



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

PROPUESTA DE PROTOTIPO DE ALUMBRADO INTELIGENTE Y ESTUDIO LUMÍNICO EN EXTERIORES DE LA ERMITA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA, UTILIZANDO TECNOLOGÍA LIGHT EMITTING DIODE (LED)

Carlos Alfaro-Herrera

Piura, marzo de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Alfaro, C. (2018). *Propuesta de prototipo de alumbrado inteligente y estudio lumínico en exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, utilizando tecnología Light Emitting Diode (LED)* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“PROPUESTA DE PROTOTIPO DE ALUMBRADO INTELIGENTE Y ESTUDIO LUMÍNICO EN EXTERIORES DE LA ERMITA DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA, UTILIZANDO TECNOLOGÍA *LIGHT EMITTING DIODE (LED)*”.

Tesis para optar el Título de:
Ingeniero Mecánico Eléctrico.

CARLOS ALFREDO ALFARO HERRERA.

2018.

Dedicatoria:

A Edmundo Alfaro, Socorro Herrera, Nicolasa Reyes, Bienvenida Alza y Christina Reyes
los que siempre me apoyaron y lo siguen haciendo hasta el día de hoy.

Prólogo

La siguiente tesis de pregrado titulada: “Propuesta de prototipo de alumbrado inteligente y estudio lumínico en exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, utilizando tecnología *Light Emitting Diode (LED)*” fue desarrollada para proponer una mejora en el sistema de iluminación de los exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura y a la vez sugiriendo una metodología para el diseño de sistemas de iluminación LED junto con un prototipo de un sistema de alumbrado inteligente, cumpliendo con lo sugerido en las Normativas Técnicas Peruanas vigentes.

El estudio utiliza como referencia el sistema de alumbrado de los exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, pero como uno de los objetivos de la presente tesis se desea proponer una metodología adecuada para la replicación de este tipo de sistemas junto con la mejora de la eficiencia de los sistemas actuales.

Quiero agradecer enormemente a la Universidad de Piura, su personal e instalaciones, que permitieron y facilitaron el desarrollo de la presente tesis, en realizar las mediciones y experimentos en sus laboratorios correspondientes y un especial un agradecimiento a mi co-asesor Ing. Paul Ian Villar Yacila y a mi asesor Dr. Ing. Justo Ernesto Oqueli Cabredo, que me brindaron siempre su apoyo y guía para sacar adelante el siguiente proyecto de tesis.

Resumen

La siguiente tesis tiene como objetivo proponer una metodología para el desarrollo de un sistema de alumbrado con tecnología LED además de la presentación del prototipo de un sistema de control inteligente llegando a concluir que estos sistemas generarán un considerable ahorro energético.

El primer capítulo se centra en presentar los conceptos teóricos básicos para el mejor entendimiento de los diferentes términos a utilizar a lo largo de la tesis; el segundo capítulo se basa en describir a detalle el estado actual del sistema de iluminación de la ermita realizando una simulación, debidamente validada de forma experimental, del estado actual del sistema y así comparar los valores entregados de la simulación con los sugeridos en la Normativa Técnica Peruana; el tercer capítulo se centra en la descripción del sistema propuesto utilizando la tecnología LED, basándome en la simulación del sistema del segundo capítulo, se realizará el cambio de luminarias con las propuestas y así poder comparar los resultados luminotécnicos del estado actual con el propuesto; en el cuarto capítulo se presentará la propuesta de un prototipo de un sistema de alumbrado inteligente, para el control del consumo eléctrico en función a la presencia de personas; Finalmente, el quinto capítulo se presentan las conclusiones y sugerencias del estudio realizado, resaltando que el sistema propuesto mejora los parámetros lumínicos en comparación del sistema de iluminación actual que ve apreciado en el tercer capítulo; Además, con la propuesta del sistema de control inteligente, se aumenta la eficiencia del sistema de iluminación, disminuyendo el costo de la facturación correspondiente al alumbrado público.

Índice General

Introducción.....	1
1. Capítulo 1: Marco Teórico	3
1.1. Principios Fundamentales del Alumbrado Público.....	3
1.2. Instalación Eléctrica típica de un Sistema de Alumbrado Público	5
1.3. Sistemas de alumbrado.	7
1.3.1.La Luz.	7
1.3.2.Luminarias de alumbrado público.....	8
1.3.3.Lámpara	9
1.3.4.Conceptos de Luminotecnia.....	17
1.3.4.1. Conceptos Previos.	17
1.3.4.2. Propiedades Cromáticas de la Luz.....	26
1.4. Normativa vigente en proyectos de Alumbrado Público.	27
1.5. Sistemas de alumbrado público inteligente.....	27
1.5.1.Actualidad del alumbrado público en el Perú	27
1.5.2.Sistemas de control.	28
1.5.3.Sistema Propuesto.....	29
2. Capítulo 2: Estudio del estado actual del sistema de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.....	31
2.1. Descripción del sistema actual de iluminación.	31
2.1.1.Descripción del sistema de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura	31

2.1.2.Descripción del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita	35
2.2. Simulación lumínica del sistema actual.....	44
2.3. Resumen y evaluación de niveles de iluminación actuales.	48
2.3.1.Resultados de la simulación del sistema de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.....	50
2.3.2.Resultados de la simulación del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita.....	52
2.4. Resumen de resultados.	64
3.Capítulo 3: Estudio de la propuesta de sistema de iluminación utilizando tecnología LED.	65
3.1. Descripción del sistema.	66
3.1.1.Descripción del sistema propuesto de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.	66
3.1.2.Descripción del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita. ..	67
3.2. Simulación del sistema de iluminación propuesto.	68
3.3. Resumen y evaluación de niveles de iluminación actuales.	72
3.3.1.Resultados de la simulación del sistema de iluminación propuesto de la Ermita de la Universidad de Piura.....	73
3.3.2.Resultados de la simulación del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita.....	74
3.4. Resumen de resultados.	86
4. Capítulo 4: Diseño y propuesta de sistema de iluminación Inteligente.	87
4.1. Base Teórica.	87
4.1.1.Rectificador de onda completa controlado.	87
4.2. Diseño del sistema inteligente.	90
4.2.1.Descripción y diseño del sistema.....	90
4.3. Prototipo del sistema de alumbrado inteligente.....	103
4.3.1.Etapa de Gobierno	103
4.3.2.Etapa de Control.	104
4.3.3.Etapa de Potencia.....	105
4.4. Propuesta de sistema en los alrededores de la Ermita de la Universidad de Piura.	108
4.4.1.Calibración del sistema Inteligente.....	108
4.4.2.Resultados de la aplicación del sistema inteligente.	109
4.4.2.1. Calculo de ahorro energético.....	110

5. Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.	113
Bibliografía.....	115
ANEXO A: Plano de planta de la Ermita	117

Introducción

En la actualidad, los temas referidos al alumbrado público son muy importante en la vida de las personas, ya que nos brindan seguridad, calidez, confort; esto se remonta a la época de los primeros hombres, los cuales, por su condición de nómades, buscaban refugio alrededor de una fogata, lo cual les transmitía seguridad y calidez, ya que podían reconocer e identificar sus alrededores en las noches llenas de peligros. Esto quiere decir que, desde sus orígenes, requeríamos de un sistema de iluminación; que a lo largo de la historia se fueron aportando nuevos avances, llegando a la actualidad requiriendo diversos tipos de sistemas de iluminación para el desarrollo adecuado de la mayoría de las actividades nocturnas, desde la iluminación de los túneles para la orientación de los vehículos, hasta la iluminación de los ambientes internos de una vivienda, entre otra gama de sistemas de iluminación.

Pero no fue, sino hasta la invención de la bombilla incandescente por Thomas Alva Edison en 1879, donde se marcó un hito importante para el desarrollo en las tecnologías de iluminación, esta bombilla emitía luz por medio del calentamiento de un filamento, el cual al hacerlo emitía fotones de luz visible, los cuales se propagaban en el entorno. El desarrollo e innovación que se estaba presentando en el mercado permitió que se realicen nuevas investigaciones de nuevos sistemas de iluminación, entre las que tenemos: las bombillas de descarga de gas, bombillas de inducción y actualmente, aplicando la física de los semiconductores en los sistemas de iluminación, los sistemas utilizando tecnología *Light Emitting Diode (LED)*. Cabe resaltar que cada innovación y desarrollo de los sistemas se desea brindar nuevos productos con mayor eficiencia energética, liderando en el mercado actual la tecnología *LED*, la cual brinda una gama de productos con una mayor eficiencia luminosa y mayor tiempo de vida útil.

El objetivo principal de la tesis es proporcionar los conocimientos, pautas, requerimientos y recomendaciones adecuadas para el diseño óptimo de un sistema de alumbrado público, utilizando tecnologías actuales e innovadoras, teniendo como caso de estudio el alumbrado en los exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, sede Piura.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1. Principios Fundamentales del Alumbrado Público.

Desde que el hombre descubrió la posibilidad de hacer fuego, hemos tenido la oportunidad de iluminar nuestro mundo a voluntad, el fuego nos proporcionó calor y sobre todo seguridad. De igual manera, en la actualidad, las ciudades se convirtieron en un lugar más seguro para vivir desde que el alumbrado público se instaló en las calles. Este es el motivo por el cual las ciudades siguen invirtiendo en iluminación de exteriores. (Rosero, 1996)

El objetivo principal del alumbrado público es permitir el tráfico, tanto para conductores como para peatones, en horas de la noche o en áreas oscuras con niveles aceptables de seguridad y confort, esto permite mejorar la calidad de vida de las personas que se beneficien con este tipo de sistemas (Ángeles & De Jesús, 2009). Para conocer la operación de un sistema de alumbrado público debemos tomar en cuenta el comportamiento del Sistema Eléctrico Interconectado (SEIN), el cual se divide en tres etapas:

- Generación: Está conformada por todas las centrales de generación eléctricas a nivel nacional (térmicas, hidráulicas, gas, etc.) entregando la potencia eléctrica necesaria para abastecer la demanda nacional.
- Transmisión: Está conformada por un conjunto de elementos eléctricos (estaciones de transformación, estructuras de transmisión, conductores o líneas eléctricas, elementos de protección y maniobra, etc.), los cuales cumplen la función de transportar la energía eléctrica a grandes distancias, desde las centrales de generación hacia las diferentes ciudades o pueblos a los que se desea energizar, tomando en cuenta unos determinados parámetros que permitan la conservación de la calidad de la energía.

En esta etapa se pueden encontrar los siguientes niveles de tensión:

Tabla 1. Niveles de Tensión en los sistemas de transmisión en el Perú.

- 60 kV,	Alta Tensión
- 138 kV	
- 220 kV	
- 500 kV	Muy Alta Tensión.

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

Elaboración: Propia.

- Distribución: Está conformada por diversos elementos eléctricos (postes de transmisión, conductores, subestaciones de transformación, elementos de protección, maniobra, medición, etc.); los cuales permiten derivar la energía eléctrica para el consumo de los usuarios en una ciudad, urbanización, predios, etc. Los usuarios pueden ser de media o baja tensión, de suministro de energía monofásica o trifásica. Estos sistemas están subdivididos en:
 - Subsistemas de Distribución Primarios.
Conjunto de instalaciones eléctricas y subestaciones cuyas tensiones de servicio están comprendidas entre 1y 30KV
 - Subsistemas de Distribución Secundarios.
Conjunto de instalaciones eléctricas cuyas tensiones de servicio son menores a 1KV.

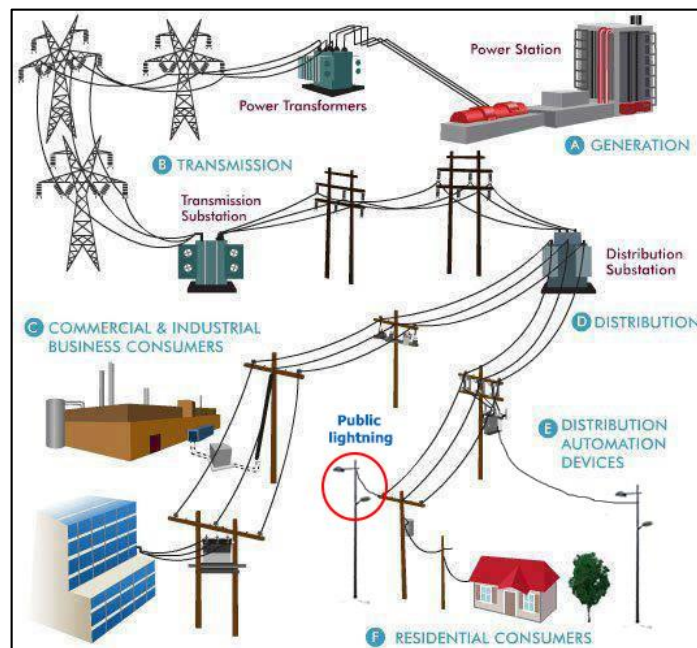


Figura 1. Etapas del Sistema Eléctrico Interconectado z
Fuente: (UNEFA, 2014)

- ## 1.2. Instalación Eléctrica típica de un Sistema de Alumbrado Público

En el circuito del sistema de alumbrado se utilizan dos protecciones, una trifásica y una bifásica, para la protección del circuito de alumbrado (trifásico) y para proteger el circuito de control del alumbrado determinado por el interruptor horario digital (monofásico).



Figura 3. Esquema de una Protección Termomagnética.
Fuente: (ABB, 2017)

- Un contactor trifásico, es un elemento de maniobra o mando que permite el cierre o apertura del circuito, siempre y cuando esté energizado uno de sus componentes llamado bobina de excitación, terminales A1 y A2 en la Figura 4, este elemento hace la función apertura y cierre de circuitos, lo cual permitirá la energización o desenergización del circuito de alumbrado público.

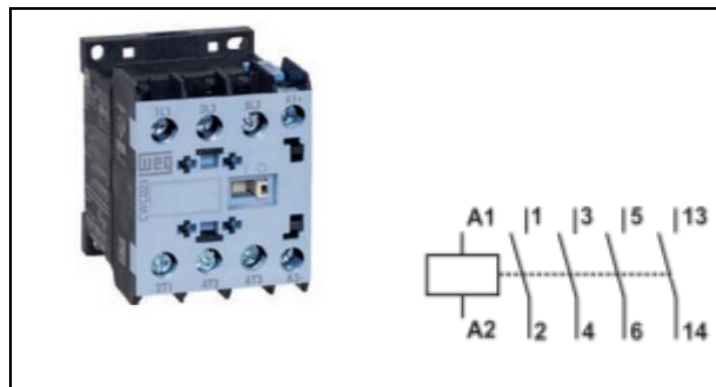


Figura 4. Esquema de Contactor Trifásico.
Fuente: (WEG, 2014)

- Un interruptor horario digital, siendo un elemento de control el cual posee un programa interno que se debe configurar introduciendo los datos de referencia (fecha, hora exacta y coordenadas geográficas). Este elemento se programa para entregar la energía a la bobina de excitación del contactor y así cerrar el circuito de alimentación del alumbrado, este cierre se programa para que se pueda desenergizar la bobina del contactor y así abrir el circuito de alumbrado público.

En conclusión, este elemento tiene la función de automatizar el encendido del alumbrado público en cierto rango de horas.



Figura 5. Esquema de Interruptor Horario.
Fuente: (Siemens, 2008)

Se utilizan las dos protecciones termomagnéticas, seleccionadas de manera adecuada, para derivar dos circuitos del ramal principal del tablero de distribución o de sus barras principales, en uno de estos circuitos derivados se utiliza una de la protección termomagnética trifásica, para resguardar el circuito aguas abajo y el contactor, el cual tendrá la función de la apertura o cierre de la energización del alumbrado público, en el segundo circuito se utiliza la protección termomagnética bifásica para proteger el interruptor horario, el cual servirá para el control del encendido del sistema.

El interruptor horario se debe configurar con los datos exactos de la zona donde se realizará la instalación del sistema de alumbrado público y debe estar conectada su salida de mando a la bobina de excitación del contactor, alimentándola con 220V o 440V la cual es brindada por la señal de mando del interruptor horario y depende de la tensión de alimentación del tablero.

El sistema de alumbrado se pone en marcha y se desenergiza en un rango de horas en función a ubicación geográfica, la cual es un dato de ingreso de la configuración del interruptor horario. Para tener más claro el comportamiento del alumbrado público, se debe estudiar el principio físico de todos los parámetros que lo involucran.

1.3. Sistemas de alumbrado.

1.3.1. La Luz.

La luz es una forma de radiación, originada por la vibración de los campos electromagnéticos, estas diversas vibraciones se pueden distribuir en un espectro electromagnético que se distribuye en función a la frecuencia de vibración de dichas ondas, donde la luz visible, es una pequeña porción de esta que puede ser percibida por el ojo humano.

Físicamente, la luz se produce cuando se expone un átomo a un estímulo externo, lo cual genera la excitación de electrones, que suben y bajan de un nivel de energía a otro, generando un gradiente de energía, este gradiente o también llamado paquete de energía se le denomina fotón, el cual es la partícula fundamental de todo tipo de radiación, las cuales se propagan en forma de ondas, brindándole a la luz su característica dual de partícula y onda a la vez. Esta radiación se puede encontrar en una gran variedad de frecuencias o longitudes de onda. Las longitudes de onda de radiaciones que se encuentran en el rango de 400 – 750nm pueden ser percibidas por el ojo humano. Este rango de longitudes de ondas se denomina Espectro Visible.

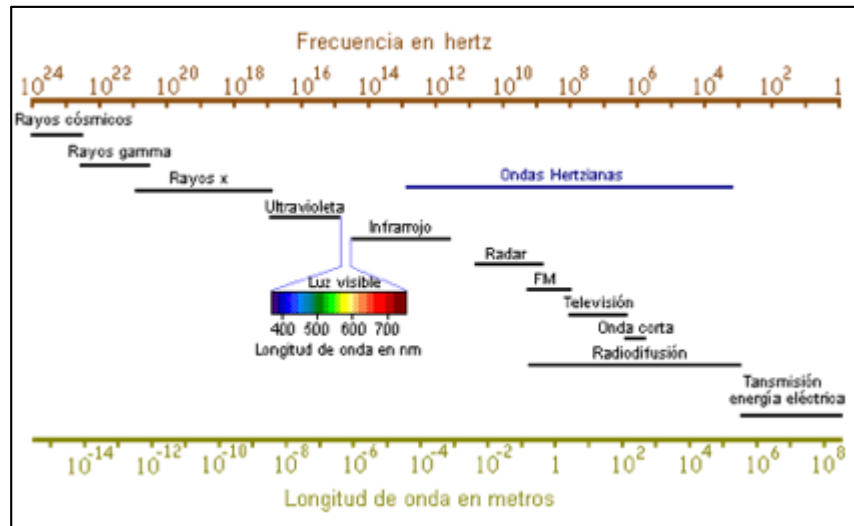


Figura 6. Espectro Electromagnético – Espectro Visible.

Fuente: (OSINERGMIN, 2013)

Adicionales al espectro visible, nos encontramos con una variedad de tipos de radiación en el espectro electromagnético, en la Figura 6, se pueden apreciar ondas de longitudes mayores (o de menor frecuencia) con respecto al espectro visible, entre las que podemos encontrar, las ondas infrarrojas, de radar, onda corta, etc. Y las ondas de longitudes menores (o de mayor frecuencia) con respecto al espectro visible, entre las que podemos encontrar, las ondas ultravioletas, los rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos.

1.3.2. Luminarias de alumbrado público

Una luminaria representa en sí un completo sistema de iluminación (Ibañez, 2013), cuya función es albergar a la fuente luminosa o lámpara y debe ser capaz de distribuir la luz que emite, adecuarla, filtrarla y transformarla; además, de albergar los elementos que requiera la mencionada lámpara para generar la emisión de luz.

Está constituido por un cuerpo o carcasa, portalámparas, en ocasiones balastro o un transformador y el sistema óptico compuesto por el reflector y según sea el caso, reflectores o difusores para controlar el deslumbramiento de la lámpara.

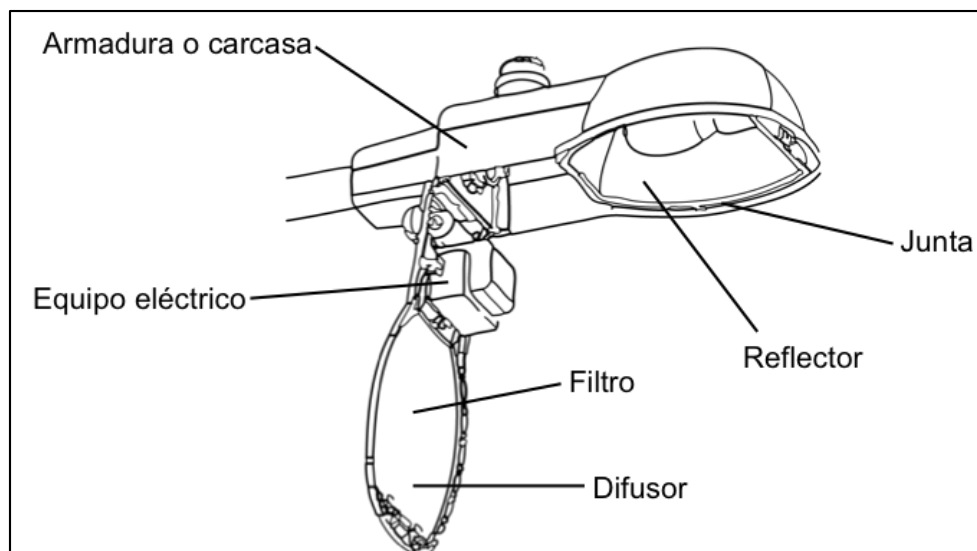


Figura 7. Estructura de una luminaria.

Fuente: (Ibañez, 2013)

1.3.3. Lámpara

Se denominan Lámpara o fuente de luz o fuente luminosa a todo cuerpo que emite radiación luminosa, siempre y cuando esta radiación esté referida en el espectro visible. Existen dos fenómenos los cuales caracterizan a las fuentes luminosas, las cuales son:

- Incandescencia:

Este fenómeno caracteriza a ciertas fuentes luminosas las cuales llegan a emitir luz ocasionada por energía calorífica, es decir, una fuente luminosa incandescente llega a emitir luz cuando se alcanza una cierta temperatura que depende de las características del cuerpo. Por ejemplo, se puede observar este fenómeno en las bombillas con filamentos de Wolframio, el sol, las estrellas.

- Luminiscencia:

Es la propiedad que tiene algunas fuentes luminosas para producir luz originada por la absorción de energía externa, esto lo realizan sin elevar su temperatura. Por ejemplo, las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, los diodos de emisión luminosa *LED*, los relámpagos, las lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Estas características las podemos encontrar en los diferentes tipos de fuentes luminosas que podemos encontrar en el mercado.

1.3.3.1. Bombillas Incandescentes.

Son las fuentes luminosas cuyo principio de emisión de luz es la incandescencia, ya que poseen un pequeño filamento que por lo general es de Wolframio o Tungsteno y que llegan a alcanzar su temperatura de

incandescencia por medio del paso de una corriente adecuada. Estas fuentes luminosas se pueden encontrar en una variedad de potencias eléctricas de consumo, lo cual depende del ancho del filamento, ya que a mayor potencia se deberá utilizar un filamento de mayor calibre.



Figura 8. Bombilla Incandescente.
Fuente: (Grudilec, 2010)

1.3.3.2. Lámparas de Descarga.

Son aquellas fuentes luminosas que generan la emisión de luz por medio de la excitación de un gas ionizado contenido en un tubo en el cual se producen descargas eléctricas debido a la diferencia de potencial entre sus dos electrodos. Utilizan un dispositivo (balastro) que regula la corriente que pasa, debido a que puede llegar a causar la destrucción del tubo de descarga.

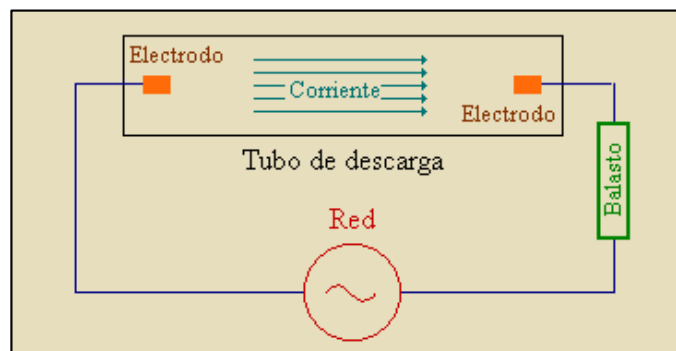


Figura 9. Esquema de una Lámpara de descarga
Fuente: (García, s.f)

1.3.3.3. Bombillas de Inducción.

Este tipo de fuente luminosa se basa en la descarga eléctrica, de un gas a baja presión, la principal diferencia con respecto a las lámparas de descarga es que no utilizan electrodos, los cuales son sustituidos por bobinas de inducción sin filamentos, el principio de funcionamiento de la emisión de luz de estas luminarias se basa en la generación de campos magnéticos generando un flujo magnético que ioniza el gas, emitiendo luz visible y ultravioleta, además la pantalla de la lámpara tiene un

recubrimiento de flúor el cual tiene la función de filtro de luz ultravioleta convirtiéndola en visible.

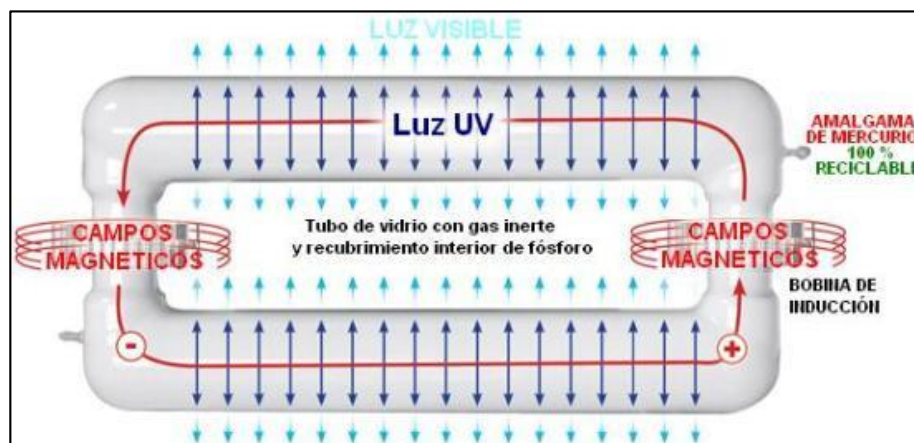


Figura 10. Esquema de lámpara de Inducción.

Fuente: (*Afinidad Eléctrica*, 2007)

1.3.3.4. Iluminación LED.

Como sus siglas lo indican, (*Light Emitting Diode*) o Diodos de Emisión de Luz son dispositivos electrónicos, compuestos por dos semiconductores, utilizando comúnmente el Silicio, dopados de manera distinta, uno con un dopado tipo P –cuyos portadores de carga principales son los huecos– originados por el dopado del material semiconductor por medio de un material trivalente, el cual deja un espacio vacío entre los enlaces (pierde electrones), esto ocurre por cada átomo de elemento dopado, siendo estos huecos los portadores de carga positivos. Por otro lado también se encuentra compuesto por un elemento semiconductor con un dopado tipo N, el cual tiene como portadores principales electrones libres, originados al dopar al elemento semiconductor por medio de un elemento pentavalente, el cual permite que haya un electrón libre por átomo de elemento dopado, siendo estos electrones libres, portadores de carga negativos.

Por lo tanto el diodo tiene una unión tipo PN, el cual se caracteriza por tener una barrera en la unión de ambos semiconductores dopados, la cual no permite el paso de portadores de carga negativos hacia los positivos, pero de aquí es de donde parte el funcionamiento característico del diodo, muy útil en el mundo de la electrónica, ya que si se llega a polarizar directamente, es decir colocar un potencial de mayor valor en la unión P, y en la unión N un potencial de menor valor, se genera un flujo de electrones que llega inicialmente a la unión N generando un flujo de electrones mayor y disminuyendo la barrera entre ambas uniones, generando el paso de los electrones libres de la unión N hacia los huecos de la unión P permitiendo la conducción. Pero esto solo se logra con la polarización directa de las uniones, ya que, si se llega a polarizar indirectamente, es decir poner un potencial de mayor valor en la unión N y uno de menor valor en la unión P, llega directamente el flujo de

electrones generados por la polarización a la unión P, aumentando la barrera de la unión y no permitiendo la conducción.

La emisión de luz en los *LED* se origina al momento de polarizar directamente las uniones P-N y con ello favorecer al movimiento de los electrones que rompen la barrera, liberan energía en forma de fotones, que a su vez, genera radiación electromagnética en el rango del espectro visible, emitiendo luz visible.

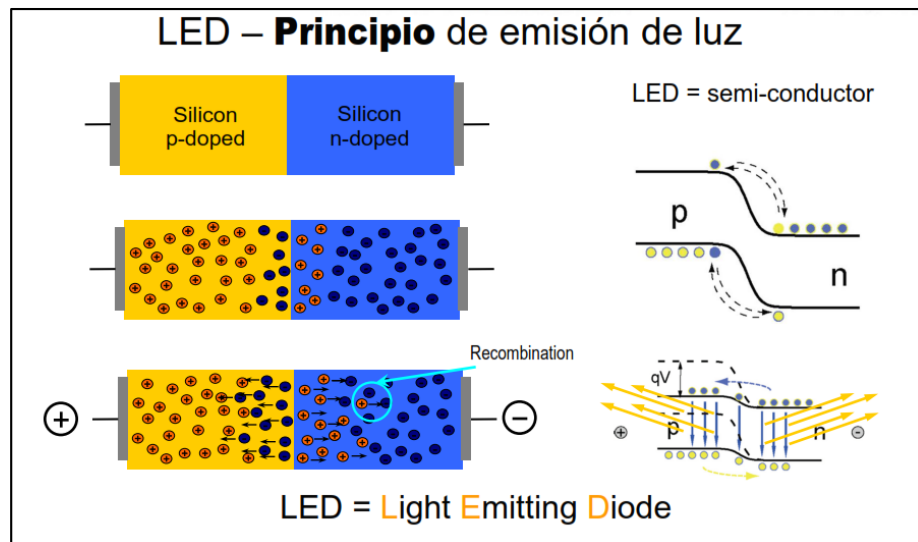


Figura 11. Principio de funcionamiento del LED.

Fuente: (OSINERGMIN, 2013)

Cabe aclarar también que el uso de semiconductores es peculiar ya que son materiales de estado sólido y de pequeñas dimensiones, a comparación de otras fuentes luminosas que utilizan gas el cual debe ionizarse para generar la emisión de fotones.

En la actualidad el desarrollo de las fuentes luminosas con tecnología LED ha ido mejorando e innovando con respecto a la distribución de leds, el diseño de la carcasa y componentes del sistema óptico para así aumentar su eficiencia, generando mayor cantidad de flujo luminoso por medio de menos potencia eléctrica consumida.



Figura 12. Productos de la marca Philips, que utilizan tecnología LED.
Fuente: (Philips Lighting Holding, 2017)

1.3.3.5. Luminarias utilizadas en alumbrado Público:

- Bombilla de Vapor de Mercurio.

Estas bombillas son del tipo de lámparas de descarga, tienen un tubo largo de vidrio el cual está recubierto en su interior por fósforo y que en su interior contiene gas mercurio junto con otros gases inertes como el argón o neón.

El funcionamiento de estas lámparas se realiza al hacer pasar una corriente, la cual es limitada por el balastro, por medio de dos electrodos (filamentos de tungsteno o wolframio) lo cual permite que la mezcla de gases se ionice y que emitan fotones, pero en el rango de luz infrarroja. Es por esto que se realiza el recubrimiento del tubo de fosforo u otro recubrimiento fluorescente, ya que permite que la radiación en el rango infrarrojo se convierte en radiación en el rango del espectro visible. Donde podemos encontrar dos tipos de bombillas de este tipo:

- Bombillas de Vapor de Mercurio a baja presión.

Las cuales trabajan con la mezcla de gas mercurio y gases nobles a presiones bajas de trabajo, en el orden de 0.8Pa; Además, poseen una vida útil promedio de entre 5000 y 7000 horas.

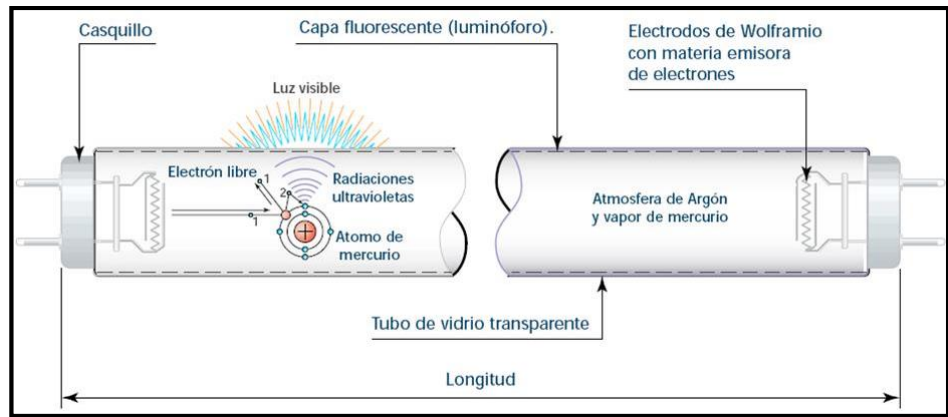


Figura 13. Esquema de funcionamiento bombillas de vapor de mercurio a baja presión
Fuente: (Ibañez, 2013)

- Bombillas de Vapor de Mercurio de alta presión.

Las cuales trabajan con la mezcla de gas mercurio y gases nobles a una presión mayor. Conforme se aumenta la presión de trabajo, una buena cantidad de la radiación que emite el mercurio ocurre dentro del espectro visible. Es por esto que requiere igualmente de un recubrimiento fluorescente, pero se obtiene un menor deterioro de los polvos fluorescentes. Por lo que su tiempo de vida útil es cercano a 8000 horas.

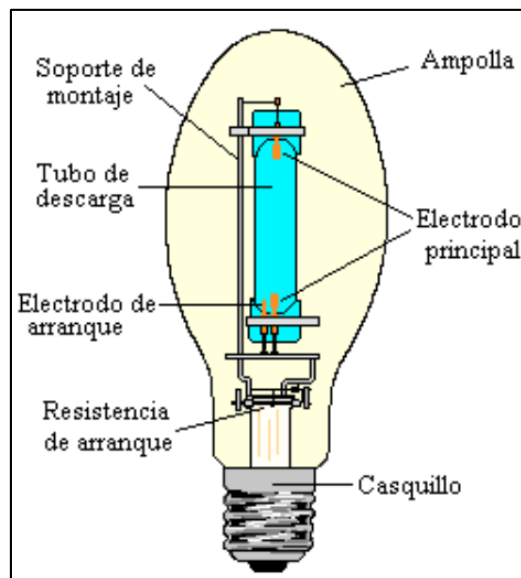


Figura 14. Esquema de Bombilla de Vapor de Mercurio a Alta Presión.
Fuente: (Ibañez, 2013)

- Bombilla de Vapor de Sodio

Estas bombillas tienen casi el mismo principio de funcionamiento que las de vapor de mercurio. Esta vez el elemento que se utiliza es el vapor de sodio metálico de alta pureza junto con gases inertes, los cuales se ionizan liberando fotones, por medio de la inyección de una corriente por el par de filamentos de tungsteno o wolframio con los que cuentan. Al igual que las bombillas de vapor de mercurio, en este tipo de bombilla se tiene dos tipos, en función a su presión de trabajo.

- Bombillas de Vapor de Sodio de Baja Presión

En estas bombillas el gas se ubica en una ampolla en forma de U, donde en los extremos se encuentran los electrodos encargados de la ionización. Esta bombilla tiene una vida útil muy elevada, con un promedio de 15000 horas.

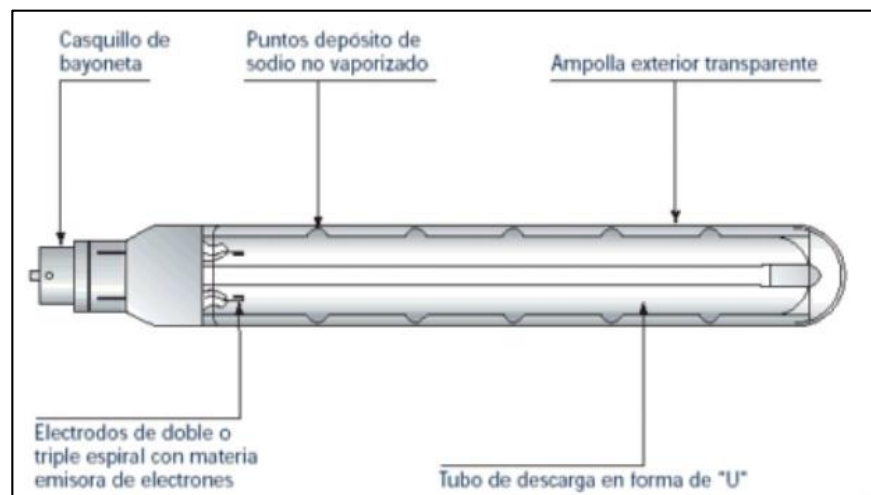


Figura 15. Esquema de Bombilla de Vapor de Sodio a Baja Presión.

Fuente: (Ibañez, 2013)

- Bombillas de Vapor de Sodio de Alta Presión.

Las presiones de trabajo son más elevadas, lo cual permite la mejor reproducción de color abarcando casi todo el espectro visible, es por eso que emite una luz, blanca-dorada. Esta bombilla tiene un tiempo de vida útil de 12000 horas.

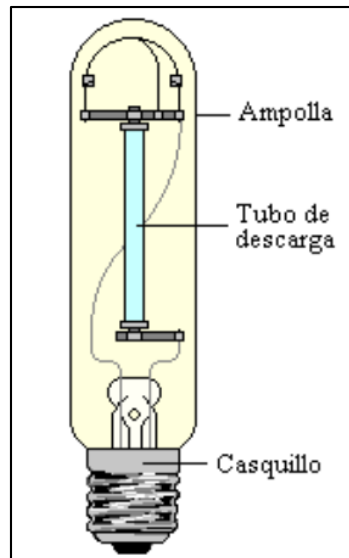


Figura 16. Esquema de Bombilla de Vapor de Sodio de Alta Presión.
Fuente: (Ibañez, 2013)

- Luminarias LED de alumbrado público.

Diversas empresas de diseño de luminarias, basándose en la tecnología LED, han optado por la idea innovadora de aplicarla en los sistemas de alumbrado público, entre las cuales tenemos a Schröder, Philips, entre otras.



Figura 17. Diversas empresas proveedoras de luminarias de alumbrado público Led.

Fuente: (Philips Products, 2017)

Todas estas luminarias están fabricadas con diseños y formas innovadoras, para poder distribuir de manera adecuada el flujo luminoso que emite las lámparas. Con respecto a las lámparas, están conformadas por un conjunto de leds distribuidos, generalmente de forma matricial, para poder generar un mayor flujo luminoso, lo interesante de estos tipos de luminarias, es que emiten un buen flujo luminoso, consumiendo, relativamente, menos potencia eléctrica en comparación de otras luminarias que emiten el mismo flujo luminoso, consumiendo más potencia eléctrica.



Figura 18. Lámpara LED de 7W, con flujo luminoso equivalente a una bombilla incandescente de 60W.
Fuente: (Philips Products, 2017)

1.3.4. Conceptos de Luminotecnia.

1.3.4.1. Conceptos Previos.

Para tener en claro los conceptos más importantes para el tema de la iluminación se debe de empezar describiendo las magnitudes luminosas o también llamadas magnitudes fotométricas, en las cuales existen dos elementos fundamentales: la fuente de luz y el objeto que se iluminará.

Estas magnitudes luminosas nos proporcionan información sobre las características técnicas de las fuentes de luz para poder brindarnos los criterios para la selección de las fuentes adecuadas para una aplicación. Previamente a la definición de estas magnitudes se debe entender una serie de conceptos previos.

- Angulo plano (α).

El cual se puede definir como la medida del cambio de dirección de dos entidades lineales que pertenecen a un mismo plano, y cuya unidad de medida es el radián (rad).

Un radián viene determinado por el ángulo plano correspondiente a un arco de circunferencia de longitud de igual valor numérico que el radio que lo forma. Es decir, una circunferencia de 360° es equivalente a 2π rad.

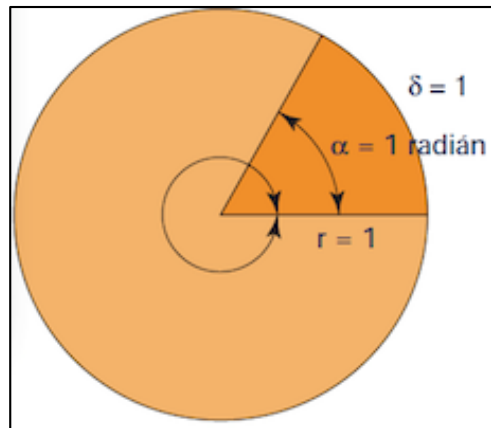


Figura 19. Ángulo plano, descripción de la unidad radian.
Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, s.f)

- Ángulo sólido (Ω).

Un ángulo sólido se define por el volumen que forma la superficie lateral de un cono cuyo vértice coincide con el centro de una esfera de radio r y cuya base está situada sobre la superficie. Su unidad de medida es el Estereorradián.

Un Estereorradián viene determinado cuando el radio de la esfera es de 1 m y la superficie de la base del cono proyectada sobre la superficie de la esfera es de 1m^2 .

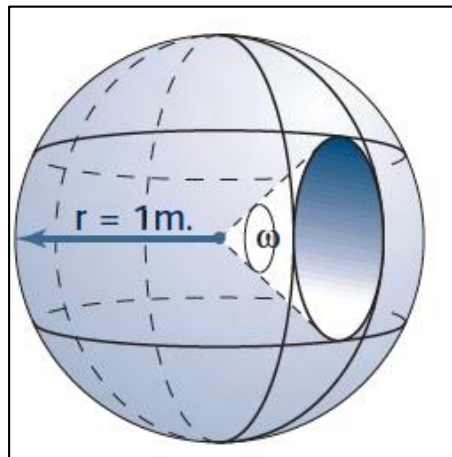


Figura 20. Esquema de definición de un ángulo sólido y de la unidad estereorradián.

Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, s.f)

- Flujo Luminoso (Φ).

Es la medida de la potencia total de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones.

Su unidad de medida es el Lumen (lm).

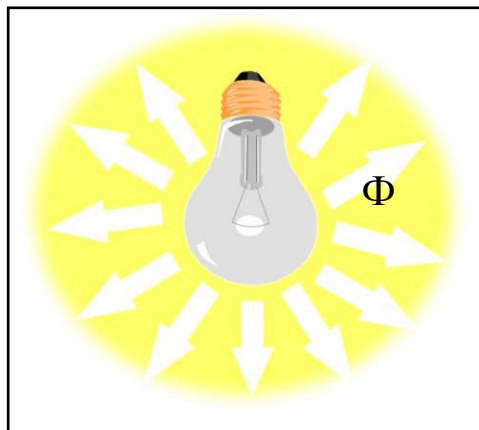


Figura 21. Flujo luminoso de una luminaria.
Fuente: (Propia).

- Intensidad Luminosa (I).

La intensidad luminosa es el flujo luminoso emitido o irradiado en una sola dirección dada por una fuente luminosa para un ángulo sólido de valor un estereorradián.

Su unidad de medida es la candela (cd).

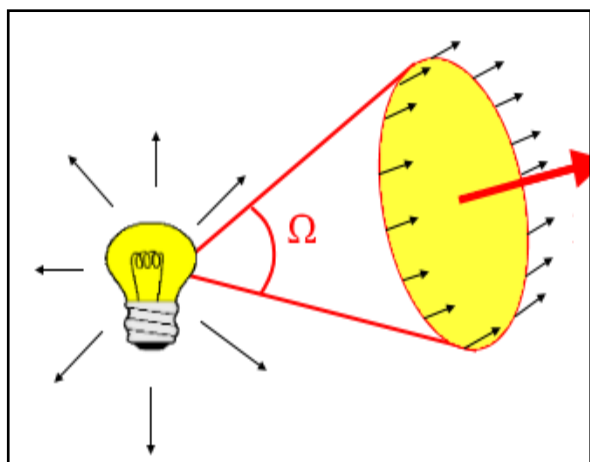


Figura 22. Intensidad luminosa
Fuente: (Compara Lux, 2016)

- Sólido y curvas fotométricas.

La distribución de la intensidad luminosa varía con respecto a las diversas direcciones en la que se propaga la intensidad luminosa, es por eso que en los laboratorios y con ayuda de un instrumento llamado fotogoniómetro, se llega a medir la intensidad de una lámpara en cada ángulo en una serie de planos concéntricos a la línea de acción de la lámpara y se llega a generar graficas polares, generando un sólido llamado Sólido Fotométrico. Este sólido es diferente en cada una de las luminarias y son proporcionados por los fabricantes de las mismas.

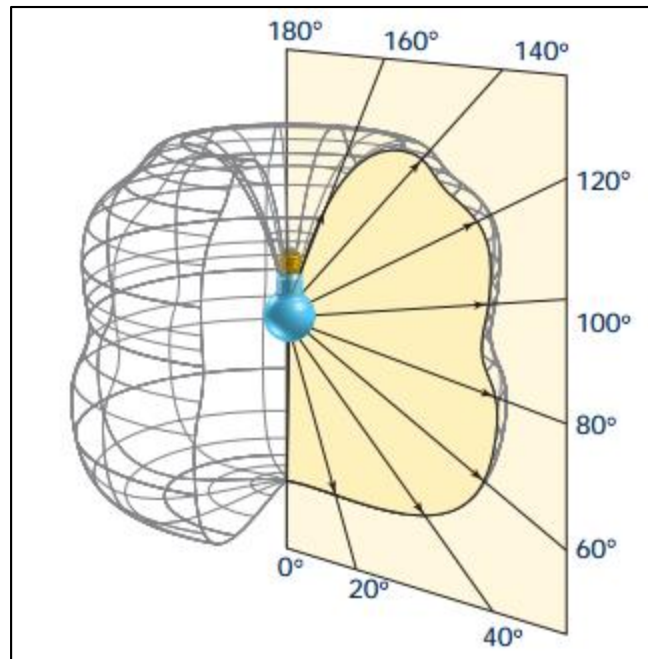


Figura 23. Sólido Fotométrico.

Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, s.f)

Con respecto a las curvas fotométricas, son generadas a partir del sólido fotométrico al cortarlo por una serie de planos teniendo en el centro de este a la luminaria. Describiendo la distribución de la intensidad luminosa proyectada sobre ese plano.

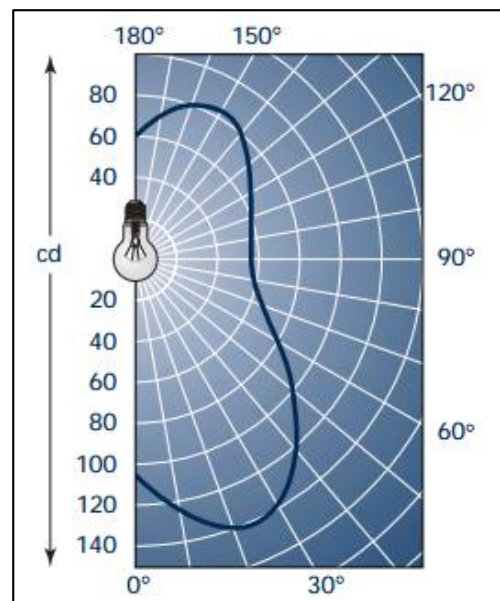


Figura 24. Curva fotométrica

Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, s.f)

Los fabricantes brindan como mínimo dos curvas fotométricas, las cuales se describen en dos de los planos con los ángulos más representativos, el plano de $0^\circ - 180^\circ$ y el plano $90^\circ - 270^\circ$.

Estos planos se referencias como se puede observare en la Figura 25.

Por lo general los fabricantes de luminarias brindan estas curvas haciendo las pruebas de sus luminarias con un flujo luminoso de 1000lm.

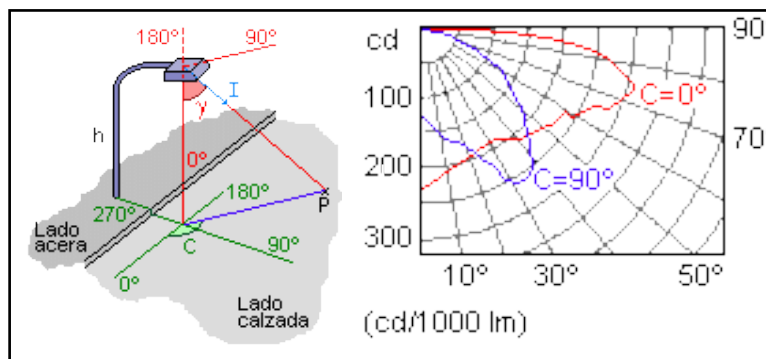


Figura 25. Curvas fotométricas principales y referencia con respecto a la luminaria de alumbrado público.

Fuente: (García, s.f)

- Iluminancia

La iluminancia se define como la relación entre el flujo luminoso que incide sobre una superficie y la dimensión de esta misma.

Su unidad de medida en el S.I es el lux [lx], el cual está definido como la iluminación que produce un lumen que incide sobre una superficie de un metro cuadrado.

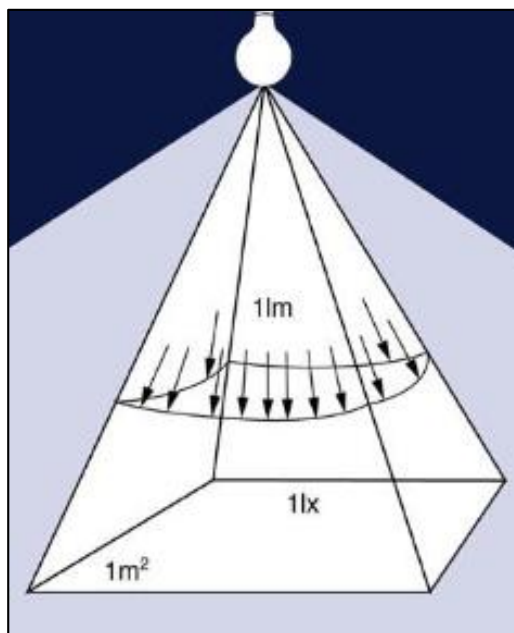


Figura 26. Iluminancia de una luminaria.

Fuente: (San Juan, 2010)

- Luminancia.

La luminancia se define como la relación de intensidad luminosa emitida por una fuente luminosa en una determinada dirección de observación con respecto a la superficie donde incide.

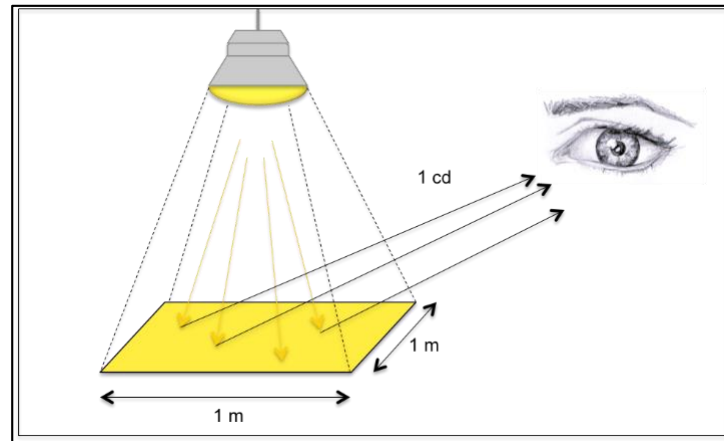


Figura 27. Luminancia.

Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, s.f)

- Eficiencia luminosa.

La eficiencia luminosa es un parámetro que relaciona el flujo luminoso emitido por una luminaria con la potencia eléctrica total consumida por esta, incluyendo sus accesorios (fuentes de regulación, balastos, etc.). Su unidad de medida es el lumen por watt (lm/W).

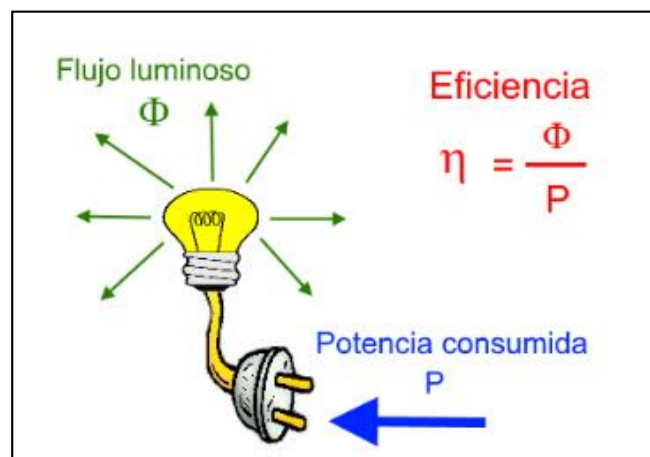


Figura 28. Eficacia Luminosa.

Fuente: (Compara Lux, 2016)

El desarrollo de las tecnologías aplicadas a la luminotecnia, tiene la orientación de buscar el desarrollo tanto de lámparas como de luminarias con mayor eficiencia luminosa, es decir, luminarias que emitan una buena cantidad de flujo luminoso consumiendo una menor cantidad de potencia eléctrica.

En la actualidad en la gran variedad de luminarias en el mercado, podemos llegar a recolectar los siguientes rangos de valores de eficiencias luminosas.

Tabla 2. Valores de eficiencia luminosa de luminarias comerciales

Luminaria	Eficiencia luminosa promedio
Bombilla Incandescente	10 lm/W
Halógeno	20 lm/W
Lámpara fluorescente	65 lm/W
Halogenuro metálico	90 lm/W
Vapor de Sodio	90 lm/W
Lámpara LED	100 lm/W

Fuente: (Compara Lux, 2016)

- Vida Útil.

La vida útil es el parámetro de las luminarias medido en horas que determina la duración de las mismas. Este es un parámetro muy importante debido a que por medio de este se podrá determinar la frecuencia de cambio de luminarias en un sistema. Es decir, para la selección adecuada de una luminaria no basta seleccionarla por el parámetro de eficiencia luminosa, sino también por el parámetro de vida útil, ya que el costo del ahorro energético podría ser anulado por el costo del cambio de la misma.

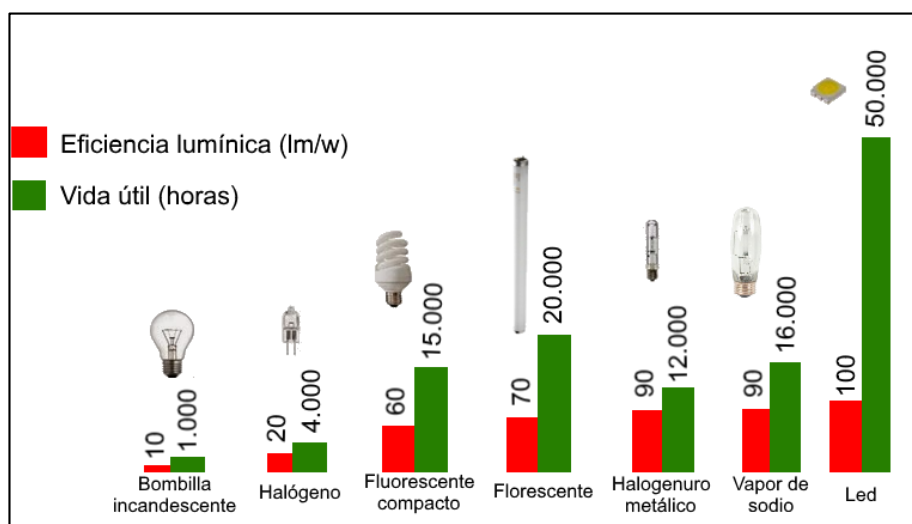


Figura 29. Vida útil de luminarias en el mercado y comparación con respecto a su eficiencia luminosa.

Fuente: (Compara Lux, 2016)

Como se puede apreciar en la Figura 29. El tiempo de vida útil de las luminarias led es mucho mayor que el de las lámparas de las diversas tecnologías, además podemos observar en la Tabla 1 que la eficacia luminosa de las luminarias led es relativamente alta con respecto las lámparas de vapor de sodio utilizadas comúnmente.

Teniendo en cuenta estos parámetros esenciales podemos seleccionar de manera adecuada una luminaria para una aplicación, siendo las de tecnología led las que cumplen de manera óptima con los parámetros más adecuados para realizar un proyecto eficiente energéticamente.

- Grado de uniformidad.

Es el parámetro que determina el grado de uniformidad en la distribución de la iluminancia a lo largo de un área o superficie de referencia. Este parámetro es muy importante, ya que los niveles de iluminancia no son uniformes, y el control de su variación determina el confort y la visibilidad.

Para el diseño de sistemas de alumbrado público se deben tener en cuenta los parámetros de:

- Factor de uniformidad media: es la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia media de una instalación.

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (EC. 1.1)$$

- Factor de uniformidad longitudinal: Es la relación entre la luminancia mínima y máxima longitudinal de una instalación.

$$U_L = \frac{L_{min longitudinal}}{L_{max Longitudinal}} \quad (EC. 1.2)$$

- Índice de control de deslumbramiento.

El deslumbramiento es un fenómeno que genera una pérdida o disminución de la capacidad visual, debido al exceso de luminancia del objeto que se observa.

Este ocurre cuando una elevada intensidad de luz incide en el ojo y las células de la retina no son capaces de generarse a la velocidad suficiente como para producir los pigmentos necesarios. Esto implica que no se genere o que genere de manera inadecuada el impulso del nervio óptico hacia el cerebro, produciendo efectos como la fatiga visual, o la incapacidad de la visión por un instante.

Para calcular el Índice de Control de Deslumbramiento (G) se debe seguir la siguiente ecuación. (Ministerio de Energía y Minas, 2002)

$$G = 13.84 - 3.31 \log(I_{80}) + 1.3 \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{\frac{1}{2}} - 0.08 \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right) + 1.29 \log(F) + 0.97 \log(\bar{L}) + 4.4 \log(h) - 1.46 \log(p) \quad (Ec. 1.3)$$

Donde:

- $\frac{I_{80}}{I_{88}}$: Intensidad luminosa en cd/m^2 correspondiente a los ángulos 80° y 88° del plano del observador con la horizontal.
- F : Superficie aparente, en m^2 , vista sobre un ángulo de 76° con la vertical.
- $\bar{L}$: Luminancia media, en cd/m^2 , sobre la calzada.
- h : altura de la luminaria encima del nivel visual, en metros.
- p : número de luminarias por km de vía.

El valor calculado en la ecuación anterior del índice de control de deslumbramiento se asocia de la siguiente manera.

- G = 1 deslumbramiento insoportable.
- G = 3 deslumbramiento molesto.
- G = 5 deslumbramiento apenas aceptable.
- G = 7 deslumbramiento satisfactoriamente tolerable.
- G = 9 deslumbramiento imperceptible.

- CIE Flux Code.

Esta característica viene determinada por la Comisión de Iluminación Internacional (CIE) determina el rendimiento de la lámpara basado en cinco cifras que representan el porcentaje de flujo emitido en cinco ángulos característicos con respecto al emitido entre el ángulo de 0° y 180°

CIE FLUX CODE: $N_1 N_2 N_3 N_4 N_5$

Donde:

$$N_1 = \frac{F_1}{F} \times 100, \quad N_2 = \frac{F_2}{F} \times 100, \quad N_3 = \frac{F_3}{F} \times 100,$$

$$N_4 = \frac{F_4}{F} \times 100, \quad N_5 = LOR$$

Además

F_1 : Flujo emitido entre 0° y 41.4°

F_2 : Flujo emitido entre 0° y 60°

F_3 : Flujo emitido entre 0° y 75.5°

F_4 : Flujo emitido entre 0° y 90°

F: Flujo emitido entre 0° y 180°

LOR: Light Output Ratio o rendimiento de la lámpara

1.3.4.2. Propiedades Cromáticas de la Luz.

- Temperatura de Color

Esta propiedad nos determina el grado de confort o sensación que las personas perciben determinando el frío o calidez de una fuente luminosa. Está en función a la comparación que se le da a un cuerpo que emite luz en comparación a un cuerpo negro. Es decir, la gama de colores azules nos da la sensación de frío, mientras que la gama de naranjas y rojos nos dan la sensación de calidez, como se puede apreciar en la Figura 30.

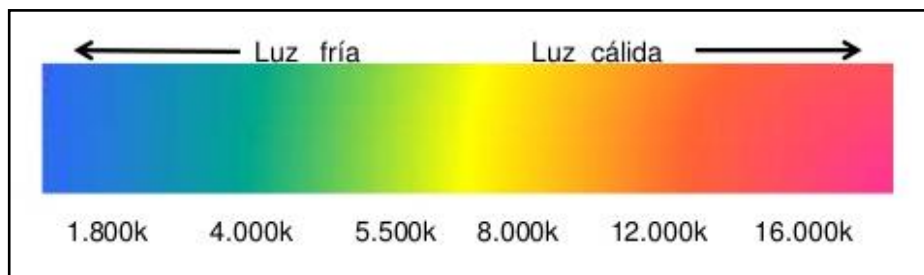


Figura 30. Distribución de las temperaturas de color en el espectro visible.
Fuente: (Compara Lux, 2016).

- Índice de Reproducción Cromática.

Esta propiedad de las fuentes luminosas nos determina la capacidad que tiene dicha fuente de reproducir con fidelidad los colores que abarca dentro de su flujo luminoso, en comparación a una fuente ideal, capaz de reproducir todos los colores del espectro visible.

Los índices de reproducción cromática están divididos en los siguientes grupos:

Tabla 3. Valores de Índice de reproducción cromática.

Grado	Índice (IRC)	Nivel de reproducción
1A	90 a 100	Excelente
1B	80 a 89	Muy bueno
2A	70 a 79	Bueno
2B	60 a 69	Moderado
3	40 a 59	Regular
4	Inferior a 40	Bajo

Fuente: (Compara Lux, 2016)

1.4. Normativa vigente en proyectos de Alumbrado Público.

Para los proyectos de electrificación que conllevan el diseño, montaje, supervisión, puesta en marcha y mantenimiento de un sistema de alumbrado público, se debe tener en cuenta las siguientes normas y leyes a tener en cuenta y sugeridas por el Ministerio de Energía y Minas.

- RM_013-2003-EM/DM: Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”.
- RM_185-2003-EM/DM: Establecen índices lámparas/usuario y factores KALP para el cálculo del porcentaje máximo de facturación por el servicio de alumbrado público.
- RD 017-2003-EM/DGE: Norma DGE “Alumbrado de Vías Públicas em Áreas Rurales”.
- RCD_078-2007-OS/CD: “Procedimiento de Supervisión de la Operatividad del servicio de Alumbrado Público.
- Base Legal.
 - Decreto de Ley N° 25844 – Ley de Concesiones Eléctricas (Artículo 94°).
 - Decreto Supremo N° 009-93-EM – Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (Artículos 184°, 201°).
 - Decreto Supremo N° 020-97-EM – Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos y modificaciones.
 - Decreto Supremo N° 004-95-MTC.

1.5. Sistemas de alumbrado público inteligente.

1.5.1. Actualidad del alumbrado público en el Perú

Como se ha podido ver en los puntos anteriores, la idea de utilizar un sistema de alumbrado público LED es una idea interesante y beneficiosa, ya que posee un valor de eficacia luminosa elevado y el mayor tiempo de vida útil a comparación a un sistema que utilizan otro tipo de tecnología.

Es decir, con el simple hecho de cambiar los sistemas actuales de alumbrado público que utilizan luminarias con tecnología de vapor de mercurio y vapor de sodio a luminarias con tecnología LED, se puede reducir los costos de mantenimiento y de consumo eléctrico.

Una de las razones por las cuales no se realiza el cambio a estos sistemas de alumbrado público, que generan un ahorro significativo de energía eléctrica y disminución de costos de mantenimiento, es su costo de implementación.

1.5.3. Sistema Propuesto.

El sistema de control propuesto en la siguiente tesis es un sistema que se aplica a sistemas de alumbrado público ornamental, o peatonal, cada poste que posee una luminaria poseerá un dispositivo de control el cual, por medio de la electrónica de potencia, poseerá un controlador con el cual se llegará a controlar el flujo luminoso emitido por la luminaria.

Este control se realizará por una serie de sensores llamados *passive infrared sensor (PIR Sensor)*. El cual detecta la presencia de personas enviando un comando para la toma de decisión de disminuir el flujo luminoso cuando no se detecte personas alrededor y aumentar el flujo luminoso cuando las detecte.

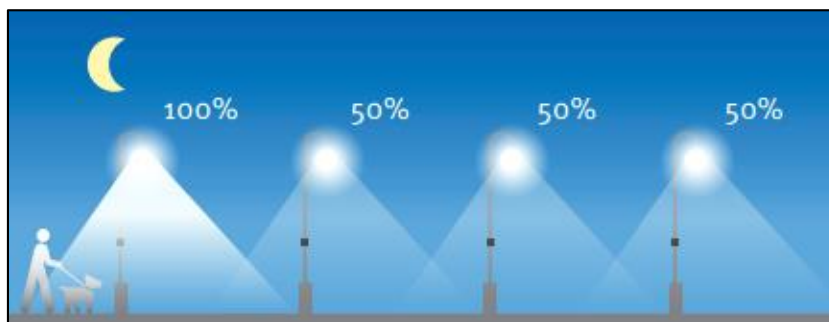


Figura 32. Esquema del sistema Propuesto.

Fuente: (Schröder, 2013)

Capítulo 2: Estudio del estado actual del sistema de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.

En este capítulo se detalla el estudio realizado del estado actual del sistema de iluminación de los exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura y de sus caminos adyacentes. Para empezar a detallar el estudio realizado del sistema de iluminación se deben aclarar que se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El estudio del sistema de iluminación se dividirá en dos sectores, el sistema de iluminación independiente de la Ermita y el estudio de iluminación los caminos adyacentes.
- La ubicación y referencia exacta de las luminarias con respecto al espaciamiento y altura de instalación junto con la diferencia de nivelación topográfica, se han tenido en cuenta al momento de realizar las simulaciones respectivas para obtener unos resultados más fidelizados con la realidad.
- Se está considerando que las lámparas y carcassas están iniciando su tiempo de vida útil sin disminuir sus funcionalidades óptimas.
- El estudio de iluminación se realizará en el software de simulación Dialux, en el cual se pueden hacer estudios en todos los rubros de la iluminación: iluminación interna, externa, de carreteras, peatonal, etc. Este Software permite comparar los niveles lumínicos necesarios y basados en las diversas normas técnicas para así determinar si el sistema de iluminación es el adecuado.

2.1. Descripción del sistema actual de iluminación.

2.1.1. Descripción del sistema de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.

El sistema de iluminación de la Ermita consta con un sistema de alumbrado público, cuya alimentación es subterránea a 220V. Esta área de estudio se presenta en la Figura 33.

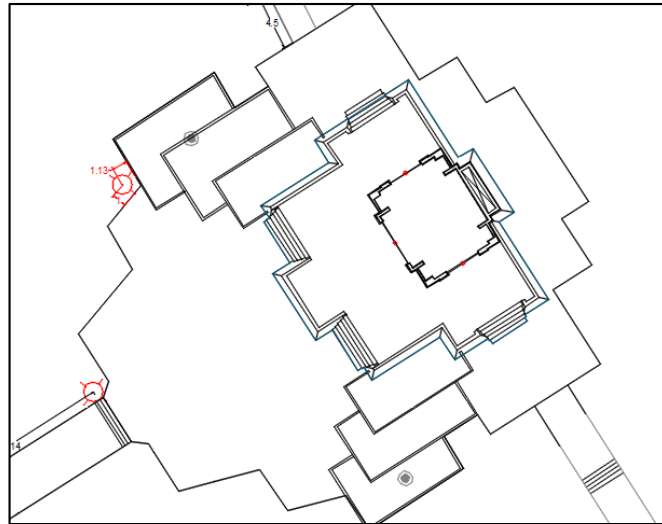


Figura 33. Plano de distribución de luminarias de la Ermita de la Universidad de Piura.
Fuente: Propia.

En este sistema se pueden determinar dos tipos de luminarias y dos tipos de áreas las cuales van a ser objeto de estudio de la siguiente tesis.

- Tres luminarias Tipo Spot cuya área de acción es la base superior de la Ermita.
- Dos luminarias ubicadas en postes cuya área de acción es la base inferior de la Ermita.

2.1.1.1. Luminaria Tipo Spot.

Como se puede apreciar en la Figura 33 se cuenta con tres luminarias de este tipo, estas luminarias representadas en la Figura 34 se encuentran a una altura de 3m empotradas en la parte inferior de las vigas que conforman los marcos del altar de la Sagrada Familia, donde cada luminaria posee las siguientes características:

- Lámpara: RS141B 1xLED6-32-/827.
- Flujo luminoso de 650 lm.
- Potencia nominal de 11.0W.
- Eficiencia luminosa de 59.1 Lm/W.
- Tiempo de vida útil de 8000 h.
- Índice de reproducción cromática de 85.
- Temperatura de color 9000 K. - Luz Cálida.
- CIE Flux Code: 91 98 100 100.

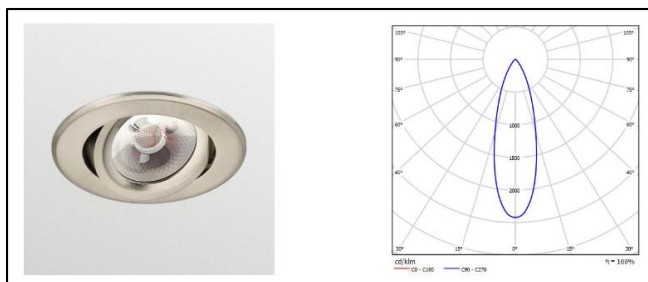


Figura 34. Esquema de luminaria tipo Spot RS141B 1xLED6-32-/827 junto a su curva fotométrica.

Fuente: Propia.

Además, estas luminarias tienen un área de acción la cual será la base del altar de la sagrada Familia la para la cual tomaremos un área de estudio de 12.5 m^2 además se cuenta con 15 puntos de cálculo ubicados de manera equidistante en una matriz de 3×5 , como se puede apreciar en la Figura 35.

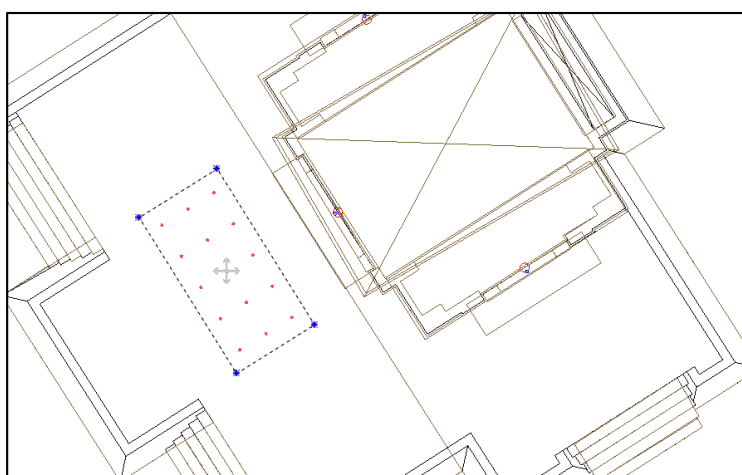


Figura 35. Superficie de Cálculo utilizado en la base superior de la Ermita.

Fuente: Propia.

2.1.1.2. Luminaria de poste tipo CDS560 x 1 HPL – N 125W.

Además, posee dos luminarias ubicadas en postes de acero ubicadas las cercanías al piso de la Ermita como se puede apreciar representadas en las circunferencias de color rojo de mayor diámetro en la Figura 33 donde cada luminaria tiene las siguientes características.

- Lámpara: HPL – N 125W
- Flujo luminoso de 6200 lm.
- Potencia nominal de 125W.
- Eficiencia luminosa de 50Lm/W.
- Tiempo de vida útil de 6000 h.
- Índice de reproducción cromática de 46.
- Temperatura de color 4200K. - Luz Fría.
- Carcasa: CDS560.
- CIE Flux Code: 32 63 88 81 63

Las luminarias se encuentran ubicadas a una altura de 3.5m con respecto a su base, ubicada al nivel del piso dependiendo de su nivelación topográfica.

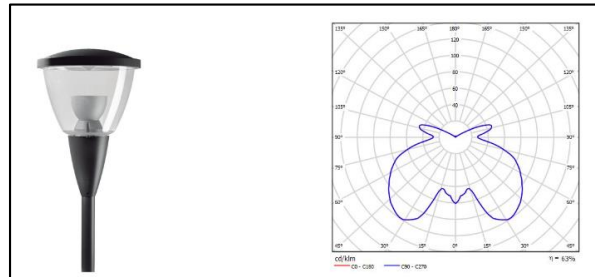


Figura 36. Esquema de luminaria tipo poste tipo CDS560 x 1 HPL – N 125W junto a su curva fotométrica.

Fuente: Propia.

Además, estas luminarias tienen un área de acción la cual será la base principal de la Ermita para la cual se ha tomado un área de estudio de 29.25 m² además se cuenta con 15 puntos de cálculo ubicados de manera equidistante en una matriz de 3x5, como se puede apreciar en la Figura 35.

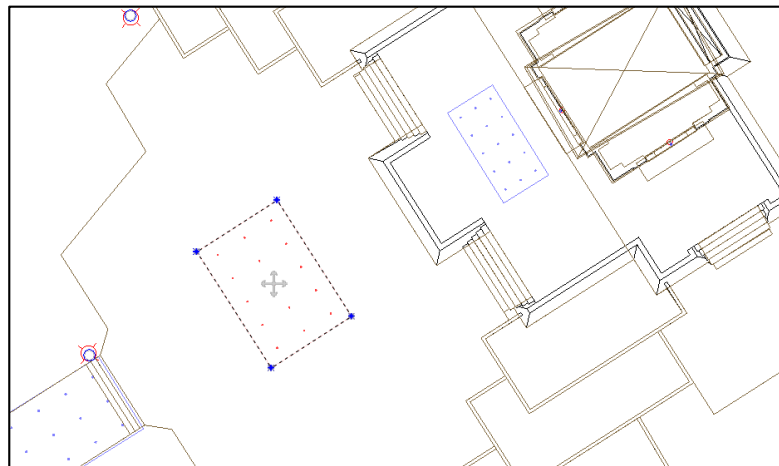


Figura 37. Superficie de Cálculo utilizado en la base inferior de la Ermita.

Fuente: (Propia).

La localización exacta de ambos tipos de luminarias se encuentra detallada en el Anexo A, donde se puede encontrar un plano de planta de las ambas zonas a estudiar.

2.1.2. Descripción del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita.

El sistema de los caminos adyacentes a la Ermita está conformado por treinta (30) luminarias del tipo poste descritas en el apartado anterior y representado en la Figura 35.

Para realizar el análisis del sistema de iluminación lo dividiremos en tres (03) subsistemas.

2.1.2.1. Camino Principal (Carretera – Ermita – Edificio 80).

El camino principal es aquel que conecta directamente, sin ninguna derivación, a la carretera hacia el estacionamiento principal de la Universidad de Piura y el Edificio 80 de la Facultad de Ingeniería pasando por la Ermita.

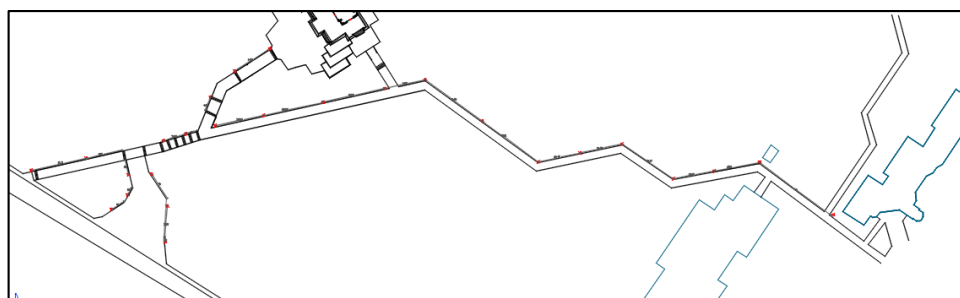
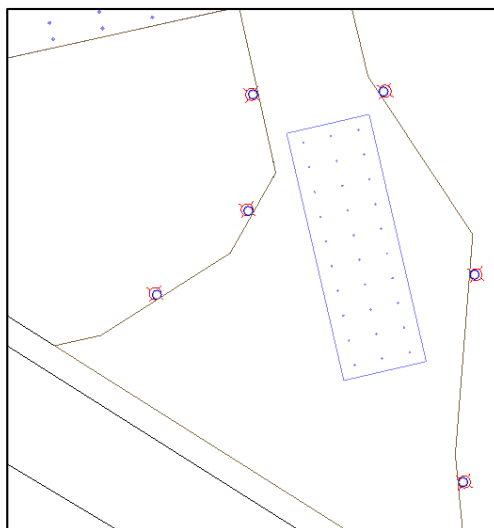


Figura 38. Representación del Camino Principal.
Fuente: (Propia).

Para este subsistema se cuenta con 23 luminarias y para el análisis de este tramo se han tomado ocho superficies de cálculo debido a que se cuentan con separaciones de luminarias diferentes y se desea estudiar los niveles de Iluminación a detalle.

- Superficie de cálculo 01 – Estacionamiento.

Esta superficie de cálculo es de $15 \times 5 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .



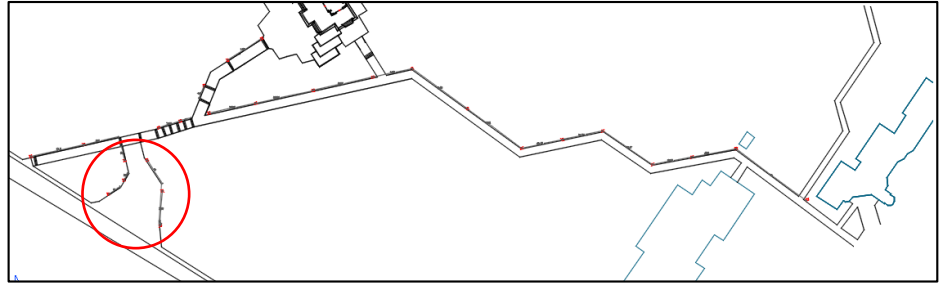


Figura 39. Superficie de Cálculo 01 – Estacionamiento. Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 02.

Esta superficie de cálculo es de $30 \times 3 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

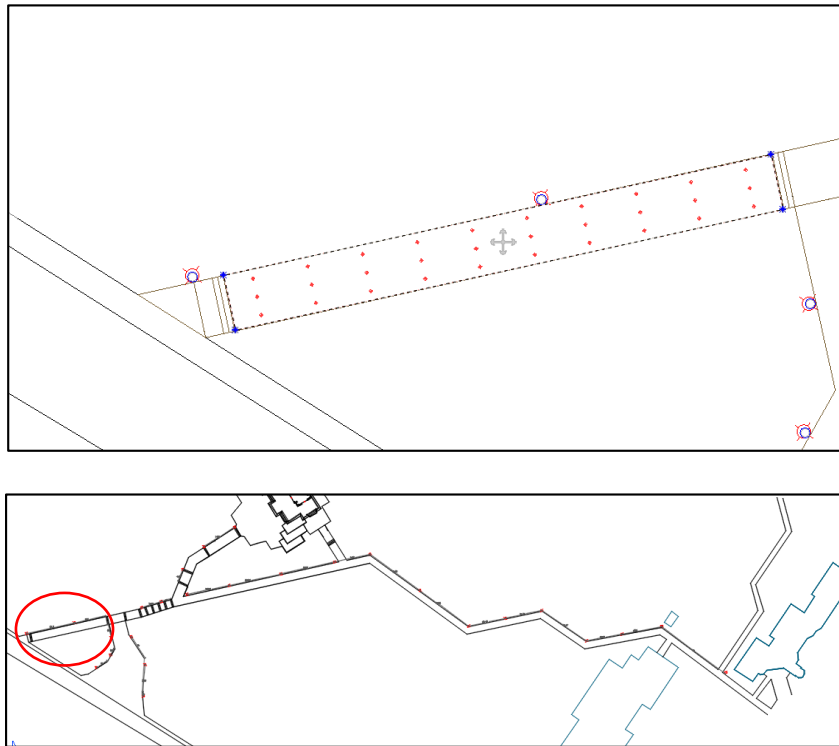


Figura 40. Superficie de Cálculo 02.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 03.

Esta superficie de cálculo es de $1.5 \times 2.5 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×5 .

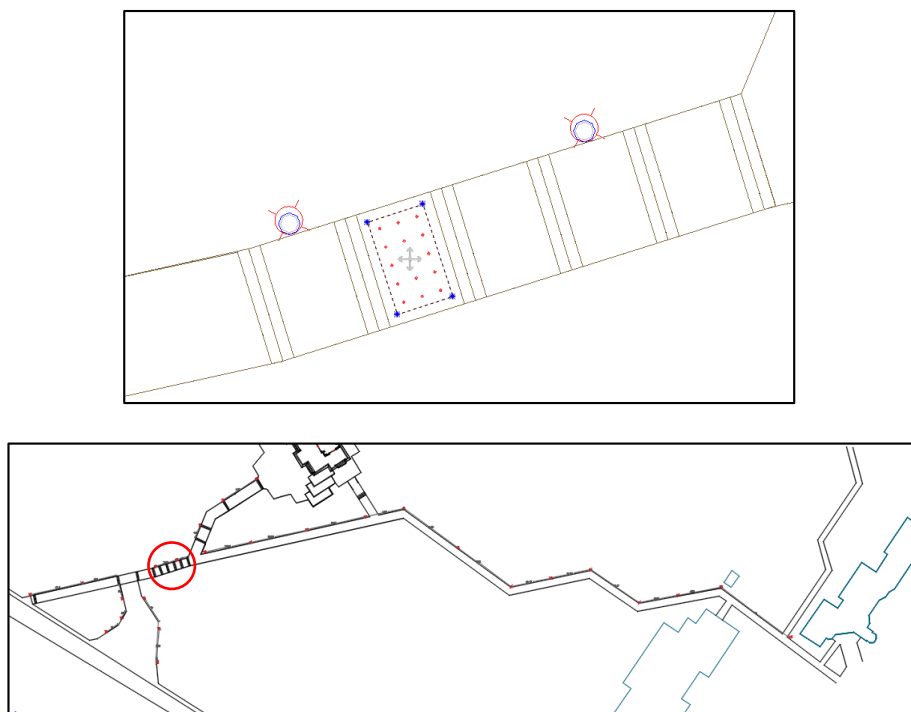


Figura 41. Superficie de Cálculo 03.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 04.

Esta superficie de cálculo es de $20.5 \times 3 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

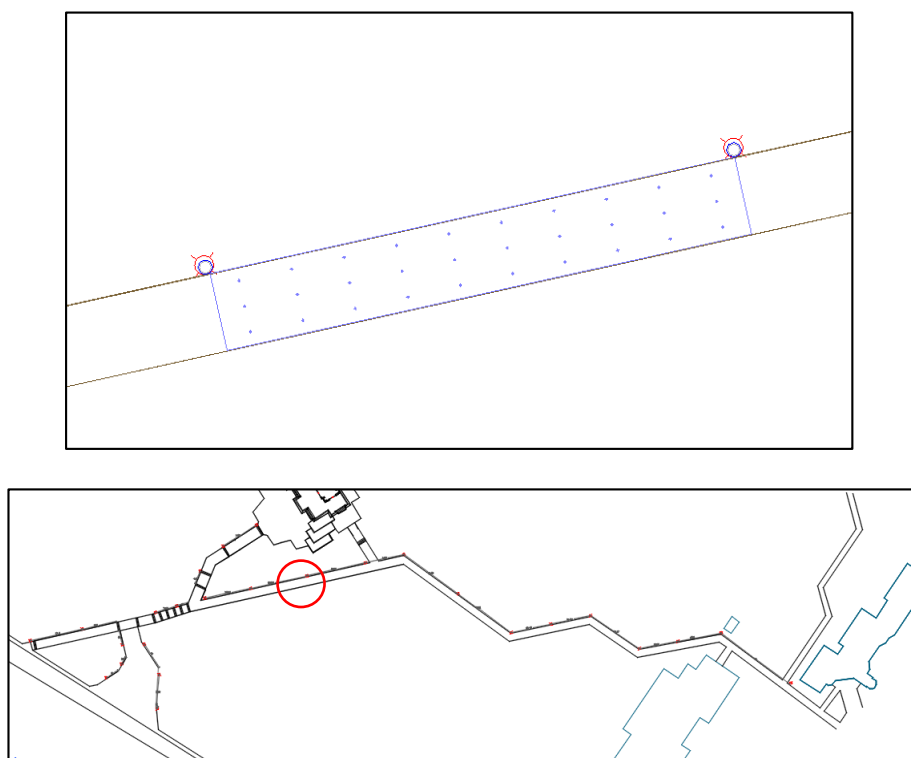


Figura 42. Superficie de Cálculo 04.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 05.

Esta superficie de cálculo es de $23.5 \times 2.6 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

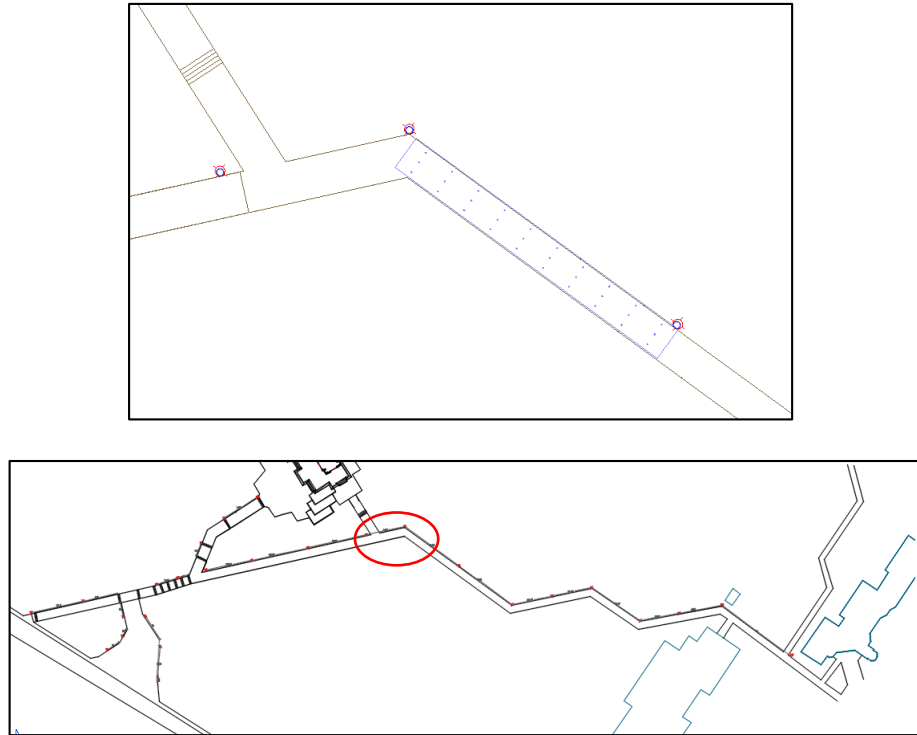
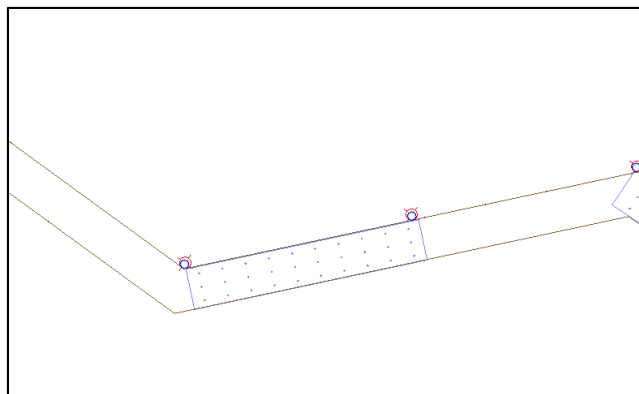


Figura 43. Superficie de Cálculo 05.

Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 06.

Esta superficie de cálculo es de $15 \times 2.6 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .



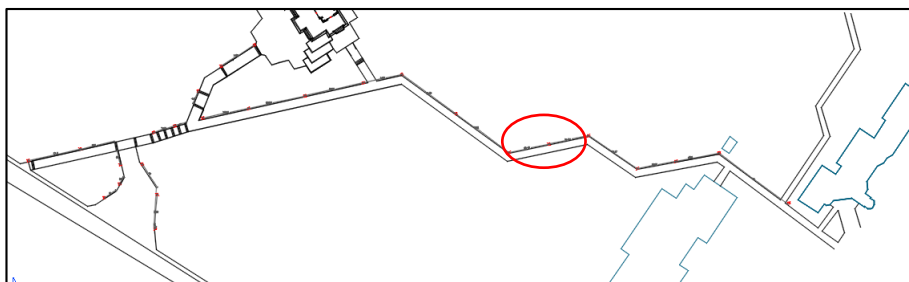


Figura 44. Superficie de cálculo 06.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 07.

Esta superficie de cálculo es de $21 \times 2.6 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

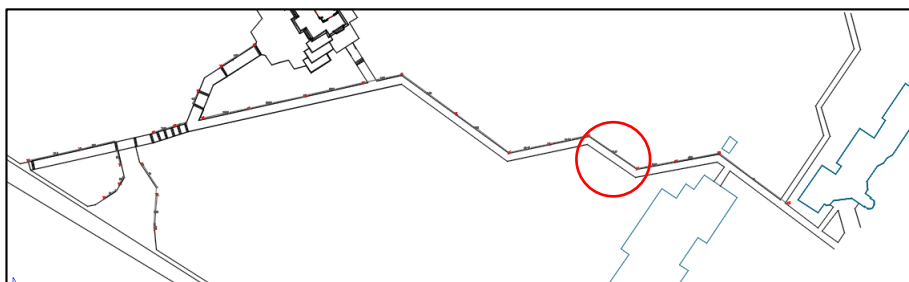
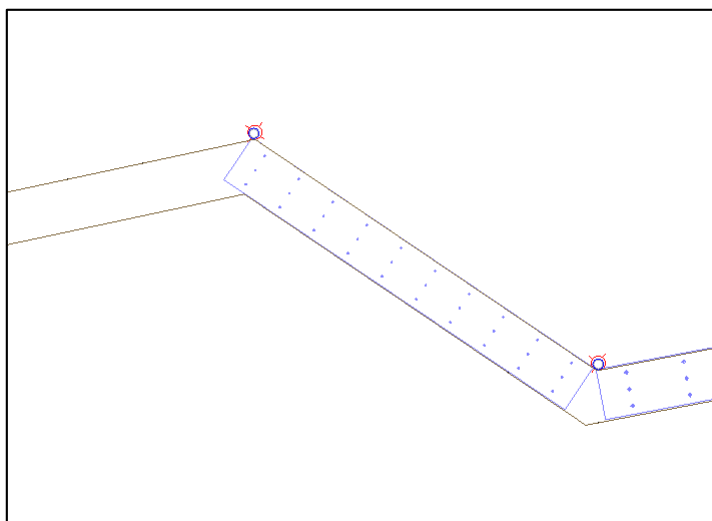


Figura 45. Superficie de cálculo 07.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 08.

Esta superficie de cálculo es de $14 \times 2.6 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

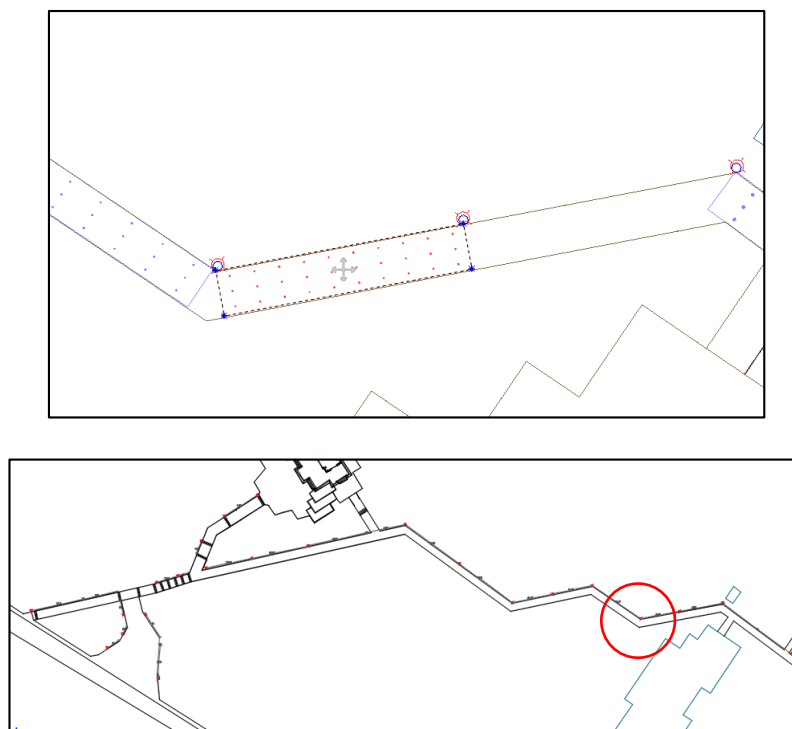


Figura 46. Superficie de cálculo 08.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 09.

Esta superficie de cálculo es de $30.8 \times 2.6 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

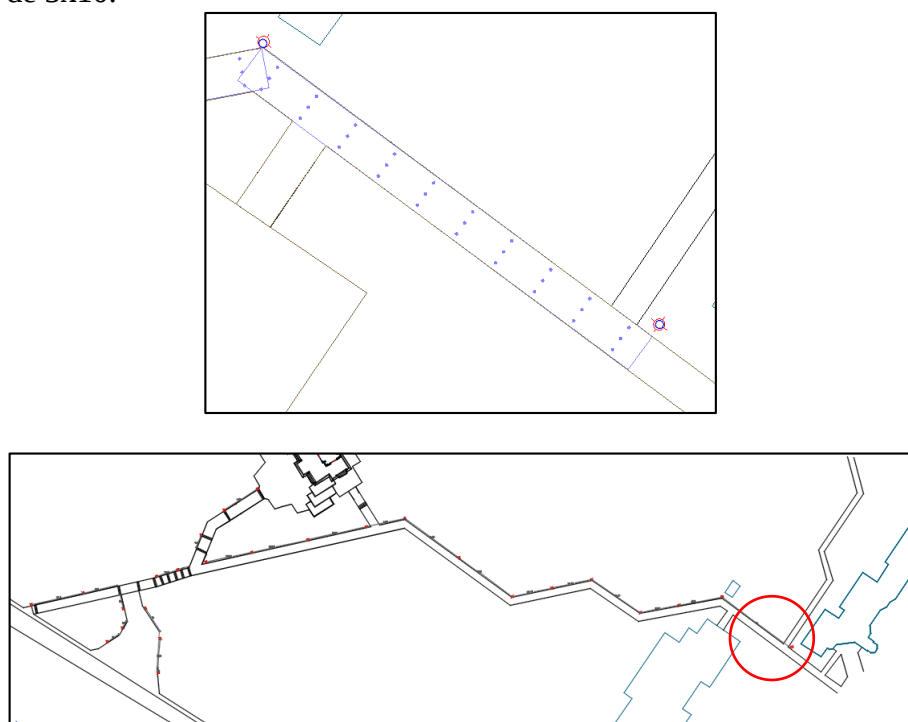


Figura 47. Superficie de Cálculo 09.
Fuente: (Propia).

2.1.2.2. Camino Central (Camino Principal – Ermita).

Se le denomina camino central, a aquel que es derivado del camino principal y que lo interconecta con la Ermita.

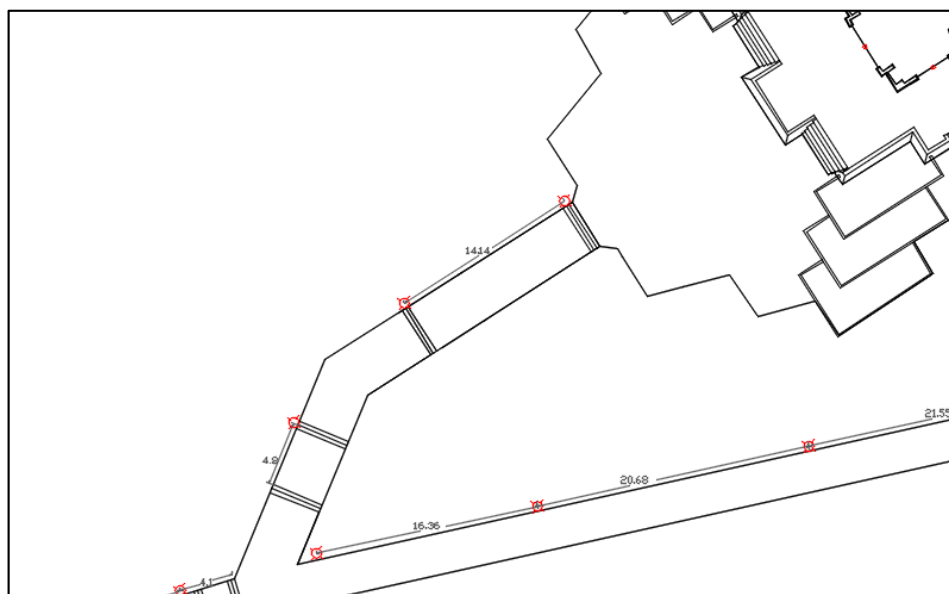


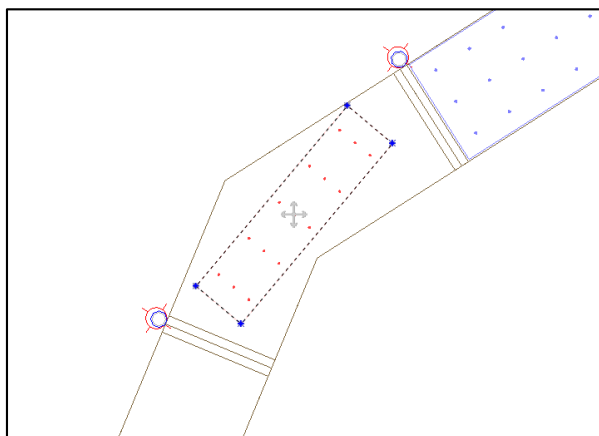
Figura 48. Representación del camino central.

Fuente: (Propia).

En este subsistema se cuenta con 4 luminarias y adicionalmente se contará con 2 superficies de cálculo las cuales son:

- Superficie de cálculo 10.

Esta superficie de cálculo es de $8 \times 2 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×5 .



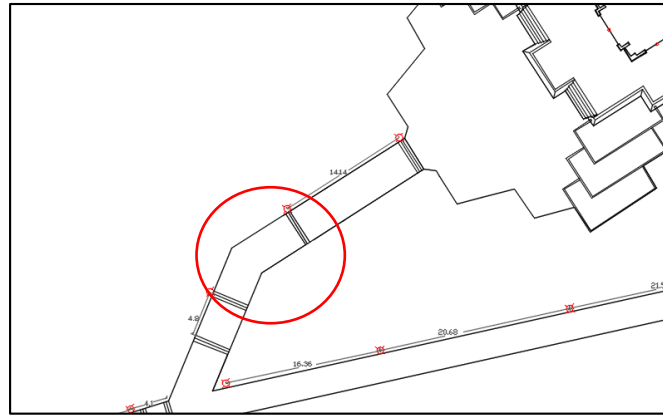


Figura 49. Superficie de cálculo 10.
Fuente: (Propia).

- Superficie de cálculo 11.

Esta superficie de cálculo es de $13.5 \times 3.8 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .

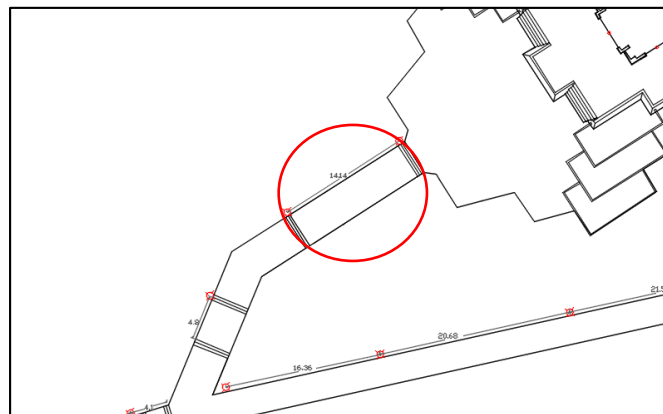
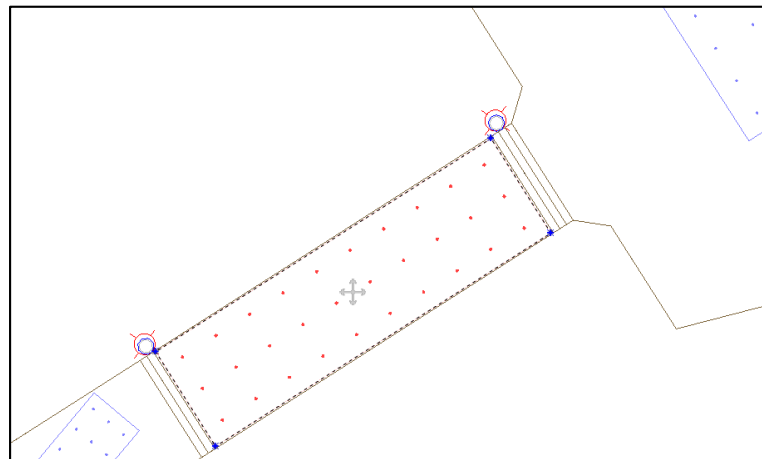


Figura 50. Superficie de cálculo 11.
Fuente: (Propia).

2.1.2.3. Camino Derecha (Ermita – Carretera).

Es el camino lateral de la Ermita que conecta la Ermita con la carretera secundaria (cola cual comunica la rotonda ubicada en la entrada principal con el Edificio de Gobierno de la Universidad de Piura).

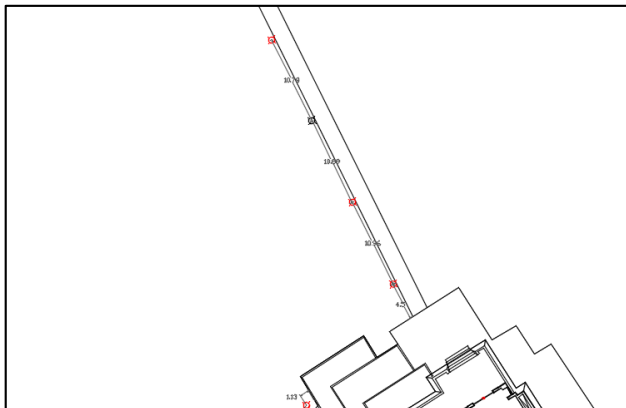


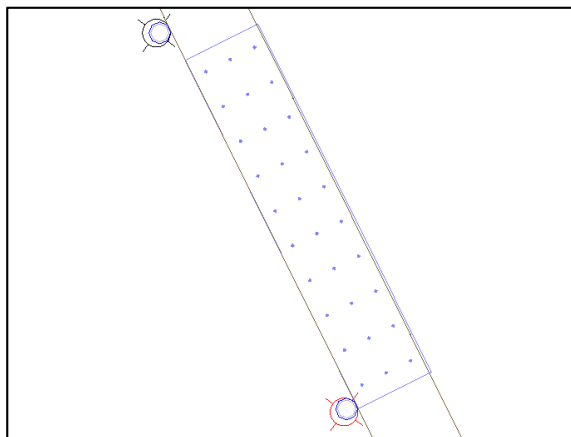
Figura 51. Representación del camino derecha.

Fuente: (Propia).

En este subsistema se cuenta con 4 luminarias, debido a que están equidistantes se puede considerar solamente una superficie de cálculo.

- Superficie de Cálculo 12.

Esta superficie de cálculo es de $10 \times 2 \text{ m}^2$ y cuenta con una matriz de 3×10 .



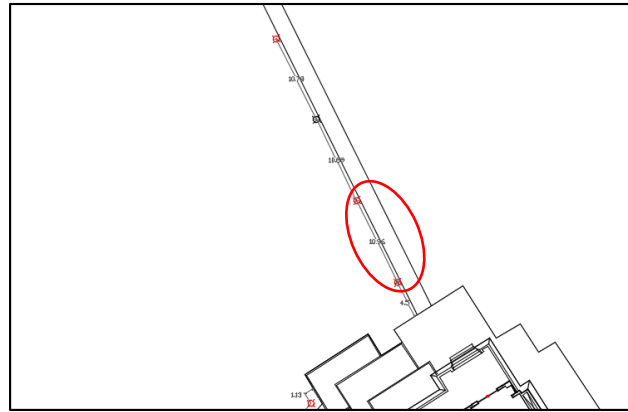


Figura 52. Superficie de Cálculo 12.
Fuente: (Propia).

2.2. Simulación lumínica del sistema actual.

La simulación del sistema de iluminación realizada en el software Dialux, nos permite representar el sistema de iluminación con aceptada exactitud, ya que nos permite definir a un buen nivel de detalle la representación del sistema en un modelo en tres dimensiones considerando la ubicación de los objetos y terrenos, obteniendo un resultado fehaciente al real, comprobables con los instrumentos de medición empleados.

Para la elaboración de la simulación se descargó el complemento de catálogo luminarias de la marca Philips, marca de a la cual pertenecen las luminarias del sistema antes descritas.

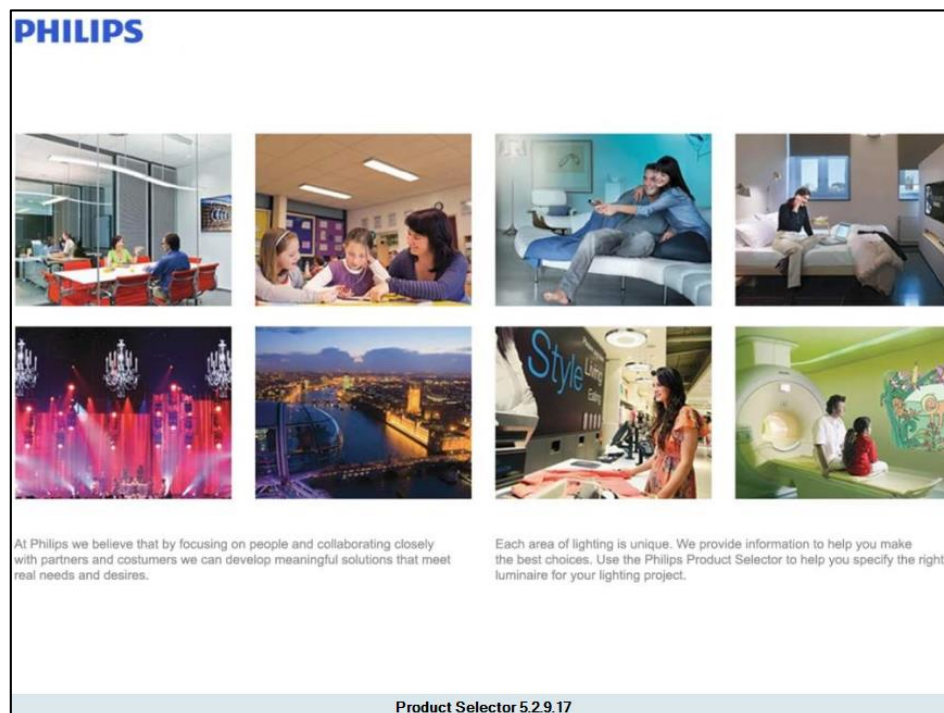


Figura 53. Catálogo de luminarias Philips - Dialux.
Fuente: (Propia).

El inicio de la simulación de cualquier sistema de iluminación empieza determinando el tipo de sistema que vamos a estudiar. En general tenemos tres tipos de sistemas a simular: Proyectos de interiores, proyectos de exteriores y proyectos de carretera. En el caso de estudio de la siguiente tesis se simulará un sistema de iluminación de exteriores.

Luego como una guía para empezar a realizar la representación del sistema procedemos a exportar el plano presentado en el Anexo A. En formato DWG hacia la plataforma de simulación de Dialux.

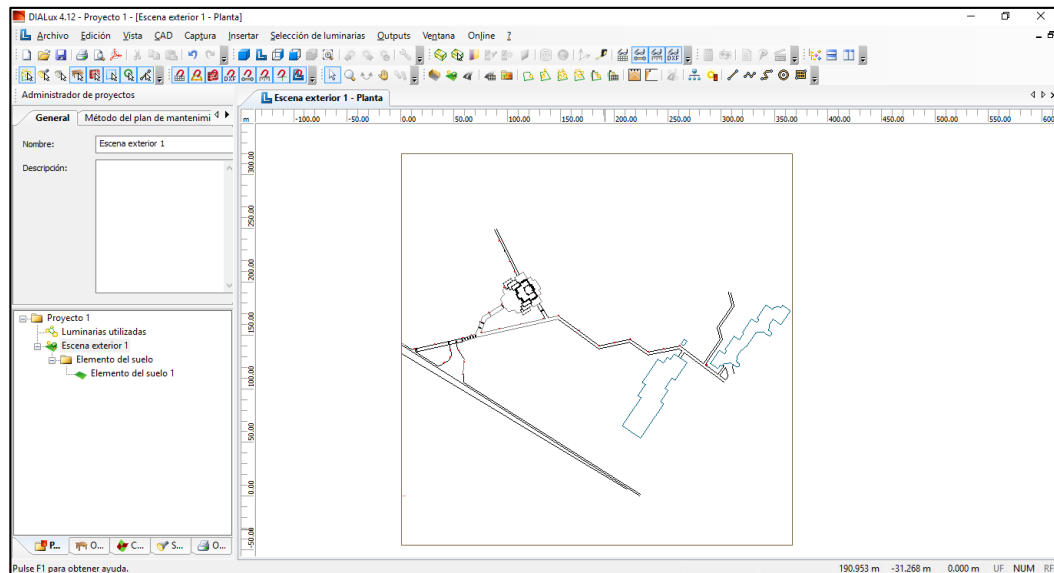


Figura 54. Importación del plano de planta de la zona de estudio en Dialux.
Fuente: (Propia).

Luego de exportar el plano de planta se procede a dibujar paso a paso usando el plano como guía y teniendo en consideración las alturas de los elementos del sistema (niveles de pisos, escaleras, etc.), las cuales se deben tener muy en cuenta para tener resultados lumínicos más fidelizados con la realidad.

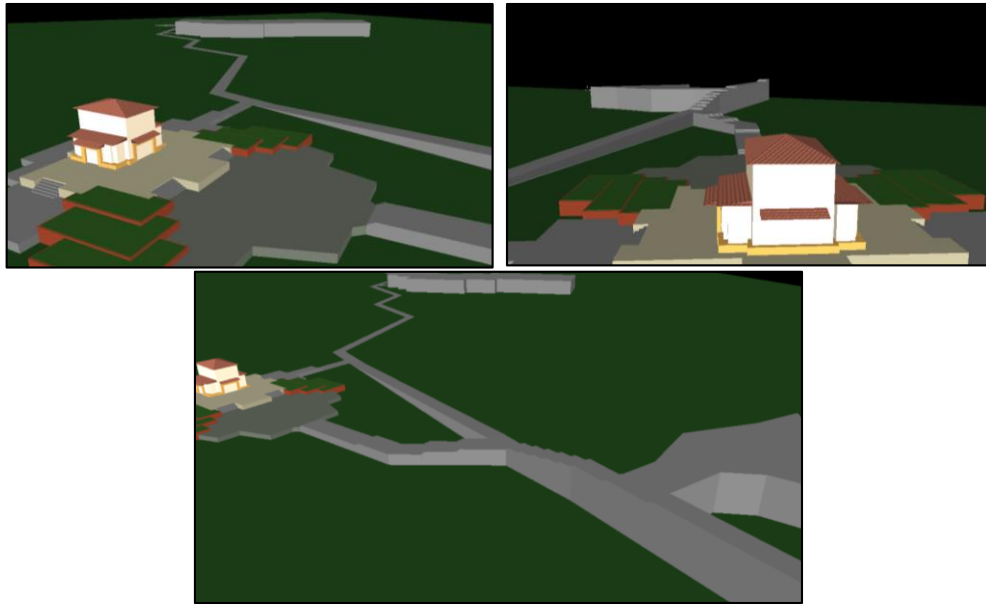


Figura 55. Representación del sistema a simular realizado en el software Dialux.
Fuente: (Propia).

Luego de realizar el diseño del sistema como se puede apreciar en la Figura 55 se procede a ubicar las luminarias en cada uno de los puntos que nos indica el plano del Anexo A. Para la ubicación de manera más exacta las luminarias se deberán tener en cuenta que se encuentran en postes de una altura de 3.5 m. y se debe referenciar al nivel de elevación del piso en el que se encuentran referenciados.

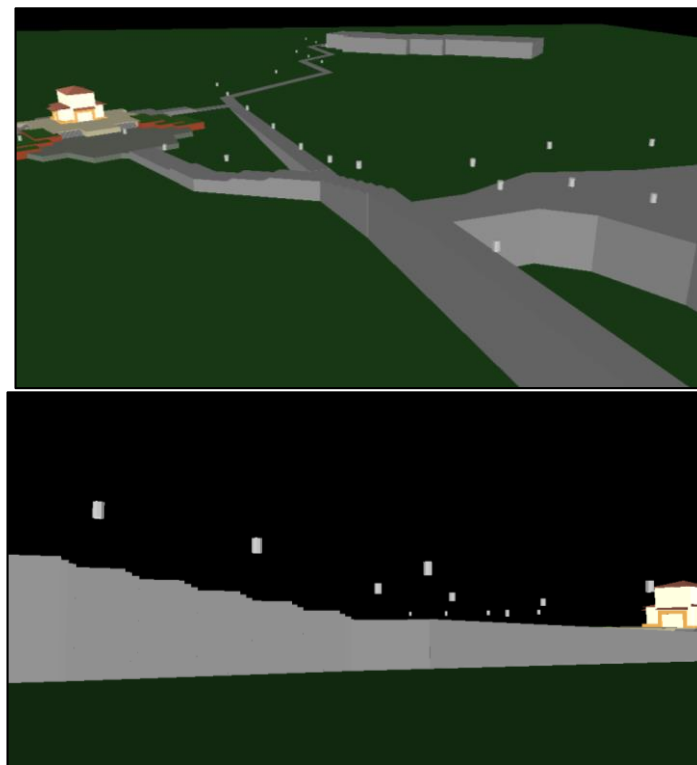


Figura 56. Ubicación de luminarias en la simulación del sistema.
Fuente:(Propia).

Después de ubicar de manera adecuada las luminarias del sistema se procederá ubicar las superficies de cálculo mencionadas en los puntos anteriores, para obtener de cada uno de ellos los diversos niveles de iluminación.

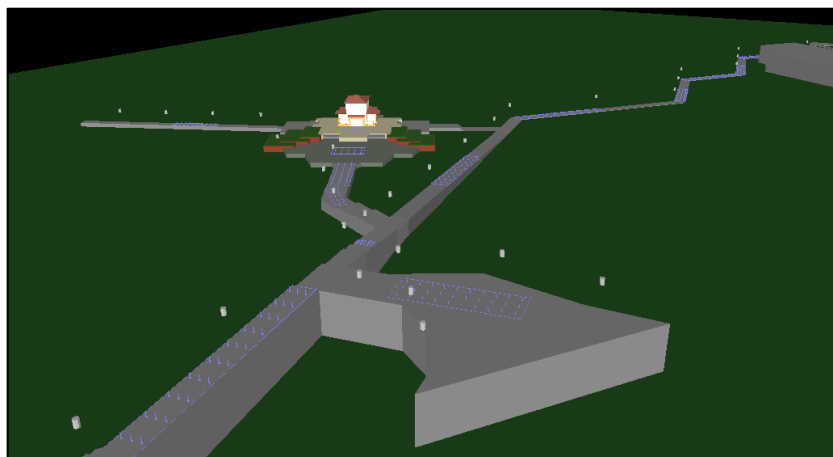


Figura 57. Ubicación de superficies de cálculo del sistema.
Fuente: (Propia).

Determinados todos los parámetros para realizar la simulación procedemos a realizar el cálculo de esta el cual nos brindará los niveles de iluminación en cada una de las superficies de cálculo, y como se puede apreciar en la Figura 58 el software brinda el modelo renderizado de los niveles de iluminación de nuestro sistema.



Figura 58. Simulación del sistema de iluminación - Renderizado 3D.
Fuente:(Propia).

Para la generación de los resultados de la simulación, el programa analiza cada coordenada del ambiente creado y calcula los diferentes parámetros lumínicos en cada punto y lo muestra en una grafico de distribución de iluminación como en la Figura 57.

2.3. Resumen y evaluación de niveles de iluminación actuales.

El análisis de los resultados de la simulación del sistema de iluminación actual será sectorizado según se especifica al inicio del capítulo, los valores obtenidos en cada una de las superficies de cálculo los compararemos con los mínimos valores que requiere la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”.

Para la correcta aplicación de esta norma se procederá inicialmente a realizar un estudio de la zona que se va a realizar el estudio de iluminación, ya que la norma brinda ocho tipos de vía las cuales clasifica en cinco tipos de alumbrado, que tendrán determinadas características dependiendo de sus funciones y características.

Tabla 5. Clasificación de alumbrado según calificación vial.

Tipo de vía	Tipo de alumbrado	Función	Características del tránsito y la vía.
Expresa	I	- Une zonas de alta generación de tránsito con alta fluidez. - Accesibilidad a las áreas urbanas adyacentes mediante infraestructura especial (rampas)	- Flujo vehicular ininterrumpido. - Cruces a desnivel. - No se permite estacionamiento. - Alta velocidad de circulación mayor a 60 km/h - No se permite paraderos urbanos sobre la calzada principal. - No se permite vehículos de transporte urbano, salvo los casos que tengan vía especial.
Arterial	II	- Une zonas de alta generación de tránsito con media o alta fluidez. - Acceso a las zonas adyacentes mediante vías auxiliares.	- No se permite estacionamiento. - Alta y media velocidad de circulación entre 60 y 30 km/h. - No se permiten paraderos urbanos sobre la calzada principal. - Volumen importante de vehículos de transporte público
Colectora 1	II	Permite el acceso a vías locales	- Vías que están ubicadas y/o atraviesan varios distritos. Se considera en esta categoría las vías principales de un distrito o zona céntrica. - Generalmente tienen calzadas principales y auxiliares. - Circulan vehículos de transporte público.
Colectora 2	III	Permite el acceso a vías locales	- Vías que están ubicadas entre 1 o 2 distritos. - Tienen 1 o 2 calzadas principales pero no tienen calzadas auxiliares. - Circulan vehículos de transporte público.
Local Comercial	III	Permite el acceso al comercio local.	- Los vehículos circulan a una velocidad máxima de 30 km/h. - Se permite estacionamiento. - No se permite vehículos de transporte público. - Flujo peatonal importante.

Local Residencial 1	IV	Permite acceso a viviendas.	- Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado reducido. - Vías con calzadas asfaltadas pero sin veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Local Residencial 2	V	Permite acceso a viviendas.	- Vías con calzadas sin asfaltar. - Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
Vías Peatonales	V	Permite el acceso a las viviendas y propiedades mediante el tráfico peatonal.	- Trafico exclusivamente peatonal

Fuente: (Ministerio de Energia y Minas, 2002)

Calificando nuestro sistema de iluminación podemos determinar que se trata de una vía del tipo Peatonal, lo que atribuye un tipo de alumbrado V.

Adicionalmente a esta clasificación se debe determinar el tipo de calzada con la que se va a contar en el sistema, la norma técnica clasifica en dos tipos de calzadas, Calzada Clara y Oscura, como se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Tipos de calzada.

Tipo de superficie	Tipo de calzada
Revestimiento de concreto	Clara
Revestimiento de asfalto	Oscura
Superficies de tierra	Clara

Fuente: (Ministerio de Energia y Minas, 2002).

Como el sistema cuenta con una superficie revestida de concreto, se determina que el tipo de calzada es clara.

Determinado el tipo de alumbrado y el tipo de calzada que se procede a ver cuáles serán los requisitos mínimos en parámetros de luminancia, iluminancia media, índice de control de deslumbramiento y uniformidad, dichos valores los determina las siguientes tablas que se encuentran en la norma técnica.

Tabla 7. Niveles mínimos requeridos de luminancia, iluminancia e índice de control de deslumbramiento.

Tipo de alumbrado	Luminancia media revestimiento seco (cd/m ²)	Iluminancia media (lux)		Índice de control de deslumbramiento (G)
		Calzada clara	Calzada oscura	
I	1,5 - 2,0	15 - 20	30 - 40	≥ 6
II	1,0 - 2,0	10 - 20	20 - 40	5 - 6
III	0,5 - 1,0	5 - 10	10 - 20	5 - 6
IV		2 - 5	5 - 10	4 - 5
V		1 - 3	2 - 6	4 - 5

Fuente: (Ministerio de Energia y Minas, 2002)

Tabla 8. Uniformidad media.

Tipo de Alumbrado	Uniformidad media
III	0.25 - 0.35
IV, V	≥ 0.15

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2002)

Entonces, en resumen, para todas las superficies de cálculo, se deben tener en cuenta estos requisitos mínimos de parámetros lumínicos.

Tabla 9. Parámetros lumínicos a cumplir según la norma técnica DGE.

Tipo de vía:	Peatonal.
Tipo de alumbrado:	V.
Tipo de calzada:	Clara.
Iluminancia media (lux)	1 – 3.
Uniformidad media:	≥ 0.15

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2002).

Con estos valores se empezará a observar con criterio la simulación de cada una de las superficies de cálculo de la simulación, los resultados de la simulación se analizarán por superficie de cálculo, y siguiendo la distribución de las zonas iniciales.

2.3.1. Resultados de la simulación del sistema de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.

2.3.1.1. Superficie de cálculo de la base inferior de la Ermita.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 3x5.

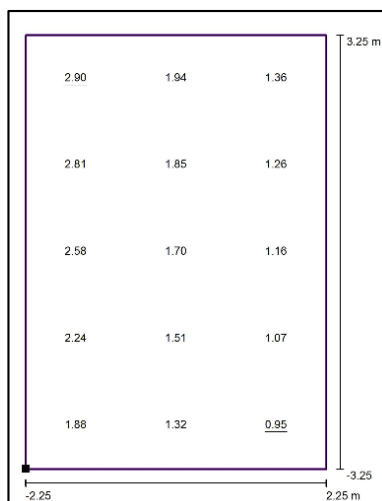


Figura 59. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo en la base inferior de la Ermita.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 10. Comparación de valores de la superficie de cálculo en la base inferior de la Ermita.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	1.77	1-3	Sí. (Mejorar)
Uniformidad media	0.54	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia).

Como se puede apreciar en la Tabla 10, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica, pero con respecto al parámetro de iluminancia media se podría mejorar debido a que esta está entre el rango de mínima cantidad de luxes, pero con una pequeña diferencia de 0.77 lux.

2.3.1.2. Superficie de cálculo utilizado en la base superior de la Ermita.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 3x5.

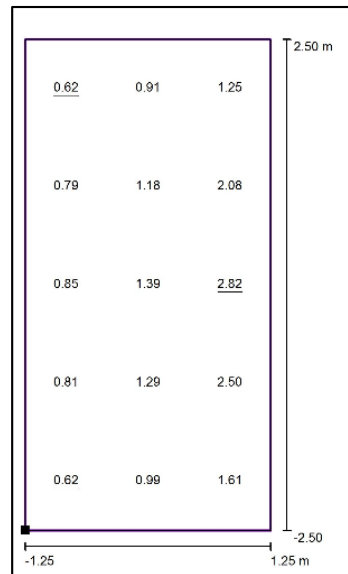


Figura 60. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo en la base superior de la Ermita.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 11. Comparación de valores de la superficie de cálculo en la base superior de la Ermita.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux).	1.31	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.47	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 11, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2. Resultados de la simulación del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita.

2.3.2.1. Superficie de cálculo 01 – Estacionamiento.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 3x10.

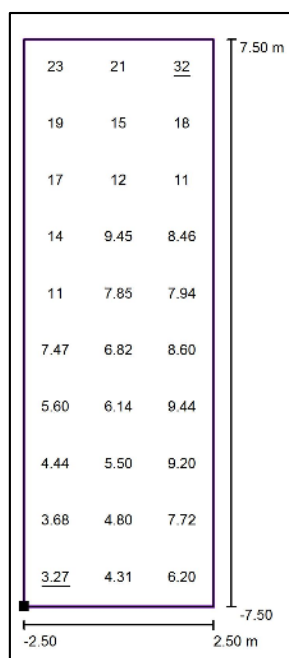


Figura 61. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 01.
Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 12. Comparación de valores de la superficie de cálculo 01.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	11	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.31	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 12, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2.2. Superficie de cálculo 02.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.

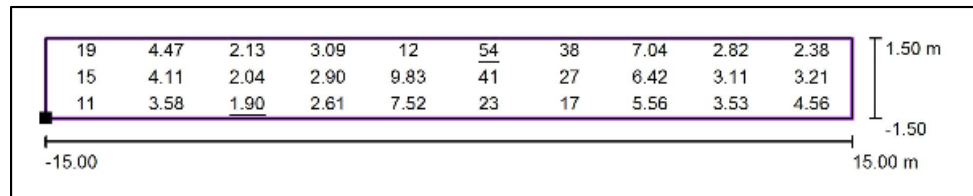


Figura 62. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 02.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 13. Comparación de valores de la superficie de cálculo 02.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	11	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.17	≥ 0.15	Sí (Mejorar).

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 13, esta zona sí cumple con el requisito de iluminancia media muy bien, pero cumple con el requisito de uniformidad media con un pequeño margen de 0.02, lo cual se puede mejorar.

2.3.2.3. Superficie de cálculo 03.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 3x5.

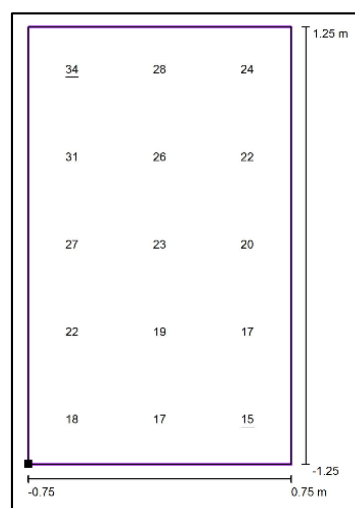


Figura 63. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 03.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 14. Comparación de valores de la superficie de cálculo 03.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	23	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.66	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 14, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2.4. Superficie de cálculo 04.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.

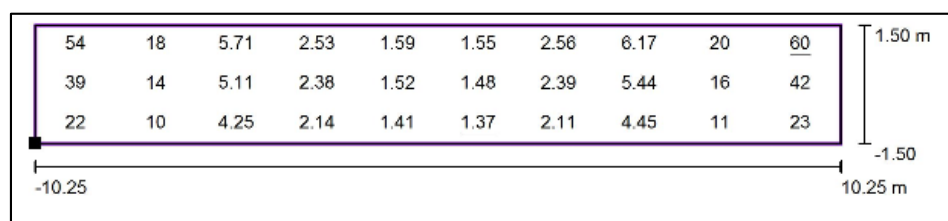


Figura 64. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 04.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 15. Comparación de valores de la superficie de cálculo 04.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	13	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.11	≥ 0.15	No.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 15, esta zona solo cumple con los requisitos lumínicos de iluminancia media, pero no cumple con el requerimiento de uniformidad media.

2.3.2.5. Superficie de cálculo 05.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.

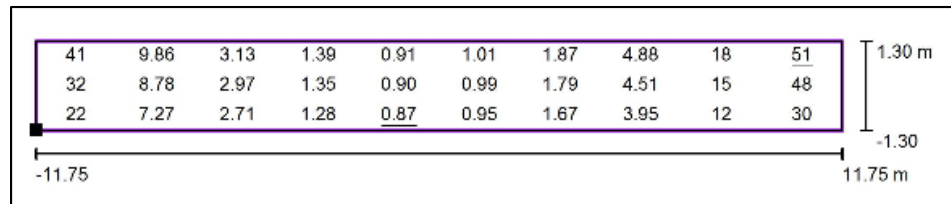


Figura 65. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 05.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 16. Comparación de valores de la superficie de cálculo 05.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	11	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.08	≥ 0.15	No.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 16, esta zona solo cumple con los requisitos lumínicos de iluminancia media, pero no cumple con el requerimiento de uniformidad media.

2.3.2.6. Superficie de cálculo 06.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.



Figura 66. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 06.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 17. Comparación de valores de la superficie de cálculo 06.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	19	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.2	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 17, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2.7. Superficie de cálculo 07.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.

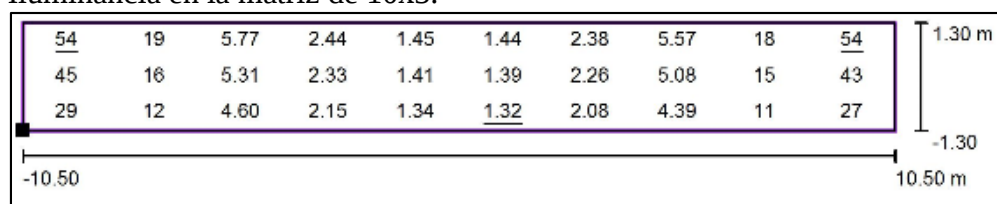


Figura 67. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 07.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 18. Comparación de valores de la superficie de cálculo 07.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	13	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.1	≥ 0.15	No.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 18, esta zona solo cumple con los requisitos lumínicos de iluminancia media, pero no cumple con el requerimiento de uniformidad media.

2.3.2.8. Superficie de cálculo 08.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.

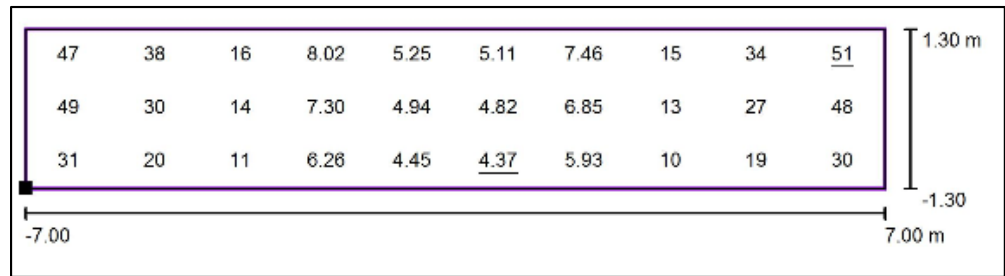


Figura 68. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 08.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 19. Comparación de valores de la superficie de cálculo 08.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	19	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.23	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 19, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2.9. Superficie de cálculo 09.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.

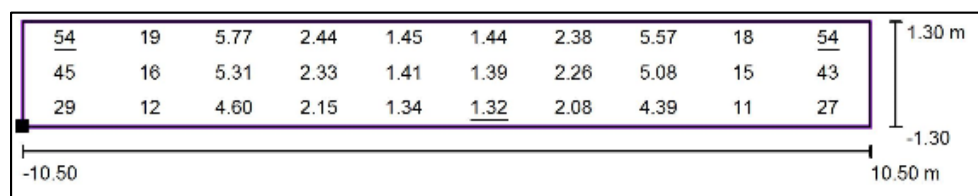


Figura 69. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 09.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 20. Comparación de valores de la superficie de cálculo 09.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	8.25	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.05	≥ 0.15	No.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 20, esta zona solo cumple con los requisitos lumínicos de iluminancia media, pero no cumple con el requerimiento de uniformidad media.

2.3.2.10. Superficie de cálculo 10.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 5x3.

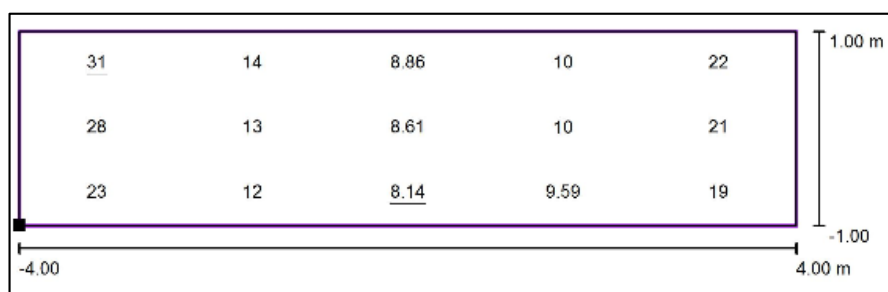


Figura 70. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 10.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 21. Comparación de valores de la superficie de cálculo 10.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	16	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.51	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 21, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2.11. Superficie de cálculo 11.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3.



Figura 71. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 11.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 22. Comparación de valores de la superficie de cálculo 11.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	15	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.29	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 22, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.2.12. Superficie de cálculo 12.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3

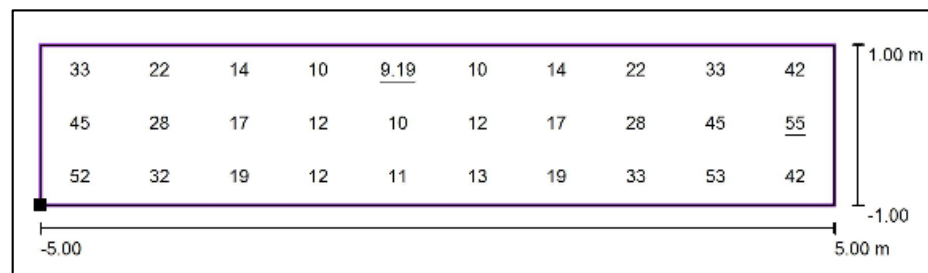


Figura 72. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 12. Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con lo que dice la norma.

Tabla 23. Comparación de valores de la superficie de cálculo 12.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito.
Iluminancia media (Lux)	26	1-3	Sí.
Uniformidad media	0.36	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 23, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la norma técnica.

2.3.3. Validación de datos en la simulación.

Para realizar esta validación se utilizó el instrumento llamado Luxómetro, el cual se especifica en la Figura 73. Este instrumento posee un sensor fotoeléctrico que permite monitorear en tiempo real el grado de Iluminancia en un punto determinado.

MODELS	CA811	CA813*
Range	20fc, 200fc, 2000fc, 20kfc	20fc, 200fc, 2000fc, 20kfc
	20lux, 200lux, 2000lux, 20klux	20lux, 200lux, 2000lux, 20klux, 200klux
Display Resolution	0.01fc or 0.01lux	
Sensor	Silicon photodiode	
Spectral Response	CIE Photopic Curve	
Accuracy		
2856K Light Source	$\pm 5\%$ of Reading ± 10 cts	$\pm 5\%$ of Reading ± 10 cts
Common Light Source	$\pm 18\%$ of Reading ± 2 cts	$\pm 11\%$ of Reading ± 2 cts
Sample Rate	2.5 times per second, nominal	2.5 times per second, nominal
GENERAL		
Display	3½ digit liquid crystal display (LCD), 2000-count	
Operating Temperature	32° to 122°F (0° to 50°C), <80% RH	
Storage Temperature	-4° to 140°F (-20° to 60°C), 0 to 80% RH without battery	
Polarity	Automatic	
Power Source	One 9V Alkaline battery (included)	
Low Battery Indication	[- +] is displayed when battery voltage is low	
Dimensions	6.81 x 2.38 x 1.5" (173 x 60.5 x 38mm)	
Weight	Approx. 7.55oz (214g) including battery	Approx. 7.9oz (224g) including battery



Figura 73. Luxómetro utilizado para la validación de datos.
Fuente: (AEMC, 2017)

Para la validación de datos, se procedió a realizar la medición de los datos de una de las superficies de cálculo. Para lo cual se seleccionó la superficie de cálculo ubicada en la base inferior de la ermita.

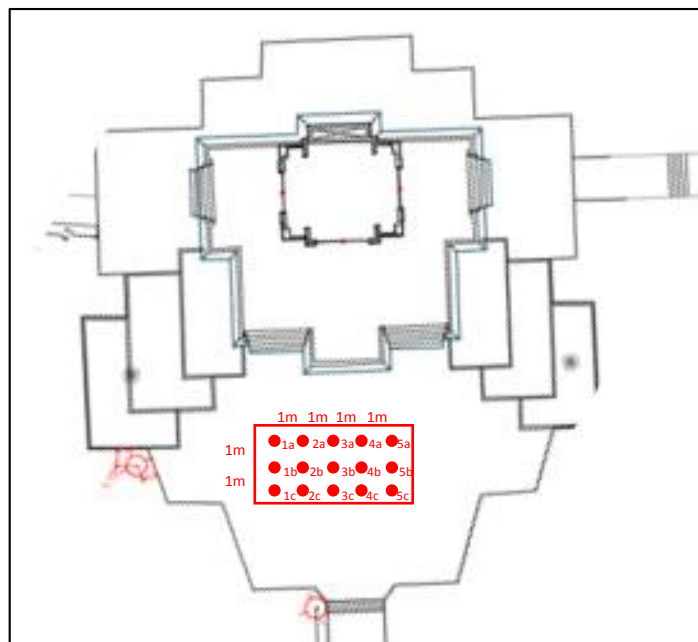


Figura 74. Esquema de los puntos tomados para la validación de la simulación.
Fuente: (Propia).

Como se puede apreciar en la Figura 74 se puede apreciar la distribución de los puntos donde se tomó las medidas para la verificación de dato, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 24. Resultados de las mediciones en la base inferior de la Ermita. Unidades (Lux).

Fuente: (Propia).

Tabla 25. Resumen de resultados de las mediciones en la base inferior de la Ermita. Unidades (Lux).

1.a) 1.33	2.a) 1.26	3.a) 1.15	4.a) 1.08	5.a) 0.96
1.b) 1.97	2.b) 1.87	3.b) 1.68	4.b) 1.45	5.b) 1.31
1.c) 2.95	2.c) 2.77	3.c) 2.51	4.c) 2.14	5.c) 1.97

Fuente: (Propia).

Como se aprecia en la Tabla 24 y 25, y comparándolo con los resultados de la simulación presentados en la Figura 59, se pueden ver la semejanza entre los resultados de las mediciones y la simulación, lo cual nos da un grado de confiabilidad de los resultados de la simulación en todas las superficies de cálculo.

2.4. Resumen de resultados.

Como se puede apreciar, todas las superficies de cálculo cumplen con el requisito de Iluminancia media, con una mejora en:

- Superficie de cálculo que se encuentra en la base inferior de la Ermita.
Debido a que solo cuentan con dos luminarias distribuidas de maneras no adecuadas y dejando esta zona con un nivel de Iluminancia muy bajo.
Pero principalmente el problema es que en las siguientes superficies de cálculos no cumple el requisito de Uniformidad media:
- Superficie de cálculo 02, 04, 05, 07 y 09.
En el siguiente capítulo se propondrá una solución al estado actual del sistema de iluminación.

Capítulo 3: Estudio de la propuesta de sistema de iluminación utilizando tecnología LED.

En este capítulo se realizará el estudio de la propuesta del Sistema de Iluminación LED de la Ermita de la Universidad de Piura y de sus caminos adyacentes utilizando. Para empezar a detallar el estudio realizado del sistema de iluminación se deben aclarar que se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Basado en el estudio del estado actual realizado en el Capítulo 02, el sistema que se propone está centrado en las luminarias tipo poste de la Ermita y caminos adyacentes de la Universidad de Piura.
- El estudio del sistema de iluminación se dividirá en dos sectores al igual que en el capítulo 02, el sistema de iluminación independiente de la Ermita y el estudio de iluminación los caminos adyacentes.
- La hipótesis a comprobar es que el sistema de iluminación utilizando tecnología LED será mucho más eficiente debido a dos aspectos importantes:
 - o El sistema de iluminación utilizando tecnología LED es mucho más eficiente que el sistema de iluminación actual, debido a que las luminarias LED tienen un valor de eficiencia luminosa mayor consumiendo una menor potencia eléctrica si se deseara emitir el mismo nivel de iluminación.
 - o La propuesta del sistema de iluminación LED deberá corregir los valores de uniformidad media del estudio realizado en el capítulo 02 del sistema actual de iluminación.
- Se está considerando que las lámparas y carcasas están iniciando su tiempo de vida útil sin disminuir sus funcionalidades óptimas.
- El estudio de iluminación se realizará en el software de simulación Dialux, en el cual se pueden hacer estudios en todos los rubros de la iluminación, iluminación interna, externa, de carreteras, peatonales, etc. Este Software permite comparar los niveles lumínicos necesarios y basados en las diversas normas técnicas para así determinar si el sistema de iluminación es el adecuado.

3.1. Descripción del sistema.

3.1.1. Descripción del sistema propuesto de iluminación de la Ermita de la Universidad de Piura.

El estudio se realizó en la misma área del estudio del capítulo 02. Y utilizando la misma ubicación de las superficies de cálculo.

En el estudio de la propuesta se realizará el cambio de las lámparas de las luminarias de alumbrado tipo poste del sistema actual (Lámparas de vapor de mercurio) por lámparas tipo LED.

Cabe resaltar que para la propuesta del sistema no se analizará la influencia de las luminarias tipo spot, debido a que ellas si cumplen con las condiciones lumínicas requeridas, como se pueden observar en el capítulo 02. Por lo que no se hará, en el presente capítulo, el análisis de la superficie de trabajo de la zona influenciada por las luminarias tipo spot.

- Luminaria de poste tipo BDS711 1xECO88/740 S

La propuesta del sistema de iluminación se ha realizado con este tipo de luminarias, las cuales fueron seleccionadas debido a que las cuales serán ubicadas en su posición original para realizar las simulaciones del caso.

Cada luminaria posee las siguientes características:

Lámpara: ECO88/740 S

- Flujo luminoso de 8800 lm.
- Potencia nominal de 76W.
- Eficiencia luminosa de 115.8 lm/W.
- Tiempo de vida útil de 15000 h.
- Índice de reproducción cromática de 50.
- Temperatura de color 4200K. - Luz Fría.
- Carcasa: BDS711.
- CIE Flux Code de 19 48 79 89 84

Las luminarias se encuentran ubicadas a una altura de 3.5m con respecto a su base, ubicada al nivel del piso dependiendo de su nivelación topográfica.

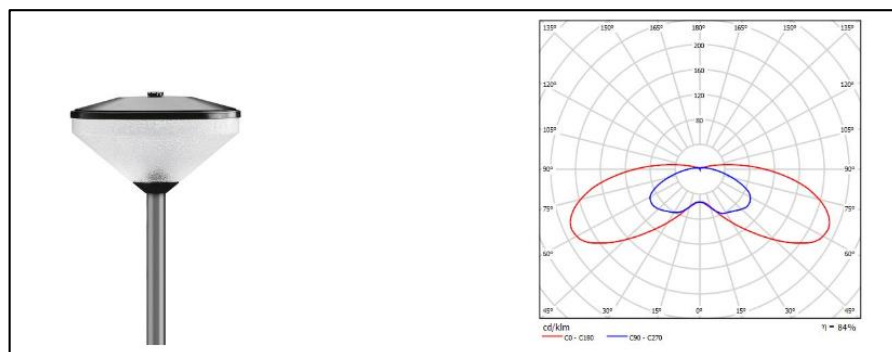


Figura 75. Esquema de luminaria tipo poste tipo BDS711 1xECO88/740 S junto a su curva fotométrica.

Fuente: (Propia-Dialux)

El área de acción de las luminarias junto con la superficie de cálculo a analizar serán las mismas utilizadas en el Capítulo 02, el motivo de esto es el comparar los resultados del sistema actual con los resultados del sistema propuesto de iluminación utilizando tecnología LED.

La superficie de cálculo será de dimensiones 4.50 x 6.50 m² utilizando una matriz de cálculo de 5x3 puntos, como se puede apreciar en la Figura 76.

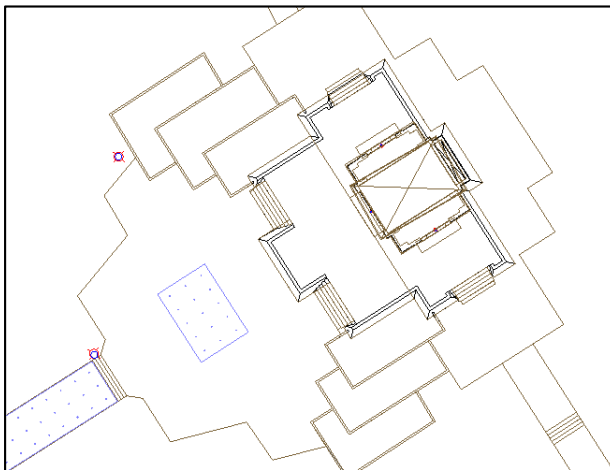


Figura 76. Superficie de Cálculo utilizada en el estudio del sistema de iluminación de la Ermita.

Fuente: (Propia).

3.1.2. Descripción del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita.

Para realizar el estudio del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita, al igual que en el estudio del estado actual realizado en el capítulo 02, este estará conformado por treinta (30) luminarias del tipo poste descritas en el apartado anterior y representado en la Figura 75.

Para realizar el análisis del sistema propuesto de iluminación se volverá a dividir en tres (03) subsistemas y se utilizarán las mismas superficies de control descritas en el capítulo 02, en el apartado 2.1.1.1, las cuales son:

- Camino Principal (Carretera – Ermita – Edificio 80).
 - Superficie de cálculo 01 – Estacionamiento.
 - Superficie de cálculo 02.
 - Superficie de cálculo 03.
 - Superficie de cálculo 04.
 - Superficie de cálculo 05.
 - Superficie de cálculo 06.
 - Superficie de cálculo 07.
 - Superficie de cálculo 08.
 - Superficie de cálculo 09.
- Camino Central (Camino Principal – Ermita)
 - Superficie de cálculo 10.
 - Superficie de cálculo 11.
- Camino Derecha (Ermita – Carretera).
 - Superficie de Cálculo 12.

3.2. Simulación del sistema de iluminación propuesto.

Para la simulación del sistema se volverá a utilizar el software Dialux para representar el sistema de iluminación propuesto. Para representar la luminaria propuesta se utilizará el catálogo luminarias de la marca Philips de la misma manera que en Capítulo 02.

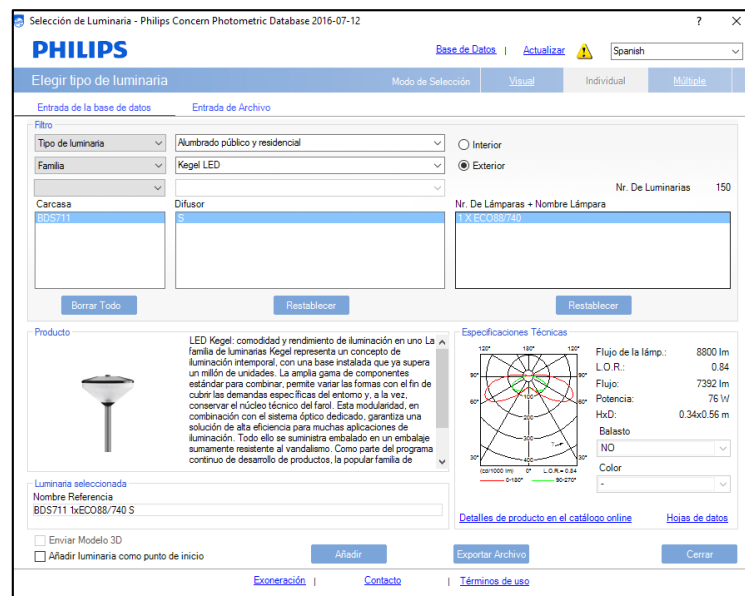


Figura 77. Catálogo de lumináries Philips - Dialux.
Fuente: (Propia).

El sistema propuesto se simulará como un proyecto de exteriores utilizando el mismo plano de distribución de luminarias que se utilizó en el estado actual ya que se parte de la premisa que se utilizarán las mismas ubicaciones de luminarias actuales, para lo cual se exportó el plano presentado en el Anexo A. En formato DWG hacia la plataforma de simulación de Dialux.

Se utilizará la misma representación de los exteriores utilizado en el Capítulo 02, además de la misma ubicación de luminarias con respecto a la altura y nivelación topográfica como se puede apreciar en la Figura 78.

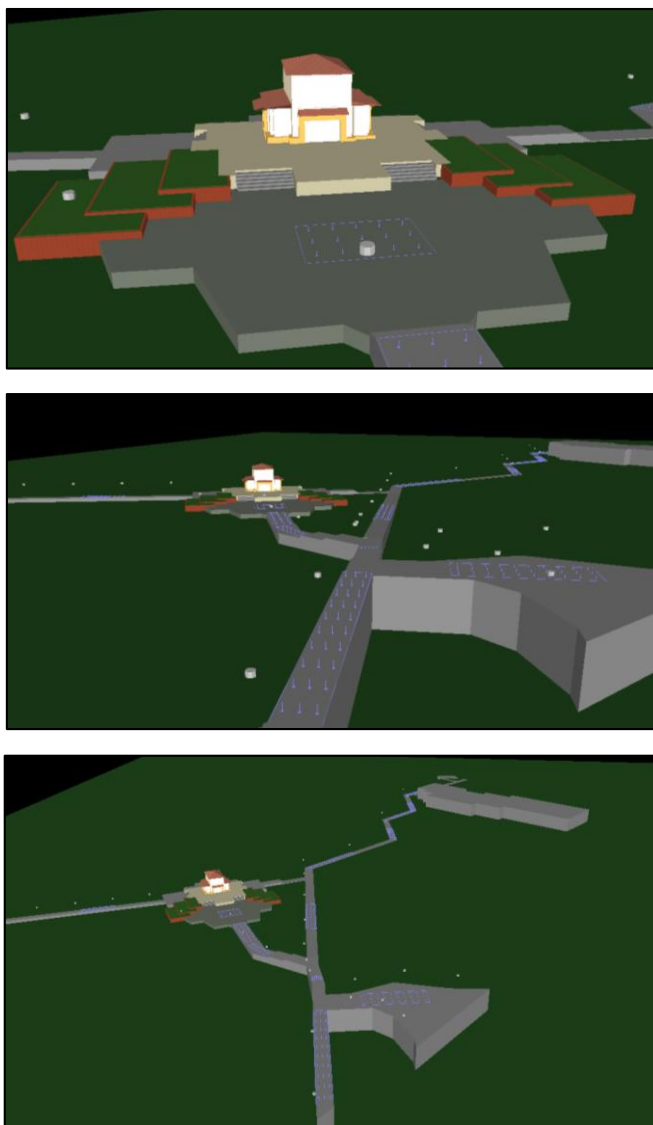


Figura 78. Representación del sistema propuesto a simular realizado en el software Dialux.

Fuente: (Propia).

La modificación con respecto al sistema anterior es el cambio de las luminarias las cuales fueron seleccionadas teniendo como referencia la luminaria actual la cual emite un flujo luminoso de 6200 lm, por lo cual se tiene como un valor de referencia mínima para una mejor selección de cómo se puede apreciar en la Figura 79, el catálogo de Philips nos brinda una serie de opciones utilizando tecnología *LED*.

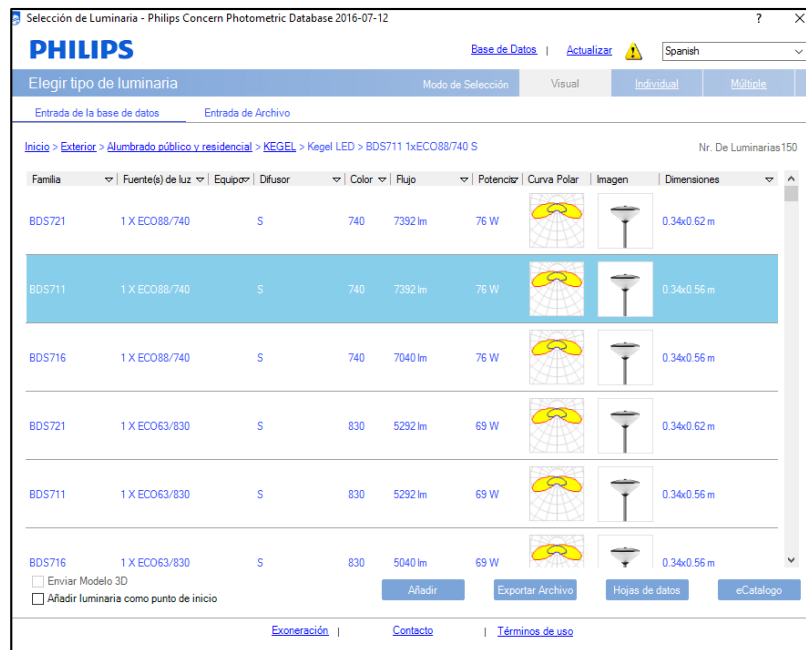


Figura 79. Selección de la luminaria a trabajar en el catálogo Philips.
Fuente: (Propia)

Se seleccionó la luminaria Philips BDS711 1xECO88/740 S, debido a que tiene un flujo luminoso mayor al de la luminaria del estado actual y consume menos potencia eléctrica, por lo que su eficiencia luminosa es mucho mayor que la de la luminaria existente.

Siguiendo la descripción del sistema propuesto se procederá a hacer el cambio de las luminarias seleccionadas en lugar de las actuales en el modelo de la simulación. En la Figura 80 se puede apreciar el cambio de luminarias efectuado en la ventana correspondiente al Software Dialux.

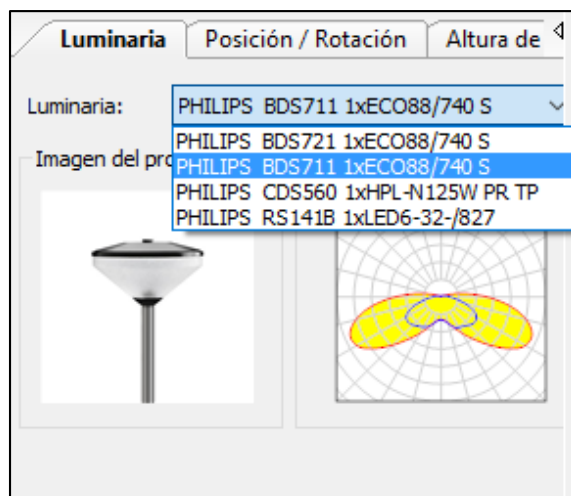


Figura 80. Cambio de luminaria de para la simulación del sistema propuesto de iluminación.
Fuente:(Propia).

Después insertar las luminarias propuestas en el software se procederá a realizar el cálculo de la simulación, los resultados de la simulación nos brindarán los niveles de iluminación en cada una de las superficies de cálculo, como se puede apreciar en la Figura 81, el software brinda el modelo renderizado ⁽¹⁾ de los niveles de iluminación de nuestro sistema.

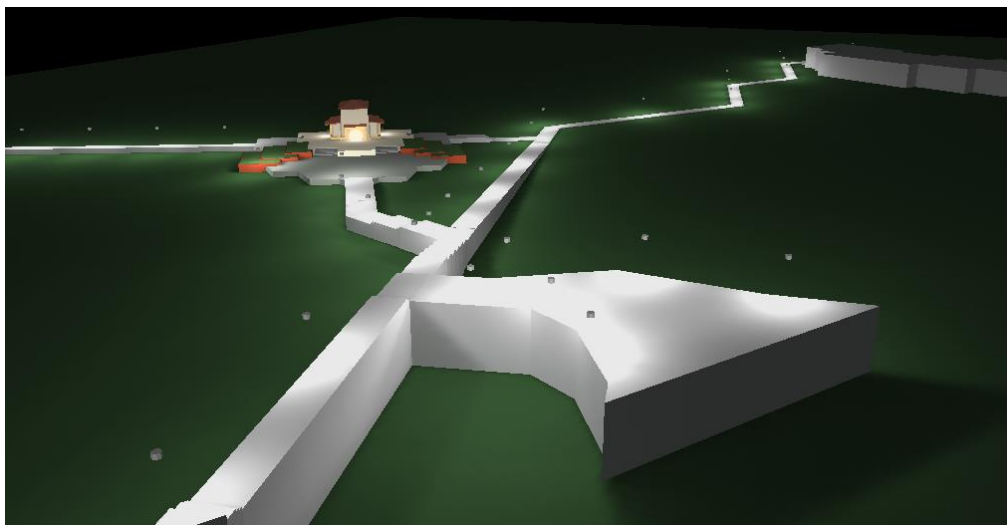


Figura 81. Simulación del sistema de iluminación - Renderizado 3D.
Fuente:(Propia).

En la Figura 82 se puede apreciar cualitativamente que la simulación del sistema propuesto posee mejores propiedades lumínicas en comparación a las del sistema de iluminación actual mejorando principalmente el nivel de uniformidad del alumbrado y el aumento del flujo luminoso.

⁽¹⁾ Es una imagen digital que se crea a partir de un modelo o escenario 3D realizado en algún programa de computadora especializado, cuyo objetivo es dar una apariencia realista desde cualquier perspectiva del modelo.

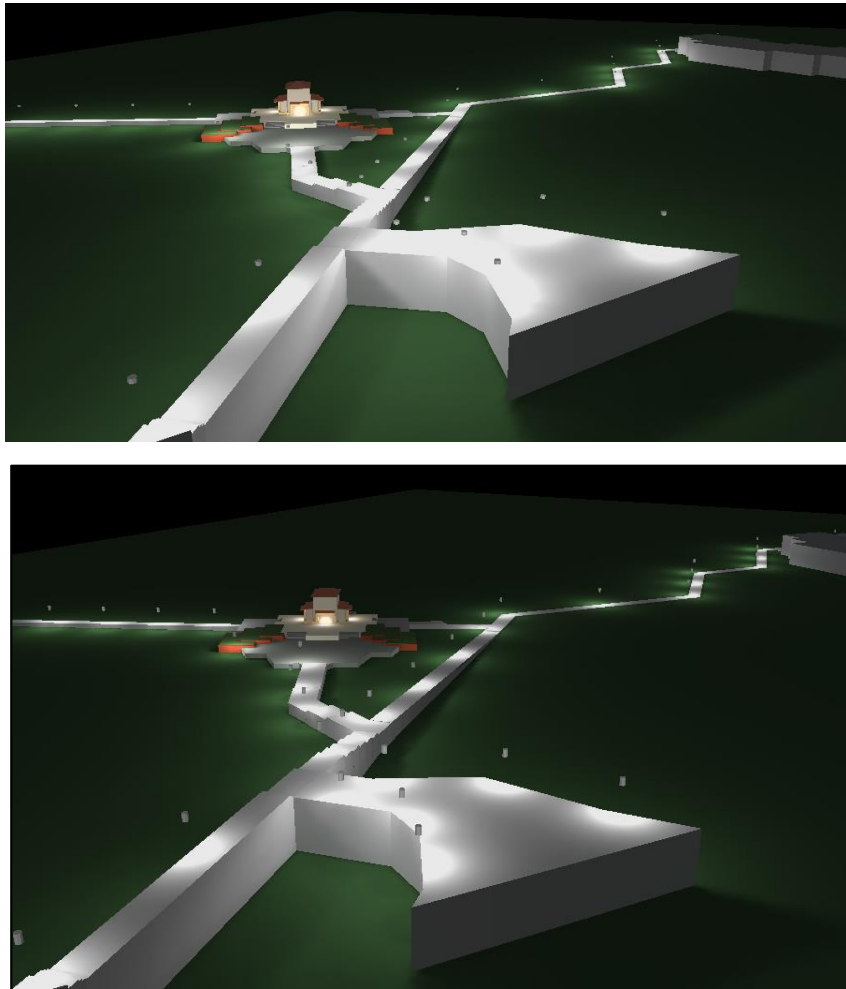


Figura 82. Comparación del Renderizado de los sistemas propuesto (superior) y actual (inferior) del sistema de iluminación.

Fuente: (Propia).

3.3. Resumen y evaluación de niveles de iluminación actuales.

El análisis de los resultados de la simulación del sistema de iluminación propuesto será sectorizado según se especificó al inicio del capítulo, de igual manera como se realizó en el capítulo 02, los valores obtenidos en cada una de las superficies de cálculo los compararemos con los mínimos valores que requiere la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”. Teniendo en cuenta que en todas las superficies de cálculo se debe tener estos requisitos mínimos de parámetros lumínicos:

Tabla 26. Parámetros lumínicos a cumplir según la norma técnica DGE.

Tipo de vía:	Peatonal.
Tipo de alumbrado:	V (Ver Tabla 5).
Tipo de calzada:	Clara.
Iluminancia media (lux)	1 – 3.
Uniformidad media:	≥ 0.15

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2002).

Los valores de la Tabla 26 sirven de guía, patrón o referencia para comparar los resultados obtenidos de la simulación con los dos tipos de luminarias para cada superficie de cálculo.

Con estos valores se empezará a observar con criterio los resultados de cada una de las superficies de cálculo de la simulación y se compararán con los datos con la simulación del sistema de iluminación actual.

3.3.1. Resultados de la simulación del sistema de iluminación propuesto de la Ermita de la Universidad de Piura.

3.3.1.1. Superficie de cálculo de la base principal de la Ermita.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 3x5. Considerada para esta superficie de cálculo.

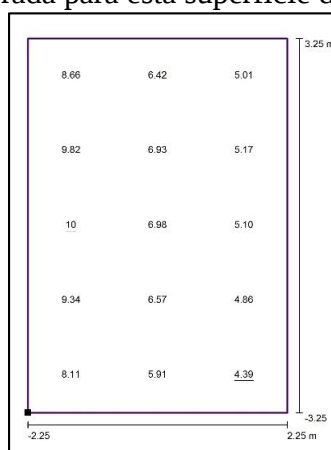


Figura 83. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo en la base principal de la Ermita.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 27. Comparación de valores de la superficie de cálculo en la base principal dela Ermita.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	6.89	1.77	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.64	0.54	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 27, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2. Resultados de la simulación del sistema de iluminación de los caminos adyacentes a la Ermita.

3.3.2.1. Superficie de cálculo 01 – Estacionamiento Ermita.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

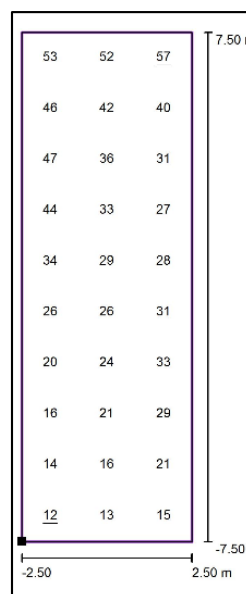


Figura 84. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 01.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica

Tabla 28. Comparación de valores de la superficie de cálculo 01.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	31	11	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.38	0.31	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 28, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo; con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2.2. Superficie de cálculo 02.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

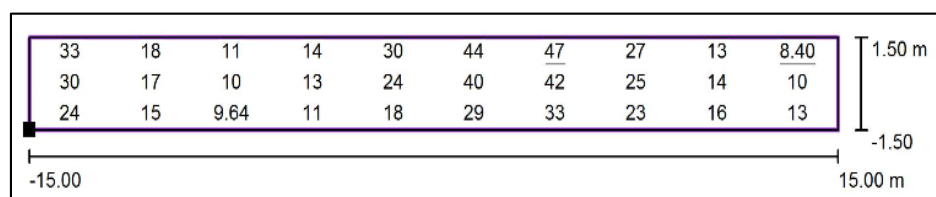


Figura 85. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 02.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores reportados en la Norma Técnica

Tabla 29. Comparación de valores de la superficie de cálculo 02.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	22	11	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.38	0.17	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 29, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez, se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2.3. Superficie de cálculo 03.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en Iluminancia en la matriz de 3x5 considerada para esta superficie de cálculo.

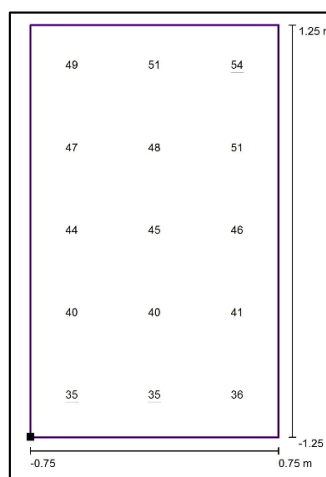


Figura 86. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 03.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 30. Comparación de valores de la superficie de cálculo 03.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	44	23	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.8	0.66	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 30, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2.4. Superficie de cálculo 04.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

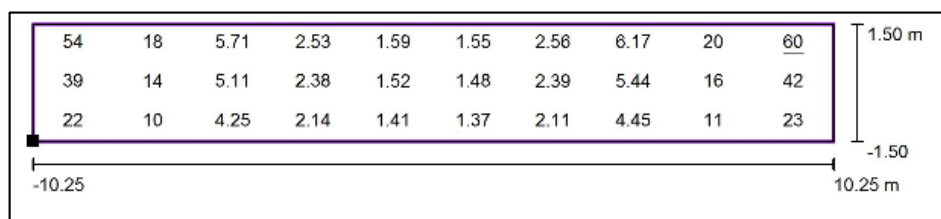


Figura 87. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 04.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 31. Comparación de valores de la superficie de cálculo 04.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	22	13	1-3	Sí (Mejorado).
Uniformidad media	0.34	0.11	≥ 0.15	Sí

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 31, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, a comparación del sistema de iluminación actual el cual no cumple con el valor de su Uniformidad media, y a la vez se ha mejorado el valor de la Iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual,

3.3.2.5. Superficie de cálculo 05.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

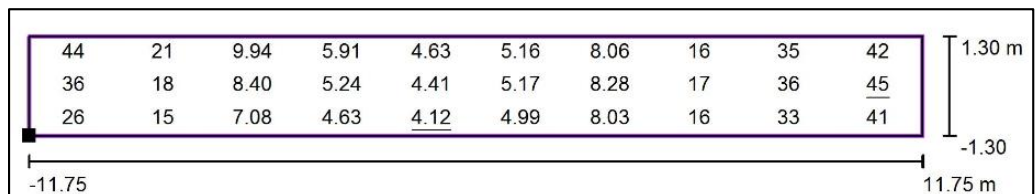


Figura 88. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 05.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 32. Comparación de valores de la superficie de cálculo 05.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	18	11	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.23	0.08	≥ 0.15	Sí

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 32, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, a comparación del sistema de iluminación actual el cual no cumple con el valor de su Uniformidad media, y a la vez se ha mejorado el valor de la Iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual,

3.3.2.6. Superficie de cálculo 06.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

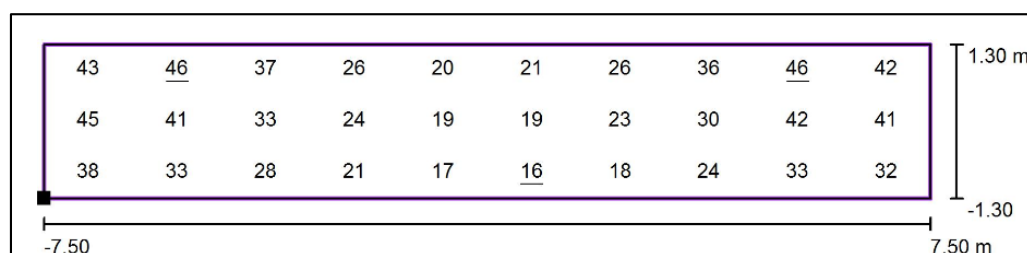


Figura 89. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 06.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la norma técnica.

Tabla 33. Comparación de valores de la superficie de cálculo 06.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema actual.
Iluminancia media (lx)	31	19	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.53	0.2	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 33, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2.7. Superficie de cálculo 07.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

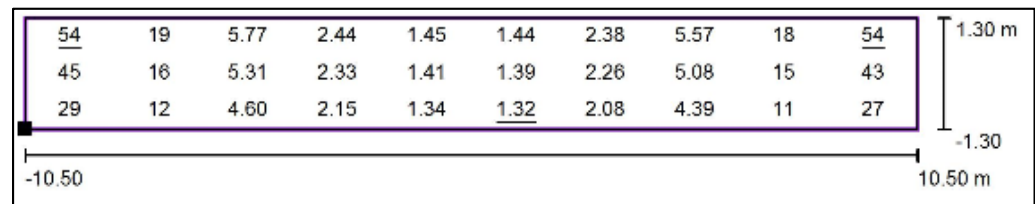


Figura 90. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 07.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 34. Comparación de valores de la superficie de cálculo 07.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto
Iluminancia media (lx)	21	13	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.28	0.1	≥ 0.15	Sí.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 34, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, a comparación del sistema de iluminación actual el cual no cumple con el valor de su Uniformidad media, y a la vez se ha mejorado el valor de la Iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual,

3.3.2.8. Superficie de cálculo 08.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

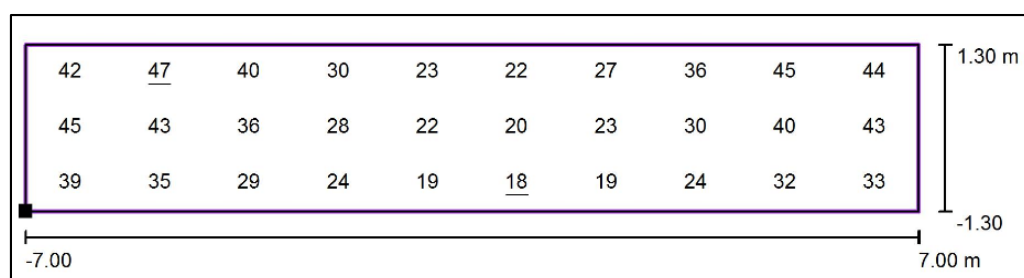


Figura 91. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 08.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 35. Comparación de valores de la superficie de cálculo 08.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	32	19	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.56	0.23	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 35, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2.9. Superficie de cálculo 09.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

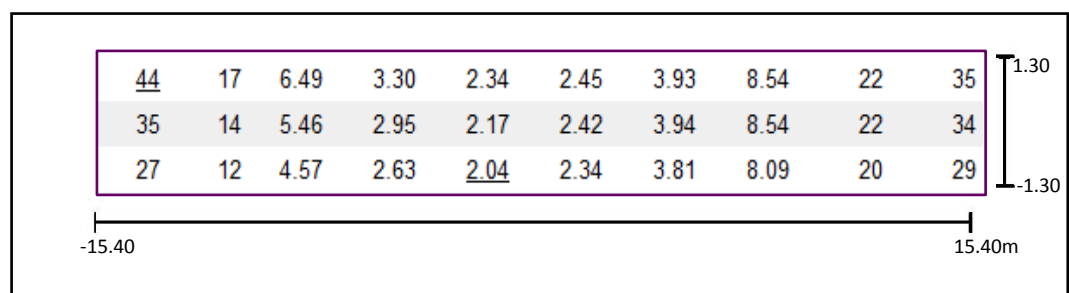


Figura 92. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 09.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 36. Comparación de valores de la superficie de cálculo 09.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma Técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	13	8.25	1-3	Sí (Mejorado).
Uniformidad media	0.16	0.05	≥ 0.15	Sí

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 36, esta zona solo cumple con los requisitos lumínicos de iluminancia media, pero no cumple con el requerimiento de uniformidad media.

3.3.2.10. Superficie de cálculo 10.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 5x3 considerada para esta superficie de cálculo.

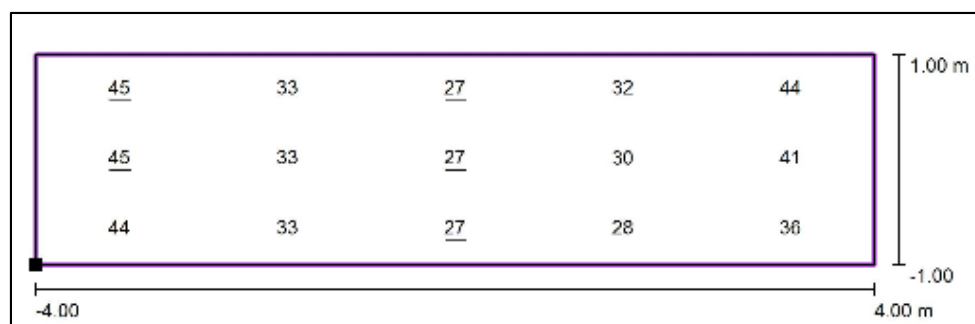


Figura 93. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 10.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 37. Comparación de valores de la superficie de cálculo 10.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	35	16	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.77	0.51	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 37, la simulación del sistema propuesto, sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica, y a la vez se ha mejorado el valor de la uniformidad media e iluminancia media a lo largo de la superficie de cálculo, con respecto al sistema de iluminación actual.

3.3.2.11. Superficie de cálculo 11.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

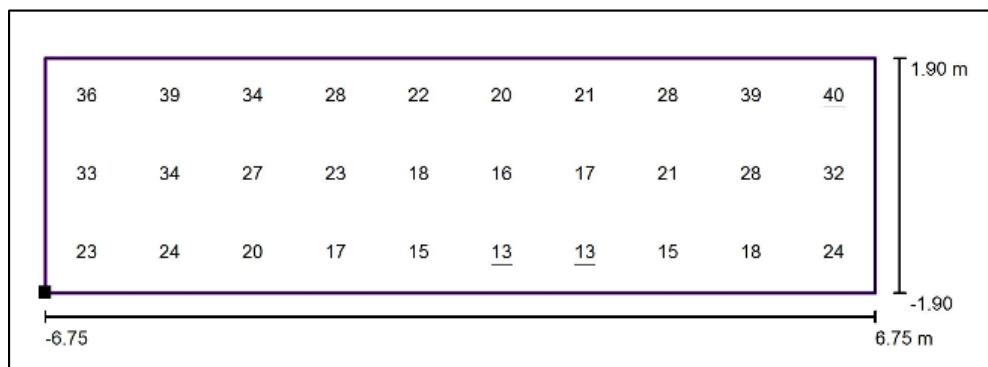


Figura 94. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 11.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 38. Comparación de valores de la superficie de cálculo 11.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	25	15	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media	0.54	0.29	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 38, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica.

3.3.2.12. Superficie de cálculo 12.

Esta simulación arrojó los siguientes resultados en niveles de Iluminancia en la matriz de 10x3 considerada para esta superficie de cálculo.

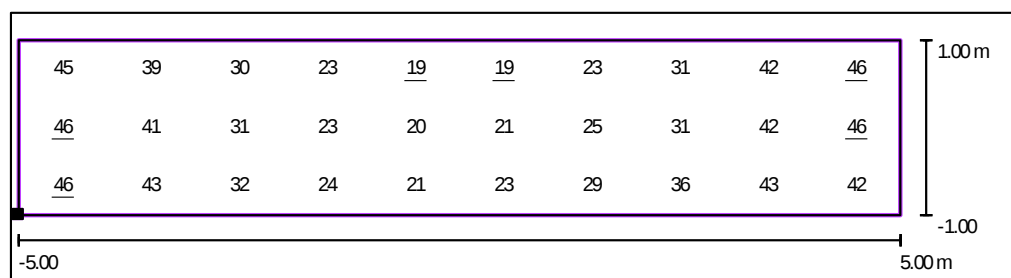


Figura 95. Niveles de Iluminancia en superficie de cálculo 12.

Fuente: (Propia).

De estos valores podemos obtener los siguientes parámetros lumínicos y compararlos con los valores señalados en la Norma Técnica.

Tabla 39. Comparación de valores de la superficie de cálculo 12.

Parámetro lumínico.	Valor obtenido de la simulación del sistema propuesto	Valor obtenido de la simulación del sistema actual	Mínimo valor según la norma técnica	Cumplimiento del requisito del sistema propuesto.
Iluminancia media (lx)	33	26	1-3	Sí (Mejorado)
Uniformidad media.	0.59	0.36	≥ 0.15	Sí (Mejorado)

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Tabla 39, esta zona sí cumple con los requisitos lumínicos según la Norma Técnica.

3.4. Resumen de resultados.

Como se puede apreciar en los apartados anteriores, todas las superficies de cálculo cumplen con los requisitos de Iluminancia media y uniformidad media; Además mejora el sistema propuesto eleva los valores de los parámetros lumínicos en comparación con los valores obtenidos de la distribución actual de luminarias.

Los problemas existentes en las superficies de cálculo 02, 04, 05, 07 y 09, se solucionaron gracias a la selección adecuada de luminarias utilizando tecnología LED con un mayor flujo luminoso y menor consumo de potencia que las existentes, lo que trajo como consecuencia una mayor uniformidad siguiendo las especificaciones sugeridas en la Norma Técnica.

Capítulo 4: Diseño y propuesta de sistema de iluminación Inteligente.

En este capítulo se detalla la propuesta de un sistema de iluminación inteligente, el cual tendrá como objetivo regular el nivel de luminosidad del sistema de alumbrado de la Ermita de la Universidad de Piura y caminos adyacentes en función a la presencia de personas optimizando el consumo de energía eléctrica en momentos en que no haya presencia de personas en estos trayectos; Además se proporcionará los alcances del diseño del sistema y la presentación de un prototipo básico funcional.

4.1. Base Teórica.

La base teórica sobre la cual se centrará el diseño del sistema inteligente será la de los convertidores electrónicos de potencia, en este caso se realizará el diseño de un rectificador de onda completa controlado en conjunto a un sistema de control los cuales regularán el voltaje de alimentación de la luminaria conectada a él.

4.1.1. Rectificador de onda completa controlado.

Es una variación del rectificador de onda completa en el cual se reemplazan los diodos del sistema por los tiristores SCR, este cambio permitirá la rectificación de la señal de tensión de alimentación de la carga, con la característica adicional que se podrá controlar el momento en el que el SCR entre en conducción en función a la señal de control que se le hará llegar por medio de su puerta y así recortar la señal de alimentación de la carga.

El tiristor SCR cumple las funciones de un diodo, pero adicionando la función de interruptor electrónico utilizado en circuitos donde es necesario controlar su conducción.

Está conformado por tres terminales ánodo, cátodo y puerta, y para que este elemento entre en estado de conducción es necesario aplicar una corriente en el

terminal de la puerta, cuando esté polarizado directamente, es decir que la tensión ánodo-cátodo sea positiva. (Hart, 2001)

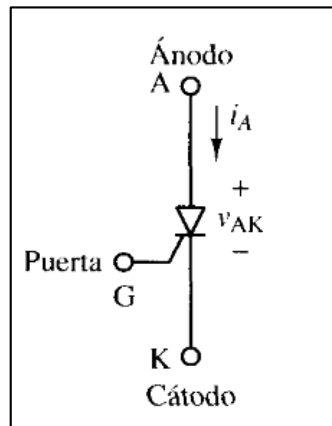


Figura 96. Esquema del Rectificador Controlado de Silicio.
Fuente: (Hart, 2001).

Los SCR se conectan con la misma configuración de los rectificadores de onda completa, con la diferencia que ahora en la puerta de cada uno de los tiristores se inyectará, por medio de la etapa de control, una corriente en el ángulo (α) para dar inicio a la conducción de la señal de voltaje a la salida, como se puede apreciar en la Figura 97.

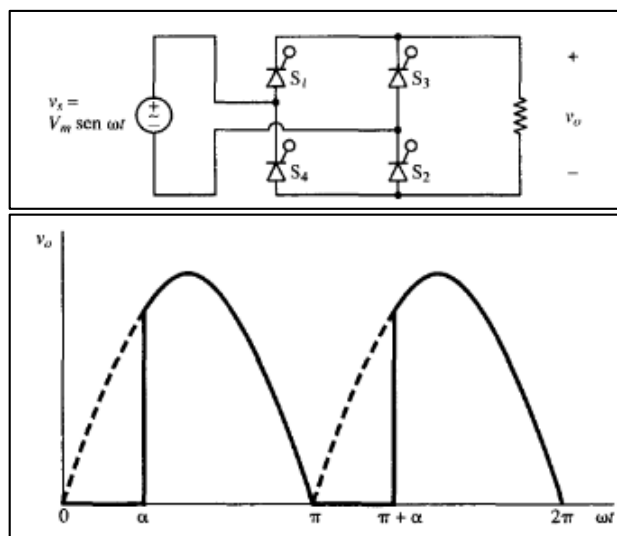


Figura 97. Esquema de un rectificador de onda completa controlado.
Fuente: (Hart, 2001).

El objetivo de este circuito es de recortar la señal de salida y por lo tanto variar el voltaje eficaz y medio que alimentará a la carga, dependiendo del ángulo de disparo que se le entregue en la señal de control. Para lo cual debemos definir estos parámetros para este sistema.

4.1.1.1. Voltaje medio (V_0).

El voltaje medio de una señal que se puede apreciar en la Figura 97 viene determinado por:

$$V_0 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \text{sen}(\omega t) d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha). \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde

V_m = Voltaje máximo de la señal (V).

α = ángulo de disparo o inicio de conducción (rad).

$$\omega = \text{Frecuencia angular de la red } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right), \quad \omega = 2\pi f,$$

f = Frecuencia de la señal (Hz).

Con la determinación de este valor tenemos la referencia de cuanto es el voltaje, en función al área de la señal de salida, de salida a la carga a alimentar. Dato muy importante ya que al momento de variar el ángulo de disparo en el sistema de control variamos el área de la señal y por lo tanto su voltaje medio.

4.1.1.2. Voltaje eficaz o Voltaje rms (V_{rms}).

El valor de voltaje rms de la señal que se aprecia en la Figura 97 viene determinado por:

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (V_m \text{sen } \omega t)^2 d(\omega t)} = V_m \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{4\pi}} \quad (\text{Ec 4.2})$$

Donde :

V_m = Voltaje máximo de la señal (V).

α = ángulo de disparo o inicio de conducción (rad).

$$\omega = \text{Frecuencia angular de la red } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right), \quad \omega = 2\pi f,$$

f = Frecuencia de la señal (Hz).

4.1.1.3. Potencia Suministrada (P).

La potencia entregada a la carga es función de la tensión de entrada, y como es variante, depende también del ángulo de disparo.

Como nos encontramos en el caso de iluminación LED, en los cuales se encuentran luminarias con factores de potencia cerca de 0.9, consideraremos para criterio de diseño una carga resistiva, para lo cual el cálculo de la potencia viene determinado por:

$$P = I_{rms}^2 R \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}} \quad (\text{Ec.4.4})$$

Como se puede apreciar, tanto la potencia y el voltaje suministrado a la carga varían en función al ángulo de disparo del sistema, lo cual varía de manera proporcional el flujo luminoso de la luminaria que vamos a alimentar.

4.2. Diseño del sistema inteligente.

Se procederá a realizar el diseño del sistema inteligente el cual consistirá en la regulación del flujo luminoso de una luminaria en función a la presencia de una persona, manteniéndose en un flujo luminoso menor al nominal cuando no haya ningún peatón y que aumente su flujo luminoso cuando el sistema detecte la presencia de un peatón.

4.2.1. Descripción y diseño del sistema.

Se propone un sistema eléctrico de potencia, utilizando un rectificador de onda completa controlado para poder regular la tensión de alimentación de las luminarias led y por lo tanto su tensión eficaz y media de alimentación, regulando así su nivel de iluminación. Este sistema será regulado por medio de un sistema de control realizado en el sistema embebido Arduino y contará con un sensor infrarrojo de movimiento.

Para describir a detalle el sistema se ha creído conveniente separarlo en tres etapas:

- Etapa de Gobierno.
- Etapa de Control.
- Etapa de Potencia.

4.2.1.1. Etapa de Gobierno.

En esta etapa se diseñó un dispositivo electrónico llamado detector de paso por cero, cuya función principal será la de sincronizar la señal de control con la señal de alimentación del sistema, ya que este dispositivo enviará un pulso en el momento en que la señal sinodal de la red pase por cero, es decir a la salida de esta etapa se contará con un tren de pulsos los cuales estarán sincronizados en el tiempo exacto en el que la señal. El detector de paso por cero tendrá el siguiente esquema:

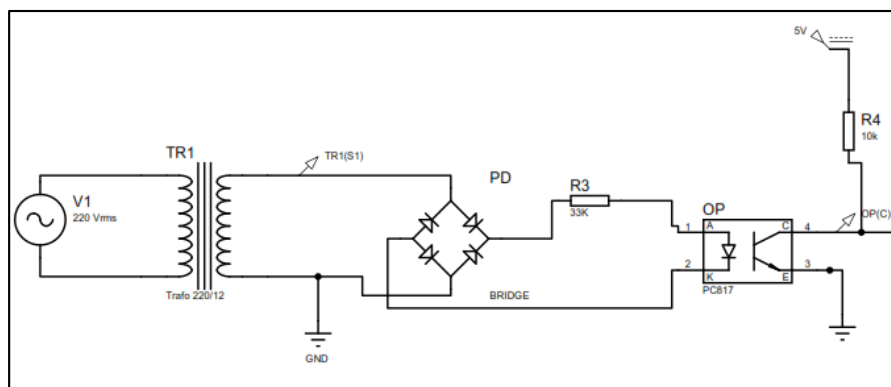


Figura 98. Esquema de Detector de Paso por cero.
Fuente: (Propia).

El elemento principal de este circuito electrónico es el opto-transistor (OP) el cual cumple la función de conducir corriente entre el colector y emisor del transistor (bornes 4 y 3), siempre y cuando este polarizado directamente la entrada del Led (bornes 1 y 2).

La salida de este circuito es la señal medida en el borne 4 con respecto del borne 3, por lo tanto cada vez que la señal de entrada a este circuito, la cual es rectificada previamente, cruza por cero, el diodo deja por un pequeño instante de conducir hasta llegar a su voltaje de barrera nuevamente, en ese pequeño instante los bornes 4 y 3 se abren teniendo entre ellos una diferencia de potencial de 5V, mientras que en el resto del periodo de la señal como se encuentra el diodo polarizado directamente entran en conducción siendo el voltaje entre 4 y 3 aproximadamente 0V.

Por lo cual se espera una señal de la siguiente forma:

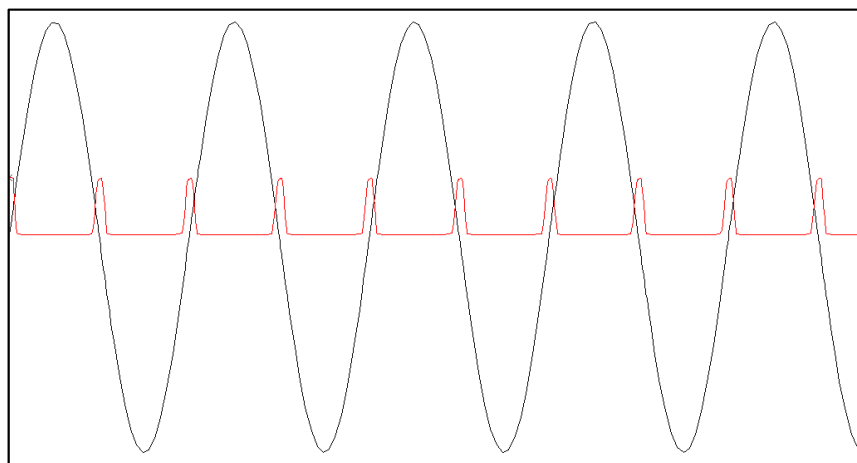


Figura 99. Señal de salida del circuito detector de paso por cero.

Fuente: (Propia).

La señal de salida es la de color rojo como se puede apreciar en la Figura 99 la cual es un tren de pulsos justo en los instantes en donde la red pasa por cero, lo cual nos permitirá sincronizar la red eléctrica con la señal de control y poder adecuar el ángulo de disparo de los tiristores SCR.

Ahora, procedemos al diseño y simulación de esta etapa, como ingreso se tiene la red eléctrica, de la cual debemos identificar cuantas veces cruza por cero, para así sincronizarla con la señal de control.

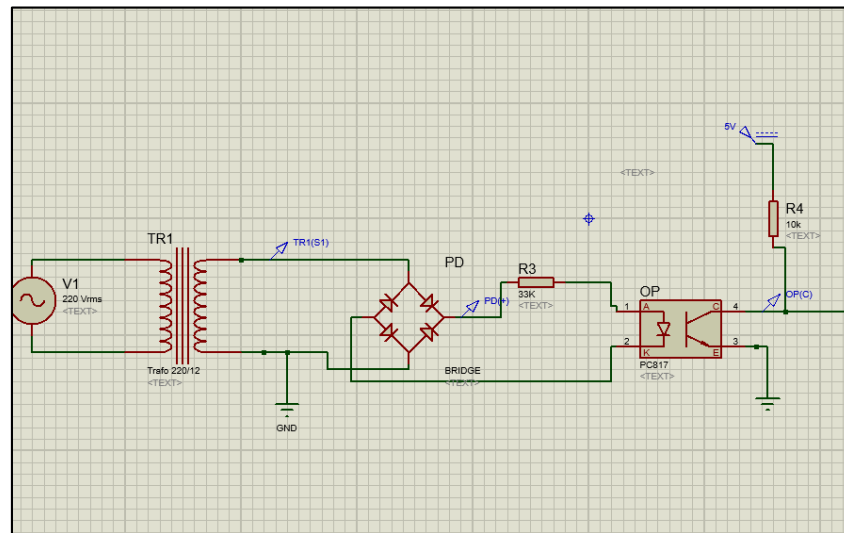


Figura 100. Diseño del detector de paso por cero.

Fuente: (Propia)

Se ha considerado una señal de 12VAC por lo cual se utilizará en esta etapa un transformador de 220/12V y de 3A para disminuir la tensión de entrada, esta pasará por un puente de diodos, el cual rectificará la señal, y la corriente que se entregue al opto-transistor será limitada por una resistencia.

Esta Resistencia debe ser seleccionada de manera adecuada, dimensionándola de la siguiente manera:

Primero se calculará cuanto es la corriente que limitará, teniendo en cuenta que se está utilizando como opto-transistor PC817, el cual soporta una corriente máxima de 1 A de conducción, por lo tanto como se tiene un voltaje máximo de 16.97 V ($12\sqrt{2}$ V) se selecciona una resistencia de 1.5 k Ω , teniendo así una corriente de 11.31mA.

Segundo, se calculará la potencia de la resistencia a seleccionar, ya que se tiene una corriente de 11.31mA en una resistencia de 1.5 k Ω se disipará la potencia de $P = I^2 \times R = 0.192\text{W}$ pudiendo utilizar una resistencia como mínimo de 0.25W.

Luego como se puede apreciar en la Figura 100 se cuenta con una fuente de 5V, la cual será suministrada por el microcontrolador Arduino, y servirá para la generación de los pulsos antes explicados.

Además, se colocará una resistencia para la limitación de la corriente de 1 k Ω , teniendo una corriente de 5mA disipando una potencia de

$P = I^2 \times R = 0.025\text{W}$, pudiendo utilizar una resistencia como mínimo de 0.25W

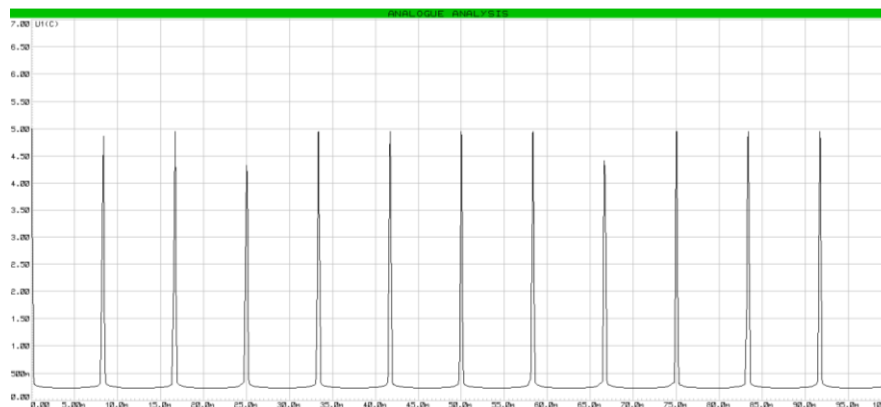


Figura 101. Simulación de la señal de gobierno.

Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Figura 101 se obtiene por medio de la simulación la señal de aproximadamente 5V en los periodos en los que pasa por cero la red. Teniendo este tren de pulsos puede deducir que el diseño nos brinda una salida de señal adecuada.

4.2.1.2. Etapa de Control.

La etapa de control del sistema está conformada por tres elementos muy importantes:

- El sistema embebido Arduino, el cual será el dispositivo encargado de ejecutar la lógica del sistema ya que es una plataforma electrónica de código abierto (*open-source*) basada en hardware y software,
- El sensor infrarrojo de movimiento *PIR*, el cual al ser acondicionado brindará la información necesaria al sistema embebido al momento en que detecte una persona, y así generar la regulación de la intensidad de la luminaria.
- Señal de salida de la etapa de gobierno, la cual ingresará al sistema embebido brindando la información para y así sincronizar la señal de control con la señal de la red.

El objetivo final de esta etapa es la obtención de una señal de ingreso a la puerta de los SCR, en función a la detección de la presencia de personas, es decir la integración de estos tres elementos logrará el objetivo propuesto.

- Sistema Embebido Arduino.

Se entiende a la vez como sistema embebido a un sistema compuesto de hardware y software encargado de realizar funciones en tiempo real. De toda la gama en módulos hardware de microcontroladores ARDUINO para el proyecto se utilizó el modelo MEGA 1280 el cual posee las siguientes características:

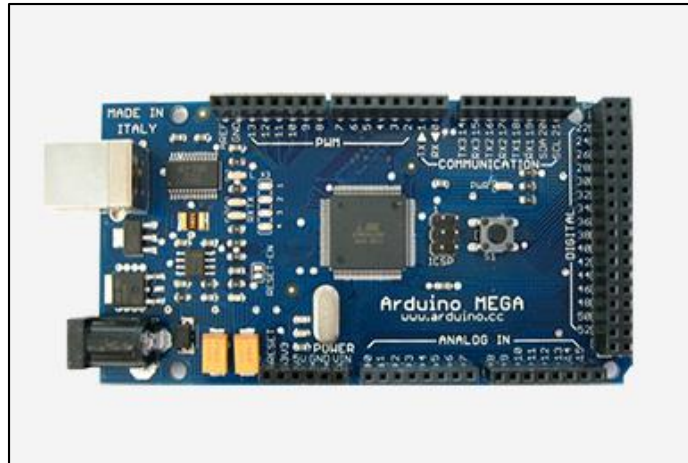


Figura 102. Esquema del microcontrolador ARDUINO MEGA 1280.
Fuente: (ARDUINO, 2017).

Tabla 40. Especificaciones técnicas del módulo ARDUINO MEGA 1280.

Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de Operación	5V
Entrada de Voltaje (Recomendada)	7-12V
Entrada de Voltaje (Límite)	6-20V
Pines Digitales I/O	54 (de los cuales 15 son salidas PWM)
Pines de Entradas Analógicas	16
Corriente DC por pines I/O	40 mA
Corriente DC por pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB de los cuales 4 kb son usados por el <i>bootloader</i>
SRAM	8 kb
EEPROM	4 kb
Frecuencia de Reloj	16 MHz

Fuente: (ARDUINO, 2017).

Además, se utilizó el software Arduino, el cual posee un entorno de programación abierto donde se desarrolló por medio del lenguaje de programación de Arduino, la lógica del sistema.

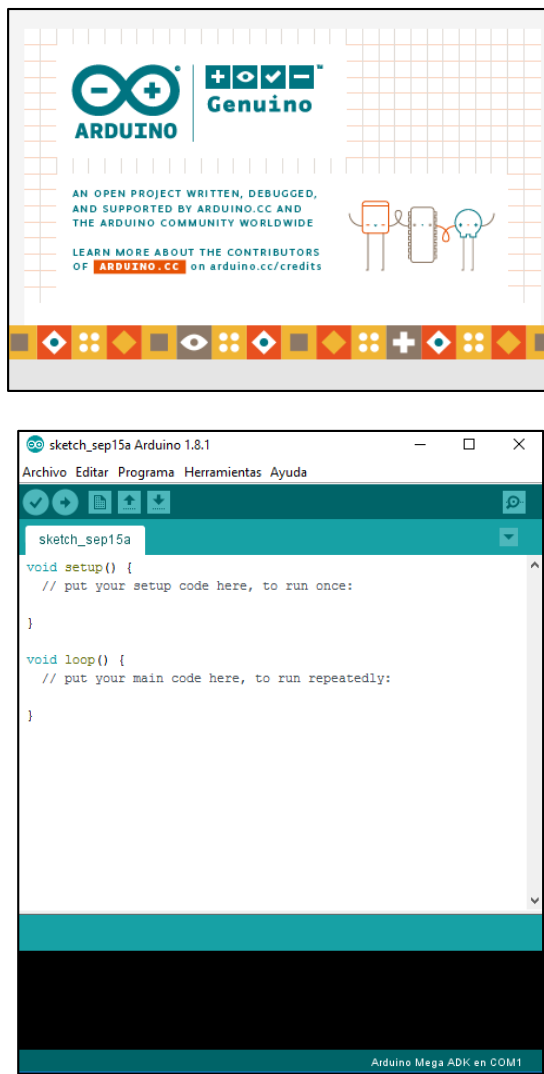


Figura 103. Entorno de programación Arduino Genuino.
Fuente: (Propia)

Este programa nos permite subir el código creado en él, hacia la placa del microcontrolador pudiendo interactuar con los elementos del entorno por medio de los pines de la placa.

- Sensor Infrarrojo PIR.

Por sus siglas en inglés *Passive Infrared Sensor*, detecta el movimiento de un objeto que se encuentre entre su rango visual, son pequeños económicos y de bajo consumo.

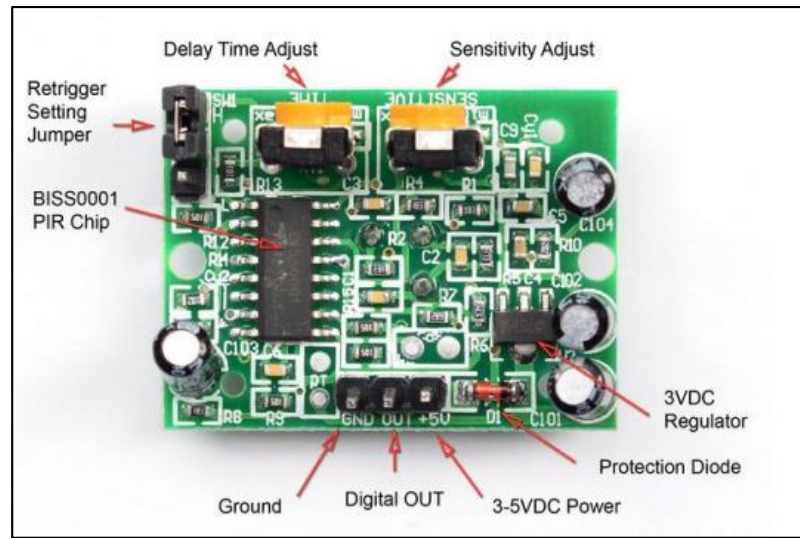
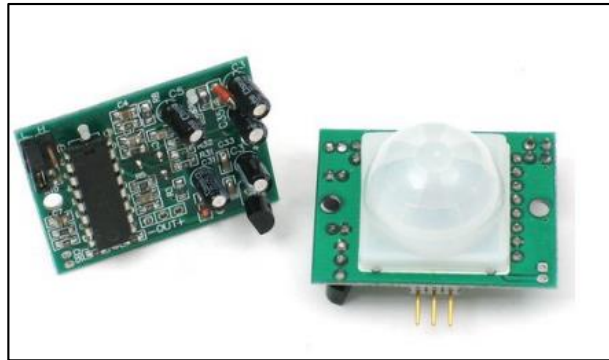


Figura 104. Esquema de *Passive Infrared Sensor (PIR)*.
Fuente: (Adafruit Learning, 2017).

Como se puede apreciar en la Figura 104 el sensor posee un conjunto de elementos electrónicos, entre los cuales como elemento principal tenemos el PIR Chip BISS0001 el cual comanda la lógica de entrada y salida de información al sensor, además posee un par de potenciómetros, donde uno pueden regular el tiempo de retraso (*Delay Time*) en que la señal de salida se mantenga en 5V y el otro permite regular la sensibilidad del sistema pudiendo regular el rango de detección de personas.

Este sensor posee 3 pines, los cuales tienen las siguientes funciones:

- *Pin 3-5VDC Power*: En este pin tenemos que entregar la alimentación al sensor que puede ser de 3 o 5V.
- *Pin Ground*: En este pin se coloca el terminal de referencia para la alimentación del sensor.
- *Pin Digital OUT*: En este pin el sensor entrega la señal de salida del sensor.

Básicamente, el sensor PIR por medio del chip PIR BISS0001 emite un haz de señales infrarrojas para la detección de objetos, a lo largo de su ángulo de barrido, una vez detecta un objeto, en la señal de salida se envía una señal de 5V, el tiempo de permanencia de la señal de 5V en la salida depende del *delay time* que se configura con el potenciómetro antes mencionado.

- Lógica del sistema de control:

Se entiende por lógica del sistema de control al conjunto de procesos para la obtención de nuestra señal de control que alimentará la puerta de los SCR, Para lo cual se procederá a explicar la lógica que se ha seguido para el desarrollo de la etapa de control:

Inicialmente, se nombró las siguientes variables: *cte*, *pindpc*, *pinout*, *pinsensor*; como variables locales, las cuales tendrán la siguiente función:

- *cte*: Variable que puede tomar el valor de 4 o 0 dependiendo de la detección de una persona por parte del sensor.
- *Pindpc*: Variable, en el cual ingresa la información de la señal de salida del detector de paso por cero, brindándonos el dato exacto y digitalizado cuando la señal de la red pasa por cero, sincronizando la señal de control.
- *Pinout*: Variable en la cual tenemos el tren de salida que llegará a los SCRs y así controlar su conducción.
- *Pinsensor*: Variable que permite almacenar la información del sensor PIR cuando detecte la presencia de una persona.

Definidas las funciones que tendrán estas variables se continuó con el diseño de la lógica para el control del sistema. La lógica inicia a partir de la detección por medio del sensor PIR, cuando el sensor, debidamente calibrado, detecta a una persona, envía una señal de 5V la cual se mantiene en el tiempo en función a la regulación del *delay time* por el potenciómetro mencionado en el anterior apartado, luego de pasado este tiempo, la señal llega a ser cero. Esto nos permitirá saber cuándo y por cuánto tiempo se debe enviar la señal de comando para los SCR.

Luego de tener la señal del sensor, procedemos a trabajar con la variable *Cte*, la cual tomara el valor de 0 cuando el sensor detecte a una persona, y se mantendrá con ese valor hasta que termine el *delay time*, y tomará el valor de 4, cuando no haya presencia de personas, la razón del valor 4 es por el valor de un cuarto de periodo de una señal de 60hz, el cual es 4.16ms, porque cuando no haya presencia de personas, al circuito de potencia le debe llegar un tren de pulsos desfasados 4ms para así alimentar a la carga con la mitad de potencia y disminuir el consumo y flujo luminoso de las luminarias.

Después de tener la variable Cte definida se procederá al desfase de la señal, el cual por defecto (sin presencia de personas) estará desfasada 4ms y cuando se detecte la persona la señal de salida el desfase será de 0ms, en este proceso intervienen las variables pindpc, Cte y pinout, donde la señal de entrada es guardada en la señal pindpc, generando un *delay time* del valor que tenga la variable Cte y la señal desfasada la almacena en la variable pinout.

Finalmente se debe identificar los pines a utilizar en el microcontrolador Arduino Mega 1280:

- 1 pin digital configurado como entrada para la señal del detector de paso por cero (pindpc).
- 1 pin digital configurado como entrada para la señal del pulso del sensor (pinsensor).
- 1 pin digital configurado como salida para la señal de control que irá hacia la puerta de los SCR (pinout).
- Pin de alimentación de 5V.
- Pin de Tierra.

Teniendo en claro los pines a utilizar y el proceso, ya se tiene definido la lógica del sistema de control, para una mejor ayuda gráfica se presenta un diagrama de flujo del proceso en la Figura 105.

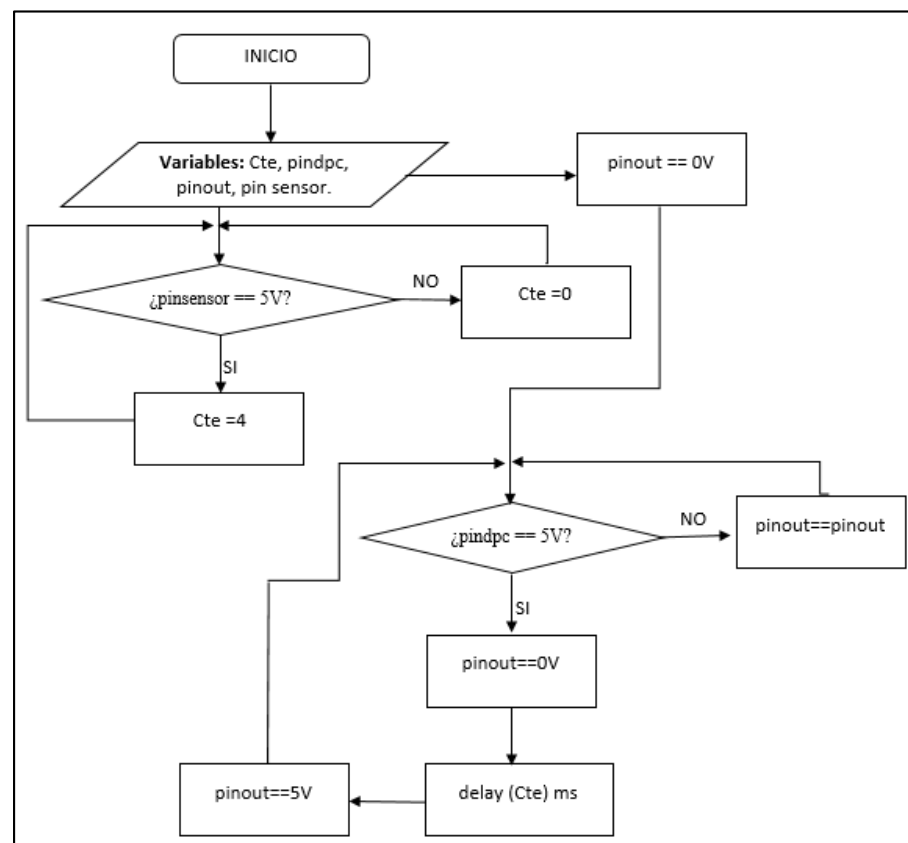
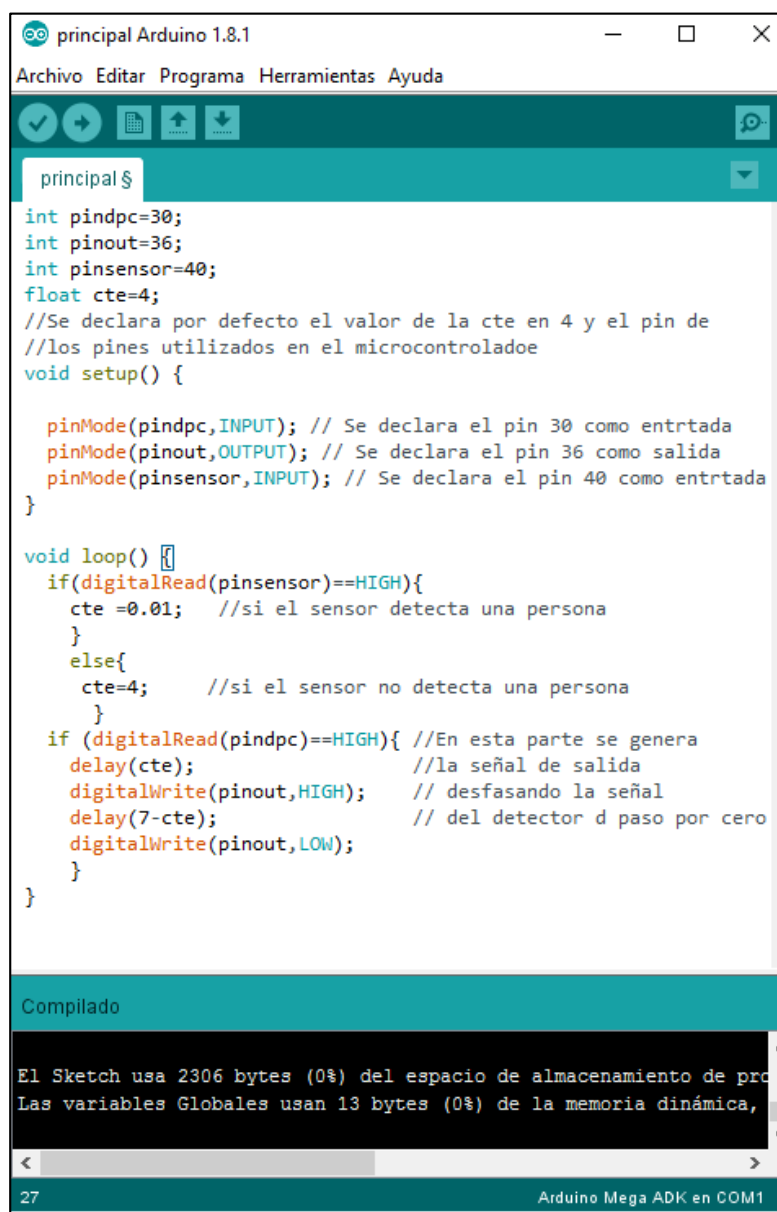


Figura 105. Diagrama de flujo de la etapa de control del sistema.
Fuente: (Propia)

- Código de control.

Teniendo definida la lógica del sistema de control se procedió a elaborar el código en el interfaz Arduino Genuino, utilizando de manera adecuada el lenguaje de programación Arduino el cual está basado en C++.



```

principal Arduino 1.8.1
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

principal $

int pindpc=30;
int pinout=36;
int pinsensor=40;
float cte=4;
//Se declara por defecto el valor de la cte en 4 y el pin de
//los pines utilizados en el microcontrolador
void setup() {

    pinMode(pindpc,INPUT); // Se declara el pin 30 como entrada
    pinMode(pinout,OUTPUT); // Se declara el pin 36 como salida
    pinMode(pinsensor,INPUT); // Se declara el pin 40 como entrada
}

void loop() {
    if(digitalRead(pinsensor)==HIGH){
        cte =0.01;    //si el sensor detecta una persona
    }
    else{
        cte=4;        //si el sensor no detecta una persona
    }
    if (digitalRead(pindpc)==HIGH){ //En esta parte se genera
        delay(cte);                //la señal de salida
        digitalWrite(pinout,HIGH); // desfasando la señal
        delay(7-cte);              // del detector d paso por cero
        digitalWrite(pinout,LOW);
    }
}

Compilado

El Sketch usa 2306 bytes (0%) del espacio de almacenamiento de pro
Las variables Globales usan 13 bytes (0%) de la memoria dinámica,

27 Arduino Mega ADK en COM1
  
```

Figura 106. Código a utilizar en el sistema de control.

Fuente: (Propia)

Utilizando la lógica del sistema y los conocimientos del lenguaje de programación C++ se procedió a realizar el código mostrado en la Figura 106.

Teniendo definida la lógica del sistema de control y el código a utilizar en el microcontrolador, procedemos a especificar la etapa de potencia.

4.2.1.3. Etapa de Potencia.

En este apartado se procederá a diseñar y simular en el software Proteus la electrónica de potencia del sistema, haciendo uso de un puente de diodo controlado siguiendo el esquema en la Figura 97.

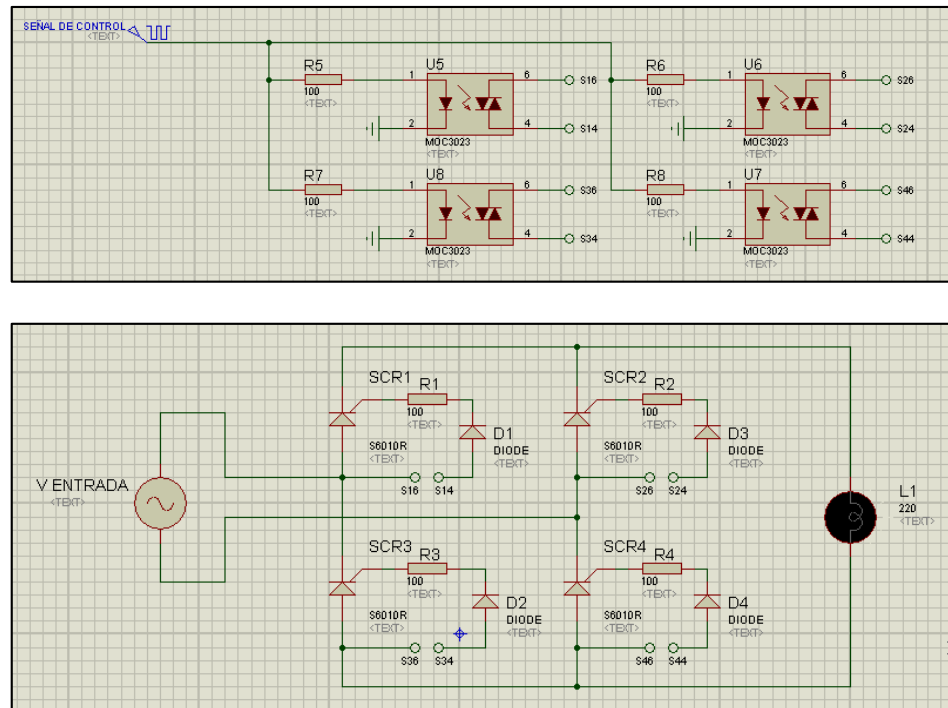


Figura 107. Esquemático de puente de diodo controlado.

Fuente: (Propia).

En la Figura 107 se puede apreciar que como entrada se tiene la salida de la señal de control la cual va a ingresar a una sub etapa, en la cual se va a dividir en 4 señales, las cuales irán a cada uno de los SCR.

Se ha colocado una resistencia de 100 ohm para la limitación de la corriente en la puerta SCR, debido a que la corriente máxima en la puerta de este elemento es de 100 mA por lo tanto si es que la salida de la señal de salida es de 5V pico, se limitará a una corriente de 50 mA.

Además, se utilizará un sistema de aislamiento de la señal de control con la etapa de potencia como se aprecia en la imagen superior de la Figura 107, su función será prevenir algún contacto de corriente entre la etapa de control y la de potencia.

Este aislamiento se realiza por medio de Opto-acopladores, en este caso un Opto-triac con el código MOC 3021.

Teniendo las cuatro señales de 50mA aislada de la etapa de control estas ingresarán a su respectivo SCR, como se puede apreciar en la Figura 107.

Para una protección adicional del sistema de potencia, se creyó conveniente colocar un diodo, para poder direccionar de manera adecuada

la señal de ingreso a los SCR, restringiendo así algún contacto con la señal de potencia.

Finalmente, los SCR se ubican de la misma manera de un puente de diodos como nexo entre la red eléctrica, que alimenta la etapa de potencia y el transformador de 220V/12V para el ingreso al detector de paso por cero y la carga.

Con los cálculos realizados se ingresa dicha información a la simulación realizada.

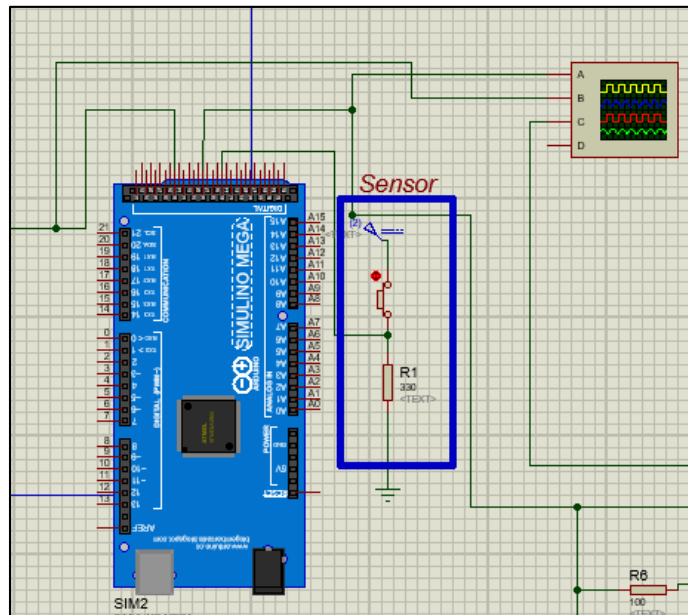


Figura 108. Simulación del sensor en Proteus.

Fuente: (Propia)

Para esta simulación se simuló la presencia o ausencia de una persona con este juego de *switch* con esa configuración la cual que entrega 0 o 5V.

Por lo tanto se realizó en el software Proteus la integración de todas las etapas simuladas, utilizando la librería Arduino, la cual nos permitirá cargar el *shield* de Arduino Mega, En este *shield* se cargará el archivo del código realizado en el IDE de Arduino. Realizando todos estos procesos se realizará el inicio de la simulación

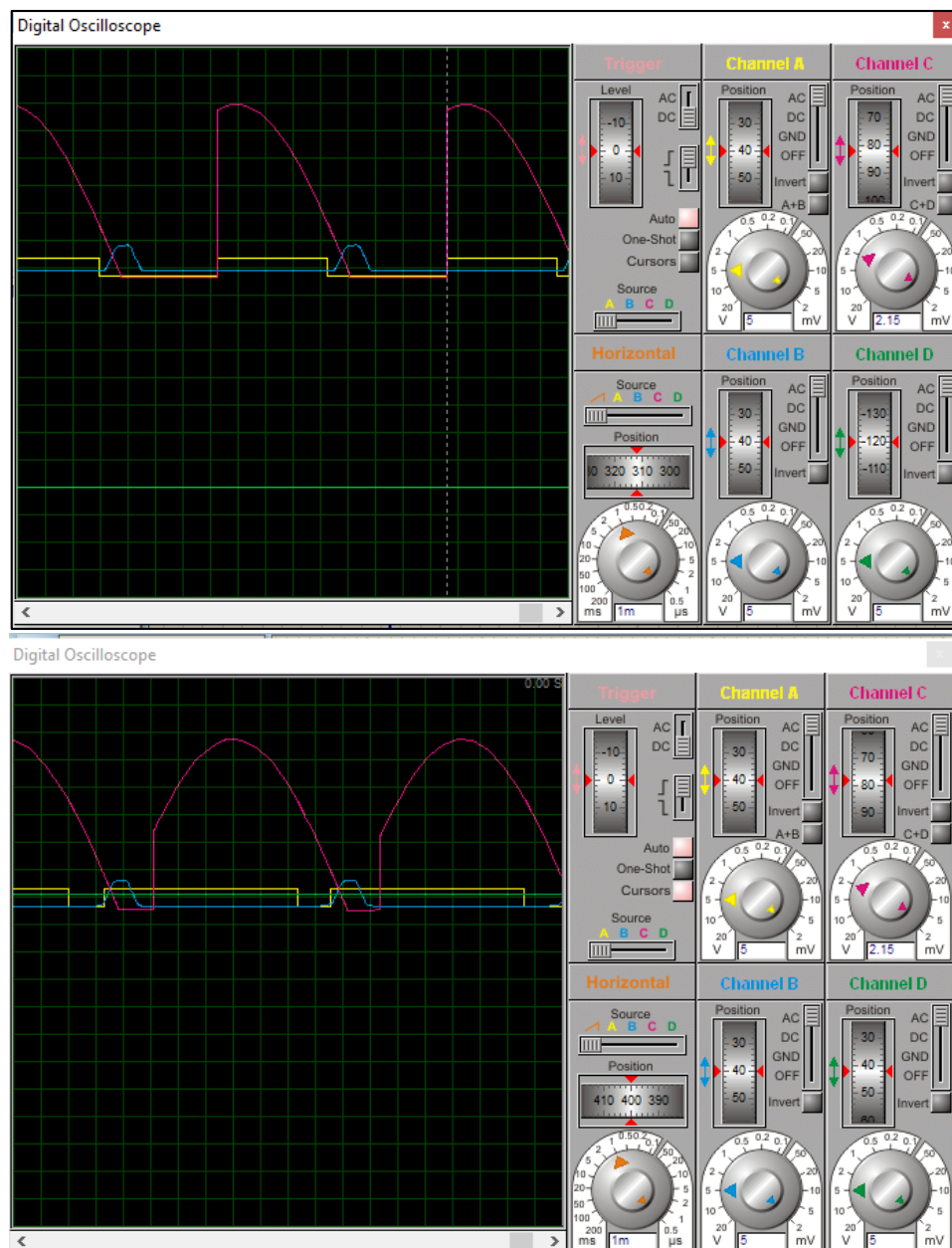


Figura 109. Resultados de la etapa de potencia.
Fuente: (Propia).

En la Figura 109 se muestra los resultados de la simulación para la salida de la señal de la etapa de potencia, en la imagen superior se muestra la señal de salida de la etapa de potencia que se obtendrá si es que en el sensor de movimiento no se detecta un objeto en movimiento, mientras que en la segunda figura se muestra la señal que se obtendrá cuando el sensor de movimiento detecte el movimiento de una persona.

En los resultados de la simulación podemos observar la como varía la señal de control (señal amarilla), con respecto a la señal del detector de paso por cero (señal azul) y como estas generan la variación de la señal de potencia que alimentará la carga en función a la activación o desactivación del sensor.

4.3. Prototipo del sistema de alumbrado inteligente.

Luego de definir todos los parámetros de diseño y realizar las simulaciones se procederá a diseñar un prototipo básico del sistema, se diseñará teniendo en cuenta cada una de las etapas del sistema.

4.3.1. Etapa de Gobierno

Con la simulación validada se procedió a realizar el prototipo en una placa de fibra de vidrio, siguiendo el esquemático de la simulación por medio del complemento Ares, de Proteus.

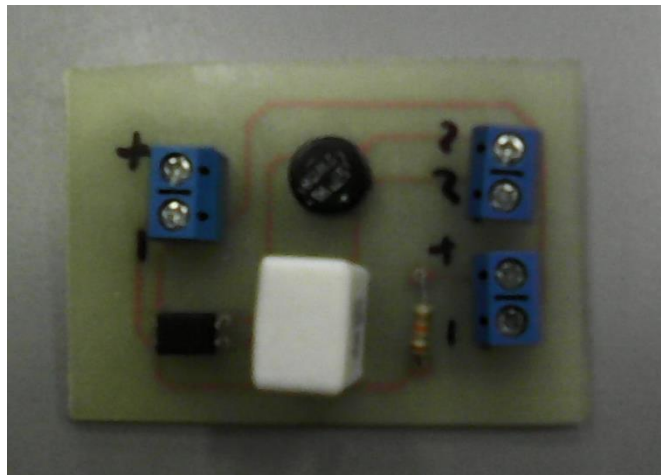


Figura 110. Placa del detector de paso por cero.
Fuente: (Propia)

Fabricando la placa que se puede apreciar en la Figura 110 se procedió a realizar la medición de la salida con el instrumento de medición en tiempo real llamado osciloscopio el cual nos brindó la señal que se puede apreciar en la Figura 111.

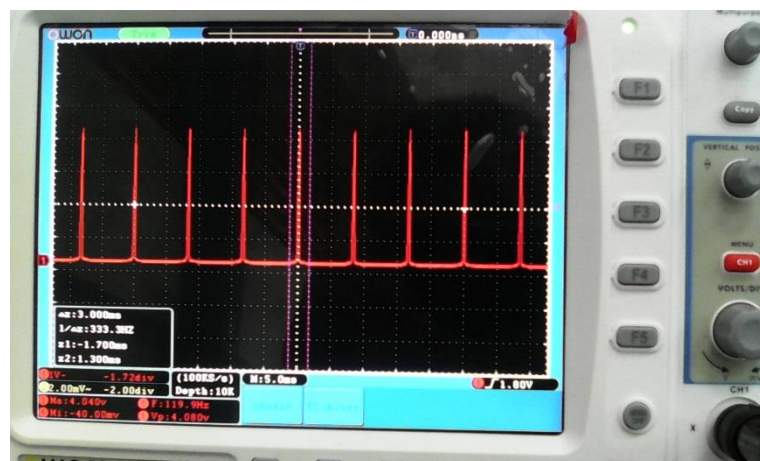


Figura 111. Medición de la señal de salida del detector de paso por cero en el Osciloscopio.
Fuente: (Propia)

4.3.2. Etapa de Control.

Con respecto a la etapa de control se procedió a subir el código escrito en el microcontrolador Arduino Mega, para su lectura, además se procedió a instalarlo con la etapa de gobierno, y con el sensor para su integración.



Figura 112. Carga de código al microcontrolador Arduino.
Fuente: (Propia)

Como se puede apreciar en la Figura 112 se realizó el ensamblaje de los elementos de la etapa de gobierno y la etapa de control. Cabe resaltar que se debe tener en cuenta la ubicación exacta de los pines que se nombraron en el código de Arduino.

Teniendo instalado estas dos etapas se procedió a realizar las mediciones con el osciloscopio a la salida de la señal de control para ver como varía la señal de control con respecto a la presencia o ausencia de personas.

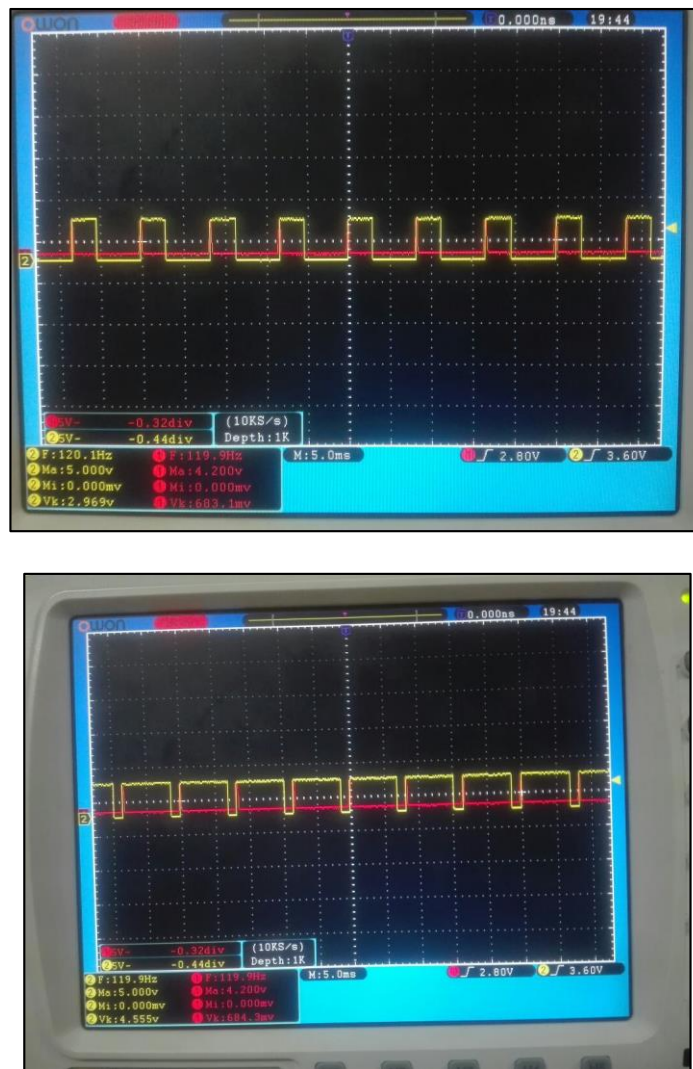


Figura 113. Mediciones en el osciloscopio de la señal de control.
Fuente: (Propia)

En la Figura 113, se observa la medida de la señal de salida de la etapa de control, en la figura superior se puede apreciar la señal de control por defecto, es decir cuando no se detecte ninguna persona, mientras que en la figura inferior se puede apreciar la señal de control al momento de la detección de una persona.

Si comparamos la señal obtenidas con el osciloscopio con los resultados de la simulación de la Figura 109, nos podemos dar cuenta que son similares, lo cual nos permite validar el diseño ejecutado con respecto de la simulación.

4.3.3. Etapa de Potencia.

Teniendo ensambladas las etapas de gobierno y de control, se procedió a fabricar y ensamblar la etapa de potencia, siguiendo el esquemático del diseño y la simulación.

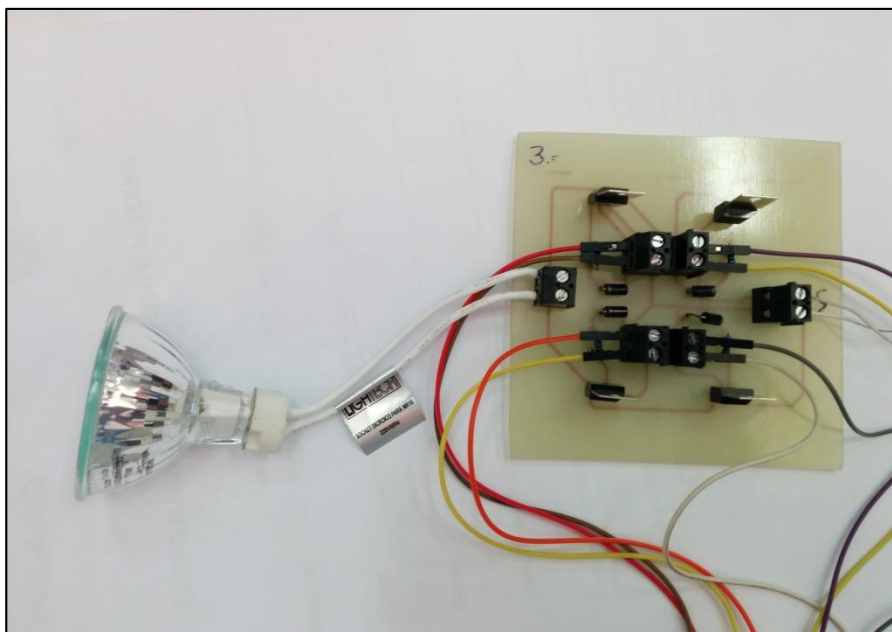
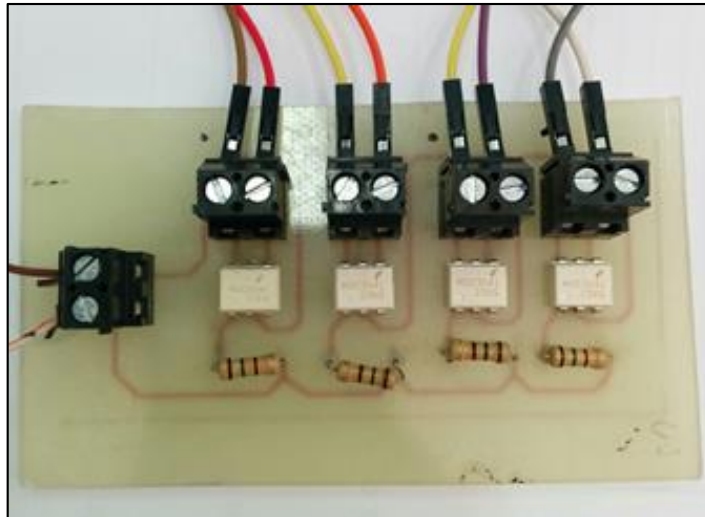


Figura 114. Etapa de potencia del sistema.
Fuente: (Propia)

Teniendo fabricadas las placas de etapa de potencia, se procedió a ensamblarlas con las otras dos etapas y además se acopló una carga de prueba, una luminaria tipo Spot de 12V.

Teniendo el sistema ensamblado se procedió a realizar la prueba y a medir la salida de la etapa de potencia el cual alimentará la carga.

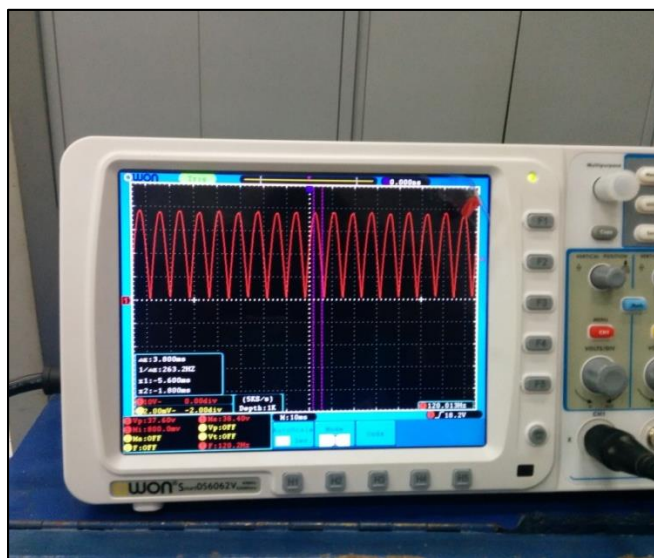
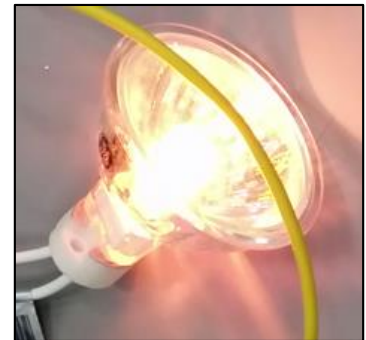


Figura 115. Señal de salida de la etapa de potencia.
Fuente: (Propia).

Como se puede apreciar en la Figura 115 por medio del osciloscopio podemos observar la señal de salida de la etapa de potencia en la imagen superior es la que ocurre por defecto en el momento en que no se detecta a ninguna persona, y se puede apreciar que el flujo luminoso emitido por la luminaria es reducido considerablemente; además de disminuir el consumo de potencia eléctrica.

Mientras que en la imagen inferior se puede apreciar el estado de la señal de salida de la etapa de potencia al momento de detectar una persona, apreciando a la vez que el flujo luminoso de la luminaria aumenta aproximadamente a su estado nominal, aumentando a la vez su consumo de potencia eléctrica.

Además si comparamos la señal obtenidas con el osciloscopio con los resultados de la simulación de la Figura 109, nos podemos dar cuenta que son similares, lo cual nos permite validar el diseño ejecutado con respecto de la simulación.

4.4. Propuesta de sistema en los alrededores de la Ermita de la Universidad de Piura.

Realizada la propuesta del prototipo del sistema de control inteligente, se procederá realizar las pautas de su aplicación en los exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura.

4.4.1. Calibración del sistema Inteligente.

El primer paso sería implementar un módulo en cada uno de los postes de alumbrado dejando el sensor *PIR* direccionándolo al camino, es decir, que cada poste debe de reaccionar en tiempo real para realizar la regulación de flujo luminoso.

Seguido y para finalizar, este sistema se debe calibrar con la zona donde se va a aplicar, es decir, dependiendo de la distancia promedio de los postes y teniendo en consideración una velocidad de 1m/s de las personas que pasaran por esa zona se calcula el tiempo en que se debe quedar en el estado de potencia nominal.

Aplicado a los caminos de la Ermita, y según las distancias que se aprecian en el plano de iluminación (Anexo A) se puede apreciar que la mayor distancia entre postes es de 25 m, por lo cual el máximo tiempo que puede pasar una persona entre dos postes es de 25s, pero se sugiere que, para mantener un tema de uniformidad, se calibre el sistema con un tiempo de 2.5 veces al tiempo máximo. Por lo tanto se calibrará que el sistema se mantenga en estado de potencia nominal, 60s por poste; es decir, en el caso en que en un poste se realice la primera detección y no haya una persona que se detecte, el sistema regresará a su estado de baja potencia en 60s, pero si es que sigue detectando personas de manera consecutiva el contador se reiniciará hasta que se detenga el flujo peatonal.



Figura 116. Mediciones en distancias entre postes para la propuesta del sistema inteligente.

Fuente: (Propia).

4.4.2. Resultados de la aplicación del sistema inteligente.

Inicialmente, en el capítulo 3 se vieron los resultados del sistema propuesto, el cual contempla el cambio de todas las luminarias convencionales de halógeno por las lámparas aplicando tecnología *LED*, pasando de una luminaria de 125W a una de 88W, teniendo la ventaja; además de la disminución del consumo eléctrico, de tener un flujo luminoso mayor que el convencional.

Inicialmente al realizar este cambio se tiene un ahorro de potencia eléctrica de 37W por poste, pero esto si hablamos de que en ambos casos se trabajara con la potencia nominal, si es que se aplicara este cambio, adicional del sistema de control inteligente se generaría un ahorro más significativo, para lo cual debemos calcular cual es la potencia del sistema en su estado de baja potencia, siguiendo las ecuaciones presentadas al inicio del capítulo.

Inicialmente en la programación del sistema de control se estaba enviando la señal de control hacia el puente de diodos controlado a la mitad de cada semiperiodo, lo cual determina que el ángulo de disparo.

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Por lo tanto, teniendo definido el ángulo de disparo, procedemos a realizar el cálculo de la corriente entregada a la carga, como no tenemos el dato de resistencia de la carga, dejaremos esta ecuación expresada en función del valor de dicha resistencia.

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_{rms}}{R} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\frac{\pi}{2}}{2\pi} + \frac{\sin(\pi)}{4\pi}} = \frac{V_{rms}}{2R} \quad (\text{Ec.4.6})$$

$$P = I_{rms}^2 R = \left(\frac{V_{rms}}{2R}\right)^2 R = \frac{V_{rms}^2}{4R} \quad (\text{Ec.4.7})$$

Ahora para el estado de potencia nominal, el ángulo de disparo debe ser aproximadamente igual al del detector de paso por cero, es por eso que se determina el ángulo de disparo.

$$\alpha = 0 \text{ rad} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

Por lo tanto, teniendo definido el ángulo de disparo, procedemos a realizar el cálculo de la corriente entregada a la carga, de igual manera, dejaremos esta ecuación expresada en función del valor de dicha resistencia.

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{V_{rms}}{R} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{0}{2\pi} + \frac{\sin(0)}{4\pi}} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{2}R} \quad (\text{Ec.4.9})$$

$$P = I_{rms}^2 R = \left(\frac{V_{rms}}{\sqrt{2}R}\right)^2 R = \frac{V_{rms}^2}{2R} \quad (\text{Ec.4.10})$$

Teniendo calculados los valores de potencia en ambos estados, se puede llegar a concluir de (Ec.4.7) y (Ec.4.10) que la potencia del estado de baja potencia es la mitad del estado de potencia nominal.

Por lo tanto si se propone implementar el cambio de luminarias a *LED* y la aplicación del sistema de control se generaría un mayor ahorro energético, mucho más en las horas en que no hay peatones, en el cual el sistema de alumbrado estará a la mitad del consumo de potencia.

4.4.2.1. Cálculo de ahorro energético.

En este apartado se calculará cuanto es el consumo ahorrado que se daría si es que se implementaran este sistema por lo cual se presenta el siguiente caso:

Analizando el sistema de los alrededores de la Ermita de la Universidad de Piura, este sistema cuenta con 31 postes ornamentales de alumbrado público, los cuales funcionarán en la siguiente situación, estarán activados desde 6:00pm hasta 5:30am; de 5:30 pm hasta las 9:00pm se tendrá teóricamente, el sistema de alumbrado público inteligente en su estado de potencia máxima, debido a que a esa hora se terminan las actividades convencionales de la universidad; a partir de las 9:00pm hasta las 5:30 am el sistema de alumbrado se mantendrá en su estado de baja potencia.

Se ha propuesto este caso debido a que es el estado en el que se podría generar menos ahorro energético, pudiendo en la realidad tener un ahorro más significativo.

Cabe resaltar que al estar proponiéndose el cambio a luminarias tipo LED, la disminución de potencia con respecto al convencional y en su estado nominal es de 37W por poste, ahora en el estado de ahorro energético en el cual la luminaria *LED* consumiría la mitad de potencia (44W), la disminución en el estado de baja potencia es de 81W por poste.

Por lo tanto calculando el consumo ahorrado en este caso, tenemos:

- Hora Punta (6:00 a 11:00pm).

En esta clasificación tenemos un ahorro de 37W en 3h y de 81W en 2h, teniendo un ahorro de consumo total de: 0.273kWh por día.

- Hora Fuera de Punta (11:00pm a 5:30am).

En esta clasificación tenemos un ahorro de 81W en 6.5h, teniendo un ahorro de consumo total de: 0.5265kWh por día.

- Teniendo estos valores podemos calcular el consumo mensual por poste.
 - En hora punta: 8.19kWh.
 - En hora fuera de punta: 15.8kWh.

Por lo que en este proyecto se está generando un ahorro de consumo energético mensual de:

- En hora punta: 253.89kWh.
- En hora fuera de punta: 489.8kWh.

Teniendo en cuenta los cálculos realizados podemos ver que el efecto de la aplicación de este sistema, el cual presenta un ahorro energético considerable, además de encontrarnos en el estado de menor ahorro energético; pudiendo obtener resultados mejores.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.

- 9.1. Como se puede apreciar en el Capítulo 2 el estado actual de iluminación de los exteriores de la Ermita de la Universidad de Piura, si bien cumple en los tramos analizados los requisitos lumínicos de iluminancia media según la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”, no cumple en la mayoría con el requisito de uniformidad media. Debido a esto se recomienda mejorar el sistema de alumbrado, mejorando la sensación de confort de los transeúntes de los caminos adyacente a la Ermita.
- 9.2. En el Capítulo 3 se propone un sistema de alumbrado utilizando tecnología LED, con la hipótesis de mejorar los parámetros lumínicos del estado actual y obtenido en el Capítulo 2. Una de las razones por la cual se ha seleccionado dicha tecnología, es porque si podemos hacer la comparación de las luminarias del estado actual con la propuesta, en primera instancia, la luminaria propuesta consume nominalmente una potencia de 88W, mientras que la del estado actual 125W, y en segunda instancia, el flujo luminoso emitido por la luminaria propuesta es de 8800lm mientras que la luminaria del estado actual emite 6200 lm. Con los cual podemos concluir que la tecnología LED nos brinda una gama de productos con una mayor eficiencia luminosa, pudiendo ahorrar en consumo eléctrico mejorando las prestaciones lumínicas del sistema.
- 9.3. Como se puede apreciar en la Figura 82 perteneciente al Capítulo 3, se precia por medio del renderizado del software Dialux, la comparación de los estados actual y propuesto del sistema de iluminación en los exteriores de la Ermita, este software nos permite realizar cálculos muy aproximados con la realidad, como se pudo apreciar en la Tabla 24, en la cual se muestra la medición por medio del luxómetro, validando así la simulación del estado actual y brindándonos una mayor confiabilidad en este software.
- 9.4. En el Capítulo 4 se presenta la propuesta de un prototipo de sistema inteligente, el cual cumple la función de regular el flujo luminoso, y a la vez

el consumo energético, dependiendo de la presencia de personas, es decir, si en el área de influencia de un sistema de alumbrado no se detecta la presencia de una persona, el sistema disminuye el flujo luminoso de una luminaria, pero cuando se llegue a detectar la presencia de una persona, y esta pase por cada poste, el sistema logra aumentar el flujo luminoso a sus valores nominales.

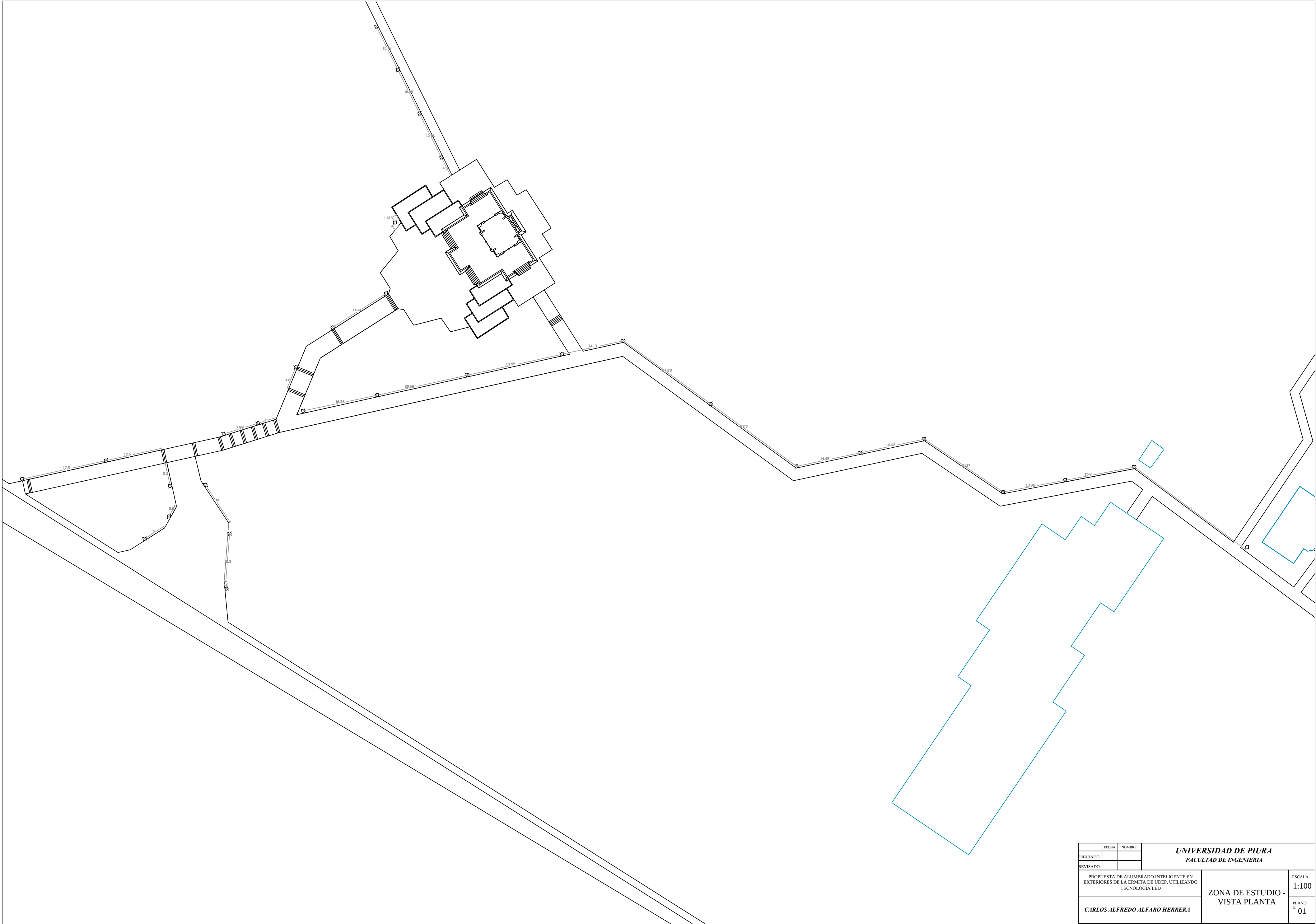
- 9.5. La finalidad de proponer sistemas inteligentes, es el disminuir el consumo energético, el cual suele ser a nivel nacional considerable con respecto a sistemas de alumbrado; mejorar la eficiencia de los sistemas, inculcando el uso de las nuevas tecnologías (electrónica y lumínica) e inculcar un campo de investigación referidas al área de eficiencia energética.
- 9.6. El sistema inteligente se presenta con el fin de sentar un precedente a futuras investigaciones y optimizaciones del mismo, debido al alcance limitado del mismo, se propone diferentes líneas de investigación a partir de la esta tesis, como es el tema de la comunicación entre postes utilizando protocolos de comunicación, además de la telegestión de todo un sistema y poder regular de manera remota el flujo luminoso de las luminarias, entre otros.

Bibliografía

- ABB. (2017). Interruptores Temomagnéticos . *CATALOGO ABB 2017*. Obtenido de <http://new.abb.com/low-voltage/es/productos/aparamenta-modular-de-medida/interruptores-automaticos-magnetotermicos>
- Acuña, P. (2011). *Impacto del Alumbrado Público con LED en la Red de Distribución*. Bogotá Colombia.
- Adafruit Learning. (2017). Adafruit Learning System. *PIR Motion Sensor*.
- AEMC. (2017). FEATURES OPTICAL SENSORS THAT ARE DESIGNED TO MATCH THE RESPONSE OF THE HUMAN EYE. *ENVIROMENTAL TESTERS*.
- Afinidad Eléctrica. (2007). *Lámparas de Inducción Magnética*. Obtenido de <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=267>
- Ángeles, J., & De Jesús, J. (2009). *Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarias tipo LED, municipio de Yesca en el estado de Nayarit*. México,D.F.: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- ARDUINO. (2017). *ARDUINO MEGA 2560*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
- Compara Lux. (2016). *Magnitudes Físicas Fundamentales*. Obtenido de <https://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesFundamentales.php>
- García, J. (s.f). *Lamparas de Descarga, Conceptos*. Obtenido de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html>
- Grudilec. (2010). Modelo de lámparas incandescentes. *El mundo de la Iluminación II*.
- Hart, D. W. (2001). *Electronica de Potencia*. Madrid: Pearson Educación.
- Ibañez, M. (2013). *La Luz*. SlideShare. Obtenido de La luz: <https://es.slideshare.net/manuelibanez3975/la-luz-16260364>
- Ministerio de Energia y Minas. (2002). Norma Técnica DGE "Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución". Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Código Nacional de Electricidad - Utilización*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). *Código Nacional de Electricidad - Suministro*. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas, D. G. (2002). *Norma de procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras en sistemas de distribución y sistemas de utilización en*

- media tensión en zonas de concesión de distribución. (2002-09-27).* Lima: Resolución Diectoral.
- Osinergmin. (2013). Avances tecnológicos en el alumbrado público. *Foro Regional: Avances Tecnológicos en los Sistemas Eléctricos para la Región Ica.* Ica.
- Philips Lighting Holding. (2017). Tarfia Alumbrado. *Catálogo Philips 2017.*
- Philips Products. (2017). Products. *Road Lighting.*
- Rosero, G. (1996). *Evaluación técnico-económica del ahorro de energía en un sistema de alumbrado público.* Quito: Universidad Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería.
- San Juan, E. (2010). *Conceptos básicos de luminotecnía.* Valencia: Fundación para la eficiencia Energética.
- Schröder. (2013). Control Inteligente para una Iluminación Eficiente. *Owlet.*
- SICA. (2015). Protecciones Eléctricas . *Protecciones Eléctricas - Calidad con seguridad y respaldo.*
- Siemens. (2008). Interruptores Horarios Digitales. *Catálogo Siemens 2008.*
- UNEFA, U. N. (2014). *Sistemas de Potencia.* Obtenido de <http://sistemasdepotenciaunefa.blogspot.pe/>
- Universidad Politécnica de Cataluña. (s.f). *Curso online de iluminación.* Obtenido de <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/index2.php>
- WEG. (2014). Automatización de Contactores y Reles de Sobrecarga. *Catálogo WEG 2014.*

ANEXO A: Plano de planta de la Ermita



	FECHA	NOMBRE	UNIVERSIDAD DE PIURA FACULTAD DE INGENIERIA		
DIBUJADO					
REVISADO					
PROPUESTA DE ALUMBRADO INTELIGENTE EN EXTERIORES DE LA ERMITA DE UDEP, UTILIZANDO TECNOLOGIA LED			ZONA DE ESTUDIO - VISTA PLANTA	ESCALA 1:100	
CARLOS ALFREDO ALFARO HERRERA				PLANO N° 01	