

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE
TRUJILLO
BENEDICTO XVI**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECANICO
ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ILUMINACIÓN LED PARA
ALUMBRADO RURAL PÚBLICO EN LA LOCALIDAD DE CONACHE, DISTRITO
DE LAREDO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR:

**Br. RICARDO FERNANDO SANCHEZ NUÑEZ.
Br. JOSE MANUEL CALVO CAMPOS.**

ASESOR:

Mg. EDWIN VALDERRAMA CAMPOS.

**TRUJILLO, PERÚ
2019**

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, por darnos la vida y permitirnos llegar a este momento importante en nuestra formación profesional.

A mis padres, por ser el reflejo de Dios en nuestras vidas y por demostrarnos siempre su infinito amor y apoyo, sin importar diferencias de opiniones y de nuestra distancia física, siento que están conmigo.

A mi esposa e hijo, por el amor infinito y por ser el soporte emotivo en mi vida, porque sin ellos no habiéramos logrado esta meta.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida y por ser mi guía en cada paso que doy, por hacer latir mi corazón e iluminar mi mente y por haberme hecho compartir mi camino con a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, quienes dieron todo por verme feliz, por haber puesto en mi sus esperanzas y energías. Gracias por la vida y por los consejos, espero de corazón retribuirles todo el esfuerzo y sacrificios invertidos para hacerme un hombre de bien.

A todos mis maestros y amigos, en forma especial a los que, participaron en la ejecución de este trabajo, a quienes hago extensivo todo mi agradecimiento.

Autoridades Académicas

Mons. Dr. Miguel Cabrejos Vidarte, OFM

Gerente General

Fundador y Gran Canciller

R.P. Fray Dr. Juan José Lydon Mc Hugh, OSA

Rector y Vice Gran Canciller

Dra. Sandra Olano Bracamonte

Vicerrectora Académica y Decana de la Facultad de Ciencias de la Salud

R.P.. Dr. Alejandro Preciado Muñoz

Director encargado de la Escuela Posgrado

Ph. D. Dr. Carlos Alfredo Cerna Muñoz

Decano Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas

Ph. D. Dr. Carlos Alfredo Cerna Muñoz

Decano Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas

Director encargado del Instituto de Investigación

Dra. Silvia Ana Valverde Zavaleta

Decano Facultad de Humanidades

R.P. Dr. José Luis Villacorta Nuñez

Decano Facultad de Teología

Mg. Pamela Granda Yovera

Decano encargado de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas

Dr. Luis Alberto Acosta Sanchez

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Mg. Andrés Cruzado Albarrán

Secretario General



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO

ACTA DE EVALUACIÓN DE TITULACIÓN PROFESIONAL POR PRESENTACIÓN, SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Trujillo, a los 16 días del mes de Agosto del 2019, siendo las 11:00 horas se reunieron los miembros del Jurado designado por la Facultad de INGENIERIA Y ARQUITECTURA

para evaluar el Examen de Titulación Profesional de Licenciado(a) en

INGENIERIA MECÁNICO ELÉCTRICA

(Indicar la Carrera Profesional)

Especialidad: _____

(De ser el caso)

mediante la Modalidad de Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis de(l) (la)

Bachiller: CALVO CAMPOS JOSE MANUEL

(Apellidos y Nombres)

quien desarrolló el la Tesis Titulada:

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ILUMINACION LED
PARA ALUMBRADO RURAL PUBLICO EN LA LOCALIDAD
DE LOVACHE DISTRITO DE LAREDO DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) mencionado(a) Bachiller fue

APROBADO por EXCELENCIA
(Aprobado o desaprobado= menos de 14) (En caso de ser aprobado: Excelencia, o distinción o aprobado)

emitiéndose el calificativo final de DIECINUEVE 19
(Letras) (Números)

Siendo las 12:00 horas concluyó la sesión, firmando los miembros del Jurado.

Presidente: Mg. Alba Reyes Luis
(Dr. Mg. o Lic) (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Secretario: Mg. Saldoña Milla Fernando
(Dr. Mg. o Lic) (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Vocal: Mg. Valderriama Campos Edwin
(Dr. Mg. o Lic) (Apellidos y Nombres)

(Firma)

24



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO

ACTA DE EVALUACIÓN DE TITULACIÓN PROFESIONAL POR PRESENTACIÓN, SUSTENTACIÓN Y APROBACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Trujillo, a los 16 días del mes de Agosto del 2019, siendo las 11:00 horas se reunieron los miembros del Jurado designado por la Facultad de INGENIERIA Y ARQUITECTURA para evaluar el Examen de Titulación Profesional de Licenciado(a) en INGENIERIA MECANICO ELÉCTRICA

(Indicar la Carrera Profesional)

Especialidad: _____

(De ser el caso)

mediante la Modalidad de Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis de(l) (la)

Bachiller: SANCHEZ NUÑEZ RICARDO FERNANDO

(Apellidos y Nombres)

quien desarrolló el la Tesis Titulada:

DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ILUMINACION LED PARA ALUMBRADO RURAL PUBLICO EN LA LOCALIDAD DE CONACHE DISTRITO DE LAREDO DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) mencionado(a) Bachiller fue

APROBADO por EXCELENCIA
(Aprobado o desaprobado= menos de 14) (En caso de ser aprobado: Excelencia, o distinción o aprobado)

emitiéndose el calificativo final de DIECINUEVE 19
(Letras) (Números)

Siendo las 12:00 horas concluyó la sesión, firmando los miembros del Jurado.

Presidente: Mg. Alvo Reyes Luis
(Dr. Mg. o Lic) (Apellidos y Nombres)

[Firma]
(Firma)

Secretario: Mg. Saldaña Milla Fernando
(Dr. Mg. o Lic) (Apellidos y Nombres)

[Firma]
(Firma)

Vocal: Mg. Valderrama Campos Edwin
(Dr. Mg. o Lic) (Apellidos y Nombres)

[Firma]
(Firma)

24

DECLARATORIA DE LEGITIMIDAD DE AUTORIA

Nosotros, Calvo Campos José Manuel con DNI 18113623, Sanchez Núñez Ricardo Fernando con DNI. 18097243, bachilleres de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, damos fe que hemos seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Universidad, para la elaboración y sustentación de la tesis: DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CON ILUMINACIÓN LED PARA ALUMBRADO RURAL PÚBLICO EN LA LOCALIDAD DE CONACHE, DISTRITO DE LAREDO, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD; La que consta de un total de 80 páginas, en las que se incluyen 37 tablas y 28 figuras, más un total de 49 páginas en apéndices. Dejo constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaro bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a nuestra autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizo que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo los errores que pudieran reflejar como omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, redacción u otros. Lo cual es de mi entera responsabilidad. Declaro también que el porcentaje de similitud o coincidencias respecto a otros trabajos académicos es de 20 %. Dicho porcentaje, son los permitidos por la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI.

Los Autores

José Manuel Calvo Campos

DNI. 18113623

Ricardo Fernando Sánchez Núñez

DNI. 18097243

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN	16
Capítulo I.....	17
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. Fundamentación del problema	17
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo General	18
1.3.2. Objetivos Específicos.....	18
1.4. Justificación de la investigación.....	18
Capítulo II	20
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	20
2.1. Marco teórico	20
2.2. Marco Conceptual	24
2.2.1. Introducción a los sistemas fotovoltaicos.....	24
2.2.2. Luminarias tradicionales vs luminarias LED	34
2.2.3. Normatividad relevante en alumbrado público	36
2.2.3.1. Niveles de iluminación exigidos en alumbrado público.....	36
2.2.3.2. Alumbrado público de vías rurales.....	39
2.2.4. Metodología de cálculo de iluminancia.....	40
2.2.5. Efecto de luminancia.....	46
2.2.5.1. Coeficiente de luminancia.....	46
2.2.5.2. Cálculo de luminancia promedio sobre la vía	48
2.2.5.4. Factor de uniformidad media de luminancia o iluminancia:	50
2.2.5.5. Factor de uniformidad longitudinal de luminancia:	50
2.2.5.6. Incremento de Umbral TI (%):.....	50
2.3. Variables	52
2.3.1. Definición operacional	52
2.3.2. Operacionalización.....	53
Capítulo III.....	54
METODOLOGÍA	54
3.1. Tipo de investigación	54

3.2.	Métodos de investigación.....	54
3.3.	Diseño de investigación	55
3.4.	Población y muestra	55
3.5.	Técnicas e instrumentos de recojo de datos	55
3.6.	Aspectos éticos.....	56
Capítulo IV.....		57
RESULTADOS.....		57
4.1.	Evaluación del recurso solar	57
4.1.1.	Ubicación del proyecto.....	57
4.1.2.	Radiación solar de la zona de estudio	58
4.2.	Demanda de energía y cargas eléctricas a alimentar	60
4.2.1.	Cálculos luminotécnicos	60
4.2.2.	Luminaria seleccionada.....	61
4.3.1.	Cálculo y selección de batería.....	65
4.3.2.	Cálculo de potencia mínima del generador fotovoltaico.....	66
4.3.3.	Cantidad y tipo de paneles solares	66
4.3.4.	Cálculo y selección del regulador de carga	67
4.3.5.	Cálculo y selección de conductores eléctricos	68
4.4.	Análisis económico	69
4.4.1.	Producción de energía esperada	69
4.4.2.	Evaluación económica financiera.....	71
4.4.2.1.	Cálculo de los ingresos.....	71
4.4.2.2.	Estimación de la inversión	73
4.4.2.3.	Flujo de caja proyectado con sistema propuesto	75
4.4.3.	Análisis e interpretación de resultados	76
Capítulo V.....		77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		77
5.1.	Conclusiones	77
5.2.	Recomendaciones.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79
ANEXOS.....		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Comparación entre las lámparas LED y las lámparas convencionales.	35
Tabla 2.2: Identificación de tipos de calzada	37
Tabla 2.3: Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento	37
Tabla 2.4: Niveles de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento	38
Tabla 2.5: Uniformidad de luminancia.....	39
Tabla 2.6: Uniformidad media de iluminancia.....	39
Tabla 2.7: Niveles de iluminancia y uniformidad media de iluminancia	40
Tabla 2.8: Índice de control de deslumbramiento (G).....	52
Tabla 2.9: Operacionalización de variables	53
Tabla 3.1: Instrumentos de recojo de datos	56
Tabla 4.1: Coordenadas de ubicación del proyecto.....	57
Tabla 4.2: Datos de radiación solar – zona de proyecto.....	59
Tabla 4.3: Clases de iluminación para vías vehiculares.....	60
Tabla 4.4: Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada.	61
Tabla 4.5: Alternativas de Luminarias analizadas del fabricante Schröder.....	61
Tabla 4.6: Consumo energético diario proyectado.....	62
Tabla 4.7: Parámetros de diseño y cálculo.	64
Tabla 4.8: Características técnicas de baterías solares.	66
Tabla 4.9: Características técnicas de panel solar seleccionado.....	67
Tabla 4.10: Características técnicas el regulador seleccionado.....	68
Tabla 4.11: Resumen de cálculo de conductores eléctricos.	69
Tabla 4.12: Conductores de Cu NPT.	69
Tabla 4.13: Comparación de la proyección de demanda de energía mensual.	70
Tabla 4.14: Ahorro de energía planteado con nuestro sistema proyectado.	72
Tabla 4.15: Análisis de costos por punto de iluminación para ambas alternativas de solución. Tipo de cambio utilizado: 3,28	74
Tabla 4.16: Flujo de caja proyectado para el A.P. Propuesto (sistema fotovoltaico - iluminación LED).....	88
Tabla 4.17: Flujo de caja proyectado para el A.P. Convencional (alimentado con corriente alterna de red de HIDRANDINA S.A.)	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Panel solar monocristalino de 225 W (LG Solar, 2003).....	25
Figura 2.2: Curva característica para un módulo fotovoltaico (Fuente: Simec Chile SRL).....	26
Figura 2.3: Tipos de baterías para energía solar.....	28
Figura 2.4: Regulador de carga (Fuente: Catálogo fabricante Steca).....	29
Figura 2.5: Inversor monofásico conectado a red con datalogger integrado.....	30
Figura 2.6: Luminaria LED Solar Teceo 1 53W	30
Figura 2.7: Energía solar incidente departamento La Libertad.	31
Figura 2.8: Tipos de radiación sobre una superficie.	33
Figura 2.9: Mapa de Irradiación Horizontal de Sudamérica.	34
Figura 2.10: Impacto del cambio de luminarias de vapor de sodio por tecnología LED en la Plaza de Armas de Trujillo, Perú (Fuente: www.cambioenergetico.com / Propia)	36
Figura 2.11 Parámetros para calcular la iluminancia en el punto “P”	41
Figura 2.12: Cálculo de la iluminación promedio, método de los nueve puntos.	42
Figura 2.13: Selección de los 09 puntos según disposición de las luminarias.	43
Figura 2.14: Determinación y curvas del coeficiente de utilización (K).....	44
Figura 2.15: Determinación de K, luminaria sobre la calzada.	44
Figura 2.16: Determinación de K, luminaria sobre la calzada.	45
Figura 2.17: Determinación de K, luminaria sobre la acera.....	45
Figura 2.18: Determinación de K, localización bilateral alternada (tres bolillos).....	45
Figura 2.19: Parámetros por considerar en cálculo de luminancia Fuente: Retilap, 2010	47
Figura 2.20: Campo de cálculo de la luminancia de la calzada. Fuente: Retilap, 2010	48
Figura 2.21: Posición de los puntos del cálculo de iluminación en un solo carril. Fuente: Retilap, 2010.....	48
Figura 4.1: Ubicación de la zona de estudio. (Fuente: Google Maps, 2019)	57
Figura 4.2: Entorno de página Web de la Nasa para obtención de datos.	58
Figura 4.3: Variación de la radiación solar durante el año 2018.....	59
Figura 4.4: Luminaria LED seleccionada.....	62
Figura 4.5: Balance de energía proyectada.	70
Figura 4.6: Pliego Tarifario considerado para la zona del proyecto.....	72
Figura 4.7: Comparación de consumos de energía en A.P, Proyectado Vs. Sistema convencional equivalente.	73

RESUMEN

La energía en la actualidad tiene mucha importancia para la operación en los distintos sectores de la economía de las poblaciones, siendo dentro de todas, la electricidad una de las más empleadas para las industrias. Para la producción de la energía eléctrica se tienen diferentes fuentes llamadas primarias y secundarias, siendo la proveniente de combustibles fósiles la de mayor utilización. El impacto ambiental ocasionado por el uso y transformación de las fuentes de energía llamadas “convencionales”, ha producido una concientización por parte de los gobiernos sobre la necesidad de utilizar fuentes de energía que minimicen dichos impactos conllevando a ello al uso de fuentes de energía denominadas renovables dentro de las que destaca la energía fotovoltaica.

Actualmente nuestro país realiza grandes esfuerzos por normar y reglamentar los sistemas fotovoltaicos, sobre todo en lo que respecta a sistemas conectados a red, teniendo en cuenta también que se han efectuado diversos proyectos fotovoltaicos en diferentes regiones.

En lo que respecta a los sistemas de iluminación LED las empresas eléctricas poco a poco están tomando en cuenta que en el mediano plazo no solamente resulta más rentable el uso de esta tecnología, sino que técnicamente aportan muchas mejoras en la iluminación, en este caso de vías públicas. A ello se suma la durabilidad de las luminarias con esta tecnología, lo que hace más atractivo su uso.

Por otra parte, si a lo anteriormente dicho se le incluye el uso de sistemas fotovoltaicos aumenta considerablemente su rentabilidad produciéndose en el tiempo una poderosa razón por la cual ir sustituyendo los sistemas de iluminación tradicional por sistemas LED.

Nuestra investigación demuestra la rentabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos para alimentar unidades de alumbrado con luminarias *LED* para una aplicación específica en la localidad de Conache ubicada en el distrito de Laredo, provincia de Trujillo y departamento de La Libertad.

En el capítulo primero se describe el Problema de investigación en donde se ve la realidad problemática, formulación del problema, justificación e importancia y objetivos.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico que comprende una breve introducción básica a los sistemas de iluminación con tecnología *LED*, la normatividad en

alumbrado público, aspectos y definiciones de alumbrado y se describe metodologías de cálculo diversas para el propósito de nuestro estudio.

En el tercer capítulo se hace referencia al marco metodológico que comprende tipo y diseño de investigación, población y muestra, entre otros aspectos.

En el cuarto capítulo se describe el análisis e interpretación de los resultados que comprende el sistema fotovoltaico su dimensionamiento, así como los cálculos lumínicos necesarios, estudio de rentabilidad y discusión de resultados.

En el quinto capítulo se describe las conclusiones, recomendaciones, bibliografía, linkografía y anexos.

Palabras Claves: Sistema Fotovoltaico, Energía Eléctrica, Radiación Solar, Iluminación LED.

ABSTRACT

Energy today is very important for the operation of the various sectors of the economy of populations, being among all electricity one of the most used for industries. For the production of electrical energy there are different sources called primary and secondary, being the one from fossil fuels the most used. The environmental impact caused by the manipulation and transformation of these so-called "conventional" energy sources, has produced an awareness on the part of governments of the need to use energy sources that minimize these impacts, leading to the use of energy sources called renewable energies, among which photovoltaic energy stands out.

Currently, our country is making great efforts to regulate and regulate photovoltaic systems, especially with regard to systems connected to the grid, also taking into account that various photovoltaic projects have been carried out in different regions.

With regard to LED lighting systems, electricity companies are slowly taking into account that in the medium term not only the use of this technology is more profitable, but technically they bring many improvements in lighting, in this case public roads. Added to this is the durability of the luminaires with this technology, which makes their use more attractive.

On the other hand, if the above-mentioned is included the use of photovoltaic systems increases its profitability considerably, producing in time a powerful reason why to replace the traditional lighting systems with LED systems.

Our research demonstrates the profitability of the use of photovoltaic systems to power lighting units with LED luminaires for a specific application in the town of Conache located in the district of Laredo, province of Trujillo and department of La Libertad.

In the first chapter, the research problem is described, where problematic reality is seen, problem formulation, justification and importance and objectives.

The second chapter describes the theoretical framework that includes a brief basic introduction to lighting systems with LED technology, the regulations on public lighting, lighting aspects and definitions and describes various calculation methodologies for the purpose of our study.

In the third chapter, reference is made to the methodological framework that includes type and design of research, population and sample, among other aspects.

The fourth chapter describes the analysis and interpretation of the results that comprise the photovoltaic system, its dimensioning as well as the necessary lighting calculations, profitability study and discussion of results.

The fifth chapter describes the conclusions, recommendations, bibliography, linkography and annexes.

Key Words: Photovoltaic System, Electric Power, Solar Radiation, LED Lighting.