

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA LA OPTIMIZACIÓN  
DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA AV. MÁRTIRES 4 DE  
NOVIEMBRE APLICANDO LUMINARIAS CON TECNOLOGÍA  
LED”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:  
JHON HURTADO RODRIGO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y**  
**SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE  
ILUMINACIÓN DE LA AV. MÁRTIRES 4 DE NOVIEMBRE APLICANDO  
LUMINARIAS CON TECNOLOGÍA LED”**

TESIS PRESENTADA POR:  
**JHON HURTADO RODRIGO**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22-12-2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE

:

Mg. OLGER ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA

PRIMER MIEMBRO

:

M.Sc. ÁNGEL MARIO HURTADO CHÁVEZ

SEGUNDO MIEMBRO

:

Mg. LEONIDAS VILCA CALLATA

DIRECTOR DE TESIS

:

M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

PUNO – PERÚ

ÁREA: ELECTRICIDAD  
TEMA: INSTALACIONES ELÉCTRICAS

***DEDICATORIA***

*Agradecemos primeramente a DIOS por todo lo que nos brinda en nuestra vida.*

*Con profundo afecto y eterna lealtad a mis señores padre: Victorio y Juana, quienes con amor y esplendidez fortalecieron mi formación profesional.*

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano, principalmente a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas y Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, a su plana de docentes y administrativos, quienes con sus experiencias y juicios vigorizaron notablemente mi formación profesional.

A Ing. Jaime Edy Otazu Luque, quien me brindó orientación para la ejecución del presente trabajo de investigación.

A la Empresa "CORMISAC E.I.R.L.", por haber permitido realizar los estudios de mi tesis.

A todos mis compañeros de la escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por su amistad y apoyo durante mi formación profesional.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.3.1. Problema general .....	18
1.3.2. Problemas específicos.....	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
1.3.1.- Objetivos generales .....	19
1.3.2.- Objetivos específicos .....	19
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	20
2.2. SUSTENTO TEÓRICO.....	22
2.2.1. Historia de la luminaria LED .....	22
2.2.2. Definición de alumbrado público.....	23
2.2.3. Objetivos del alumbrado público.....	23
2.2.4. Luminaria vapor de sodio de alta presión .....	24
2.2.5. Alumbrado público con luminarias de LED .....	25
2.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO .....	48

2.4.	CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA PROMEDIO DE UNA VÍA.....	52
2.4.1.	Cálculo de la iluminancia punto a punto. ....	52
2.4.2.	Cálculo de iluminancia por el método de los lúmenes o coeficiente de utilización.....	52
2.4.3.	Método de los 9 puntos .....	52
2.4.4.	Mediante el uso de software Visual Lighting .....	53
2.5.	GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	53
2.6.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	55
2.6.1.	Hipótesis general.....	55
2.6.2.	Hipótesis específicas.....	55
	CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	56
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.3.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	57
3.3.1.	UBICACIÓN .....	57
3.3.2.	DESCRIPCION DE LA POBLACION.....	58
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN .....	58
3.5.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS... ..	60
3.6.	TRATAMIENTO DE DATOS.....	60
3.6.1.	Toma de datos de intensidad de iluminación de vapor de sodio de alta presión	60

3.6.2.	Calculo de iluminación con luminarias con tecnología led .....	66
3.6.3.	Clasificación de la avenida Mártires 4 de noviembre .....	69
3.6.4.	Obtención de la carga instalada .....	70
3.6.5.	Determinación del consumo total de energía.....	70
3.6.6.	Determinación del costo mensual.....	71
3.6.7.	Reproducción cromática .....	71
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....		72
4.1.	ANÁLISIS TÉCNICO DE INTESIDAD DE ILUMINACION.....	72
4.2.	ANÁLISIS TÉCNICO DE CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA CON LUMINARIA VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN DE 250 W.....	73
4.2.1.	Carga instalada .....	73
4.2.2.	Consumo mensual de energía.....	73
4.2.3.	Determinación del costo mensual.....	73
4.3.	ANÁLISIS TÉCNICO DE CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA CON LUMINARIA DE TECNOLOGÍA LED DE 112 W .....	73
4.3.2.	Consumo mensual de energía.....	74
4.3.3.	Determinación del costo mensual.....	74
4.4.	VERIFICACIÓN DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA.....	76
4.4.1.	Reproducción cromática con luminaria de vapor de sodio de alta presión de 250W.....	77
4.4.2.	Reproducción cromática con luminaria con tecnología LED de 112W .....	77

CONCLUSIONES .....	78
SUGERENCIAS .....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	80
ANEXOS.....	80

**INDICE DE CUADROS**

Cuadro N° 1: Ficha técnica luminario de tecnología LED modelo LU4. ....	40
Cuadro N° 2: Tipos de alumbrado según la clasificación vial. ....	49
Cuadro N° 3: Identificación de calzada. ....	49
Cuadro N° 4: Niveles de luminancia, iluminancia. ....	49
Cuadro N° 5: Características GEOGRÁFICAS.....	58
Cuadro N° 6: Nivel de iluminación del punto "A". ....	61
Cuadro N° 7: Nivel de iluminación del punto "B". ....	62
Cuadro N° 8: Nivel de iluminación del punto "C". ....	62
Cuadro N° 9: Nivel de iluminación del punto "D". ....	63
Cuadro N° 10: Nivel de iluminación del punto "E". ....	63
Cuadro N° 11: Nivel de iluminación del punto "F". ....	64
Cuadro N° 12: Nivel de iluminación del punto "G". ....	64
Cuadro N° 13: Nivel de iluminación del punto "H". ....	65
Cuadro N° 14: Nivel de iluminación del punto "I". ....	65
Cuadro N° 15: Tabla de iluminación de arreglo de los 9 puntos de luminaria VSAP 250W.....	66
Cuadro N° 16: Intensidad de iluminación de luminaria con tecnología LED 112W. ....	69
Cuadro N° 17: Resumen de cálculos. ....	75
Cuadro N° 18: Costo de inversión de luminarias. ....	75
Cuadro N° 19: Tiempo de recupero de inversión. ....	75
Cuadro N° 20: Comparación de análisis técnico de luminarias. ....	76

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

GRAFICO N° 1: CANTIDAD DE INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN DE LUMINARIA VSAP 250W. .....	66
GRAFICO N° 2: ILUMINACIÓN DE LUMINARIA CON TECNOLOGÍA LED DMX MODELO LU4 DE 112W. ....	69
GRAFICO N° 3: NIVEL MÁXIMO Y MÍNIMO DE ILUMINACIÓN SEGÚN NORMA TÉCNICA DGE. .....	70
GRAFICO N° 4: COMPARACIÓN ILUMINACIÓN DE LUMINARIA VSAP Y LED. ....	72
GRAFICO N° 5: COMPARACIÓN DE COSTOS DE POR PAGO DE ENERGÍA DE LUMINARIA VSAP Y LED.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: BALANCE ENERGÉTICO DE LA LUMINARIA VSAP .....	24
FIGURA N° 2: LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	25
FIGURA N° 3: PARTES DEL LED.....	27
FIGURA N° 4: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL DIODO EMISOR DE LUZ LED. ....	29
FIGURA N° 5: DIAGRAMA DE ÍNDICE DE CROMATICIDAD.....	31
FIGURA N° 6: CHIP DE LUMINARIA LED.....	33
FIGURA N° 7: DRIVER DE LUMINARIA LED.....	34
FIGURA N° 8: PLACA DE BASE DE LUMINARIA LED. ....	35
FIGURA N° 9: SISTEMA DE GESTIÓN TÉRMICA DE LUMINARIA LED.....	36
FIGURA N° 10: LENTE ÓPTICO DE LUMINARIA LED. ....	36
FIGURA N° 11: LUMINARIA LED MODELO LU4.....	37
FIGURA N° 12: ILUMINACIÓN DISTRIBUIDA A DIFERENTES ALTURAS. ....	41
FIGURA N° 13: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LUMINOSIDAD LED.....	42
FIGURA N° 14: EFECTOS REALES DE ILUMINACIÓN. ....	42
FIGURA N° 15: MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LUMINOSIDAD DE VSAP. ....	43
FIGURA N° 16: CURVA FOTOMÉTRICA DE LA LUMINARIA LU4. ....	43
FIGURA N° 17: DIMENSIONES DE LA LUMINARIA LED MODELO LU4. ....	45
FIGURA N° 18: ESTRUCTURA DE LA CAVIDAD DEL DRIVER DE LUMINARIA LED MODELO LU4.....	45
FIGURA N° 19: DIAGRAMA DE CONEXIÓN. ....	46
FIGURA N° 20: PARTES DE LA LUMINARIA LED.....	47
FIGURA N° 21: ARREGLO UNILATERAL.....	51
FIGURA N° 22: ARREGLO CENTRAL DOBLE.....	51
FIGURA N° 23: ARREGLO BILATERAL ALTERNA.....	51

FIGURA N° 24: ARREGLO BILATERAL OPUESTA. ....	52
FIGURA N° 25: UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO. ....	57
FIGURA N° 26: LUXÓMETRO. ....	59
FIGURA N° 27: PINZA AMPERIMÉTRICA. ....	60
FIGURA N° 28: DISTRIBUCIÓN DE NUEVE PUNTOS. ....	61
FIGURA N° 29: DATO TOMADO DEL PUNTO "A". ....	61
FIGURA N° 30: DATO TOMADO DEL PUNTO "B". ....	62
FIGURA N° 31: DATO TOMADO EN EL PUNTO "C" ....	62
FIGURA N° 32: DATO TOMADO EN EL PUNTO "D" ....	63
FIGURA N° 33: DATO TOMADO EN EL PUNTO "E" ....	63
FIGURA N° 34: DATO TOMADO EN EL PUNTO "F" ....	64
FIGURA N° 35: DATO TOMADO EN EL PUNTO "G" ....	64
FIGURA N° 36: DATO TOMADO EN EL PUNTO "H" ....	65
FIGURA N° 37: DATO TOMADO EN EL PUNTO "I" ....	65
FIGURA N° 38: INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN (SIMULACIÓN SOFTWARE VISUAL LIGHTING). ....	67
FIGURA N° 39: DISTRIBUCIÓN DE POSTES TIPO BILATERAL DOBLE. ....	67
FIGURA N° 40: INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN CON LUMINARIA TECNOLOGÍA LED DMX MODELO LU4 DE 112W. ....	68

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo N° 1: Cotización luminaria vapor de sodio alta presión de 250W .....83

Anexo N° 2: Cotización luminaria con tecnología LED de 101W.....84

Anexo N° 3: Plano de distribución de luminarias en la Av. mártires 4 de  
noviembre de la ciudad de Juliaca: .....85

## RESUMEN

En este proyecto se realiza el estudio de ingeniería en iluminación de alumbrado público considerando un caso de estudio real en la Av. Mártires 4 de noviembre de la ciudad de Juliaca, realizando estudios a las luminarias vapor de sodio de alta presión instalados actualmente y como sería el cambio al usar luminarias con tecnología LED aportando recomendaciones basadas en cálculos y pruebas de ingeniería en iluminación para obtener los mejores beneficios a la sociedad. La metodología del cálculo de ingeniería en iluminación aplicada a los 2 casos propuestos para lograr un efectivo análisis, considerando que cada caso tiene una serie de pasos en los que se aplican las normativas vigentes en Perú para poder lograr un verdadero análisis de ingeniería en iluminación. Usando el programa Visual edición profesional logramos realizar los cálculos necesarios para el análisis de cada uno de los casos propuestos, además obtuvimos los resultados de las pruebas fotométricas realizadas a la luminaria propuesta que se presentara los resultados arrojados por los cálculos para cada uno de los casos propuestos, y se realizara las comparaciones de luminarias y análisis de potencias consumidas para la facturación, costos y ventajas operativas.

**Palabras clave:** iluminación, vapor de sodio de alta presión, luminaria con tecnología led.

## ABSTRACT

In this project the engineering study on lighting of public lighting is made considering a real case of study in the Av. Mártires 4 of November of the city of Juliaca, doing studies to the luminaries installed nowadays and how it would be the change when using luminaries with LED technology providing recommendations based on calculations and lighting engineering tests to obtain the best benefits for society. the engineering calculation methodology in lighting applied to the 2 cases proposed to achieve an effective analysis, considering that each case has a series of steps in which the regulations in force in Peru are applied in order to achieve a true lighting engineering analysis. Using the Visual Professional Edition program, we were able to perform the necessary calculations for the analysis of each of the proposed cases, and we obtained the results of the photometric tests performed on the proposed luminaire, which presented the results of the calculations for each of the cases proposed, and comparisons of luminaires and analysis of power consumed for billing, costs and operational advantages.

**Keywords:** lighting, high pressure sodium vapor, luminaire with LED technology.

## INTRODUCCIÓN

El servicio de alumbrado público tiene como finalidad satisfacer las condiciones básicas de iluminación de avenidas, calles, así como en espacios públicos para poder desarrollar las actividades acordes a cada lugar, con la iluminación adecuada. El alumbrado público es uno de los servicios que con más insistencia demandan los habitantes de las localidades como resultado del crecimiento de la población y del desarrollo urbano, la prestación de este servicio es una de las tareas fundamentales de los gobiernos locales; sin embargo, su instalación, operación, actualización y costo constituyen a menudo un problema técnico y económico. Esto origina, en ocasiones, un servicio deficiente y costoso que se agrava a medida que el tiempo pasa y no se toman las medidas oportunas para su actualización o mejoramiento.

Por ello este proyecto se enfoca en el análisis de las luminarias basados en iluminación de tecnología LED para alumbrado público. Realizando el estudio de dichas luminarias para la comparación de sus características de iluminación, ahorro de energía y tiempo de vida, obteniendo así las diferencias entre las luminarias instalados actualmente y los luminarios LED. Todo ello con el fin de tener un uso más eficiente y racional de los recursos energéticos del servicio de alumbrado público, que contribuya a la disminución del gasto destinado al pago por suministro de energía eléctrica.

En este proyecto se pretende implementar iluminación en base a luminarias con tecnología LED en la Av. Mártires 4 de noviembre de la ciudad de Juliaca, en donde se tienen instalados actualmente luminarias de vapor de sodio de alta presión, realizando los estudios de iluminación, cálculos de distribución, estimación de costos, comparación de ahorro de energía.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La energía eléctrica se ha ido convirtiendo en una necesidad básica para el ser humano, pero la concientización de su conservación ha sido pobre tanto en los hogares como en el estado mismo.

La solución a este problema no solo se encuentra en el ahorro que podrían generar las personas, sino que también los gobiernos, como tal tiene en sus manos una gran responsabilidad ya que el alumbrado público en nuestro país es uno de los componentes básicos en el consumo de energía.

Una de la solución a este despilfarrador consumo de energía en alumbrado público, se encuentra que los entes públicos del país, como los municipios adopten nuevas tecnologías en luminarias ahorradoras de energía, las cuales no solo ahorrarán dinero y recursos, sino que también evitan una mayor contaminación en la ciudad y en el país.

La av. Mártires 4 de noviembre de la ciudad de Juliaca no está cumpliendo con los estándares exigidos en la “NORMA TÉCNICA DGE “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Iluminar la vía de estudio de la ciudad de Juliaca con luminarias con tecnología LED, resulta una buena elección tecnológica tanto para el medio ambiente como para la sociedad, ya que la inversión inicial de implementar este nuevo sistema de iluminación es sumamente alta, se podrá demostrar que la recuperación por el ahorro de la energía se logra en pocos años.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.3.1. Problema general**

De qué manera el análisis técnico - económico para la optimización del sistema de iluminación de la Av. Martiries 4 de noviembre aplicando luminarias con tecnología led dará los beneficios a la población.

### **1.3.2. Problemas específicos**

a) ¿De qué manera el estudio de los parámetros de iluminación de las luminarias instaladas actualmente y las luminarias con tecnología led influyen en la iluminación de la vía?

b) ¿Cómo contribuye el análisis técnico económico óptimo del sistema de iluminación de la av. Martiries 4 de noviembre utilizando luminarias con tecnología led?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1.- Objetivos generales**

Realizar el análisis técnico – económico óptimo del sistema de iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre aplicando luminarias con tecnología led.

### **1.3.2.- Objetivos específicos**

a) Realizar el estudio de los parámetros de iluminación de las luminarias instalados actualmente (luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250W) y las luminarias con tecnología led.

b) Realizar el análisis técnico económico óptimo del sistema de iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre utilizando luminarias con tecnología led.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA “LED” PARA LA ILUMINACION PÚBLICA EN ANTIOQUIA, concluye “La mayoría de países del mundo están apostándole a la tecnología LED para el alumbrado público debido a los grandes beneficios que esta presenta en cuanto al consumo energético, larga vida útil, calidad de la iluminación y escasa o nula presencia de componentes contaminantes en su cuerpo”. (LÓPEZ, 2009).

Osinermin, Avances Tecnológicos en el Alumbrado Público concluye “Actualmente todos los grandes fabricantes de sistemas de iluminación apuestan por esta tecnología que será la principal fuente de luz del futuro”. (Osinermin, Avances Tecnológicos en el Alumbrado Público, 2013).

Reglamentación de las lámparas de alumbrado público de alta presión y lámparas de tecnología LED en nuestra ciudad, teniendo en cuenta la reglamentación que a este respecto rige en la actualidad en Perú. Estará dirigido a todos los entes involucrados en la prestación del servicio de alumbrado público, a los generadores de energía eléctrica, a las empresas que proveen servicios y

elementos involucrados en la prestación del servicio en todos los niveles y a la academia que está siempre pendiente de la mejora de las condiciones del entorno en que desarrollan sus procesos. El estudio llegará hasta el punto de brindar toda la información teórica que pueda ofrecer las herramientas básicas necesarias para implementar una nueva tecnología de iluminación de alumbrado público o continuar con la tecnología con la que actualmente se cuenta en la ciudad. Este análisis se llevará a cabo mediante el uso de contrastación de datos obtenidos mediante mediciones experimentales en el terreno, obtención de imágenes de las lámparas de las tecnologías en estudio, comparación de las tablas de características técnicas de cada lámpara, mediciones de consumo y trazado de curvas de iluminación. Se usarán además herramientas matemáticas. Entre estas herramientas matemáticas estarán todos los datos de costos y duración de cada una de las lámparas. (Chayña, 2014).

La crisis energética que viene afectado al mundo durante los últimos años, se plantea a los técnicos e ingenieros la necesidad de buscar alternativas tendientes al ahorro de energía en actividades tan sencillas como la de la iluminación pública, la misma que sin requerir un enfoque magistral, si es tratada a profundidad puede determinar soluciones que representan ahorro de recursos económicos, tan necesarios para el desarrollo del sector eléctrico y lo que es fundamental disminuir el consumo de energía, lo cual en épocas de crisis, resulta imperativo. (TECNOLOGIAS, 2015).

## 2.2. SUSTENTO TEÓRICO

### 2.2.1. Historia de la luminaria LED

Hoy en día la tecnología LED ocupa ya un lugar importante en el mundo de la iluminación, ha sido una entrada explosiva y sin par, desplazando a su paso a otras tecnologías, volviéndolas obsoletas al reducir el área de su aplicación.

Hace muchos, muchos años en 1907, que Henry Joseph Round (experto en radiocomunicación) realizó un experimento con cristales de germanio que lo llevó a descubrir del efecto físico de la electroluminiscencia y crear el primer diodo semiconductor, sin embargo, era un experimento muy costoso y no parecía tener mucho futuro, así que quedó en el olvido.

En una época más cercana, 1962 para ser exacto, Nick Holonyak, mientras colaboraba como científico asesor en un laboratorio de General Electric (Nueva York), inventó el primer LED rojo basado en semiconductores, aunque no se sabía que el diodo emitía fotones en el espectro infrarrojo, es decir, invisible al ojo humano. Este primer LED rojo inició la revolución de la señalización, pero en ese momento no era rival ni siquiera para el foco incandescente. Cabe mencionar que antes de Holonyak, se considera a Oleg Vladimírovich Lósev (1903-1942) como el primero en desarrollar el LED (1927). Nueve años después, Jacques Pankove desarrolló tecnología LED de color azul de baja potencia, pero fue hasta 1993 que Shuji Nakamura de Nichia desarrolló el primer LED totalmente azul y perfeccionado, que marcó el inicio de la iluminación LED y el principio del fin de la iluminación tradicional.

Sin embargo, la luz azul no es suficiente para ver bien o iluminar nuestras casas o las calles, para ello es necesario de luz blanca; así que en 1998 Lumileds pone en venta el primer LED blanco de potencia, añadiéndole fosforo al LED

azul, que en poco tiempo salió al mercado: 2002, con 30 lúmenes y un costo de 8.50 dólares por componente.

En ese momento casi todos seguían dudando de que el LED podría reemplazar la tecnología de iluminación tradicional; actualmente, con sus más de 160 L/W a 350mA, el LED desplaza en eficiencia y versatilidad a cualquier otra tecnología.

### **2.2.2. Definición de alumbrado público**

El alumbrado público es el servicio consistente en la iluminación de vías públicas, parques y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, con el objeto de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades.

### **2.2.3. Objetivos del alumbrado público**

Para cumplir este propósito el sistema de iluminación vial debe cumplir tanto aspectos cuantitativos como cualitativos que permitan una rápida y confortable visibilidad en las condiciones medio ambientales más adversas.

- Incrementar la seguridad individual y colectiva en las vías.
- Proporcionar confort y tranquilidad.
- Proporcionar a los transeúntes seguridad y comodidad.
- Permitir a los transeúntes una clara visualización de bordes, geometría, obstáculos y superficie de la vía que están transitando.
- Disminuir la accidentalidad vial.
- Contribuir a detener o disminuir las acciones vandálicas.

El objeto del alumbrado público es proporcionar la visibilidad adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales en espacios de libre circulación con tránsito vehicular y peatonal.

#### 2.2.4. Luminaria vapor de sodio de alta presión

Las luminarias de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión. Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ( $T_{color} = 2100$  K) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ( $IRC = 25$ , aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda de los 100-140 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas. (LÓPEZ, 2009).

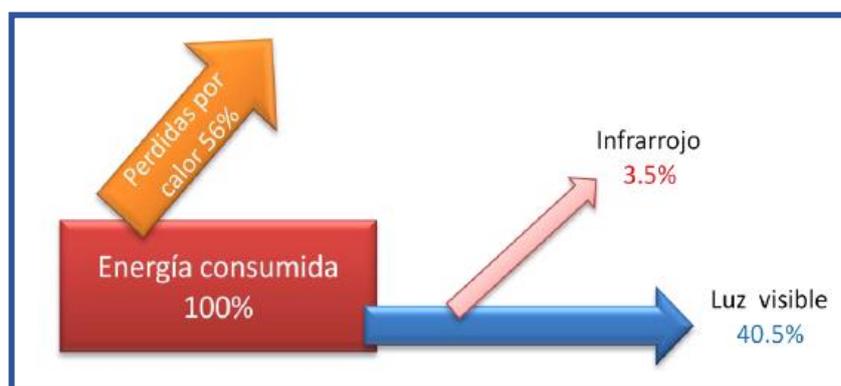


Figura N° 1: Balance energético de la luminaria VSAP  
Elaboración: propia.

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 5000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento. Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas ( $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de

sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. Las lámparas de Vapor de Sodio Alta Presión, son lámparas de descarga y requieren de un largo tiempo para un reencendido y alcanzar su máxima luminosidad después de una falla en el suministro. (LÓPEZ, 2009).

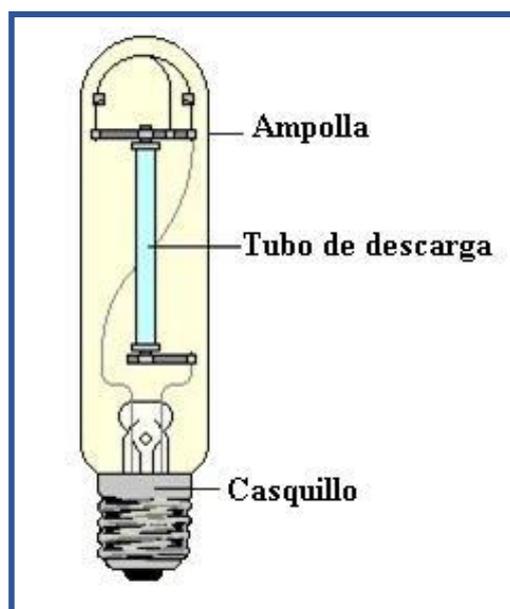


Figura N° 2: Lámpara de vapor de sodio de alta presión.  
Fuente: (LÓPEZ, 2009): 120.

## 2.2.5. Alumbrado público con luminarias de LED

### 2.2.5.1. Introducción al LED

Los conocemos de verlos en el frente de muchos equipos de uso cotidiano, como radios, televisores, celulares y relojes digitales, sin embargo, la falta de una amplia gama de colores y una baja potencia lumínica han limitado su uso considerablemente. No obstante, eso está cambiando gradualmente con la introducción de nuevos materiales que han permitido crear LED's de prácticamente todo el espectro visible de colores y ofreciendo al mismo tiempo una eficiencia lumínica que supera a la de las lámparas incandescentes.

Estos brillantes, eficientes y coloridos nuevos LED's están expandiendo su dominio a un amplio rango de aplicaciones de iluminación desplazando a su anterior campo de dominio que era el de la mera indicación. Si consideramos su particularidad de bajo consumo energético y su prácticamente imbatible ventaja para su uso en el exterior, tendremos que el futuro de estos pequeños dispositivos semiconductores es realmente muy prometedor tal como lo indican los números actuales de crecimiento de mercado a nivel mundial.

#### **2.2.5.2. Definición de LED**

Un LED, siglas en inglés de Light-Emitting Diode (diodo emisor de luz) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz policromática, es decir, con diferentes longitudes de onda, cuando se polariza en corriente directa y es atravesado por la corriente eléctrica. El color depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo, variando desde el ultravioleta, pasando por el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo, recibiendo éstos últimos la denominación de IRED (Infra-Red Emitting Diode).

#### **2.2.5.3. ¿Cómo trabajan los LED?**

Primero, su estructura es totalmente diferente que una lámpara tradicional, el LED tiene una estructura muy simple y muy fuerte. Los 4 componentes básicos de su estructura son:

Material emisor semiconductor, montado en un chip-reflector, este material determina el color de la luz. Los postes conductores (cátodo y ánodo). El cable conductor que une los dos polos en algunos casos hilo de oro. Un lente sellado herméticamente que protege al material emisor del LED y determina el haz de la luz.

Recuerde que LED significa Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode), es un objeto que permite el flujo de corriente en una sola dirección. Dos materiales conductivos cualesquiera forman un diodo cuando son puestos en contacto. Cuando la electricidad pasa a través de un diodo, los átomos de uno de los materiales (contenido en un chip-reflector) son excitados a un mayor nivel. Los átomos en el primer material retienen mucha energía y requieren liberarla. Esta energía libera como electrones al segundo material dentro del chip-reflector, durante esta liberación se produce la luz.

El color de la luz es relativo a los materiales emisores semiconductores y procesos de elaboración del chip-reflector.

#### 2.2.5.4. Partes de un LED

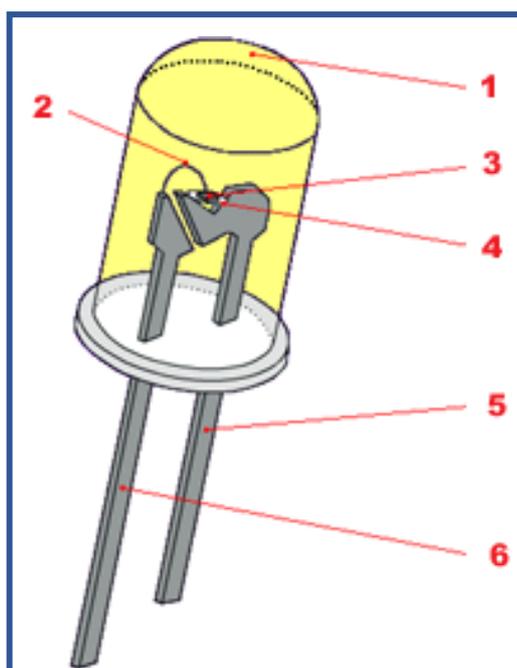


Figura N° 3: Partes del LED.

Fuente: <http://www.casadelled.com.ar/Que%20es%20un%20led.htm>

**a) Lente Epóxico.** - Este lente mantiene todo el paquete estructurado, determina el haz de luz, protege al chip reflector, además de extraer el flujo luminoso.

**b) Cable Conductor.** - Es un cable muy delgado de oro, el cual conecta cada terminal a cada uno de los postes conductores.

**c) Chip.** - Consiste en dos capas de material emisor semiconductor, cuando los átomos son excitados por un flujo de corriente intercambiando electrones, creando la luz.

**d) Reflector.** - Está por debajo del Chip reflejando y proyectando luz hacia fuera, sólo un 3% se queda atrapada.

**e) Cátodo.** - Poste hecho de aleación de cobre y conduce carga negativa, el cátodo es más corto que el ánodo para facilitar un ensamble más rápido y preciso en el circuito.

**f) Ánodo.** - Poste hecho en aleación de cobre y conduce carga positiva.

#### **2.2.5.5. Características físicas de los LED's.**

En un átomo aislado los electrones pueden ocupar determinados niveles energéticos, pero cuando los átomos se unen para formar un cristal, las interacciones entre ellos modifican su energía, de tal manera que cada nivel inicial se desdobra en numerosos niveles, que constituyen una banda, existiendo entre ellas huecos, llamados bandas energéticas prohibidas, que sólo pueden salvar los electrones en caso de que se les comunique la energía suficiente. En los aislantes la banda inferior menos energética (banda de valencia) está completa con los electrones más internos de los átomos, pero la superior (banda de conducción) está vacía y separada por una banda prohibida muy ancha (~ 10 electrones – Volt), imposible de atravesar por un electrón. En el caso de los conductores las bandas de conducción y de valencia se encuentran superpuestas, por lo que cualquier aporte de energía es suficiente para producir un desplazamiento de los electrones. (LÓPEZ, 2009).

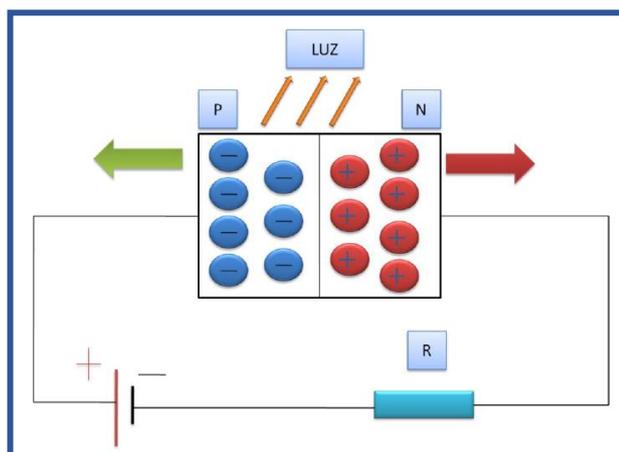


Figura N° 4: Principio de funcionamiento del diodo emisor de luz LED.

Fuente: [http://www.asifunciona.com/fisica/af\\_leds/af\\_leds\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_3.htm)

Entre ambos casos se encuentran los semiconductores, cuya estructura de bandas es muy semejante a los aislantes, pero con la diferencia de que la anchura de la banda prohibida es bastante pequeña. Los semiconductores son, por lo tanto, aislantes en condiciones normales, pero una elevación de temperatura proporciona la suficiente energía a los electrones para que, saltando la banda prohibida, pasen a la de conducción, dejando en la banda de valencia el hueco correspondiente.

En el caso de los diodos LED los electrones consiguen saltar fuera de la estructura en forma de radiación que percibimos como luz (fotones).

#### 2.2.5.6. Principio físico

El fenómeno de emisión de luz está basado en la teoría de bandas, por la cual, una tensión externa aplicada a una unión p-n polarizada directamente, excita los electrones, de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones si la energía es suficiente los electrones escapan del material en forma de fotones. Cada material semiconductor tiene unas determinadas características que y por tanto una longitud de onda de la luz emitida. (LÓPEZ, 2009).

Para tener una idea aproximada de la relación entre la frecuencia expresada en nanómetros y su correspondencia con un color determinado a continuación se presenta un gráfico simplificado del triángulo de Maxwell o Diagrama de Cromaticidad CIE. Cada color se puede expresar por sus coordenadas X e Y. Los colores puros o saturados se encuentran en el exterior del triángulo y a medida que nos acercamos a su centro el color tiende al blanco. El centro de la zona blanca es el blanco puro y suele expresarse por medio de la temperatura de color, en grados Kelvin, de un cuerpo negro. Simplificando podemos decir que un cuerpo negro al calentarse empieza a emitir ondas infrarrojas, al subir la temperatura empieza a tomar un color rojizo, esto es en los 770 nm, al seguir elevándose la temperatura, el color se torna anaranjado, amarillento y finalmente blanco, describiendo una parábola desde el extremo inferior derecho hacia el centro del triángulo. Por lo tanto, cada color por donde pasa dicha parábola puede ser representado por una temperatura equivalente. El centro del triángulo (blanco puro) se corresponde con una temperatura de 6500 K. El tono de los LED blanco viene expresado precisamente en grados kelvin. Una temperatura superior significa un color de emisión blanco azulado. (LÓPEZ, 2009).

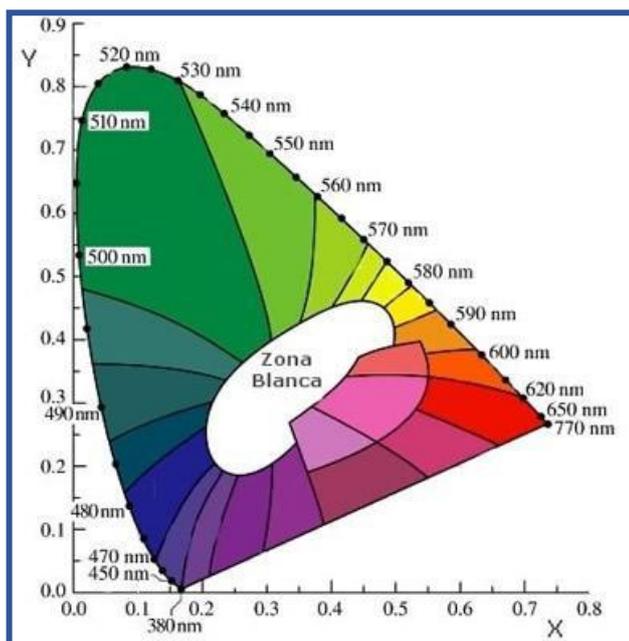


Figura N° 5: Diagrama de índice de cromaticidad  
Fuente: Catalogo Led generation Schreder.

### 2.2.5.7. Ventajas de los LED

- Altos niveles de flujo e intensidad dirigida o difusa.
- Significante tamaño para múltiples y diferentes opciones de diseño.
- Alta eficiencia, ahorro de energía.
- Luz blanca.
- Todos los colores (de 460 nm a 650 nm).
- Requerimientos bajos de Tensiones y Consumos.
- Baja generación de calor.
- Alta resistencia a los golpes y vibraciones.
- Extremadamente larga vida (de 50,000 a 100,000 Hrs.).
- Sin radiaciones de infrarrojos o ultravioletas en la luz visible.
- Pueden ser fácilmente controlados y programados.
- Bajo costo de mantenimiento
- Sin mercurio.
- Emisión directa de luces de colores sin necesidad de filtros.

- Encendido instantáneo.
- Cierre hermético contra el polvo y la humedad.
- Unidad Óptica sellada

#### **2.2.5.8. Iluminación exterior con luminarias led de alta intensidad**

Un problema que nuestro país no puede esperar más tiempo para encontrar soluciones es el abastecimiento eléctrico; la falta del mismo o su inconstancia afectan a todo el país.

El interés por generar ahorros aún más significativos, llevó a los investigadores a desarrollar luminarias para alumbrado público con lámparas de tecnología LED. Se trata de aparatos que producen muy bajo consumo eléctrico. Con la más nueva tecnología de lámparas con LED en el mercado, se ha creado la nueva iluminación a base de LED para exteriores, lámparas de LED para iluminar avenidas, calles, fábricas y estacionamientos grandes, obteniendo un ahorro de más del 50% y hasta el 80% de consumo de energía eléctrica. Con una vida útil de más de 50,000 horas.

Este tipo de iluminación con LED desplazara en poco tiempo a la llamada la iluminación vapor de sodio, ya que con la tecnología LED, se ahorra energía y esto beneficia a toda población que requiera de iluminación o luminarias de LED. El sistema de control que tienen este tipo de lámparas puede durar hasta 50,000 horas de servicio continuo utilizándolas 10 horas al día. Con lo cual estaríamos hablando de una vida igual o mayor a los 13 años.

El área efectiva de iluminación con LED de alta intensidad es 40 metros por 16 metros cuando la lámpara LED está colocada en un poste con una altitud de 12 metros. La iluminación varia de  $\geq 45$  lux (altitud = 6 metros) a  $\geq 11$  lux

(altitud = 12 metros), lo cual todavía es equivalente a 2.5 veces más que luz VSAP (Lámparas de vapor de sodio a alta presión). (LÓPEZ, 2009)

### 2.2.5.9. Funcionamiento de los elementos de una luminaria de tecnología led

#### a) El Chip

El chip es el corazón de una lámpara LED. Es una pieza de un material semiconductor (normalmente de cristales de silicio o galio) de unos 5 milímetros de grosor, capaz de generar luz cuando se le aplica corriente eléctrica. Sobre esta base de silicio se depositan en forma de capas diferentes materiales como el fósforo, cuya mezcla es la que da el color y la calidad de la luz. Usualmente el chip se protege del exterior mediante una carcasa de resina o policarbonato semirrígida. Existen en el mercado dos tipos.



Figura N° 6: Chip de luminaria LED.

Fuente: [http://lowbill.green/index.php/calidad\\_led](http://lowbill.green/index.php/calidad_led).

#### b) El Driver

Los LED no se conectan directamente a la corriente como una bombilla incandescente, sino que requieren de una fuente de alimentación previa (o convertidor de tensión), por lo que el aprovechamiento real de la energía eléctrica

de un LED depende también en gran medida de este convertidor. Una fuente de alimentación apropiada influye en la eficiencia y la estabilidad de la luminaria.

El aprovechamiento real de la energía eléctrica consumida se mide por el valor del factor de potencia (PF o Power Factor o Factor de Poder). Si el valor es igual a 1 significa que toda la electricidad que llega a la fuente de alimentación se ha aprovechado. Si es de 0,5 quiere decir que la mitad de energía eléctrica se ha desaprovechado en la conversión. Usualmente de un driver de calidad se espera a que el valor sea superior a 0,9.



Figura N° 7: Driver de luminaria LED.

Fuente: [http://lowbill.green/index.php/calidad\\_led](http://lowbill.green/index.php/calidad_led).

### c) Placa Base

Es la placa de circuito impreso o PCB (Printed Circuit Board), que soporta las conexiones de los componentes electrónicos, como las conexiones del chip (normalmente mediante hilos de oro) y las vías de disipación del calor. Según el sistema de evacuación del calor utilizado puede componerse de distintas capas y materiales (principalmente aluminio y cobre además de otros materiales conductores).

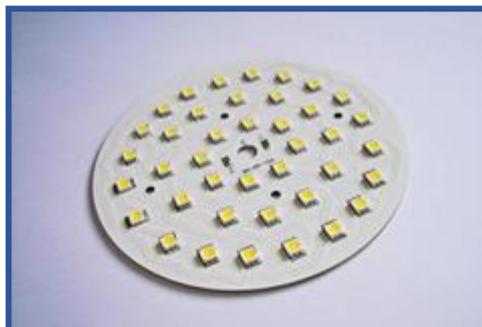


Figura N° 8: Placa de base de luminaria LED.

Fuente: [http://lowbill.green/index.php/calidad\\_led](http://lowbill.green/index.php/calidad_led).

#### d) El Sistema de Gestión Térmica

La disipación del calor es una de las claves de la duración de un LED. Es importante explicar que los LED no emiten calor y de hecho pueden tocarse cuando están encendidos sin peligro de quemarse los dedos. Pero eso no significa que no lo generen. Es decir, el calor, al contrario que un foco incandescente, sale en la dirección contraria a la luz, lo que influye en la duración y funcionamiento de la lámpara LED. Por este motivo es necesario disipar ese calor, ya que hasta el 70% de la energía puede llegar a perderse.

Una buena disipación del calor alargará la vida del chip. Para lograrlo, son claves los materiales empleados y un diseño que favorezca esta disipación. Los disipadores de calor son fabricados de materiales como el aluminio, el cobre y la cerámica y poseen superficies amplias y alas que promueven la rápida disipación de calor. Además de influir en la durabilidad, el calor también puede afectar al color y a la calidad de la luz, de ahí la importancia de una correcta disipación.

Recientes avances tecnológicos en la producción de plásticos termo conductivos han permitido que este material sea utilizado como disipador de calor, reduciendo los costos de producción.



Figura N° 9: Sistema de gestión térmica de luminaria LED.  
Fuente: [http://lowbill.green/index.php/calidad\\_led](http://lowbill.green/index.php/calidad_led).

### e) *Lente Óptico*

La óptica secundaria es el conjunto de lentes exteriores que determinan la distribución de la luz emitida por el LED. La norma y composición de las lentes que forman la óptica secundaria puede variar en función de las necesidades de iluminación y distribución de la luz que se requieran. De esta forma, según la forma de la lente, el haz de luz puede hacerse converger o divergir. Es decir, el ángulo de luz puede ser grande o pequeño dependiendo del lente óptico que utilice la luminaria LED.



Figura N° 10: Lente óptico de luminaria LED.  
Fuente: [https://lowbill.green/index.php/calidad\\_led](https://lowbill.green/index.php/calidad_led).

#### 2.2.5.10. Principales características de la luminaria led modelo LU4 de la compañía DMX Tecnologías S.A. de C.V.



Figura N° 11: Luminaria LED modelo LU4.  
Fuente: DMX Tecnologías.

##### a) Revolucionario Sistema Fotométrico

El primer sistema óptico dedicado (lente de enfoque rectangular). Las luminarias tienen un control razonable de la distribución de luz, patrón de spots rectangulares, y aseguran la uniformidad de su brillo en la superficie de las calles.

##### b) Diseño único integrado de lámpara LED y lente

Los lentes desarrollan una protección en la iluminación, ya que evitan la duplicación de luces y reducen los costos de energía, también reducen el peso del producto y tienen un sistema de estructura simplificado.

##### c) Diseño creativo del radiador y del soporte de la lámpara LED

Protegen completamente la vida del LED y los requerimientos de disipación de calor, de acuerdo con la estructura y diseño de las lámparas de LED, con las características más distintivas de las lámparas LED.

**d) El único e innovador diseño de integración modular**

Puede ser arbitrariamente combinado a diferentes consumos de energía y productos. Cada módulo es una fuente independiente de luz también fungible, la falla parcial no afecta la operación normal de la lámpara, fácil de desarmar y dar mantenimiento, ahorrando costos y el trabajo se hace sencillo.

**e) Iluminación Exterior Delgado y ligero**

Efectivamente reduce el peso y la resistencia al aire, reduce la carga al polo del luminario y es más seguro.

**f) Control Inteligente de Corriente**

Cada módulo de LED puede implementarse con un control inteligente de corriente, en cualquier situación, puede alcanzar la corriente constante que necesita, y asegura que el luminario con LED puede funcionar con seguridad.

**g) Sin brillo molesto**

Elimina el brillo causado por los focos comunes y la fatiga visual, mejora las condiciones viales, reduce el índice de accidentes viales.

**h) Sin contaminación visual**

La distribución de luz para alumbrado público, aparte de iluminar el camino no iluminará afuera de la región que se pretende.

**i) Sin alta tensión – Sin absorción de polvo**

Elimina la alta tensión que causa la acumulación de polvo que hace que la lámpara se oscurezca y reduzca su brillo.

**j) Sin altas temperaturas – Sin lámparas viejas amarillas**

Las lámparas no se tornan amarillas por lo que su vida es más larga.

**k) Encienden de inmediato**

Al encender llega a su brillo normal sin tener que esperar el tiempo como en las lámparas tradicionales.

**l) Resistentes a impactos, a prueba de shock, sin rayos ultravioleta e infrarrojos**

Sin filamentos ni marcos de vidrio, no se quiebran como los tradicionales, no dañan al cuerpo humano por cortaduras con vidrios y objetos similares a otras lámparas que fácilmente se pueden quebrar.

**m) Grandes ahorros de energía**

Se puede ahorrar entre un 50% y un 80% de energía a comparación de las lámparas convencionales de sodio o mercurio en las comúnmente luminarias viales.

**n) Larga Vida, más de 50,000 horas**

Utilizándolo por 10 horas diarias, podrían utilizarse hasta por más de 13 años, es 5 a 10 veces más vida que las lámparas tradicionales de sodio.

**o) Protegen el ambiente**

Sin plomo, sin mercurio, no hay contaminación ambiental.

**p) No contamina la red de Energía**

Factor de potencia  $\geq 0.9$ , THD (Interferencias o ruidos)  $\leq 20\%$ , EMI la cual se aplica con el índice universal global, reduce la pérdida de energía y de transmisión de líneas o ruidos para evitar la contaminación en la red de la interfaz de alta frecuencia.

**q) Trabaja con baja tensión y bajo calor, es seguro y confiable**

La temperatura de los LED puede ser controlada en una temperatura ideal de ( $T_J < 60^\circ\text{C}$   $T_a = 25^\circ\text{C}$  temperatura ambiente).

**r) Alta eficiencia de luminosidad**

La eficiencia de la iluminación con LED en las condiciones existentes es  $\geq 80$  lm/w. Progresivamente aumentará el brillo del LED a 150 lm/w y la lámpara de sodio de 250W se remplazará con la de 112 Watts de LED, después la eficiencia de luminosidad llegará a 300 lm/w, eventualmente.

Producto	Luminaria LU2	Luminaria LU4	Luminaria LU6
Voltaje de entrada	85 ~ 264 V AC		
Rango de frecuencia	47 ~ 63 Hz		
Factor de energía eléctrica	> 0.9		
Distorsión Armónica Total	< 20%		
Eficiencia Energía eléctrica	86%		
Voltaje de trabajo del LED	24V DC		
Consumo de energía de LED	56 Watt	112 Watt	168 Watt
Consumo fuente de poder	10 Watt	20 Watt	30 Watt
Eficiencia luminosa de LED	$\geq 80$ lm/w		
Flujo inicial del LED	5,000 lm (Tj=25°C)	10,000 lm (Tj=25°C)	15,000 lm (Tj=25°C)
Flujo mantenido del LED	4,600 lm (Tj=60°C, Ta=25°C)	9,300 lm (Tj=60°C, Ta=25°C)	14,000 lm (Tj=60°C, Ta=25°C)
Flujo de la Lámpara	4,200 lm (Tj=60°C, Ta=25°C)	8,400 lm (Tj=60°C, Ta=25°C)	12,600 lm (Tj=60°C, Ta=25°C)
Eficiencia de la Lámpara (%)	> 90%		
Iluminación	(Altura=6m): $\geq 26$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 65 LUX)	(Altura=6m): $\geq 53$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 132 LUX)	(Altura=6m): $\geq 80$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 200 LUX)
	(Altura=8m): $\geq 15$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 38 LUX)	(Altura=8m): $\geq 30$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 75 LUX)	(Altura=8m): $\geq 45$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 113 LUX)
	(Altura=10m): $\geq 9$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 20 LUX)	(Altura=10m): $\geq 18$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 45 LUX)	(Altura=10m): $\geq 28$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 70 LUX)
	(Altura=12m): $\geq 6$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 15 LUX)	(Altura=12m): $\geq 13$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 33 LUX)	(Altura=12m): $\geq 20$ LUX (Reemplaza Luminaria Sodio 50 LUX)
Effective Illuminated Area	(Altura=6m): 20 x 8m (Altura=10m): 33x13m (Altura=8m): 26 x 10m (Altura=12m): 40x60m		
Color Temperatura (CCT)	Blanco Puro: 5,000 ~ 7,000 K, Blanco Calido: 3,000 ~ 4,000 K		
Color Índice (CRI)	Ra > 75		
Fuente de iluminación	Emisor de DMX (1 Watt)		
Patron de iluminación Curva/Brillo	Asimétrico (Lentes) / Rectangular uniforme		
Angulo Máximo de Intensidad Luminosa	120°: Eje Horizontal: 110°, Eje Vertical: 45°; 140°: Eje Horizontal: 130°, Eje Vertical: 45°		
Angulo de Apertura Luminosa	120°: Eje Horizontal: 120°, Eje Vertical: 60°; 140°: Eje Horizontal: 140°, Eje Vertical: 60°		
Temperatura en Cuerpo (Tj)	60°C $\pm$ 10% (Ta=25°C)		
Resistencia del sistema (Rja)	0.56°C/W	0.28°C/W	0.19°C/W
Temperatura de operación	-30°C ~ 50°C		
Humedad de operación	10% ~ 90% RH		
Temperatura de almacenamiento	10°C ~ 85°C		
Vida operativa	> 50,000 Hrs		
Compuestos de la lámpara	Aleación de Aluminio y cubiertas plásticas		
Dimensiones (mm)	540(L)X315(W)X90(H)	715(L)X315(W)X90(H)	890(L)X315(W)X90(H)
Peso Neto	7 Kg	10 Kg	13 Kg
Protección IP	IP65		

Cuadro N° 1: Ficha técnica luminario de tecnología LED modelo LU4.

Fuente: DMX Tecnologías.

### 2.2.5.11. Desempeño fotométricos luminaria LED modelo LU4

El patrón de la curva de distribución puede cambiarse de acuerdo a las demandas de la sección. Controlar la distribución racionalmente para hacer un patrón rectangular. Cuando la altura de la instalación es de 12m, el patrón de luz es rectangular de 40x16m, y la eficiencia de radiación es más del 70% en la región efectiva, la transparencia total es más de 90%, la máxima extensión posible para reducir la pérdida de luz, la luz Led se utiliza completamente. La uniformidad en la iluminación es muy buena en la zona efectiva de radiación, hasta mejor que 0.7, más alto que

los grados más altos de 0.4 de los estándares más altos para luces de calle. La orilla del patrón de luz es muy clara y no causa reflejos adversos fuera de la zona efectiva de radiación por lo que no causa contaminación de luz. Satisface los requerimientos del alumbrado para calles o cualquier otro alumbrado especial, que puede utilizarse ampliamente para requerimientos especiales como luz de calle, para anuncios, etc., Es un producto verde, de ahorro de energía, amigable con el ambiente.

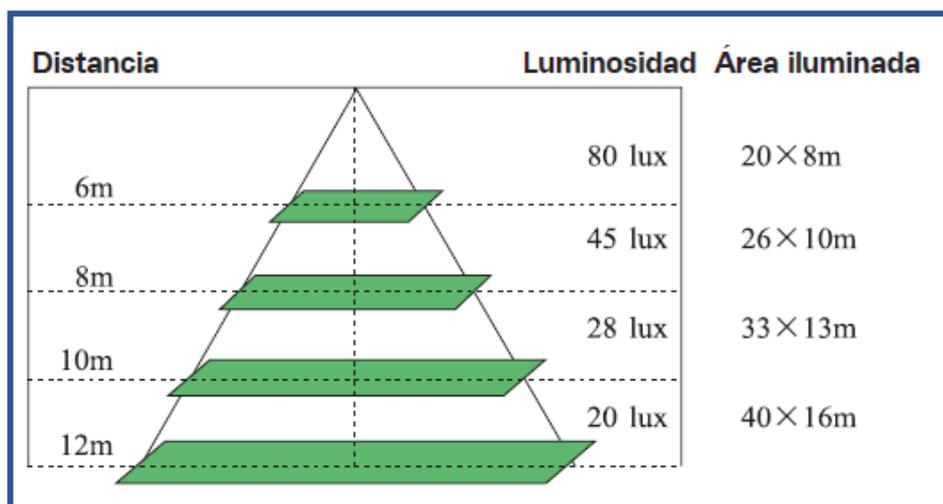


Figura N° 12: Iluminación distribuida a diferentes alturas.

Fuente: DMX Tecnologías.

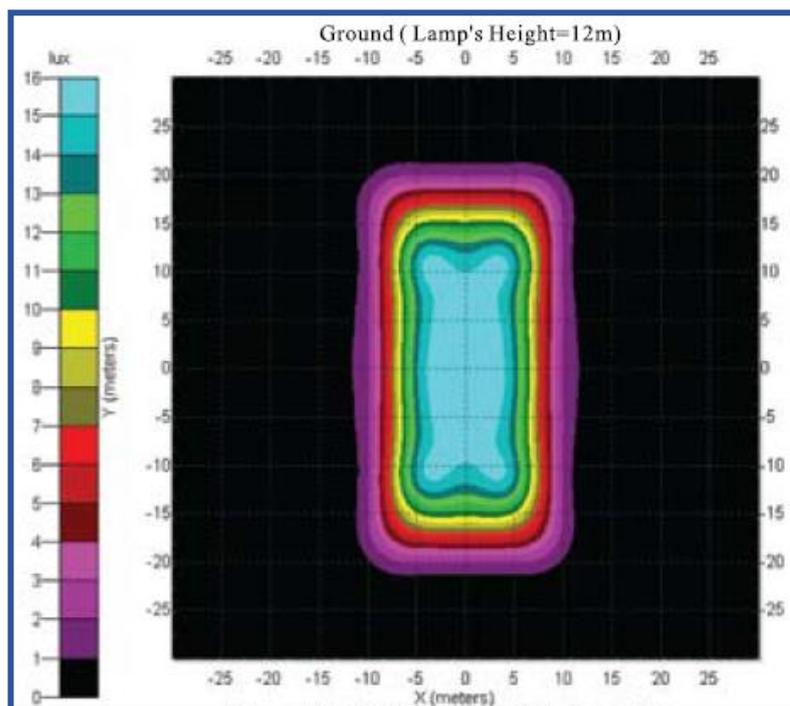


Figura N° 13: Mapa de distribución de luminosidad LED.  
Fuente: DMX Tecnologías.



Figura N° 14: Efectos reales de iluminación.  
Fuente: DMX Tecnologías.

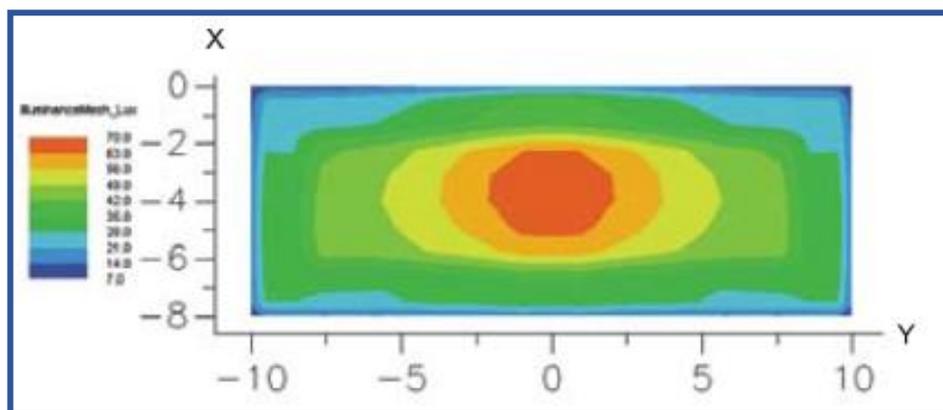


Figura N° 15: Mapa de distribución de luminosidad de VSAP.  
Fuente: Catalogo Philips lighting 2015.

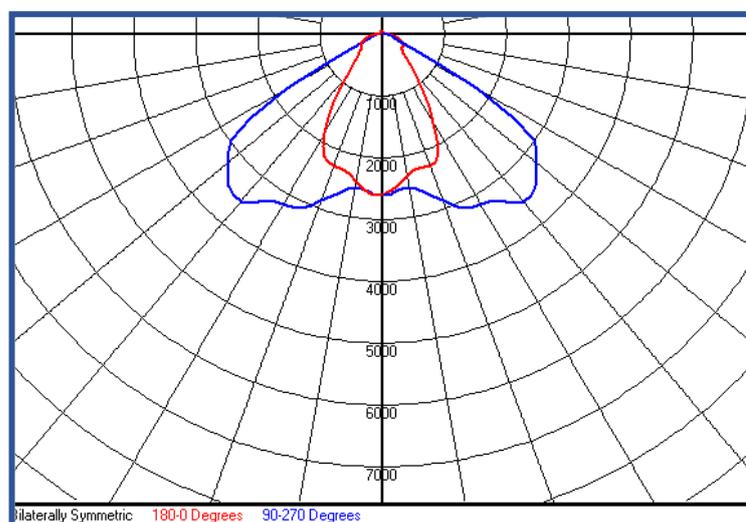


Figura N° 16: Curva Fotométrica de la luminaria LU4.  
Fuente: Catalogo Philips lighting 2015.

#### a) Ventajas económicas

- Ahorra hasta un 70% en consumo de energía y hasta un 80% en mantenimiento.
- Vida útil de más de 10,000 horas (más de 10 años con un funcionamiento continuo de 12 horas diarias).
- Mantenimiento mínimo por la duración de sus componentes.

#### b) Ventajas ambientales

- Puede integrarse fácilmente a sistemas de energía solar.

- No son peligrosas para el medio ambiente son 100% reciclables.
- La iluminación es unidireccional no hay contaminación lumínica
- Al no emitir radiaciones infrarrojas ni ultravioletas, no atraen insectos.
- La reducción de emisión de CO<sub>2</sub> por una luminaria LU4 de 112Watts en un año equivalen a retirar 1.2 toneladas de CO<sub>2</sub> del medio ambiente o a retirar 278 vehículos de circulación por un día.

### **c) Ventajas funcionales**

- La luz es de mejor calidad, más clara y refleja los colores reales
- Casi toda la energía que consume se convierte en luz visible, con una eficiencia mayor al 90%
- Son muy resistentes a impactos.
- No requieren balastro ni una instalación especial.
- Trabajan en un rango de tensión muy amplio (85 – 265 V.C.A.) de forma automática y entregando la misma intensidad luminosa
- Son 100% reparables en caso de falla
- En encendido es instantáneo.
- Prácticamente no hay degradación de luz antes de las 100,000 horas (<30%).

### **d) Desventajas**

- El precio es sin duda alguna una de las desventajas principales del LED, ya que su precio es comparativamente alto con respecto a los de vapor de sodio de alta presión.

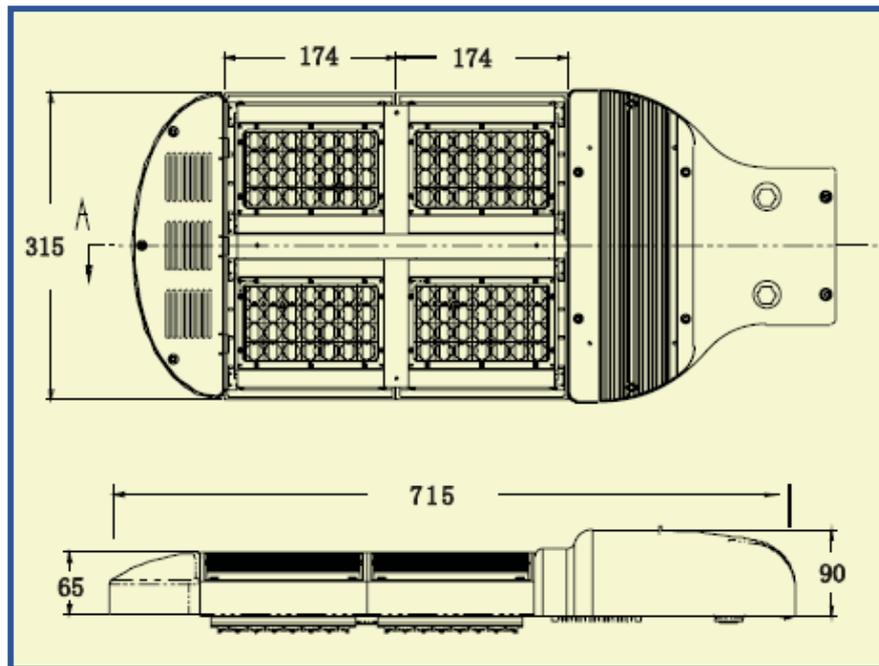


Figura N° 17: Dimensiones de la luminaria LED modelo LU4.  
Fuente: DMX Tecnologías.

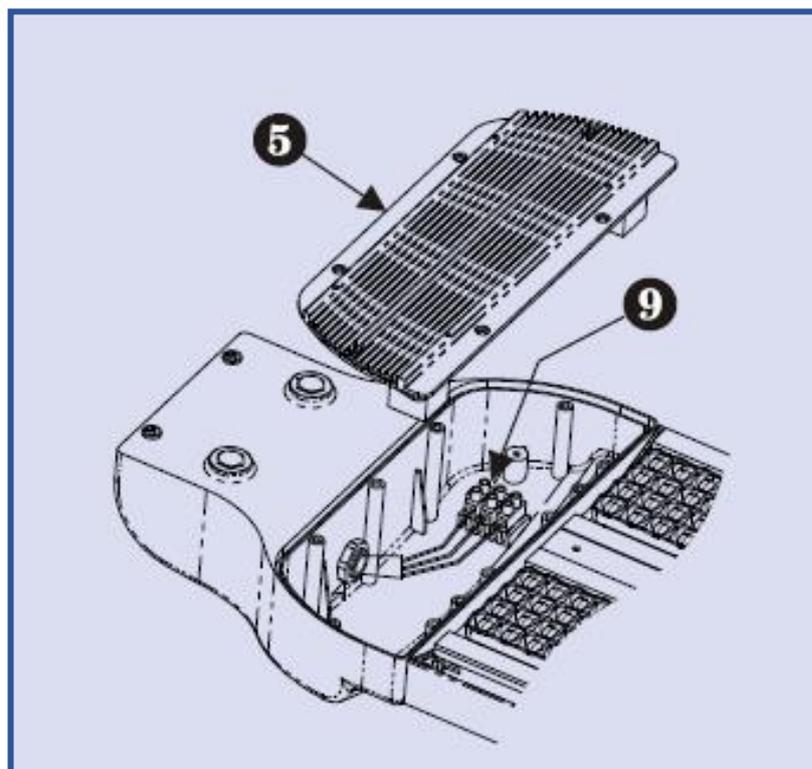


Figura N° 18: Estructura de la cavidad del driver de luminaria LED modelo LU4.  
Fuente: DMX Tecnologías.

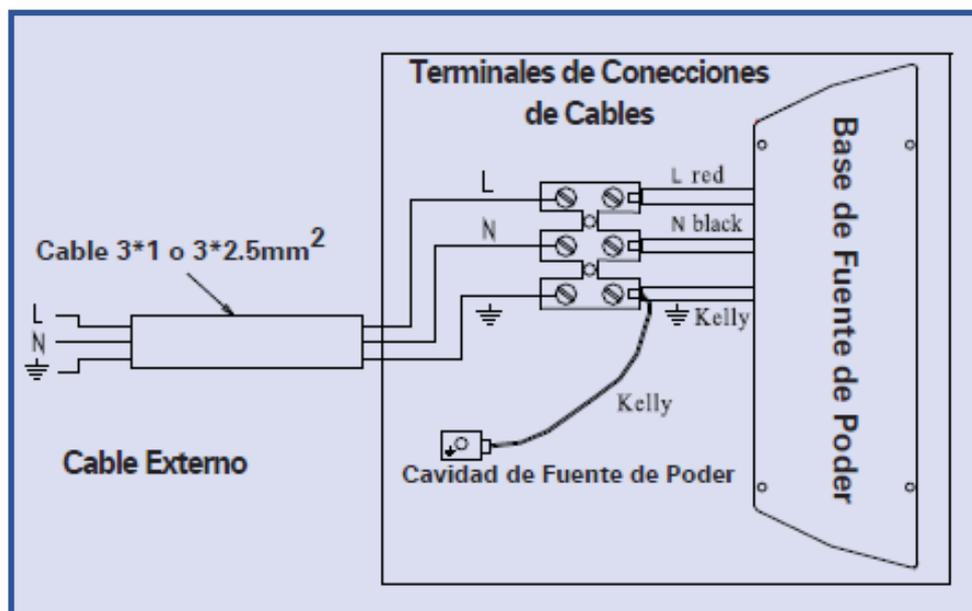


Figura N° 19: Diagrama de conexión.  
Fuente: DMX Tecnologías

#### 2.2.5.12. Método de instalación en poste del luminario LU4 del proveedor DMX Tecnologías S.A. de C.V.

- 1° Desmonte la tapa negra de hule ❶
- 2° Ajuste el aro al lugar apropiado de acuerdo con el diámetro del poste del luminario y después ponga el luminario de calle en el poste ❷
- 3° Ajuste los dos nudos M 10 en el aro, sujetando el luminario al poste, poniendo atención de ajustar el ángulo del luminario cuando los fije. ❸
- 4° Quite los seis tornillos del tablero, M5 dentro de seis ángulos, y saque el tablero de energía. ❹
- 5° Coloque el cable en la cavidad del tablero de energía por medio del accesorio para cable. ❺
- 6° Fije la cabeza del accesorio para cable (el cable debe tener suficiente largo para evitar que se rompa). ❻

7° Doble la cabeza del cable 6mm, conecta la unión, con el cable sin aislante y el cable cátodo, ponga los tornillos. ⑦

8° Ponga el tablero en el proveedor de energía para poder hacerlo resistente al agua (Nota: asegúrese que la parte sellada este seguro y sin arrugas). ⑧

9° Ponga la cubierta negra de hule y finalmente los tornillos. ⑨

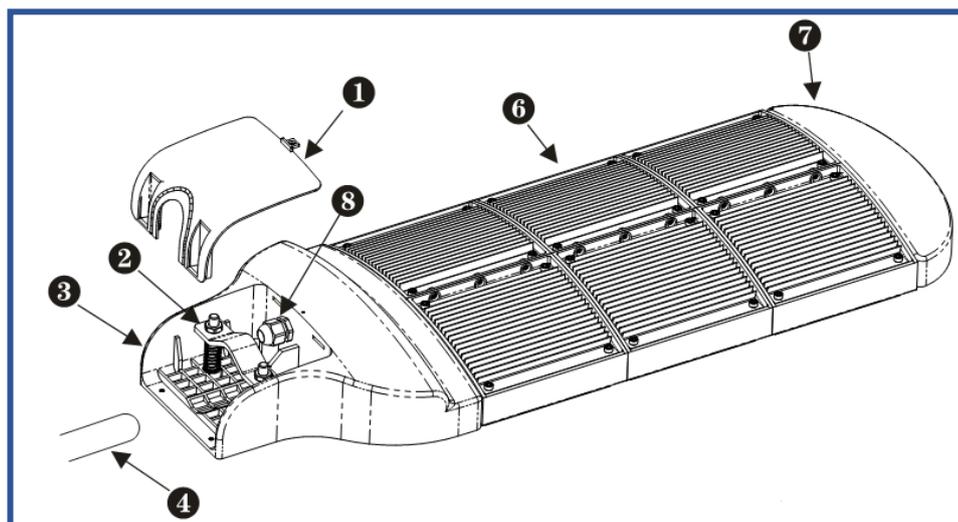


Figura N° 20: Partes de la luminaria LED.  
Fuente: DMX Tecnologías.

### 2.2.5.13. Figura para instalación de luminario

- 1) cubierta de hule
- 2) Aro
- 3) Canal de salida.
- 4) Poste de lámpara
- 5) Tablero de energía
- 6) Módulo y marco
- 7) Marco
- 8) Tornillo fijador para cable
- 9) Ensamble

El área de diámetro para el poste de la lámpara: DIA 40mm- DIA 60mm.

### 2.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO

Para elaborar un buen diseño del alumbrado público se deben tener en cuenta una serie de factores como lo son la visibilidad, factores económicos, estéticos, ambientales y características técnicas de los equipos.

El proceso para elaborar un buen diseño de alumbrado público cuenta con los siguientes pasos:

- Clasificación de la vía a iluminar.
- Selección de los valores en iluminación
- Selección de la luminaria y fuente de luz
- Selección del arreglo geométrico y cálculos

#### a) Clasificación de la vía a iluminar:

Las vías cuentan con una clasificación de acuerdo a la función de la vía, bajo el criterio funcional conforme al cuadro N° 2.

TIPO DE VÍA	TIPO DE ALUMBRADO	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO Y VÍA
EXPRESA	I	-Une zonas de alta generación de tránsito con alta fluidez.  -Accesibilidad a las áreas urbanas adyacentes mediante infraestructura especial (rampas).	-Flujo vehicular ininterrumpido. - Cruces a desnivel. -No se permite estacionamiento. -Alta velocidad de circulación, mayor a 60 km/h. -No se permite paraderos urbanos sobre la calzada principal. -No se permite vehículos de transporte urbano, salvo los casos que tengan vía especial.
ARTERIAL	II	-Une zonas de alta generación de tránsito con media o alta fluidez  - Acceso a las zonas adyacentes mediante vías auxiliares.	-No se permite estacionamiento. -Alta y media velocidad de circulación, entre 60 y 30 km/h. -No se permiten paraderos urbanos sobre la calzada principal. -Volumen importante de vehículos de transporte público.
COLECTORA I	II	Permite acceso a vías locales	-Vías que están ubicadas y/o atraviesan varios distritos. Se considera en esta categoría las vías principales de un distrito o zona céntrica. -Generalmente tienen calzadas principales y auxiliares. -Circulan vehículos de transporte público.

COLECTORA 2	III	Permite acceso a vías locales	-Vías que están ubicadas entre 1 o 2 distritos. -Tienen 1 o 2 calzadas principales, pero no tienen calzadas auxiliares. -Circulan vehículos de transporte público.
LOCAL COMERCIAL	III	Permite el acceso al comercio local	-Los vehículos circulan a una velocidad máxima de 30 km/h. -Se permite estacionamiento. -No se permite vehículos de transporte público. - Flujo peatonal importante
LOCAL RESIDENCIAL 1	IV	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado reducido. -Vías con calzadas asfaltadas, pero sin veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
LOCAL RESIDENCIAL 2	V	Permite acceso a las viviendas	-Vías con calzadas sin asfaltar. -Vías con calzadas asfaltadas, veredas continuas y con flujo motorizado muy reducido o nulo.
VÍAS PEATONALES	V	Permite el acceso a las viviendas y propiedades mediante el tráfico peatonal	- Tráfico exclusivamente peatonal.

Cuadro N° 2: Tipos de alumbrado según la clasificación vial.

Fuente: Norma técnica DGE alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución, 2002.

TIPO DE SUPERFICIE	TIPO DE CALZADA
Revestimiento de concreto	Clara
Revestimiento de asfalto	Oscura
Superficie de tierra	clara

Cuadro N° 3: Identificación de calzada.

Fuente: Norma técnica DGE “alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución”, 2002.

TIPO DE ALUMBRADO	LUMINANCIA MEDIA REVESTIMIENTO SECO ( cd/m2)	ILUMINANCIA MEDIA (LUX)		ÍNDICE DE CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO (G)
		Calzada clara	Calzada oscura	
I	1,5 – 2,0	15-20	30-40	>=6
III	1,0 – 2,0	10-20	20-40	5-6
III	0,5 – 1,0	5-10	10-20	5-6
IV		2-5	5-10	4-5
V		1-3	2-6	4-5

Cuadro N° 4: Niveles de luminancia, iluminancia.

FUENTE: Norma técnica DGE “alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución”, 2002.

**b) Selección de la luminaria y fuente de luz:**

Actualmente la fuente de luz más utilizada para el alumbrado público es la de sodio de alta presión debido a su eficiencia lumínica.

Para garantizar una buena selección de la luminaria y fuente de luz se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

**b.1) Fotométricos:**

La lámpara debe tener una buena distribución del flujo luminoso, Ser eficiente y controlar el deslumbramiento.

**b.2) Eléctricos y mecánicos:**

En lo posible las lámparas deben ser de fácil mantenimiento, deben mantener dentro de sus límites la temperatura de los elementos eléctricos internos, tener en su interior un terminal que facilite su conexión a tierra, deben ser seguras y servir de soporte y conexión a los demás elementos que se encuentran alojados en su interior.

**b.3) Estéticos:**

En cualquier estado que se encuentre, encendida o apagada, esta debe integrarse con el entorno que la rodea y crear un mejor ambiente.

**b.4) Selección del arreglo geométrico:**

Dependiendo del ancho de la vía a iluminar se debe escoger el arreglo geométrico de la iluminación de las mismas, para esto existen unos parámetros:

**b.4.1) Unilateral**

Se usa cuando la altura de la lámpara supera el ancho de la vía. Es decir que el ancho de la vía es inferior al alto de la instalación de la lámpara ( $W < H$ ).  
(mesa, 2009)

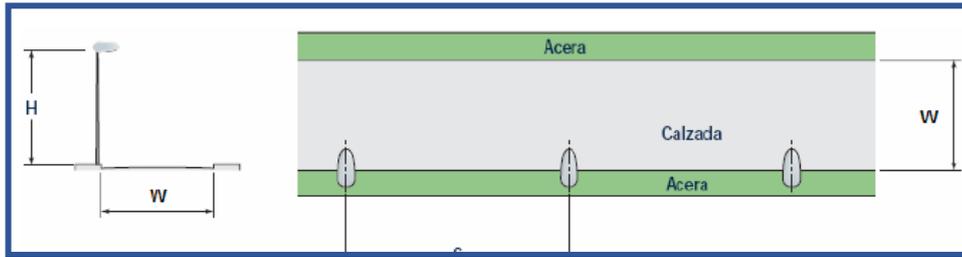


Figura N° 21: Arreglo unilateral (AutoCAD 2015).  
Elaboración: propia.

**b.4.2) Central Doble**

Es recomendable su uso cuando se presentan vías dobles con separador en el medio, el cual no debe ser menor a 1.5 m. (mesa, 2009).

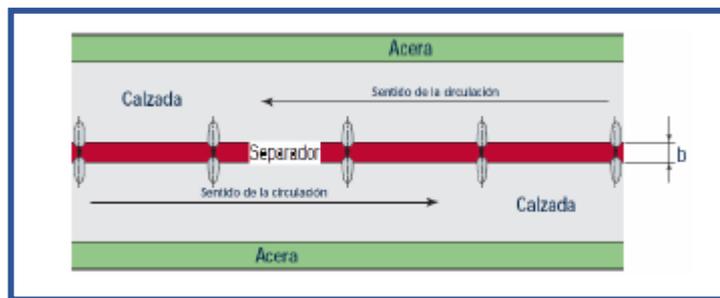


Figura N° 22: Arreglo central doble (AutoCAD 2015).  
Elaboración: propia.

**b.4.3) Bilateral Alternada**

Es muy usada cuando el ancho de la vía es ligeramente superior que la altura de montaje de la luminaria. ( $W > H$ ). (mesa, 2009).

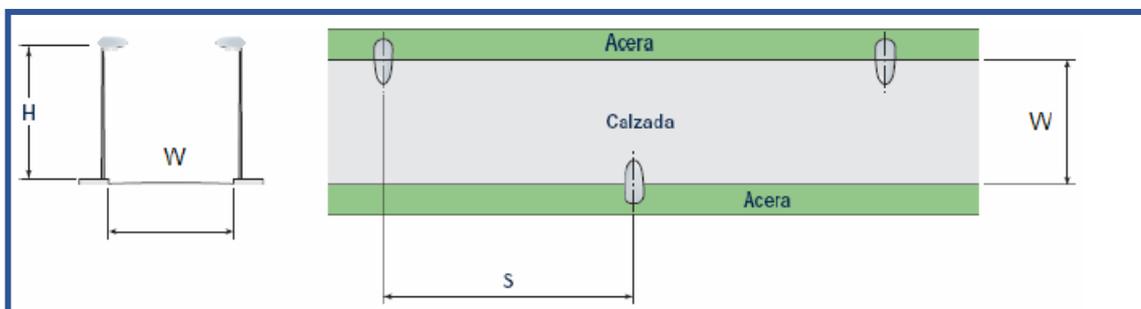


Figura N° 23: Arreglo bilateral alterna (AUTOCAD 2015).  
Elaboración: Propia.

#### b.4.4) Bilateral opuesta

Es muy usada cuando el ancho de la vía es mucho más grande que la altura de montaje de la luminaria. ( $W \gg H$ ). (mesa, 2009)

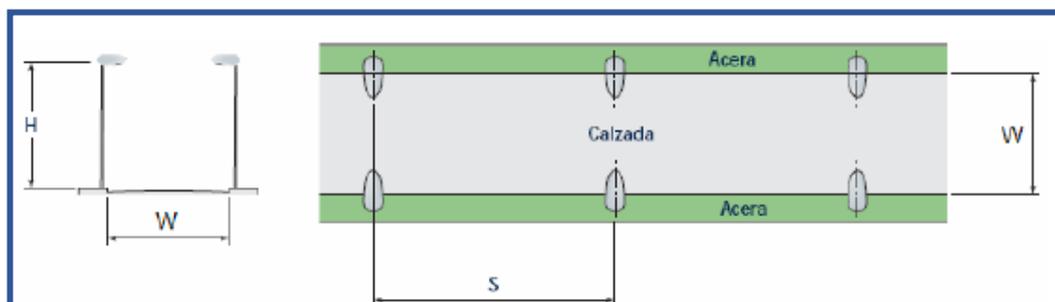


Figura N° 24: Arreglo bilateral opuesta (AUTOCAD 2015).  
Elaboración: Propia

### 2.4. CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA PROMEDIO DE UNA VÍA

Existen variados métodos que facilitan el cálculo de la luminancia promedio en una vía. Entre ellos se encuentran los siguientes:

#### 2.4.1. Cálculo de la iluminancia punto a punto.

Este método permite conocer la luminancia en puntos concretos y es de suma importancia ya que permite conocer la distribución de la iluminación en las instalaciones.

#### 2.4.2. Cálculo de iluminancia por el método de los lúmenes o coeficiente de utilización.

Este método consiste en calcular la distancia óptima entre dos postes que soportan las luminarias con el fin de que el nivel de luminancia media esté garantizado.

#### 2.4.3. Método de los 9 puntos

Este método consiste en el cálculo de la iluminación media de una vía por medio de la iluminación puntual en 9 puntos seleccionados dentro de la misma.

#### 2.4.4. Mediante el uso de software Visual Lighting

Con el transcurso del tiempo y de los avances de la tecnología se han creado diversos Software que facilitan la realización de los cálculos de luminancia en las vías. El software a utilizado es Visual Lighting.

#### 2.5. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

- a) **Altura de montaje.** Distancia entre la lámpara y el suelo.
- b) **Altura del poste.** Longitud nominal medida verticalmente cuando el poste queda montado, incluyendo su base.
- c) **Alumbrado público.** Sistema de iluminación de lugares o zonas públicas, con tránsito vehicular y peatonal, normalmente en exteriores, que proporciona una visión confortable durante la noche o en zonas oscuras.
- d) **Balastro.** Es un dispositivo electromagnético, electrónico o híbrido que limita la corriente de lámparas y cuando es necesario, la tensión y corriente de encendido.
- e) **Coefficiente de utilización.** Es la relación entre el flujo luminoso emitido por la luminaria que incide sobre el plano de trabajo y el flujo luminoso que emite(n) las(s) lámpara(s) solas del luminario.

Un coeficiente de utilización es derivado de la curva de utilización y es el porcentaje de lúmenes emitidos por la lámpara que incide en uno o dos áreas de longitud infinita, una que se extiende al frente del luminario (lado calle) y otra atrás del luminario (lado casa) cuando el luminario esta nivelado y orientado sobre la vialidad en una manera equivalente en la cual fue probado. Ya que el ancho de la vialidad esta expresado en términos de una relación de altura de montaje del luminario al ancho de la calle, este término no tiene unidades (unidimensional).

**f) Confort visual.** Grado de satisfacción visual producido por el entorno luminoso.

**g) Curva de distribución.** Es la representación gráfica del comportamiento de la potencia luminosa emitida por una luminaria, se representa en coordenadas polares y sus valores están dados en candelas.

**h) Curva Isolux.** Son curvas que representan iguales niveles de iluminación sobre un plano de trabajo.

**i) Deslumbramiento.** Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo.

**j) Eficacia de una Lámpara.** Es el flujo luminoso emitido por una lámpara entre la potencia eléctrica (Watts) que requiere para operar, se expresa como lumen/W.

**k) Flujo luminoso.** Es la magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa y se define como: Potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, se mide en Lumen (Lm).

**l) Iluminancia ( $E=d\Phi/dA$ ).** Es la relación del flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, la unidad de medida es el lux (lx).

**m) Intensidad luminosa.** La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada, es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes. Su unidad es la candela.

**n) Luminancia (L).** La luminancia es un punto de una superficie y en una dirección dada, se define como la intensidad luminosa de un elemento de esa

superficie, dividida por el área de la proyección ortogonal de este elemento sobre un plano perpendicular a la dirección considerada. La unidad de medida es la candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

**o) Lux.** Se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 metro cuadrado, cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de 1 lumen  $\text{Lux} = \text{lumen}/\text{m}^2$

**p) Temperatura de Color.** Es una medida del color de la luz emitida por un cuerpo a una temperatura en particular, es expresada en grados Kelvin ( $^{\circ}\text{K}$ ).

## 2.6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

### 2.6.1. Hipótesis general

Mediante el análisis técnico económico de la iluminación con tecnología led en el sistema de alumbrado público vial de la av. Mártires 4 de Noviembre se logrará mejorar la iluminación, ahorrar el consumo de energía eléctrica y disminuir los costos por consumo de energía.

### 2.6.2. Hipótesis específicas

a) Considerando los parámetros de diseño: potencia, lux y CRI nos permitirá determinar un óptimo sistema de iluminación.

b) Utilizando luminarias con tecnología led, se obtiene el sistema óptimo de la iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre.

### CAPITULO III

#### DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El método de diseño es descriptivo y aplicativo.

##### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

**a) Población:** Para este proyecto de investigación, se considera como población a investigar, el sector de distribución de energía eléctrica.

**b) Muestra:** La muestra será los parámetros que se tendrá del sistema de iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre de la ciudad de Juliaca.

### 3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

#### 3.3.1. UBICACIÓN

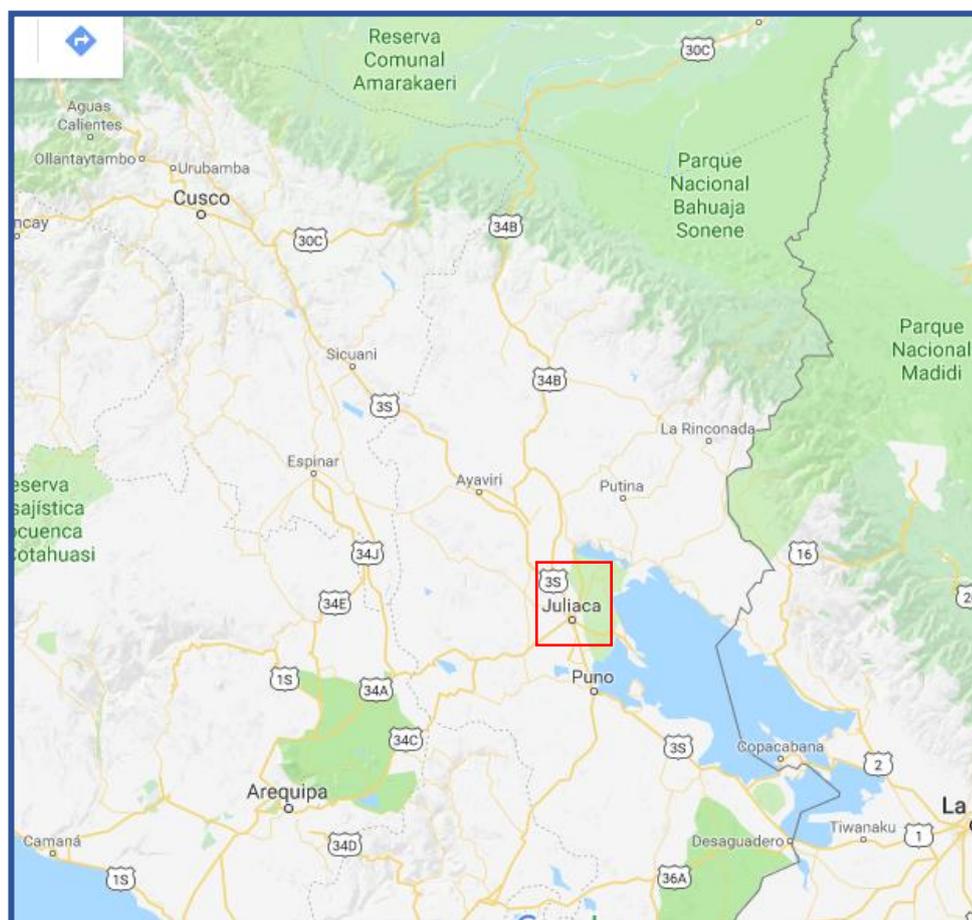


Figura N° 25: Ubicación de área de estudio.

Fuente: <https://www.google.com.pe/maps/@-14.8466876,-70.1617119,7.5z>

#### a.- Ubicación geográfica:

- Región : Puno.
- Provincia : San Román.
- Distrito : Juliaca.
- Altitud : 3825 m.s.n.m.
- Salida a Puno

### b.- Características geográficas

La zona que comprende el proyecto posee una topografía con la presencia de cerros, pero no tanto pronunciados y zonas planas típico del altiplano peruano, así mismo podemos mencionar las siguientes características:

Descripción	Semestres	
	Mayo – Octubre	Noviembre – Abril
Clima	Frígido y seco	Frígido y lluvioso
Temperatura mínima °C	-10 °C	0 °C
Temperatura máxima °C	18 °C	20 °C
Temperatura media °C	15 °C	15 °C
Humedad relativa	50	90
Velocidad del viento km/h	90	90

CUADRO N° 5: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS.

Fuente: SENAMHI.

### 3.3.2. DESCRIPCION DE LA POBLACION

La población de Juliaca según el censo de 2015, cuenta con 278 444 habitantes, repartidos de la siguiente manera: hispanohablantes, quechuahablantes y habla aimara, Juliaca esa capital del distrito y de la provincia de San Román, concentra a 278 444 habitantes, además la provincia concentra alrededor del 30 % de la población urbana y el 41 % del comercio en la región Puno.

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

#### 3.4.1. Recolección de información:

Se recolecto información de fuentes como Internet, libros o trabajos anteriormente realizados, para elaborar un documento resumido en el que se expongan característica, diferencias y beneficios de las luminarias LED.

#### 3.4.2. Trabajo de campo:

Para determinar la necesidad de implementar un nuevo sistema de iluminación público ahorrador de energía, se partió a tomar mediciones a las

luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250W actualmente instalados en la Av. Mártires 4 de noviembre, la cantidad de intensidad luminosa que estas producen de acuerdo a una determinada geometría que se muestra en la FIG: 28.

### 3.4.3. Instrumentos utilizados:

#### a.- Luxómetro:

Marca : PRASEK PREMIUM.

Modelo : PR – 382.

Unidad de medida : LUX.



Figura N° 26: Luxómetro.

Fuente: <http://irelectronics.pe/wp-content/uploads/2017/03/PR-382.gif>

#### b.- Multímetro digital (Tipo Pinza):

Marca : HURRICANE.

Modelo : HR-203.

Unidad de medida : AMPERIOS, VOLTIOS, OHMIOS, HERTZ.



Figura N° 27: Pinza amperimétrica.

Fuente: <https://toolboom.com/nfs/product/822358/image/480/digital-clamp-meter-uni-t-ut202.jpg>

### **3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Una vez realizado la recolección de datos a través de la observación directa con el instrumento luxómetro, se da inicio con la fase de procesamiento y análisis de datos.

### **3.6. TRATAMIENTO DE DATOS**

#### **3.6.1. Toma de datos de intensidad de iluminación de vapor de sodio de alta presión**

Se crea el siguiente arreglo para la toma de datos de la intensidad de iluminación que emite las luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250W.

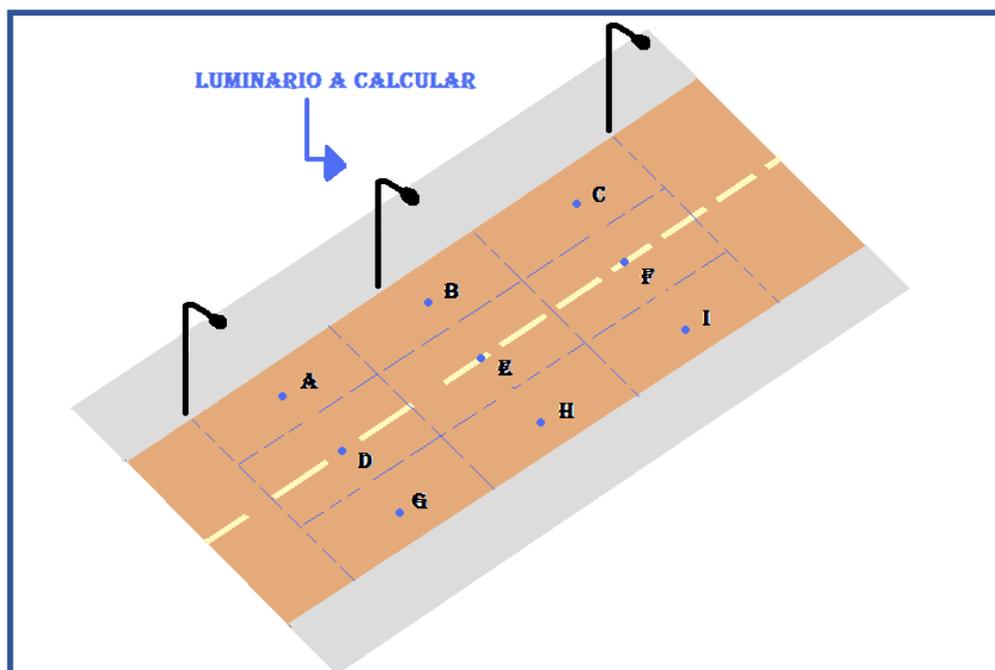


Figura N° 28: Distribución de nueve puntos (Autocad 2015)  
Elaboración: Propia.

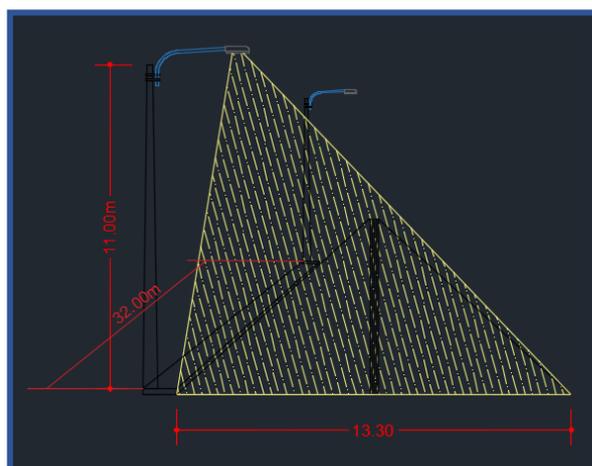


Figura N° 29: Dato tomado del punto "A".  
Elaboración: Propia.

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>8.68</b>

Cuadro N° 6: Nivel de iluminación del punto "A".  
Elaboración: Propia.

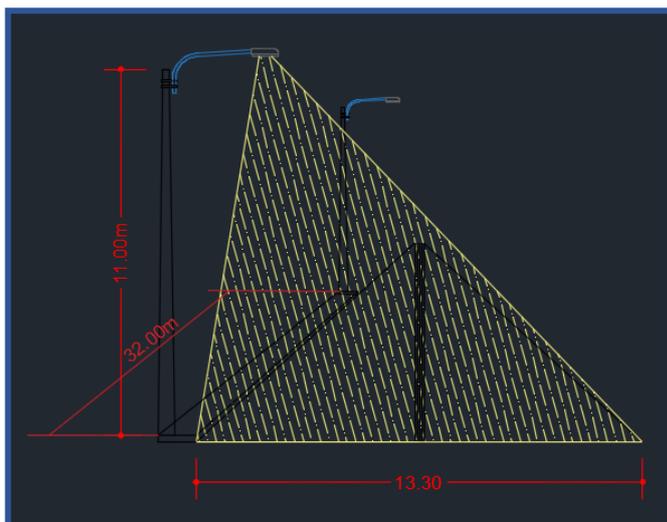


Figura N° 30: Dato tomado del punto "B".  
Elaboración: Propia.

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>10.46</b>

Cuadro N° 7: Nivel de iluminación del punto "B".  
Elaboración: Propia

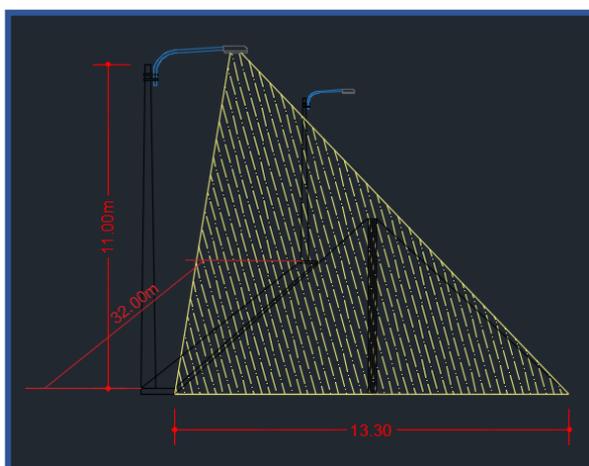


Figura N° 31: Dato tomado en el punto "C".  
Elaboración: Propia.

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>8.68</b>

Cuadro N° 8: Nivel de iluminación del punto "C".  
Elaboración: Propia.

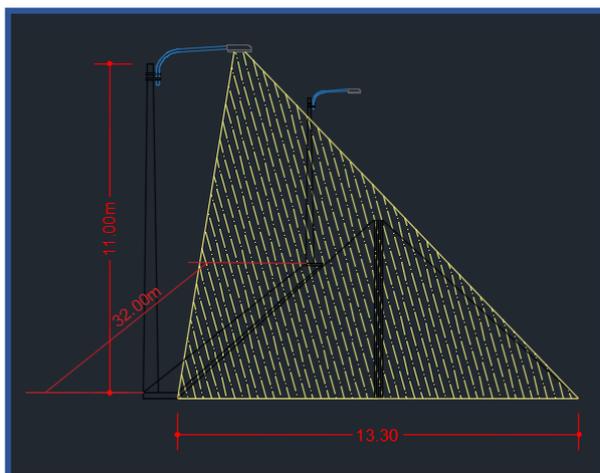


Figura N° 32:Dato tomado en el punto “D”.  
Elaboración: Propia.

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>8.68</b>

Cuadro N° 9:Nivel de iluminación del punto “D”.  
Elaboración: Propia.

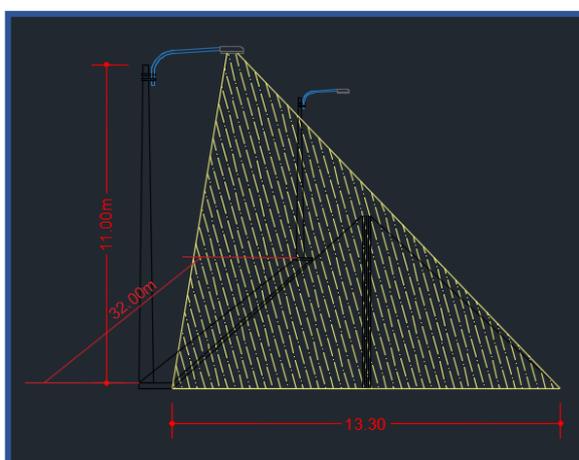


Figura N° 33:Dato tomado en el punto “E”.  
Elaboración: Propia.

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>8.11</b>

Cuadro N° 10:Nivel de iluminación del punto “E”.  
Elaboración: Propia.

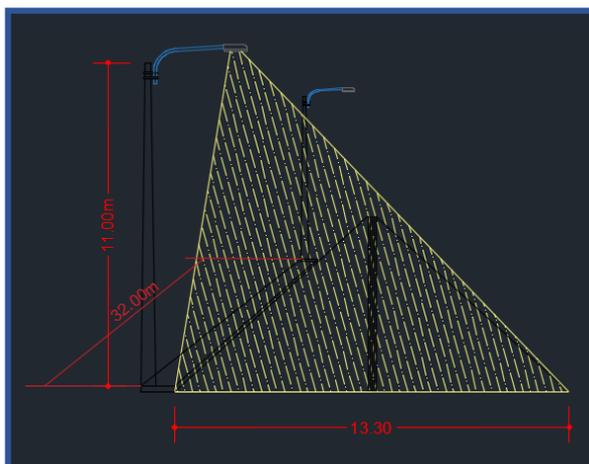


Figura N° 34: Dato tomado en el punto "F".  
Elaboración: Propia.

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>8.68</b>

Cuadro N° 11: Nivel de iluminación del punto "F"  
Elaboración: Propia

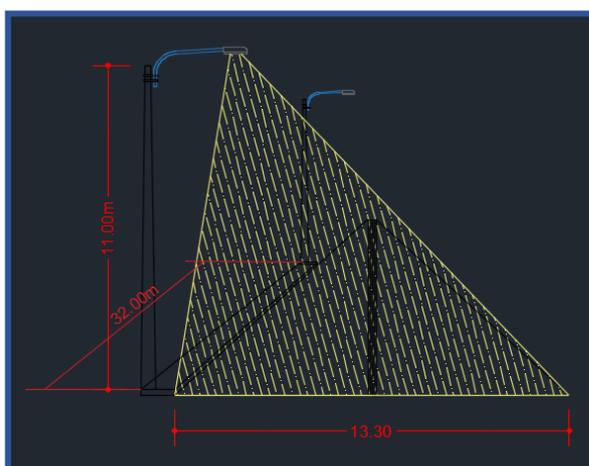


Figura N° 35: Dato tomado en el punto "G".  
Elaboración: Propia.

Cuadro N° 12: Nivel de iluminación del punto "G"

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>6.69</b>

Cuadro N° 12: Nivel de iluminación del punto "G".  
Elaboración: Propia

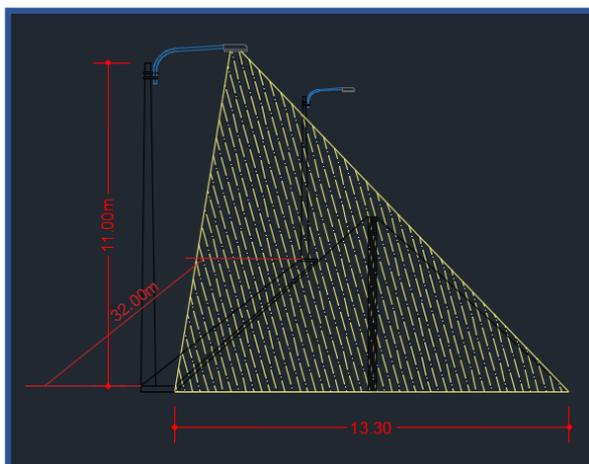


Figura N° 36: Dato tomado en el punto "H".  
Elaboración: Propia

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>7.09</b>

Cuadro N° 13: Nivel de iluminación del punto "H".  
Elaboración: Propia

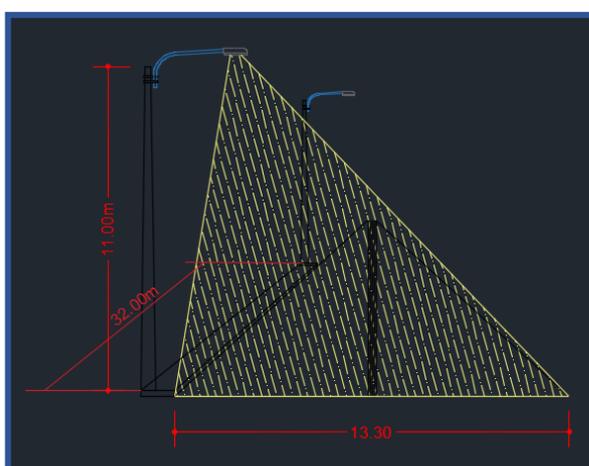


Figura N° 37: Dato tomado en el punto "I".  
Elaboración: Propia

Tipo	Potencia	Altura de instalación	tipo de superficie	Tipo de calzada	Iluminancia medida (Lux)
Lampara de alta presión	250 W	11.00 m	Revestimiento de asfalto	Oscura	<b>6.69</b>

Cuadro N° 14: Nivel de iluminación del punto "I".  
Elaboración: Propia

Cuadro N° 15: Tabla de resumen de intensidad de iluminación en el arreglo de los 9 puntos con luminaria vapor de sodio de alta presión

PUNTO	DISTANCIA EJE X	DISTANCIA EJE Y	CANTIDAD DE ILUMINANCIA (LUX)
A (1)	-21.68	-2.10	<b>8.68</b>
B (2)	0.000	-2.10	<b>10.46</b>
C (3)	21.68	-2.10	<b>8.68</b>
D (4)	-21.68	-6.266	<b>8.68</b>
E (5)	0.000	-6.266	<b>8.11</b>
F (6)	21.68	-6.266	<b>8.68</b>
G (7)	-21.68	-10.443	<b>6.69</b>
H (8)	0.000	-10.443	<b>7.09</b>
I (9)	21.68	-10.443	<b>6.69</b>

Cuadro N° 15: Tabla de iluminación de arreglo de los 9 puntos de luminaria VSAP 250W.  
Elaboración: Propia.

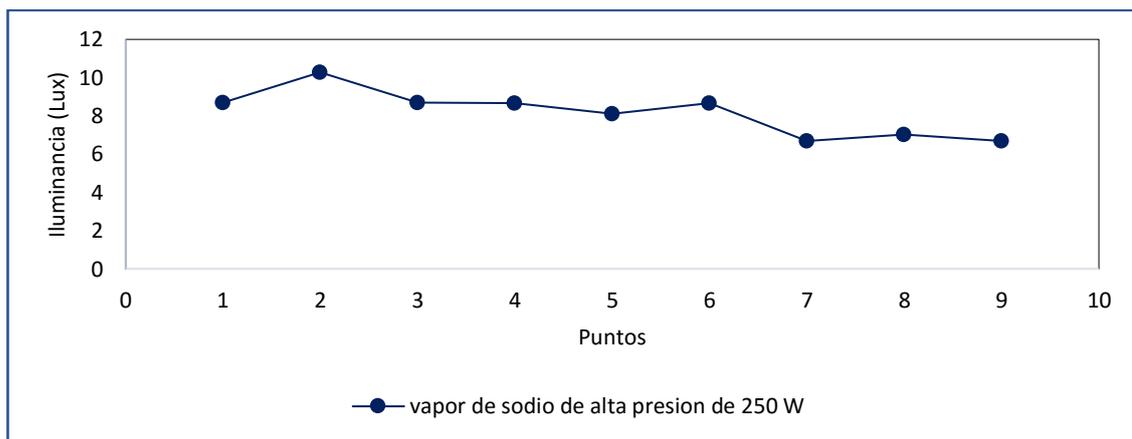


Gráfico N° 1: Cantidad de intensidad de iluminación de luminaria VSAP 250W.  
Elaboración: Propia

### 3.6.2. Calculo de iluminación con luminarias con tecnología led

En la siguiente figura se muestra los valores calculados con el software Visual Lighting de las luminarias led DMX modelo LU4 de 112 W.

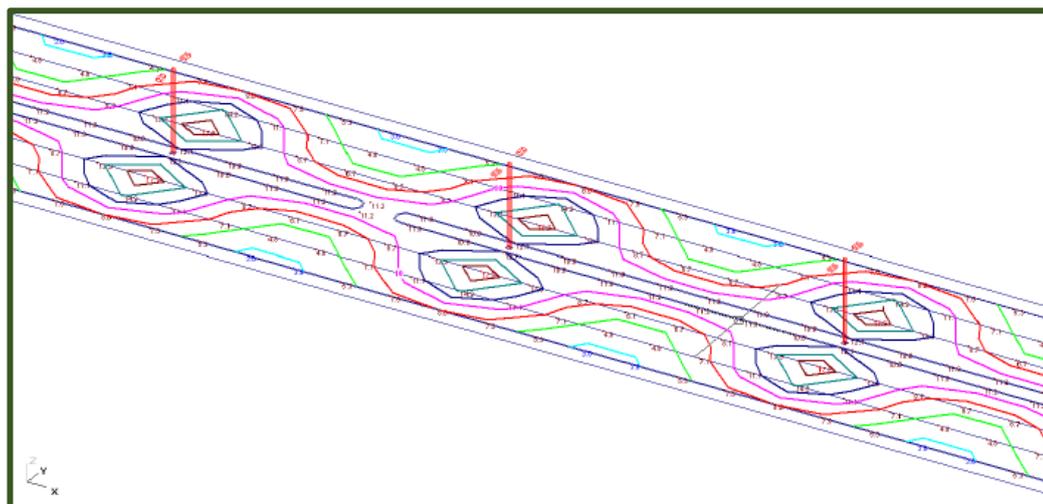


Figura N° 38: Intensidad de iluminación (simulación software visual lighting).  
Elaboración: Propia.

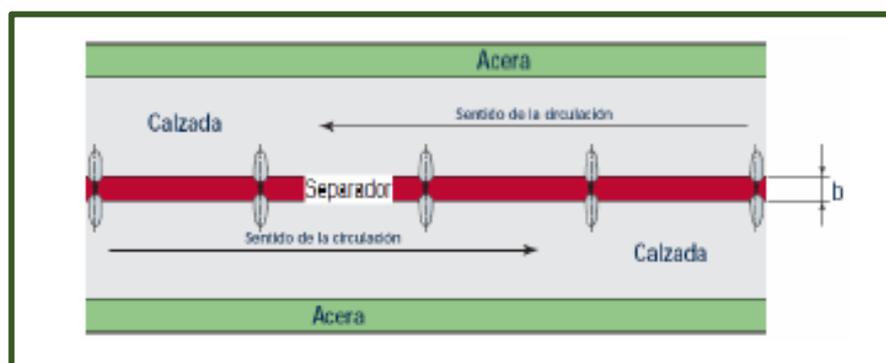


Figura N° 39: Distribución de postes tipo bilateral doble.  
Elaboración: propia.

23.4	23.3	22.7	21.1	19.8	19.7	20.9	22.5	23.3	22.5	20.8	19.7	19.9	21.2	22.8	23.4	23.4	23.5	22.2	20.5	19.6	19.9	21.1	22.6	22.8	21.5	20	19	19.4	20.8	22.1	21.8	
26	25.7	26.1	24.7	22.3	20.6	20.1	20	20.4	20.6	20.3	19.9	20.1	20.6	22.4	24.9	26.3	25.9	26.2	24	21.6	20.3	20	19.7	20.1	20	19.6	19.6	19.9	20.7	22.7	24.8	25.2
29.7	29.4	30.1	27.7	24.6	22.7	20.7	18.2	17.3	17.4	17.3	18.2	20.7	22.8	24.7	27.8	30.2	29.6	29.8	26.7	24	22	19.7	17.4	17	16.9	16.8	18.4	21	23	25.1	28.2	29
31.1	31	31.6	28.8	25.1	22.1	18.2	15.7	14.8	14.7	14.8	15.7	18.2	22	25.2	28.9	31.5	30.9	31.1	27.7	24.2	20.6	17.3	14.9	14.7	14.6	14.7	16.6	19.5	22.8	26.4	29.9	30.4
43.7	42.3	44.6	40.4	34.4	27.5	22.3	18.6	16.7	17.2	16.7	18.6	22.4	27.7	34.6	40.7	45	44.3	38.9	32.2	26.3	21.2	17.7	16.8	17.1	17.2	20	24.1	29.7	36.3	42.3	43.6	
45.1	45.3	46.3	41.4	34.7	28.2	22.9	19.1	17	17.5	17	19	22.9	28.2	34.7	41.4	46.2	45	39.4	32.5	26.3	21.5	18.1	16.9	17.3	17.2	19.9	24.2	29.8	36.4	42.5	44.3	
46.1	45.3	44.4	34.7	28.2	22.9	19.1	17	17.5	17	19	22.9	28.2	34.7	41.4	46.2	45	39.4	32.5	26.3	21.5	18.1	16.9	17.3	17.2	19.9	24.2	29.8	36.4	42.5	44.3	46.1	
43.7	42.3	44.6	40.4	34.4	27.5	22.3	18.6	16.7	17.2	16.7	18.6	22.4	27.7	34.6	40.7	45	44.3	38.9	32.2	26.3	21.2	17.7	16.8	17.1	17.2	20	24.1	29.7	36.3	42.3	43.6	
31.1	31	31.6	28.8	25.1	22.1	18.2	15.7	14.8	14.7	14.8	15.7	18.2	22	25.2	28.9	31.5	30.9	31.1	27.7	24.2	20.6	17.3	14.9	14.7	14.6	14.7	16.6	19.5	22.8	26.4	29.9	30.4
29.7	29.4	30.1	27.7	24.6	22.7	20.7	18.2	17.3	17.4	17.3	18.2	20.7	22.8	24.7	27.8	30.2	29.6	29.8	26.7	24	22	19.7	17.4	17	16.9	16.8	18.4	21	23	25.1	28.2	29
26	25.7	26.1	24.7	22.3	20.6	20.1	20	20.4	20.6	20.3	19.9	20.1	20.6	22.4	24.9	26.3	25.9	26.2	24	21.6	20.3	20	19.7	20.1	20	19.6	19.6	19.9	20.7	22.7	24.8	25.2
23.4	23.3	22.7	21.1	19.8	19.7	20.9	22.5	23.3	22.5	20.8	19.7	19.9	21.2	22.8	23.4	23.4	23.5	22.2	20.5	19.6	19.9	21.1	22.6	22.8	21.5	20	19	19.4	20.8	22.1	21.8	

Figura N° 40: Intensidad de iluminación con luminaria tecnología LED DMX modelo LU4 de 112W.

Elaboración: Propia

PUNTO	DISTANCIA EJE X	DISTANCIA EJE Y	CANTIDAD DE ILUMINANCIA (LUX)
A (1)	-21.68	-2.10	<b>22.6</b>
B (2)	0.000	-2.10	<b>44.85</b>
C (3)	21.68	-2.10	<b>22.6</b>
D (4)	-21.68	-6.266	<b>19.5</b>
E (5)	0.000	-6.266	<b>30.55</b>
F (6)	21.68	-6.266	<b>19.50</b>
G (7)	-21.68	-10.443	<b>19.90</b>
H (8)	0.000	-10.443	<b>24.75</b>
I (9)	21.68	-10.443	<b>19.90</b>

Cuadro N° 16: Intensidad de iluminación de luminaria con tecnología LED 112W.

Elaboración: Propia

Gráfico N° 02: Valores de la cantidad de intensidad de iluminación de la luminaria con tecnología led LED DMX modelo LU4 de 112 W

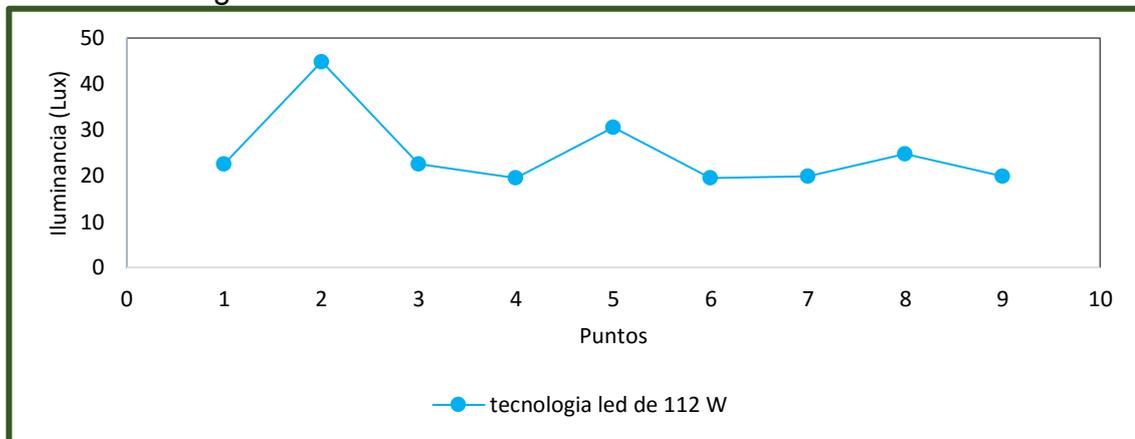


Gráfico N° 2: iluminación de luminaria con tecnología LED DMX LU4 de 112W.

Elaboración: Propia

### 3.6.3. Clasificación de la avenida Mártires 4 de noviembre

Según la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución” esta vía se clasifica como:

Tipo de vía : Colectora 1.

Tipo de alumbrado : II.

Tipo de calzada : Revestimiento de asfalto (oscura)

Iluminancia media : 20-40 (lux).

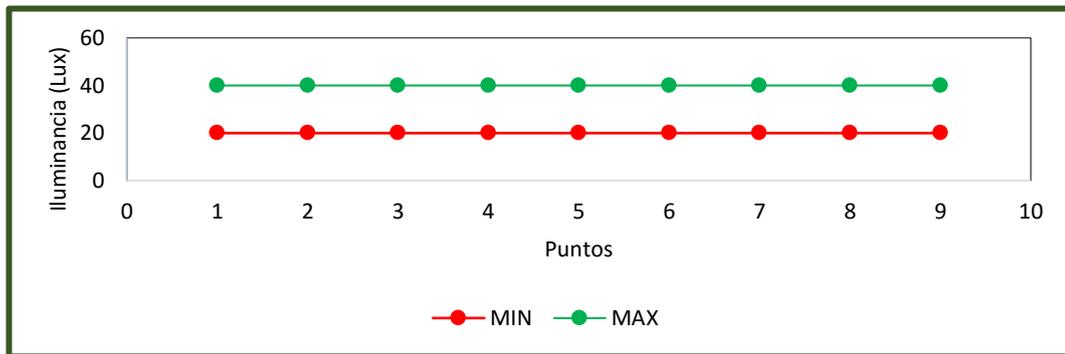


Gráfico N° 3: Nivel máximo y mínimo de iluminación según norma técnica DGE.  
Elaboración: Propia

### 3.6.4. Obtención de la carga instalada

Para determinar la carga útil se necesita aplicar la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{N_L * P}{1000} \quad \dots \text{(Ec. 01)}$$

Donde:

Q : Carga instalada

NL : Numero de lamparas

P : Potencia de lamparas

### 3.6.5. Determinación del consumo total de energía

Determinación del consumo total de energía. Para la obtención de este otro dato se aplica la ecuación:

$$C = \frac{Q * N_d * F_m * F_u * 24}{1 - P_R} \quad \dots \text{(Ec. 02)}$$

Donde:

C : Consumo total mensual

Q : Carga instalada

Nd : Número de días del mes

Fm : Factor de mantenimiento

Fu : Factor de utilización

1-PR : Eficiencia

### 3.6.6. Determinación del costo mensual

Para determinar el costo mensual aplicamos la siguiente ecuación:

$$C_{\text{mensual}} = Pr * C \quad \dots \text{ (Ec. 03)}$$

Donde:

$C_{\text{mensual}}$  : Consumo mensual en soles

C : Consumo total mensual

Pr : Precio del Kilowatt

### 3.6.7. Reproducción cromática

La obtención de este indicador de calidad se obtiene como una nota descendente desde un punto de vista máximo de referencia. 100 significa que todos los colores se reproducen perfectamente (lo que significa que los colores de los objetos iluminados con este tipo de luz serán muy próximos a los que se verán con luz natural) y conforme se va alejando de esta referencia se puede esperar mayores distorsiones en todos los colores disminuyendo la calidad en la percepción. (Chayña, 2014).

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. ANÁLISIS TÉCNICO DE INTESIDAD DE ILUMINACION

Se hace una comparación de los cálculos y valores tomados de la cantidad de intensidad de iluminación de la luminaria de vapor de sodio de alta presión de 250 W con las luminarias con tecnología Led de 112 W con los valores máximos y mínimos exigidos en la Norma Técnica DGE “Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución”.

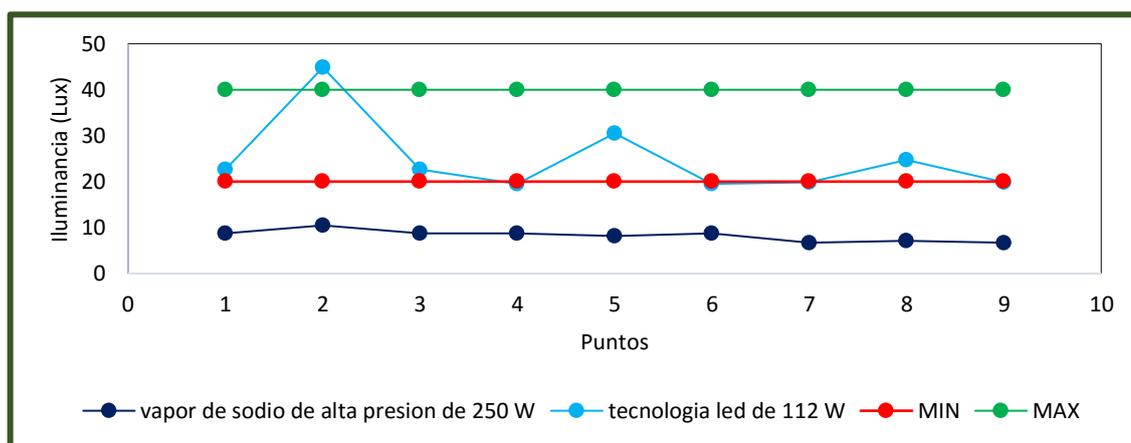


Gráfico N° 4: Comparación iluminación de luminaria VSAP y LED.  
Elaboración: Propia.

## 4.2. ANÁLISIS TÉCNICO DE CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA CON LUMINARIA VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN DE 250 W

### 4.2.1. Carga instalada

NL = 194 (plano de anexo)

P = 300 W (incluida pérdida en el balastro)

Se obtiene el resultado de acuerdo a la ecuación N° 01:

$$Q = \frac{194 * 300}{1000}$$

$$Q = 58.20 \text{ KW}$$

### 4.2.2. Consumo mensual de energía

Q : 58.20 KW

Nd : 30 días

Fm : 0.896

Fu : 0.5

1-PR : 0.9267

Se obtiene el resultado de acuerdo a la ecuación N° 02:

$$C = \frac{58.20 * 30 * 0.896 * 0.5 * 24}{0.962}$$

$$C = 19514.54 \text{ KWh}$$

### 4.2.3. Determinación del costo mensual

Se obtiene el resultado de acuerdo a la ecuación N° 03:

$$C_{\text{mensual}} = 0.6529 * 19514.54$$

$$C_{\text{mensual}} = 12741.04 \text{ Soles}$$

## 4.3. ANÁLISIS TÉCNICO DE CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA CON LUMINARIA DE TECNOLOGÍA LED DE 112 W

### 4.3.1. Carga instalada

NL = 194 (plano de anexo)

$P = 132 \text{ W}$  (incluida pérdida driver).

Se obtiene el resultado de acuerdo a la ecuación N° 01:

$$Q = \frac{194 * 132}{1000}$$

$$Q = 25.61 \text{ KW}$$

#### 4.3.2. Consumo mensual de energía

Q : 25.61 KW

Nd : 30 días

Fm : 0.896

Fu : 0.5

1-PR : 0.9267

Se obtiene el resultado de acuerdo a la ecuación N° 02:

$$C = \frac{25.61 * 30 * 0.896 * 0.5 * 24}{0.962}$$

$$C = 8586.40 \text{ KWh}$$

#### 4.3.3. Determinación del costo mensual

Pr : 0.6529 (Fuente Electro Puno).

Se obtiene el resultado de acuerdo a la ecuación N° 03:

$$C_{\text{mensual}} = 0.6529 * 8586.40$$

$$C_{\text{mensual}} = 5606.06 \text{ Soles}$$

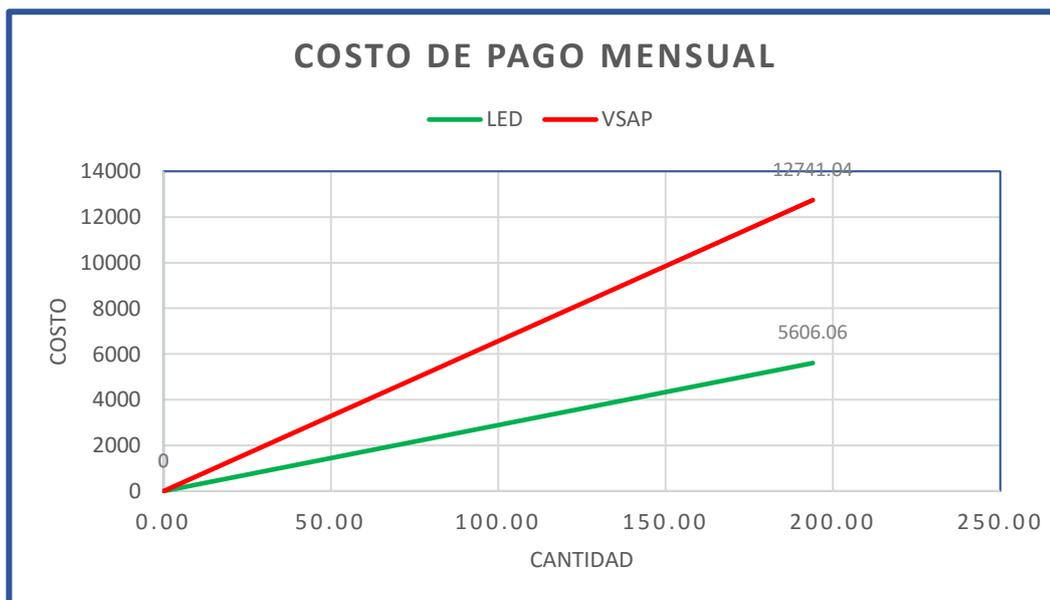


Gráfico N° 5: Comparación de costos de pago de energía en luminaria VSAP y LED.

Elaboración: Propia

Tipo	Consumo Teórico (W)	Consumo Real (W)	Carga Instalada (KW)	Consumo Mensual (KWh)	Costo mensual (S/.)
Vapor de Sodio	250	300	58.2	19514.54	12741.04
LED	112	132	25.61	8586.4	5606.06

Cuadro N° 17: Resumen de cálculos.

Elaboración: propia.

Tipo	Cantidad de Luminarias	P.U.	Numero de reposiciones	Total
Led	194	3125	1	606250
Vapor de Sodio	194	380	5	368600

Cuadro N° 18: Costo de inversión de luminarias.

Elaboración: propia.

Ahorro mensual	%	Diferencia de costos	Tiempo de Recuperación de inversión (Meses)	Tiempo de Recuperación de inversión (Años)
7134.98	56.00	237650	33.3	2.78

Cuadro N° 19: Tiempo de recupero de inversión.

Elaboración: Propia.

Parámetro	luminaria vapor de sodio de alta presión de 250 W	luminaria con tecnología LED de 112 W
Vida Útil	10 000 Hrs (corta)	50 000 Hrs (larga)
Consumo energético	muy alto	bajo
Velocidad de encendido	muy lento (5-10 min)	rápido (2seg)
Color de temperatura	Regular	excelente
Eficiencia óptica	Malo	excelente
Deslumbramiento	fuelle de deslumbramiento	no hay deslumbramiento
Contaminación al medio ambiente	Alto	ninguna
Potencia nominal (W)	250.00	112.00
perdidas (W)	50.00	20.00
potencia total por luminaria (W)	300.00	132.00

Cuadro N° 20: Comparación de análisis técnico de luminarias.  
Elaboración: propia.

#### 4.4. VERIFICACIÓN DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA

Al momento de hacer la contrastación se utiliza una bandeja con diferentes colores con su descripción escrita si se quiere y se toma una imagen con luz natural, luego utilizando la misma bandeja de colores se toma diferentes imágenes bajo las luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250 W y luminarias con tecnología led de 112 W bajo las mismas consideraciones de distancia de medición, hora lugar y equipo de toma de imagen.



Figura N° 41: Bandeja de colores utilizado para la contrastación de CRI.  
Elaboración: Propia

#### 4.4.1. Reproducción cromática con luminaria de vapor de sodio de alta presión de 250W.

Se pueden ver a continuación que se contrasta con la imagen obtenida con luz natural para la misma bandeja de colores.



Figura N° 42: Rendimiento de CRI de luminaria de VSAP.  
Elaboración: Propia

#### 4.4.2. Reproducción cromática con luminaria con tecnología LED de 112W

La reproducción cromática de las luminarias con tecnología Led se puede observar en la siguiente figura:



Figura N° 43: Rendimiento de CRI de la luminaria con tecnología LED.  
Elaboración: Propia

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se realizó el análisis técnico económico óptimo del sistema de iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre aplicando luminarias con tecnología led, donde se obtiene los datos óptimos de iluminación mínima de 19.50 lux, iluminación máxima de 44.85 lux, el índice de reproducción cromática (CRI) 70-80 un ahorro mensual de S/. 7134.95 soles

**SEGUNDO:** Se realizó el estudio de los parámetros de iluminación que muestra en el siguiente cuadro de las luminarias de vapor de sodio de alta presión de 250W, de las luminarias con tecnología led de 112W y se comparó con la norma técnica DGE alumbrado de vías públicas en zonas de concesión de distribución, se concluye que las luminarias vapor de sodio de alta presión de 250W no cumple las exigencias de la normativa, lo cual es todo lo contrario con la luminaria con tecnología Led de 112W que tiene un rendimiento óptimo.

**TERCERO:** La disminución por consumo de energía por mes por la implementación de luminaria con tecnología led es 10928.14 KWh que refleja un ahorro económico por pago de energía mensual la suma de S/. 7134.98 Soles a un costo de 0.6529 soles el KWh según los precios de Electro Puno que representa el 56% de ahorro en consumo de energía con respecto a la luminaria de vapor de sodio de alta presión de 250 W, el tiempo que se logra recuperar la inversión por la implementación de luminarias con tecnología led de 112 W es de 2.78 años.

## SUGERENCIAS

**PRIMERO:** Luego de realizado el estudio del análisis técnico - económico para la optimización del sistema de iluminación de la av. Mártires 4 de noviembre doy las siguientes recomendaciones:

**SEGUNDO:** Al realizar las mediciones tomar las medidas preventivas con señalizaciones y en horario donde circulen la menor cantidad de vehículos para así evitar algún peligro de accidente vehicular que pueda ocasionar al personal que efectuó las mediciones.

**TERCERO:** A la municipalidad provincial de San Román Juliaca, iniciar un proceso de cambio de las luminarias con tecnología LED.

Se recomienda realizar un análisis de la demanda de energía en alumbrado público de la región de Puno y los costos que estos demandan y así hacer un balance general de cuanta energía y costos se llegaría a ahorrar en este servicio.

**BIBLIOGRAFÍA**

- BY SCHEREDER. (201). CATALOGO LED GENERATION SCHEREDER. LED INNOVATION, 1, 25.
- CHAYÑA, W. M. (2014). ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE LAS LÁMPARAS DE ALTA PRESIÓN Y LÁMPARA LED EN ALUMBRADO PÚBLICO. PUNO.
- DATASHEET AEMC COMPANY. 200 FOXBOROUGH BLVD. FOXBOROUGH, MA 02035.
- DGE. (2002). NORMA TÉCNICA DGE “ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS EN ZONAS DE CONCESIÓN DE DISTRIBUCIÓN” 6 DE 47. PERÚ.
- DIGI-KEY ELECTRONICS. (2017). CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS LED DE CHIP EN PLACA. BIBLIOTECA DE ARTICULOS, 1, 1.
- ENRIQUEZ HARPER (2004). EL ABC DEL ALUMBRADO PUBLICO Y LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN BAJA TENSION.
- ERENOVABLE. (2009). REDUCCION DEL CONSUMO ELECTRICO CON LED. COLOMBIA.
- GOOGLE MAPS. (2018). Sitio web: <https://www.google.com.pe/maps/@-14.8466876,-70.1617119,7.5z>
- JOSE ANTONIO E. GARCIA ALVAREZ. (2015). ASÍ FUNCIONAN LOS DIODOS LEDs. 2017, de ASIFUNCIONA Sitio web: [http://www.asifunciona.com/fisica/af\\_leds/af\\_leds\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/fisica/af_leds/af_leds_3.htm).
- LEDINGLAB. (2009). ILUMINACION CON LEDS.
- LIGHTING, INC. 2845 S. ROBERTSON BLVD., LOS ANGELES, CA 90034, USA. 2012.

- LOMBILL GREEN. (2016). COMO MEDIR LA CALIDAD DE LAMPARA LED. 2017, de LOMBILL GREEN Sitio web: [http://lowbill.green/index.php/calidad\\_led](http://lowbill.green/index.php/calidad_led).
- LÓPEZ, E. M. (2009). ESTUDIO Y ANÁLISIS DE INGENIERÍA EN ALUMBRADO PÚBLICO CON LUMINARIOS DE LED EN LA PERIFERIA DEL RECLUSORIO NORTE. MEXICO.
- MARIA SUSANA BENJAMIN. (2009). PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA “LED” PARA LA ILUMINACION PÚBLICA EN ANTIOQUIA. 2017, de ESCUELA DE INGENIERIA DE ANTIOQUIA Sitio web: <http://www.casadelled.com.ar/Que%20es%20un%20led.htm>.
- MESA, M. S. (2009). PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA “LED” PARA LA ILUMINACION PÚBLICA EN ANTIOQUIA. ANTIOQUIA.
- O´DONELL, S. J. (2009). FUENTES LUMINOSAS. COLOMBIA.
- SISTEMES, D. (2009). VENTAJAS DE LED. MEXICO.
- TECNOLOGIAS, D. (2015). MANUAL DE ALUMBRADO PUBLICO DE LEDS DE ALTA INTENSIDAD. MANUAL DE ALUMBRADO PUBLICO DE LEDS DE ALTA INTENSIDAD.

ANEXOS

Anexo N° 1: Cotización luminaria vapor de sodio alta presión de 250W

## VITCERSSA S.A.C.

**Jr. Manuel Prado N° 400**  
RPM # 951662166 / RPC 989018447  
Julaca - San Román - Puno

RUC: 20448442650

CONTRATO

PROFORMA

001- N° 000325

Señor(es): *Mejoramiento y Rehabilitación de Infraestructura Vial*

Dirección: *de la Av. Independencia*

R.U.C. N°: \_\_\_\_\_ Guía de Remisión: \_\_\_\_\_

		FECHA		
		DÍA	MES	AÑO
		<i>07</i>	<i>05</i>	<i>15</i>

CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	P. UNIT.	IMPORTE
<i>110.</i>	<i>Equipo</i>	<i>Luminaria de 250w vapor sódico fabricado en plancha de aluminio p. embudo y anodizado, acabado exterior con pintura electroestática en polvo sistema óptico diseñado con reflector de aluminio 99.8% puro, de una pieza embudada cubierta opaca y policarbonato transparente resistente a radiación UV y al impacto. Las características mecánicas y eléctricas de la luminaria cumplen las especificaciones técnicas IEC-60598 IEC-60238</i>	<i>380.00</i>	<i>41800.00</i>
		<i>APLICACIONES: ideal para iluminación de vías públicas, edificaciones de exterior para iluminación de fachadas, entre otras.</i>		
		<i>Versiones: 1. con sistema de fijación mediante una abrazadera, puede instalarse en postes.</i>		
			<b>TOTAL</b>	<i>41800.00</i>

SON: *Mejoramiento y Rehabilitación de Infraestructura Vial*

VITCERSSA S.A.C.

Rolando S. Salazar Sures  
GERENTE GENERAL

*07/05/15*

CANCELADO

Total S/.

A Cuenta S/.

Saldo S/.

Elaboración: Propia



Anexo N° 3: Plano de distribución de luminarias en la Av. mártires 4 de noviembre de la ciudad de Juliaca: