

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de un control inteligente en alumbrado público para la  
reducción del consumo de energía eléctrica en la prolongación  
Bolognesi - Chiclayo**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Harold Jaime Cachay**

**ASESOR**

**Alexander Querevalu Morante**

<https://orcid.org/0000-0001-5672-6829>

**Chiclayo, 2022**

**Diseño de un control inteligente en alumbrado público para la  
reducción del consumo de energía eléctrica en la prolongación  
Bolognesi - Chiclayo**

PRESENTADA POR  
**Harold Jaime Cachay**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Jorge Alberto Villanueva Zapata  
PRESIDENTE

Luis Alberto Gonzales Bazan  
SECRETARIO

Alexander Querevalu Morante  
VOCAL

### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mis padres Laura y Jorge, ya que gracias a ellos he podido forjar mi futuro profesional, laboral y personal. A mis hermanos Keisy y Andre, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles. A mi abuelo Joaquín por haberme enseñado las virtudes de la fortaleza y perseverancia.

### **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar mis estudios profesionales, a mis padres Laura y Jorge por haberme educado y dado su amor en mis 24 años de vida. A mis abuelos, hermanos, docentes, familiares y amigos que estuvieron en los momentos más difíciles conmigo apoyándome, inculcándome enseñanzas y valores en este largo proceso universitario.

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote Trabajo del estudiante	<1%
8	<a href="http://repositorio.unica.edu.pe">repositorio.unica.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad de Salamanca Trabajo del estudiante	

## Índice

Resumen	7
Abstract	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
2.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.4. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.5. OBJETIVOS	12
2.5.1. Objetivo General	12
2.5.2. Objetivos Específicos	12
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	13
3.1.1. Internacionales	13
3.1.2. Nacionales	14
3.2. BASE TEÓRICA – CIENTÍFICA	15
3.2.1. Conceptos luminotécnicos	15
3.2.2. Sistema de alumbrado público	16
3.2.3. Componentes del sistema de alumbrado público	18
3.2.3.1. Luminaria	18
IV. MARCO METODOLÓGICO	20
4.1. ENFOQUE	20
4.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	20
4.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	20
4.4.1. Población	20
4.4.2. Muestra	20
4.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	20
4.6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS E INSTRUMENTOS	21
4.7. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	21
4.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA	22
V. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL	23
5.1. GENERALIDADES	23
5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL	23

5.3.	ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO ACTUAL	25
5.3.1.	Luminaria	25
5.3.2.	Estructuras de soporte	26
5.4.	SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL	28
5.4.1.	Área de evaluación 1	29
5.4.2.	Área de evaluación 2	34
5.4.3.	Área de evaluación 3	39
VI.	EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN VEHICULAR	49
VII.	DETERMINACIÓN DEL SISTEMA LUMÍNICO INTELIGENTE	51
7.1.	SISTEMA LUMINICO	51
7.1.1.	Criterios Luminotécnicos	51
7.2.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	53
7.2.1.	Disposición de superficies	53
7.2.2.	Distancia entre puntos de luz	53
7.2.3.	Factor de utilización	54
7.2.4.	Factor de mantenimiento	55
7.2.5.	Flujo luminoso de la lámpara para cada superficie de cálculo	55
7.2.6.	Selección de luminaria	57
7.2.7.	Simulación en Dialux	58
7.2.8.	Resumen del sistema lumínico propuesto	63
7.3.	SISTEMA DE CONTROL	65
7.3.1.	Generalidades	65
7.3.2.	Selección de componentes	68
7.3.3.	Programación en labview	75
7.4.	AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	84
VIII.	CONCLUSIONES	87
IX.	RECOMENDACIONES	88
X.	REFERENCIAS	89
XI.	ANEXOS	92

## Resumen

El deficiente sistema de alumbrado público es uno de los problemas viales más importantes desde la implementación de la prolongación Av. Francisco Bolognesi a la ciudad de Chiclayo por causas como averías en el control del alumbrado público tal como luminarias encendidas en horarios dónde la luz natural alcanza la cantidad de lux necesarios según la normativa eléctrica peruana, operación a máxima potencia de las fuentes de luz ante la ausencia de automóviles y/o transeúntes y el escaso mantenimiento del sistema de alumbrado público. Todo esto conlleva al desperdicio y mala utilización de energía eléctrica y en consecuencia la afectación a la economía del ciudadano chiclayano debido a los pagos de tarifas de alumbrado público sin brindar la eficiencia eléctrica y confort visual requerido. A la fecha la única solución que ha planteado Electronorte S.A ha sido instalar más luminarias al sistema de alumbrado público, sin embargo, estas reinciden en la problemática expuesta anteriormente. Debido a eso el presente proyecto propone un sistema de control lumínico inteligente para un tramo de red de alumbrado público dónde se proporcione niveles de iluminación de acuerdo con el flujo de autos y/o transeúntes garantizando el cumplimiento de la normativa eléctrica peruana. Se usará tecnología LED que junto métodos de control gobernarán el comportamiento de la iluminación. Además, se desarrollarán simulaciones mediante un software especializado para conocer a detalle el comportamiento del sistema de iluminación. En esta propuesta se espera la reducción del consumo de energía eléctrica y mejorar la eficiencia en el alumbrado público, así como también brindarle mayor seguridad a los conductores y peatones que transitan por la zona de una manera limpia y no contaminante.

***Palabras clave:*** *iluminación LED, control inteligente, alumbrado público, eficiencia eléctrica*

### **Abstract**

The poor public lighting system is one of the most important road problems since the implementation of Av. Bolognesi extension to the city of Chiclayo for reasons such as breakdowns in the control of public lighting such as luminaires on at times where natural light reaches the amount of lux needed according to Peruvian electrical regulations, operation at maximum power of light sources in the absence of cars and / or passers-by and the low maintenance of the public lighting system. All this leads to the waste and misuse of electricity and consequently the affectation of the economy of the chiclayan citizen due to the payments of street lighting fees without providing the electricity efficiency and visual comfort required. To date, the only solution that Electronorte S.A has proposed has been to install more luminaires to the public lighting system, however, these repeat the problem set out above. Because of this project, this project proposes an intelligent lighting control system for the street lighting network that provides lighting levels according to the flow of cars and /or passers-by ensuring compliance with Peruvian electricity regulations. LED technology will be used which together with control methods will govern the behavior of lighting. In addition, simulations will be developed using specialized software to know in detail the behavior of the lighting system. This proposal is expected to reduce electricity consumption and improve efficiency in street lighting, as well as provide greater safety for drivers and pedestrians transiting the area in a clean and non-polluting manner.

**Keywords:** *LED lighting, smart control, street lighting, electrical efficiency*

## I. INTRODUCCIÓN

La iluminación simboliza alrededor del 20 % del consumo eléctrico a nivel mundial, del cual el 5% está consignado al servicio de alumbrado público cuya función es garantizar la seguridad en el tráfico vehicular y peatonal. No obstante, la mayoría de los sistemas de alumbrado público actuales están condicionados por el deficiente diseño del sistema, alto consumo de energía eléctrica, exiguo mantenimiento y equipos lumínicos pretéritos e ineficientes. Asimismo, la zozobra medioambiental es cada vez más palpable debido a las constantes emanaciones de dióxido de carbono y el acrecentamiento de éstas al proyectarse la urbanización de las ciudades en los próximos años. [1].

Según un reporte en el 2015 de la IEA (International Energy Agency) un ahorro energético del 35 % sería posible si se implementan sistemas de control lumínico inteligente en las ciudades, es por ello que distintos países ya ha tomado acción en esta problemática, tales como en Suecia que desde el 2015 en la ciudad de Sala se encuentra instalado uno de los sistemas de control lumínico inteligente más colosales del mundo, que en confín a la innovadora tecnología LED (Light Emitting Diode) redujo el consumo de energía en un 77.8% [2] . En Jaipur – India un 72 % de ahorro de energía se produjo gracias al desarrollo de un sistema de iluminación desarrollado por Tvilight Projects B.V. [3] En California – USA se llevó a cabo un sistema inteligente de alumbrado público dónde gracias a sustitución de las luminarias antiguas (vapor de sodio, luz halógena) por puntos de luz con tecnología LED se obtuvo ahorros estimados de 63% en energía eléctrica [4]. Estas ciudades son algunos ejemplos de la innovación tecnológica y medioambiental en relación con el alumbrado público asimismo estas políticas de ahorro energético y mitigación del impacto ambiental se van acrecentando a nivel internacional respecto al paso de los años por los notables efectos en su aplicación.

Según Osinergmin en el 2018 se registró un total de 168 804 millones de dólares respecto al alumbrado público en el Perú representando así el 3,9% de la energía eléctrica consumida sin embargo sigue primando el uso de sistemas de alumbrado público convencionales, equipos lumínicos poco eficientes y en consecuencia escaso confort lumínico, impacto medioambiental elevado, inseguridad ciudadana y despilfarro de energía eléctrica [5]. Son pocas las excepciones tal como en San Isidro, distrito de Lima que en busca de la reducción de consumo de energía eléctrica y mitigación del impacto ambiental ha instalado un sistema de control lumínico fotovoltaico en conjunto a tecnología LED (Light Emitting Diode) en distintas calles de su sector [6].

Asimismo, según el director de LED expo Perú únicamente el 8% del alumbrado público en el país usa tecnología LED [7]

Según ENSA al 2018 en Lambayeque alrededor del 5% de la energía eléctrica producida se consume en alumbrado público con un total de 74 973 unidades de equipos lumínicos siendo el 98.3 % de vapor de sodio de alta presión [8] . Estas cifras hacen hincapié a los sistemas de alumbrado convencionales, contaminantes e ineficientes, reflejándose en documentos como notas de prensa presentada por la Defensoría del Pueblo dónde a través de una supervisión especifican la problemática en la comunidad, dónde en líneas generales se describen lámparas inoperativas, escasa iluminación, falta de infraestructura de alumbrado afligiendo la calidad de vida de las personas, seguridad vehicular y peatonal. [9].

En virtud a los resultados de lo expuesto previamente y en base a proyectos internacionales y nacionales surgió la concepción de la propuesta de un control inteligente en alumbrado público, dónde se pretende la inserción de nuevas tecnologías a la infraestructura de alumbrado público en la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo. En tal sentido este sistema de control lumínico inteligente estará integrado por dispositivos electrónicos de detección, regulación y ejecución que mediante un hardware de código abierto se asegurará el comportamiento eficiente del método. Añadido a esto se propondrá la sustitución de todas las lámparas convencionales por lámparas LED debido a los indiscutibles beneficios que trae consigo esta tecnología. En consecuencia, se simularán los posibles escenarios de iluminación mediante software especializado. Este sistema propuesto estará sujeto a las normas eléctricas vigentes en el Perú. Asimismo, se pretende que al término de este proyecto se logre mitigar el consumo de energía eléctrica, el impacto medioambiental y en consecuencia mayor seguridad y calidad lumínica para la población.

## **II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál sería el sistema de control lumínico inteligente para reducir el consumo de energía eléctrica en un tramo de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo?

### **2.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación estará delimitada desde la intersección de la prolongación av. Francisco Bolognesi con la av. José Leonardo Ortiz y la calle Mantaro hasta la intersección con la Vía de Evitamiento. Las intersecciones presentes en el área descrita no serán evaluadas en esta investigación. Asimismo, el tramo designado para la evaluación del sistema de control lumínico inteligente estará dado desde la calle 9 de setiembre hasta la Av. Cajamarca.

### **2.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El alumbrado público en esta autopista funciona durante toda la noche suponiendo un derroche de energía eléctrica al estar compuesto por equipos lumínicos exiguos, contaminantes e ineficientes, asimismo esta autopista es una de las principales vías de interconexión entre el distrito de Pimentel y la provincia de Chiclayo por lo cual existen universidades, colegios, negocios, centros de entretenimiento que al contar con un sistema de alumbrado público convencional están expuestos a accidentes de tránsito, daño visual e inseguridad ciudadana. A la fecha no se han dado soluciones a los problemas expuestos anteriormente es por eso que se propone la aplicación de tecnologías más eficientes y eco amigables para garantizar la calidad de servicio establecido por las normas eléctricas en el Perú.

El presente proyecto pretende insertar un sistema de alumbrado público para la reducción del consumo de energía eléctrica en un tramo de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo. Esta investigación pretende que el control lumínico inteligente opere y regule el nivel de iluminación en función a la presencia de automóviles y/o transeúntes conllevados así al ahorro energético y económico, ya que las tarifas en alumbrado público reducirán considerablemente al no desperdiciar electricidad ante la ausencia de flujo vial.

Asimismo, para la problemática ambiental, este proyecto promueve el uso de tecnología LED las cuáles producen una pérdida mínima por calor, reducen las emisiones de dióxido de carbono, proporciona colores más puros, nítidos, e intensos y tienen mayor resistencia a altas temperaturas que las lámparas usadas actualmente. Además, la tecnología LED

consume hasta un 80% menos de energía en comparación a las lámparas usadas para el alumbrado público actual y gracias a su gran tiempo de vida no se tienen que estar reemplazando constantemente traduciéndose esto en un excelente ahorro en cuestiones de mantenimiento.

La importancia de este proyecto radica en la reducción del consumo eléctrico insertando una propuesta innovadora y sostenible, brindando mejores beneficios en iluminación, reducción de tarifas de alumbrado público, seguridad ciudadana y a la vez una menor generación de impacto ambiental.

#### **2.4. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Los limitantes de esta investigación es la ausencia de presencia en campo debido a la pandemia COVID-19.

#### **2.5. OBJETIVOS**

##### ***2.5.1. Objetivo General***

Diseñar un sistema de control lumínico inteligente para un tramo de la red de alumbrado público de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo para la reducción del consumo de energía eléctrica.

##### ***2.5.2. Objetivos Específicos***

1. Diagnosticar la situación actual del alumbrado público en la prolongación Av. Bolognesi – Chiclayo.
2. Evaluar los diversos sistemas de detección vehicular.
3. Determinar el sistema a usar en la propuesta del control lumínico inteligente para el tramo propuesto.
4. Realizar la evaluación económica de la propuesta dada.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

##### 3.1.1. Internacionales

Una investigación realizada por [10] está basada en la innovación tecnológica, social y ambiental para los sistemas de alumbrado público existentes, dejando a un lado sistemas de iluminación convencionales debido al gran consumo de energía eléctrica y poca eficiencia que brindan. El sistema inteligente de iluminación propuesto proporcionará niveles de luz de acuerdo con el requerimiento la zona y posteriormente conllevar a un ahorro de energía eléctrica. De igual manera dicho sistema estará integrado a sensores de nivel de agua para temporadas de lluvias, luces de emergencia, tecnología LED y pantallas LCD que mostrarán pronósticos del tiempo y señales de emergencia. Como resultado este artículo demostró que se puede ahorrar el consumo de energía eléctrica si se administra de manera eficiente. Recíprocamente ambas investigaciones proponen el control de la iluminación de acuerdo con los requerimientos en la zona, así como también la innovación de tecnologías más eficientes y menos contaminantes y así conllevar a la reducción del consumo de energía eléctrica.

Por otro lado, en [1] desarrolla una investigación para el sistema de alumbrado público de Malasia se enfoca en el control inteligente de la intensidad de luz de acuerdo con la velocidad que se capte en el área de acción de los sensores instalados. Este sistema estará condicionado en lento, mediano y rápido donde emitirá el 30%, 70% y 100% de intensidad de luz respectivamente. La investigación en cuestión tuvo como resultado una considerable reducción del consumo de energía eléctrica y en consecuencia un ahorro económico. Mutuamente estas investigaciones proponen un control lumínico inteligente en el alumbrado público, asimismo compensar las deficiencias de los sistemas de alumbrado público actuales por una propuesta sostenible.

Asimismo, [11] plantea la futura implementación de un control inteligente de alumbrado público para las autopistas de Ecuador en base a la detección vehicular. Asimismo, propone el uso de energía fotovoltaica como fuente de generación eléctrica y así mitigar el consumo de energía.

La investigación determinó que una futura implementación de su diseño conllevaría un ahorro económico millonario en un confín de 25 años. Ambas investigaciones buscan mitigar el consumo de energía eléctrica mediante técnicas inteligentes de control lumínico y en consecuencia un posible ahorro económico.

### **3.1.2. Nacionales**

Una investigación desarrollada por la Universidad Tecnológica del Perú [12] realiza el diagnóstico del sistema de alumbrado público actual en la ciudad de Lima para luego proponer una renovación e innovación tecnológica. Por otro lado, se desarrollan simulaciones en un software especializado de iluminación con diferentes tipos de lámparas tales como vapor de sodio y LED. Esta investigación tuvo como resultado que las lámparas LED son las más eficientes económica y energéticamente por añadidura el dispendio de energía eléctrica se reducirá. Ambas investigaciones proponen un diagnóstico del sistema de alumbrado público de su respectiva zona para evaluar sus deficiencias y luego proponer una renovación e innovación tecnológica. De igual manera se pretende desarrollar simulaciones en un software especializado para poder elegir la lámpara más eficiente en términos económicos y energéticos.

Por otra parte, una investigación desarrollada por Carlos Alfaro [13] propone la evaluación del sistema de alumbrado público para las periferias de la capilla de la Universidad de Piura mediante simulaciones en software especializado. Asimismo, basándose en la normativa eléctrica peruana pretende realizar un prototipo de un sistema de control lumínico inteligente usando lámparas LED y así aminorar consumo y costos de energía eléctrica. El producto de esta investigación es un cuantioso ahorro económico, así como el mejoramiento en la calidad de iluminación para los transeúntes. Mutuamente estas investigaciones pretenden reducir consumo de energía eléctrica en el alumbrado público mediante la innovadora propuesta del sistema de control lumínico inteligente. Ambas investigaciones también desarrollarán simulaciones para la elección correcta de la lámpara LED.

Asimismo, en [14] se propone el desarrollo de una investigación que pretende la renovación del alumbrado público en la zona de concesión de Luz del Sur implementando luminarias LED y medidores electrónicos con telemetría que controlarán un grupo de luminarias.

De esta manera se controlará a distancia el encendido y apagado y se detectarán inmediatamente las fallas en el sistema de alumbrado. La investigación tuvo como resultado que la inversión para este sistema se recuperaría en 4 años y posteriormente el escenario sería únicamente de utilidad para la concesionaria. Ambas propuestas buscan un control de iluminación en el alumbrado público utilizando lámparas LED asimismo buscan un escenario favorable de inversión económica.

## **3.2. BASE TEÓRICA – CIENTÍFICA**

### **3.2.1. Conceptos luminotécnicos**

#### *3.2.1.1. Luz*

Energía reluciente percibida por el ojo humano. [13]

#### *3.2.1.2. Flujo luminoso*

Potencia luminosa percibida por el ojo, se mide en lumen (lm) [11]

#### *3.2.1.3. Intensidad luminosa*

Emisión luminosa emitida en una dirección dada. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd). [12]

#### *3.2.1.4. Luminancia*

Intensidad luminosa que se refleja en una superficie en dirección del ojo humano. ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ ). [15]

#### *3.2.1.5. Iluminancia*

Emisión luminosa proyectada en un área específica, lux es su unidad de medida ( $\text{lumen} / \text{m}^2$ ). [11]

#### *3.2.1.6. Deslumbramiento*

Reducción de la capacidad de distinguir objetos a causa de la mala distribución y/o insuficiencia de las luminancias. [11]

#### *3.2.1.7. Eficiencia luminosa*

Relación entre la potencia activa consumida y el flujo luminoso ( $\text{lm}/\text{w}$ ). [12]

#### *3.2.1.8. Energía lumínica*

Relación entre emisión luminosa emitida y unidad de tiempo ( $\text{lm}/\text{s}$ ). [12]

3.2.1.9. *Temperatura de color*

Variedad cromática que emite un cuerpo negro a una temperatura específica. Se mide en grados kelvin (k). [15]

3.2.1.10. *Rendimiento lumínico*

Eficiencia de un aparato lumínico determinado entre el flujo luminoso y los vatios consumidos (lm/w). [15]

3.2.1.11. *Uniformidad global de luminancias ( $U_0$ )*

Variación de luminosidad proveniente de la relación entre la luminancia mínima y media de una calzada, permitiendo su visibilidad. [15]

3.2.1.12. *Uniformidad longitudinal de luminancias ( $U_l$ )*

Adopta el valor más desfavorable entre la relación mínima y máxima en el mismo eje longitudinal de desplazamiento. [15]

3.2.1.13. *Uniformidad media ( $U_m$ )*

Relación entre la intensidad luminosa mínima y media de una vía. [15]

3.2.1.14. *Uniformidad general ( $U_g$ )*

Relación entre la intensidad luminosa mínima y máxima de una calzada. [15]

3.2.2. ***Sistema de alumbrado público***

Instalaciones eléctricas que proporcionan el servicio de iluminación en espacios públicos. [13]



*Fig. 1 Sistema de Alumbrado Público*

*Fuente: t.ly/GlyK*

### 3.2.2.1. *Implantación de luminarias*

Distribución de los puntos de luz con la finalidad de obtener una óptima iluminación. [15]

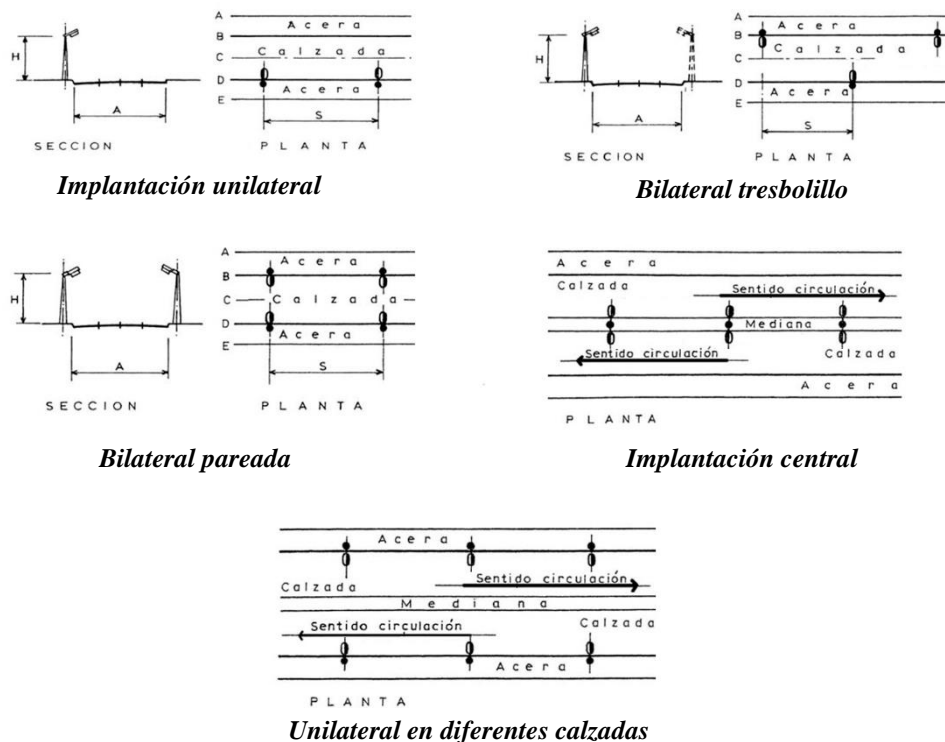


Fig. 2 Tipos de disposiciones de alumbrado público

Fuente: [15]

- **Implantación unilateral**  
Las luminarias se ubican en un mismo sentido y se utilizan cuando el ancho de la vía es menor 1,2 veces la altura del poste. [15]
- **Bilateral tresbolillo**  
Los puntos se disponen en las laterales de las vías de forma intercalada. [15]
- **Bilateral pareada**  
Las luminarias se sitúan una de frente a otra en los laterales de la vía, se recomienda cuando el ancho de esta supera 1,3 veces la altura del poste. [15]
- **Implantación central**  
Se dispone de esta manera cuando el ancho de la media es de 1 a 3m. [15]
- **Unilateral en diferentes calzadas**  
Se ubican en vías de doble sentidos separados por una mediana mayor a 3m de ancho. [15]

### 3.2.3. Componentes del sistema de alumbrado público

#### 3.2.3.1. Luminaria

Dispositivo que distribuye, destila y transforma la emisión de luz de una fuente luminosa comprendida por componentes necesarios para el soporte, conexión y protección. [13]

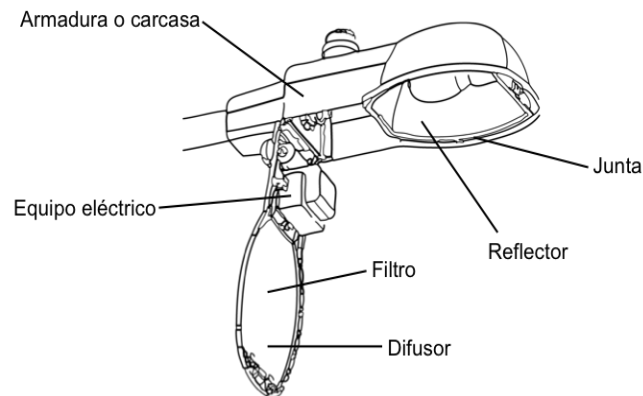


Fig. 3 Componentes de una luminaria

Fuente: t.ly/rz6Q

##### 3.2.3.1.1. Tipos de luminarias

- *Fluorescente*  
Envuelto por un tubo de vidrio delgado, en su interior se encuentran pequeños porcentajes de vapor de mercurio. [11]
- *Halogenuro*  
Lámpara de descarga de alta presión, generalmente de alta potencia y de óptima emisión de colores. [11]
- *LED*  
No emite radiación UV, de fácil control y mayor tiempo de vida útil. [11]
- *Vapor de mercurio*  
Lámpara que emite una elevada radiación UV, no es tan eficaz debido a su encendido es tardío. [11]
- *Vapor de sodio*  
Mayormente son usadas para alumbrado público, su rendimiento lumínico es alto. Existen lámparas de vapor de sodio de alta y baja presión. [11]

- *Descarga por inducción*

Permite un ahorro del 20 al 50% en comparación de las lámparas de vapor, sin embargo, necesita una fuente de energía frecuente para su funcionamiento eficaz. [11]

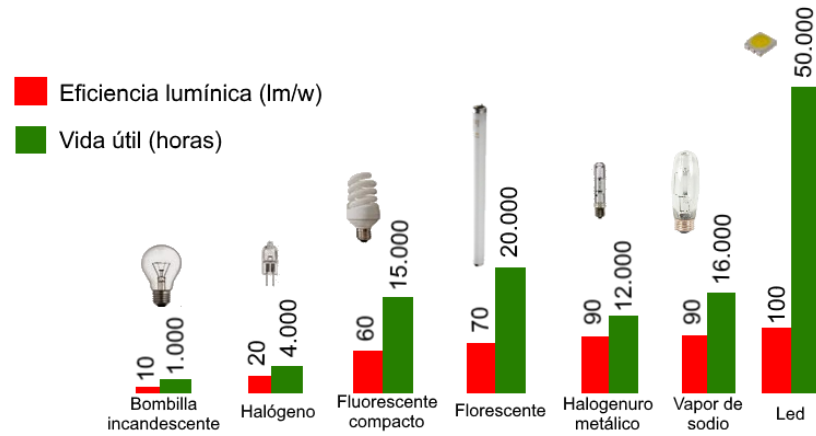


Fig. 4 Eficiencia lumínica vs vida útil

Fuente: *ComparaLux*

## **IV. MARCO METODOLÓGICO**

### **4.1. ENFOQUE**

El tipo de enfoque es cuantitativo ya que de manera secuencial se realizará la recopilación de datos para posteriormente analizarlos y finalmente realizar una posible solución y unas conclusiones.

### **4.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación es de nivel descriptivo y explicativo ya que se realizará la descripción de la problemática dada en una geografía determinada, así como se determinarán las causas y consecuencias para posteriormente dar una posible solución. Asimismo, esta investigación será de tipo aplicada ya que de acuerdo al desarrollo de estrategias se permitirá lograr los objetivos planteados.

### **4.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo experimental ya que mediante una operacionalización de la variable independiente (sistema de control lumínico inteligente) se creará un efecto en la variable dependiente (reducción del consumo de energía eléctrica) y posteriormente analizar los resultados.

### **4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **4.4.1. Población**

Comprendida vehículos y transeúntes que circulan por la zona.

#### **4.4.2. Muestra**

Se desarrollará un muestreo aleatorio simple para escenarios específicos.

### **4.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

Es viable la propuesta de un sistema de control lumínico inteligente en la red de alumbrado público de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo para la reducción del consumo de energía eléctrica

#### 4.6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS E INSTRUMENTOS

OBJETIVO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
1. Diagnosticar la situación actual del alumbrado público en la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo.	Recopilación de datos / Evaluación del sistema de alumbrado público actual.	Inspección visual en la zona/ Sitios Web como MapInfo Osinergmin, MINEM, INEI, Google Earth / Informes estadísticos/ Fotografías
2. Evaluar los diversos sistemas de detección vehicular.	Consultas a investigaciones anteriores/ Consulta a fuentes bibliográficas	Fuentes bibliográficas/ Catálogo de equipos eléctricos y electrónicos
3. Determinar el sistema a usar en la propuesta del control lumínico inteligente para el tramo propuesto.	Análisis de cada componente del sistema de control lumínico inteligente de acuerdo a requerimientos de la zona / Cálculos justificativos.	Fuentes bibliográficas/ Software de simulación y hardware libre
5. Realizar la evaluación económica de la propuesta del sistema de control lumínico inteligente.	Evaluación económica en base al ahorro tarifario eléctrico.	Fuentes bibliográficas/ Software de hoja de cálculo

*Tabla 1 Técnica de recolección de datos e instrumentos*

*Fuente: Autor*

#### 4.7. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El plan de procesamiento y análisis de datos se dará de manera sistemática y ordenada usando un software de hojas de cálculo.

## 4.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables		Metodología, técnicas e instrumentos
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Indicadores	
¿Cuál sería el sistema de control lumínico inteligente para reducir el consumo de energía eléctrica en un tramo de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo?	Proponer un sistema de control lumínico inteligente en la red de alumbrado público de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo para la reducción del consumo de energía eléctrica.	Es viable la propuesta de un sistema de control lumínico inteligente en la red de alumbrado público de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo para la reducción del consumo de energía eléctrica.	Sistema de control lumínico inteligente	-Nivel de Iluminación -Nivel de velocidad	<b>Nivel de la investigación:</b> Descriptiva y experimental  <b>Diseño:</b> Experimental  <b>Población:</b> Vehículos y transeúntes que circulen por la zona  <b>Muestra:</b> Muestreo aleatorio simple  <b>Instrumentos:</b> Inspección virtual, bases de datos, informes estadísticos, fuentes bibliográficas, software de simulación, hardware libre y de hojas de cálculo.
	<b>Objetivos específicos</b>		<b>Variable dependiente</b>		
	1. Diagnosticar la situación actual del alumbrado público en la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo. 2. Evaluar los diversos sistemas de detección vehicular. 3. Determinar el sistema a usar en la propuesta del control lumínico inteligente para el tramo propuesto. 4. Realizar la evaluación económica de la propuesta del sistema de control lumínico inteligente.		Reducción del consumo de energía eléctrica	-Reducción en consumo eléctrico -Ahorro energético -Ahorro Económico	

Tabla 2 Matriz de consistencia

Fuente: Autor

## **V. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL**

### **5.1. GENERALIDADES**

En el desarrollo de este objetivo se describirá la red de alumbrado público actual, así como se especificarán los componentes lumínicos rigentes y se simulará el sistema que opera en la prolongación Av. Francisco Bolognesi. Asimismo, para determinar lo expuesto anteriormente se detallarán las siguientes disposiciones:

- La descripción del sistema de alumbrado y la discusión de resultados estarán sujetos a las normas eléctricas y de iluminación vigentes en el Perú.
- La evaluación del sistema de alumbrado público se llevará a cabo por separación de áreas y éstas a su vez en superficies de cálculo.
- Las especificaciones técnicas de las luminarias utilizadas para la simulación están en relación luminotécnica a las usadas en el sistema actual.
- En las áreas mencionadas se realizará la disposición de la red de alumbrado público dando a conocer la cantidad de puntos de luz, estructuras, así como su ubicación y referenciación aproximada en relación a la instalación existente.
- Se ha tenido en cuenta la disparidad topográfica para la simulación entre berma y calzada usando una altura de 0,3 m y 0 m respectivamente.
- La simulación se llevará a cabo en el software Dialux Evo 9.

### **5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL**

La red de alumbrado público en la prolongación Av. Francisco Bolognesi pertenece a una zona urbana de media densidad de sector de distribución típico 2 cuya alimentación es aérea de 220 V en baja tensión. [16]

De acuerdo con las pretensiones generales respecto a la iluminación e instalación de la red de alumbrado público, la prolongación Av. Francisco Bolognesi pertenece a un tipo de iluminación II ya que es una es una arteria principal secundaria de doble circulación, teniendo como necesidad de iluminación media para una calzada oscura de 20-40 lux. Asimismo, se considera un conductor de cobre para red aérea de una sección nominal de 10 mm<sup>2</sup> con una estimación de caída de tensión del 5% en todo el sistema.

En la siguiente tabla se mostrarán los niveles de parámetros luminotécnicos requeridos para este tipo de vía (arteria principal secundaria de doble circulación). Cabe recalcar que estos parámetros fueron extraídos de normas eléctricas peruanas y normas internacionales en luminotecnia [15]

<b>PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS</b>				
<b>Iluminancia media (lux)</b>	<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Uniformidad Global (U<sub>0</sub>)</b>	<b>Uniformidad Longitudinal</b>	<b>Índice de control de deslumbramiento</b>
20 - 40	1,0 - 2,0	$\geq 0,15$	$\geq 0,65$	$\geq 15\%$

*Tabla 3 Parámetros luminotécnicos para un tipo de vía arterial II*

*Fuente: [21]*

Estos parámetros serán los requeridos para el posterior diseño del sistema lumínicos en el tramo delimitado. A continuación, se mostrarán unas figuras extraídas de Google Earth sobre la situación actual de la prolongación Av. Francisco Bolognesi – Chiclayo.



*Fig. 5 Sistema de alumbrado público en la prolongación Av. Francisco Bolognesi*

*Fuente: Google Earth*

### 5.3. ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALUMBRADO ACTUAL

#### 5.3.1. Luminaria

Las luminarias empleadas en el sistema de alumbrado público están dadas por la marca Phillips siendo del tipo ECOM para el uso de lámparas de 50 W, 70 W, 100 W Y 150 W de vapor de sodio de alta presión. [17]

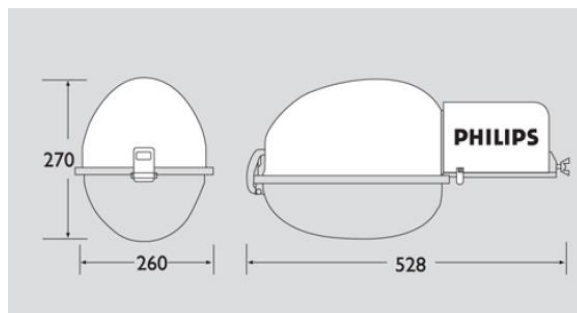


Fig. 6 Luminaria Philips (unidades en mm)

Fuente: [17]

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión usadas en la prolongación Av. Francisco Bolognesi están dadas por la marca Phillips con una potencia de 70 W y una emisión luminosa de 6600 lm [18]. Los datos dichos anteriormente se tomarán en cuenta en la comparación luminotécnica con la luminaria usada para la simulación.

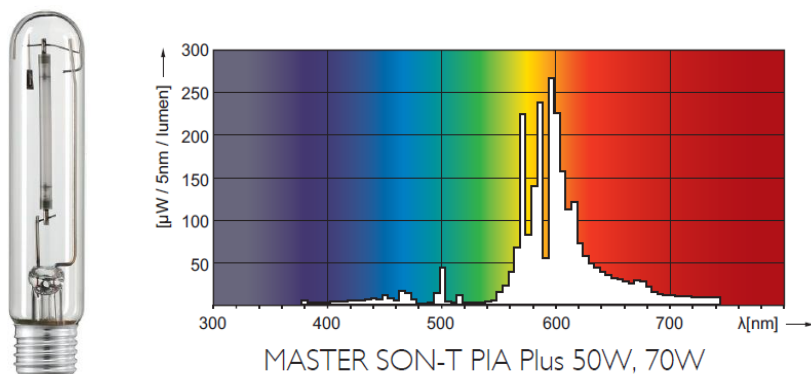


Fig. 7 Lámpara de 70 W y diagrama lumínico

Fuente: [18]

### 5.3.2. Estructuras de soporte

#### 5.3.2.1. Poste

Los postes utilizados se encuentran fijados en un marco de seguridad igual o superior a 0,3 metros del borde interior de la berma. Son de concreto armado de 8 metros con 200 kilogramos fuerza en la punta (8/200). La consecuente tabla muestra las diferenciaciones técnicas dadas por la marca FABINCO S.A. [19]

DESCRIPCION	LONG. TOTAL L1 (m)	CARGA DE TRABAJO F (kgs)	DIAMETRO EN MM.				PUESTA A TIERRA A (m)	EMPOTRAMIENTO		ALTURA DE SEÑALIZ S (m)
			EXTERIORES		INTERIORES			INST. BASE CONCRETO L2 (m)	INSPECCION Y PRUEBA (m)	
			Cima $\varnothing$ pe (mm)	Base $\varnothing$ be (mm)	Cima $\varnothing$ pi * (mm)	Base $\varnothing$ bi (mm)				
POSTE C.A.C. 7/200/120/225	7	200	120	225	40	125	0.40	0.70	1.20	3
POSTE C.A.C. 7/300/150/255	7	300	150	255	40	125	0.40	0.70	1.20	3
POSTE C.A.C. 8/200/120/240	8	200	120	240	40	140	0.50	0.80	1.30	3
POSTE C.A.C. 8/300/120/240	8	300	120	240	40	140	0.50	0.80	1.30	3
POSTE C.A.C. 8/300/150/270	8	300	150	270	40	140	0.50	0.80	1.30	3

Tabla 4 Parámetros de distintos tipos de postes

Fuente: [19]

En la siguiente imagen se muestran los detalles constructivos de un poste estandarizado

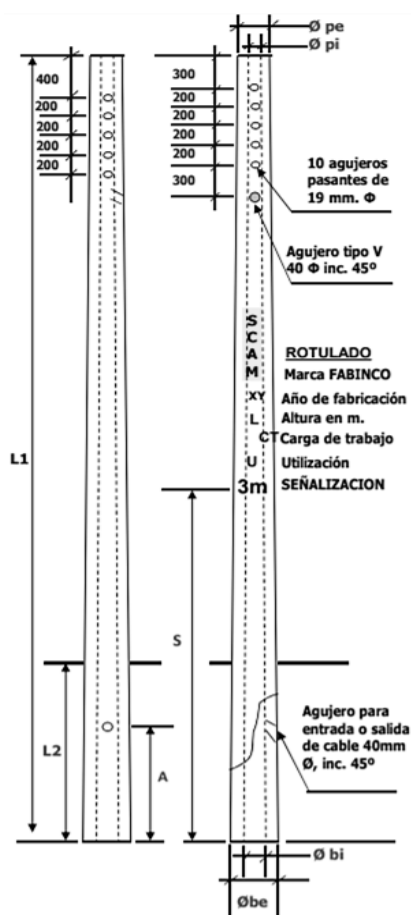


Fig. 8 Detalle constructivo de poste de 8/200

Fuente: [19]

### 5.3.2.2. Pastoral

Los pastorales instalados son de tipo simple de acero galvanizado caliente de acuerdo con la norma ASTM – A153 con especificaciones iguales a las proporcionadas por las del catálogo de código JYM0187 con una longitud horizontal de 1,5 metros y una longitud vertical de 1,1 metros. La tabla en consecuencia proporciona los detalles técnicos estándares dados por la empresa J y M Materiales S.R.L. [20]

CÓDIGO	DIMENSIONES (mm)				DIMENSIONES (mm)			
	A Pulg / mm	H	V	R	D Pulg / mm	H	V	R
JYM0183	1 ½" / 38	500	580	300	1 ½" / 38	1000	930	600
JYM0184	1 ½" / 38	1000	850	300	1 ½" / 38	1500	1110	600
JYM0185	1 ½" / 38	1000	850	600	1 ½" / 38	2000	1480	600
JYM0186	1 ½" / 38	1500	1100	300	1 ½" / 38	2500	1880	1100
JYM0187	1 ½" / 38	1500	1100	600	2" / 51	2500	1880	600
JYM0188	1 ½" / 38	2000	1290	600	2" / 51	2500	1880	1100

Tabla 5 Especificaciones de distintos tipos de pastorales

Fuente: [20]

Asimismo, se muestran los detalles constructivos de la estructura dicho pastoral.

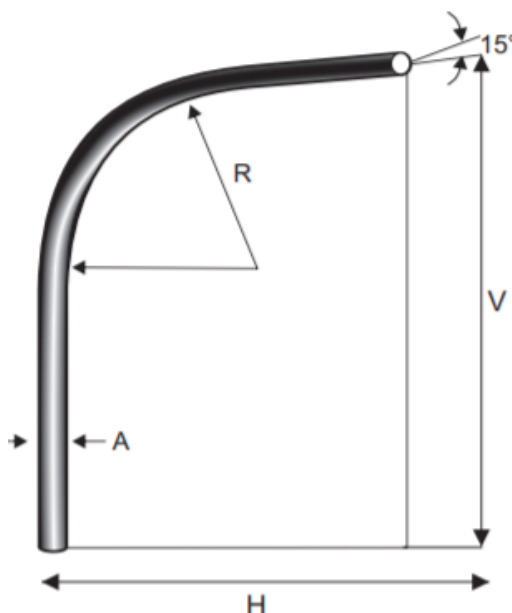


Fig. 9 Detalle constructivo de pastoral

Fuente: [20]

### 5.3.2.3. Abrazadera

Las abrazaderas son de tipo simple con diámetro A de 132 mm y un diámetro B de 48 mm [20].

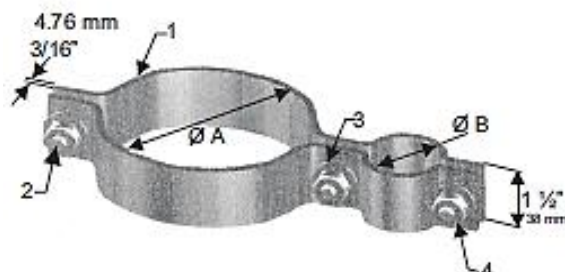


Fig. 10 Abrazadera simple

Fuente: [20]

## 5.4. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO ACTUAL

La simulación del sistema de alumbrado público estará sujeta a las siguientes condiciones:

- La figura a continuación presenta las características luminotécnicas de la luminaria de 70 W de vapor de sodio a usar en la simulación.

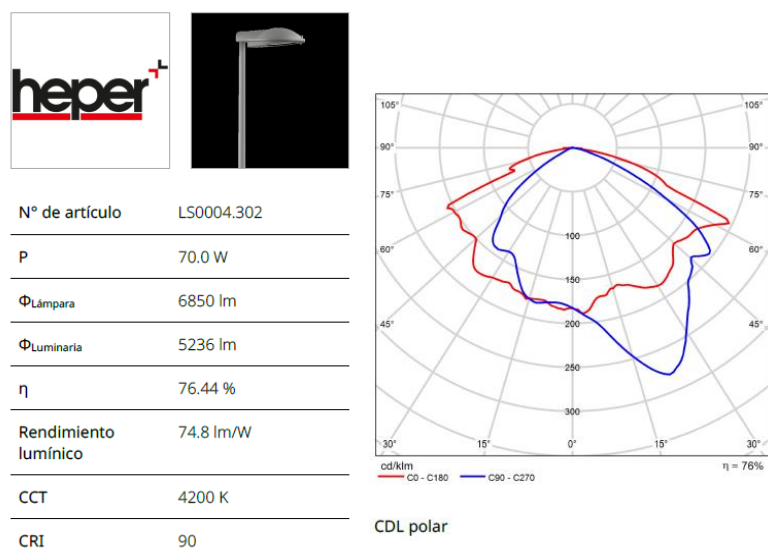


Fig. 11 Datos luminotécnicos de la luminaria de 70 W

Fuente: Dialux Evo 9.0

- La altura de punto de luz de las luminarias será considerada de 8,8 metros
- Se ha considerado que el tiempo de operación por día es de 12 horas, teniendo un total de 4380 horas por año.
- Los rangos luminotécnicos exigidos en las superficies de cálculo de esta investigación están basados en la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”
- Se tomarán como variables de evaluación la iluminancia, uniformidad, deslumbramiento y luminancia, estas dos últimas sólo estarán sujeta a las calzadas ya que las normas en el Perú son puntuales para este tipo de superficies.
- El factor de mantenimiento para todo el sistema será de 0,7.
- Las luminarias estarán consideradas como si iniciaran el ciclo de su vida útil.

#### 5.4.1. ÁREA DE EVALUACIÓN 1

En la siguiente figura se detalla la disposición de estructuras y luminarias en el área de evaluación 1.

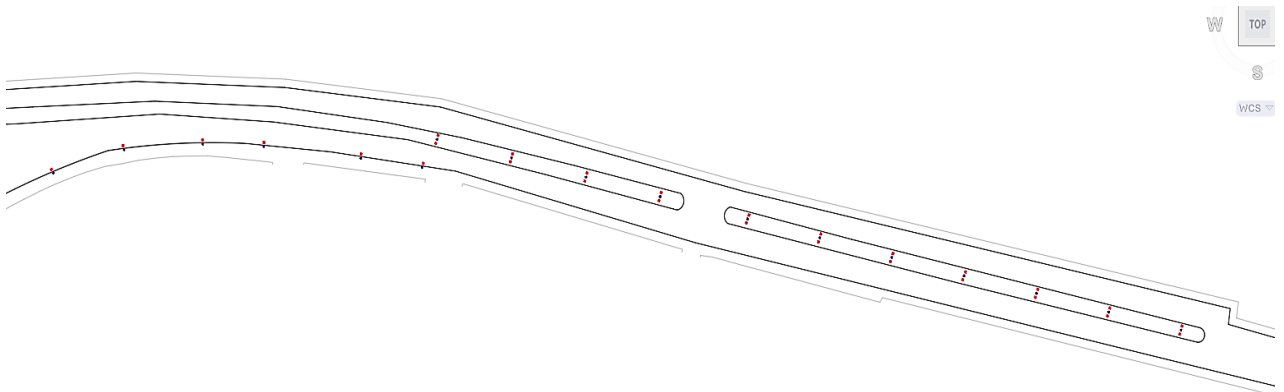


Fig. 12 Área de evaluación 1

Fuente: Autor

La presente área en evaluación tiene una longitud aproximada de 700 m, dónde se puede observar dos tipos de disposiciones de alumbrado, por una parte, una disposición central con doble brazo y por el otro lado una disposición unilateral. Dichas disposiciones estarán sujetas a superficies de cálculo en las cuáles se evaluará el cumplimiento de los requisitos luminotécnicos dados por las normas eléctricas en el Perú.

#### 5.4.1.1. Superficie de cálculo 1

La superficie cuenta con un área de 834 m<sup>2</sup> y una distancia entre puntos de luz de 30 metros.

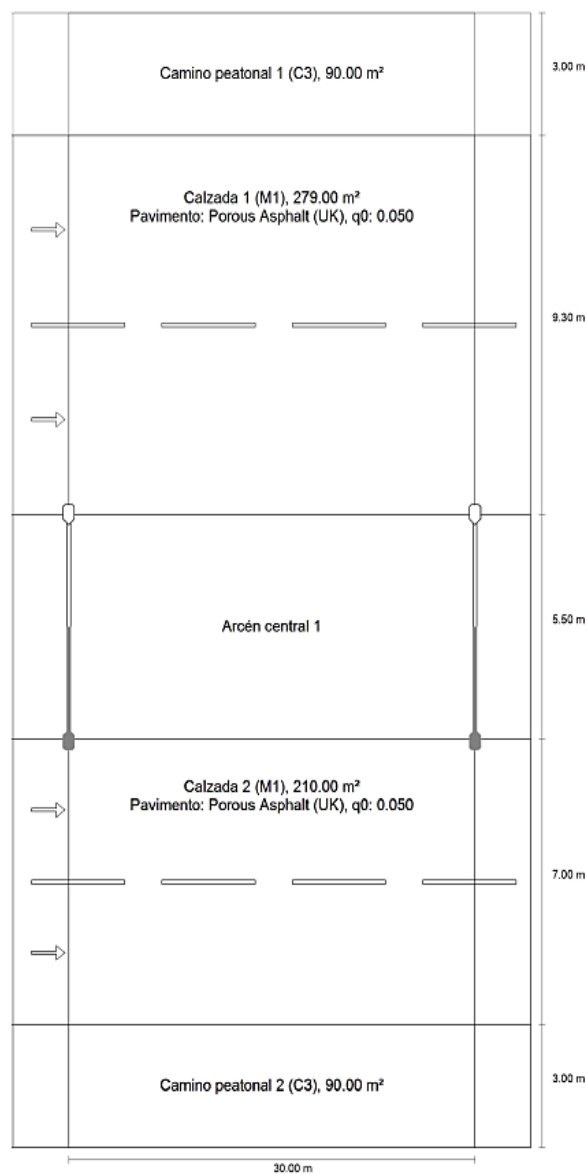
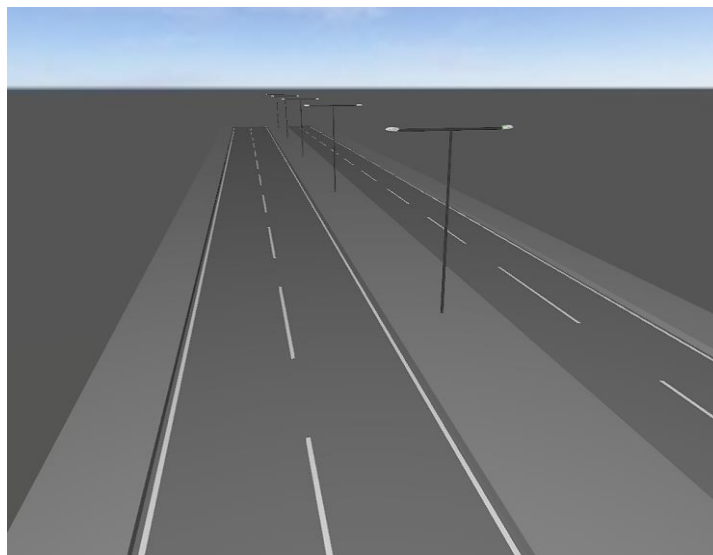


Fig. 13 Dimensiones de la superficie de cálculo 1

Fuente: Dialux Evo 9.0



*Fig. 14 Renderizado de la superficie de cálculo 1*  
*Fuente: Dialux Evo 9.0*

Habiendo elaborado la disposición para esta superficie de cálculo se obtiene los resultados gracias al software Dialux Evo 9.0.

Tenemos como resultado que para ambas calzadas el nivel de iluminancia media no cumple ni en un 50% de los límites mínimos requeridos, teniendo solo 6,67 lux de los 20 lux requeridos. Teniendo los resultados se puede detallar que los niveles de luminancia en ambas calzadas cumplen aproximadamente solo con el 40% de los requerimientos normativos, teniendo 0,25 cd/m<sup>2</sup> y 0,28 cd/m<sup>2</sup> de 1 cd/m<sup>2</sup> para la calzada 1 y 2 respectivamente. Asimismo, la uniformidad longitudinal solo cumple en una de las dos calzadas. Por otro lado, el porcentaje de deslumbramiento (TI) y la relación con el entorno cumplen satisfactoriamente los requerimientos luminotécnicos.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 1	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
<b>Iluminancia media (lux)</b>	20 - 40	6,12	6,67
<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	1,0 - 2,0	0,25	0,28
<b>Uniformidad Global (U<sub>o</sub>)</b>	≥0,15	0,56	0,51
<b>Uniformidad Longitudinal</b>	≥ 0,65	0,57	0,5
<b>Índice de control de deslumbramiento</b>	≥ 15%	6	6

*Tabla 6 Valores luminotécnicos de la superficie de cálculo 1*  
*Fuente: Dialux Evo 9.0*

Respecto a los caminos peatonales, solo el camino peatonal 2 está dentro del rango requerido por la normativa eléctrica peruana, el camino peatonal 1 está debajo de los niveles.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 1	Nivel Requerido	VALOR ACTUAL	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Illuminancia media (lux)	4	3,48	4,32

Tabla 7 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 1

Fuente: Dialux Evo 9.0

#### 5.4.1.2. Superficie de cálculo 2

Esta superficie posee una disposición unilateral de un área de 832,5 m<sup>2</sup> y una distancia promedio de puntos de luz de 30 metros.

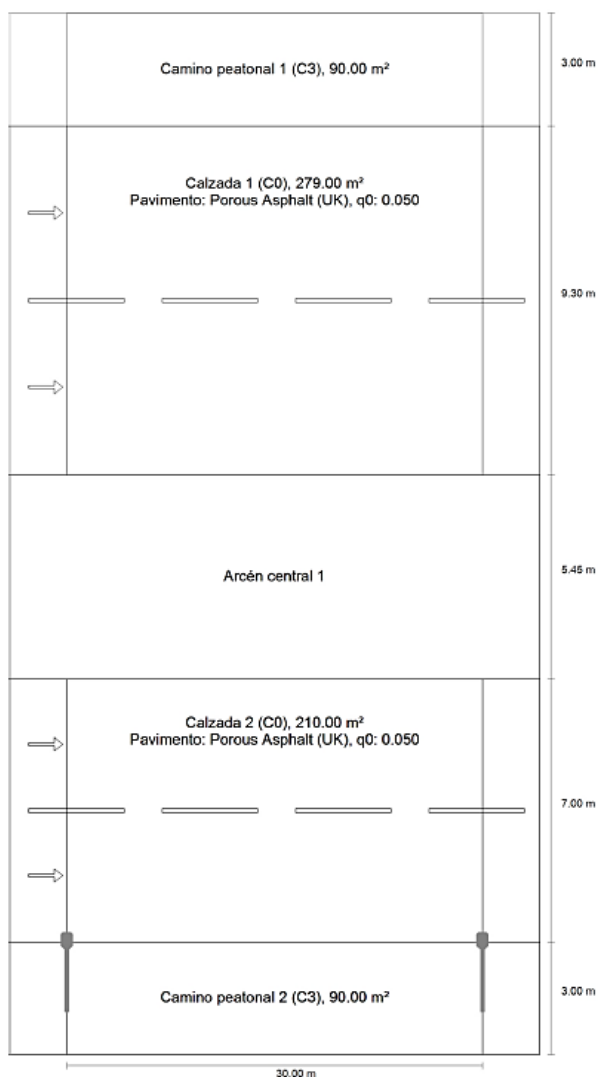
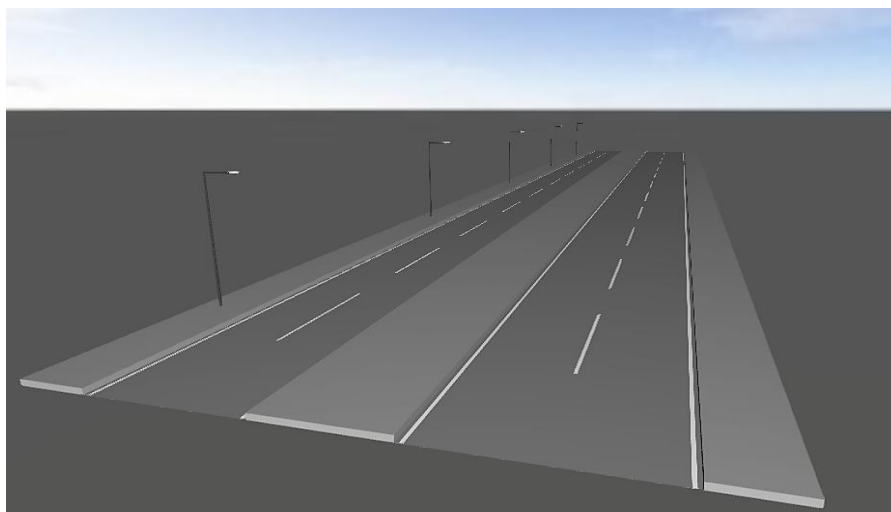


Fig. 15 Dimensiones de la superficie de cálculo 2

Fuente: Dialux Evo 9.0



*Fig. 16 Renderizado de la superficie de cálculo 2*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*

A continuación, se muestran los resultados de iluminancia y uniformidad en esta superficie de cálculo.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 2	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
Iluminancia media (lux)	20 - 40	2,56	5,54
Luminancia media (cd/m <sup>2</sup> )	1,0 - 2,0	0,11	0,24
Uniformidad Global (U <sub>o</sub> )	≥ 0,15	0,59	0,53
Uniformidad Longitudinal	≥ 0,65	0,67	0,47
Índice de control de deslumbramiento	≥ 15%	10	5

*Tabla 8 Valores luminotécnicos de la superficie de cálculo 2*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*

Obtenemos que el nivel de iluminancia media en la calzada 1 y calzada 2 están debajo de los estándares requeridos (20 lux) teniendo 2,56 lux y 5,54 respectivamente, asimismo los parámetros de uniformidad global cumplen en todas las superficies.

Ambas calzadas presentan niveles de luminancia debajo de los estándares permitidos, presentando 0,11 cd/m<sup>2</sup> y 0,24 cd/m<sup>2</sup> de 1,00 cd/m<sup>2</sup> para las calzadas 1 y 2 respectivamente, asimismo ambas calzadas cumplen con el porcentaje de deslumbramiento y necesario. Por otro lado, la uniformidad longitudinal solo acata la calzada 1.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 2	Nivel Requerido	VALOR ACTUAL	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Iuminancia media (lux)	4	1,22	3,67

Tabla 9 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 2

Fuente: Dialux Evo 9.0

Respecto a los caminos peatonales, se puede detallar que ninguno de los caminos peatonales cumple con los niveles mínimos permitidos por causas como ausencia de puntos de luz en esa área.

#### 5.4.2. ÁREA DE EVALUACIÓN 2

En la siguiente figura se detalla las disposiciones del área de evaluación 2.

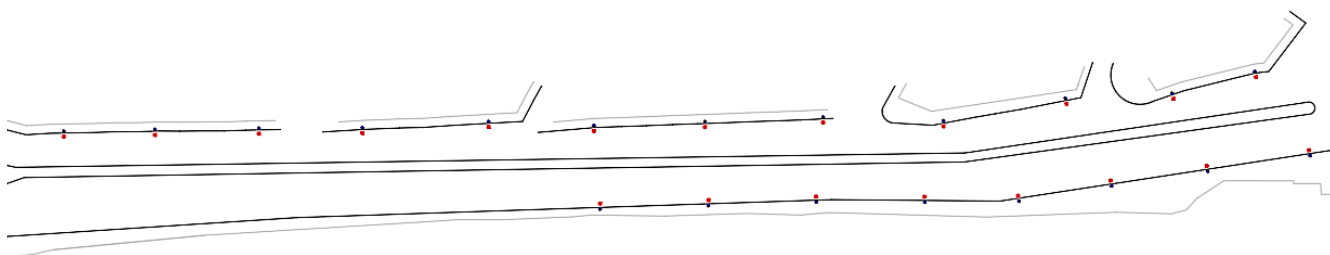


Fig. 17 Área de evaluación 2

Fuente: Autor

La segunda área de evaluación tiene una distancia aproximada de 383,5242 metros dónde se pueden observar dos tipos de disposiciones de alumbrado público, por un lado, se observa una disposición unilateral en calzadas diferenciadas y a su vez se encuentra una disposición unilateral. Estas disposiciones serán evaluadas en dos superficies de cálculo para comprobar el cumplimiento de las normas eléctricas.

#### 5.4.2.1. Superficie de cálculo 3

La superficie cuenta con una disposición unilateral en calzadas diferenciadas de 780.3 m<sup>2</sup> y una distancia entre puntos de luz de 27 metros.

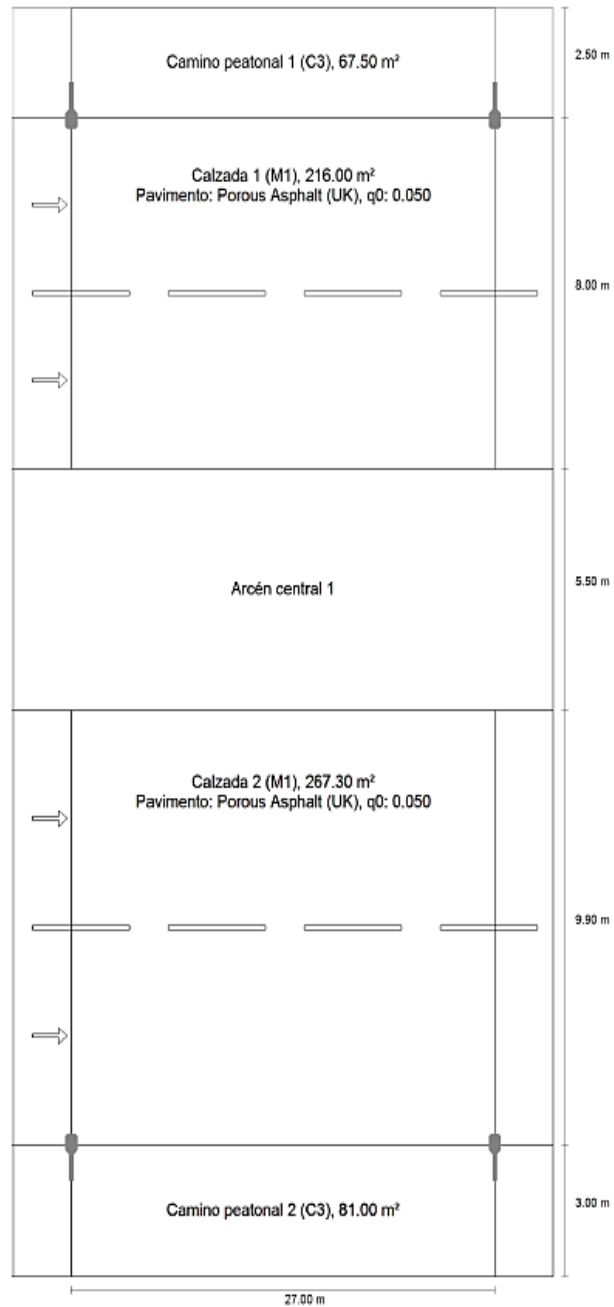


Fig. 18 Dimensiones de la superficie de cálculo 3

Fuente: Dialux Evo 9.0

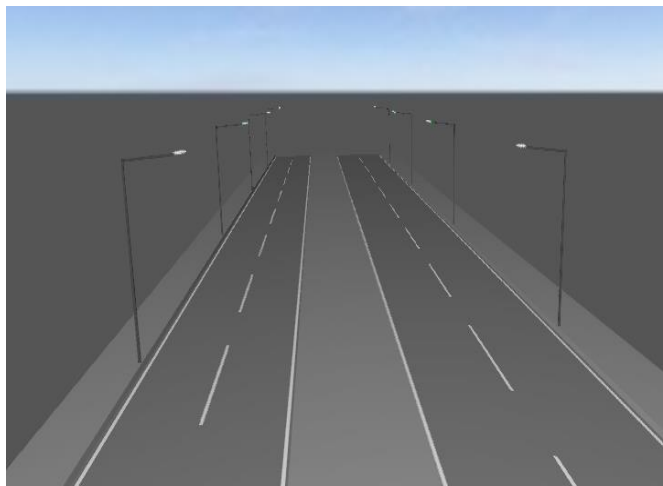


Fig. 19 Renderizado de la superficie de cálculo 3

Fuente: Dialux Evo 9.0

Después de insertar la disposición y los parámetros luminotécnicos respectivos, se procede al cálculo y a la obtención de resultados de esta superficie.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 3	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
<b>Iluminancia media (lux)</b>	20 - 40	8,45	8,61
<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	1,0 - 2,0	0,37	0,36
<b>Uniformidad Global (U<sub>o</sub>)</b>	≥0,15	0,64	0,62
<b>Uniformidad Longitudinal</b>	≥ 0,65	0,71	0,69
<b>Índice de control de deslumbramiento</b>	≥ 15%	7	8

Tabla 10 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 3

Fuente: Dialux Evo 9.0

Se obtiene que ambas calzadas de la superficie en cuestión no cumplen los niveles mínimos de iluminancia media exigidos por la norma teniendo solo 8,45 lux y 8,61lux respectivamente. Estos parámetros cumplen en promedio solo con el 43,05% de lo requerido en este tipo de vía. Asimismo, respecto a la uniformidad global, se puede detallar que todas las superficies cumplen con los estándares mínimos permisibles. Los parámetros de luminancia en ambas calzadas infringen hasta en un 56,95 % los estándares mínimos exigidos. Sin embargo, los niveles de deslumbramiento y uniformidad longitudinal están dentro del rango permitido de operación.

Por otro lado, la iluminancia media en los caminos peatonales se encuentra dentro de los parámetros exigidos (4lux)

SUPERFICIE DE CÁLCULO 3	Nivel Requerido	VALOR ACTUAL	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Iluminancia media (lux)	4	4,9	5,11

Tabla 11 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 3

Fuente: Dialux Evo 9.0

#### 5.4.2.2. Superficie de cálculo 4

La superficie de cálculo cuenta con una disposición unilateral en 960 m<sup>2</sup> y una distancia de puntos de puntos de luz de 30 metros.

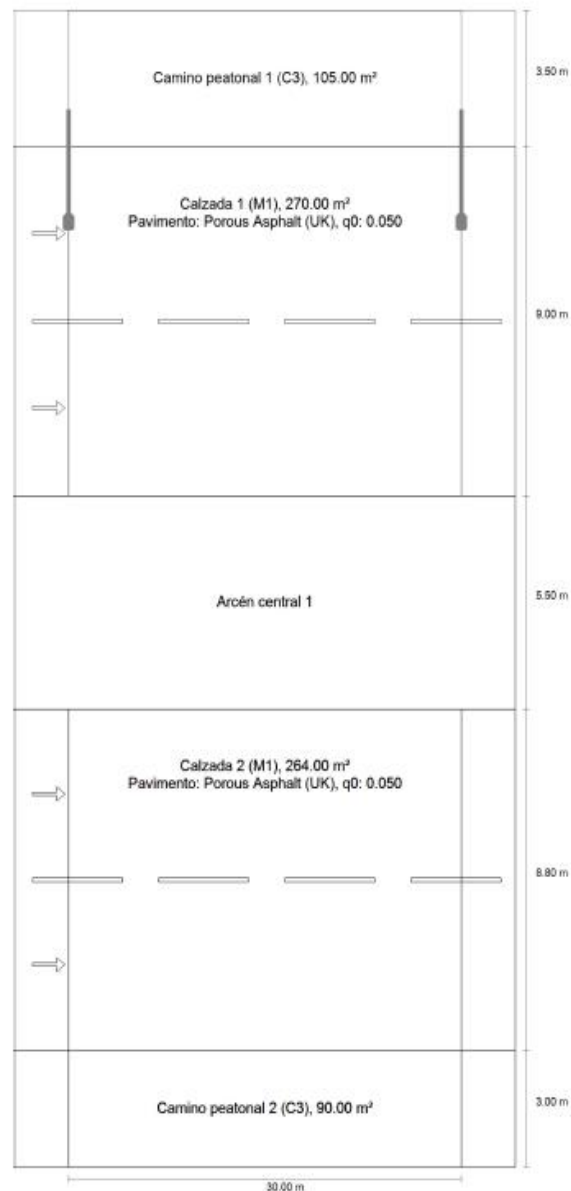


Fig. 20 Dimensiones de la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

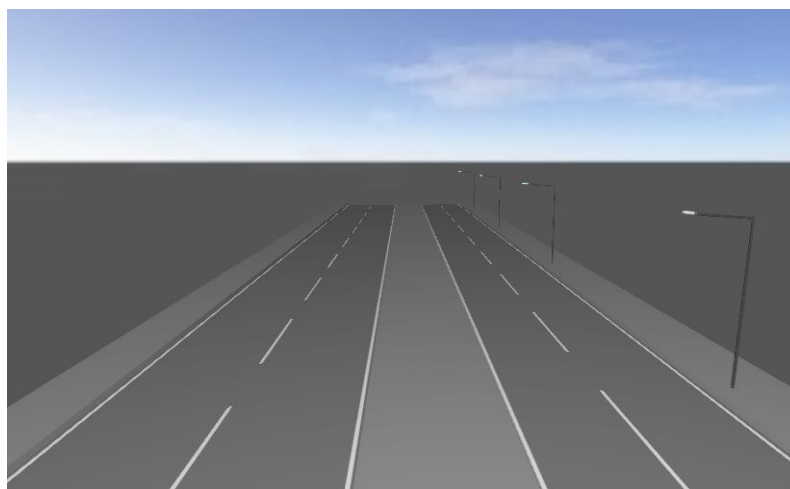


Fig. 21 Renderizado de la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

Teniendo la disposición y los datos luminotécnicos insertados en el software, a continuación, se muestran los resultados de las variables analizadas.

Respecto a las calzadas en cuestión, se puede detallar que para ambas calzadas la iluminancia media no es suficiente presentándose un requerimiento mínimo de 20 lux y obteniendo solo 5,56 lux y 2,02 lux para las calzadas 1 y 2 respectivamente. Por añadidura se presentarán los valores de luminancia, deslumbramiento y uniformidad.

Ambas calzadas infringen los niveles mínimos permisibles en luminancia, teniendo solo el 24% y 9% de lo establecido para las calzadas 1 y 2 respectivamente, sin embargo, sí cumplen con los índices de deslumbramiento y uniformidad longitudinal requeridos.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 4	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
<b>Iluminancia media (lux)</b>	20 - 40	5,56	2,02
<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	1,0 - 2,0	0,24	0,09
<b>Uniformidad Global ( U<sub>0</sub>)</b>	≥0,15	0,56	0,57
<b>Uniformidad Longitudinal</b>	≥ 0,65	0,48	0,67
<b>Índice de control de deslumbramiento</b>	≥ 15%	6	9

Tabla 12 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

De los resultados se puede interpretar que solo el camino peatonal 1 está dentro de los indicadores establecidos tanto para iluminancia media como para uniformidad global. Por otro lado, el camino peatonal 2 muestra escasez de iluminancia debido al mal diseño lumínico instaurado en esta área

SUPERFICIE DE CÁLCULO 4	Nivel Requerido	VALOR ACTUAL	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Iluminancia media (lux)	4	0,35	0,8

Tabla 13 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

### 5.4.3. ÁREA DE EVALUACIÓN 3

La última área de evaluación tiene una longitud de 1400 metros, en la cual se pueden encontrar dos tipos de disposiciones de alumbrado público diferentes. Empezando con una disposición unilateral, seguida de una disposición unilateral en calzadas diferenciadas. Estas disposiciones estarán sujetas a superficies de cálculo respectivamente.

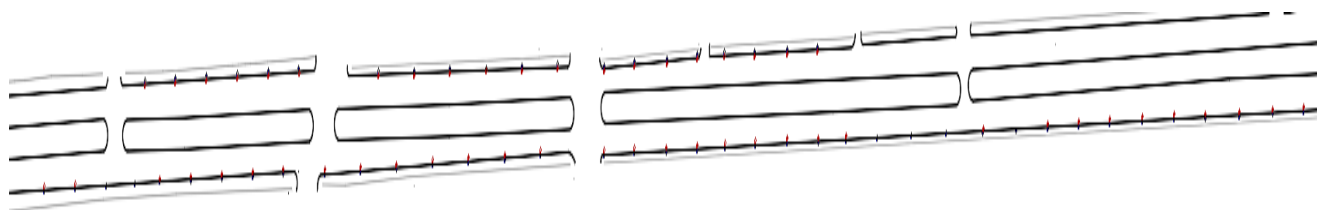


Fig. 22 Área de evaluación 3

Fuente: Autor

### 5.4.3.1. Superficie de cálculo 5

La primera superficie cuenta con una zona de evaluación de 1165.5 m<sup>2</sup> y una distancia de puntos de luz de 31.5 metros.

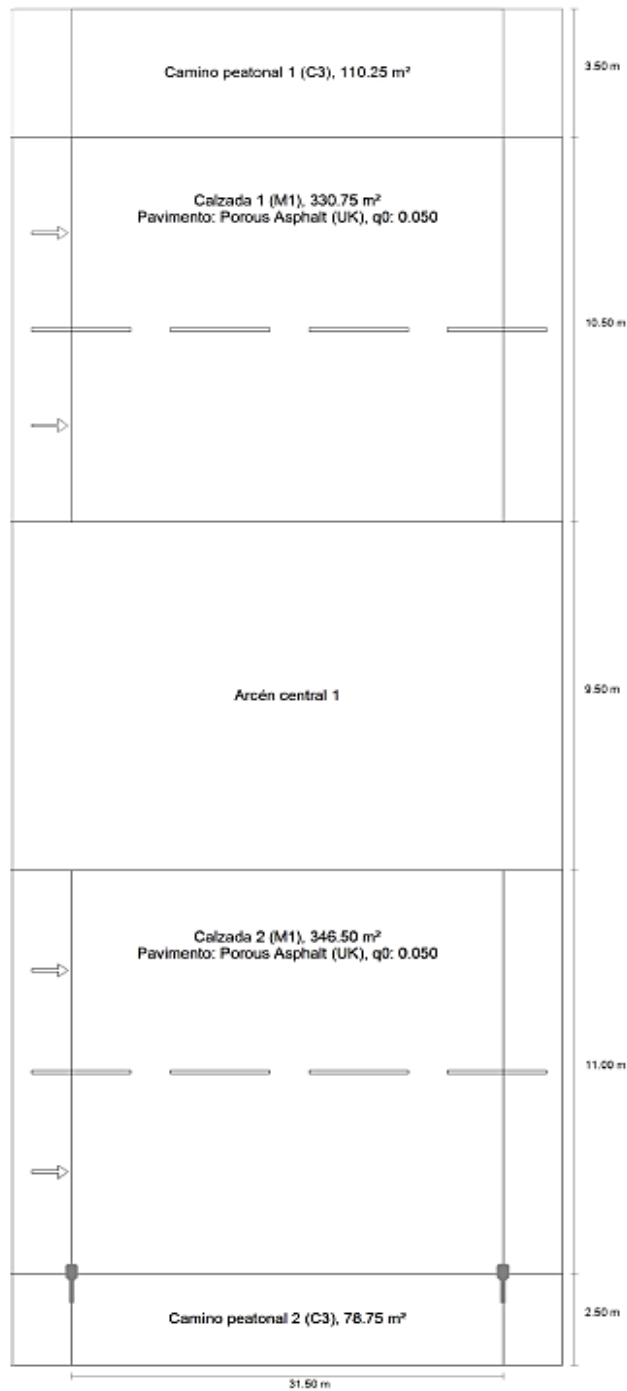


Fig. 23 Dimensiones de la superficie de cálculo 5

Fuente: Dialux Evo 9.0

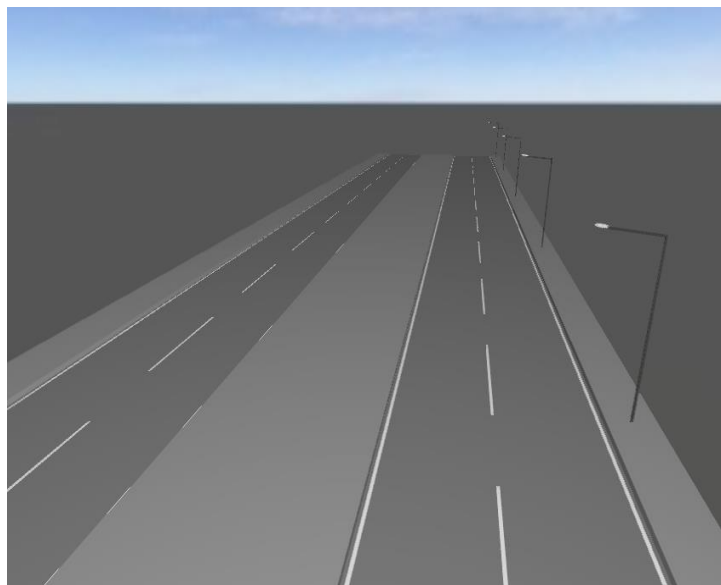


Fig. 24 Renderizado de la superficie de cálculo 5  
Fuente: Dialux Evo 9.0

Teniendo nuestra superficie realizada, a continuación, encontramos los parámetros luminotécnicos hallados. Ambas calzadas no tienen los niveles de luminancia mínimos permisibles, presentándose una ausencia de iluminación tal como es el caso de la calzada 1 y 2 alcanzando solo  $0.05 \text{ cd/m}^2$  y  $0.27 \text{ cd/m}^2$  respectivamente. Asimismo, los niveles de uniformidad longitudinal solo están siendo cumplidos en la calzada 2, por otro lado, el porcentaje de deslumbramiento está operando dentro de los niveles requeridos.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 5	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
<b>Iluminancia media (lux)</b>	20 - 40	0,84	5,06
<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	1,0 - 2,0	0,04	0,21
<b>Uniformidad Global (U<sub>o</sub>)</b>	≥0,15	0,33	0,58
<b>Uniformidad Longitudinal</b>	≥ 0,65	0,58	0,45
<b>Índice de control de deslumbramiento</b>	≥ 15%	8	7

Tabla 14 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 5  
Fuente: Dialux Evo 9.0

Respecto a los caminos peatonales se puede entrever que el camino peatonal 1 al no contar con puntos de luz no llega a los niveles mínimos permisibles de iluminancia media. Por otro lado, el camino peatonal 2 cumple con los estándares requeridos.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 5	Nivel Requerido	VALOR ACTUAL	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Iluminancia media (lux)	4	0,32	4,19

Tabla 15 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 5

Fuente: Dialux Evo 9.0

#### 5.4.3.2. Superficie de cálculo 6

La segunda superficie de cálculo posee una disposición unilateral en calzadas diferenciadas de 1020 metros cuadrados y distancias de puntos de luz de 30 metros.

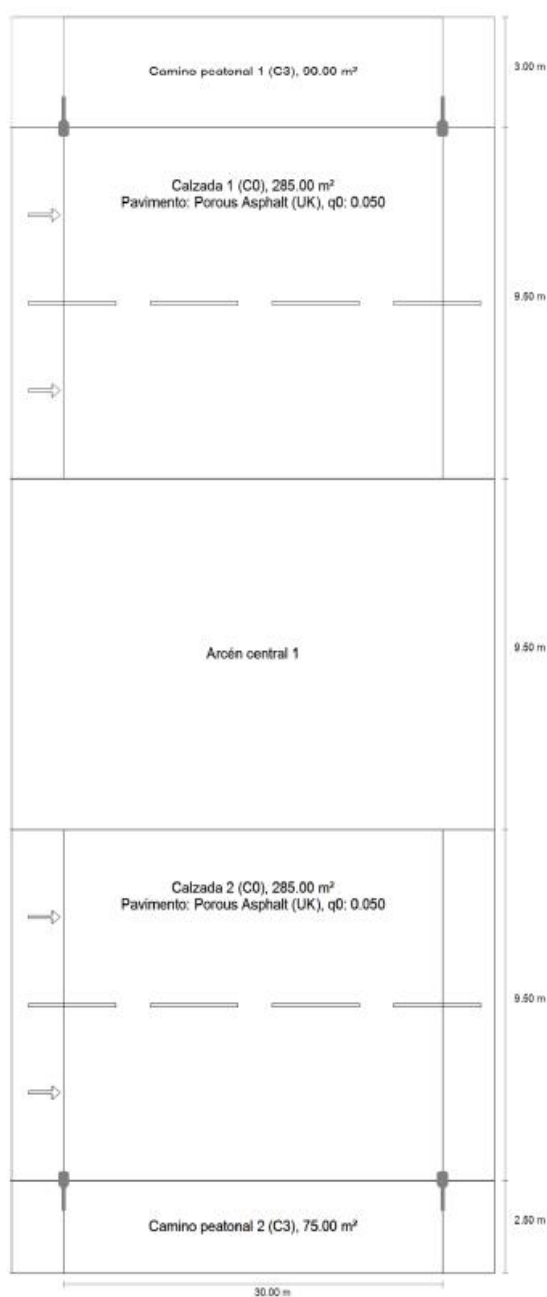


Fig. 25 Dimensiones de la superficie de cálculo 6

Fuente: Dialux Evo 9.0



Fig. 26 Renderizado de la superficie de cálculo 6

Fuente: Dialux Evo 9.0

Obteniendo la disposición, a continuación, se obtienen los parámetros luminotécnicos calculados por el software.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 6	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
<b>Iluminancia media (lux)</b>	20 - 40	6,67	6,67
<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	1,0 - 2,0	0,29	0,28
<b>Uniformidad Global (U<sub>0</sub>)</b>	≥0,15	0,6	0,58
<b>Uniformidad Longitudinal</b>	≥ 0,65	0,59	0,58
<b>Índice de control de deslumbramiento</b>	≥ 15%	6	7

Tabla 16 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 6

Fuente: Dialux Evo 9.0

Las dos calzadas llegan solo al 42.9% de lo requerido por la norma. Por otro lado, la uniformidad global brinda niveles óptimos de operación. Los niveles de luminancia en esta superficie de cálculo no son admisibles de acuerdo con los parámetros requeridos, cumpliendo solo con el 37% del total. Asimismo, la uniformidad longitudinal no brinda parámetros admisibles en ambas calzadas.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 6	Nivel Requerido	VALOR ACTUAL	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Iluminancia media (lux)	4	4,59	4,74

Tabla 17 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 6

Fuente: Dialux Evo 9.0

#### 5.4.3.3. Superficie de cálculo 7

En la superficie de cálculo 7 se puede observar una disposición unilateral en calzadas diferenciadas, teniéndose un área de cálculo de 1088 metros cuadrados una distancia entre puntos de luz de 32 metros.

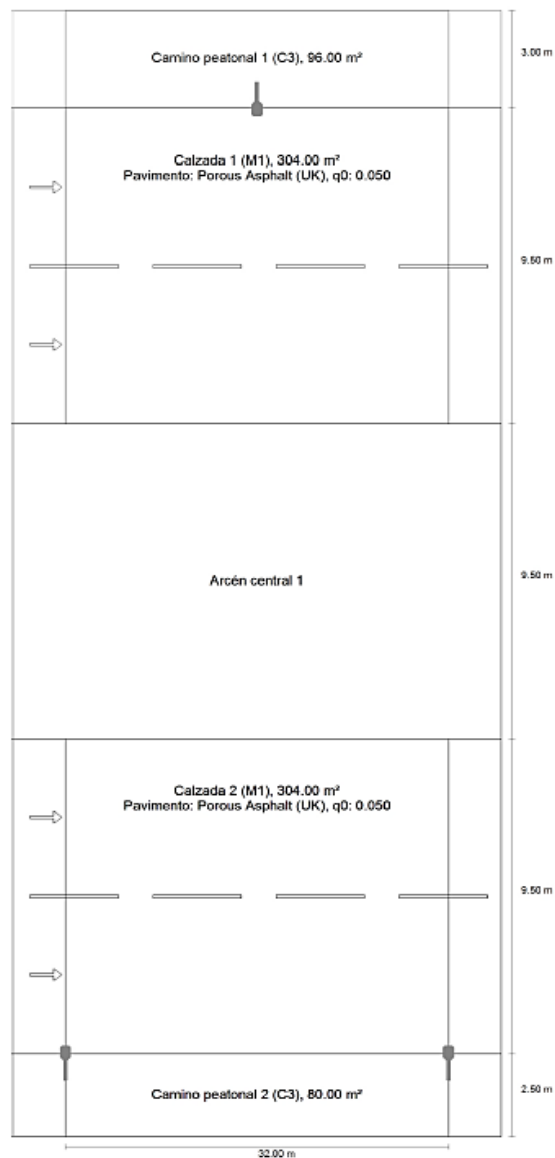


Fig. 27 Dimensiones de la superficie de cálculo 7

Fuente: Dialux Evo 9.0



*Fig. 28 Renderizado de la superficie de cálculo 7*  
Fuente: Dialux Evo

Se obtiene que los parámetros de iluminancia no son los requerido, observándose que hay una falta de casi el 50 % del total. Sin embargo, los niveles de uniformidad longitudinal son los adecuados respecto a las normas vigentes.

Respecto a los parámetros de luminancia se puede observar que al igual que ambas calzadas no tienen los niveles mínimos permitidos, llegando solo al 32% de lo necesario. Asimismo, los niveles de uniformidad longitudinal son escasos respecto a lo permitido. Por otra parte, los parámetros de deslumbramiento cumplen satisfactoriamente los niveles de iluminación.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 7	NIVEL REQUERIDO	VALOR ACTUAL	
		Calzada 1	Calzada 2
<b>Iluminancia media (lux)</b>	20 - 40	6,54	6,58
<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	1,0 - 2,0	0,27	0,27
<b>Uniformidad Global (U<sub>o</sub>)</b>	≥0,15	0,57	0,55
<b>Uniformidad Longitudinal</b>	≥ 0,65	0,51	0,46
<b>Índice de control de deslumbramiento</b>	≥ 15%	6	6

*Tabla 18 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 7*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*

Respecto a los caminos peatonales, en ambas calzadas se cumple con los 4 luxes necesarios.

<b>SUPERFICIE DE CÁLCULO 7</b>	<b>Nivel Requerido</b>	<b>VALOR ACTUAL</b>	
		<b>Camino peatonal 1</b>	<b>Camino peatonal 2</b>
<b>Iluminancia media (lux)</b>	4	3,93	4,07

*Tabla 19 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 7*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*

Respecto al consumo energético, se estima que de acuerdo a las 3 áreas de evaluación 40471.2 Kwh se consumen en un año, cabe considerar que se tiene un 20% de consumo adicional a la potencia de la lámpara por equipos auxiliares como balastos y condensadores.

Área de evaluación	Superficie de Cálculo	Lámparas (W)	P. Equipos auxiliares (W)	Número de luminarias	Número de equipos auxiliares	P. Luminarias Acumulada (W)	P.A. Equipos Auxiliares (W)	P. Total ( W)	Energía (kW.H)
1	1	70	14	24	24	1 680	336	2 016	8 830,08
	2	70	14	9	9	630	126	756	3 311,28
2	3	70	14	15	15	1 050	210	1 260	5 518,80
	4	70	14	6	6	420	84	504	2 207,52
3	5	70	14	14	14	980	196	1 176	5 150,88
	6	70	14	16	16	1 120	224	1 344	5 886,72
	7	70	14	26	26	1 820	364	2 184	9 565,92
<b>Total</b>				<b>110,00</b>	<b>110,00</b>	<b>7 700,00</b>	<b>1 540,00</b>	<b>9 240,00</b>	<b>40 471,20</b>

*Tabla 20 Consumo de energía eléctrica actualmente*

*Fuente: Autor*

En las siete superficies de cálculo analizadas, respecto a las calzadas ninguna cumple con los parámetros requeridos en iluminancia media y luminancia (20 – 30 lux y 1 cd / m<sup>2</sup> respectivamente); donde en su mayoría solo cumplían con el 50% de lo asignado por la norma. Esto debido a factores como mal diseño de alumbrado público, ya sea en la disposición equivocada respecto a las dimensiones área, así como el escaso flujo luminoso de las luminarias usadas. Asimismo, en los caminos peatonales, las zonas de iluminación más críticas se han visto en áreas de disposiciones unilaterales, ya que sólo se iluminaba el lado que le correspondía a las instalaciones de alumbrado público, tal es el caso de las superficies de cálculo 2, 4 y 5, por otro lado, en las superficies de cálculo restantes se verifica el cumplimiento del nivel de iluminancia permitido (4 lux).

Gracias a la evaluación realizada, se obtiene que, en las tres áreas de cálculo, anualmente se consume un total de 40471,2 kilowatts hora. Sin embargo, este consumo energético no satisface los parámetros exigidos por la normativa eléctrica peruana en relación a las variables evaluadas.

## VI. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN VEHICULAR

De acuerdo con el paso de los años, los requerimientos de iluminación siempre han sido proporcional al desarrollo urbanístico. Asimismo, esta evolución de tecnologías en iluminación ha ido desarrollándose con el paso de los años, con la finalidad de mejorar su eficiencia lumínica, eficiencia energética, y tiempo de vida útil.

En este capítulo se dará a conocer los distintos tipos de sistemas de detección vehicular para así hacer una evaluación entre ventajas, desventajas y se desarrollará una tabla de ponderación.

Tipo de funcionamiento	Descripción	Ventajas	Desventajas
Visión artificial	Procesamiento de imágenes captadas por una cámara mediante algoritmos, que identifican el área de acción de un vehículo.	Captación de imágenes para posibles análisis de flujo vehicular	Falta de precisión ante condiciones meteorológicas adversas, costo elevado.
Infrarrojos	Funcionamiento dependiente de un sensor de fotones instalados sobre una superficie de la vía. Estos sensores varían su energía radiada debido a la presencia del calor emitido por un cuerpo.	Bajo costo, consumo energético reducido, eficiente para áreas sin luz, eficiente para áreas en la intemperie	Pueden tener cierta afectación ante climas adversos
Lazo inductivo	Funcionamiento mediante inducción electromagnética, detecta la presencia de un vehículo cuando éste está encima del mismo.	No es afectado por las condiciones ambientales, alta precisión de detección en su rango de acción	Dificultad para el mantenimiento, calibración constante, rango de acción limitado
Radar de microondas	El principio de funcionamiento es la emisión de ondas a alta frecuencia y la detección de un cuerpo al percibir un cambio en la señal emitida la cual es proporcional a la velocidad del cuerpo.	Medición de gran precisión a grandes distancias, eficiencia ante condiciones meteorológicas adversas, no intruso en la superficie	Falta de precisión a bajas velocidades, no detecta la presencia de cuerpos estacionarios
Ultrasonido	Los sensores ultrasónicos basan su funcionamiento en la medición del tiempo desde la emisión de la onda, la reelección sobre un cuerpo y la recepción ultrasónica.	De fácil instalación, eficiente en distancias medianas / cortas, bajo costo	Rango de acción escaso, afectado por condiciones meteorológicas

Tabla 21 Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de detección

Fuente: [31]

A continuación, en base a conceptos teóricos se realizó una tabla de ponderación respecto a cada sistema de detección vehicular. En la siguiente tabla se detallan las equivalencias de valores técnicos a conceptuales

Valor Conceptual	Valor Técnico
Muy Malo	1
Malo	2
Regular	3
Bueno	4
Excelente	5

Tabla 22 Equivalencias conceptuales - técnicas

Fuente: Autor

De esta manera se realiza una tabla con distintas variables, donde se comparan los distintos tipos de sistemas de detección vehicular

Variable	Principio de Funcionamiento				
	Visión artificial	Infrarrojos	Lazo inductivo	Radar de microondas	Ultrasonido
Distancia de Detección	5	3	1	5	3
Precisión	3	4	4	3	4
Velocidad de Respuesta	3	3	4	4	3
Rango de Medición	5	4	1	3	3
Facilidad de mantenimiento	1	4	1	3	4
Facilidad de Instalación	1	4	1	3	5
Bajo Costo	1	4	2	3	4
<b>Puntuación Total</b>	19	26	14	24	26

Tabla 23 Análisis de distintos tipos de sistemas de detección vehicular

Fuente: Autor

Se puede obtener que los tipos de sistema de detección vehicular que sobresalen de acuerdo a las variables especificadas tienen un principio de funcionamiento ultrasónico e infrarrojo. Cabe decir que estas variables están consideradas respecto a las necesidades de la propuesta de control inteligente dada. Asimismo, esta tabla servirá para la elección del tipo de sistema de detección vehicular a usar.

## **VII. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA LUMÍNICO INTELIGENTE**

En la siguiente propuesta se tomará en cuenta los siguientes puntos:

- El tramo designado para el sistema de control lumínico inteligente será desde la intersección de la calle 9 de septiembre con la prolongación Av. Francisco Bolognesi hasta la Av. Cajamarca con la intersección de la Av. Francisco Bolognesi.
- El sistema lumínico estará sujeto a las instalaciones de soporte ya instaladas en el área del proyecto.
- La disposición de puntos de luz se especificarán en cada superficie de cálculo realizada si éste sea el caso.

### **7.1. SISTEMA LUMINICO**

#### **7.1.1. Criterios Luminotécnicos**

Para la elección correcta de las luminarias se tomarán en cuenta algunos criterios de selección, siendo el más importante el flujo luminoso de acuerdo a la altura de punto de luz. A continuación, se presentará el siguiente cuadro donde indica los intervalos de valores de flujo luminoso.

Para la elección de la lámpara correcta se usarán distintos tipos de lámparas, evaluar su comportamiento en el software Dialux y luego de una comparación se elegirá la más eficiente para este tipo de vía. Como requerimiento principal es necesario que el sistema propuesto cumpla con los siguientes parámetros luminotécnicos dados por [21]:

<b>PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS</b>				
<b>Iluminancia media (lux)</b>	<b>Luminancia media (cd/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Uniformidad Global (U<sub>0</sub>)</b>	<b>Uniformidad Longitudinal</b>	<b>Índice de control de deslumbramiento</b>
20 - 40	1,0 - 2,0	≥0,15	≥ 0,65	≥ 15%

*Tabla 24 Parámetros luminotécnicos para un tipo de vía arterial II*

*Fuente: [21]*

Los criterios para elección del tipo de disposición del sistema de alumbrado público están dados por la tabla 26 donde el tipo de disposición estará sujeto a la relación entre el ancho de la calzada y la altura de montaje de las luminarias.

<b>Disposición</b>	<b>Relación entre el ancho de calzada y la altura de montaje</b>
Unilateral	$A/H \leq 1,2$
Tresbolillo	$1,2 \leq A/H \leq 1,5$
Pareada	$A/H > 1,5$
Suspendida	Calles muy estrechas

*Tabla 25 Relación de ancho y altura de acuerdo al tipo de disposición de alumbrado público*

*Fuente: [15]*

Se puede detallar que en esta área de evaluación existe una mediana con un ancho de 5.5 metros, según [15] una mediana que tengan una anchura superior a 3 metros, se estudiará como si se tratara de 2 calzadas independientes.

## 7.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El sistema lumínico propuesto para el área de evaluación 2 consta de los siguientes datos:

### 7.2.1. Disposición de superficies

Superficie de cálculo	Calzada	Ancho de la Vía (m)	Altura (m)	Relación Ancho/Altura
3	1	8	8,8	0,91
	2	9,9	8,8	1,13
4	1	9	8,8	1,02
	2	10	8,8	1,14

Tabla 26 Relación de ancho/ altura respecto a las superficies de cálculo 3 y 4

Fuente: Autor

Se puede detallar que para las 4 calzadas en cuestión es necesario implementar una disposición unilateral ya que la relación entre el ancho y la altura de montaje de las luminarias es menor a 1,2. Por otra parte se verifica la correcta disposición para ambas calzadas de la superficie de cálculo 3 y para la calzada 2 de la superficie de cálculo 4, asimismo para la calzada 1 de la superficie de cálculo 4 es necesario implementar una disposición unilateral para cumplir con los parámetros lumínicos exigidos por la normativa.

### 7.2.2. Distancia entre puntos de luz

La distancia entre puntos de luz estará dada por cada superficie de cálculo, para la superficie de cálculo 3 la distancia entre puntos de luz será de 27 metros y para la superficie de cálculo 4 la distancia entre puntos de luz será de 30 metros.

### 7.2.3. Factor de utilización

El factor de utilización para el sistema lumínico estará dado para cada calzada de cada superficie de cálculo.

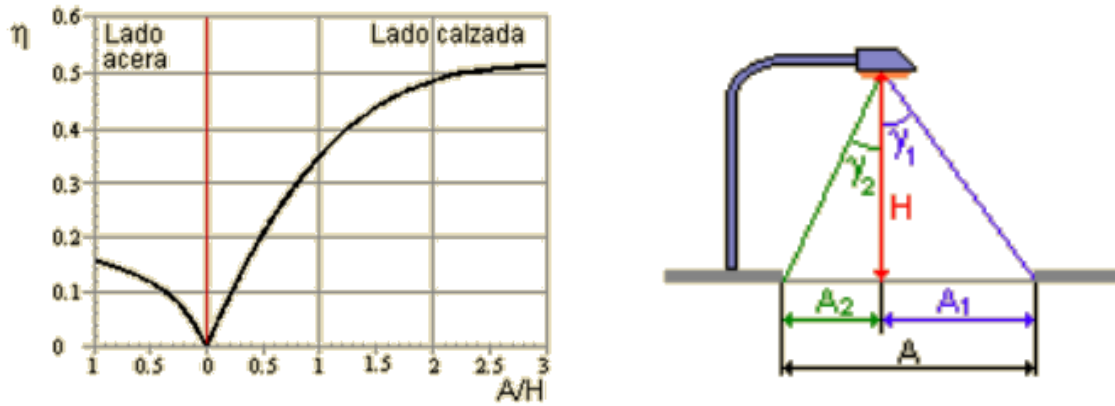


Fig. 29 Factor de Utilización

Fuente: [13]

Superficie de cálculo	3		4	
	1	2	1	2
<b>Calzada</b>	1	2	1	2
<b>A1</b>	2,7	2,7	1,9	1,9
<b>A2</b>	5,3	7,2	7,1	6,9
<b>Altura</b>	8,8	8,8	8,8	8,8
<b>n1</b>	0,31	0,31	0,22	0,22
<b>Factor en Tabla n1</b>	0,15	0,15	0,11	0,11
<b>n2</b>	0,60	0,82	0,81	0,78
<b>Factor en Tabla n2</b>	0,25	0,32	0,31	0,29
<b>nt</b>	0,40	0,47	0,42	0,40

Tabla 27 Factor de utilización

Fuente: Autor

#### 7.2.4. *Factor de mantenimiento*

Se consideró un factor de mantenimiento 0,7 debido a que es una zona con un nivel de suciedad alto.

#### 7.2.5. *Flujo luminoso de la lámpara para cada superficie de cálculo*

Para la correcta elección de la luminaria del sistema lumínico es necesario hallar el flujo luminoso necesario a emitir en base a la iluminancia media, factor de utilización, distancia entre puntos de luz. Para hallar el flujo luminoso necesario usaremos la siguiente fórmula:

$$\Phi = \frac{E_m \cdot d \cdot A}{f_m \cdot n}$$

- $\Phi$  es el flujo luminoso total
- $E_m$  es la iluminancia media
- $d$  es la distancia entre puntos de luz
- $A$  es el ancho de la calzada
- $f_m$  es el factor de mantenimiento
- $n$  es el factor de utilización

Para la superficie 3

- Calzada 1

$$\Phi = \frac{20 \text{ lux} \cdot 27 \text{ metros} \cdot 8 \text{ metros}}{0,7 \cdot 0,4}$$

$$\Phi = 15428,57 \text{ lúmenes}$$

- Calzada 2

$$\phi = \frac{20 \text{ lux} \cdot 27 \text{ metros} \cdot 9,9 \text{ metros}}{0,7 \cdot 0,47}$$

$$\phi = 16249,24 \text{ lúmenes}$$

Para la superficie 4

- Calzada 1

$$\phi = \frac{20 \text{ lux} \cdot 30 \text{ metros} \cdot 9 \text{ metros}}{0,7 \cdot 0,42}$$

$$\phi = 18367,34 \text{ lúmenes}$$

- Calzada 2

$$\phi = \frac{20 \text{ lux} \cdot 30 \text{ metros} \cdot 8,8 \text{ metros}}{0,7 \cdot 0,4}$$

$$\phi = 18857,14 \text{ lúmenes}$$

### 7.2.6. Selección de luminaria

Después de haber calculado el flujo luminoso necesario para cada superficie de cálculo elegimos una luminaria que cumpla con el requisito de tener una lámpara con un flujo luminoso mayor a 18857,14 lúmenes.

Se seleccionó una luminaria Philips LED con las características que se muestran en la imagen

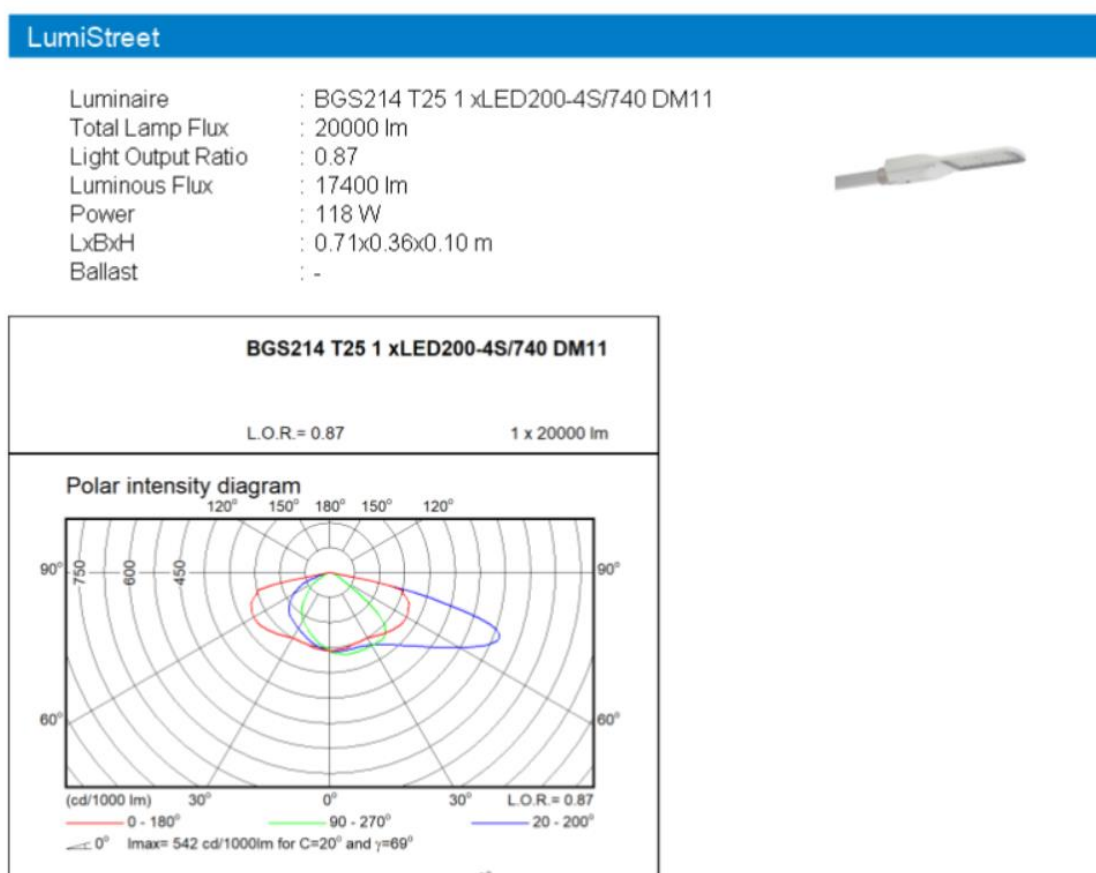


Fig. 30 Especificaciones técnicas de la luminaria seleccionada

Fuente: Philips

## 7.2.7. Simulación en Dialux

### 7.2.7.1. Superficie de cálculo 3

Para esta superficie se reemplazaron las luminarias de vapor de sodio de alta presión por las Philips Led. En la siguiente figura se puede mostrar la disposición 2D de los puntos de luz, así como las curvas isolux que muestra en cada área.

La distancia de puntos de luz seguirá siendo de 27 metros ya que se usarán las instalaciones actuales.

Distancia entre mástiles	27.000 m
(1) Altura de punto de luz	8.800 m
(2) Saliente del punto de luz	2.700 m
(3) Inclinación del brazo	5.0°
(4) Longitud del brazo	2.500 m
Horas de trabajo anuales	4380 h: 100.0 %, 118.0 W
Consumo	8732.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad lumínica máx	≥ 70°: 620 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 80°: 201 cd/klm
	≥ 90°: 1.02 cd/klm
Clase de potencia lumínica	-
Los valores de intensidad lumínica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia lumínica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	

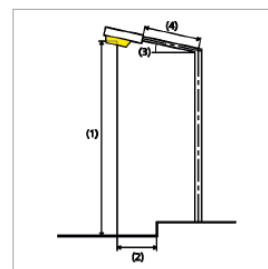
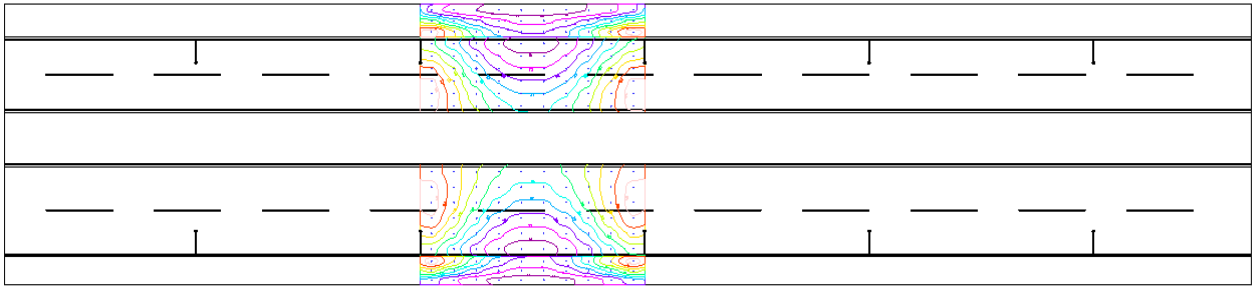


Fig. 31 Parámetros luminotécnicos del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 3

Fuente: Dialux Evo 9.0



*Fig. 32 Disposición 2D del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 3*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*



*Fig. 33 Renderizado del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 3*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*

En las siguientes tablas se puede detallar que los valores proyectados en este sistema lumínico cumplen con los niveles requeridos por la norma eléctrica peruana. Teniendo iluminancias medias entre los rangos de 20 a 40 luxes. Un punto importante en este sistema lumínico es que el confort visual no se verá afectado ya que el índice de control de deslumbramiento se mantiene debajo del 15% solicitado por la normativa. Asimismo, se tiene una uniformidad global en toda el área de acción de este sistema lumínico proyectado.

SUPERFICIE DE CÁLCULO 3	NIVEL REQUERIDO	VALOR PROYECTADO	
		Calzada 1	Calzada 2
Iluminancia media (lux)	20 - 40	29,31	30,57
Luminancia media (cd/m <sup>2</sup> )	1,0 - 2,0	1,45	1,48
Uniformidad Global (U <sub>0</sub> )	≥0,15	0,41	0,41
Uniformidad Longitudinal	≥ 0,65	0,75	0,78
Índice de control de deslumbramiento	≥ 15%	15	15

Tabla 28 Valores luminotécnicos proyectados para la superficie de cálculo

Fuente: Dialux Evo 9.0

Los valores proyectados para los caminos peatonales 1 y 2

SUPERFICIE DE CÁLCULO 3	Nivel Requerido	VALOR PROYECTADO	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Iluminancia media (lux)	4	14,68	13,98

Tabla 29 Valores luminotécnicos proyectados para la superficie de cálculo 3

Fuente: Dialux Evo 9.0

Los valores de iluminación media para los caminos peatonales de esta superficie de cálculo están dentro del rango permitido.

### 7.2.7.2. Superficie de Cálculo 4

Respecto a la superficie de cálculo 4, se realizó una disposición unilateral homogénea en la calzada que tenía ausencia de puntos de luz. Dicha red de puntos de luz consta de los mismos parámetros de instalación de la calzada 1 con el fin de uniformizar las curvas isolux emitidas por las luminarias, por lo cual habrá un total de 5 instalaciones de puntos de luz. A continuación, se presentan los parámetros de instalación.

Distancia entre mástiles	30.000 m
(1) Altura de punto de luz	8.800 m
(2) Saliente del punto de luz	1.900 m
(3) Inclinación del brazo	5.0°
(4) Longitud del brazo	2.500 m
Horas de trabajo anuales	4380 h: 100.0 %, 118.0 W
Consumo	7788.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad lumínica máx	≥ 70°: 620 cd/klm
Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 80°: 201 cd/klm
	≥ 90°: 1.02 cd/klm
Clase de potencia lumínica	-
Los valores de intensidad lumínica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia lumínica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	

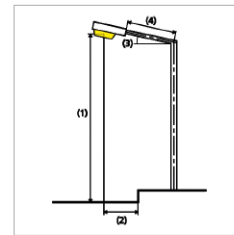


Fig. 34 Parámetros luminotécnicos para el sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

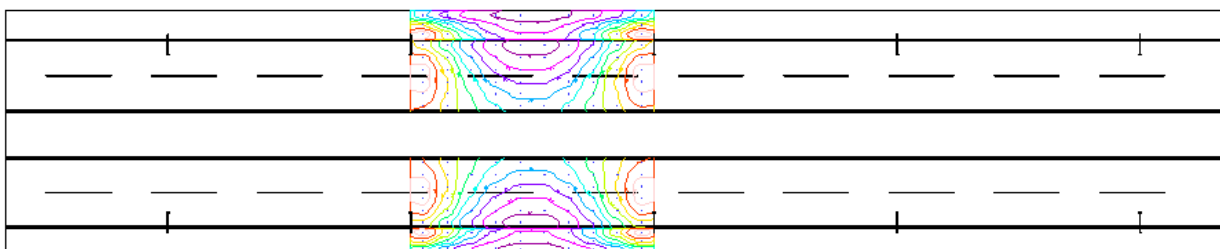


Fig. 35 Disposición 2D del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

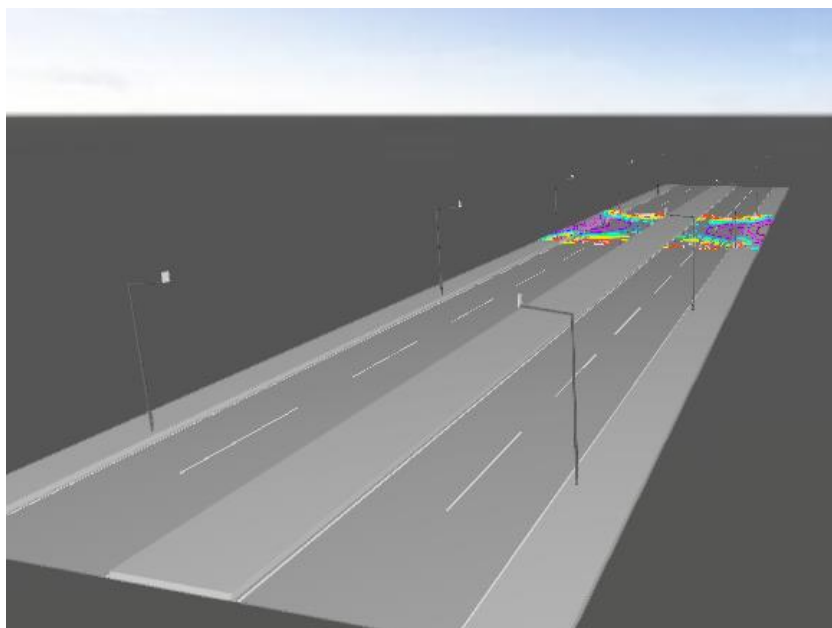


Fig. 36 Renderizado del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

Gracias a la simulación realizada, se puede corroborar la disposición propuesta para estas superficies de cálculo. Los niveles de iluminancia media están dentro de los rangos permitidos teniendo 26,68 y 26,62 lux para la calzada 1 y 2 respectivamente. Respecto a la luminancia media, ambas calzadas presentan 1,3 cd/ m<sup>2</sup>.

Asimismo, se presenta una uniformidad global y longitudinal ideal para ambas calzadas, así como también un índice de deslumbramiento dentro del rango permitido

SUPERFICIE DE CÁLCULO 4	NIVEL REQUERIDO	VALOR PROYECTADO	
		Calzada 1	Calzada 2
Iluminancia media (lux)	20 - 40	26,68	26,62
Luminancia media (cd/m <sup>2</sup> )	1,0 - 2,0	1,3	1,3
Uniformidad Global (U <sub>0</sub> )	≥ 0,15	0,58	0,58
Uniformidad Longitudinal	≥ 0,65	0,72	0,72
Índice de control de deslumbramiento	≥ 15%	15	15

Tabla 30 Valores luminotécnicos proyectados para la superficie de cálculo 4

Fuente: Dialux Evo 9.0

SUPERFICIE DE CÁLCULO 4	Nivel Requerido	VALOR PROYECTADO	
		Camino peatonal 1	Camino peatonal 2
Illuminancia media (lux)	4	13,96	14,61

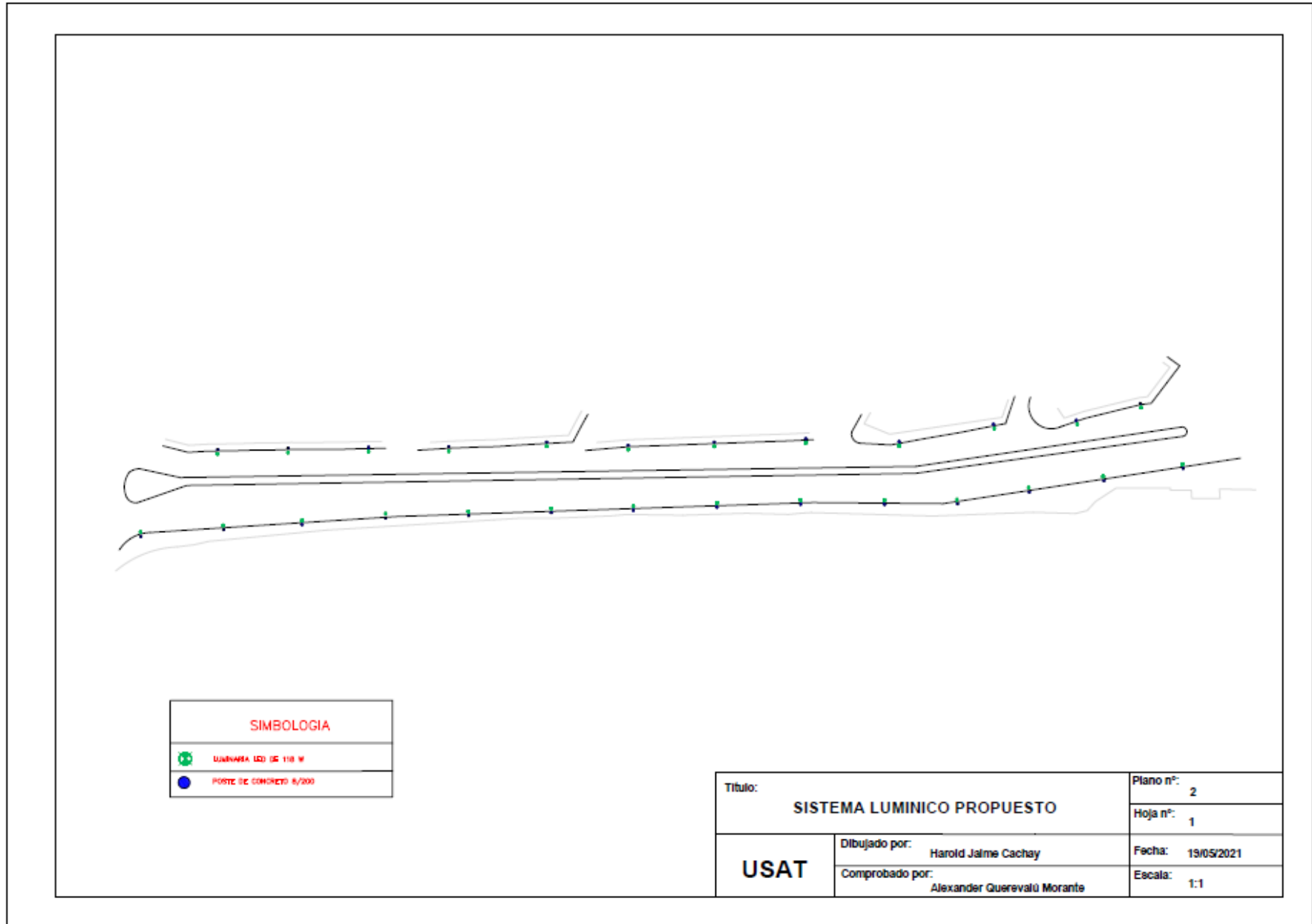
*Tabla 31 Valores luminotécnicos peatonales proyectados para la superficie de cálculo 4*

*Fuente: Dialux Evo 9.0*

Los valores de iluminación media para los caminos peatonales de esta superficie de cálculo están dentro del rango permitido.

#### **7.2.8. Resumen del sistema lumínico propuesto**

Para este sistema lumínico se plantea el cambio de 20 luminarias de 70 W de vapor de sodio de alta presión por luminarias LED de 118 W, asimismo se implementarán 6 puntos de luz en la calzada 2 de la superficie de cálculo 4 debido a la necesidad de éstos para poder brindar parámetros luminotécnicos de acuerdo a la normativa eléctrica peruana.



El total de la potencia eléctrica de este sistema lumínico estará dado por la siguiente tabla

Área de evaluación	Superficie de Cálculo	Lámparas (W)	Número de luminarias	Potencia Total (W)
2	3	118	15	1770
	4	118	11	1298
<b>Total</b>			<b>26</b>	<b>3068</b>

*Tabla 32 Potencia total del sistema lumínico proyectado*

*Fuente: Autor*

Con este sistema lumínico propuesto se satisface todos los parámetros luminotécnicos solicitados por la normativa eléctrica peruana [21].

### **7.3. SISTEMA DE CONTROL**

En este apartado se detalla la propuesta de un sistema de control inteligente que tiene como objetivo regular el nivel de intensidad de luz en función a la presencia de vehículos y /o personas en el tramo de evaluación.

#### **7.3.1. GENERALIDADES**

- El sistema lumínico inteligente estará sujeta a la normativa eléctrica peruana [21] donde de acuerdo a ésta se podrá realizar un control de iluminación reduciéndose hasta niveles de tipo de alumbrado III (iluminancia media 10 lux) a partir de la 1:00 am.
- La propuesta de control de iluminación será desarrollada en el software LabVIEW 2019 demo, asimismo solo se realizará una simulación de la propuesta debido a limitantes por la pandemia del COVID – 19

Según [21] en un tipo de vía II como la prolongación de la Av. Francisco Bolognesi se puede realizar un control de iluminación reduciendo su nivel de iluminancia media hasta 10 lux a partir de la 1:00 am.

El nivel más bajo de iluminancia media es de 26,62 lux en la calzada 2 de la superficie de cálculo 4, es por ello que se realizará una interpolación para saber a qué porcentaje de potencia trabajará la luminaria seleccionada y así pueda cumplir con los 10 lux en iluminancia media requeridos por la norma peruana.

$$\begin{array}{l} 100\% \text{ --- } 26.62 \text{ lux} \\ X\% \text{ --- } 10 \text{ lux} \end{array}$$

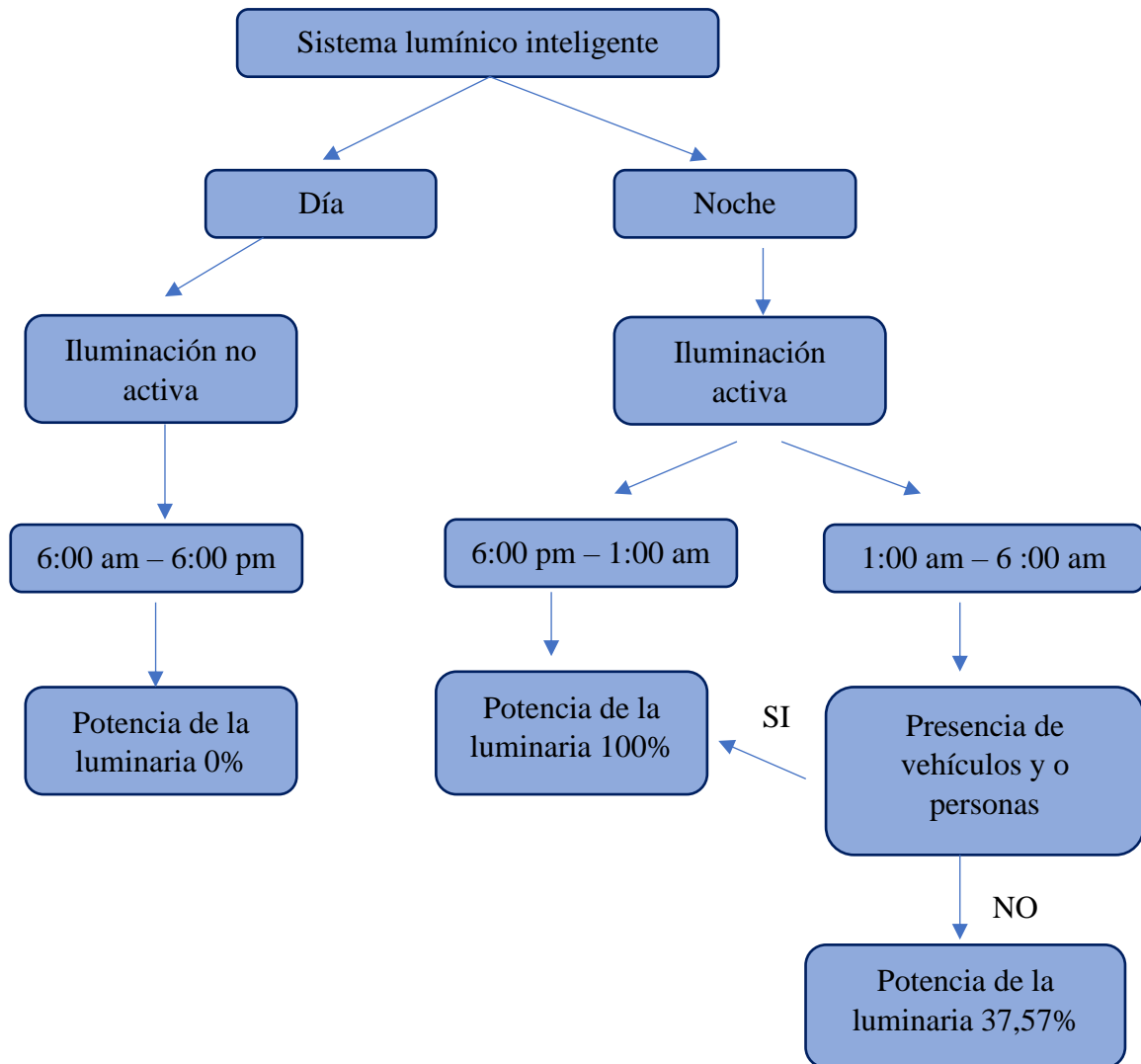
$$X = 37,57\%$$

Teniendo una luminaria de 118 W de potencia, se realizará otra interpolación para conocer cuanta potencia representa el 37,57% para así poder cumplir con los 10 lux requeridos.

$$\begin{array}{l} 100 \% \text{ --- } 118 \text{ W} \\ 37,57 \% \text{ --- } X \end{array}$$

$$X = 44,33 \text{ W}$$

De acuerdo a los cálculos realizados se reducirá la potencia de las luminarias hasta 44,33 W, representando así una reducción de hasta el 62,43 % con el sistema lumínico inteligente.



*Fig. 37 Funcionamiento del sistema lumínico inteligente*

*Fuente: Autor*

Este esquema de programación se verá reflejado en el software LabVIEW demo.

### 7.3.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES

Los componentes para un sistema de control lumínico inteligente serán los siguientes.

Cabe recalcar que las luminarias ya están seleccionadas.

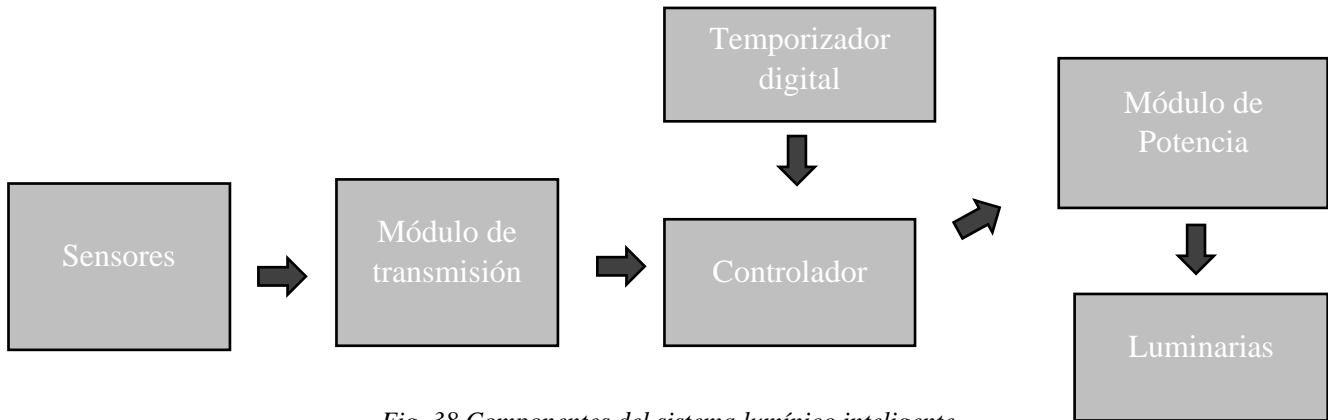


Fig. 38 Componentes del sistema lumínico inteligente

Fuente: Autor

#### 7.3.2.1. Sensores

El sensor seleccionado es un sensor de movimiento inalámbrico Paradox PMD85

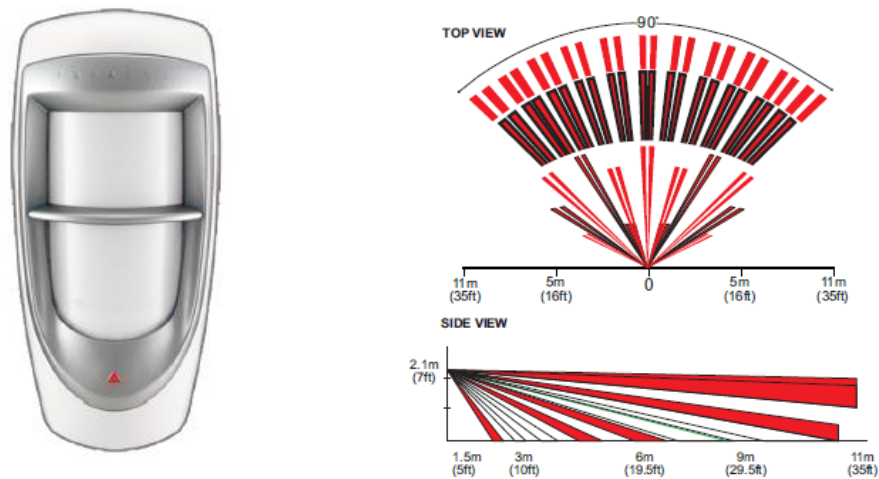


Fig. 39 PARADOX PMD 85

Fuente: [34]

Este sensor cuenta con las siguientes características:

- Carcaza resistente a impactos y amplio rango de temperaturas.
- Compatibilidad: MG5000, RTX3, MG-RCV3
- Tipo de sensor: Infrarrojo de Doble Elemento
- Temp. de Funcionamiento: -35°C a 50°C
- Alimentación y tiempo de vida de batería: 3 baterías alcalinas “AA” / 4 años
- Frecuencia RF: 433\* o 868\*\*MHz
- Alcance del transmisor: 70m (230ft) con MG5000 / MG5500 / RTX3
- Velocidad de detección‡:0.2m a 3.5m/s (0.6ft a 11.5ft/s)

	Angulo	Cobertura	Altura Instalación	Inmunidad Mascotas
PMD85W	90°	11m x 11m (35ft x 35ft)	2.1m (7ft)	40kg (90 libras)

Fig. 40 Especificaciones del PMD85

Fuente: [34]

Con la finalidad de que el rango de transmisión sea el más favorable (70 metros) se conectará a un módulo de conexión inalámbrica compatible.

#### 7.3.2.2. Módulo de expansión inalámbrica

El módulo de expansión inalámbrica elegido es de la marca Magellan RTX3 que en compatibilidad con el sensor inalámbrico Paradox PMD85 pueden llegar hasta distancias de transmisión de 70 metros y conexiones inalámbricas de 32 zonas. [22]



Fig. 41 Módulo de expansión inalámbrica RTX3

Fuente: [22]

Tensión de entrada:	12Vcc
Frecuencia:	433MHz ó 868MHz
Sensibilidad:	-120 dBm
Dimensiones (sin antena):	15cm x 16cm x 3cm (6in x 6.5in x 1.1in)
Salidas PGM:	PGM1 y PGM2 – salidas transistor PGM de 150mA PGM3 - salida de relé forma C de 5A/28Vcc de tensión, N.A./N.C. (PGM4 en opción)
Alcance:	Consultar las <i>Instrucciones</i> del transmisor adecuado
Otros:	Antena dipolo; Algoritmo de Corrección de Error
Homologaciones :	Para información de último minuto respecto a la homologación de productos, visitar nuestro sitio Web en paradox.com.

Fig. 42 Especificaciones Técnicas RTX3

Fuente: [22]

### 7.3.2.3. Controlador

El controlador seleccionado es M-DUINO PLC Arduino Ethernet 21 E/S Analógicas/Digitales PLUS debido a la facilidad para poder cargar el sistema al software LabVIEW ya que cuenta con un CPU integrado del ARDUINO MEGA. Así mismo cuenta con 3 salidas PWM para poder realizar el control de la potencia.



Fig. 43 M-DUINO PLC

Fuente: [33]

Base (common unit)			B Zone		
A Zone					
M-Duino Connector	Arduino Pin	Function	M-Duino Connector	Arduino Pin	Function
SCL	21	I2C/SS	I0.12	59	Analog/ Digital In
SDA	20	I2C/SS	I0.11	58	Analog/ Digital In
RX0	1	RX0/SS	I0.10	57	Analog/ Digital In
TX0	0	TX0/SS	I0.9	56	Analog/ Digital In
RX1	19	RX1/SS	I0.8	55	Analog/ Digital In
TX1	18	TX1/SS	I0.7	54	Analog/ Digital In
TX	16	RX2(serial 2)	(-)I0.6/INT1	-	GND I0.6
RX	17	TX2(serial 2)	I0.6/INT1 <sup>1</sup>	3	Interrupt 1 In
Z-	-	RS485	(-)I0.5/INT0	-	GND I0.5
Y+	-	RS485	I0.5/INT0 <sup>1</sup>	2	Interrupt 0 In
B-	-	RS485	(-)I0.4	-	GND I0.4
A+	-	RS485	I0.4	26	Digital Input
PIN3	3	Arduino Pin	(-)I0.3	-	GND I0.3
50 SO	50	SPI	I0.3	25	Digital Input
51 SI	51	SPI	(-)I0.2	-	GND I0.2
52 SCK	52	SPI	I0.2	24	Digital Input
Reset	Reset	SPI	(-)I0.1	-	GND I0.1
Vin5	Vin5	5V	I0.1	23	Digital Input
PIN2	2	Arduino Pin	(-)I0.0	-	GND I0.0
GND	-	Gnd	I0.0	22	Digital Input
GND	-	Gnd			
24Vdc		Power Supply			

Fig. 44 Zonas de Arduino PLC

Fuente: [24]

#### 7.3.2.4. Temporizador Digital

Como requisito para la selección de un temporizador digital es que tenga 2 salidas digitales ya que la programación en el software estará sujeta a 4 condiciones, es por eso que se ha seleccionado el temporizador digital ENFORCER 365-Day Annual Timer, el cual tiene 2 relés a la salida, cumpliendo con los requisitos necesarios para el control.



Fig. 45 Temporizador Digital

Fuente: [23]

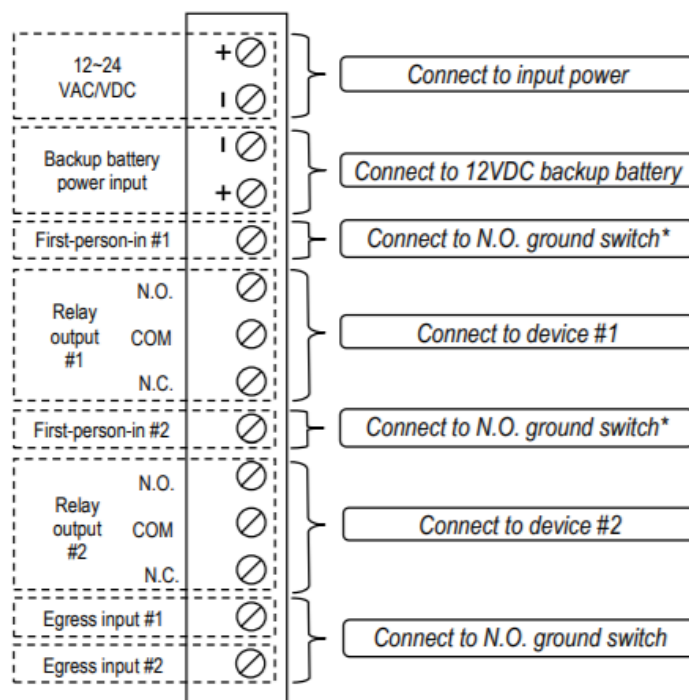


Fig. 46 Diagrama del temporizador digital

Fuente: [23]

### 7.3.2.5. Módulo de potencia

Para la correcta elección del módulo de potencia se tendrán que realizar los siguientes cálculos. Teniendo distribuidos los módulos de expansión inalámbrica en 3 sectores se determinará la corriente necesaria de uso para cada sector. Basándonos en la potencia acumulada de las luminarias para cada sector, se tendrá que calcular cual debe ser la corriente necesaria ofrecida por el módulo de potencia.

- **Sector 1:**

Cuenta con un total de 9 luminarias de 118 W, teniendo una potencia total de 1062 W

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$1062 \text{ W} = 220 \text{ V} \cdot I \cdot 0,8$$

$$I = 6,0341 \text{ A}$$

- **Sector 2:**

Cuenta con un total de 8 luminarias de 118 W, teniendo una potencia total de 944 W

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$944 \text{ W} = 220 \text{ V} \cdot I \cdot 0,8$$

$$I = 5,3636 \text{ A}$$

- **Sector 3:**

Cuenta con un total de 9 luminarias de 118W, teniendo una potencia total de 1062 W

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$1062 \text{ W} = 220 \text{ V} \cdot I \cdot 0,8$$

$$I = 6,0341 \text{ A}$$

Teniendo una corriente calculada de 6,0341 A para los sectores 1 y 3 y de 5,3636 A para el sector número 2, es necesario elegir un módulo de potencia que cumpla con esa cantidad de amperaje. Es por eso que se eligió el módulo de potencia SPC1 – 35 que proporciona una corriente nominal de salida 35 A trabajando a 220 V a 60 Hz. Asimismo, este controlador de potencia cuenta con un voltaje de entrada de 1 a 5 VDC coincidiendo con las especificaciones técnicas requeridas.

Se eligió un módulo de potencia de esta capacidad de amperaje para mitigar las pérdidas por caída de tensión y por si en un futuro se plantea la conexión de más luminarias en el área dada. Así presentamos la ficha técnica de este módulo de potencia.

Model		SPC1-35	SPC1-50
Power supply		220VAC 50/60Hz	
Allowable operating voltage		90 to 110% of rated voltage	
Maximum rated current		35A (Single phase)	50A (Single phase)
Control power		220VAC	
Control range		0 to 100% of load power	
Applied load		Resistance load (Min. load: over 5% of rated current)	
Frozen type		In the air	
Control device		Micom control type	
Control input		1 to 5VDC	
		4 to 20mA DC (250 $\Omega$ )	
		ON/OFF (External contact point)	
		External VR (1K $\Omega$ )	
		Output limit input (Inner VR)	
Control type	By selection S/W	Phase Equality division type of phase according as control input	
		Equality division type of power according as control input	
		Cycle control (ZERO CROSS) - period (0.5, 2.0, 10sec)	
		ON/OFF control (ZERO CROSS)	
Starting type		SOFT START (0 to 50 sec variable)	
Display		Output indication (LED)	
Insulation resistance		100M $\Omega$ (at 500VDC Mega)	
Dielectric strength		2000VAC for 1 minute	
Noise		$\pm$ 2KV the square wave noise (pulse width: 1 $\mu$ s) by the noise simulator	
Vibration	Mechanical	0.75mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz in each of X, Y, Z directions for 1hour	
	Malfunction	0.5mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz in each of X, Y, Z directions for 10min.	
Shock	Mechanical	300m/s <sup>2</sup> (30G) in X, Y, Z directions for 3 times	
	Malfunction	100m/s <sup>2</sup> (10G) in X, Y, Z directions for 3 times	
Ambient temperature		0 to 50°C (at non-freezing status)	
Ambient storage temperature		-25 to 65°C (at non-freezing status)	
Ambient humidity		35 to 85%RH	
Net weight		Approx. 1kg	

Fig. 47 Especificaciones técnicas del módulo de potencia

Fuente: [32]



Fig. 48 Módulo de potencia SPC1 - 35

Fuente: [32]

### 7.3.2.6. Batería

Se usarán 4 baterías alcalina de 12 V para la alimentación de los módulos de transmisión y el temporizador horario digital.



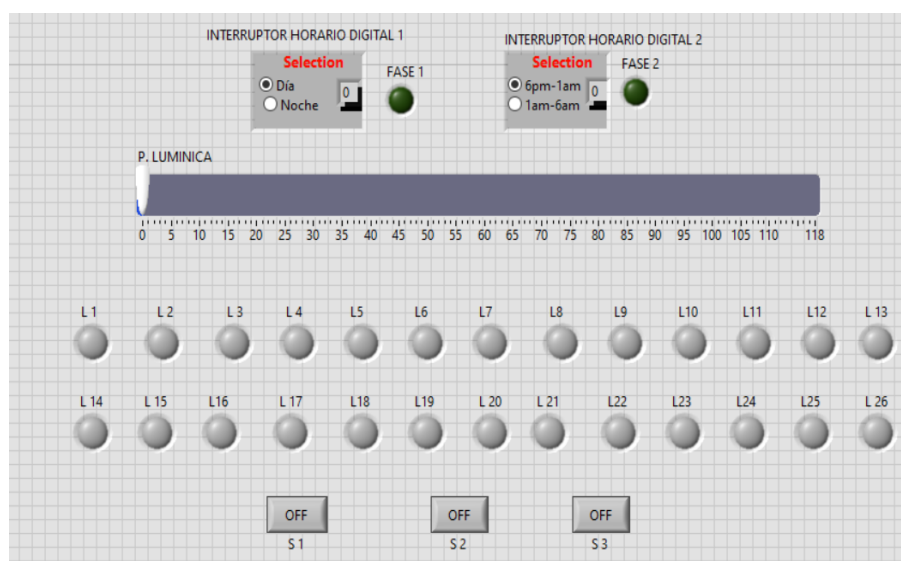
Fig. 49 Batería alcalina 12 V

Fuente: [32]

### 7.3.3. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Se empezarán colocando condicionales de entrada y salida para el sistema, estas condicionales en función a los interruptores horarios digitales, para esto la primera condicional estará enlazada al primer interruptor para determinar el día y noche de horarios de 6:00am – 6:00 pm, teniendo indicadores numéricos tanto para el día y la noche. Para el día un valor numérico de 0 y noche con un valor numérico de 1. Asimismo, enlazado a estas condicionales se añadió un indicador LED para identificar que el sistema está activo. Cuando el indicador “FASE 1” está en gris significará que es de día y cuando cambie a color verde significará que es de noche.

Asimismo, la otra condicional de entrada y salida estará sujeta a las horas de iluminación y horas de control de iluminación. Por eso se han dado dos horarios, de 6:00 pm a 1:00 am y de 1:00 am a 6:00 am. De igual manera se añadió un indicador LED “FASE 2” para identificar en que horario se encuentra el sistema. Cuando el “FASE 2” está en gris se encontrará en un horario de 6:00 pm a 1:00 am y cuando “FASE 2” esté en color verde significará que el horario es de 1:00 am a 6:00 am. Cabe recalcar que estos horarios están enlazados con la normativa eléctrica peruana para poder realizar un control lumínico en un tipo de vía II. [21]



*Fig. 50 Modo diseño del sistema lumínico inteligente*

*Fuente: LabVIEW 2019*

Se puede observar que se tienen variables “S” enumeradas, estas variables “S” representan al conjunto de sensores por cada módulo de transmisión que estarán instalados en la autopista. Asimismo, las “L” enumeradas representan puntos de luz en la autopista. La barra de Potencia luminaria indicará cuando el sistema esté activo. Tanto para “FASE 1” y “FASE 2”, se formarán 2 variables locales en la cuales conectarán la información de Día / noche para “FASE 1” y de 6:00 pm a 1:00am / 1:00 am a 6:00 pm para “FASE 2”.

Dentro de White loop de la variable local “FASE 1”, tendrá dos condicionales, True y False. Cuando este en modo “True” significará que el sistema está en modo noche, cuando este en “False” el sistema estará en modo día. Asimismo, el modo “True” de “FASE 1” está enlazado directamente al siguiente paso del sistema que es entre las condicionales de 6:00 pm a 1:00am / 1:00 am a 6:00 am dados por “FASE 2”.

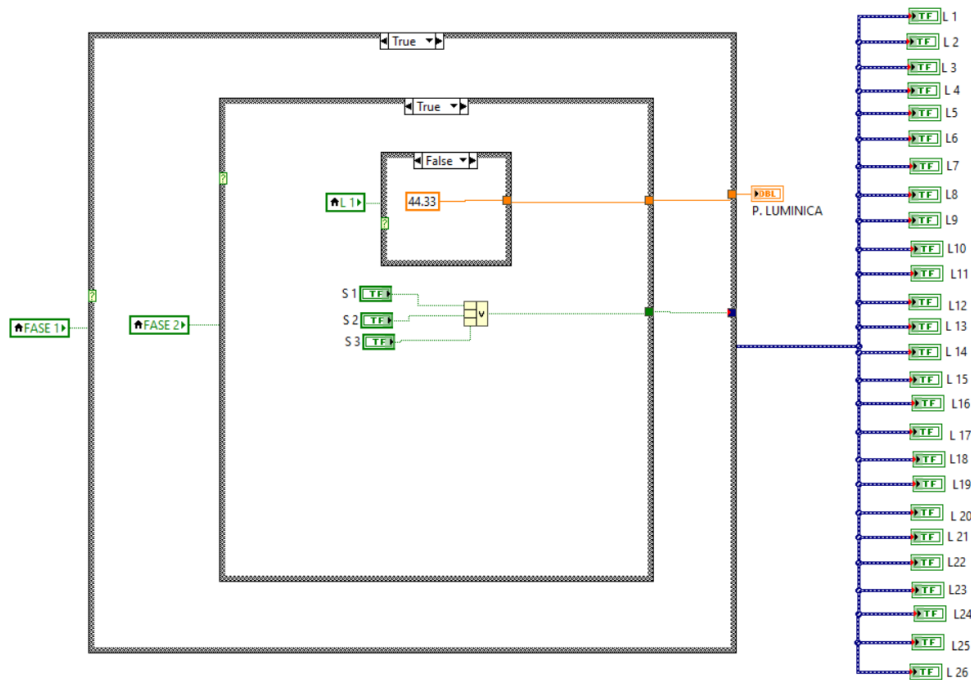


Fig. 51 Condicional "True" para la variable local Fase 1  
Fuente: LabVIEW 2019

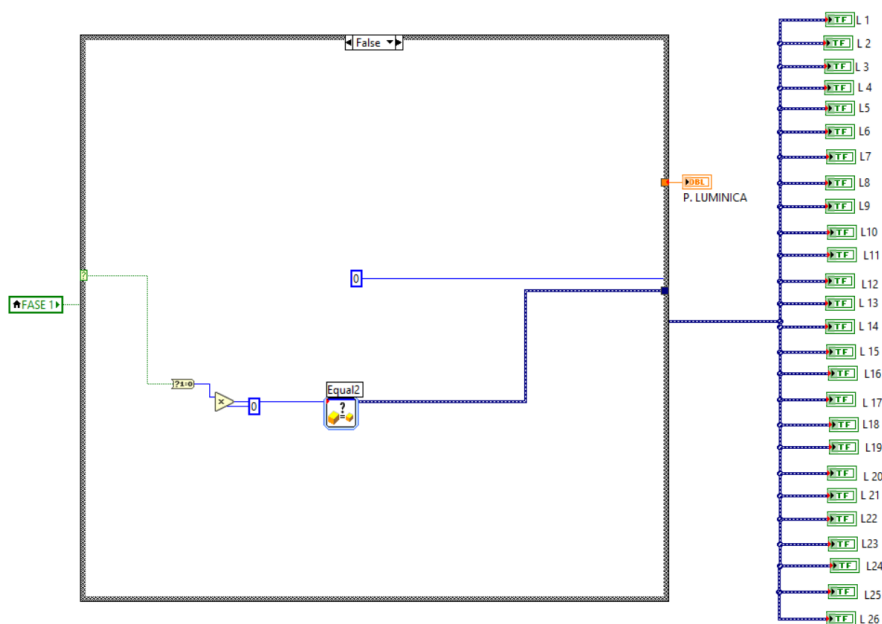


Fig. 52 Condicional "False" para la variable local Fase 1  
Fuente: LabVIEW 2019

De acuerdo con la variable local “FASE 2” se tendrán de igual manera dos condicionales “False” y “True” las cuales representan horarios nocturnos de 6:00 pm a 1:00am / 1:00 am a 6:00 am respectivamente. Se puede observar que dentro del recuadro de White loop enlazados a la variable local 2 se tienen a los sensores propuestos. Para una condición “False” en la “FASE 2” no se activarán los sensores debido a que representa un horario dónde no se puede realizar un control de iluminación de acuerdo a [21] es por eso que la potencia de las luminarias se mantendrá en 118 W. Sin embargo, en una condición “True” representará un horario donde sí se puede realizar un control de iluminación es por ello que para “True” de “FASE 2” habrá una nueva condicional y está estará dada cuando un sensor detecte la presencia de un vehículo y/o persona y cuando un sensor no detecte la presencia de un vehículo y/o persona.

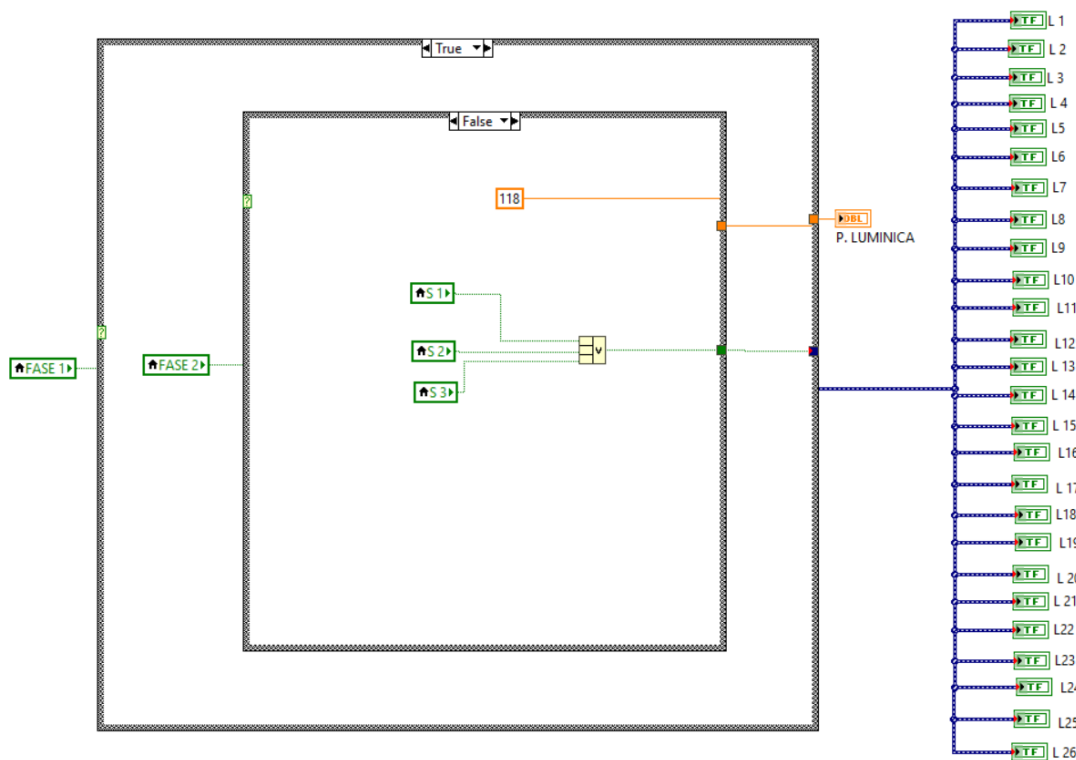


Fig. 53 Condicional "False para la variable local Fase 2

Fuente: LabVIEW 2019

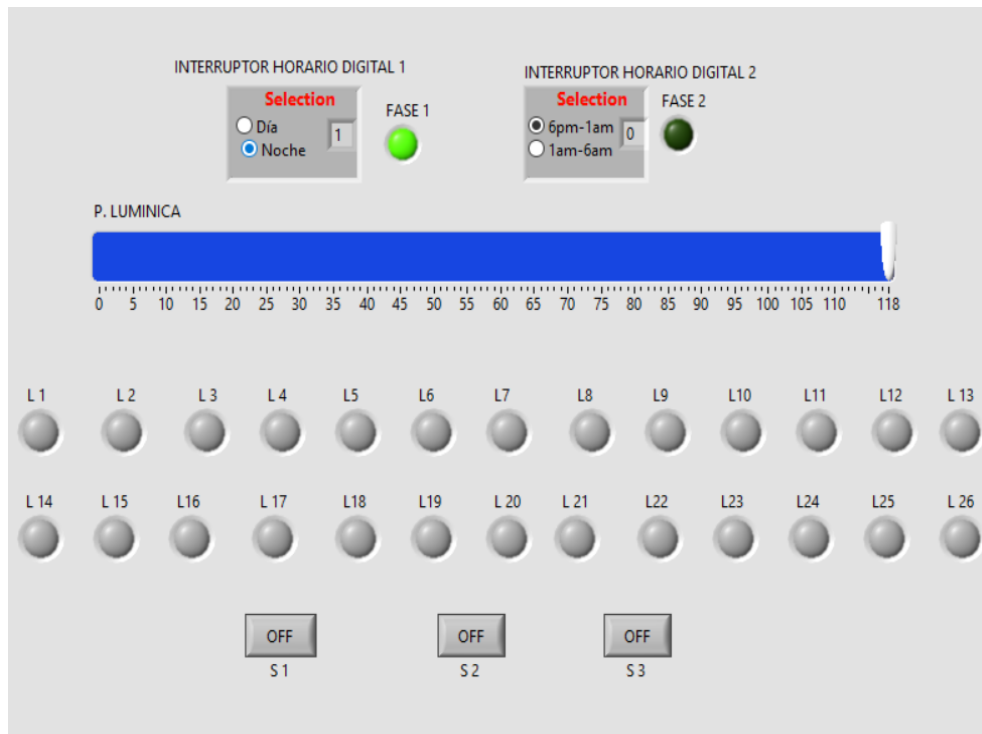


Fig. 54 Modo diseño de la variable local "Fase 2" en modo "True"

Fuente: LabVIEW 2019

La condición "True" para "Fase 2" se enlazará directamente a un punto de luz, el punto de luz seleccionado fue "11". En esta nueva condición se tiene que cuando los "S1, S2,S3" estén modo "On" (representa la presencia de un cuerpo) el sistema estará enlazada a una condicional "True", de igual manera cuando "S1,S2,S3" estén modo "Off"(no hay un cuerpo ) el sistema estará enlazada a una condicional " False" . Cundo el sistema esté en "True" la luminaria estará al 100% de su potencia representando 118 W, cuando el sistema esté en "False" la luminaria estará al 37,57% de su potencia representando 44,33W.

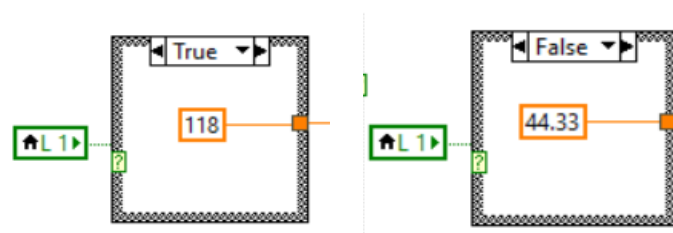
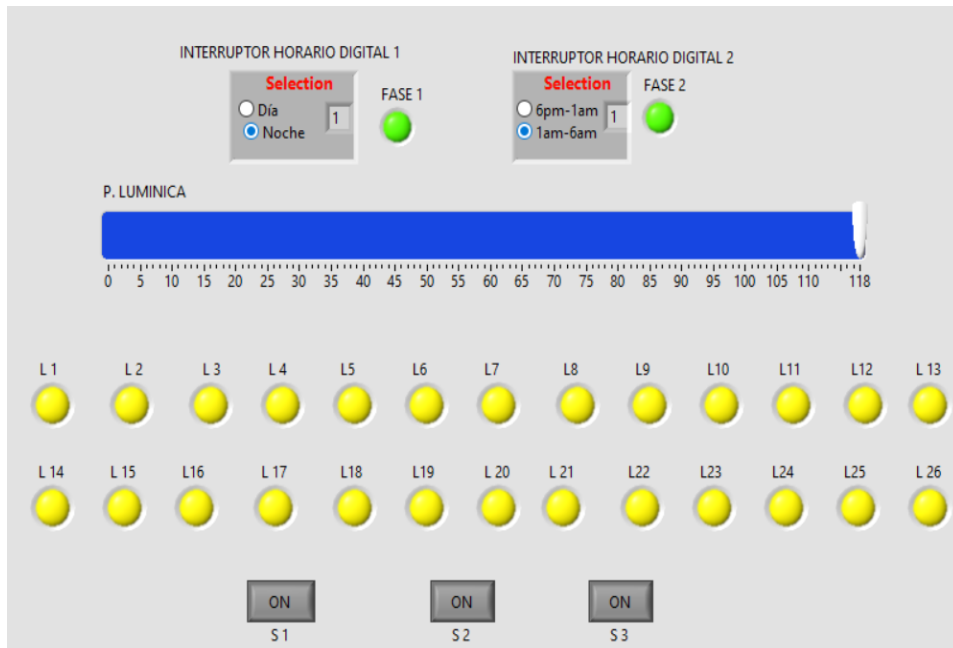


Fig. 55 Código de luminaria emitiendo 118 W de potencia en modo "True" y 44,33 W de potencia en modo "False"

Fuente: LabVIEW 2019

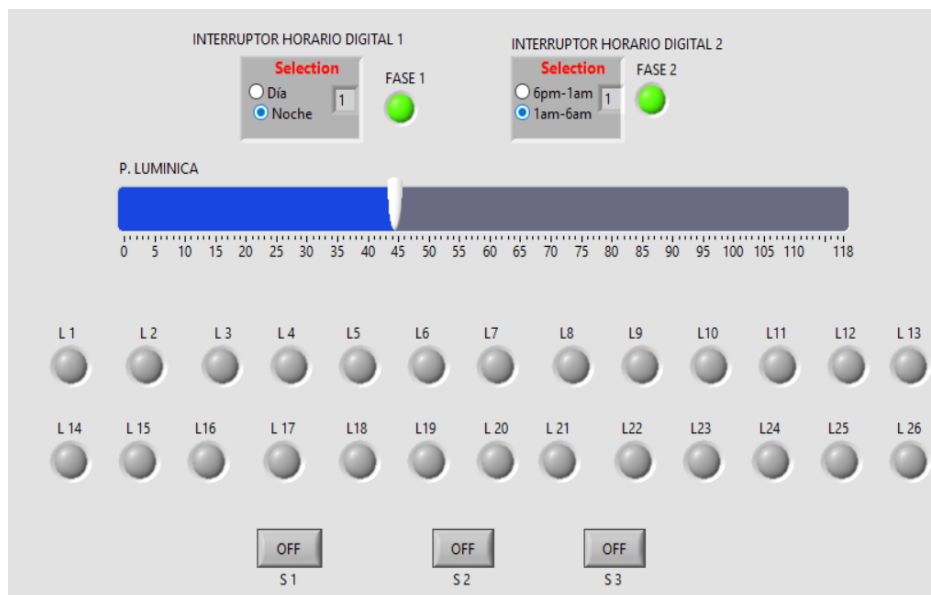
Teniendo estas últimas condicionales se muestra a continuación el funcionamiento del sistema lumínico inteligente con la presencia de un vehículo y/o persona.



*Fig. 56 Sistema lumínico inteligente al 100 % de potencia*

*Fuente: LabVIEW 2019*

Asimismo, se muestra la reducción de potencia al 37,57 % de su capacidad al no haber presencia de vehículos y/o personas.



*Fig. 57 Sistema lumínico inteligente al 37,57% de su potencia*

*Fuente: LabVIEW 2019*

Luego de la correcta programación se realiza la configuración para poder cargar el programa en el PLC Arduino. Esta programación se puede ver reflejada en la figura 54.

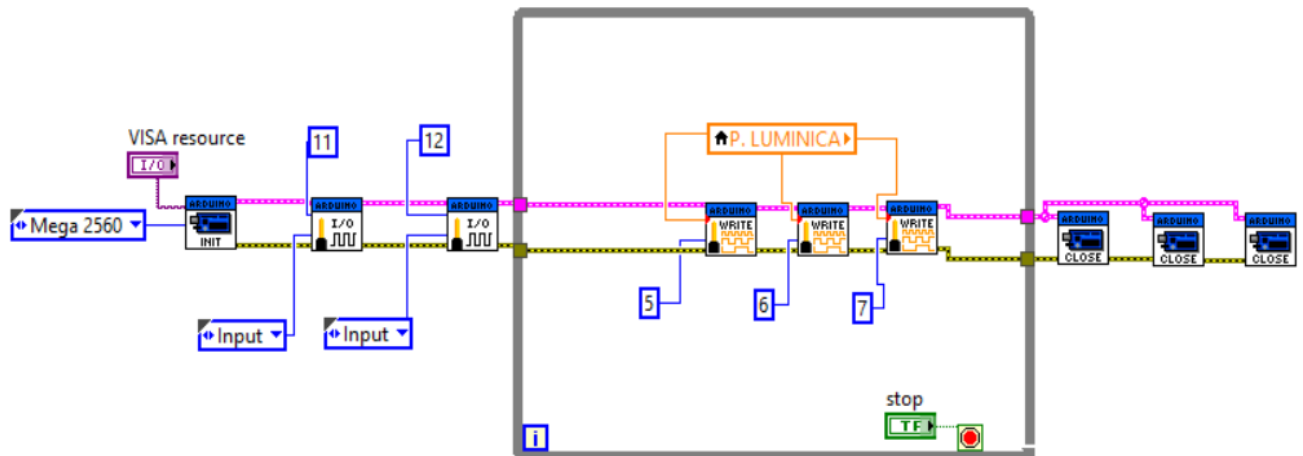
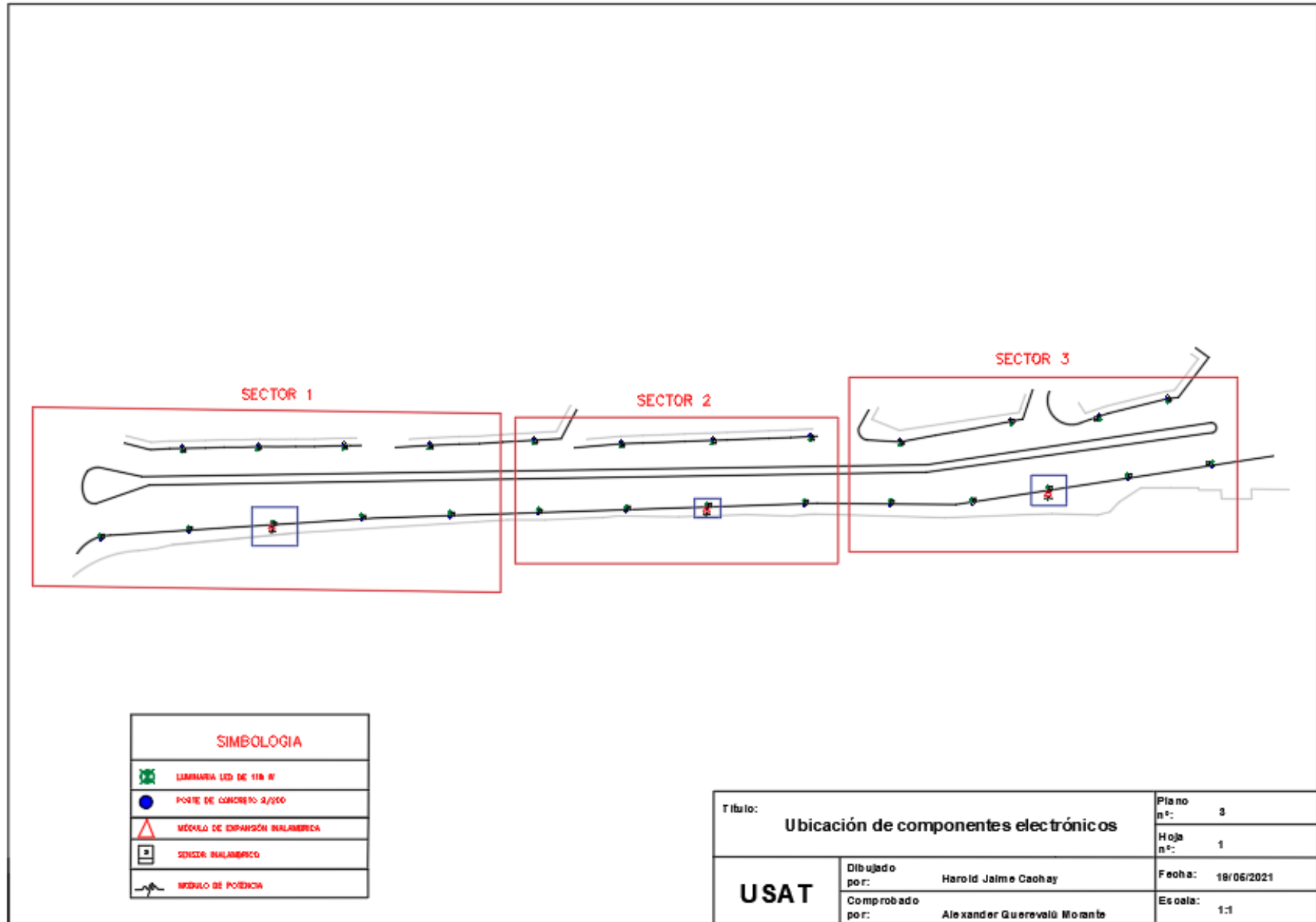
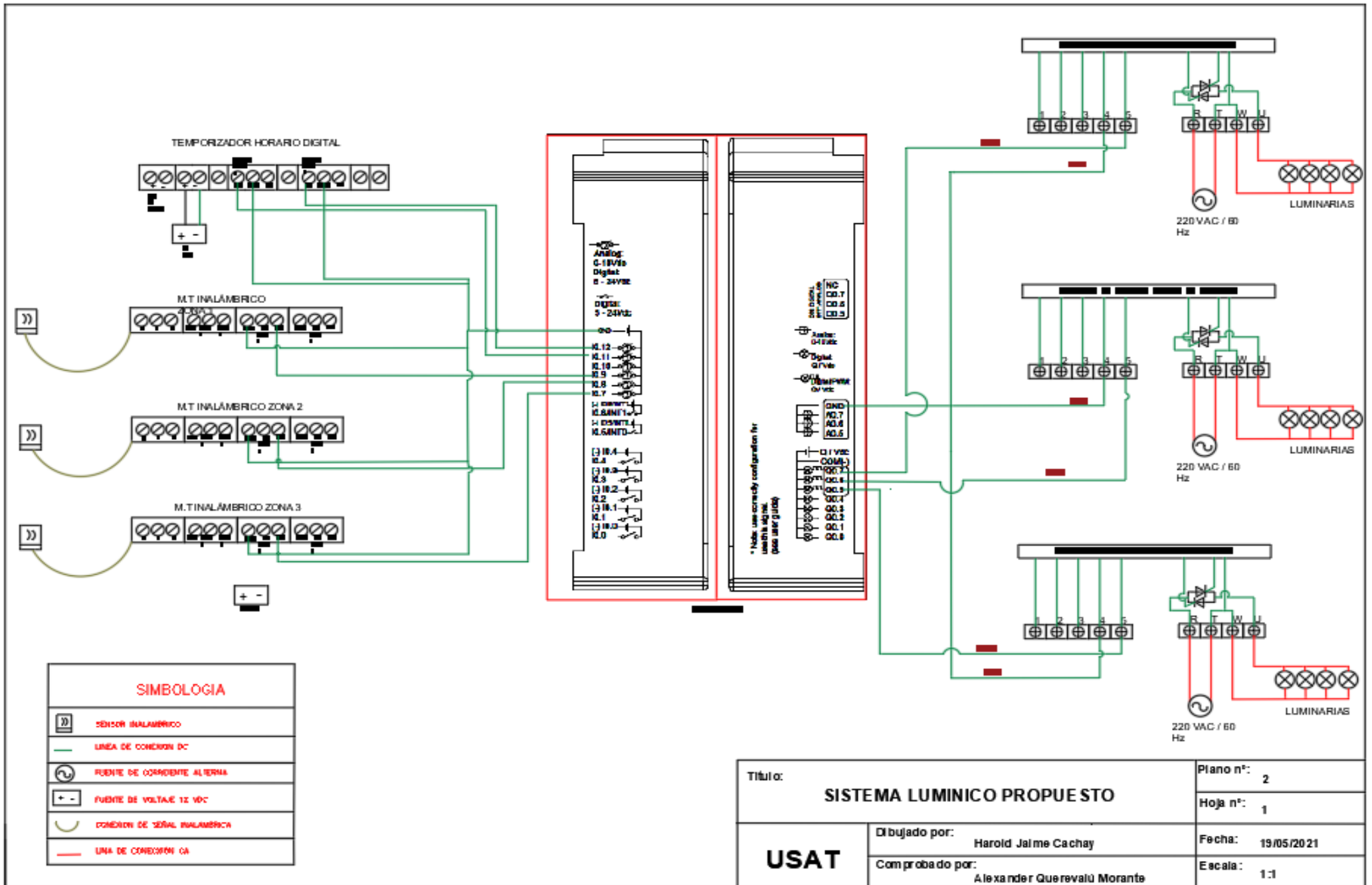


Fig. 58 Programa para cargar en PLC Arduino

Fuente: LabVIEW 2019

Ya que el PLC tiene el mismo CPU que el de un Arduino Mega 2560, se configurará en base a este microcontrolador. Empezando con las condicionales de entrada y salida, es por eso que el interruptor horario digital estará conectado a la entrada del PLC IO.11. Asimismo, el interruptor horario digital 2 estará conectado a la entrada IO.12 equivalente. De igual manera los 3 módulos de potencia estarán conectados a las salidas PWM Q0.5 PWM Q0.6 y PWM Q0.7 para los sectores 1,2 y 3 respectivamente. A partir de la salida PWM se repartirá la potencia a las luminarias dadas.





#### 7.4. AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

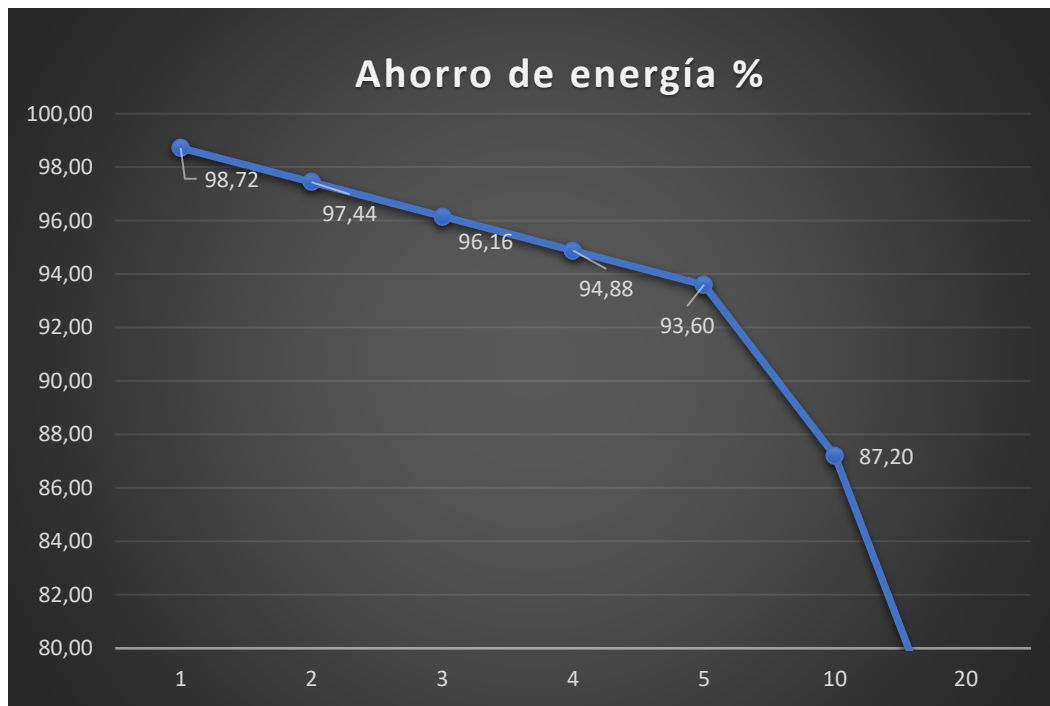
De acuerdo a [21] se puede realizar un control de iluminación para un tipo de vía arterial 2 desde las 01:am hasta las 6:00 am. Es por eso que se propondrán distintos escenarios respecto al flujo de vehículos. Para un tipo de vía arterial II, se tiene rangos de velocidad de entre 30 km/h y 60/h. Es por ello que se considerará una media de 30 m/h para cada escenario. Para una distancia de la vía de 383,5 metros se considerará un tiempo de 46,2 segundos o 0,0128 horas.

Número de vehículos por hora	Tiempo del sistema lumínico activo al 100% (horas)	Potencia acumulada de luminaria al 100 % (kW)	Horas activas	Energía consumida por día (kW.H)	Energía consumida por año (kW.H)	Energía consumida por año sin control lumínico (kW.H)	Ahorro de energía (kW.H)	Ahorro de energía (%)
1	0,01	3,07	5,00	0,20	71,67	5 599,10	5 527,43	98,72
2				0,39	143,34		5 455,76	97,44
3				0,59	215,01		5 384,09	96,16
4				0,79	286,67		5 312,43	94,88
5				0,98	358,34		5 240,76	93,60
10				1,96	716,68		4 882,42	87,20
20				3,93	1 433,37		4 165,73	74,40

Tabla 33 Consumo energético con el sistema lumínico propuesto

Fuente: Autor

En el siguiente gráfico se muestra el ahorro porcentual de un sistema de control lumínico inteligente operando de 1:00 am a 6:00 am. Se pueden ver ahorros de hasta un 99,15% representado un ahorro de energía de hasta 213519,53 W.H en un escenario de un vehículo por hora. Asimismo, teniendo un escenario de 20 vehículos por hora se tiene un ahorro de energía de 83% representando un ahorro de energía de 178740,50 W.H. [25]



*Fig. 59 Ahorro porcentual de energía con el sistema lumínico inteligente*

*Fuente: Autor*

Teniendo en cuenta los la tarifa de alumbrado público dada en esta zona se puede dar a conocer el ahorro en soles por kilowatt hora teniendo un control lumínico inteligente. Asimismo, se hace una comparativa entre el consumo económico sin un control lumínico inteligente y un consumo económico con un control lumínico inteligente.

Número de vehículos por hora	Energía consumida por año (kW.H)	Energía consumida por año sin control lumínico (kW.H)	BT5C - AP Soles/kW. H	Consumo en Soles/kW.H con un control lumínico	Consumo en Ctm/kwh sin un control lumínico	Ahorro en Soles /kwh por año	2022	2023	2024	2025	2031	2036	2041
1	2,76	5599,10	0,56	1,54	3128,7771	3127,24	6254,47	9381,71	12508,95	15636,18	31272,37	46908,55	62544,74
2	5,51			3,08		3125,70	6251,39	9377,09	12502,79	15628,48	31256,96	46885,45	62513,93
3	8,27			4,62		3124,16	6248,31	9372,47	12496,62	15620,78	31241,56	46862,34	62483,12
4	11,03			6,16		3122,62	6245,23	9367,85	12490,46	15613,08	31226,16	46839,24	62452,32
5	13,78			7,70		3121,08	6242,15	9363,23	12484,30	15605,38	31210,75	46816,13	62421,51
10	27,56			15,40		3113,37	6226,75	9340,12	12453,50	15566,87	31133,74	46700,61	62267,48
20	55,13			30,81		3097,97	6195,94	9293,91	12391,88	15489,85	30979,71	46469,56	61959,41

Tabla 34 Ahorro económico

Fuente: Autor

## VIII. CONCLUSIONES

1. El estado actual de la red de alumbrado público en la prolongación de la Av. Francisco Bolognesi es obsoleta e ineficiente, ya que en ninguna área de evaluación se ha cumplido con el requerimiento de valores mínimos dados por la normativa eléctrica peruana, asimismo un consumo de energía eléctrica de 40471,2 kwh sin brindar el confort lumínico necesario resulta perjudicial para los transeúntes de dicha zona.
2. Se pudo obtener que de acuerdo a la evaluación de los diferentes sistemas de detección vehicular el sensor infrarrojo es el mejor en relación a la tabla de ponderación dada. Cabe recalcar que
3. Se determinó el sistema de control lumínico inteligente, para el sistema lumínico se plantea el cambio de 20 luminarias de 70 W de vapor de sodio de alta presión por luminarias LED de 118 W, asimismo se implementarán 6 puntos de luz en la calzada 2 de la superficie de cálculo 4 debido a la necesidad de éstos para poder brindar parámetros luminotécnicos de acuerdo a la normativa eléctrica peruana. Por su parte el sistema de control inteligente estará condicionado a un horario de 01:00 am – 06:00 am, contará con una red de 26 sensores inalámbricos los cuales estarán conectados a 3 módulos de transmisión inalámbrica, éstos a su vez al PLC M DUINO PLC el cual emitirá la orden del control de la intensidad de lúmenes mediante 3 módulos de potencia SPC1 – 35 dividido en 3 sectores y éste operará en función a la presencia de vehículos y/o transeúntes.
4. En relación a los horarios de operación del sistema de control lumínico inteligente se determinan ahorros de energía en escenarios de 20 vehículos por hora del 83% representando un ahorro de 178740,50 W siendo un ahorro anual de 3097,97 soles/kwh. En un periodo de 20 años se determina un ahorro económico energético de 61959,41 soles / kwh en comparación al sistema de alumbrado público.

## **IX. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la adquisición del software LabVIEW para un posible monitoreo remoto en una central de control.
- Para un escenario de un posible desarrollo del proyecto se recomienda una evaluación económica más exhaustiva en indicadores como VAN y TIR para así poder conocer el tiempo de retorno de inversión.
- De acuerdo al punto anterior se recomienda desarrollar un cronograma de mantenimientos e inspección del sistema lumínico inteligente.
- Se recomienda la evaluación de un sistema de protección hacia los componentes electrónicos para una posible instalación.

## X. REFERENCIAS

- [1] S. H. Y. S. A. Z. N. S. M. S. Y. M. Aziera Abdullah, «Smart Street Light Using Intensity Controller,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. VII, pp. 361-365, 2018.
- [2] A. G. Hember, I. Sjöberg y W. Carolina, *Smart Street Lighting*, Uppsala: Uppsala Universitet, 2017.
- [3] T. P. B.V., «Soluciones de iluminación inteligente para ciudades inteligentes,» Países Bajos, 2020.
- [4] A. Sociedad, «ABC Sociedad,» 15 10 2015. [En línea]. Available: <https://www.abc.es/sociedad/20151015/abci-philips-iluminacion-ahorro-energia-201510141958.html>. [Último acceso: 20 04 2020].
- [5] O. S. d. I. I. e. E. y. Minería, «Anuario 2018,» Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Lima, 2018.
- [6] M. d. S. Isidro, «Municipalidad de San Isidro,» 04 01 2020. [En línea]. Available: <http://msi.gob.pe/portal/2020/01/31/san-isidro-instala-luminarias-solares-para-alumbrado-publico/>. [Último acceso: 25 03 2020].
- [7] D. Barrios, «Gestión,» 20 09 2020. [En línea]. Available: <https://gestion.pe/economia/peru-ahorraria-us-600-millones-ano-tecnologia-led-alumbrado-publico-100402-noticia/>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [8] E. d. D. E. Noreste, «Memoria Anual 2018,» Empresa de Distribución Eléctrica Noreste, Chiclayo, 2018.
- [9] D. d. Pueblo, «Deficiente alumbrado público propicia inseguridad ciudadana en zonas de Lambayeque,» Defensoría del Pueblo, Lamabayeque, 2018.
- [10] R. Lohote, T. Bhogle, V. Patel y V. Shelke, «Smart Street Light Lamps,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pp. 1-5, 2018.
- [11] C. Vargas, *Control Inteligente de Iluminación Fotovoltaica para Autopistas en Ecuador*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, 2015.
- [12] J. Labán, ANÁLISIS, DISEÑO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE ILUMINACIÓN PARA ALUMBRADO PÚBLICO CON NUEVAS TECNOLOGÍAS, Lima: Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería, 2018.
- [13] C. Alfaro, PROPUESTA DE PROTOTIPO DE ALUMBRADRO INTELIGENTE Y ESTUDIO LUMÍNICO EN EXTERIORES DE LA ERMITA DE LA

UNIVERSIDAD DE PIURA UTILIZANDO TECNOLOGÍA LIGHT EMITTING DIODE ( LED), Piura: Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, 2018.

- [14] D. Pérez y L. Villareal, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LÁMPARAS LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO CONTROLADO MEDIANTE UN SOFTWARE PRIMEREAD EN EL DISTRITO DE MIRAFLORES PARA LA EMPRESA LUZ DEL SUR, Lima: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2016.
- [15] C. E. d. Iluminación, Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2001.
- [16] M. d. E. y. M. Minas, «RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0292-2017-MEM/DGE,» El Peruano, Lima, 2017.
- [17] Philips, «Luminaria Ecom,» Philips, Lima.
- [18] Philips, «MASTER SON T- PIA Plus,» Philips, Eindhoven, 2015.
- [19] F. S.A., «Especificaciones técnicas de poste de c.a.c. para uso de líneas aéreas de baja tensión y/o alumbrado público en red aérea,» FABINCO S.A., Lima.
- [20] J. Y. M. M. S.R.L., «Accesorios para alumbrado público,» J Y M Materiales S.R.L., Lima.
- [21] M. D. E. Y. MINAS, «NORMA TÉCNICA DGE “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN”,» MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, LIMA, 2002.
- [22] P. S. Systems, «RTX3:Módulo de Expansión Inalámbrica,» Paradox Security Systems, Canadá, 2010.
- [23] O. S. D. L. I. E. E. Y. MINAS, «Anuario Estadístico 2018,» Osinergmin, Lima, 2018.
- [24] N. Soujanya, Automatic Street Light System Using Lora Wireless Communication, Tailandia: Asian Institute of Technology, School of Engineering and Technology, 2018.
- [25] C. Younes, Iluminación y Alumbrado Público, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2015.
- [26] D. Lopez y D. Mideros, «Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación,» *Scientific Engineering Journal*, vol. IX, pp. 226-235, 2018.
- [27] M. Wadi, A. Shobole, M. Tur y M. Baysal, «Smart Hybrid Wind-Solar Street Lighting System Fuzzy Based Approach: Case Study Istanbul-Turkey,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. VI, pp. 71-75, 2018.

- [28] M. d. E. y. Minas, «Código Nacional de Electricidad,» Ministerio de Energía y Minas, Lima, 2006.
- [29] J. M. Huidobro, «Radares para el control de tráfico,» ACTA, Madrid, 2016.
- [30] Autonic, «Power Controller SPC SERIES Manual,» Autonics Corporation, Buenos Aires, Argentina.
- [31] I. Shields, «Industrial Shields,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.industrialshields.com/es\\_ES/shop/product/m-duino-plc-arduino-ethernet-21-e-s-analogicas-digitales-plus-3?attrib=49-287&attrib=11-286&attrib=&attrib=&attrib=&attrib=](https://www.industrialshields.com/es_ES/shop/product/m-duino-plc-arduino-ethernet-21-e-s-analogicas-digitales-plus-3?attrib=49-287&attrib=11-286&attrib=&attrib=&attrib=&attrib=). [Último acceso: 30 Abril 2021].
- [32] I. Shields, «M-DUINO PLC ARDUINO,» Industrial Shields, Barcelona, 2020.
- [33] P. S. Systems, «Magellan PMD 85 Series,» Paradox Security Systems, Canada, 2007.
- [34] ENFORCER, «SA-027HQ,» SECO-LARM U.S.A, Inc, Irvine, 2020.

## XI. ANEXOS

### Lista de figuras

Fig. 1 Sistema de Alumbrado Público _____	16
Fig. 2 Tipos de disposiciones de alumbrado público _____	17
Fig. 3 Componentes de una luminaria _____	18
Fig. 4 Eficiencia lumínica vs vida útil _____	19
Fig. 5 Sistema de alumbrado público en la prolongación Av. Francisco Bolognesi ____	24
Fig. 6 Luminaria Philips (unidades en mm) _____	25
Fig. 7 Lámpara de 70 W y diagrama lumínico _____	25
Fig. 8 Detalle constructivo de poste de 8/200 _____	26
Fig. 9 Detalle constructivo de pastoral _____	27
Fig. 10 Abrazadera simple _____	28
Fig. 11 Datos luminotécnicos de la luminaria de 70 W _____	28
Fig. 12 Área de evaluación 1 _____	29
Fig. 13 Dimensiones de la superficie de cálculo 1 _____	30
Fig. 14 Renderizado de la superficie de cálculo 1 _____	31
Fig. 15 Dimensiones de la superficie de cálculo 2 _____	32
Fig. 16 Renderizado de la superficie de cálculo 2 _____	33
Fig. 17 Área de evaluación 2 _____	34
Fig. 18 Dimensiones de la superficie de cálculo 3 _____	35
Fig. 19 Renderizado de la superficie de cálculo 3 _____	36
Fig. 20 Dimensiones de la superficie de cálculo 4 _____	37
Fig. 21 Renderizado de la superficie de cálculo 4 _____	38
Fig. 22 Área de evaluación 3 _____	39
Fig. 23 Dimensiones de la superficie de cálculo 5 _____	40
Fig. 24 Renderizado de la superficie de cálculo 5 _____	41
Fig. 25 Dimensiones de la superficie de cálculo 6 _____	42
Fig. 26 Renderizado de la superficie de cálculo 6 _____	43
Fig. 27 Dimensiones de la superficie de cálculo 7 _____	44
Fig. 28 Renderizado de la superficie de cálculo 7 _____	45
Fig. 29 Factor de Utilización _____	54
Fig. 30 Especificaciones técnicas de la luminaria seleccionada _____	57
Fig. 31 Parámetros luminotécnicos del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 3 _____	58
Fig. 32 Disposición 2D del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 3 _____	59
Fig. 33 Renderizado del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 3 ____	59
Fig. 34 Parámetros luminotécnicos para el sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 4 _____	61
Fig. 35 Disposición 2D del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 4 _____	61
Fig. 36 Renderizado del sistema lumínico propuesto para la superficie de cálculo 4 ____	62
Fig. 37 Funcionamiento del sistema lumínico inteligente _____	67
Fig. 38 Componentes del sistema lumínico inteligente _____	68
Fig. 39 PARADOX PMD 85 _____	68

Fig. 40 Especificaciones del PMD85 _____	69
Fig. 41 Módulo de expansión inalámbrica RTX3 _____	70
Fig. 42 Especificaciones Técnicas RTX3 _____	70
Fig. 43 M-DUINO PLC _____	71
Fig. 44 Zonas de Arduino PLC _____	71
Fig. 45 Temporizador Digital _____	72
Fig. 46 Diagrama del temporizador digital _____	72
Fig. 47 Especificaciones técnicas del módulo de potencia _____	74
Fig. 48 Módulo de potencia SPC1 - 35 _____	74
Fig. 49 Batería alcalina 12 V _____	75
Fig. 50 Modo diseño del sistema lumínico inteligente _____	76
Fig. 51 Condicional "True" para la variable local Fase 1 _____	77
Fig. 52 Condicional "False" para la variable local Fase 1 _____	77
Fig. 53 Condicional "False para la variable local Fase 2 _____	78
Fig. 54 Modo diseño de la variable local "Fase 2" en modo "True" _____	79
Fig. 55 Código de luminaria emitiendo 118 W de potencia en modo "True" y 44,33 W de potencia en modo "False" _____	79
Fig. 56 Sistema lumínico inteligente al 100 % de potencia _____	80
Fig. 57 Sistema lumínico inteligente al 37,57% de su potencia _____	80
Fig. 58 Programa para cargar en PLC Arduino _____	81
Fig. 59 Ahorro porcentual de energía con el sistema lumínico inteligente _____	85

### Lista de tablas

Tabla 1 Técnica de recolección de datos e instrumentos _____	21
Tabla 2 Matriz de consistencia _____	22
Tabla 3 Parámetros luminotécnicos para un tipo de vía arterial II _____	24
Tabla 4 Parámetros de distintos tipos de postes _____	26
Tabla 5 Especificaciones de distintos tipos de pastores _____	27
Tabla 6 Valores luminotécnicos de la superficie de cálculo 1 _____	31
Tabla 7 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 1 _____	32
Tabla 8 Valores luminotécnicos de la superficie de cálculo 2 _____	33
Tabla 9 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 2 _____	34
Tabla 10 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 3 _____	36
Tabla 11 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 3 _____	37
Tabla 12 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 4 _____	38
Tabla 13 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 4 _____	39
Tabla 14 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 5 _____	41
Tabla 15 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 5 _____	42
Tabla 16 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 6 _____	43
Tabla 17 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 6 _____	44
Tabla 18 Valores luminotécnicos para la superficie de cálculo 7 _____	45
Tabla 19 Valores luminotécnicos peatonales para la superficie de cálculo 7 _____	46
Tabla 20 Consumo de energía eléctrica actualmente _____	47
Tabla 21 Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de detección _____	49
Tabla 22 Equivalencias conceptuales - técnicas _____	50
Tabla 23 Análisis de distintos tipos de sistemas de detección vehicular _____	50
Tabla 24 Parámetros luminotécnicos para un tipo de vía arterial II _____	52
Tabla 25 Relación de ancho y altura de acuerdo al tipo de disposición de alumbrado público _____	52
Tabla 26 Relación de ancho/ altura respecto a las superficies de cálculo 3 y 4 _____	53
Tabla 27 Factor de utilización _____	54
Tabla 28 Valores luminotécnicos proyectados para la superficie de cálculo 3 _____	60
Tabla 29 Valores luminotécnicos proyectados para la superficie de cálculo 3 _____	60
Tabla 30 Valores luminotécnicos proyectados para la superficie de cálculo 4 _____	62
Tabla 31 Valores luminotécnicos peatonales proyectados para la superficie de cálculo 4 _____	63
Tabla 32 Potencia total del sistema lumínico proyectado _____	65
Tabla 33 Consumo energético con el sistema lumínico propuesto _____	84
Tabla 34 Ahorro económico _____	86