con una alta sensibilidad a la luz en todo el espectro solar (Bornay, 2019).

Paneles solares Amorfos

Los paneles solares amorfos o de capa fina son fabricados de silicio, pero de menor calidad. Además SUNFIELDS (2019) señala que: “La fabricación de este tipo de células no consiste en la unión de células individuales como en los paneles solares monocristalinos, sino en una lámina cortada a medida en la que se observan unas tiras delgadas que separan las células, creadas y conectadas entre sí durante la elaboración del propio módulo”, también poseen un rendimiento inferior del 10% pero la ventaja de este tipo de paneles solares es su maleabilidad ya que pueden ser instalados en tejados o superficies de edificios por su alta adaptabilidad (Tobajas Vásquez, 2015a).

En la Figura 16, se puede apreciar los tres tipos de paneles solares más conocidos para las instalaciones solares fotovoltaicas.



Fig. 15. Principales tipos y comparación física de paneles solares
Fuente: (Ecofener, 2019)

Por lo tanto, en la Tabla 1.3 se exponen las principales comparativas entre los tres paneles solares anteriormente nombrados.

TABLA 1. 3
TABLA COMPARATIVA DE PANELES SOLARES

	Monocrystalino	Policristalino	Amorfos
Fabricación	Silicio puro fundido y dopado con boro	Silicio disminuyendo el número de fases de cristalización.	Silicio en menor cantidad además se depositan como láminas en otros tipos de sustratos
Precio	Elevado	Medio	Bajo
Rendimiento en laboratorio	24%	20%	16%
Rendimiento directo	20%	14%	10%
Color característico	Negro	Azulado	Marrón
Tipo de ambiente	Clima frío	Clima cálido	Todo tipo de ambiente

Fuente: (Tobajas Vásquez, 2015a)

1.6.2 Baterías

La función principal de los acumuladores en los sistemas de generación fotovoltaico es la de acumular la cantidad suficiente energía eléctrica durante las horas de irradiación para así poder utilizarla en la noche o durante periodos prolongadas de mal tiempo, en la Figura 17, se cuenta con un ejemplo clásico de acumuladores o baterías para sistemas fotovoltaicos.

Según Linden & Reddy, (1995) "Una batería consta de una o más celdas, conectadas en serie o en paralelo, o ambos, dependiendo del voltaje de salida y la capacidad deseada".(p.13)

Componentes principales en una batería

La celda consta de tres componentes principales:

1. El ánodo o electrodo negativo (el electrodo reductor o de combustible): cede electrones al circuito externo y se oxida durante la reacción electroquímica.
2. El cátodo o electrodo positivo: es el electrodo oxidante, acepta electrones del circuito externo y se reduce durante la reacción electroquímica.
3. El electrolito: es típicamente un líquido, como agua u otros solventes, con sales disueltas, ácidos o álcalis para impartir conductividad iónica. Algunas baterías usan electrolitos sólidos, que son conductores iónicos en la temperatura de funcionamiento de la celda.



Fig. 16. Acumuladores - Baterías
Fuente: (Amvar, 2019)

Tipos de baterías

Según Tobajas Vásquez, (2015b) hay diferentes tipos de baterías, las cuales estas varían en su composición. En la Tabla 1.4 se describe las características principales y

el material utilizado para la fabricación de cada una de estas variaciones de acumuladores.

TABLA 1. 4
TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE ACUMULADORES

Tipo de batería	Características principales
Batería de Plomo-Acido	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste • Su electrolito es líquido de ácido sulfúrico. • Formada por dos electrodos de plomo.
Batería de Plomo-Antimonio (Pb-Sb)	<ul style="list-style-type: none"> • Su composición es de placas tubulares • Generalmente utilizada en instalaciones medianas o grandes. • Su vida útil depende de la profundidad de descarga. • Admite descargas de hasta el 80%. (no recomendable) • Mantiene una vida útil de 10 o 15 años si mantiene la profundidad de descarga del 30%.
Batería de Plomo-Calcio (Pb-Ca)	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada para instalaciones pequeñas. • No requieren mantenimiento. • No resiste descargas mayores al 40%. • Fácil de transportar. • Precio razonable.
Batería de ciclo profundo gelatinosa	<ul style="list-style-type: none"> • El electrolito no es líquido sino gelatinoso. • Costo tres veces superior al de electrolito líquido. • No requieren ventilación exterior durante el proceso de carga. • Ideal para instalaciones marinas.

	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo en el manejo mínimo. • No necesitan mantenimiento.
Batería de Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	<ul style="list-style-type: none"> • Soportan descargas más elevadas que las otras baterías. • Su vida útil es larga. • Resisten temperaturas bajas. • Resisten cortocircuitos sin deteriorarse. • Su precio es elevado.
Batería de Níquel-hidruro Metálico (Ni-MH)	<ul style="list-style-type: none"> • Su autodescarga es mayor que las de Níquel-Cadmio. • Su uso en instalaciones solares fotovoltaicas es muy limitado.
Baterías Herméticas	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajan a rangos de temperatura elevadas. • No emiten gases. • Funcionan en cualquier posición. • Mantenimiento nulo. • No existe peligro de pérdida de electrolito. • Ideales cuando los tiempos de carga y descarga son pequeños.
Baterías Monoblocks	<ul style="list-style-type: none"> • Mayormente utilizadas en pequeñas instalaciones fotovoltaicas. • Se pueden agrupar fácilmente. • Tienen capacidades de hasta 250 Ah. • Tienen aislamientos especiales. • Sus placas son reforzadas con rejilla.

Fuente:(Tobajas Vásquez, 2015b)

1.6.3 Regulador de carga

En la Figura 18, se aprecia un regulador de carga solar indispensable para un sistema fotovoltaico, este es un dispositivo electrónico que se encarga de conseguir que el módulo o generador fotovoltaico funcione en el punto de máxima potencia de su curva característica intensidad-tensión, así como también de controlar los procesos de carga y descarga de la batería o sistema de acumulación de energía , evitando la sobrecarga y la sobredescarga, desconectando las cargas o consumos de corriente continua en caso de ser necesario (Mascarós, 2015, p. 124).



Fig. 17. Regulador de carga
Fuente: (Mpptsolar, 2019)

1.7 Normatividad.

La Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica (IESNA) por sus siglas en inglés, ha emitido normas como “The IESNA Lighting Handbook” a través de las cuales determinan los niveles de calidad adecuados de iluminación que se deberían presentar en diferentes tipos de ambientes.

En el presente trabajo se va a tomar como referencia esta normativa, para así poder determinar los niveles de iluminación adecuados que necesita el campus de la Universidad Técnica del Norte.

1.8 Aplicaciones relacionadas al proyecto.

En el Ecuador y en el mundo se están introduciendo de manera elevada proyectos de iluminación que contienen paneles solares fotovoltaicos como fuente de alimentación. Todos estos proyectos tienen en común su intención de disminuir costos de consumo de energía eléctrica, y contribuir a la producción de energías renovables

para el medio ambiente. A continuación, se exponen varios de estos proyectos para comprender la importancia que estas tecnologías brindan a la humanidad y al planeta.

1.8.1 Terminal de Transporte del Norte – Medellín - Colombia.

En la ciudad de Medellín se realizó una propuesta para la implementación de un sistema basado en el uso de energía solar a través de paneles solares en la Terminal de Transporte del Norte, esto fue con el fin de disminuir los pagos mensuales y anuales de energía eléctrica consumida por dicho establecimiento, así mismo con el fin de reducir los impactos ambientales que se genera por la generación de fuentes de energía no renovable.

Este establecimiento por su naturaleza tiene un servicio continuo de 24 horas todo el año, de igual manera cuenta con áreas muy grandes (salas de abordaje, salas de espera, patios operativos, entre otros), los cuales ocasionan un gran consumo de energía eléctrica, es decir, estas áreas deben estar siempre iluminadas y la luz natural no es suficiente; también cuenta con maquinaria y equipos (servidores, refrigeradores, CPU, escáner, talanqueras, entre otros) que son vitales para su correcta operación y que tienen altos consumo de energía.

Esta situación ha evidenciado un alto consumo de energía eléctrica, lo cual se ve reflejado en altos costos económicos, que si no son controlados puede ocasionar un gran déficit financiero y con ello problemas de funcionamiento y sostenibilidad.

1.8.2 Hotel “Solec Business” - Chiclayo – Perú.

En la ciudad de Chiclayo ubicada al noroeste de Perú se realizó la propuesta para la implementación de lámparas LED con suministro fotovoltaico en el hotel llamado Solec Business.

En la finalización del proyecto se concluyó que implementar este tipo de tecnologías en dicho hotel se redujo un equivalente de energía eléctrica de más del 60%, esto solamente con el cambio de luminarias instaladas a luminarias del tipo LED, esto se traduce en un ahorro energético además de reducir de forma sustancial el impacto ecológico en el Hotel Solec Business.

1.8.3 Escuela de Ingeniería en Ecoturismo – Riobamba – Ecuador.

En la provincia de Chimborazo se presentó el diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación del modular de la Escuela de Ingeniería en Ecoturismo ya que esto hace énfasis a la eficiencia energética en iluminación y al uso racional de la energía.

Para este proyecto se estudió la insolación y temperatura promedio existente en la ciudad de Riobamba, para así de esta manera estimar el área para iluminación y la implementación de paneles solares fotovoltaicos monocristalinos por su eficiencia frente a los demás tipos de paneles solares.

Entonces se estimará las horas que el sistema va a estar encendido y la autonomía necesaria para después dimensionar los equipos necesarios que sirvan y cumplan con las necesidades.

CAPÍTULO 2

Rediseño de iluminación del campus universitario

En el presente capítulo se procedió a rediseñar el sistema de alumbrado exterior de la universidad utilizando el programa de simulación DIALux. Además, se eligió una luminaria solar adecuada con la cual cumpla los requerimientos de luminosidad en el entorno. En la Figura 19 se presenta el diagrama de flujo de la metodología empleada.

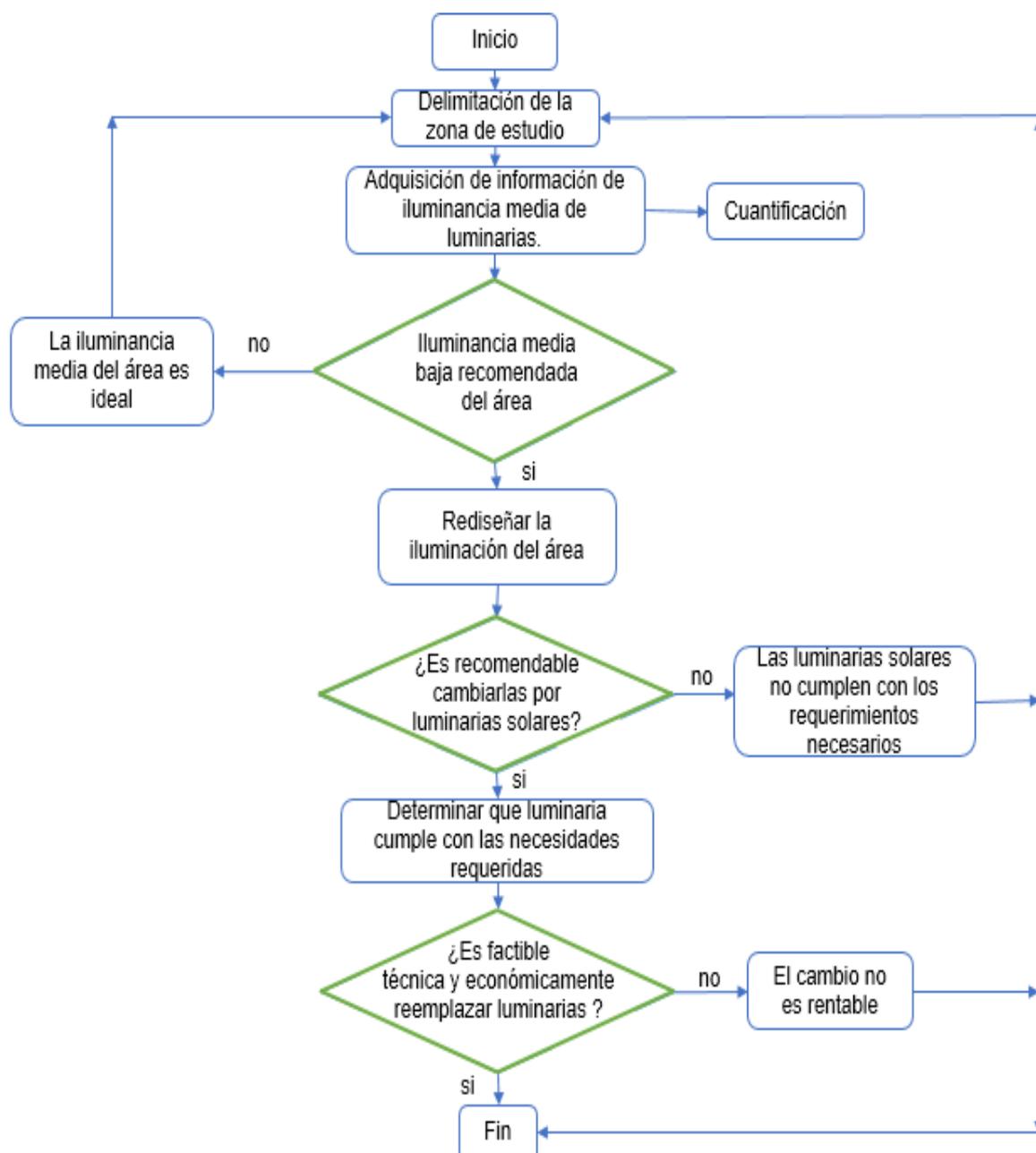


Fig. 18. Diagrama de flujo de metodología empleada
Fuente: (El Autor, 2020)

2.1 Descripción del lugar de estudio

La Universidad Técnica del Norte (Figura 20) se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, su sede está en el cantón Ibarra en la Av. 17 de Julio 5-21 y General José María Córdova. Cuenta con una extensión de 102.406 m² a una altura de 2635 m.s.n.m. Esta institución fue creada oficialmente por decreto ejecutivo el 18 de Julio de 1986 (UTN, 2017).

La Universidad Técnica del Norte tiene alrededor de 12500 estudiantes, los cuales están distribuidos en sus diferentes tipos de modalidades, presencial y semipresencial; lo que indica entonces que los estudiantes y personal dentro de la universidad hacen uso de sus instalaciones diariamente por lo que es indispensable una buena iluminación en el campus universitario.



Fig. 19. Campus "El Olivo" Universidad Técnica del Norte
Fuente: www.utn.edu.ec

La iluminación exterior de la Universidad Técnica del Norte está basada principalmente por luminarias ornamentales, según Morente (2012) este tipo de luminarias son clasificadas puramente como decorativas, además de cubrir las necesidades lumínicas, este tipo de iluminación está destinado a la iluminación de parques, monumentos, plazas, etc.

Estas luminarias instaladas en el campus de la Universidad Técnica del Norte generalmente iluminan dos tipos de entornos, dado que estas comprenden lo que es el sistema de iluminación general. Se los identificó de esta manera ya que estas luminarias

están distribuidas a lo largo de las diferentes facultades las cuales tienen como punto en común estos ambientes:

- a) Vías de acceso
- b) Áreas de aparcamiento

2.2 Descripción de equipos y softwares utilizados

Los equipos y softwares usados a lo largo del presente trabajo de investigación fueron los siguientes:

- AutoCAD Español

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones, este software fue utilizado en su versión estudiantil para modificar y ubicar las luminarias exteriores dentro del campus de la Universidad Técnica del Norte.

- DIALux evo 8.2

DIALux es un conocido software libre para cálculos de iluminación, que permite realizar proyectos de alumbrado teniendo en cuenta estándares nacionales e internacionales. Este programa fue utilizado para simular la iluminación general del campus de la universidad utilizando luminarias LED.

- Luxómetro

Según Alcomax (2018) el luxómetro es un instrumento para medir la intensidad luminosa, esto lo hace a través de un sensor de luminosidad, la medición se la realiza en luxes (lx) o ft (foot candles).

Este aparato fue utilizado en el campus universitario con el fin de monitorear las condiciones de luminosidad y verificar si las luminarias cumplen con la normativa de iluminación IESNA, se la utilizó juntamente con el procedimiento de cálculo de los 9 puntos, método que se detalla en el apartado siguiente.

2.3 Procedimiento de adquisición de datos de iluminación

Para determinar la iluminancia media de las luminarias instaladas en el campus universitario y comprobar si esta cumple con los niveles básicos de iluminación conforme a la normativa IESNA se optó por seguir el procedimiento de los 9 puntos (Vargas, 2015).

El orden necesario que se requiere para aplicar este tipo de medición es:

- Seleccionar una luminaria de manera aleatoria para obtener sus datos de iluminación.
- Cada luminaria está separada por una distancia s entre sí.
- La distancia de medición de la luminaria seleccionada hasta la luminaria adyacente debe ser $s/2$.
- Se traza una línea recta entre la luminaria y $s/2$, después trazar hasta el extremo opuesto del área de medición, graficando de esta manera un rectángulo sobre la zona de la luminaria.
- El rectángulo se divide en dos partes iguales horizontal y verticalmente para así obtener 9 puntos diferentes en el área seleccionada.
- Se sitúa el luxómetro en cada uno de los puntos designados para obtener sus respectivos valores.

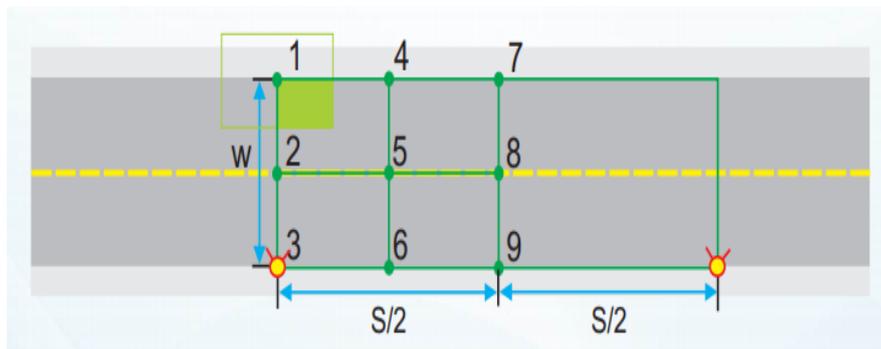


Fig. 20. Malla de medición de los 9 puntos

Fuente: (Várgas, 2015)

Debido a las simetrías existentes a lo largo de las vías bastará con realizar el cálculo de iluminancias en la zona señalada, como se indica en la Figura 21 ya que estos valores se irán repitiendo periódicamente.

Los valores obtenidos en cada punto son reemplazados en la Ecuación (2), este tipo de cálculo fue desarrollado principalmente para adquirir datos en ambientes viales exteriores, de esta manera se puede obtener entonces la iluminancia media del área seleccionada (Várgas, 2015).

$$E_m = \frac{(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2(E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4(E_5)}{16} \quad (2)$$

Donde:

E_m = Iluminancia media en el área asignada [luxes]

E_n = Valor de iluminancia en cada uno de sus puntos [luxes]

2.4 Iluminación exterior actual

El Departamento de Mantenimiento y Construcciones UTN (2020) declara que actualmente el campus universitario cuenta con 200 postes de iluminación ornamentales aproximadamente, con dos partes principales en su estructura como se indica en la Figura 22.

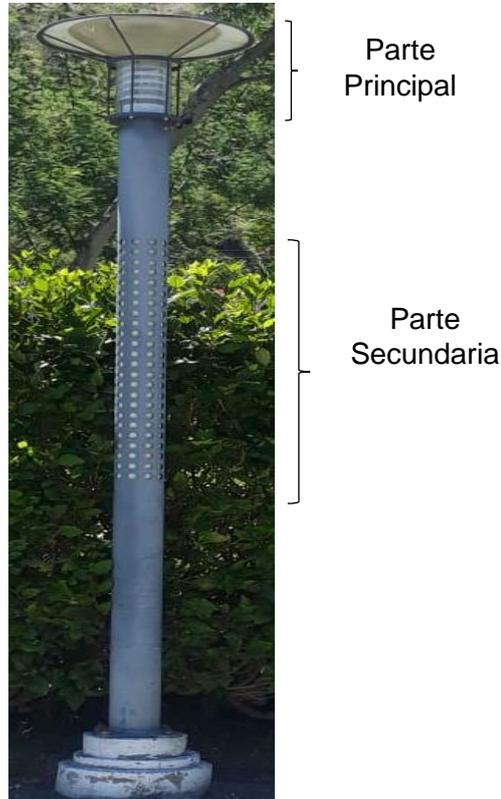


Fig. 21. Luminarias ornamentales exteriores de la UTN
Fuente: (El Autor, 2020)

Estas luminarias están divididas en cinco circuitos diferentes comprendidas entre Ciencias de la salud – Centro académico de idiomas (CAI), Facultad de ingeniería en ciencia aplicadas (FICA) – Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales (FICAYA), Facultad de educación ciencia y tecnología (FECYT) – Edificio Central y Facultad de ciencias administrativas y económicas (FACAE) respectivamente, funcionando a un voltaje de 220V. Además, diariamente estas luminarias permanecen encendidas desde las 6 de la tarde hasta las 5 de la mañana, es decir que su funcionamiento es durante 11 horas al día.

2.4.1 Iluminancia media actual del campus universitario

Una vez especificados los entornos con los cuales se va a realizar la simulación en la Universidad Técnica del Norte es decir parqueaderos y vías de acceso, se procedió a enumerar cada uno de ellos, posteriormente se tomaron mediciones en diferentes

puntos de cada sector para de esta manera obtener información de la situación actual de la iluminación media del área. La numeración elegida para estas áreas y las luminarias seleccionadas aleatoriamente para su evaluación se detalla en el ANEXO B.

Mediante los datos de iluminancia media obtenidos en la Tabla 2.1, aplicando la metodología descrita en el apartado 2.3 (Procedimiento de adquisición de datos de iluminación), se puede determinar que las áreas establecidas tanto de aparcamiento como en vías de acceso no cumplen con los estándares básicos de iluminación recomendada por la IESNA, ya que estos entornos deberían tener en promedio 10 lx para que la circulación del personal pueda garantizar la eficiencia en sus actividades diarias.

TABLA 2. 1
ILUMINANCIA MEDIA EN PARQUEADEROS Y VÍAS DE ACCESO DE LA UTN

Área de medición	Iluminancia media obtenida	Iluminancia media recomendada
Parqueadero 1	2.2 lx	10 lx
Parqueadero 2	5.4 lx	10 lx
Parqueadero 3	5.46 lx	10 lx
Parqueadero 4	1.98 lx	10 lx
Parqueadero 5	7.82 lx	10 lx
Parqueadero 6	2.42 lx	10 lx
Parqueadero 7	2.17 lx	10 lx
Parqueadero 8	9.3 lx	10 lx
Vía de acceso 1	2.36 lx	10 lx
Vía de acceso 2	7.21 lx	10 lx
Vía de acceso 3	6.54 lx	10 lx
Vía de acceso 4	8.13 lx	10 lx

Fuente: (El Autor,2020)

Para un mayor detalle de los datos obtenidos en cada punto de las áreas seleccionadas será conveniente revisar los ANEXOS D y E.

2.4.2 Carga eléctrica actual de luminarias exteriores en el campus universitario

La Universidad Técnica del Norte actualmente en las luminarias ornamentales tiene instalados focos LED de 40 W en su parte principal y lámparas LED de 18 W de potencia en la parte secundaria del poste.

A continuación, en la Tabla 2.2 se presenta aproximadamente el consumo que demandan de la red eléctrica las luminarias instaladas.

TABLA 2. 2
CARGA ELÉCTRICA ACTUAL DE LUMINARIAS EN EL CAMPUS DE LA UTN

Equipos	Cantidad (unid)	Potencia (W)	Consumo total (kW)	Horas por día (h/día)	Días	Consumo por mes (kWh/mes)	Consumo por año (kWh/año)
Luminaria principal	200	40	8	11	30	2.640	31.680
Luminaria secundaria	200	2*18	7,2	11	30	2.376	28.512
TOTAL		76	15,2			5.016	60.192

Fuente: (Dto. Mantenimiento y Construcciones UTN, 2020)

De la Tabla 2.2 se puede notar que el consumo de energía eléctrica destinada a la alimentación de luminarias del campus universitario es elevado, siendo así la demanda de energía eléctrica de 60.192 kWh/año.

2.5 Iluminación exterior propuesta

Con este trabajo se pretende brindar al campus de la Universidad Técnica del Norte una iluminación adecuada del área externa, evitando de esta forma sectores no iluminados que puedan perjudicar la integridad de las personas, ya que estas hacen uso de las instalaciones diariamente.

Según Chavarría Cosar (2017) “Se considera que el 50% de la información sensorial que recibe el ser humano es de tipo visual” (párr. 2), entonces este tipo de percepción es necesaria para desarrollar actividades de forma eficaz.

2.5.1 Rediseño de iluminación en el campus universitario

Para obtener los niveles de iluminación que cumplan con los requisitos establecidos por la Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica - IESNA, se buscó una

luminaria LED que pudiera hacer cumplir con la iluminación deseada de las áreas anteriormente mencionadas y se realizó su simulación en el software DIALux 8.2.

Para el rediseño se tomó en cuenta la distribución actual de las luminarias y se adicionaron 60 luminarias en diferentes puntos estratégicos (ver anexo C). Teniendo así un total de 260 postes de iluminación con los que el campus universitario debería contar.

Estos postes se adicionaron a la simulación ya que ciertas áreas no cumplían con las condiciones necesarias de luminosidad.

En los parqueaderos numerados como 5 y 8 (ver Anexo C) se tuvo que diseñar el entorno de iluminación ya que estos no contaban con postes de iluminación instalados. Estos parqueaderos estaban siendo iluminados por reflectores LED de 125 W, el cual de igual manera no era suficiente para que toda el área contara con una iluminación adecuada. Siendo este el motivo principal por el cual se incrementaron los postes de iluminación considerablemente.

En la Figura 23 se puede apreciar la simulación de iluminación general obtenido de la Universidad Técnica del Norte.

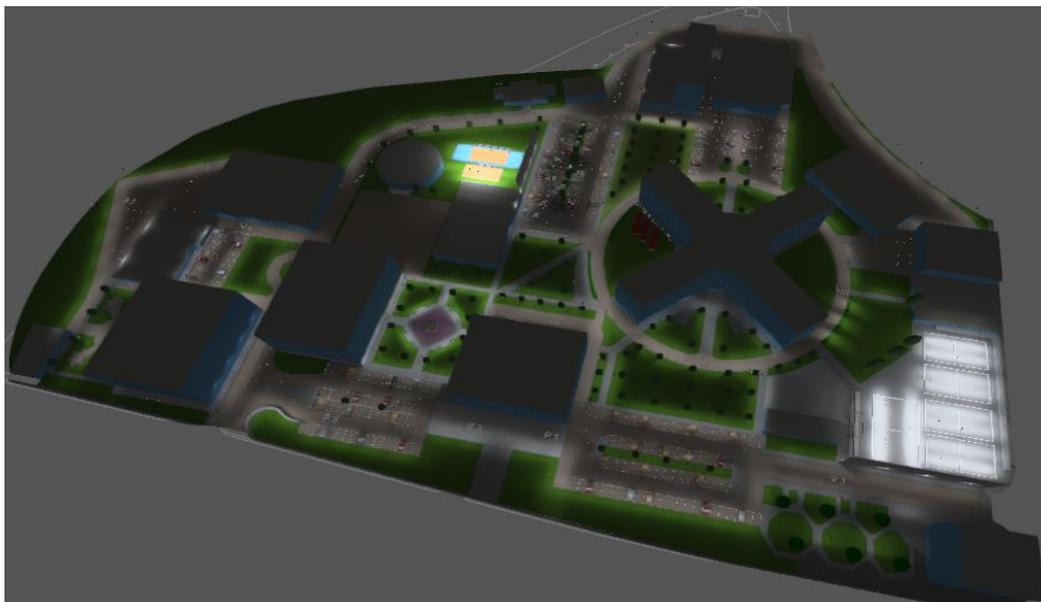


Fig. 22. Simulación de iluminación general de la UTN
Fuente: (El Autor, 2020)

El cumplimiento de los requerimientos necesarios de iluminación en los diferentes tipos de entornos se puede verificar con el software empleado, observando la coloración de un punto encontrado en el sumario de resultados en un tono verdoso tanto de las áreas de aparcamiento (Figura 24), como de las vías de acceso dentro del campus universitario (Figura 25), en caso de que el área no contuviera los valores mínimos permitidos de iluminación el punto aparecerá de color rojo.



Fig. 23. Simulación de iluminación de parqueaderos de la UTN
Fuente: (El Autor, 2020)

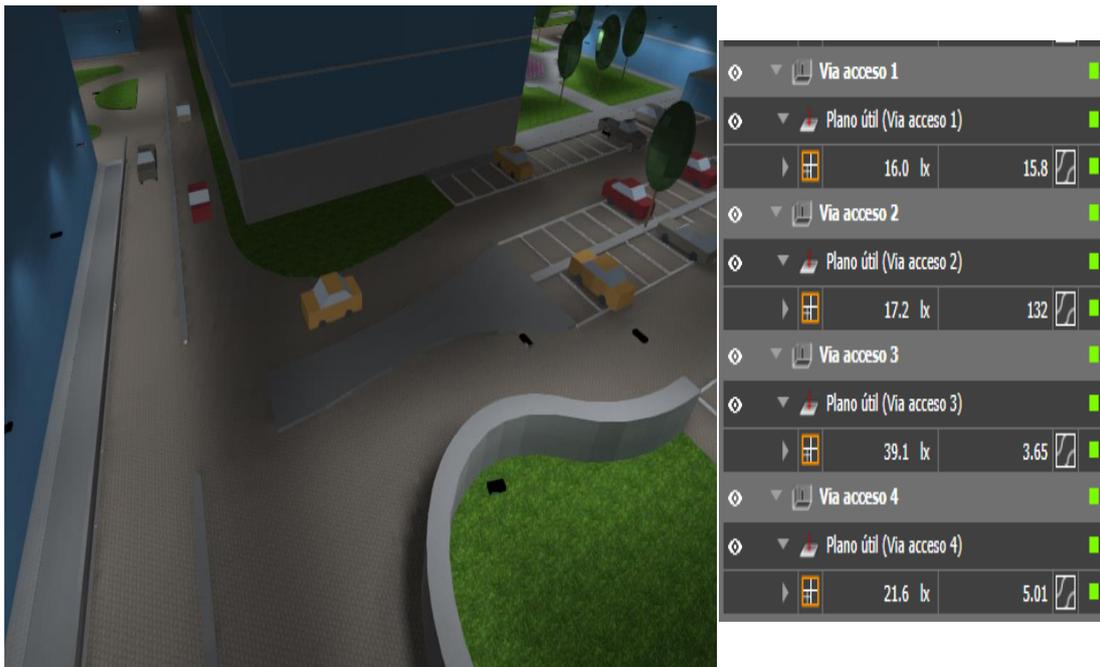


Fig. 24. Simulación de iluminación de vías de acceso de la UTN
Fuente: (El Autor, 2020)

La luminaria elegida para la simulación fue una para exteriores, tipo LED de 40 W, esta cuenta además con un flujo luminoso de 4900 lm con la cual se garantizó la iluminancia media recomendada para este tipo de entorno.

Como se puede observar en las Figuras 24 y 25 los niveles de iluminación simulados cumplen con los valores mínimos recomendados según la IESNA. Por este motivo se

puede establecer que las luminarias elegidas proveerán de la energía lumínica necesaria para la correcta iluminación de los parqueaderos y las vías de acceso.

2.5.2 Carga eléctrica de luminarias exteriores propuestas en el campus universitario

Una vez simulado todo el entorno del campus con la luminaria seleccionada y verificando que los requisitos de iluminación cumplan conforme a la normativa IESNA se procedió a calcular el consumo de energía eléctrica de las luminarias.

En la Tabla 2.3 se detalla el consumo de energía eléctrica general de todas las luminarias propuestas a máxima potencia.

TABLA 2. 3
CARGA ELÉCTRICA CON REDISEÑO DE ILUMINACIÓN EN LA UTN

Equipos	Cantidad (unid)	Potencia (W)	Consumo total (kW)	Horas por día (h/día)	Días	Consumo por mes (kWh/mes)	Consumo por año (kWh/año)
Luminarias	260	40	10,4	11	30	3.432	41.184
Totales							

Fuente: (El Autor, 2020)

Como se puede apreciar en la Tabla 2.3, el consumo de energía eléctrica obtenido con referencia en la Tabla 6 de la demanda de energía eléctrica total actual, el cambio de luminarias reduce el consumo energético de 60.192 kWh/año a 41.184 kWh/año en total de las luminarias, siendo esta una disminución del 31.58%.

2.6 Tipo de instalación fotovoltaica para el campus de la Universidad Técnica del Norte

El tipo de conexión fotovoltaico propuesto es un sistema aislado de la red eléctrica, por lo que las luminarias que se pretende instalar son luminarias independientes, esto significa que cada una de ellas cuenta con sus propios componentes fotovoltaicos, es decir panel solar, batería y regulador de carga, los cuales se irán especificando en los apartados siguientes. Cabe recalcar que estas luminarias alimentan diodos LED las cuales funcionan mediante corriente directa (DC), por tal motivo no es necesario para esta aplicación inversores en la instalación.

Se eligió la configuración de luminarias autosustentables por la simplicidad que genera en la instalación, ya que para una instalación fotovoltaica centralizada se deben tener varias consideraciones en cuenta para el rediseño. Algunas consideraciones que

deben llevarse a cabo al momento de dimensionar un sistema fotovoltaico centralizado son: sobredimensionar la planta fotovoltaica con un factor de seguridad mayor a la carga total instalada, esto con el propósito de poder alimentar las luminarias adecuadamente ya que se debe tener en cuenta las caídas de voltaje en los diferentes circuitos instalados, se tiene que considerar también la autoalimentación de reguladores de carga e inversores, lo que incrementa de igual manera el número de módulos solares, además del dimensionamiento y recableado de conductores si se es necesario. Se debe contar con el área suficiente para el montaje e instalación de los paneles solares fotovoltaicos, así como también un espacio adecuado para almacenar el banco de baterías, reguladores e inversores, y dado que la universidad no cuenta con estas extensas superficies en el campus y el recableado de conductores en las luminarias se puede tornar un tanto complicado se optará por luminarias individuales autosustentables.

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta de las luminarias que se propone instalar es que deben tener la posibilidad de ser autorregulables, lo que quiere decir que no siempre tienen que estar operando a su potencia máxima de funcionamiento, esto por motivos de eficiencia en la luminaria. El campus de la Universidad Técnica del Norte permanece desolado una vez que se termina la jornada diaria de estudios y labores de los estudiantes, personal docente y administrativo hasta el día siguiente, únicamente los que hacen uso de estas instalaciones son los responsables de la guardianía del lugar por lo que no será necesario que las luminarias funcionen a plena carga ya que estos no realizan un uso excesivo de parqueaderos y de las vías de acceso. Teniendo esto en cuenta se tomará a continuación dos escenarios posibles de funcionamiento de las luminarias, con el cual se corrobora que la disminución de la potencia en la luminaria mejora la eficiencia y por ende alargando su vida útil.

Escenario 1: Las luminarias permanecen encendidas durante 11 horas seguidas, es decir desde las 18:00 pm hasta las 05:00 am. Estas luminarias funcionan a su máxima potencia de funcionamiento y como se declaró en el apartado 2.5.2 (Carga eléctrica de luminarias exteriores propuestas en el campus universitario) el consumo anual de las luminarias en conjunto es de 41.184 kWh.

Escenario 2: Las luminarias permanecen encendidas durante 11 horas seguidas, estas luminarias cuentan con dos etapas y dos potencias de funcionamiento, además se detalla en la Tabla 2.4 el consumo anual de energía eléctrica teniendo en cuenta las diferentes potencias de funcionamiento tal y como se describe a continuación:

Etapa 1: La luminaria funciona al 100% de su potencia y se mantendrá encendida durante 4 horas, es decir desde las 18:00 pm hasta las 22:00 pm hora en el cual la

universidad ya no cuenta con particulares dentro de la institución, por lo que es recomendable atenuar la potencia de funcionamiento.

Etapa 2: La luminaria funciona al 40% de su potencia y se mantendrá encendida durante 7 horas, es decir desde las 22:00 pm hasta las 05:00 am momento en el cual estas se apagan.

TABLA 2. 4
CARGA ELÉCTRICA DE LUMINARIAS CON POTENCIA ATENUADA

Objeto	Cantidad (unid)	Potencia	Horas por día (h/día)	Consumo total diario (kWh/día)	Días	Consumo por mes (kWh/mes)	Consumo por año (kWh/año)
Luminaria al 100%	260	40 W	4	41.6	30	1.248	14.976
Luminaria al 40%	260	16 W	7	29.12	30	873.6	10.483,2
Total				0.272		2.121,6	25.459,2

Fuente: (El Autor,2020)

Como se puede notar en la Tabla 2.3, cuando la luminaria funciona a una eficiencia del 100%, es decir a su máxima potencia esta tiene un consumo de energía eléctrica elevado disminuyendo de esta manera la vida útil de la luminaria y reduciendo su autonomía, mientras que en la Tabla 2.4 cuando la luminaria seleccionada opera a una eficiencia del 40% demandará menor cantidad de recurso eléctrico y por ende esta reducción de consumo en la luminaria traducirá a una mayor autonomía de funcionamiento y una prolongación de vida útil. Esto indica la viabilidad de hacer funcionar a la luminaria a una potencia inferior sin dejar de lado la iluminación parcial de las áreas establecidas.

2.7 Orientación y ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico

Para determinar la inclinación óptima de un panel solar en una superficie fija se puede emplear la Ecuación (3) ya que esta está basada en análisis estadísticos de radiación solar anual situadas en lugares con diferentes latitudes, es válida también para aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación solar a lo largo del año (Díaz & Carmona, 2010). Y dado que la Universidad Técnica del Norte está a una latitud de 0,4 se obtiene entonces:

$$B_{opt} = \varnothing \pm 10 \quad (3)$$

$$B_{opt} = 0,4 \pm 10$$

$$B_{opt} = 10,4^\circ$$

Donde:

B_{opt} = Inclinación óptima para los paneles

\varnothing = Latitud del lugar

± 10 = Invierno (+) o Verano (-)

Con lo cual se obtuvo así una inclinación de 10,4 ° sobre la horizontal con dirección Norte – Sur, de esta manera se asegura el mayor impacto de radiación en la zona.

2.8 Cálculo de componentes del sistema fotovoltaico

A continuación, se va a exponer los cálculos que son necesarios para determinar adecuadamente cada uno de los componentes de la luminaria solar fotovoltaica propuesta.

2.8.1 Módulo solar

A partir del valor de consumo de la luminaria, se debe hacer el cálculo de cuantos módulos solares serán necesarios. Para este cálculo se va a tomar como referencia paneles solares de 70 Wp.

Por lo tanto, si se considera que la potencia de la luminaria en los dos casos de estudio en algún momento funciona a 40 W, es decir la luminaria al 100% de potencia y la luminaria con atenuación, con la Ecuación (4) se determina la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios en la luminaria (Gradella, 2012).

$$N = \frac{P_c}{P_p} \quad (4)$$

$$N = \frac{40}{70}$$

$$N = 0,57 \leftrightarrow 1 \text{ módulos}$$

Donde:

N = Número de módulos solares

P_c = Potencia consumida [W]

P_p = Potencia producida [Wp]

2.8.2 Acumulador de energía

Uno de los aparatos más importantes a la hora de realizar el diseño de una instalación fotovoltaica autónoma es su sistema de acumulación. Este aparte de hacer trabajar al sistema a un voltaje fijo es el encargado de suministrar la energía a la instalación una vez no exista radiación solar. Por lo tanto, mediante la Ecuación (5) y (6) se puede determinar la capacidad de la batería con la que deberá contar la luminaria (Gradella, 2012).

A continuación, se va a ejemplificar con los dos casos antes descritos, ya que es diferente la demanda que producen por el factor de atenuación en la potencia de cada luminaria.

Escenario 1: Capacidad de la batería con la potencia máxima de la luminaria.

$$C_{Banco} = \frac{E_c}{\frac{V_B}{P_D}} \quad (5)$$

$$C_{Banco} = \frac{440}{\frac{12}{0,7}}$$

$$C_{Banco} = 25,66 \text{ Ah}$$

Escenario 2: Capacidad de la batería con la potencia atenuada de la batería

$$C_{Banco} = \frac{E_c}{\frac{V_B}{P_D}} \quad (6)$$

$$C_{Banco} = \frac{300}{\frac{12}{0,7}}$$

$$C_{Banco} = 17,5 \text{ Ah}$$

Donde:

C_{Banco} = Capacidad del banco de batería [Ah]

E_c = Energía consumida [Wh]

V_B = Voltaje de operación de la batería [V]

P_D = Profundidad de descarga máxima de la batería

Como se puede notar, la batería con la que debe contar en cada caso de estudio es diferente ya que en el segundo caso la luminaria no demanda demasiada energía eléctrica como lo hace la primera, por este motivo la capacidad de la batería es menor.

2.8.3 Regulador de carga

Para elegir correctamente un regulador de carga se tendrá que calcular la corriente de carga necesaria mediante la Ecuación (7), esto con el fin de que el regulador funcione de la mejor manera y soporte la corriente demandada por la luminaria (Días & Carmona, 2010).

$$I_{G,max} = Np * I_{sc} \quad (7)$$

$$I_{G,max} = 1 * 4,33$$

$$I_{G,max} = 4,33 A$$

Donde:

$I_{G,max}$ = Corriente del regulador de carga [A]

Np = Número de paneles fotovoltaicos

I_{sc} = Corriente de corto circuito del panel solar [A]

Una vez obtenidos todos los valores necesarios para que la luminaria tenga un desempeño adecuado, se procedió a investigar una que cumpla con los requerimientos establecidos. Se encontró una luminaria de marca Lux-Tech Energy, de modelo "LTE-AIT-040F". Esta luminaria contiene iluminación tipo LED de 40 W, su flujo luminoso es de 5600 lm y un panel solar de 70 Wp de potencia, cuenta además con una capacidad de batería de 30 Ah.

De acuerdo con el apartado 2.5.1 (Rediseño de iluminación exterior) la luminaria elegida en la simulación contaba con un flujo luminoso de 4900 lm la cual fue suficiente para que el área que se dispone a iluminar cumpla con los requerimientos de iluminación recomendados por la IESNA, lo que quiere decir que esta luminaria al contar con un mayor flujo luminoso también cumplirá con los requerimientos establecidos para una adecuada iluminación en el entorno. Cabe recalcar también que esta luminaria cuenta con la ventaja de que se puede direccionar su panel solar en cualquier sentido adecuándolo en la orientación establecida para una mayor captación solar.

Las especificaciones más a detalle de esta luminaria se encuentran en el ANEXO F.

2.9 Mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

Para que un sistema fotovoltaico permanezca sin daño y en condiciones óptimas se deberá tomar en cuenta algunas recomendaciones para su mantenimiento, de esta manera el sistema alargará su vida útil contribuyendo con el medio ambiente mediante la generación de energía eléctrica de manera amigable y no contaminante.

A continuación, se presentarán algunas recomendaciones para el mantenimiento de un sistema fotovoltaico:

Paneles solares: Su tarea se inicia con inspecciones visuales, limpieza periódica y verificación de su estado de operación teniendo especial cuidado en las conexiones eléctricas. Algunas impurezas exteriores que impiden el ingreso de energía solar en los módulos fotovoltaicos pueden ser: la acumulación de polvo y suciedad en los módulos, así como hojas, papeles, excremento de animales y ramas de árboles. Cada uno de estos disminuye la energía eléctrica generada por el módulo.

Antes de la limpieza de paneles solares es necesario considerar algunas precauciones de seguridad:

- Verificar que no hay módulos rotos.
- No usar agua con detergentes o disolventes.
- No usar agua a alta presión
- Tener en cuenta y leer las instrucciones de limpieza del fabricante del módulo.

Baterías: Se debe inspeccionar los alrededores de las baterías en busca anomalías físicas, se debe también revisar las conexiones eléctricas en los bornes ya que estas pueden contener corrosión y oxidación, además comprobar el voltaje de la batería para verificar que su valor se encuentre dentro de los valores establecidos por el fabricante.

Regulador de carga: Para este elemento se debe asegurar que las conexiones se encuentren en buen estado, sus bornes adecuadamente ajustados evitando falsos contactos con los conductores y verificando que los parámetros de funcionamiento del regulador estén de acuerdo con lo establecido por el fabricante.

CAPÍTULO 3

Análisis de factibilidad del proyecto

En este capítulo se realiza el análisis de factibilidad para el cambio de luminarias ornamentales exteriores existentes por luminarias LED alimentadas mediante paneles solares fotovoltaicos, dentro del campus El Olivo de la Universidad Técnica del Norte. En este estudio se busca calcular el ahorro por consumo de energía eléctrica a lo largo de la vida útil de funcionamiento del proyecto y el monto económico total que será necesario para su implementación, determinando así la factibilidad de este. Para ello se empleará los indicadores de rentabilidad TIR (Tasa interna de retorno), VAN (Valor Actual neto) y B/C (Relación Beneficio Costo). Además, para este proyecto se considerará una vida útil de 15 años, tiempo el cual el fabricante de la luminaria seleccionada da por culminado su ciclo útil.

3.1 Factibilidad técnica

El estudio técnico considerado para el proyecto se basa en la evaluación del consumo eléctrico de las luminarias ornamentales actualmente instaladas a lo largo de la vida útil establecida para el proyecto solar.

En la Tabla 3.1 se realizó la estimación del consumo de las luminarias ornamentales actualmente instaladas en el campus universitario durante los quince años de vida útil del proyecto. Se tomará como referencia los datos de consumo eléctrico anual ya establecidos del apartado 2.4.2 (Carga eléctrica actual de luminarias en el campus universitario).

TABLA 3. 1
CONSUMO ELÉCTRICO DE LUMINARIAS ORNAMENTALES

Tipo de luminarias	Consumo anual de energía (kWh)	Vida útil del proyecto	Consumo total de energía (kWh)
Luminarias ornamentales actuales	60.192	15	902.880

Fuente: (El Autor, 2020)

Como se puede apreciar en la Tabla 3.1, el consumo de energía eléctrica de las luminarias ornamentales actualmente instaladas en el campus universitario durante la vida útil del proyecto equivale a 0,902 MWh, por este motivo, al no estar conectadas a la red eléctrica las luminarias solares propuestas generarán un ahorro considerable en

la institución. De esta manera entonces se puede determinar que la factibilidad en el aspecto técnico del cambio de luminarias es viable.

3.2 Flujo de caja

El análisis del flujo de caja es uno de los puntos principales que se debe tener en cuenta al momento de evaluar la rentabilidad en la inversión de un proyecto ya que esta consiste en las entradas y salidas de dinero en efectivo durante un periodo de tiempo específico (Viñán et al., 2018a).

3.2.1 Evaluación de costos del proyecto

Para llevar a cabo este proyecto se va a tener en cuenta varios tipos de costos, tales como: costos de inversión y costos de mantenimiento. Se debe evaluar estos tipos de costos ya que influyen de manera considerable en la toma de decisión del proyecto.

Costos de inversión

Este representa el coste monetario que será necesario para adquirir, transportar e instalar las luminarias solares, las cuales estarán destinadas a la iluminación general del campus universitario.

Los costos de inversión inicial para llevar a cabo un proyecto fotovoltaico generalmente son elevados, esto por la tecnología que usan sus diferentes componentes.

Costos de adquisición

Este es el coste total que asume el comprador en este caso la Universidad Técnica del Norte por la adquisición de las luminarias seleccionadas para la adecuada iluminación exterior del campus universitario.

Costos de transporte

Este tipo de coste es un aspecto muy importante que se debe tener en cuenta al momento de adquirir las luminarias seleccionadas ya que el transporte se lo va a realizar mediante envío marítimo desde China hasta Guayaquil, y terrestre desde Guayaquil hasta la ciudad de Ibarra, lo cual incrementa el costo de adquisición del producto. A continuación, en la Tabla 3.2 se detalla tanto el coste de adquisición como el de transporte marítimo y terrestre de las luminarias propuestas para su instalación en el campus de la Universidad Técnica del Norte.

TABLA 3. 2
COSTOS DE ADQUISICIÓN Y TRANSPORTE MARÍTIMO DE LUMINARIAS SOLARES

Modelo	Precio por unidad (USD)	Unidad	Precio total (USD)
40W (LTE-AIT-040F)	165	260	42,900
Seguro marítimo			150
Costo flete marítimo a Guayaquil, Ecuador			2,400
Costo flete terrestre a Ibarra, Ecuador			500
TOTAL			45,950

Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de www.esp.lte-solar.com

En la Tabla 3.3 se consideró además un complemento requerido necesario para la instalación de las luminarias seleccionadas. Siendo esta propiamente el poste en la cual va a ir montada la luminaria ya que esta no viene incluida en la transacción, para esta implementación se consideró un poste galvanizado de tres pulgadas, con espesor de dos milímetros y seis metros de alto (3" – 2mm, 6m), además de la mano de obra; misma que no tiene un costo fijo ya que depende de la entidad contratada para su ejecución por lo que se estimará un aproximado total.

TABLA 3. 3
COSTO DE POSTES PARA LUMINARIAS SOLARES

Objeto	Cantidad	Costo por unidad (USD)	Costo total (USD)
Poste (3" – 2mm, 6m)	260	40	10.400
Base de luminaria	260	20	5200
Mano de obra	260	10	2.600
TOTAL			18.200

Fuente: (El Autor, 2020)

Costos de instalación

Este tipo de costo conlleva el monto económico total necesario para la contratación de mano de obra especializada que pueda realizar la desinstalación de las luminarias ornamentales actuales montadas y la instalación de las nuevas luminarias solares seleccionadas, con el propósito de adecuar de una iluminación ideal al campus de la

universidad. En la Tabla 3.4 se establece la cantidad monetaria necesaria que se requiere para realizar estos procesos de implementación.

TABLA 3. 4
COSTOS DE MONTAJE Y DESMONTAJE DE LUMINARIAS

Objeto	Cantidad	Costo por unidad (USD)	Costo total (USD)
Desmontaje de luminarias actuales	200	30	6,000
Montaje de luminarias seleccionadas	260	30	7,800
TOTAL			13,800

Fuente: (El Autor, 2020)

Costos de reinversión

El costo de reinversión considerado para este proyecto es para el cambio de baterías, ya que estas son las que más dificultades tienen al momento de garantizar una larga vida útil de funcionamiento en comparación con los demás componentes instalados en la luminaria. Por lo que en la Tabla 3.5 se estimará el monto económico para poder realizar el cambio de baterías, este reemplazo se lo realizará a la mitad del ciclo del proyecto, es decir a los 8 años ya que se define que es recomendable el cambio de baterías cada 5 a 10 años.

TABLA 3. 5
COSTO DE REINVERSIÓN DEL PROYECTO

Componente	Cantidad	Costo por unidad (USD)	Costo total (USD)
Batería Litio 30 Ah	260	52	13.520

Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de www.esp.lte-solar.com

Una vez obtenidos los valores de adquisición, transporte, instalación y reinversión de las luminarias en la Tabla 3.6 se procedió a estimar el monto total de inversión necesario para el desarrollo del proyecto.

TABLA 3. 6
MONTO TOTAL DE INVERSIÓN

	Inversión total (USD)
Costo de adquisición y transporte	45.950
Costo de postes para luminarias	18.200
Costo de reinversión	13.520
Costo de instalación	13.800
TOTAL	91.470

Fuente: (El Autor, 2020)

Costos de mantenimiento

Según González Velasco (2012) los costes de mantenimiento de las instalaciones solares son muy reducidas si se realiza la comparación con otros sistemas de producción de energía ya sea esta renovable o no. Al no existir partes móviles en este caso de estudio como lo realizan otros sistemas que contienen seguimiento de posición del sol las averías en la luminaria se hacen mínimas. Actualmente el departamento de mantenimiento y construcciones de la Universidad Técnica del Norte es el responsable del mantenimiento de las luminarias ornamentales instaladas, por este motivo serán los encargados del mantenimiento de las luminarias solares propuestas. Teniendo en consideración este aspecto, no será necesaria la contratación externa de personal para la realización de actividades como: limpieza de paneles solares, verificación de voltaje en baterías y comprobación de aspectos técnicos en los reguladores carga. Con lo cual se considerarán para este proyecto los costos de mantenimiento nulos.

3.2.2 Evaluación de ingresos del proyecto

En este apartado se analizan los posibles ingresos que se pueden obtener al poner en funcionamiento las luminarias LED elegidas dentro del campus de la Universidad Técnica del Norte alimentadas mediante energía solar fotovoltaica. Se estima el monto actual que consumen las luminarias ornamentales instaladas y se establece este como el monto de ingreso anual hacia la institución.

Ingreso en ahorro por energía eléctrica

La Universidad Técnica del Norte al ser una institución de beneficio público con demanda se encuentra ubicada en la categoría general para el pago de la energía eléctrica según la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), por este motivo entonces se tiene dos precios por el consumo eléctrico como lo indica la Tabla 3.7.

TABLA 3. 7

PLIEGO TARIFARIO SEGÚN LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD

Asistencia social y beneficio público con demanda horaria	
Rango de consumo	Energía (UDS/kWh)
08:00 hasta 22:00 horas	0,065
22:00 hasta 08:00 horas	0,054

Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de (ARCONEL, 2020)

De esta manera entonces la Tabla 3.8 detalla el consumo aproximado de las luminarias ornamentales actualmente instaladas con el primer costo de funcionamiento desde las 18:00 hasta las 22:00, y con el segundo costo de funcionamiento es decir desde las 22:00 hasta las 5:00 am teniendo en cuenta los precios anteriormente establecidos.

TABLA 3. 8

CONSUMO ECONÓMICO ANUAL DE LUMINARIAS ORNAMENTALES INSTALADAS

Tipo de luminarias	Potencia total (kW)	Rango de consumo	Consumo al día (kWh/día)	Consumo al mes (kWh/mes)	Consumo al año (kWh/año)	Energía (USD/kWh)	Precio (USD)
Luminarias ornamentales actuales	Luminaria principal (8 kW)	18:00 hasta 22:00 (4 horas)	32	960	11.520	0,065	748,8
	Luminaria principal (8 kW)	22:00 hasta 05:00 (7 horas)	56	1.680	20.160	0,054	1.088,6
	Luminaria secundaria (7,2 kW)	18:00 hasta 22:00 (4 horas)	28,8	864	10.368	0,065	673,9
	Luminaria secundaria (7,2 kW)	22:00 hasta 05:00 (7 horas)	50,4	1.512	18.144	0,054	979,7
TOTAL							3.491

Fuente: (El Autor, 2020)

Como se puede notar en la Tabla 3.8, la cantidad económica que las luminarias ornamentales actualmente instaladas consumen a la institución anualmente es de aproximadamente \$ 3.491 (Dólares americanos)

Teniendo esta cantidad monetaria en consideración se puede definir que este va a ser el ingreso anual económico en la institución, ya que las luminarias solares seleccionadas están aisladas de la red eléctrica por lo que se requieren únicamente una inversión inicial de capital y no será necesario el pago hacia la empresa distribuidora por la alimentación de estas.

Una vez calculados los costos y los ingresos del proyecto, se procedió a realizar la rentabilidad económica del mismo.

3.3 Factibilidad económica

En esta sección se realiza el estudio de la rentabilidad económica del proyecto, con lo cual se busca conocer si es conveniente ejecutar la inversión desde el punto de vista económico o por el contrario esta no generará beneficios en la ejecución.

3.3.1 Indicador VAN

Para calcular el VAN del proyecto se utilizarán los datos anteriormente establecidos de inversión. Para calcular el VAN se utilizó la Ecuación (8) propuesta por (Viñán et al., 2018b).

Donde además se consideró una tasa de descuento de 7.04 % referenciada por el Banco Central del Ecuador para este año.

$$VAN = -I + \sum_{j=1}^n \frac{FNC_j}{(1+i)^j} \quad (8)$$

Donde:

FNC_j = Flujo neto de caja proyectado

i = tasa de descuento

n = periodo (tiempo de vida del proyecto)

I = Inversión inicial

Criterios

Si $VAN > 0$. El proyecto generará ganancia económica

Si $VAN = 0$. El proyecto no generara ganancia ni pérdida económica

Si $VAN < 0$. El proyecto generará pérdidas económicas

3.3.2 Indicador TIR

La tasa interna de retorno mide la rentabilidad promedio que tiene un proyecto, la TIR del proyecto puede ser determinada por la ecuación propuesta por (Viñán et al., 2018b).

$$TIR = r_1 + (r_2 - r_1) \left[\frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right] \quad (9)$$

Donde:

r_1 = tasa de actualización del VAN_1

r_2 = tasa de actualización del VAN_2

VAN_1 = VAN positivo

VAN_2 = VAN negativo

Criterios

Si $TIR \geq$ tasa de descuento (7.04 %). El proyecto generará ganancia económica

Si $TIR <$ tasa de descuento (7.04 %). El proyecto generará pérdidas económicas

Aplicando las Ecuaciones (8) y (9) se obtuvieron los valores de VAN y TIR del proyecto, estos se presentan en la Tabla 3.9, asimismo como su flujo de caja correspondiente.

TABLA 3. 9
FLUJO DE CAJA, VAN Y TIR

AÑO	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de interés
0		77.950		7.04 %
1	3.491		3.491	
2	3.491		3.491	
3	3.491		3.491	
4	3.491		3.491	
5	3.491		3.491	
6	3.491		3.491	
7	3.491		3.491	
8	3.491	13.520	-10.029	

9	3.491	3.491
10	3.491	3.491
11	3.491	3.491
12	3.491	3.491
13	3.491	3.491
14	3.491	3.491
15	3.491	3.491
VAN	-54.079,71	
TIR	-7.48 %	

Fuente: (El Autor, 2020)

Como lo indica la Tabla 3.9 el VAN obtenido de este proyecto es negativo en relación con el valor de inversión inicial, esto debido a la tasa de descuento elegida para el proyecto y los bajos ingresos anuales del proyecto. Además, se puede observar que la TIR obtenida es menor que la tasa de descuento indicada, lo que permite denotar que no es factible la ejecución del proyecto.

3.3.3 Relación beneficio costo

La relación beneficio costo o índice de productividad se utiliza como medio para la clasificación de proyectos. La relación beneficio costo se puede determinar con la utilización de la Ecuación (10) propuesta por (Córdoba, 2011).

$$RBC = \frac{\sum \text{Ingresos netos}}{\text{Inversión inicial}} \quad (10)$$

Criterios

Si $RBC > 1$ La inversión generara ganancias económicas

Si $RBC = 0$ La inversión no generara ni ganancias ni pérdidas económicas

Si $RBC < 1$ La inversión generara pérdidas económicas

Al aplicar la Ecuación (10), para determinar si el proyecto de cambio de luminarias ornamentales exteriores en el campus universitario por luminarias solares fotovoltaicas generara ganancias, se obtuvo una relación beneficio costo de 0.35 concluyendo de esta manera que la inversión no generará beneficios económicos a lo largo del tiempo en la institución dando como resultado un proyecto en el aspecto económico no rentable

para su ejecución, esto debido a la elevada cantidad de luminarias necesarias para la iluminación del campus universitario y el bajo precio del kWh.

CONCLUSIONES

- La energía solar es una fuente de energía inagotable y gratuita. Además, el uso de la energía solar fotovoltaica trae consigo beneficios medioambientales, puesto que esta no genera emisiones de gases que deterioren la atmósfera del planeta como lo hacen otro tipo de energía no renovable como lo son los combustibles fósiles.
- El levantamiento de información realizado en la Universidad Técnica del Norte permitió conocer el estado actual de iluminancia media en áreas como lo son las vías de acceso y los parqueaderos, determinando como resultado la baja calidad de iluminación, ya que no cumplen con la cantidad mínima de 10 lx requerida para este tipo de entornos.
Se rediseñó la iluminación de las áreas externas del campus utilizando el software de simulación DIALux 8.2 con la elección de una luminaria adecuada, la cual pueda garantizar la iluminancia media recomendada en estos entornos y posteriormente determinar el ángulo óptimo de inclinación de los paneles y los componentes solares fotovoltaicos necesarios con los cuales estas luminarias puedan funcionar de manera óptima.
- Efectuando el análisis que conllevaría la implementación de las luminarias LED alimentadas mediante paneles solares fotovoltaicos se determina que desde el punto de vista técnico es factible realizar el cambio ya que se va a obtener un ahorro del 100% al valor que consumen las luminarias ornamentales actualmente instaladas a lo largo de la vida útil del proyecto, esto debido a que las luminarias son aisladas de la red eléctrica, mientras que desde el punto de vista económico no es factible la ejecución, puesto que el VAN obtenido es negativo y la TIR es inferior que la tasa de descuento seleccionada. Además, cabe indicar que la relación costo beneficio (B/C) es menor a uno.

RECOMENDACIONES

- Efectuar estudios de índole similar en instituciones educativas que contengan una escasa iluminación del entorno para llevar a cabo un rediseño adecuado de iluminación y generación de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica, y de esta manera aportar en gran medida al desarrollo científico, tecnológico y ambiental.
- Para la toma de datos luminotécnicos en diferentes proyectos de rediseño de alumbrado ornamental, se recomienda realizarlos durante días despejados, evitando de esta manera condiciones no favorables como la lluvia o la neblina ya que pueden producir variaciones en las mediciones obteniendo valores no reales del entorno.
- Es aconsejable realizar un rediseño adecuado de iluminación con las luminarias ornamentales actualmente instaladas. Además, proponer un mantenimiento preventivo y correctivo de las luminarias del campus universitario para así prolongar su vida útil.
- Realizar un estudio de factibilidad mediante un sistema solar centralizado capaz de suplir de manera parcial o total el consumo de luminarias y contribuir a la generación de energías renovables y amigables para el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Abella, M. A. (2019). *Sistemas fotovoltaicos* [CIEMAT]. <https://bit.ly/30deul4>
- AEMet, A. E. D. M. (2019). *Ministerio de medio ambiente, medio rural y marino*.
- Airfal. (2014). *Los niveles de iluminación recomendados por actividad*. Airfal Internacional. <https://bit.ly/2Ce6loL>
- Alcomax. (2018). *¿Que es un luxometro?* Alcomax Equipos de medición. <https://bit.ly/390xKX5>
- Ammonit. (2019). *Historia de la energía solar*. Ammonit. <https://bit.ly/3j20T8R>
- Amvar, W. (2019). *Baterías - Acumuladores*. <https://bit.ly/2WApokf>
- ARCONEL, A. de R. y C. de E. (2020). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución*.
- Aretha. (2017). *La importancia de la iluminación a la hora de diseñar un espacio*. Aretha. <https://bit.ly/2OoIWDp>
- Babatunde, E. (2012). *Solar radiation* (1.ª ed.). InTech.
- Bejarano, N. (2011). *“Diseño de un sistema de generacion electrica solar para la iluminacion externa del modular de la escuela de ingenieria en ecoturismo”*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Blogspot. (2016). *Luminancia*. Blogspot. <https://bit.ly/2WjqVuu>
- Bornay. (2019). *Paneles solares policristalinos*. Bornay. <https://bit.ly/307pbpq>
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2009). *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. (Pearson (ed.); 10.ª ed.).
- Chargoy, J. L., & Reyes, A. (2014). *Propuesta de implementación de luminarias tipo LED y paneles fotovoltaicos en casa habitación*. [Instituto Politecnico Nacional]. <https://bit.ly/2OzYhkR>
- Chavarría Cosar, R. (2017). *Iluminación en los centros de trabajo*. <https://bit.ly/32DJJZD>
- CONELEC, C. N. de E. (2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*.
- Construmática. (2019). *Radiación solar*. Construmática. <https://bit.ly/2ZqDI0o>
- Córdoba, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos* (ECOE (ed.); 2.ª ed.).
- Corporación para la investigación energética, C. (2019). *Energía Solar*. <https://bit.ly/32idlGo>
- Cortés González, F. (2008). *Estudio de factibilidad del uso de micro generación en base a energías renovables en redes de baja tensión* [Universidad de Chile]. <https://bit.ly/38UrDn6>
- Cruceira, E. (2019). *Implementación de sistema de generación solar fotovoltaica con con integración a la red eléctrica en el edificio de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica del Norte* [Universidad Técnica del Norte]. <https://bit.ly/3fyYIHS>
- Días, T., & Carmona, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (McGraw-Hill (ed.)).
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (McGraw-Hill (ed.)).
- Dto. Mantenimiento y Construcciones UTN. (2020). *Información de luminarias ornamentales exteriores del campus UTN*.

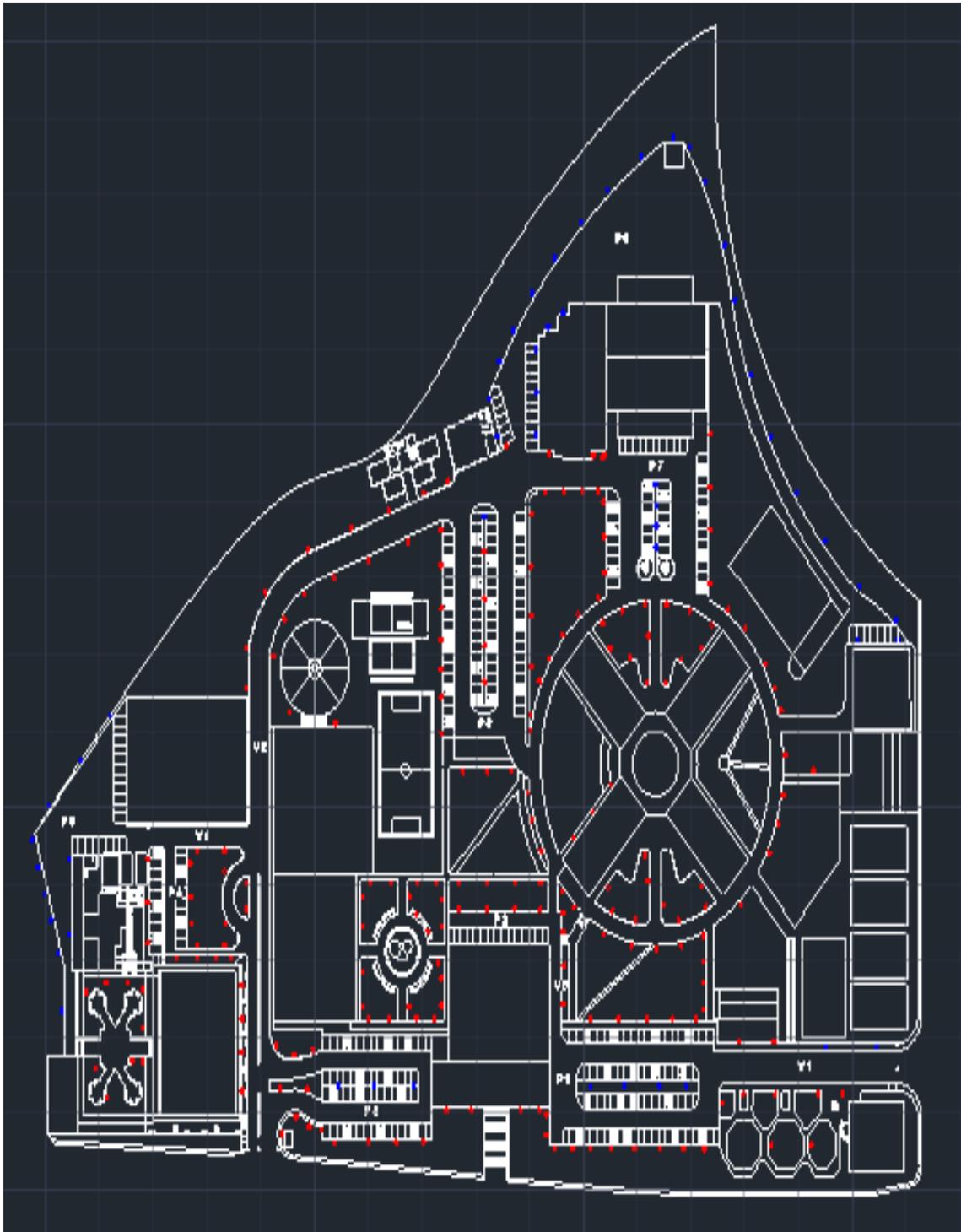
- Ecofener. (2019). *Tipos de paneles solares*. Ecofener. <https://bit.ly/2OmmMBX>
- EcoInventos. (2019). *Diferencia entre paneles solares monocristalinos y policristalinos*. EcoInventos. <https://bit.ly/3fuK7Nx>
- Ecuatran. (2018). *Energía fotovoltaica en el Ecuador*. Ecuatran. <https://bit.ly/3fuGU0r>
- EcuRed. (2019). *Iluminación*. <https://bit.ly/307uZPK>
- Edbar. (2019). *Espectro electromagnético*. Wordpress. <https://bit.ly/30bsAUK>
- El Día. (2016, abril 24). La importancia de la iluminación exterior. *El Día*. <https://bit.ly/2ZqqosN>
- Electricidad, S. (2015). *¿Cómo funciona un foco LED?* Sector Electricidad. <https://bit.ly/2PSUC23>
- Energy, S. (2010). *Preguntas frecuentes sobre la energía solar y paneles solares*. Sol Energy. <https://bit.ly/38VYPdV>
- Fernández, G. (2015). *El efecto fotoeléctrico*. <https://bit.ly/329ZwNU>
- Giménez, B., Antón, M., Villa, P., & María, R. (2019). *Luminotecnia: Magnitudes fotométricas básicas*. <https://bit.ly/3ew2iRL>
- Gonzalbes, M. (2015). *Estudio comparativo de tres sistemas aislados de diferente configuración*. Universidad Carlos III de Madrid.
- González Velasco, J. (2012). *Energías renovables* (REVERTÉ (ed.)).
- Gradella, M. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica - Sistemas Isolados e Conectados à Rede* (2.ª ed.).
- Gudel, J. M., & Gonzáles, P. (2012). *Instalaciones eléctricas interiores* (Marcombo).
- Guzmán Hernández, T. de J., Quiroz Vindas, G., & Araya Rodriguez, F. (2019). «*Producción más limpia y eficiencia energética: caso del uso de la energía solar*». <https://bit.ly/2Omeius>
- Isr. (2017a). *Conceptos básicos de diseño de iluminación interior*. <https://bit.ly/32gPUM5>
- Isr. (2017b). *Conceptos básicos de diseño de iluminación interior*. <https://bit.ly/32gPUM5>
- Khanh, T., Bodrogi, P., Vinh, Q., & Winkler, H. (2015). *LED Lighting: Technology and Perception*. (WILEY-VCH (ed.)).
- LedTecnología. (2016). *Diferencias entre Lámparas Incandescentes, Fluorescentes y Led*. LedTecnología. <https://bit.ly/2WI3QYt>
- LIGHT PRO, P. (2017). *Conceptos básicos de diseño de iluminación interior*. <https://bit.ly/32gPUM5>
- Linden, D., & Reddy, T. (1995). *Handbook of Batteries* (3.ª ed.).
- Mascarós, V. (2015). *Instalaciones generadoras fotovoltaicas* (Paraninfo (ed.)).
- Méndez, J., & Cuervo, R. (2011). *Energía solar fotovoltaica* (F. Editorial (ed.); 2.ª ed.).
- Monsolar. (2019). *Paneles solares fotovoltaicos*. Monsolar. <https://bit.ly/3gSXUxl>
- Montalvo Ureta, D. (2016). *Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Montiel, K. (2011). *Iluminación*. <https://bit.ly/2XWLLAX>

- Morente, C. (2012). *Elaboración del material docente actualizado para curso on-line de iluminación*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Mpptsolar. (2019). *Regulador de carga solar fotovoltaico*. Mpptsolar. <https://bit.ly/38WPT0J>
- Núñez, F. (2013a). *Estudio de factibilidad para la generación solar fotovoltaica de 1MW con conexión a la red de M.T. en la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Núñez, F. (2013b). *Estudio de factibilidad para la generación solar fotovoltaica de 1MW con conexión a la red de M.T. en la ESPOCH*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- ONU, O. de las N. U. (2019). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf
- Ortíz, M. C. (2014). *La tecnología LED*. <https://bit.ly/3ewSkQf>
- Pannellisolarifv. (2019). *Vida útil de los paneles solares fotovoltaicos*. Pannellisolarifv. <https://bit.ly/32gKBDb>
- Pareja Aparicio, M. (2010). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada* (2.ª ed.). MARCOMBO.
- Roldán Vilorio, J. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. PARANINFO.
- Sánchez, E. S., & Laboratorios, R. (2019a). *Conceptos básicos de luminotecnia*. <https://bit.ly/3fsrQAs>
- Sánchez, E. S., & Laboratorios, R. (2019b). *Conceptos básicos de luminotecnia*. <https://bit.ly/3fsrQAs>
- Sánchez, E. S., & Laboratorios, R. (2019c). *Conceptos básicos de luminotecnia*. <https://bit.ly/3fsrQAs>
- Sánchez, E. S., & Laboratorios, R. (2019d). *Conceptos básicos de luminotecnia*. <https://bit.ly/3fsrQAs>
- Segob. (2014). *Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales*. Secretaría de gobernación. <https://bit.ly/2WjIprY>
- Solar, Energá. (2015). *¿Qué es la radiación solar?* Energía Solar. <https://bit.ly/30dk1Z9>
- Solar, Energía. (2017a). *¿Qué es la radiación solar? | Energía solar*. Energía Solar. <https://bit.ly/30dk1Z9>
- Solar, Energía. (2017b). *Instalaciones fotovoltaicas autónomas*. Energía Solar. <https://bit.ly/308VsfY>
- Solar, Energía. (2019). *La energía solar*. Energía Solar. <https://bit.ly/397rIK1>
- Soluciones, A. (2019). *Vida útil de una lámpara LED, ¿Qué es y cómo se calcula?* Ambiente Soluciones. <https://bit.ly/2DCsl7v>
- Sunfields. (2019). *Tipos de placas solares*. Sunfields. <https://bit.ly/2OIIQMS>
- SunSupply. (2017). *Diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos*. SunSupply. <https://bit.ly/2B08gfW>
- Tobajas Vásquez, C. (2015a). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (E. de la U (ed.)).
- Tobajas Vásquez, C. (2015b). *Instalaciones solares fotovoltaicas*.

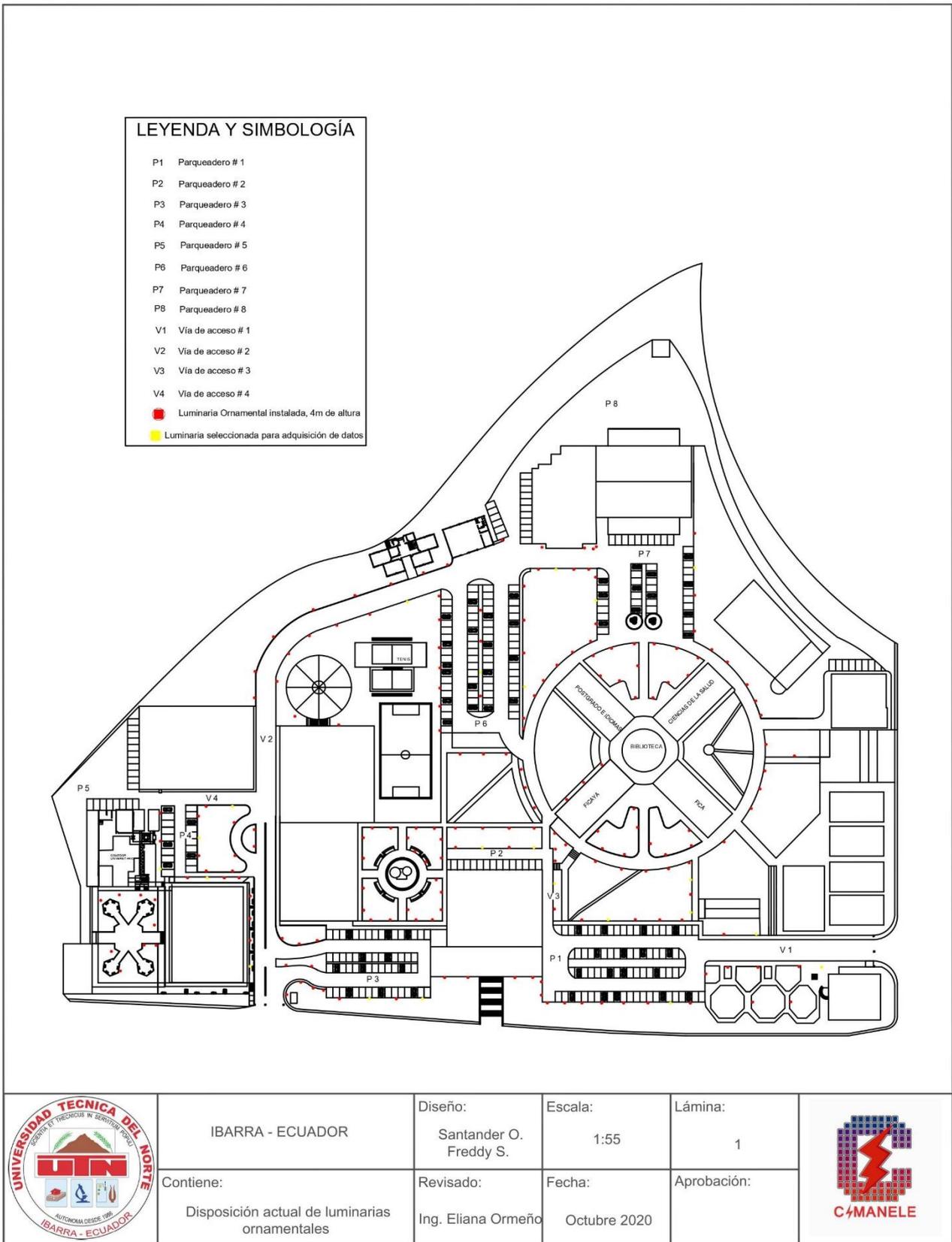
- Trilux. (2015). *Rendimiento luminoso: Conocimientos para los expertos de iluminación*. Trilux. <https://bit.ly/2Opausr>
- UTN, U. T. del N. (2017). *Nuestros campus*. Universidad Técnica del Norte. <https://bit.ly/2Ez5eko>
- Vargas, A. (2015). *Sistema de medición y análisis de iluminancia en vías*.
- Viñán, J., Puente, M., Ávalos, J., & Córdova, J. (2018a). *Proyectos de inversión: Un enfoque práctico*.
- Viñán, J., Puente, M., Ávalos, J., & Córdova, J. (2018b). *Proyectos de inversión: Un enfoque práctico*.
- Young, H., & Freedman, R. (2009). Física Universitaria: Con Física moderna. En *Física Universitaria: Con Física moderna* (12.ª ed., p. 1143).

ANEXOS

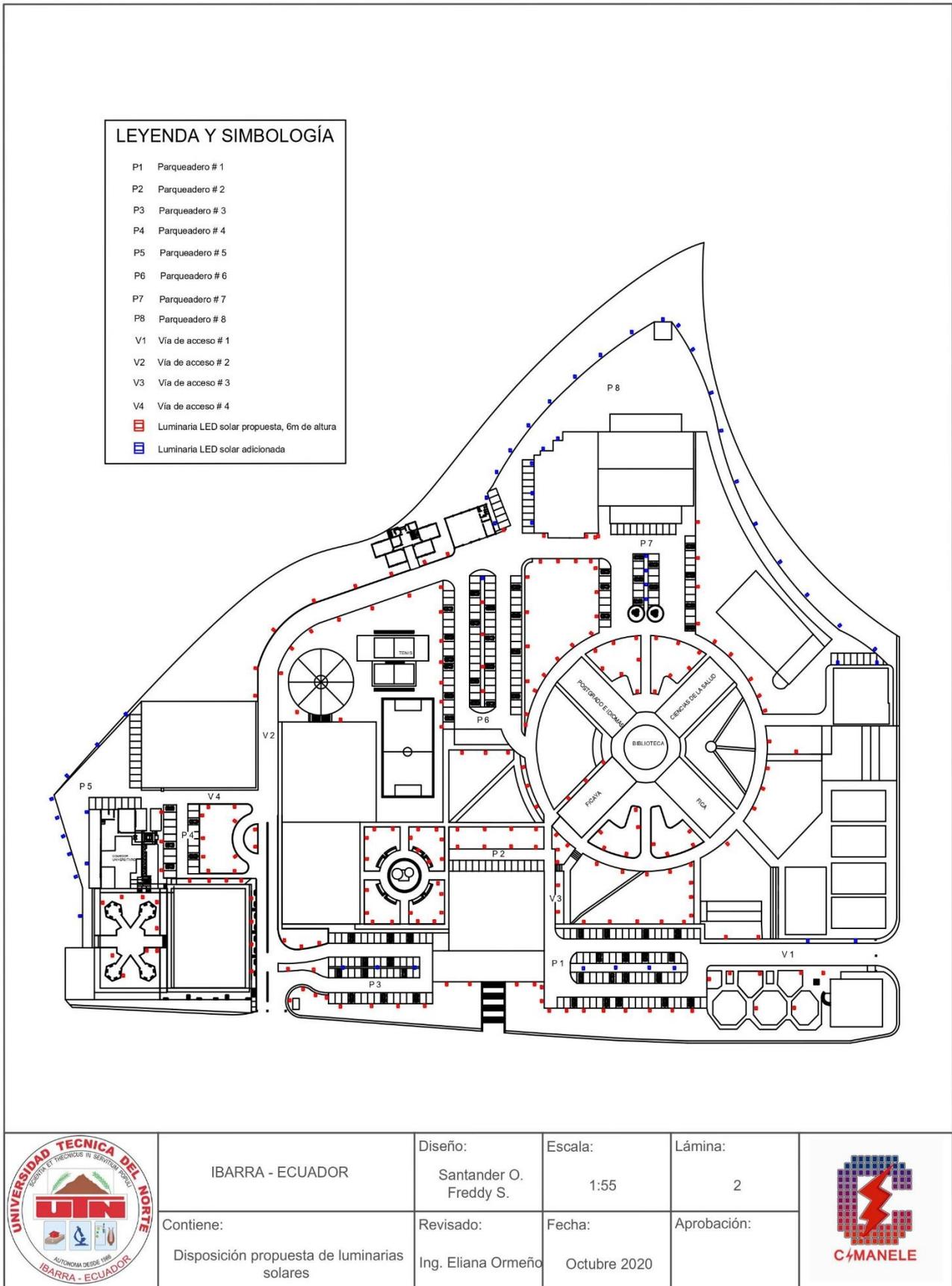
ANEXO A: Diseño campus “El Olivo” de la Universidad Técnica del Norte en el software AutoCAD



ANEXO B: Disposición actual de luminarias ornamentales instaladas



ANEXO C: Disposición propuesta de luminarias solares en el campus universitario



ANEXO D: Datos de iluminación en parqueaderos de la UTN

Parqueadero 1											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	2,6	3,8	1,8	3,2	5	2,1	2,7	7,8	2,3	3,95	2,2
L2	0,7	0,2	0,2	0,8	0,3	0,7	0,5	0,3	0,9	0,46	
Parqueadero 2											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	9,1	3,6	2,3	10,8	4	9,7	8,5	3,9	9	6,3	5,4
L2	1,7	4,2	8,9	4,4	3,2	7,2	3,2	3	8,1	4,51	
Parqueadero 3											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	4,2	4,3	6,4	5,9	6,7	6,8	7,2	2,6	9,4	5,82	5,46
L2	4,4	4,5	2,2	5,7	4,1	8,3	9,1	1,2	8,6	5,1	
Parqueadero 4											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	8,6	1,9	0,7	4,9	1,4	0,7	1,4	0,9	0,5	2,1	1,98
L2	0,6	2,3	1,2	3,9	1,8	1,1	2,6	1,5	0,7	1,86	
Parqueadero 5											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	8,5	11,9	2,5	4,1	13,9	4	7,3	7,4	4,6	8,33	7,82
L2	7,6	8,3	6,1	7,4	9,4	5,2	5,3	6,9	4,8	7,31	
Parqueadero 6											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	1,5	3,4	1,6	3,6	2,5	1,5	2,5	1,4	1,6	2,31	2,42
L2	0,7	3,5	0,8	7,2	2,9	0,6	1,3	1,6	0,5	2,54	
Parqueadero 7											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	1,6	4,2	0,7	5	4,2	0,6	7,5	3,1	0,2	3,28	2,17
L2	0,4	0,8	0,9	4,3	0,5	0,6	1,2	0,3	0,5	1,06	
Parqueadero 8											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	17,3	15,8	12,1	6,3	13,5	8,6	1,3	3,8	4,7	9,9	9,3
L2	7,7	19,4	9,8	0,7	6,7	9,3	1,3	16,9	3	8,7	

ANEXO E: Datos de iluminación en vías de acceso de la UTN

Via Acceso 1											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	1,6	6,2	2,9	7	4,1	2,1	3,1	3,3	1,3	3,9	2,36
L2	1,5	1,6	0,5	1,3	0,7	0,3	0,8	0,6	0,2	0,83	
Via Acceso 2											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	1,6	6,2	1,1	4	5,2	1,8	1,9	2,7	3,2	3,62	7,21
L2	0,8	6,6	5,1	3,6	5,6	5,6	3,8	5,2	5,4	4,96	
L3	10,9	18,3	9,3	11,8	3,5	5,9	7,9	4,1	3,6	7,86	
Via Acceso 3											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	6,1	7,8	5,4	9,4	8,6	4,7	4,7	6,9	7,2	7,21	6,54
L2	5,1	7,4	4,3	6,2	4,6	8,5	5,9	4,7	6,9	5,88	
Via Acceso 4											
Puntos Luminarias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Em	EG
L1	6,3	10,6	8,9	10,5	12,8	13,7	3,8	6,4	6,9	9,96	8,13
L2	5,2	6,3	3,2	7,6	6,6	5,8	7,2	5,1	9,2	6,3	

ANEXO F: Verificación de requerimientos luminotécnicos

Proyecto de Iluminación exterior UTN

DIALux

Terreno 1

Objetos de cálculo

Planos útiles

Propiedades	E (Nominal)	E _{min}	E _{max}	g ₁	g ₂	Índice
Plano útil (Parqueadero 6) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	10.2 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.15 lx	37.6 lx	0.015	0.004	S1
Plano útil (Parqueadero 3) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	13.6 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.39 lx	38.2 lx	0.029	0.010	S2
Plano útil (Parqueadero 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	12.4 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.27 lx	49.2 lx	0.022	0.005	S3
Plano útil (Parqueadero 7) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	11.4 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.30 lx	71.6 lx	0.026	0.004	S4
Plano útil (Parqueadero 2) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	10.1 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.71 lx	50.1 lx	0.070	0.014	S5
Plano útil (Parqueadero 4) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	13.5 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.82 lx	40.3 lx	0.061	0.020	S6
Plano útil (Parqueadero 8) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	10.9 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.14 lx	34.1 lx	0.013	0.004	S7
Plano útil (Va acceso 3) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	28.1 lx (≥ 10.0 lx) ✓	7.76 lx	59.9 lx	0.28	0.13	S8
Plano útil (Va acceso 1) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	10.3 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.72 lx	25.4 lx	0.070	0.028	S9
Plano útil (Va acceso 4) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	15.3 lx (≥ 0.00 lx) ✓	3.79 lx	32.5 lx	0.25	0.12	S10
Plano útil (Parqueadero 5) Iluminancia perpendicular (Adaptativamente) Altura: 0.800 m, Zona marginal: 0.000 m	10.2 lx (≥ 10.0 lx) ✓	0.14 lx	33.2 lx	0.014	0.004	S11

ANEXO G: Cotización de luminarias solares (LTE-AIT-040F)



LUX-TECH ENERGY CO., LTD.

No. 18 Changwu road, Changzhou city, Jiangsu province, China.

Cotizacion para 40W AIT Luminarias solares de la calle (LTE-AIT-040F)



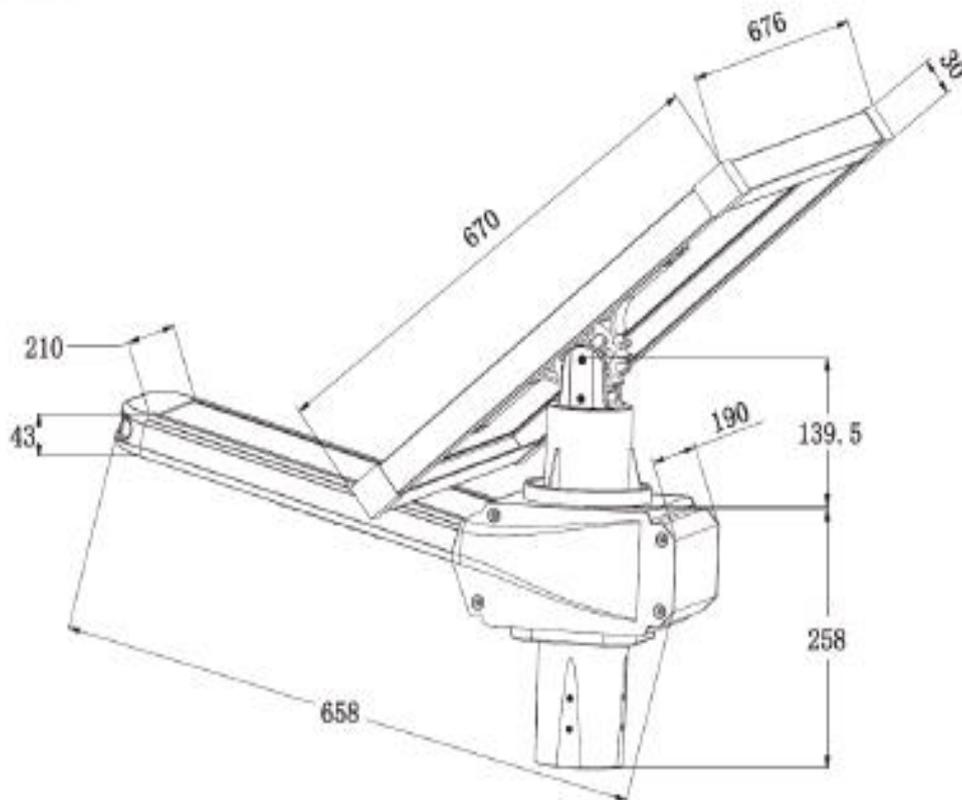


LUX-TECH ENERGY CO., LTD.

No. 18 Changwu road, Changzhou city, Jiangsu province, China.

Cotizacion para 40W AIT Luminarias solares de la calle (LTE-AIT-040F)

Introducción:



Sistema de soporte de apoyo:

Rotated 360° horizontally
Rotated 240° vertically





LUX-TECH ENERGY CO., LTD.

No. 18 Changwu road, Changzhou city, Jiangsu province, China.

Cotizacion para 40W AIT Luminarias solares de la calle (LTE-AIT-040F)



Articulo No.	LTE-AIT-040F
Panel solares	70W/18V MONO
LED	40W/12V, BridgeLux 3535, 45Mil
Cantidad de LED	60pcs
La vida util del LED	Más de 50000 horas
Flujo luminoso	6000lm
La temperatura de color	3000K~6500K
CRI	>75
Toda la lente de angulo	140° *75°
Bateria	30Ah/12V El litio
El modo de trabajo	Light + time + Sensor control + APP
Tiempo de descarga	12 horas / día, 5 - 7 días de lluvia
Modo de tiempo de iluminación	Primeros 6 horas: 100% sensor/30s + 50% Izquierda de 6 horas: 60% sensor/30s + 30%
Tiempo de carga	6-8h(AM 1.5, 1000W/m ² ,25℃
Material de Shell	Aluminum die-casting
Temperatura de trabajo	-25℃~60℃
Grado de proteccion	IP65
Altura de la instalación	6-8m
Pole distancia	25-35m
Tamaño del panel solar	670*676*45mm
Tamaño de cuerpo de la lampara	650*220*200mm
Panel solar de tamaño de la caja	730*736*80mm
Tamaño de la caja de luz	740*270*300mm
Neto Peso / Bruto peso	17.0kgs/18.0kgs



LUX-TECH ENERGY CO., LTD.

No. 18 Changwu road, Changzhou city, Jiangsu province, China.

Dentro de la estructura





LUX-TECH ENERGY CO., LTD.

No. 18 Changwu road, Changzhou city, Jiangsu province, China.

Cotización para 40W AIT Luminarias solares de la calle (LTE-AIT-040F)

Modo de tiempo de trabajo:

Control de la luz: Se enciende al atardecer, Apagar cuando el amanecer.

Control de sensor: De iluminación en 24:00pm:

Si tiene movimiento, 100% de potencia de iluminación, última 20-30s,

Otra estancia en 50% de potencia de iluminación.

De 00: 00am a amanecer, en este periodo de tiempo:

Si tiene movimiento, 60% de potencia de iluminación, última 20-30s,

Otra estancia en 30% de potencia de iluminación.

Totalmente puede durar 5-7 días lluviosos o nublados como copia de Seguridad.



Total costo:

Modelo	Precio por unidad (USD)	Unid	Precio total (USD)	Observaciones
40W AIT Luminarias solares de la calle (LTE-AIT-040F)	165USD	260	42,900USD	
Total FOB:			42,900USD	
Seguro Marítimo:			150USD	
20GP Costo de flete marítimo a Guayaquil, Ecuador:			2,400USD	27CBM
Total CIF Guayaquil, Ecuador:			45,450USD	

Observaciones:

1. La oferta es válida antes de 30 de Septiembre de 2020.
- 2.El costo del flete marítimo es sólo válido antes del 31 de Agosto de 2020.
3. Partida de pago: TT, 30% depósito, el equilibrio contra la copia de B/L.
4. Tiempo de entrega: 20 días después de recibir el depósito.
5. Garantía: 5 años.
6. Se tarda alrededor de 36 días en llegar a Guayaquil, Ecuador.