

**REDUCCIÓN DE LOS COSTOS GENERADOS POR EL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA, MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL
DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ÁREAS ABIERTAS DEL TERMINAL
MARÍTIMO DEL OLEODUCTO CENTRAL S.A. (OCENSA) COVEÑAS**

**JADER ARMANDO ALDANA BARCINILLA
JESUS ALBERTO PEREZ PALENCIA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL CARIBE, CECAR
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS, INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SINCELEJO, SUCRE
2015**

**REDUCCIÓN DE LOS COSTOS GENERADOS POR EL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA, MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL
DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ÁREAS ABIERTAS DEL TERMINAL
MARÍTIMO DEL OLEODUCTO CENTRAL S.A. (OCENSA) COVEÑAS**

**JADER ARMANDO ALDANA BARCINILLA
JESUS ALBERTO PEREZ PALENCIA**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de
Ingeniero Industrial**

**Director
EBERTO PORTO MASS
Ingeniero Electricista**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL CARIBE, CECAR
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS, INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SINCELEJO, SUCRE
2015**

Nota de aceptación

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Sincelejo, viernes, 04 de septiembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y felicidad.

Les doy gracias a mis familiares, hermanos, padres y abuela, por apoyarme en todo momento, en especial a mis padres, Diana María Palencia y Luis Alberto Pérez por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

De igual forma, agradecer a mi padrino Yamil Castilla, por ser un amigo incondicional, por su apoyo y respaldo en la materialización de este logro.

A Yesica, por ser una parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y apoyo para alcanzar objetivos personales.

JESÚS ALBERTO PÉREZ PALENCIA

Agradezco ante todo a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de este camino, por ser mi fortaleza en todo momento y llenar mi vida de bendiciones.

Agradezco a mis padres María Elena Barcinilla Escorcía y Mario Aldana Góez por la dedicación, esfuerzo y amor que han puesto para que logre el mayor de los aprendizajes y hoy tenga una herramienta para luchar la vida.

Doy gracias a toda mi familia por el apoyo incondicional en este proceso de aprendizaje y en especial a Gina Polo quien me impulsa a ser mejor cada día.

Gracias al ingeniero Eberto Porto Mass por creer en este proyecto y brindarnos su conocimiento y confianza para llevar a cabo la meta de culminar a bien este proyecto.

Gracias a la Corporación Universitaria del Caribe – CECAR por abrirnos sus puertas y regalarnos la oportunidad de crecer en el infinito mundo del conocimiento y llenarnos de herramientas para ser más competitivos en el mundo empresarial.

JADER ALDANA BARCINILLA

RESUMEN

Los trabajos de grado “Evaluación del estado actual del sistema de iluminación de las áreas abiertas del terminal marítimo del oleoducto central s.a. (OCENSA) en Coveñas” (González, 2014)” y el actual “Reducción de los costos generados por el consumo de energía eléctrica, mediante la optimización del estado actual del sistema de iluminación de áreas las abiertas del terminal marítimo del oleoducto central s.a. (OCENSA) Coveñas” son proyectos investigativos realizados por fases, donde la fase I fue desarrollada por (González, 2014) y la fase II es la culminación de la investigación, la cual se plasma el presente documento.

La presente investigación aplica los principios de eficiencia energética los cuales hacen referencia a la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos con menor consumo de energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos. Dentro de las actividades desarrolladas, se proponen unas acciones que permitirán obtener una reducción en los costos operativos del sistema de iluminación de las áreas abiertas del terminal petrolero oleoducto central de Coveñas, optimizando el uso del recurso energético y generando ahorros a la empresa.

Se inicia con la investigación de bases teóricas para identificar tecnologías de iluminación, conocer aspectos positivos y negativos en la implementación de soluciones luminotécnicas exitosas en diversos proyectos.

Para el desarrollo del proyecto fue necesario investigar y conocer a cabalidad los aspectos referentes a la regulación vigente en cuanto a las exigencias lumínicas establecidas por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP) en Colombia, así como lo establecido en la Norma ISO 8995:2002, parte 3 “Iluminación de los sistemas de trabajo en exteriores”.

De igual forma, se analizan los resultados del diagnóstico técnico, referentes a los valores de Iluminancia en diversas áreas de trabajos realizado por Gonzales y Contreras en 2014. En este se identifican los requerimientos de iluminación y se muestran los resultados de Iluminancia actual. Con base en lo citado por (González, 2014) y por visita de campo, se identifican las actuales necesidades lumínicas y los elementos que se aprovechan para el nuevo sistema de iluminación.

Posteriormente, se realiza una evaluación de las tecnologías en luminarias de diversas características, donde se tienen en cuenta aspectos como requerimientos de visibilidad, cantidad y calidad de luz, confiabilidad en la percepción, comodidad visual, condiciones ambientales de la localidad vida útil de la lámpara, cantidad de lúmenes y relación eficiencia-costo. Se identifica la tecnología que favorece el nuevo sistema y se simula en el software DIALUX de tal forma que cumpla con los requisitos establecidos por RETILAP. De igual forma, se realiza la evaluación financiera donde se conoce el costo neto de la inversión para la optimización del sistema de iluminación y se realiza también el cálculo de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la relación Beneficio–Costo (B/C) y el retorno de la inversión en el tiempo de vida útil que el proveedor garantiza sobre las luminarias.

Palabras clave: eficiencia, energía eléctrica, reducción de costos, luminotecnia, tecnologías en iluminarias, circuito eléctrico, postes, RETILAP, vida útil, lúmenes, relación costo-beneficio.

ABSTRACT

This scientific research is focused on online study of energy efficiency, especially in efficiency of electricity, reducing energy consumption and thus reducing operating cost of the lighting system in open areas of the oil terminal core pipeline Coveñas, this research provides a solution to the problem situation identified undergraduate work EVALUATION OF THE CURRENT STATE OF OUTDOOR'S LIGHTING SYSTEM MARINE PIPELINE TERMINAL CENTRAL SA (OCENSA) IN COVEÑAS (González, 2014) .

It begins with the investigation of theoretical bases to identify lighting technologies, know strengths and weaknesses in the implementation of lighting solutions and equal legal regulation in which the project is framed.

Subsequently, a technology assessment luminary various features which take into account aspects such as life, and efficiency - cost lumens is performed. Technology that favors the new system are identified and simulated in software called DIALUX in a way that meets the requirements of RETILAP , just as does the economic evaluation, where the net cost of the investment to optimize the known illuminated , cost -benefit and return on the investment in the lifetime that the supplier guarantees about the luminaries.

Keywords: efficiency, power, cost reduction, lighting, lighting technologies, circuit, posts, RETILAP, lifespan, lumens, cost-benefit ratio.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	8
GLOSARIO	15
INTRODUCCIÓN	20
1. TÍTULO DEL PROYECTO	21
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4. JUSTIFICACIÓN.....	27
4.1 ALCANCES Y LIMITACIONES	28
5. MARCO TEÓRICO.....	29
5.1 ANTECEDENTES	29
5.2 MARCO CONTEXTUAL.....	33
6. BASES TEÓRICAS.....	36
6.1 ALUMBRADO PÚBLICO.....	36
6.2 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ILUMINACIÓN	36
6.2.1 <i>La luz</i>	36
6.2.2 <i>Espectro electromagnético</i>	37
6.2.3 <i>Magnitudes fotométricas</i>	39

6.2.3.1 Flujo luminoso	40
6.2.3.2 Intensidad luminosa	40
6.2.3.3 Iluminancia.....	40
6.2.3.4 Luminancia.....	41
6.2.3.5 Deslumbramiento	42
6.2.3.6 Rendimiento luminoso	42
6.2.4 Leyes de la luminotecnía.....	43
6.2.4.1 Ley fundamental.....	43
6.2.4.2 Ley del coseno.....	43
6.2.4.3 Iluminancia horizontal	44
6.2.4.4 Iluminancia vertical.....	45
6.2.5 Temperatura de color	46
6.2.6 Índice de reproducción de color (IRC).....	47
6.3 USO RACIONAL DE LA ENERGÍA (URE)	47
6.4 MEDIDAS LEGISLATIVAS PARA RACIONALIZAR EL CONSUMO DE ENERGÍA EN ALUMBRADO PÚBLICO.....	48
6.5 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ALUMBRADO PÚBLICO.....	48
6.6 SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.....	49
6.6.1 Lámparas incandescentes	49
6.6.2 Lámparas halógenas.....	50
6.6.3 Lámpara de descarga	51
6.6.3.1 Lámpara de mercurio a baja presión	51
6.6.3.2 Lámpara de sodio a baja presión	52
6.6.3.3 Lámpara de mercurio a alta presión	53
6.6.3.4 Lámpara de sodio a alta presión	54
6.6.4 Lámparas led	55
6.7 EXIGENCIAS AMBIENTALES DE LA ILUMINACIÓN.....	57
7. MARCO LEGAL	59

8. ASPECTOS METODOLÓGICOS	60
8.1 FASE 1: CONSULTA DE RESULTADOS ANTERIORES.....	60
8.2 FASE 2: CONSULTA DE REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.	62
8.3 FASE 3: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL DISEÑO.....	68
8.4 FASE 4: DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS QUE CONFORMARÁN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN OPTIMIZADO.....	70
8.4.1 <i>Determinación del estado actual de los componentes del sistema de iluminación</i>	70
8.4.2 <i>Determinación de elementos que se conservarán en el nuevo sistema</i>	75
8.5 FASE 5: DEFINIR LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A TENER EN CUENTA PARA INCORPORAR EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.	77
8.5.1 <i>Cálculo de Iluminancia en un punto:</i>	81
8.5.2 <i>Método Europeo</i>	82
8.6 FASE 6: REALIZAR LA PROYECCIÓN ECONÓMICA DEL CONSUMO GENERADO POR EL DISEÑO OPTIMIZADO.	84
8.6.1 <i>Cálculo del consumo del sistema de iluminación actual</i>	84
8.6.2 <i>Cálculo del consumo del sistema de iluminación optimizado</i>	86
8.6.3 <i>Relación costo – beneficio</i>	87
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	92
10. CONCLUSIONES.....	93
11. RECOMENDACIONES.	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS	100

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1.</i> Espectro electromagnético	38
<i>Ilustración 2.</i> Descomposición de un haz de luz blanca.....	39
<i>Ilustración 3.</i> Iluminancia sobre una superficie.....	41
<i>Ilustración 4.</i> Luminancia e Iluminancia	42
<i>Ilustración 5.</i> Ley del coseno.....	44
<i>Ilustración 6.</i> Iluminancia en plano horizontal	45
<i>Ilustración 7.</i> Iluminancia Vertical	46
<i>Ilustración 8.</i> Legislación para URE de alumbrado público.....	48
<i>Ilustración 9.</i> Lámpara incandescente	50
<i>Ilustración 10.</i> Lámpara halógena	51
<i>Ilustración 11.</i> Lámpara fluorescente tubular.....	52
<i>Ilustración 12.</i> Lámpara sodio de descarga de baja presión	53
<i>Ilustración 13.</i> Lámparas de mercurio a alta presión.....	54
<i>Ilustración 14.</i> Lámparas de sodio de alta presión	55
<i>Ilustración 15.</i> Diodo emisor de luz	56
<i>Ilustración 16.</i> Partes de un led.....	57
<i>Ilustración 17.</i> Recubrimiento exterior de luminaria.....	72
<i>Ilustración 18.</i> Estado físico de la carcasa de las luminarias.....	72
<i>Ilustración 19.</i> Estado físico exterior de la luminaria.....	73
<i>Ilustración 20.</i> Material especular opacado	73
<i>Ilustración 21.</i> Brazo y coraza de las luminarias	74
<i>Ilustración 22.</i> División de vía según método europeo	82
<i>Ilustración 23.</i> Valores de iluminancias medidos entre dos lámparas.....	83
<i>Ilustración 24.</i> Resultados simulación.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Mediciones de zonas de circulación vía Ecopetrol y vía tanques</i>	61
Tabla 2. <i>Clase de iluminación según el tipo de vía</i>	66
Tabla 3. <i>Designación de superficies según características típicas</i>	67
Tabla 4. <i>Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio en vías motorizadas</i>	68
Tabla 5. <i>Niveles promedio de iluminación inicial en Ocesa</i>	70
Tabla 6. <i>Características de diferentes tecnologías de lámparas</i>	77
Tabla 7. <i>Lámparas led para exteriores en el mercado</i>	79
Tabla 8. <i>Relación entre vida útil de las lámparas versus costo</i>	80
Tabla 9. <i>Costos de consumo actual del sistema de iluminación</i>	85
Tabla 10. <i>Costo de consumo teniendo en cuenta horas adicionales de trabajo de la fotocelda</i> ..	85
Tabla 11. <i>Evaluación de costos de consumo del sistema de iluminación propuesto</i>	86
Tabla 12. <i>Inversiones a realizar en el sistema de iluminación propuesto</i>	87
Tabla 13. <i>Costo de consumo de energía en los sistemas de iluminación actual y propuesta</i>	88
Tabla 14. <i>Vida útil de las lámparas del sistema de iluminación propuesto</i>	89
Tabla 15. <i>Proyección de costos y beneficios</i>	90
Tabla 16. <i>Inversión y beneficios bruto y neto del sistema de iluminación propuesto</i>	91

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Relación longitud de onda y frecuencia.....	37
<i>Ecuación 2.</i> Intensidad luminosa	40
<i>Ecuación 3.</i> Ecuación de iluminancia.....	40
<i>Ecuación 4.</i> Luminancia	41
<i>Ecuación 5.</i> Nivel de iluminación.....	43
<i>Ecuación 6.</i> Ley del coseno	44
<i>Ecuación 7.</i> Ecuación iluminancia horizontal	45
<i>Ecuación 8.</i> Iluminancia vertical	46
<i>Ecuación 9.</i> Iluminancia total en un punto	82
<i>Ecuación 10.</i> Cálculo iluminancia promedio método europeo	82

GLOSARIO

ALTURA DE MONTAJE (en una vía): distancia vertical entre la superficie de la vía por iluminar y el centro óptico de la fuente de la luz de la luminaria.

ARRANCADOR: dispositivo que por sí solo o en asocio con otros componentes, genera pulsos para encender bombillas de descarga sin precalentamiento.

BALASTO: elemento insertado en la red eléctrica o en una o más bombillas, el cual tiene como función limitar la corriente en las bombillas hasta el valor nominal de esta.

BOMBILLA: término genérico para denominar a cualquier fuente de luz eléctrica fabricada por el hombre.

CANDELA: Unidad del Sistema Internacional de la intensidad luminosa. Es la intensidad luminosa de una fuente en una dirección específica.

CONFIABILIDAD: Capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para cumplir una función requerida, en unas condiciones y tiempo dados. Equivale a fiabilidad.

DIFUSOR: elemento que sirve para dirigir o esparcir la luz de una fuente.

EFICACIA LUMINOSA: En iluminación se define como el cociente entre el flujo luminoso total emitido por una fuente y la potencia eléctrica con la que la fuente es excitada. Sus unidades son lúmenes /vatio [lm/W].

EFICIENCIA: capacidad de alcanzar un objetivo fijado con anterioridad en el menor tiempo posible y con el mínimo uso posible de los recursos, lo que supone una optimización.

EFICIENCIA DE UNA LUMINARIA: relación de flujo luminoso emitido por una luminaria y el emitido por una bombilla o bombillas usadas en su interior.

ENERGÍA RADIANTE: energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO VISIBLE: franja del espectro electromagnético comprendida entre las longitudes de onda de aproximadamente 380 nanómetros a 770 nanómetros. Las longitudes de onda inmediatamente inferiores a 380 nanómetros corresponden a radiación ultravioleta y las inmediatamente superiores a 770 nanómetros a radiación infrarroja.

FLUJO LUMINOSO: cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo.

FUENTE LUMINOSA: dispositivo que emite energía radiante capaz de excitar la retina y producir sensación visual.

ILUMINANCIA: Es la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su unidad es el Lux (Lx).

ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN DE COLOR (IRC): Capacidad de una fuente de luz, con una temperatura de color específica, para reproducir los colores de un objeto tan bien como una fuente de referencia con la misma temperatura de color.

INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN: son los circuitos eléctricos de alimentación, las fuentes luminosas, las luminarias y los dispositivos de control, soporte y fijación que se utilicen exclusivamente para iluminación interior y exterior de bienes de servicio público o privado.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA: Conjunto de aparatos eléctricos y de circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, rectificación, conversión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

INSPECCIÓN: Conjunto de actividades tales como medir, examinar, ensayar o comparar con requisitos establecidos, una o varias características de un producto o instalación eléctrica, para determinar su conformidad.

INTENSIDAD LUMINOSA: cantidad de flujo luminoso por cada unidad de ángulo sólido. Se expresa en candelas (cd) o en lúmenes por estereorradián (lm/sr).

LÁMPARA: fuente de luz artificial, con capacidad de convertir energía eléctrica en energía lumínica.

LÚMEN: unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional de Unidades.

LUMINANCIA: densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección específica. Su unidad es *candela/metro²* (cd/m^2).

LUMINARIA: aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las lámparas (excluyendo las mismas lámparas).

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (NTC): Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización.

ORGANISMO DE INSPECCIÓN: entidad que ejecuta actividades de medición, ensayo o comparación con un patrón o documento de referencia de un proceso, un producto, una instalación o una organización y confrontar los resultados con unos requisitos especificados.

POTENCIA NOMINAL DE UNA FUENTE LUMINOSA: potencia requerida por una fuente luminosa, según especificaciones del fabricante, para producir el flujo luminoso nominal.

REGLAMENTO TÉCNICO: documento en el que se establecen las características de un producto, servicio o los procesos y métodos de producción, con inclusión de las disposiciones administrativas aplicables y cuya observancia es obligatoria.

RETIE: Acrónimo del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas adoptado por Colombia.

RETILAP: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. El reglamento establece las reglas generales que se deben tener en cuenta en los sistemas de iluminación interior y exterior; dentro de estos últimos los de alumbrado público, en el territorio colombiano, inculcando el uso racional y eficiente de energía (URE) en iluminación.

RIESGO: Condición ambiental o humana cuya presencia o modificación puede producir un accidente o una enfermedad ocupacional. Posibilidad de consecuencias nocivas o perjudiciales vinculadas a exposiciones reales o potenciales.

SISTEMA DE ILUMINACIÓN: componentes de la instalación de iluminación y sus interrelaciones para su operación y funcionamiento.

TEMPERATURA DE COLOR: Temperatura absoluta de un cuerpo negro que tiene una cromaticidad igual a la de fuente de luz. Se expresa en grados Kelvin.

VIDA ECONÓMICA: periodo de tiempo transcurrido hasta cuando la relación entre el costo de reposición de la lámpara y el costo de los lumen-hora que sigue produciendo ya no es favorable. La vida económica depende del costo de las fuentes luminosas de reemplazo, del costo de su instalación (mano de obra) y del costo de la energía eléctrica.

VIDA FÍSICA: promedio de tiempo transcurrido antes de que una lámpara deje de funcionar completamente por haberse dañado cualquiera de sus componentes sin que hayan interferido agentes o influencias externas.

VIDA PROMEDIO: promedio de tiempo transcurrido, expresado en horas, de funcionamiento de un lote de lámparas antes de que haya dejado de funcionar la mitad de dicho lote.

VIDA ÚTIL: periodo de servicio efectivo de una fuente que trabaja bajo condiciones y ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso sea el 70% del flujo luminoso inicial.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se está generando la conciencia de optimizar cada vez más los sistemas de consumo eléctrico. Esto se busca teniendo en cuenta algunos parámetros como, eficiencia y costos, con el fin de brindar soluciones que permitan disminuir el consumo energético, ser más amigables con nuestro planeta y prestar un servicio de mayor calidad. Por tanto, los sistemas de iluminación actuales (subsistema del sistema de consumo eléctrico) deben ser capaces, desde cualquier punto de vista, de implantar soluciones tecnológicas con menor consumo de energía pero sin disminuir el confort en las personas.

Es fundamental tener en cuenta la calidad y cantidad de luz necesaria en función de la dependencia o área que se va a iluminar y de la actividad que en ella se realizará, puesto que hay labores y actividades que exigen mayores niveles de iluminación, como lo son las inspecciones en áreas abiertas y el transporte en vías asfaltadas, las cuales serán tratadas en este proyecto.

1. TÍTULO DEL PROYECTO

**REDUCCIÓN DE LOS COSTOS GENERADOS POR EL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA, MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE
ILUMINACIÓN DE LAS ÁREAS ABIERTAS DEL TERMINAL MARÍTIMO DEL
OLEODUCTO CENTRAL S.A. (OCENSA) COVEÑAS.**

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Oleoducto Central S.A. (OCENSA) es una empresa que básicamente transporta crudo desde diferentes localidades, Consta de siete estaciones desde Cusiana, Cupiagua, Porvenir, Miraflores, La Belleza, Vasconia, terminando en el Terminal Marítimo de Coveñas. Es esta última estación, base del presente estudio, se cuenta con una planta que consta de tres tipos de áreas; la primera comprende áreas cerradas como oficinas, centros de control de motores, bodega, taller y oficinas de operaciones de campo. La segunda abarca zonas semi cerradas como el cuarto de bombas principales, bombas de transferencia y la tercera está compuesta por espacios abiertos como vías, zona industrial y tanques. Todas estas áreas se encuentran iluminadas con lámparas de diferentes tipos de tecnologías y consumos, los cuales varían entre 40 W y 1000 W. Las lámparas que se encuentran instaladas actualmente en las áreas abiertas de todo el terminal son de Vapor de Sodio de Alta Presión (VSAP).

Actualmente el conjunto de luminarias que posee el sistema de iluminación en la estación presenta un estado de deterioro, *“debido a la acción del ambiente salino al que se encuentran expuestas sus partes físicas, desmejorando principalmente su carcasa o recubrimiento metálico”* (González, 2014). Además, se suma a esto el efecto las elevadas temperaturas que deben soportar durante el día, en zona costera, que ascienden a más de 50°C. Todos estos aspectos y los eventos climáticos conllevan también a opacar el cristal que protege la bombilla y así atenuar la luz que emiten

Debido a que no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo y/o correctivo totalmente efectivo del sistema de iluminación, ya que no involucra la revisión de todos los elementos de este (como por ejemplo la fotocelda, el cual es un elemento crítico de control del sistema de iluminación), existen períodos de tiempo en los que la operatividad efectiva de dicho sistema falla. Además algunos elementos de las luminarias dejan de funcionar por un tiempo significativo, ya que no son revisadas de manera inmediata luego de haberse detectado su mal

funcionamiento. (Ver Anexo 3). En Anexo 3 se puede observar una captura de pantalla del plan de mantenimiento preventivo del terminal para el sistema de iluminación, el cual es planificado desde el software SAP pm.

El sistema de control de encendido automático que poseen las lámparas está centralizado a una fotocelda o sensor de luz solar. El tamaño de la ventana de ingreso del haz de luz hacia este dispositivo es bastante reducido y además el acrílico protector se ha tornado de un color amarillo, el cual dificulta la recepción de la luz solar en el fotosensor (Ver Anexo 2). La ubicación de la fotocelda no es la adecuada, debido a que se encuentra en medio de dos edificios, los cuales proyectan una sombra sobre la ventana del fotosensor (Ver Anexo 1), tanto en la salida como en la puesta del sol. *“Esto provoca encendidos tempranos de la iluminación en horas de la tarde y un apagado tardío cuando la luz del sol ya es suficiente para laborar por la mañana. Estos retardos causan un tiempo de consumo extra aproximado de una hora diaria por lámpara”* (González, 2014).

En el estudio realizado de diagnóstico del sistema de iluminación en el oleoducto central de Colombia “OCENSA” en áreas abiertas, se identificaron deficiencias en la operatividad del sistema de iluminación, las cuales fueron encontradas realizando mediciones con un Luxómetro a una muestra de las luminarias del sistema. Del estudio de estas muestras se determinó *“que solo el 42% de las luminarias evaluadas brinda las condiciones de iluminación requeridas por la norma de referencia para este tipo de áreas (RETILAP, Tipo de vías clasificación M5, R4, Tabla 510.2.1 c y norma ISO 8995 -3)”* (González, 2014), por lo que se determina que el sistema de iluminación no está cumpliendo con la función esperada.

Como el funcionamiento del sistema de iluminación no es el adecuado, este no brindará las condiciones óptimas requeridas para la realización de labores por parte del personal, como operadores de campo, inspectores de calidad, personal que efectúa actividades de trabajo en alturas en horario nocturno y guardias de seguridad. Estas condiciones propician la posibilidad de materialización de los riesgos para la generación de accidentes de trabajo para dicho personal.

La disposición final de los residuos peligrosos de las lámparas de descarga de alta presión de sodio, es otro factor a tener en cuenta, ya que *“las lámparas de descarga de alta presión de sodio, poseen mercurio en 25 por ciento del total del gas interno de la lámpara”* (EuropeanLampCompanieFederation, 2010).

El mercurio es un metal pesado y existe de forma natural en el medio ambiente, este elemento se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos afectando a los seres humanos y a la vida silvestre (Martinez, quiroga, & zurbriggen, 2012), puede causar efectos adversos afectando el cerebro y sistema nervioso en desarrollo. En niños que estuvieron expuestos a metilmercurio en el útero, pueden aparecer alteraciones del pensamiento cognitivo, memoria, atención, lenguaje y habilidades motoras y visuales.

La gestión de recolección de estos residuos peligrosos se torna compleja en las lámparas, *“debido a las características limitantes de las lámparas (fragilidad, relación peso/volumen y forma) que hacen que cualquier operación de manipulación sea un proceso delicado”* (Martinez, quiroga, & zurbriggen, 2012, pág. 10).

Todos estos aspectos mencionados anteriormente, relacionados con las falencias e ineffectividad del sistema de iluminación de áreas abiertas del terminal marítimo del oleoducto central S.A (OCENSA), afectan las finanzas de la empresa de manera negativa, ya que aumentan los costos generados por el consumo eléctrico de dicho sistema de iluminación y pueden afectar la salud de los trabajadores.

2.1 Formulación del Problema

La presente investigación busca dar solución a diversos interrogantes para contribuir a la solución óptima que se evidencia en el oleoducto central de Colombia. Para centrar la situación problema se realiza el siguiente interrogante:

¿Cómo concebir una propuesta para optimizar el sistema de iluminación actual de las áreas abiertas del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) en Coveñas, de tal manera que permita lograr una reducción en los costos generados por el consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación y cumplir los requerimientos del reglamento técnico de alumbrado público en Colombia?

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Objetivo General

Realizar una propuesta que permita reducir los costos generados por el consumo de energía eléctrica, mediante la optimización del sistema actual de iluminación de las áreas abiertas del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) Coveñas.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los elementos que conformarán el sistema optimizado de iluminación para las áreas abiertas del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) Coveñas.
- Seleccionar la tecnología de mayor eficiencia en el mercado para optimizar el consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación de las áreas abiertas del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) Coveñas, teniendo en cuenta las necesidades de iluminación establecidas en el RETILAP y las necesidades ambientales de la zona.
- Determinar el porcentaje de reducción de costos asociados al consumo de energía eléctrica, generados por el cambio del sistema de iluminación de áreas abiertas terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) Coveñas.

4. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, existen en el mercado equipos de iluminación con tecnologías de punta, las cuales pueden hacer más eficiente el consumo de energía eléctrica en un alto porcentaje, aproximadamente entre un 40 % y un 80%, también tienen una mayor vida útil (Entre 50.000 y 100.000 horas aproximadamente) (Quispe, 2012) y además redundan en la disminución de aspectos e impactos ambientales, tema que también es de suma importancia en nuestros tiempos, debido a la problemática que sufre el planeta por el efecto de los gases invernadero y el calentamiento global.

Actualmente el costo del consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación en el terminal marítimo del Oleoducto Central (OCENSA) – Coveñas es de gran impacto en las finanzas de la organización, aproximadamente 460.000 KW/año, que generan un costo de \$ 120'000.000 anualmente, según facturación emitida por el comercializador de energía eléctrica en el año 2013.

El terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) Coveñas actualmente cuenta con un sistema de iluminación que trabaja en sus zonas abiertas con lámparas de Sodio de alta presión, tecnología desarrollada hace muchos años y que genera un gran consumo de energía y altos niveles de contaminación por emisión de gases al medio ambiente. (González, 2014)

Con el desarrollo de este proyecto se busca plantear una propuesta que permita reducir los costos generados por el consumo de energía eléctrica de las áreas abiertas del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A (OCENSA) a través de la optimización del sistema actual de iluminación. Para ello se realizará un nuevo diseño del sistema de iluminación de las áreas abiertas, el cual contempla el uso de nuevas tecnologías con lámparas y luminarias con mayor eficiencia en consumo energético respecto a las que se encuentran actualmente instaladas.

Con la propuesta generada en este estudio se plantea reducir el consumo eléctrico por concepto de iluminación del terminal. Además del ahorro por este concepto, la empresa tendría otros beneficios como reducción de costos por mantenimiento de equipos de iluminación, reducción de impuestos por emisión de gases y plan de manejo de residuos contaminantes y mejoramiento del entorno laboral brindando un nivel de iluminación correcto.

4.1 Alcances y Limitaciones

La investigación se enmarca principalmente en las zonas de tráfico vehicular y zonas de trabajo abiertas, dejando de lado los ambientes especiales (zonas clasificadas como peligrosas donde pueda existir riesgo de explosión debido a la presencia de gases o vapores inflamables, líquidos inflamables, polvos combustibles o fibras o partículas combustibles) y los espacios cerrados como oficinas, salones, etc., ya que no son objeto de estudio.

El estudio enmarca la realización de mediciones a los diferentes elementos involucrados en el sistema de iluminación, recalcando que el suministro de energía por parte del proveedor puede tener fluctuaciones que no influyen en los resultados de la investigación.

El proyecto se direcciona con base en normativas nacionales (Ley 697 de 2001 por el cual se promueve el uso racional y eficiente de energía, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, Artículo 13 del Decreto 2424 de 2006 requisitos mínimos de diseños y soportes de luminarias, Artículo 4 del Decreto 2501 de 2007 uso racional y eficiente de energía en iluminación y alumbrado público) e internacionales (ISO 14001 sistemas de gestión ambiental, CIE 154 de 2003 mantenimiento de sistemas de iluminación de uso exterior, CIE S 015 de 2005 iluminación de puestos de trabajo en exteriores, IEC 605098-1 requerimientos generales de luminarias, IEC 60598 2-3 requerimientos particulares para luminarias de alumbrado público, y ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1 Estándares de energía para edificaciones) como referencia para el análisis de los resultados de las mediciones realizadas y para establecer las respectivas conclusiones y recomendaciones.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Antecedentes

Durante los últimos años, las entidades tanto públicas como privadas vienen demostrando un gran interés por sistemas, métodos o formas que permitan disminuir el consumo de energía por concepto de iluminación. Los proyectos desarrollados hace décadas, como es el caso de OCENSA, no contemplaban formas de racionalización de energía. Hoy día, esta investigación se constituye en el primer estudio enfocado a la optimización del sistema de iluminación de dicha empresa, teniendo como objetivo evaluar y mejorar el estado actual del sistema de iluminación de las áreas abiertas del terminal marítimo.

A continuación se presenta una recopilación de casos relacionados con la necesidad de promover una cultura de eficiencia energética a través de la promoción del uso racional y eficiente de la energía:

- Diagnóstico de iluminación de la sede Caldas: la información contenida en este artículo documenta el estudio diagnóstico de iluminación que se realizó en la sede Caldas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, dentro del marco del proyecto piloto Uso Racional de la Energía, URE. La evaluación permitió cuantificar la intensidad lumínica en los diferentes puestos de trabajo y compararlos con los valores límites permisibles recomendados en el Reglamento Técnico Colombiano para Evaluación y Control de Iluminación y Brillo en los Centros y Puestos de Trabajo, en manado del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social en el año 2003.

De esta investigación se concluyó “*que los puestos de trabajo diseñados y construidos para escenarios catedráticos no cumplían ni estaban ceñidos a las normativas vigentes de iluminación*” (gonzalez, vera, & posada, 2010).

- Mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología LED: el presente estudio busca mejorar el sistema de alumbrado público en la ciudad de Cuenca (Ecuador), presentando una propuesta para implementar luminarias LED, en una avenida principal de la ciudad para mayor confort visual. El estudio muestra *“un ahorro de energía y disminución de emisiones de CO₂ respecto a las lámparas de Sodio a alta presión”* (Lojano & Orellana).
- Propuesta para la implementación del sistema “LED” para la iluminación pública en Antioquia:, estudio realizado en la escuela de ingeniería de Antioquia , el cual posee como propósito implementar luminarias LED en el alumbrado público de Antioquia, describiendo característica de este tipo de iluminación, ventajas - desventajas de los tipos de iluminación, y realizando un estudio financiero que genero las siguiente conclusión:

Para la vía de poco tránsito, la recuperación de la inversión inicial, se dará al cabo de 8 años de funcionamiento, después de este momento el ahorro acumulado al cabo de 20 años será de \$602.347.139/300 lámparas LED” y En una avenida, la recuperación de la inversión inicial, se dará al cabo de 6 años de funcionamiento, después de este momento el ahorro acumulado al cabo de 20 años será de \$656.347.139/300 lámparas LED (Mesa M. s., 2009).
- Impacto del Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución, es un estudio liderado por la Universidad Nacional sede Medellín, el cual desarrolla una metodología en laboratorios simulando un alumbrado público donde se evaluaron los siguientes indicadores: tensión, corriente, potencia aparente, potencia activa, factor de potencia, y distorsión armónica en tensión y corriente con el uso de luminarias LED se concluyó que *“Con el reemplazo del 100% de las luminarias de sodio por LED, se lograría una reducción del 13% en las perdidas en el conductor, las cuales pasarían del 3.1% al 2.7%”* (Roncancio, 2011).

Con la metodología actual de evaluación del alumbrado público, bajo la curva fotopica, la tecnología LED cumple a cabalidad con los límites mínimos de calidad en materia de uniformidad e iluminancia promedio. Sin embargo, a partir de su espectro típico de radiación es posible afirmar que si el sistema de evaluación cambiara de referencia, a la curva mesopica, el comportamiento de la tecnología LED sería aún mejor que el de las otras tecnologías, y se podría reducir la potencia nominal de las bombillas, reduciendo con esto el consumo de energía eléctrica en alumbrado público, que a nivel mundial representa cerca del 8% de la energía eléctrica (Roncancio, 2011).

- Diseño de una iluminación eficiente aplicado a una central de generación hidroeléctrica Guadalupe III. El siguiente trabajo desarrollado por la Universidad Nacional sede Medellín, se enfoca en la selección y cálculo de luminarias para distintos lugares, respetando ante todo la normatividad RETIE e implementando sistemas de control para garantizar el uso racional de la energía (URE), exigido por el Ministerio de Minas y Energía el cual concluye :

Muchos de los problemas visuales que tienen las personas en la actualidad están relacionados en un alto porcentaje con la iluminación. La falta de iluminación crea fatiga por esfuerzo en los ojos y mucha iluminación crea deslumbramiento. Por eso es importante hacer diseños de luminotecnía, logrando así lugares cómodos y saludables visualmente para las personas. (Bedoya, 2009).

- Proyecto Piloto de telegestión del servicio de Alumbrado Público de la Ciudad de Bucaramanga: este documento es una propuesta que pretende hacer seguimiento en tiempo real o en línea al alumbrado público de la ciudad de Bucaramanga, con reconocimiento de anomalías en el sistema o malos actores de alguna de las partes internas de las luminarias.

- Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Manual de procedimientos para el diseño de instalaciones de iluminación interior y exterior con énfasis en RETILAP y LEED: en este documento se ilustran *“los procedimientos de cada una de las actividades realizadas dentro del proceso de diseño de una instalación de iluminación interior y exterior en acuerdo con el reglamento técnico de alumbrado público en Colombia”* (Mesa & Ramirez, 2011).
- Estudio de contaminación lumínica y eficiencia energética: estudio desarrollado en la Universidad Politécnica de Cartagena (España) ,el cual muestra como las luminarias LED mal instaladas contaminan el cielo, concluye que *“no toda la luz generada por una luminaria se transmite en línea recta o hacia la zona que queremos iluminar, sino que parte de la misma se esparce, propagándose en todas direcciones concretamente en relación al resplandor nocturno”* (Paredes & castro, 2014)
- El 14 de mayo de 2011, la Universidad de Haifa (Israel) desarrolló una investigación titulada *limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility* la cual analiza los diferentes tipos de flujo luminoso en el espectro de acción de suspensión de la hormona melatonina, teniendo en cuenta lámparas incandescentes, de descargas, fluorescentes, halógenas y LED, y encontró que:

La exposición a tonos azules de lámparas LED inhibe la producción de la hormona melatonina hormona los tonos azules existen enormes diferencias en las emisiones azules de las lámparas para flujos luminosos, debido a que la visión nocturna y nuestra salud se deterioran por la emisión de luz azul por suspensión de la hormona melatonina, pero proponen seguir en la adopción para lámparas de uso externo en cualquier lugar (Falchi, Cinzano, Elvidge, Keith, & Haim, 2011).

- (Tania – Carbonell Morales, 2014) En su artículo de investigación manifiesta *“La necesidad de implementar la Gestión Energética, como subsistema de la Gestión Empresarial, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la*

función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas". El ahorro de energía y la eficiencia energética son una oportunidad para la reducción de costos. El primer paso a la hora de implantar una gestión energética sustentable, con el fin de reducir los costos y aumentar la eficiencia, debe ser el análisis de los consumos de energía".

- (Gribincea, 2013) En su artículo científico manifiesta las posibilidades de ahorro energético *"las posibilidades de ahorro energético son muchas, en la iluminación, refrigeración y climatización, agua caliente sanitaria, la cocina y lavandería"*.
- (itskovich, 1999) *"El ahorro de energía es la mejor contribución de una instalación a la ecología"*, por lo que los principales esfuerzos para realizar inversiones en ahorro energético deben dirigirse a la reducción del consumo en estos procesos, mediante la reducción de la demanda y la utilización de tecnologías más eficientes
- (Borroto, 2002) *"Un sistema de gestión energética está formado por un conjunto de herramientas que permitan el control de las variables que influyen en el confort y la calidad ambiental de las instalaciones, asegurando al mismo tiempo el mínimo costo"*. La implantación de un sistema de gestión energética reduce el consumo de energía, con retornos de la inversión relativamente cortos. El control de la gestión energética como cualquier otro sistema de gestión, se hace a través de indicadores los cuales se constituyen en una importante base de comparación y monitoreo para controlar y reducir las pérdidas energéticas en los procesos productivos, evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de pérdidas de energía.

5.2 Marco Contextual

El proyecto es desarrollado en las instalaciones del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA), ubicado en el municipio de Coveñas, el cual es el punto final del trazado de las estaciones de Cusiana y Cupiagua.

El punto específico de estudio es el sistema de iluminación de vías interiores del terminal y las zonas abiertas no clasificadas como zonas peligrosas.

El Oleoducto Central S.A. –Ocensa– es una empresa estratégica para el transporte de hidrocarburos en Colombia y un incentivo para los inversionistas petroleros del país por ser un operador confiable y reconocido por los estándares con los que realiza sus actividades desde su creación en 1994 (oleoducto central s.a).

El contexto en el que se fundó esta empresa fue propicio. En la década del 90 se perforaron alrededor de 15 mil pozos en el mundo, solo el 25 % contenía crudo y menos del 2% fueron descubrimientos significativos sobre la oferta mundial para superar los 100 millones de barriles de reservas. Ya Colombia era reconocida en este mercado luego del descubrimiento en 1983 del campo Caño Limón, en asocio con OXY, cuyas reservas se estimaron en 1.100 millones de barriles que permitían que el país se autoabasteciera y fuera nuevo exportador de petróleo (oleoducto central s.a).

En 1991 y 1992 los campos de Cusiana y Cupiagua fueron parte de los seis más grandes descubrimientos en el mundo por sus reservas de entre 500 y 1.000 millones de barriles. Así el piedemonte llanero se vuelve una de las cuencas petrolíferas más atractivas del mercado. Por aquel entonces solo existía un oleoducto en la zona, propiedad de Ecopetrol, sin la capacidad suficiente para atender la producción que se esperaba de estos dos campos (oleoducto central s.a).

Así comienza la necesidad de transportar crudo de los Llanos Orientales hasta las refinerías para el consumo interno del país y hasta el puerto de Coveñas para la exportación de los excedentes. Entonces el 14 diciembre 1994 se creó Oleoducto Central S.A. –Ocensa–, una compañía colombiana de economía mixta, con el objetivo de diseñar, construir, operar, administrar y explotar comercialmente un sistema de transporte de petróleo. El costo fue de dos billones de dólares (oleoducto central s.a).

Este proyecto fue diseñado para transportar hasta 556 mil barriles de petróleo diarios. El oleoducto recorre 832 kilómetros por 44 municipios en los departamentos de Casanare, Boyacá, Santander, Antioquia, Córdoba y Sucre, a través de una ruta planeada para generar el menor impacto posible al entorno (oleoducto central s.a).

Hoy en día la labor de OCENSA se destaca por su seguridad, limpieza y eficiencia, también por su compromiso con las comunidades, por la protección del medio ambiente, la promoción de los derechos humanos en todas sus operaciones y la preocupación permanente por el bienestar de sus empleados (oleoducto central s.a).

OCENSA es un ejemplo a seguir para los oleoductos del país por su seguridad, limpieza, compromiso con el medio ambiente y seguridad de trabajadores en las actividades por mantener y operar en el transporte de crudo.

6. BASES TEÓRICAS

6.1 Alumbrado Público

La principal función del alumbrado público es permitir el tráfico en horas de la noche o en áreas oscuras (túneles) con niveles de iluminación permitidos que garanticen la seguridad y el confort en conductores y peatones. Históricamente, los aspectos que han aumentado la funcionalidad del alumbrado público son: prevención del crimen, mejora en la economía de las ciudades gracias a su estética, facilidad en la orientación para peatones y conductores, seguridad en el tráfico, y seguridad social de los peatones y residentes (Duco, 2008). Las funciones del alumbrado público suelen estar definidas con base en los siguientes aspectos:

- Ubicación (urbana o rural)
- Sector (industrial, residencial, comercial)
- Función de la red vial (flujo, acceso, local)
- Infraestructura (doble carril, un solo carril)

6.2 Principios Fundamentales de Iluminación

6.2.1 La luz

La luz es la manifestación de energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de ser percibidas por el órgano visual. Las longitudes de onda de estas radiaciones electromagnéticas están comprendidas en el rango de 380 y 770 nanómetros (nm), conocido como espectro visible.

6.2.2 Espectro electromagnético

Consiste en la distribución energética del conjunto de radiaciones electromagnética, que viajan a través del vacío y se encuentran ordenadas de acuerdo a la longitud de onda (λ) y frecuencia (f).

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ecuación 1. Relación longitud de onda y frecuencia
Fuente: Sena, 2014

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío ($3 * 10^8 m/s$)

Las radiaciones electromagnéticas se clasifican en:

- ondas de radio
- microondas
- infrarrojos
- visible (espectro visible para el ojo humano)
- ultravioleta
- rayos X
- rayos gamma

A continuación se presenta una imagen que muestra la distribución de las distintas radiaciones dentro del espectro electromagnético

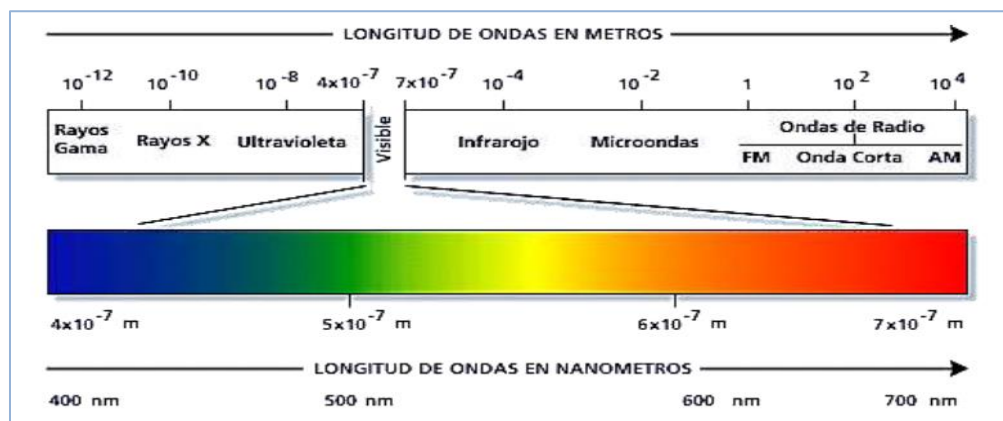


Ilustración 1. Espectro electromagnético

Fuente: Universidad de cuenca, 2014

El efecto visual de la radiación en el rango visible depende de la longitud de onda.

Esta banda de luz visible se divide en seis tramos, correspondientes a los colores (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) en los que se descompone la luz blanca cuando atraviesa un medio transparente (por ejemplo un prisma).

Newton demostró que un haz de luz blanca podía dispersarse por medio de un prisma en forma de un espectro. Además, descubrió que las propiedades de las longitudes de onda no se alteraban por la reflexión o refracción y que las diferentes longitudes de onda podían combinarse para dar la luz blanca original.

Finalmente, Newton llegó a la conclusión de que los colores producidos por la mezcla de las distintas longitudes de onda, daban el mismo efecto visual que una longitud de onda intermedia pero con composiciones espectrales diferentes.



Ilustración 2. Descomposición de un haz de luz blanca
Fuente: Universidad politécnica de Cartagena, 2014

Además, hay que tener en cuenta que una radiación monocromática (percepción de un solo color) se caracteriza por una única longitud de onda, pero en realidad no existe una radiación monocromática pura y si una línea espectral muy fina, que se puede asimilar a una radiación monocromática. Por todo ello, los colores no tienen una definición lineal de longitud de onda, sino una estrecha banda que al irse desplazando, da lugar a los distintos matices del color. El que nuestro ojo no pueda ver directamente los componentes cromáticos de la luz blanca del día, es debido a que el cerebro humano no distingue cada uno por separado.

6.2.3 Magnitudes fotométricas

Las magnitudes fotométricas son las encargadas de la cuantificación de la parte del espectro electromagnético que el ojo humano percibe como sensación luminosa de mayor o menor claridad.

Estas magnitudes son:

6.2.3.1 Flujo luminoso

Es la cantidad total de luz radiada en todas las direcciones por una fuente luminosa, durante la unidad de tiempo. El flujo luminoso se mide en lúmenes (lm).

6.2.3.2 Intensidad luminosa

Es la relación del flujo luminoso de una fuente puntual de luz proyectada en una determinada dirección dentro de un ángulo sólido (ω). Su unidad de medida es la candela (Cd).

$$I = \frac{\phi}{w}$$

Ecuación 2. Intensidad luminosa
Fuente: Sena, 2012

Donde

ϕ es el flujo luminoso en Lúmenes.

W es el ángulo sólido medido en estereorradianes

6.2.3.3 Iluminancia

Es la cantidad de flujo luminoso incidente por unidad de superficie del objeto iluminado, siendo su unidad de medida el lux (lx), que equivale lm/m^2 .

$$E = \frac{\phi}{A}$$

Ecuación 3. Ecuación de iluminancia
Fuente: Sena, 2012

Donde

ϕ es el flujo luminoso expresado en Lúmenes.

A es el área de la superficie expresada en metros cuadrados (m^2)

El concepto de iluminancia se expresa mejor mediante la siguiente gráfica

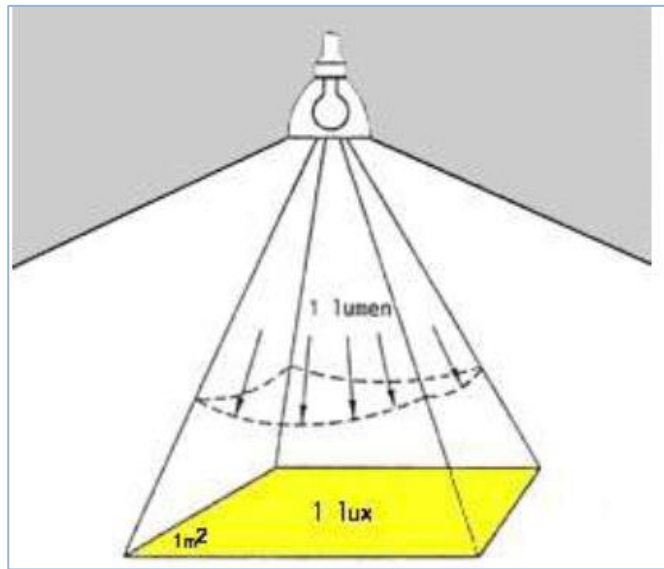


Ilustración 3. Iluminancia sobre una superficie
Fuente: Sena, 2012

6.2.3.4 Luminancia

Es la relación entre la intensidad luminosa procedente de una fuente de luz primaria (produce la luz que emite) o secundaria (reflejan la luz de otra fuente) y la superficie aparente vista por el ojo en una determinada dirección. Su unidad de medida es la candela por el metro cuadrado (cd/m^2).

$$L = \frac{I}{A}$$

Ecuación 4. Luminancia
Fuente: Sena, 2012

Dónde:

L: es la luminancia medida en candela por metro cuadrado

I: es la intensidad luminosa medida en candelas

A: es el área de la superficie iluminada, medida en metros cuadrados

La siguiente ilustración muestra la diferencia conceptual entre iluminancia y la luminancia.

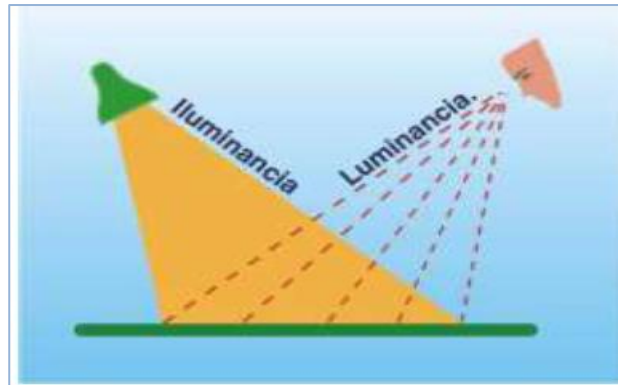


Ilustración 4. Luminancia e Iluminancia
Fuente: Universidad de Cuenca, 2014

6.2.3.5 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. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos

6.2.3.6 Rendimiento luminoso

Es la relación entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia eléctrica consumida por ella. Se expresa lm/W.

6.2.4 Leyes de la luminotecnica

Las leyes que rigen la luminotecnica son fundamentales para la aplicación en los casos de iluminación, es decir es necesario un conocimiento de estas leyes, para realizar mejoras en sistemas de alumbrado en exteriores.

6.2.4.1 Ley fundamental

El nivel de iluminación de una superficie iluminada perpendicularmente, es directamente proporcional a la intensidad luminosa en esa misma dirección, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa a la fuente de luz, de dicha superficie.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

*Ecuación 5. Nivel de iluminación
Fuente: Sena, 2012*

Dónde:

E: es el nivel de iluminación

I: es la intensidad luminosa

d: es la distancia de la fuente al punto que se desea iluminar

6.2.4.2 Ley del coseno

En los casos donde la iluminación se realiza con la dirección de la luz oblicuamente y con cualquier ángulo de dirección, la iluminación de un punto cualquiera de una superficie, es directamente proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado.

$$E = \frac{I}{d^2} * \cos(\theta)$$

Ecuación 6. Ley del coseno
Fuente: Sena, 2012

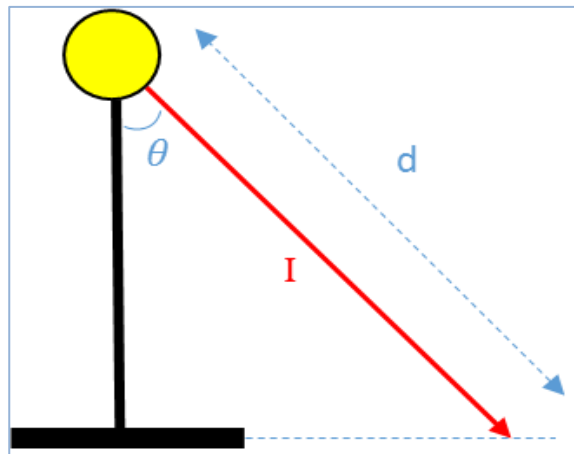


Ilustración 5. Ley del coseno
Fuente: Sena, 2012

6.2.4.3 Iluminancia horizontal

Es la iluminancia contenida en un plano horizontal. Esta es directamente proporcional a la intensidad luminosa emitida por el foco luminoso en esa dirección y al cubo del coseno del ángulo de incidencia, e inversamente proporcional a la altura entre el plano horizontal donde se encuentra situado el foco y el plano horizontal que contiene el punto. La siguiente gráfica ilustra mejor este concepto.

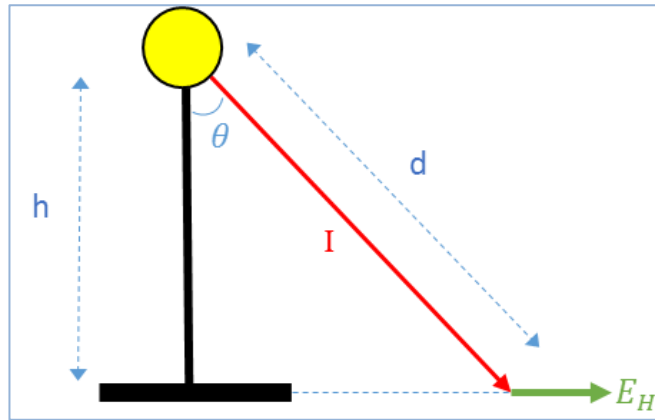


Ilustración 6. Iluminancia en plano horizontal
Fuente: Sena, 2012.

De la gráfica anterior se tiene que

$$d = h/\cos(\theta)$$

Por lo que al reemplazar la expresión anterior en la ecuación (6) se obtiene

$$E_H = \frac{I * \cos(\theta)^3}{h^2}$$

Ecuación 7. Ecuación iluminancia horizontal
Fuente: Sena, 2012.

6.2.4.4 Iluminancia vertical

La iluminación de un punto situado sobre un plano vertical, iluminado por un foco luminoso bajo un determinado ángulo de incidencia es proporcional al seno del citado ángulo de incidencia.

$$E_v = \frac{I * \cos(\theta)^2 * \text{sen}(\theta)}{h^2}$$

Ecuación 8. Iluminancia vertical

Fuente: *Sena, 2012*

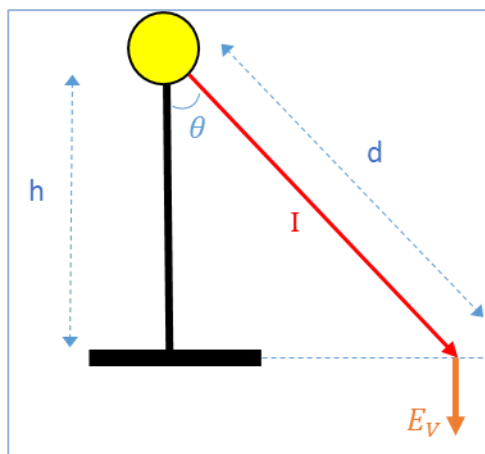


Ilustración 7. Iluminancia Vertical

Fuente: *Sena, 2012*

6.2.5 Temperatura de color

La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color del cuerpo negro, es decir, del “radiante perfecto teórico” (radia toda la energía que percibe). Como cualquier otro cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

El color, por ejemplo, de la llama de una vela, es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1800K, y la llama se dice entonces, que tiene una temperatura de color de 1800K. Por ejemplo, las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2700 y 3200K.

Por lo tanto, la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura, define solo color y solo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro.

6.2.6 Índice de reproducción de color (IRC)

El índice de reproducción de color, caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

6.3 Uso Racional De La Energía (URE)

El uso racional de la energía – URE implica aprovechar la energía al máximo, sin perder calidad de vida. Claro está, se puede continuar utilizando el computador, el automóvil, la iluminación o cualquier elemento que requiera energía para funcionar, pero se debe evitar su desperdicio y la producción de desechos contaminantes. Aplicando URE, regulando y optimizando el uso de la energía, se lograría un gran impacto económico y ambiental en la sociedad.

El uso racional de energía en iluminación se logra utilizando luminarias de potencias adecuadas y en cantidades suficientes para lograr niveles de iluminación óptimos. También se regula y se hace URE cuando se mantienen las instalaciones del alumbrado en buen estado, velando por su seguridad y sobre todo cuando se realizan actividades de limpieza a las luminarias para evitar que la capa de suciedad haga ineficiente el uso de la energía.

6.4 Medidas Legislativas para Racionalizar el Consumo de Energía en Alumbrado Público

Desde los años noventa se han establecido leyes, resoluciones y reglamentaciones que permitan reducir el consumo de energía para alumbrado público. Inicialmente se generalizó como un aspecto global a tener en cuenta, gracias a los avances se destaca la importancia de individualizar las áreas a tratar, reconociendo sus situaciones particulares y así minimizar el consumo y mantener la misma calidad de servicio. En la figura a continuación se puede observar la evolución de la legislación colombiana en el uso racional de la energía.



Ilustración 8. Legislación para URE de alumbrado público

Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2007)

6.5 Consumo de Energía Eléctrica en Alumbrado Público

A nivel mundial el alumbrado público consume alrededor de 218TWh, lo que representa el 8% del consumo de energía eléctrica usado en iluminación en el mundo para un año. Esta energía eléctrica se traduce en 16,1Plmh (Petalumenes-hora) con fuentes de una eficacia

promedio de 74lm/W, cuyo costo es del orden de 1.33 US\$/Mlm-h (dólares por Mega Lumen – hora). De esta cantidad, el 79% representa el costo de la electricidad, y el restante corresponde a la infraestructura, instalación y mantenimiento (Agency Internacional , 2006).

6.6 Sistemas De Iluminación

Según lo establecido por la norma española AENOR UNR 60598-1, las lámparas son los dispositivos encargados de emitir luz artificial, mientras que las luminarias son los aparatos que sirven para repartir, filtrar o transformar la luz de las lámparas, y que incluye todas las piezas necesarias para fijar y proteger las lámparas y para conectarlas al circuito de alimentación.

En el mercado hay variedad de tecnología en lámparas y luminarias, todas con el fin de satisfacer las necesidades lumínicas requeridas para espacios interiores y exteriores favoreciendo así el aprovechamiento de la energía eléctrica, es decir, a medida que transcurre el tiempo las luminarias son hechas con mayor eficiencia lumínica, lo que permite afirmar que con un vatio de energía se producen mayor lúmenes.

Los principales parámetros de diseño de las lámparas son el flujo luminoso emitido (lúmenes), la potencia consumida (vatios), la eficiencia (lúmenes/vatios), la temperatura de color (Kelvin), el índice de reproducción cromática y la vida útil.

A continuación se describirán los tipos de lámparas existentes, así como sus componentes y su funcionamiento.

6.6.1 Lámparas incandescentes

Su principio de funcionamiento se basa en la incandescencia, en el cual un material produce luz al calentarse después de cierta temperatura. En este tipo de lámparas, una corriente eléctrica circula por un filamento o alambre delgado el cual se calienta hasta el punto de incandescencia, formándose así la luz visible.

Es la lámpara más antigua y con la que se obtiene la mejor reproducción de los colores, con una luz muy cercana a la luz del sol.

Dentro de las ventajas que posee este tipo de lámpara se puede mencionar su bajo costo de producción, y su conexión directa y simple a la red sin necesidad de equipos auxiliares.

Las desventajas de este tipo de lámpara son su poca vida útil y su baja eficacia ya que aproximadamente un 90% de energía se pierde en calor. (Universidad de Navarra)

Se muestra a continuación un tipo común de lámpara incandescente.



Ilustración 9. Lámpara incandescente
Fuente: Universidad de Navarra, 2009.

6.6.2 Lámparas halógenas

Su funcionamiento es similar a una lámpara incandescente, pero a diferencia de estas se les adiciona en su interior pequeñas cantidades de compuestos gaseosos con halógenos (Cloro, Bromo o Yodo) para evitar el ennegrecimiento de la lámpara. Esto evita el envejecimiento del filamento y por ende prolonga la vida útil de la lámpara. (Universidad Politécnica de Cataluña)

A continuación se muestra una imagen clásica de una lámpara halógena.



Ilustración 10. Lámpara halógena
Fuente: (Sylvania)

6.6.3 Lámpara de descarga

En las lámparas de descarga, la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado. Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión) (Universidad Politécnica de Cataluña).

A continuación se describen los diferentes tipos de lámparas de descarga.

6.6.3.1 Lámpara de mercurio a baja presión

Las lámparas fluorescentes se clasifican como lámparas de mercurio a baja presión. Al encenderse una lámpara fluorescente, el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos hace que estos se calienten y liberen electrones que chocarán con el vapor de mercurio. Este choque genera radiación ultravioleta. Para que esta radiación ultravioleta sea visible, las paredes interiores del tubo son recubiertas de material fluorescente, generalmente fósforo. De acuerdo al tipo de recubrimiento de fósforo, será así el color característico de la luz. (Sylvania).

Dentro de las ventajas de las lámparas fluorescentes, se puede mencionar que poseen una mayor eficiencia luminosa que las lámparas incandescentes, su bajo consumo energético y mayor vida de funcionamiento.

La principal desventaja es que necesitan equipo auxiliar para su conexión a la red de alimentación.

A continuación se presenta la imagen típica de una lámpara fluorescente



*Ilustración 11. Lámpara fluorescente tubular
Fuente: (Sylvania)*

6.6.3.2 Lámpara de sodio a baja presión

En una lámpara de Sodio a baja presión, la luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga del sodio en radiación visible por medio de materiales fluorescentes en la pared interna de la lámpara. La luz producida por este tipo de lámpara posee un tono monocromático característico de color amarillo.

Dentro de las ventajas se pueden mencionar su alta eficacia (entre 160 y 180 lm/W), su alta vida elevada (de 15.000 horas), su baja depreciación de flujo luminoso y su buena percepción de contrastes.

Como principal desventaja, el tono monocromático de su luz hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color no sean buenos, por lo que resulta difícil distinguir los colores de los objetos.

A continuación se presenta una imagen característica de una lámpara de sodio a baja presión.



Ilustración 12. Lámpara sodio de descarga de baja presión
Fuente: Universidad de Navarra, 2009.

6.6.3.3 Lámpara de mercurio a alta presión

La lámpara de vapor de mercurio a alta presión pertenece a la clasificación conocida como lámparas de descarga de alta intensidad lumínica o H.I.D. (del inglés High Intensity Discharge). Al igual que todas las lámparas de descarga, la luz se produce al paso de una corriente eléctrica a través de un gas, en este caso vapor de mercurio a alta presión. Esta lámpara emite radiación ultravioleta y radiación visible con un tono azul verdoso. Se puede agregar también sustancias fluorescentes a las superficies de los bombillos para convertir la radiación ultravioleta en luz visible.

Como ventajas se pueden mencionar su alta eficacia y su larga vida útil (10.000 horas).

La principal desventaja es su bajo índice de reproducción de color, cuyo valor oscilará entre 40 y 45. Además, el tiempo de reencendido es elevado (alrededor de 15 minutos).

A continuación se presenta la imagen característica de una lámpara de vapor de mercurio a alta presión.



Ilustración 13. Lámparas de mercurio a alta presión
Fuente: (OSRAM)

6.6.3.4 Lámpara de sodio a alta presión

En este tipo de lámparas H.I.D., la luz se produce por el paso de corriente eléctrica a través de vapor de sodio a alta temperatura. A diferencia de las lámparas de sodio a baja presión que emiten luz monocromática amarilla, la lámpara de sodio a alta presión emite luz en un rango más amplio del espectro electromagnético produciendo una luz blanca amarilla. En este tipo de lámparas, no existen emisiones significativas de radiación ultravioleta.

Como ventajas se pueden mencionar la alta eficiencia (120 lm/W) y su alta vida útil (10.000 horas).

A continuación se muestra una imagen característica de una lámpara de sodio a alta presión



Ilustración 14. Lámparas de sodio de alta presión
Fuente: (OSRAM)

6.6.4 Lámparas led

Este tipo de semiconductores fue creado a principios de la década de los sesenta (60) y pertenecen a la familia de los diodos.

Los primeros LED que se comercializaron fueron rojos, los cuales se usaban como dispositivos de encendido y apagado en dispositivos electrónicos. Posteriormente se comercializaron LED de diferentes colores como rojo y verde y más o menos en el año 1989 una empresa norteamericana insertó en el mercado un nuevo tipo de luz LED azul. De la combinación de estos colores surge la ahora utilizada y comercial luz LED blanca.



Ilustración 15. Diodo emisor de luz
Fuente: LEDCITY, 2007.

El diodo emisor de luz, más comúnmente llamado LED, “*usa menos energía que las demás tipos de lámparas, tienen mayor vida útil y una de las cosas más importantes es que no dejan residuos de mercurio que dañan la capa de ozono como lo hacen las luces incandescentes*” (O’Donell, Sandoval & Paukste, 2007).

Cuando la corriente atraviesa a través de un diodo semiconductor, esta inyecta huecos y electrones en las regiones p y n. Las regiones tipo p (positivo) y n (negativo) se refieren a dos tipos de materiales semiconductores alterados que permiten que la energía fluya en una dirección siempre que el material tipo p este a una tensión superior a la n.

Esta combinación de electrodos y huecos son las encargadas de generar la luz. Dependiendo de la intensidad del paso de corriente hace que las recombinaciones entre electrodos y huecos produzca un tipo de luz.

El color de la luz se mantiene constante ya que son luces reguladas. Permiten dirigir la luz con exactitud ya que poseen una fuente de luz puntual. Su encendido es inmediato, por esta razón son usadas en escenas de luz dinámicas y no requiere enfriamiento para un posterior reencendido.

El campo de aplicaciones para este tipo de luz es muy alto, va desde iluminación interior hasta iluminación exterior. Este tipo de iluminación se está constituyendo como una mejor alternativa de iluminación frente a las fuentes de iluminación convencionales.

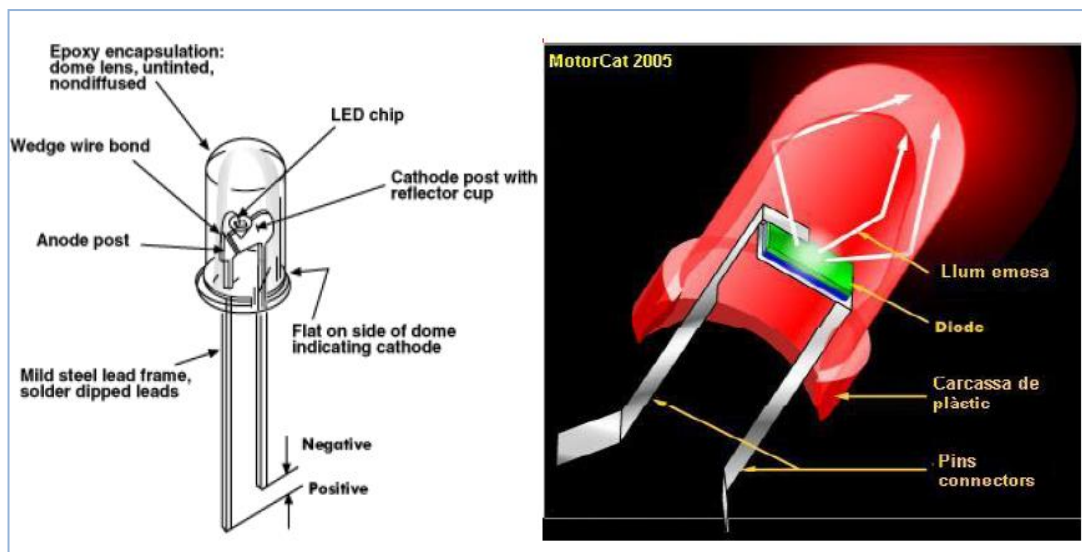


Ilustración 16. Partes de un led.
Fuente: O'Donell, 2007.

Dentro de las ventajas cabe resaltar que no posee filamentos ni electrodos ni tubos de descarga. Esto hace que su consumo de energía sea bajo, lo mismo que su temperatura de funcionamiento. Adicionalmente, estas lámparas poseen una larga vida útil

La principal desventaja es su alto costo, en comparación con el resto de lámparas existentes en el mercado y que algunos fabricantes no consideran la contaminación lumínica hacia el cielo en los diseños.

6.7 Exigencias Ambientales de la Iluminación

Las personas se sienten afectadas en su bienestar y en su actuación por las condiciones ambientales del local en que se desenvuelven (los técnicos en la industria, los pacientes y médicos en los hospitales, los estudiantes en el aula, etc.). Por ello resulta de primordial importancia conseguir un medio ambiente que contribuya a satisfacer las exigencias psicofísicas de la persona. Dentro de las condiciones ambientales que afectan a la persona están el nivel de ruido, la intensidad de las vibraciones y las características del alumbrado, cada día más

importantes como consecuencia de que en sus actividades tienen un peso creciente los aspectos visuales.

En este orden de ideas, el alumbrado de un local o instalación deberá evitar la aparición de cansancio, aburrimiento, monotonía, etc. Asimismo, el alumbrado deberá contribuir a la armonía visual que genere agrado y satisfacción. Por otro lado, no causará incomodidades, debido a la aparición de deslumbramiento molesto, emisión molesta de calor por las fuentes de luz y otros aspectos pocos positivos.

La satisfacción por el alumbrado de las exigencias ambientales conlleva, en líneas generales, un adecuado control de la luz, la iluminación de las paredes del local, una sensación agradable por el color de la luz, etc.

7. MARCO LEGAL

Los criterios normativos en los que se basa el presente proyecto son los descritos por la NTC 900 que dictamina las reglas generales y especificaciones para el alumbrado público, la Ley 697 de 2001 por el cual se promueve el uso racional y eficiente de energía, el Artículo 13 del Decreto 2424 de 2006 que hace referencia a los requisitos mínimos de diseños y soportes de luminarias, el Artículo 4 Decreto 2501 de 2007 que promueve el uso racional y eficiente de energía en iluminación y alumbrado, la Resolución 180919 de 1ro de Junio de 2010 que adopta el plan de acción indicativo para desarrollar el programa de uso racional y eficiente de energía y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP. También se tuvo en cuenta lo referente a las normas de la American National Standard Institute (ANSI) y de la National Fire Association (NFPA) “Standard for the storage and handling of liquefied petroleum gases ANSI/NFPA 58–1995, “Standard for the storage and handling of liquefied petroleum gases at utility gas plants ANSI/NFPA 59–1995”, “Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases or vapors and of hazardous locations for electrical installations in chemical process áreas ANSI/NFPA 497–1997 ”, “Locations for electrical intallations in chemical processing plants ANSI/NFPA 499–1997

8. ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología para el desarrollo de este proyecto está basada en gestionar seis fases estratégicas las cuales se describirán a continuación

8.1 Fase 1: Consulta De Resultados Anteriores

En esta fase se revisaron los resultados obtenidos de la investigación desarrollada por Gonzales y Contreras (Evaluación del estado actual del sistema de iluminación de las áreas abiertas del terminal marítimo del oleoducto central S.A - OCENSA- Coveñas) y arrojó las siguientes conclusiones:

- Del total de evaluaciones realizadas tanto en las áreas de producción como de tránsito del terminal, el 42% reportaron niveles de iluminación dentro de los parámetros recomendados por el RETILAP.
- El 58% reportaron niveles de iluminación por debajo de lo establecido en el RETILAP, identificando como primera causa de los bajos niveles de iluminación, el déficit de luminarias y reflectores instaladas en algunos sectores, como las áreas de tanques y áreas de producción.
- A pesar que las áreas clasificadas no hacen parte de este proyecto de investigación para optimizar su sistema de iluminación, de acuerdo a las mediciones realizadas por Gonzáles y Contreras, se obtuvo que estas áreas no cuentan con un nivel de iluminación adecuado.
- En las áreas de tránsito vehicular y peatonal, se puede establecer que hay sectores donde la incidencia de luz es baja debido entre otras razones a las sombras generadas por algunas ramas de los árboles sembrados muy cerca a la vía, por la baja intensidad de las lámparas, y daños en éstas.

La siguiente tabla muestra las áreas donde se realizaron mediciones de iluminancia, el valor recomendado para dicha área y su clasificación de nivel de conformidad.

Tabla 1.

Mediciones de zonas de circulación vía Ecopetrol y vía tanques

ÁREA DE TRABAJO		VALOR RECOMENDADO (Lux)	VALOR MEDIDO (Lux)	CONFORMIDAD
VIA CERCA ECOPETROL	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>3</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>8</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>7</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>NO CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>CUMPLE</i>
	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>13</i>	<i>CUMPLE</i>
<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>6</i>	<i>NO CUMPLE</i>	
<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>0</i>	<i>NO CUMPLE</i>	
VIA CERCA	<i>Poste</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>NO CUMPLE</i>

TANQUES	Poste	10	11	CUMPLE
	Poste	10	3	NO CUMPLE
	Poste	10	9	NO CUMPLE
	Poste	10	10	CUMPLE
	Poste	10	0	NO CUMPLE
	Poste	10	0	NO CUMPLE
	Poste	10	8	NO CUMPLE
	Poste	10	10	CUMPLE
	Poste	10	8	NO CUMPLE
	Poste	10	5	NO CUMPLE
	Poste	10	5	NO CUMPLE

Fuente: (González, 2014)

8.2 Fase 2: Consulta de Reglamentación y Normativa Vigente en Sistemas De Iluminación.

Esta fase contempla la determinación de los requerimientos técnicos exigidos por reglamentación la vigente para el desarrollo de este proyecto y así definir las condiciones que debe cumplir el sistema optimizado de iluminación.

De acuerdo al reglamento técnico de alumbrado público –RETILAP en su capítulo 5 sección 500, el alumbrado público debe cumplir los principios generales de iluminación:

- a) Requerimientos de visibilidad: la iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales. Para lo cual se debe tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de la luz sobre el área observada y de acuerdo con el trabajo visual requerido. Así, para cumplir esos requerimientos de luz se

debe hacer una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria apropiada teniendo en cuenta su desempeño fotométrico, de tal forma que se logre los requerimientos de iluminación con las mejores inter distancias, las menores alturas de montaje y la menor potencia eléctrica de la fuente posible.

- b) Cantidad y calidad de luz: se ha establecido como el objetivo del alumbrado público permitir a los usuarios de la calzada y del andén, circular sobre ellos en las horas de la noche, de manera segura, cómoda y a velocidades preestablecidas.

La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar un obstáculo cualquiera. La iluminación debe permitir, en particular, ver a tiempo los bordes, las aceras, separadores, encrucijadas, señalización visual y en general toda la geometría de la vía.

- c) Confiabilidad de la percepción: los objetos sólo pueden percibirse cuando se tiene un contraste superior al mínimo requerido por el ojo. Este valor depende del ángulo con el que se vea (afecta la cantidad de superficie aparente en la fórmula de luminancia) y de la distribución de la luminancia en el campo visual del observador (fondo para el contraste). Además, este valor define el tiempo de adaptación del ojo en dicha situación.
- d) Comodidad visual: el ambiente visual de un conductor está constituido principalmente por la visión de la calzada al frente del volante y en menor grado por el resto de su campo visual, que puede llegar a tener información para el conductor, como las señales de tránsito.

La comodidad visual es una importante característica que redundará en la seguridad del tráfico vehicular. La falta de comodidad se traducirá en una falta de concentración por parte de los conductores que reducirá la velocidad de reacción debido al cansancio que se producirá en sus ojos.

El grado de comodidad visual proporcionado por una instalación de alumbrado público será mejor si el ojo del conductor tiene mejores niveles de adaptación. Ello implica elevar la Luminancia promedio sobre la vía, así como controlar la dispersión de los valores que componen dicho promedio.

En la comodidad visual del conductor se encuentra comprometida la luminancia ofrecida por la instalación de alumbrado público, su uniformidad, su nivel de iluminancia, el grado de deslumbramiento, así como la disposición y naturaleza de las fuentes luminosas utilizadas. Una instalación urbana necesita mayores niveles de comodidad visual a fin de reducir la tensión nerviosa de los conductores y con ello sus efectos sobre el comportamiento en la vía. Por ello, la instalación de alumbrado debe considerar la iluminación de aceras y fachadas y de esa manera crear un ambiente más agradable.

Todo esto, sin generar deslumbramiento y manteniendo la estética de la instalación, que al fin de cuentas, la hace más agradable. Una instalación de iluminación en carreteras, debe asegurar una continuidad óptica sobre el carril de circulación y sobre la geometría de la vía, a fin de elevar la seguridad por la velocidad de circulación. Se deben tener en cuenta tres variables al considerar la selección o diseño de una instalación de alumbrado público: la velocidad de circulación, la frecuencia y naturaleza de los obstáculos a ver y el tipo de usuarios de la vía.

- e) Relación de alrededores: Una de las metas principales en iluminación de vías es crear una superficie clara sobre la vía contra la cual pueden verse los objetos. Ahora, cuando los objetos son elevados y están sobre la vía, su parte superior se ve contra los alrededores. Igual sucede si los objetos están justo en el borde de la vía y en las secciones curvas del camino. En estos casos el contraste podría llegar a ser insuficiente para una percepción segura en el tiempo requerido por el conductor, si no se controla la iluminancia promedio de los alrededores.

En consecuencia, controlar la iluminancia de los alrededores ayuda al conductor a percibir más fácilmente el entorno y le ayuda a efectuar, de manera segura, las maniobras que necesite. Controlar la relación permite entonces, mantener las condiciones adecuadas de contraste de objetos al borde de la vía. Por otra parte, esta iluminación beneficia a los peatones, cuando existan a los lados de la vía andenes transitables por éstos.

- f) **Evaluación económica y financiera:** Todos los proyectos de alumbrado público deberán hacer una evaluación económica y financiera donde se incluyan no sólo los costos de inversión, sino los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto de alumbrado público. Se debe considerar tanto el costo inicial como los de operación y mantenimiento asociados, así como el valor de reposición al final de la vida útil del proyecto.
- g) **Uso racional y eficiente de la energía:** Un proyecto de alumbrado público debe aplicar requisitos relacionados con el URE. Los sistemas de alumbrado público diseñados deben cumplir simultáneamente con los requisitos fotométricos y no deben exceder los valores máximos de densidad de potencia eléctrica (DPEA) establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.
- h) **Condiciones ambientales de la localidad:** Un proyecto de iluminación exterior o de alumbrado público debe ser adecuado a las condiciones ambientales de la localidad, así como las condiciones particulares del medio especialmente la presencia de agentes corrosivos, las condiciones ambientales y las facilidades de mantenimiento deben determinar las características de hermeticidad y protección contra corrosión o ensuciamiento que necesitarán las luminarias, en particular su conjunto óptico, aspectos que se deben reflejar en el diseño.

Adicional a los criterios anteriores, se deben tener en cuenta ciertas características para realizar una clasificación de iluminación de acuerdo al tipo de vías, siendo las principales la velocidad de circulación y el número de vehículos. De acuerdo a estas dos variables, se les

asigna una clasificación o nombre según el RETILAP y la norma NTC 900 (Reglas generales y especificaciones para el alumbrado público). Esta clasificación se muestra a continuación.

Tabla 2.
Clase de iluminación según el tipo de vía

Clase de Iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (Veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V>80	Muy importante	T>1000
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas.	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales.	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	T<100

Fuente: (Ministerio de minas y energía, 2010)

Al revisar la información suministrada en la ilustración CLASES DE ILUMINACIÓN PARA VIAS VEHICULARES, se puede inferir que la vía base del presente estudio está agrupada en la clase de iluminación M5, ya que es una vía de escaso tránsito vehicular con velocidades de circulación inferiores a 30 km/h.

Otro aspecto a tener en cuenta sobre el comportamiento de las vías, es la reflexión que ocurre sobre ésta y el material del cual está fabricada. A continuación se presenta la clasificación de las vías de acuerdo a las propiedades de reflexión de su superficie.

Tabla 3.
Designación de superficies según características típicas

Clase	Características Superficie
R1	Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes. Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o de abrilladores o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrilladores artificiales. Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm Asfalto mástico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mástico en estado nuevo.
R3	Revestimiento en Hormigón bituminoso (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.
R4	Asfalto mástico después de varios meses de uso Superficies con textura bastante suave o pulimentada.

Fuente: (Ministerio de minas y energía, 2010)

En la tabla anterior se puede identificar la clase de vía de acuerdo a las características superficiales de esta. La superficie es asfalto mástico después de varios meses de uso por tanto se clasifica como una vía R4.

Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales, se deberá asignar la clase de iluminación necesaria. Es así que a cada clase de iluminación se le establecen los requisitos fotométricos de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 4.

Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio en vías motorizadas

Clase de Iluminación	Valor promedio (mínimo mantenido) de iluminancia según tipo de superficie de la vía [Luxes]			Iluminancia mínima / Iluminancia promedio
	R1	R2 y R3	R4	
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fuente: (Ministerio de minas y energía, 2010)

Con los resultados obtenidos de la clase de iluminación (M5) y del tipo de material de la vía (R4), se determina entonces que el valor promedio de iluminancia para la vía debe ser de 8 Luxes. Así mismo, los resultados del cálculo fotométrico deben arrojar que la relación entre los valores mínimo y promedio de iluminancia debe ser al menos 18%.

Los valores obtenidos anteriormente no son aplicables a todas las áreas abiertas de la empresa, sino solamente a lo que hace referencia a vías. El resto de zonas abiertas se denominan “zonas clasificadas” o “zonas peligrosas” o “zonas de ambientes especiales”. Estos lugares se deben clasificar¹ dependiendo de las propiedades de los vapores, líquidos, o gases inflamables y los polvos finos o fibras combustibles que pueda haber en ellos y por la posibilidad de que se produzcan concentraciones o cantidades inflamables o combustibles. Para determinar su clasificación, cada local, sección o área debe considerarse individualmente.

8.3 Fase 3: Recopilación De Información Necesaria Para El Diseño

Esta fase contempla la recopilación de la información necesaria para definir las características de diseño que permitirán optimizar el sistema de iluminación de las áreas abiertas

¹ Para sistemas de iluminación de trabajos al aire libre en ambientes peligrosos, consultar la norma ISO 8995 -3 “iluminación de trabajos al aire libre”. Esta norma proporciona las condiciones lumínicas para cada tipo de industria. De acuerdo a las características de OCENSA, la norma la clasifica específicamente dentro de la sección “Oil and Gas – Petrochemistry and other hazardous industries”.

(solamente lo concerniente a las vías) del terminal marítimo de OCENSA. Para ello, es necesario conocer las memorias de construcción, los planos del sistema actual de iluminación y, los elementos tenidos en cuenta para la realización del diseño inicial.

Las características del diseño inicial desarrolladas por el consorcio Colombo-Argentino (TECHINT COTECOL S.DE H, 1996) son las siguientes:

- División del alumbrado exterior en tres sistemas (Alumbrado perimetral de seguridad, Alumbrado de vías interiores de la estación y Alumbrado de áreas general y de proceso), Cada sistema de iluminación tendrá un circuito.
- En el alumbrado de vías interiores de la estación se utilizaron lámparas de vapor de sodio de 250 W – 277 V A.C., montaje horizontal a 16°.
- Las luminarias de alumbrado de vías interiores fueron montadas en postes de 12 m de altura, con brazos de 2,5 m.
- Para el alumbrado perimetral y el de áreas de proceso se utilizaron proyectores de vapor de sodio de 400 W – 480 V A.C, montaje vertical sobre crucetas metálica.
- En la zona de los TK 12010-12020-12030 se instalaron reflectores de 1000 W y reforzado con iluminación local a lo largo de la escalera y en cercanía de los agitadores.
- Los proyectores serán montados en postes de 16 m de altura sobre crucetas horizontales
- Los niveles promedio de iluminación en su etapa inicial son:

Tabla 5.

Niveles promedio de iluminación inicial en Ocesa

Iluminación de vías	4.3 luxes
Tanques(en área de trabajo)	10.76 luxes
Paneles locales de instrumento, manifold (proceso)	53.8 luxes

Fuente: Autor del proyecto

- Para la iluminación perimetral tomarán 4.5 luxes de promedio en una franja de 20 m desde la cerca hacia afuera, sin permitir que entre la cerca interior y la cerca exterior haya menos de 1 lux en ningún punto.
- Por iluminación de emergencia se entiende la provista a través de la alimentación de los generadores de energía, la cual será la misma que la iluminación normal, ya que los generadores están dimensionados para asumir dicha carga.

8.4 Fase 4: Determinación de Elementos que Conformarán el Sistema de Iluminación Optimizado

En esta fase se definirán los elementos del sistema actual que serán conservados en el sistema optimizado y aquellos que serán incorporados o cambiados. Para ello, se realizan las siguientes actividades

8.4.1 *Determinación del estado actual de los componentes del sistema de iluminación*

Las condiciones actuales de los equipos de iluminación se dividen en dos aspectos a tener en cuenta para la determinación de la operatividad de los mismos: condiciones operativas y condiciones físicas de las luminarias

Las condiciones operativas hacen referencia a los valores de iluminancia medidos en las áreas abiertas de OCENSA y al funcionamiento de ciertos dispositivos. Estos indicadores no son favorables, ya que 58% de la lámparas no cumplen con los valores establecidos por el RETILAP (González, 2014) y adicionalmente, el control de encendido y apagado del sistema no es el mejor.

El elemento principal de control de encendido y apagado del sistema de iluminación es una fotocelda. El estado de los accesorios se describe a continuación:

- El estado del acrílico está opaco debido a la incidencia directa del sol, lo que desmejora el material y reduce la incidencia de luz recibida (**ver anexo 2**).
- La ubicación del lugar y las coordenadas geográficas del elemento de control no es la adecuada, ya que se encuentra en medio de dos estructuras las cuales causan falsas activaciones del sistema de iluminación. Se sugiere reubicar el sensor para que este logre captar correctamente la luz y así evitar activaciones del sistema de iluminación artificial cuando aún hay presencia de iluminación natural. (**ver Anexo 1**).

Las condiciones físicas hacen referencia al recubrimiento exterior, vidrio y material especular reflector de las luminarias. Estos son de gran importancia, ya que determinan la efectividad que tienen sobre el área a iluminar y otros aspectos importantes a considerar como la vida útil, eficacia y calidad (González, 2014).

En la siguiente Ilustración se puede identificar una luminaria con condiciones físicas óptimas en cuanto al recubrimiento exterior, vidrio y material especular reflector de las luminarias.



Ilustración 17. Recubrimiento exterior de luminaria

Fuente: (González, 2014)

En las ilustraciones 20 y 21 se puede observar el estado físico de la carcasa de las luminarias.



Ilustración 18. Estado físico de la carcasa de las luminarias

Fuente: (González, 2014)



Ilustración 19. Estado físico exterior de la luminaria

Fuente: (González, 2014)

Al revisar los registros fotográficos de las ilustraciones 20 y 21 se puede identificar el nivel de corrosión y el desgaste de la carcasa por la acción de la corrosión del ambiente.

La siguiente ilustración muestra la condición física del material especular de la luminaria.



Ilustración 20. Material especular opacado

Fuente: (González, 2014)

Comparando las ilustraciones 19 y 22 se puede identificar las condiciones de opacado de material especular.

A continuación se muestra el estado físico del brazo y de la coraza flexiconduit de las luminarias



Ilustración 21. Brazo y coraza de las luminarias

Fuente: (González, 2014)

En la ilustración anterior se puede identificar la corrosión de abrazaderas del brazo, y deterioros de la coraza.

No obstante, en el terminal marítimo OCENSA para la gestión de mantenimientos a todo el sistema de iluminación, está estipulado un procedimiento que inicia con la creación de una Solicitud de Aprobación de Hoja de Ruta. Este documento enmarca las acciones detalladas a desarrollar por los técnicos encargados de las actividades de mantenimiento. Una vez aprobada la solicitud de mantenimiento, se procede con la planeación de actividades en el software de gestión. En este, se diligencian las actividades a desarrollar, el tiempo y recursos necesarios para ejecutar la labor (materiales, repuestos, equipos y personal necesarios).

En el anexo 3 podemos apreciar una imagen del software SAP PM y de la Solicitud de Aprobación de Hoja de Ruta. En estas se identifican cada una de las rutinas tanto en tiempo como en tareas a realizar.

Con lo anterior se puede evidenciar que no se tiene en cuenta la vida útil de la bombilla, del material especular y del cristal protector tanto de las lámparas como de la foto celda. Sin embargo, el mantenimiento de las cajas pie de poste es realizado de forma rutinaria y exhaustiva para garantizar la correcta operación de las lámparas.

El criterio de reemplazo de cada bombilla está dado por su operatividad, es decir, si enciende continúa (sin tener en cuenta su nivel de iluminancia); sino es reemplazada por una bombilla nueva. (González, 2014)

En cuanto a la distribución de postes, en la iluminación de vías se estableció una lámpara de sodio de alta presión de 250 W cada 40 metros. Las lámparas están ubicadas en postes de 12 metros de alto con brazo de 2,5 metros (ver anexos desde el número 4 hasta el 7).

8.4.2 Determinación de elementos que se conservarán en el nuevo sistema

En esta fase se definen los elementos del sistema actual que serán conservados en el sistema optimizado y aquellos que serán incorporados o cambiados.

Los elementos del sistema que serán conservados son los siguientes:

- El brazo de luminaria: son estructuras que permiten soportar el peso de las luminarias.
- Conductores eléctricos: constituyen el medio físico para el transporte de la energía eléctrica. Se conservarán en el sistema ya que garantizan las condiciones necesarias para la conducción de la energía eléctrica (conductores con nivel de aislamiento de 100%).
- Celda de distribución: Los tableros de distribución son aptos para su utilización en las Subestaciones principales, secundarias y en lugares donde se desee tener un grupo de interruptores con relés de sobrecargas y cortocircuitos; destinados a proteger y alimentar a las cargas eléctricas. Los tableros de distribución constituyen una parte

inherente a toda red eléctrica y se fabrican para conducir desde algunos pocos Amperios hasta el orden de 4000 Amperios, así como para soportar los niveles de corrientes de cortocircuito y los niveles de tensión de la red eléctrica.

- Caja pie de poste: Cajas de uso interior o exterior para halado, derivación, conexión, encerramiento de equipo eléctrico e instrumentación, en sitios con alto riesgo de explosión.
- La distribución de postes: son un elemento que se considera indispensable conservar. La distancia entre estos (40 m), además de la altura a la cual estarán ubicadas las luminarias (12 m para vías y 16 m para áreas de trabajo (escalera o pasarelas sobre tuberías para realizar inspección) (Ver Anexo 8), con el fin de reducir los costos en que se incurriría al realizar una nueva distribución de estos elementos y optimizar el tiempo que se invertiría en la puesta a punto del sistema, (Ver anexos 4, 5, 6 y 7). En estos anexos se pueden ver los planos que contienen la distribución de los postes dentro del terminal marítimo de OCENSA.

Los elementos que serán cambiados son los siguientes:

- Foto celda: se debe incluir una foto celda en el sistema de tal manera que controle el encendido y apagado automático de las luminarias. Este elemento requiere el cambio del sensor actual por uno de igual referencia, ya que este equipo posee más de 19 años en operación y sufre un deterioro a través del tiempo. En el anexo 2, se puede observar que el cristal externo se encuentra opaco desfavoreciendo la operatividad del equipo. Adicionalmente, este dispositivo se debe reubicar, ya que existen edificaciones o estructuras vecinas que generan que el sistema de iluminación se active sin necesidad de ser requerido, causando excesos en el consumo de energía por iluminación. La ubicación se debe realizar en un lugar despejado, de tal manera que pueda tener espacio abierto para percibir de manera eficaz los haces de luz. El mejor sitio para ubicar la foto celda es sobre el techo del área de bombas principales, ya que

esta es la edificación de mayor altura y se encuentra despejada de edificaciones a su alrededor.

- Lámparas y luminarias: para escoger el tipo de lámpara es necesario conocer las necesidades de iluminación de las diversas zonas, las cuales son de 8 luxes para vías y de 100 luxes para las áreas clasificadas (escaleras, pasarelas de inspección, tanques de almacenamiento, y zonas de producción). Las lámparas a instalar, se implementarán teniendo en cuenta una tecnología moderna y eficiente en cuanto al consumo de energía eléctrica con respecto a la instalada en el sistema actual (Lámparas de Sodio de alta presión).

8.5 Fase 5: Definir los Criterios de Selección de las Tecnologías a Tener en Cuenta para Incorporar en el Sistema de Iluminación.

Existen actualmente diferentes tecnologías para producir iluminación y cada una de ellas posee características propias de operación y desempeño. A continuación se exponen algunas de estas tecnologías, las cuales serán tenidas en cuenta en la selección de la lámpara más adecuada para optimizar el sistema actual.

La siguiente ilustración muestra en detalle las diferentes tecnologías actuales que ofrecen el mercado y sus datos técnicos como vida útil media, eficacia luminosa, existencia de agentes contaminantes, resistencia a corrosión, costo de mantenimiento y efectos sobre las personas y el medio ambiente.

Tabla 6.
Características de diferentes tecnologías de lámparas

<i>TECNOLOGÍA</i>	<i>VIDA ÚTIL MEDIA (HORAS)</i>	<i>EFICACIA (LÚMEN / WATT)</i>	<i>AGENTES CONTAMIN ANTES</i>	<i>RESISTENCIA A CORROSIÓN</i>	<i>COSTO DE MANTENIMIE NTO</i>
-------------------	--	--	---------------------------------------	--	--

<i>INCANDESCENTE</i>	<i>1.000</i>	<i>16</i>	<i>NO POSEE</i>	<i>BAJA</i>	<i>ALTO</i>
<i>DE DESCARGA</i>	<i>16.000</i>	<i>80 – 130</i>	<i>Hg</i>	<i>BAJA</i>	<i>BAJO</i>
<i>HALÓGENA</i>	<i>3.000</i>	<i>22</i>	<i>F, Br, Cl</i>	<i>BAJA</i>	<i>ALTO</i>
<i>FLUORESCENTE</i>	<i>8.000</i>	<i>60</i>	<i>Hg</i>	<i>BAJA</i>	<i>MEDIO</i>
<i>LED</i>	<i>50.000 – 100.000</i>	<i>50 – 150</i>	<i>NO POSEE</i>	<i>ALTA</i>	<i>BAJO</i>

Fuente: Mantenimiento - (Paukste, 2011)

Teniendo en cuenta la tabla anterior, podemos concluir que la tecnología apropiada para implementar en el nuevo diseño del sistema de iluminación de áreas abiertas del terminal marítimo de OCENSA es la tecnología LED, ya que ofrece un mejor desempeño, de acuerdo a los criterios de selección que se tuvieron en cuenta para este proceso (tecnologías libres de agentes contaminantes, ahorro de energía, vida útil promedio, costo asociado a mantenimiento y resistencia a corrosión).

Para la escogencia de las lámparas LED se tuvo en cuenta también las conclusiones derivadas de estudios relacionados con la utilización de este tipo de lámparas en lo referente a la contaminación lumínica y efectos sobre el medio ambiente y las personas, más específicamente el estudio desarrollado por la Universidad de Haifa (Falchi, Cinzano, Elvidge, Keith, & Haim, 2011) donde realizan recomendaciones para mitigar el impacto negativo de estas emisiones en cuanto a contaminación lumínica.

También se revisaron los conceptos emitidos por organizaciones que lideran y controlan la contaminación lumínica, es el caso de Dark Sky, la cual, busca certificar las lámparas y luminarias que sean amigables con el medio ambiente, minimicen el deslumbramiento, reduzcan la contaminación lumínica y protejan el cielo nocturno (darksky.org/our-work/, 2015).

Teniendo en cuenta las anteriores recomendaciones, se recurre a investigar la mejor alternativa de estas tecnologías en el mercado bajo las siguientes premisas eficiencia en consumo, lúmenes promedio, vida útil, garantía, costo y control de contaminación lumínica.

La siguiente tabla muestra los tipos de lámparas con tecnología LED presentes en el mercado, con sus datos técnicos.

Tabla 7.

Lámparas led para exteriores en el mercado

Lámpara	Consumo (Watts)	Flujo luminoso (Lumen)	Garantía (Años)	Vida útil (Horas)	Costo por unidad (\$)
Green visión Plus de Phillips	165	28.200	3	50.000	2.500.000
High Bay LED de Dialight	101 a 172	17.500	5	100.000	2.600.000
Streetsense LED Street light de Dialight.	165	13.500	3	60.500	2.700.000
Toshiba TGT luminaire LED.	158	12.167	3	50.000	2.420.000
DSX1 LED Lithonia Lighting	209	14.000	3	100.000	2.600.000

Fuente: Autor del Proyecto

De lo anterior, se procede a hallar un coeficiente de rentabilidad que permita identificar la mejor opción. Este coeficiente de rentabilidad de selección de lámpara se obtiene al dividir la

vida útil expresada en horas entre el costo de la lámpara, La siguiente tabla muestra el cálculo del coeficiente de rentabilidad para cada lámpara.

Tabla 8.
Relación entre vida útil de las lámparas versus costo

Lámpara	Vida útil (horas)	Costo (\$)	Coeficiente de rentabilidad (h/\$)
Green visión Plus de Phillips	50.000	\$ 2.500.000	0,02
High Bay LED de Dialight	100.000	\$ 2.600.000	0,038
Streetsense LED Street light de dialight.	60.500	\$2.700.000	0,02
Toshiba TGT luminaire LED.	50.000	\$2.420.000	0,02
DSX1 LED Lithonia Lighting	100.000	\$2.500.000	0.038

Fuente: Autor del Proyecto

Posteriormente, se realiza una comparación entre los coeficientes y se escoge la lámpara del mayor coeficiente de rentabilidad. Para el análisis en mención, se obtienen dos lámparas con coeficiente de rentabilidad de 0.038 (High Bay de Dialight y DSX1 de Lithonia Lighting), lo cual significa que cada peso invertido es proporcional a 0,038 horas de vida útil. Al analizar los otros factores, se prefiere seleccionar a lámpara High Bay LED de Dialight ya que su consumo de energía es menor y el flujo luminoso nominal emitido es mayor.

Un factor adicional para la selección de esta luminaria es que el lente es adecuado para operar en ambientes húmedos, de alta corrosión y la eficacia de su potencia, de acuerdo a su catálogo y hoja de datos técnicos (DIALIGHT, 2013) .

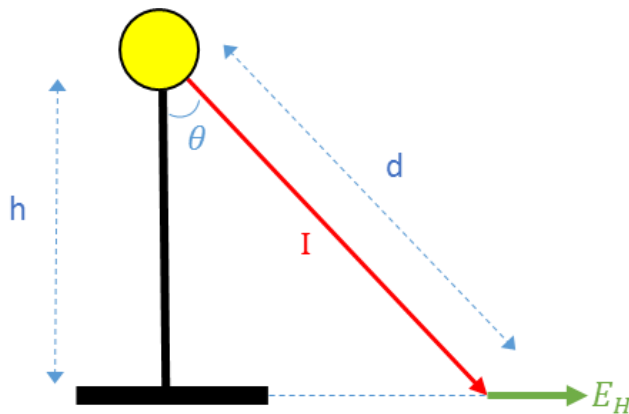
De igual forma, otro factor adicional es la certificación por parte de Dark Sky, organización que certifica que la lámpara de High Bay LED de dialight, es amigable con el medio ambiente y acata las recomendaciones para evitar contaminación lumínica en lugares exteriores (VER ANEXO N° 9) .

Sin embargo, es necesario conocer si la selección de estas lámparas satisface las necesidades lumínicas del proyecto, con base en lo establecido en el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público –RETILAP para vías.

Para ello, se realiza el cálculo del nivel de iluminación siguiendo los procedimientos descritos por el RETILAP en la sección 530 (Cálculos de iluminancia)

8.5.1 Cálculo de Iluminancia en un punto:

Para ello, se aplica la ley del coseno y así obtener el valor de la iluminancia horizontal en un punto cualquiera.



$$E_H = \frac{I * \cos(\theta)^3}{h^2}$$

Donde

E_H : es la iluminancia medida en un punto cualquiera de un plano horizontal

I : es la intensidad de la fuente expresada en candelas

θ : es el ángulo de incidencia del haz de luz

H : es la altura de montaje de la fuente de luz

Cuando existe más de una fuente de luz, es necesario calcular cada valor de iluminancia por separado y luego sumar el aporte de cada fuente, por lo que la ecuación general de iluminancia en un punto para varias fuentes viene dada por

$$E_H = \sum_{j=1}^n \frac{I * \cos(\theta)^3}{h^2}$$

Ecuación 9. Iluminancia total en un punto
Fuente: Retilap, 2010

8.5.2 Método Europeo

Este método permite calcular el valor promedio de la iluminancia sobre una vía. Para ello se divide la vía en 9 puntos, tal como se muestra a continuación

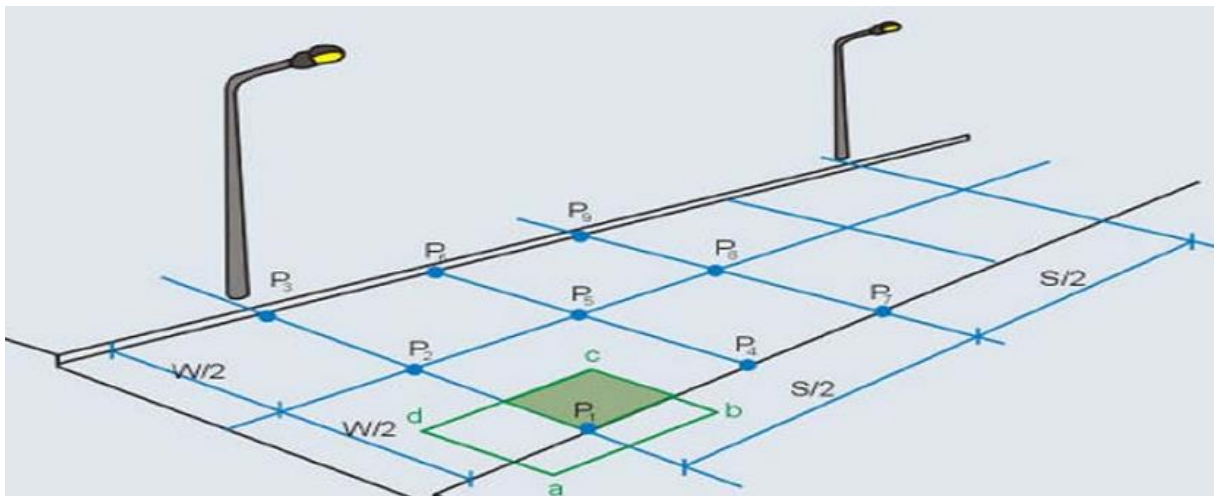


Ilustración 22. División de vía según método europeo
Fuente: (Ministerio de minas y energía, 2010)

Al obtener el valor de la iluminancia en los nueve puntos, se puede determinar el valor de la iluminancia promedio mediante la expresión

$$E_{PROM} = \frac{1}{16} * [E_1 + E_3 + E_7 + E_9 + +2 * (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4E_5]$$

Ecuación 10. Cálculo iluminancia promedio método europeo

Fuente: Retilap, 2010

Donde E_1, E_2, \dots, E_9 son los valores de la iluminancias en los puntos P_1, P_2, \dots, P_9

Debido a la gran cantidad de cálculos que se deben realizar y a la dificultad de obtenerlos manualmente, estos se realizarán mediante un software especializado llamado DIALUX. Este software permite el ingreso de todos los parámetros y variables necesarios para la realización del diseño tales como altura de montaje, espaciamiento entre luminarias, ancho de la vía, características fotométricas de la lámpara a usar, entre otros.

El software arroja los resultados de iluminancia mínima y media y coeficiente de uniformidad. Los resultados así como su explicación se muestran a continuación.

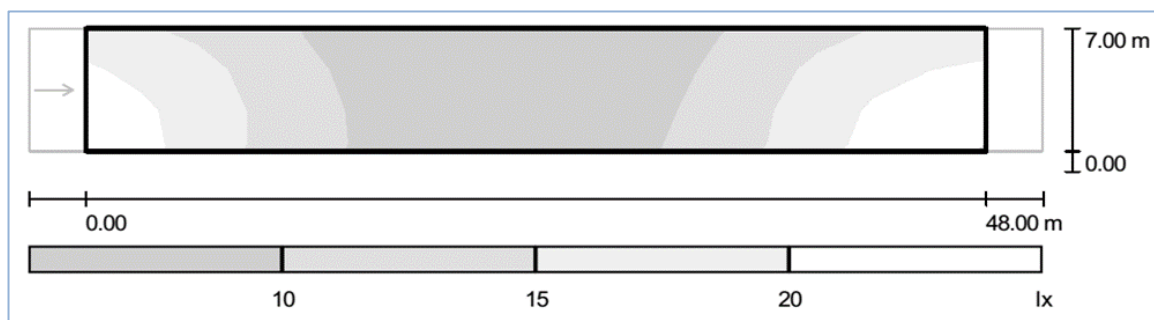


Ilustración 23. Valores de iluminancias medidos entre dos lámparas

Fuente: Autor del proyecto

La ilustración anterior muestra los resultados de la simulación de los niveles de iluminancia en la vía. Esta tiene 7 metros de ancho y las luminarias están separadas una distancia de 40 metros.

La gráfica nos revela que debajo de las lámparas, la iluminancia tendrá sus valores máximos (entre 20 y 25 luxes) y que los valores mínimos de iluminancia estarán comprendidos entre 5 y 10 luxes.

La siguiente gráfica muestra los valores promedio, mínimo y máximo de la iluminancia (E_{av} , E_{min} y E_{max} respectivamente), así como el coeficiente de uniformidad u_0 .

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	$u0$
13	5.57	24	0.428

Ilustración 24. Resultados simulación

Fuente: Autor del proyecto

De lo anterior, la lámpara escogida para la simulación cumple con los requisitos establecidos por el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP, para vías clase M5; R4 en donde la iluminancia debe poseer como requisito un valor promedio de por lo menos 8 luxes la superficie (la simulación arroja un valor de 13 Luxes) y un coeficiente de uniformidad mínimo de 18 % (la simulación arroja 42.8%).

Por tanto, y de acuerdo con las premisas anteriores, la lámpara High Bay LED de Dialight es la seleccionada para mejorar el sistema de iluminación de la empresa en cuestión, ya que ofrece mayor rentabilidad, cumple con los requisitos establecidos por el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP descritos en la tabla 7 y posee características ambientales amigables con el ambiente (Ver Anexo 9).

8.6 Fase 6: Realizar la Proyección Económica del Consumo Generado por el Diseño Optimizado.

Para realizar la proyección económica, primero se calculan los costos del actual sistema de iluminación. Posteriormente se comparan con los costos del diseño optimizado y se observa si se reducen los costos realmente y en qué proporción. Si los costos generados por el sistema optimizado de iluminación son menores que el sistema sin optimizar, se realizará un análisis costo beneficio con el fin de determinar si la implementación de la propuesta es viable y en qué tiempo se recuperará la inversión realizada en la optimización de dicho sistema.

8.6.1 Cálculo del consumo del sistema de iluminación actual

Para realizar este cálculo, se contabilizan el total de lámparas que actualmente existe en el sistema de iluminación, así como su potencia.

Tabla 9.

Costos de consumo actual del sistema de iluminación

<i>TIPO DE LÁMPARA</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>WATTS</i>	<i>TOTAL WATTS</i>	<i>COSTO EN PESOS</i>
<i>LÁMPARA DE SODIO</i>	161	250	40.250	
<i>LÁMPARA DE SODIO</i>	30	400	12.000	
<i>TOTAL</i>	191		52.250	
<i>TOTAL KW/HORA</i>			52,25	\$20.900
<i>TOTAL KW/DIA (12 HORAS DE FUNCIONAMIENTO AL DÍA)</i>			627	\$250.800
<i>TOTAL KW/AÑO (12 HORAS DE FUNCIONAMIENTO AL DÍA)</i>			228.855	\$91.542.000

Fuente: Autor del Proyecto

La siguiente tabla muestra los resultados con aproximación más real teniendo en cuenta los cálculos realizados con las horas de diferencia asociadas al mal funcionamiento de la fotocelda. Los cálculos se realizan teniendo en cuenta una hora adicional de funcionamiento.

Tabla 10.

Costo de consumo teniendo en cuenta horas adicionales de trabajo de la fotocelda

<i>TIPO DE LÁMPARA</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>WATTS</i>	<i>TOTAL WATTS</i>	<i>COSTO EN PESOS</i>
<i>LÁMPARA DE SODIO DE SODIO</i>	161	250	40.250	
<i>LÁMPARA DE SODIO</i>	30	400	12.000	
TOTAL	191		52.250	
TOTAL KW/HORA			52,25	\$20.900
TOTAL KW/DÍA (13 HORAS DE FUNCIONAMIENTO AL DÍA)			679,25	\$271.700
TOTAL KW/AÑO (13 HORAS DE FUNCIONAMIENTO AL DÍA)			247.926	\$99.170.500

Fuente: Autor del Proyecto

$$\% \text{ aproximado Ineficiencia fotocelda} = 1 - \frac{\$91.542.000}{\$99.170.500}$$

$$\% \text{ aproximado Ineficiencia fotocelda} = 7,69 \%$$

8.6.2 Cálculo del consumo del sistema de iluminación optimizado

A continuación se muestran los costos que generaría el nuevo sistema de iluminación optimizado, con el tipo de lámpara LED de 165 watts.

Tabla 11.

Evaluación de costos de consumo del sistema de iluminación propuesto

TIPO DE <u>LÁMPARA</u>	CANTIDAD	WATTS	TOTAL WATTS	COSTO EN PESOS
<u>LÁMPARA LED</u> <u>LÁMPARA LED</u>	161	165	26.565	
<u>LÁMPARA LED</u>	30	165	4.950	
TOTAL	191		31.515	
TOTAL KW/HORA			32	\$12.606
TOTAL KW/DÍA (12 HORAS DE <u>FUNCIONAMIENTO AL DÍA</u>)			378	\$151.272
TOTAL KW/AÑO (12 HORAS DE <u>FUNCIONAMIENTO AL DÍA</u>)			138.036	\$55.214.280

Fuente: Autor del Proyecto

8.6.3 Relación costo – beneficio

Para determinar la relación Costo – Beneficio, es preciso determinar el valor de la inversión inicial al comenzar el proyecto más los costos. La inversión incluye el costo de cada lámpara, la mano de obra global por la instalación de las lámparas, seguros (ARL-EPS), y costo de las maquinarias.

Tabla 12.

Inversiones a realizar en el sistema de iluminación propuesto

NÚMERO DE LÁMPARAS	191
COSTO UNITARIO DE LÁMPARA	\$ 2.600.000
SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE ILUMINACIÓN ANUAL	\$ 120.000.000
INSTALACIÓN DE LUMINARIAS	\$ 12.000.000
INVERSIÓN	\$ 628.600.000

Fuente: Autor del Proyecto

De acuerdo a los cambios planificados para la optimización del sistema actual de iluminación, la inversión requerida es de \$628.600.000, los cuales describen la implementación de los ítems descritos en la Tabla anterior.

El ítem servicio de mantenimiento de iluminación anual con valor de 120.000.000, es de acuerdo a lo pactado en el contrato macro de mantenimiento por parte de Ocesa con contratistas, el cual se caracteriza por poseer una fuerza de trabajo constante, la cual ejecuta actividades de mantenimiento eléctrico con requerimientos diversos de tiempo (incluye salario-prestaciones de dos técnicos profesionales y 1 auxiliar de las áreas eléctricas).

Para Ocesa este costo por mantenimiento es constante”, significa que siempre se paga a un tercero, por garantizar el buen funcionamiento del sistema eléctrico y es independiente de la tecnología que se vaya a mantener.

La siguiente tabla muestra el costo por consumo de energía, tanto para el sistema de iluminación anterior, como para el nuevo planteado con iluminación LED.

Tabla 13.

Costo de consumo de energía en los sistemas de iluminación actual y propuesta

COSTO DEL CONSUMO ANUAL NUEVO SISTEMA	\$55.214.280
COSTO DEL CONSUMO ANUAL SISTEMA ACTUAL	\$99.170.500
BENEFICIOS COSTO CONSUMO ANUAL ACTUAL	\$43.956.220

Fuente: Autor del Proyecto

Teniendo en cuenta el consumo del sistema de iluminación actual y el consumo proyectado del sistema de iluminación optimizado, podemos ver un ahorro de \$43.956.220, el cual sería el beneficio obtenido por el terminal marítimo del oleoducto central (OCENSA) para el año 2014.

Teniendo en cuenta la información especificada en la tabla 17, se puede proyectar el beneficio obtenido por el terminal marítimo del oleoducto central (OCENSA) hasta el periodo comprendido por la vida útil de la luminaria seleccionada.

Tabla 14.

Vida útil de las lámparas del sistema de iluminación propuesto

VIDA ÚTIL APROXIMADA EN HORAS	100.000 HORAS
VIDA ÚTIL APROXIMADA EN AÑOS	22 AÑOS

Fuente: Autor del Proyecto

A continuación se muestra la tabla de proyección de costos y beneficios durante la vida útil del proyecto, que coincide con la vida útil de las lámparas. Para la proyección del valor del KW/H se estimó un incremento anual promedio del 3%, valor que coincide con los incrementos históricos registrados anteriormente en OCENSA.

De igual forma se omite el costo por mantenimiento al sistema de iluminación, ya que para Ocensa es un costo constante, se le paga a una tercero para que realice el respectivo mantenimiento y sea garante del mismo independiente de la tecnología que se utiliza.

Tabla 15.
Proyección de costos y beneficios

<i>AÑO</i>	<i>VALOR KW/HR</i>	<i>CONSUMO ANUAL NUEVO SISTEMA</i>	<i>CONSUMO ANUAL SISTEMA ACTUAL</i>	<i>BENEFICIO</i>
2014	400	\$55.214.400	\$99.170.400	\$43.956.000
2015	\$412	\$56.870.832	\$102.145.512	\$45.274.680
2016	\$424	\$58.576.957	\$105.209.877	\$46.632.920
2017	\$437	\$60.334.266	\$108.366.174	\$48.031.908
2018	\$450	\$62.144.294	\$111.617.159	\$49.472.865
2019	\$464	\$64.008.622	\$114.965.674	\$50.957.051
2020	\$478	\$65.928.881	\$118.414.644	\$52.485.763
2021	\$492	\$67.906.748	\$121.967.083	\$54.060.336
2022	\$507	\$69.943.950	\$125.626.096	\$55.682.146
2023	\$522	\$72.042.268	\$129.394.879	\$57.352.610
2024	\$538	\$74.203.537	\$133.276.725	\$59.073.188
2025	\$554	\$76.429.643	\$137.275.027	\$60.845.384
2026	\$570	\$78.722.532	\$141.393.277	\$62.670.746
2027	\$587	\$81.084.208	\$145.635.076	\$64.550.88
2028	\$605	\$83.516.734	\$150.004.128	\$66.487.394
2029	\$623	\$86.022.236	\$154.504.252	\$68.482.016
2030	\$642	\$88.602.903	\$159.139.379	\$70.536.476
2031	\$661	\$91.260.990	\$163.913.561	\$72.652.571
2032	\$681	\$93.998.820	\$168.830.968	\$74.832.148
2033	\$701	\$96.818.785	\$173.895.897	\$77.077.112
2034	\$722	\$99.723.348	\$179.112.774	\$79.389.425
2035	\$744	\$102.715.049	\$184.486.157	\$81.771.108
VPN		\$1.179.336.699	\$2.118.202.718	\$938.866.019

Fuente: Autor del Proyecto

Teniendo en cuenta la tabla anterior podemos ver que el beneficio bruto total al transcurrir 22 años de Vida útil de las luminarias de implementación de la solución, será de 938.866.019

Para calcular el beneficio neto obtenido por la optimización del sistema de iluminación, se debe restar la inversión al beneficio bruto total (VPN del beneficio 938.866.019)

Tabla 16.
Inversión y beneficios bruto y neto del sistema de iluminación propuesto

<i>BENEFICIO BRUTO</i>	<i>\$938.866.019</i>
<i>INVERSIÓN</i>	<i>\$506.600.000</i>
<i>BENEFICIO NETO</i>	<i>\$432.266.019</i>

Fuente: Autor del Proyecto

El beneficio neto proyectado que se obtiene luego de implementar la optimización del sistema de iluminación de áreas abiertas del terminal marítimo del oleoducto central (OCENSA), es de \$ 432.266.019, lo cual corresponde a un ahorro aproximado del 20.41% con referencia a los costos que se generarían por consumo de energía eléctrica si no se optimiza el sistema actual (\$2.118.202.718).

Nuevamente se hace énfasis y se recalca que la inversión descrita para la ejecución de la presente propuesta no incluye el costo por concepto de mantenimiento, ya que la empresa “Ocensa” posee este costo asociado a costo de mantenimiento fijo y se le paga a un tercero para que sea garante de mantener la operatividad de sus instalaciones en diversas áreas, entre estas el área eléctrica la cual incluye el sistema de iluminación.

La inversión requerida para la optimización del sistema actual de iluminación de áreas abiertas del terminal marítimo del oleoducto central 506.000.000, se recuperaría en 12 años de funcionamiento del mismo.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al desarrollar el presente proyecto se identificaron deficiencias de iluminación en las vías y zonas perimetrales (zonas no clasificadas), ya que el consorcio encargado de los estudios y diseños de iluminación seleccionaron un sistema con 4,5 Luxes en la superficie de vías y zonas perimetrales (TECHINT COTECOL S.DE H, 1996) , valor que actualmente no cumple las condiciones lumínicas para vías (El valor debe ser 8 luxes en la superficie de la vía con uniformidad mínima de 18%).

Mediante la investigación desarrollada se identifican tecnologías de luminarias en el mercado que poseen mayor eficiencia lumínica, mejor operatividad para ambientes de alta humedad, y mayor resistencia a ambientes salinos de alta corrosión que la tecnología sodio de alta presión, la tecnología de estas características es la tipo LED.

Se identifican los elementos del sistema eléctrico en buen estado, que pueden ser utilizados en el desarrollo de la propuesta, los cuales equivalen al 90% del total de elementos, se recomiendan el cambio de luminarias de sodio de alta presión de 250 a 400 W por luminarias LED 165 W, y el remplazo de la fotocelda por una igual de la misma referencia.

La utilización de luminaria LED de 165 W de High Bay LED de dialight, satisface los requerimientos lumínicos exigidos por el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público en Colombia RETILAP de acuerdo a la simulación realizada. De igual forma, el cálculo del ahorro proyectado por la reducción del costo del consumo eléctrico por concepto de iluminación en de 20,41%.

La inversión en esta nueva tecnología en el presente proyecto posee un retorno de la inversión en un tiempo de 12 años, con un beneficio económico de \$ 432.266.019.

10. CONCLUSIONES

A través del presente proyecto, se realiza una propuesta que logra:

- Reducir los costos generados por el consumo de energía eléctrica, mediante la optimización del diseño del sistema de iluminación de las áreas abiertas del terminal marítimo del Oleoducto Central S.A. (OCENSA) Coveñas.
- Reducir los costos por consumo de energía de dichas áreas en un 20,41%, ahorro que se traduce para la empresa en un beneficio neto de \$432.266.019 a lo largo de la vida útil de las luminarias implementadas en el sistema, siendo este un impacto positivo significativo para la optimización de costos a nivel global de la organización.
- La tecnología a utilizar en luminarias es la tipo LED, ya que permite beneficiar el ambiente, con la reducción de emisión de elementos contaminantes, ya que los componentes agregados son totalmente amigables con el medio, no emiten gases ni residuos sólidos contaminantes, poseen mayor vida útil y además generan menor calor.
- La presente propuesta permite ajustar las necesidades lumínicas actuales de vías y áreas no clasificadas del oleoducto central S.A al reglamento técnico de iluminación y alumbrado público –RETILAP.
- Las luminarias poseen características de diseño que les permiten operar en ambientes salinos, resistentes a la corrosión y altas temperaturas.
- Para mayor eficiencia del equipo sensor de luz (foto celda) es necesario reubicarlo en una edificación de mayor altura y libre de sombras, para evitar falsos positivos que enciendan el sistema de iluminación.

11. RECOMENDACIONES.

Para mantener la efectividad del sistema de iluminación se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Incluir en el plan de mantenimiento preventivo inspecciones periódicas para la foto celda, de acuerdo a la agenda de programación de mantenimiento entregado por el fabricante.
- En el plan de mantenimiento de iluminación es necesario incluir inspecciones luxométricas en campo, para identificar el estado actual de luxes de las luminarias y así corregir posibles anomalías.
- Cambiar el equipo controlador de encendido y apagado (fotocelda) por uno de su misma referencia, ya que el estado actual presenta deterioros físicos apreciables y el tiempo de servicio en operación 19 años de servicio.
- Se debe ajustar la operatividad de las luminarias de acuerdo a lo exigido por el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP, que establece un nivel de iluminación en vías categoría M5 un valor promedio de por lo menos 8 luxes y un coeficiente de uniformidad mínimo de 18%.
 - Se debe ajustar la operatividad de las luminarias en lugares como escaleras, escaleras de verificación a 100 luxes mínimo de acuerdo con la norma 8995-3 iluminación para trabajos al aire libre, para industrias de plataformas petroleras marinas o industrias peligrosas, lo cual, se queda abierta la posibilidad de realizar una investigación sobre el nivel de iluminación en zonas clasificadas (ambientes peligrosos), ya que estas locaciones no eran objeto de estudio de este trabajo de grado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bedoya, J. L. (2009). *Diseño de una iluminación eficiente aplicado a una central de generación hidroeléctrica guadalupe III*. medellin.
- Borroto, A. (2002). *Gestión energética empresarial. Centro de estudios de energía y medio ambiente-universidad de cienfuegos*.
- CODENSA. (2013, FEBRERO 22). *Tarifario Febrero*. Recuperado de WWW.CODENSA.COM.CO:
http://www.codensa.com.co/documentos/1317_1901_2_22_2013_11_34_06_AM_Tarifario_Febrero.pdf
- Nuttall, G. R. (2008). *Design of a led street Lighting system*. Recuperado de, *powerelectronics, machines and drive, 2008* (pp. 436-440).
- Darksky.org/our-work/. (2015, 08 10). *darksky.org. certificación darksky* Recuperado de 08 10, 2015, www.darksky.org
- DIALIGHT. (2013). *High Bay LED catálogo*. Recuperado de http://www.dialight.com/Product/Category/DuroSite-LED-High_Bay-UL_CSA.
- Duco, S. (2008). *Outdoor lighting physics. Vision and perception*. In s. Duco, *Outdoor lighting physics. Vision and perception*.
- EuropeanLampCompanieFederation. (2010). *Mercury content by type of lamp*.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M., & Haim, A. (2011). *limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility*. Haifa.
- G. G. Lister, W. P., & Godyak. (2008). *The physics of discharge lamps. Reviews of Modern Physics*, 203-216.

- González, A. y. (2014). *Evaluación del estado actual del sistema de iluminación de las áreas abiertas del Terminal Marítimo del Oleoducto Central s.a. (Ocensa) en Coveñas. Sincelejo, Sucre.*
- Gonzalez, J. c., vera, N. e., & posada, A. (2010). Diagnostico de iluminacion de la sede caldas.
- Gribincea. (2013). Energy efficiency policy in moldova. *scientific papers series management, economic engineering in agriculture and development.*
- ISO 8995 -3 . (2010). Lighting of outdoor work places. *Lighting of outdoor work places.*
- itskovich. (1999). Energy Management in Christchurch. *australian civil engineering transactions,* p 39-45.
- Lojano Leon, L. M., & Orellano Lojano, F. R. (2014). *Mejoramiento del sistema del alumbrado publico.*
- Lojano, L., & Orellana, F. (n.d.). *Mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca mediante la sustitución por tecnología LED.*
- Martinez Vargas, F. (2004). *Apuntes de la materia Proyectos de Iluminación.* Mexico: Instituto tecnologico de Puebla.
- Martinez, N. c., quiroga, M. a., & zurbruggen, N. (2012). IIV congreso de medio ambiente. *IIV congreso de medio ambiente,* (pp. 11-13). la plata-argentina.
- (2014). *Mejoramiento del sistema de alumbrado publico de una arteria de circulacion vehicular de la ciudad de cuenca, mediante la sustitucion por tecnologia LED.*
- Mesa, M. s. (2009). *Propuesta para implementacion del sistema LED para la iluminacion publica en antioquia.* envigado.

- Mesa, R. L., & Ramirez, A. (2011). *Manual de procedimientos para el diseño de instalaciones de iluminación interior y exterior con énfasis en RETILAP y LEED.*
- Ministerio de minas y energia. (2010). **REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACION Y ALUMBRADO PUBLICO.**
- oleoducto central s.a. (n.d.). *OCENSA-informacion de la empresa.* Recuperado de 08 30, 2012, OCENSA-informacion de la empresa: www.oleoductocentralsa.com
- OSRAM. (n.d.). *Lámparas de mercurio a alta presión.* Recuperado de http://www.osram.es/osram_es/productos/lamparas/lamparas-de-descarga-de-alta-presion/lamparas-de-vapor-de-mercurio-con-tecnologia-ceramica/index.jsp
- OSRAM. (n.d.). *Lámparas de sodio de alta presión.* Recuperado de www.osram.es/osram_es/productos/lamparas/lamparas-de-descarga-de-alta-presion/lamparas-de-vapor-de-sodio-de-alta-presion-para-luminarias-abiertas-y-cerradas/index.jsp
- Paredes, J. M., & castro, J. M. (2014). *Estudio de contaminacion luminica y eficiencia en alumbrado exterior.* 2014: universidad politecnica de cartagena.
- Paukste, B. M. (2011). *FUENTES LUMINOSAS.* Recuperado de 2015, <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/dllyv/files/2011/05/cap04.pdf>
- Poltosi, R. (2010). Plan de iluminación urbana para Brasil. *Vitruvius.*
- Roncancio, P. C. (2011). *IMPACTO DE ALUMBRADO PUBLICO CON LEDS EN LA RED DE DISTRIBUCION.* MEDELLIN. Universidad Nacional.
- Sylvania. (n.d.). *Boletín de información técnica O-341 Lámparas Fluorescentes.* Recuperado de <http://www.sylvaniacolombia.com/lamparas>.
- Sylvania. (n.d.). *Lámparas Fluorescentes.* Recuperado de www.havells-sylvania.com.co/tubos

Sylvania. (n.d.). *Tipos de Lámparas Sylvania*. Recuperado de <http://www.sylvaniacolombia.com/FICHASTECHNICAS/GENERAL/INCANDESCENTES/P21650-54-56%20HALOGENECO%20CLASICO%2042W%20-%2070W%20CLARO.pdf>

Tania – Carbonell Morales, L. –F.–A. (2014). Aplicación de Gestión Total Eficiente de Energía en el Centro Internacional de Salud “La Pradera”. *APLICACIONES INDUSTRIALES*, p.112 – 121.

Tanides, C. (2011). <http://www.herrera.unt.edu.ar/centroherrera/Default.asp>. Retrieved 10 18, 2014, <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/dllyv/files/2011/05/cap01.pdf>

TECHINT COTECOL S.DE H. (1996). *MEMORIA DE CALCULO ALUMBRADO EXTERIOR*.

Universidad de Navarra. (n.d.). *Tipos de lámparas*. Recuperado de http://www.unav.es/tesd/manualted/manual_archivos/luz9_main.htm

Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Alumbrado público de exterior*. Bogotá: POLIGRAMA.

Universidad Politécnica de Cataluña. (n.d.). *CITCEA - UPC*. Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html>

Universidad Politécnica de Cataluña. (n.d.). *CITCEA - UPC*. Recuperado de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html>

Valmer GmbH & CO. (2001). *Electrotecnia*. Haan-Gristen: AKAL Ediciones.

Wilder, s. (2008). power supplies for led drivers. In s. wilder, *power supplies for led drivers* (pp. 203-216).

Wilder, s. (2008). power supplies for LED drivers. Newnes. *Elsevier*, 203-216.

Proyecto de Planeación Minero Energética de Colombia (UPME) y el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (COLCIENCIAS). (2012) - *Diagnóstico energético en el sistema de iluminación – Universidad Autónoma de Occidente y Universidad del atlántico.*

Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa – Agencia Andaluza de la Energía, España, (2005) *Diagnóstico Energético en Instalaciones de Alumbrado Público.*

Martínez Vargas, Felipe. (2004). *Apuntes de la materia Proyectos de Iluminación.* Instituto Tecnológico de Puebla. México. No publicado.

Falcón Delgadillo, Víctor Miguel– Universidad Autónoma de San Luís Potosí, México. Tesis. (2008). *Análisis, Diagnóstico y Mejoras al Sistema Eléctrico de un Club Deportivo.*

Álvarez Karla, Morales Iliana, Melara Julia – San Salvador. Tesis. (2002). *Diagnóstico del Mercado Laboral del Ingeniero de Alimentos en El Salvador.*

Acosta Silvia, Íncer Elías, Mena Adriana – Universidad de Costa Rica. Tesis. (2006) *Propuesta teórica – metodológica para evaluar los servidores de los archivos a partir de un estudio de usuarios. Unidad de análisis: los archivo municipales.*

OCENSA. (2012). *Información de la empresa.* Recuperado de http://www.oleoductocentralsa.com/empresa_home.php.

Anexos

Anexo 1. ELEMENTOS CONTROLADORES DEL SISTEMA



Anexo 2. FOTOCELDA O FOTONSENSOR





Anexo 3. SOFTWARE SAP PM

Instrucciones Tratar Pasar a Operación Detalles Entorno Sistema Ayuda

Visualizar instrucción: resumen operaciones

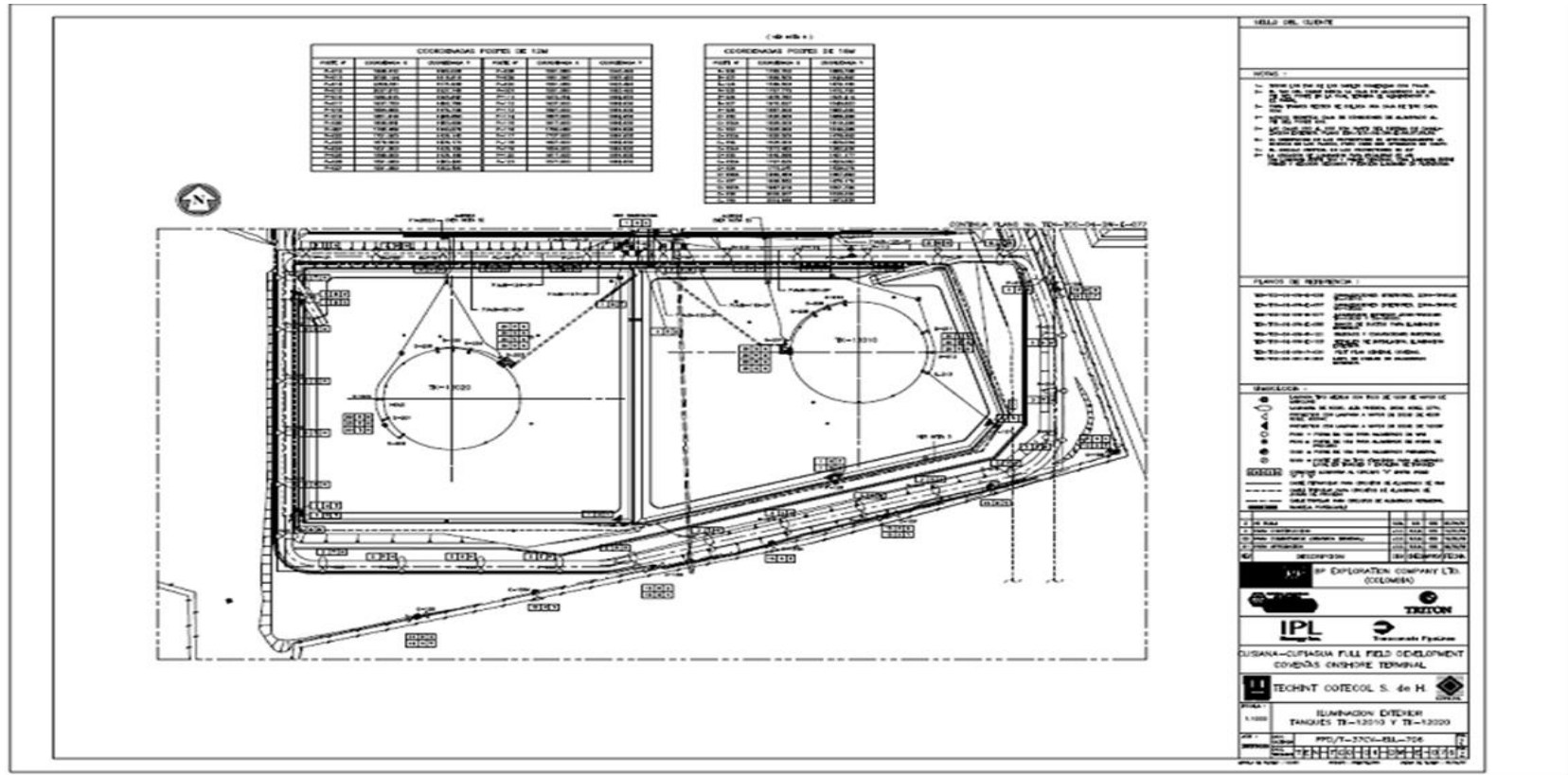
Propia Externo Cab. Plan

GHRRuta EEL HR ALUMBRADO ESTACION CVA ContGrpHR 70
Clave de hoja de ruta

Op.	Descripción operación	PstoTbjo	N.	Dur.	Un.	T.	Cv.mod.	Ce.	Trabajo	Ctrl	Un.	Cv.C	%	DistTr...	F..	S...	ClAct	Conjunto	H.	G.	CS	G.	L	Ctd.pedido	U.	Precio n...	Mon.	por
0010	*****SEMESTRAL*****	ELECTRIC	1	0,0	H		6MESES	CVA 0,0	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0020	DILEGENCIA PERMISO DE TRABAJO Y ART	ELECTRIC	1	0,5	H		PERMISO	CVA 0,5	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0030	ALISTAR HERRAMIENTAS Y MATERIALES	ELECTRIC	1	0,3	H		ALISTAR	CVA 0,3	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0040	DESPLAZARSE AL SITIO DE EJECUCIÓN	ELECTRIC	1	0,3	H		TRANSPO	CVA 0,3	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0050	REALIZAR LOS AISLAMIENTOS NECESARIOS	ELECTRIC	1	0,3	H		AISLAR	CVA 0,3	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0060	*** ILUMINACIÓN INDUSTRIAL Y OFICINAS	ELECTRIC	0	0,0	H			CVA 2,0	PM01	H		100		1					0					0,000	0	COP	0	
0070	INSPECCIÓN DE ILUMINARIAS	ELECTRIC	1	4,0	H			CVA 4,0	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0080	**** ILUMINACIÓN VIAS Y PERIMETROS ****	ELECTRIC	1	0,0	H			CVA 1,0	PM01	H		100		1					0					0,000	0	COP	0	
0090	AJUSTE DE CONEXIONES	ELECTRIC	1	4,0	H			CVA 4,0	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0100	INSPECCIÓN DE BREAKER	ELECTRIC	1	0,3	H			CVA 0,3	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0110	INSPECCIÓN DE ILUMINARIAS	ELECTRIC	1	4,0	H			CVA 4,0	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0120	**** MASTILES - ESPECIAL ****	ELECTRIC	0	0,0	H			CVA 0,1	PM01	H		100		1					0					0,000	0	COP	0	
0130	*****ANUAL*****	ELECTRIC	0	0,0	H		12MESES	CVA 0,1	PM01	H		100		1					0					0,000	0	COP	0	
0140	INSPECCIÓN ÚLTIMA TERMOGRAFÍA	ELECTRIC	1	0,5	H			CVA 0,5	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0150	MARQUILLADO DE CIRCUITOS	ELECTRIC	1	1,0	H			CVA 1,0	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0160	====REALIZAR LIMPIEZA DEL ÁREA Y EQUIPOS	ELECTRIC	1	0,3	H			CVA 0,3	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0170	ENTREGAR A OPERACIONES Y CERRAR PERMISO	ELECTRIC	1	0,1	H			CVA 0,1	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	
0180	DOCUMENTAR Y NOTIFICAR ORDEN DE MTTO	ELECTRIC	1	0,5	H			CVA 0,5	PM01	H	2	100		1					0					0,000	0	COP	0	

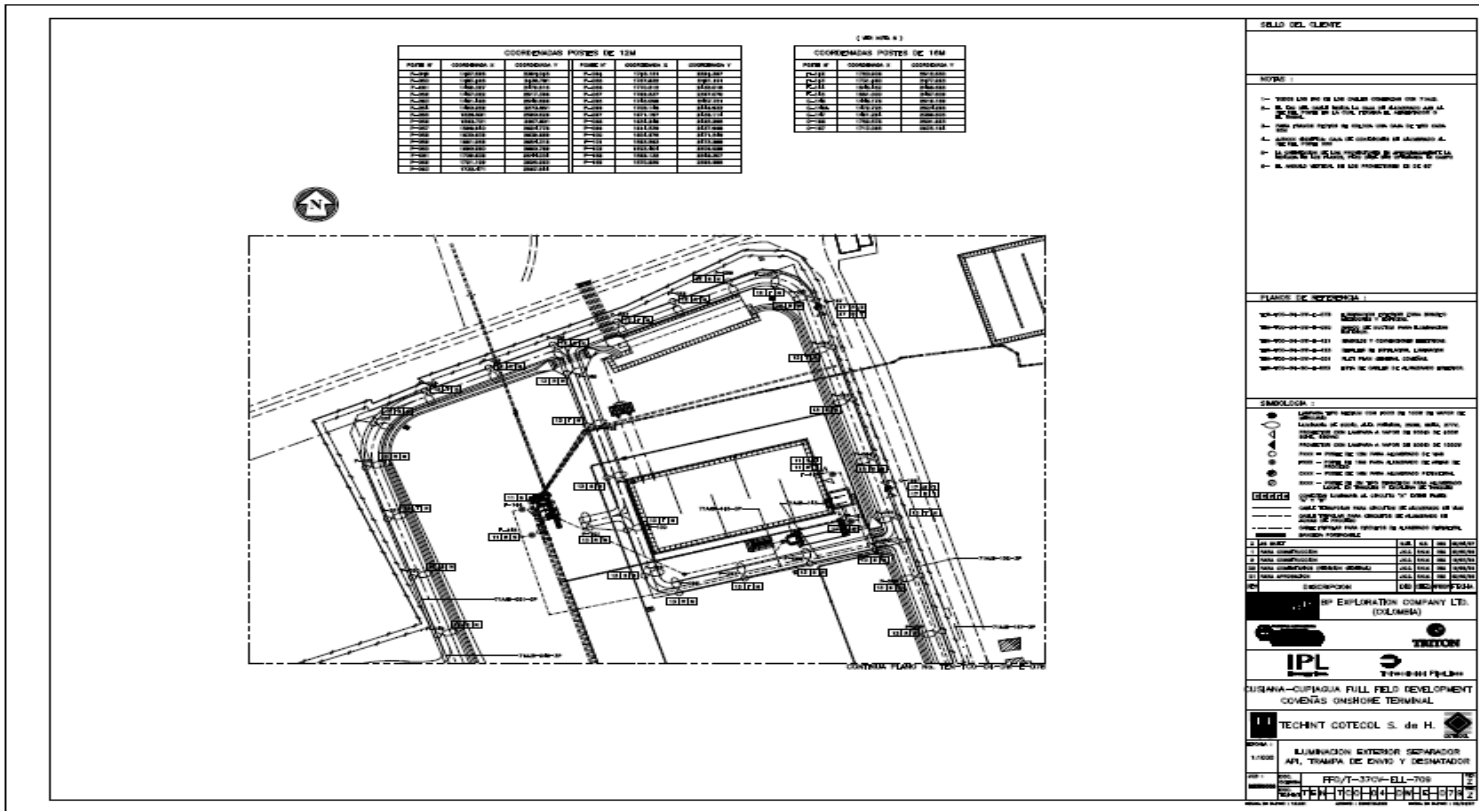
PaqManPr Compte. REO MAF PaqServ CarIns Entrada 1 / 18

Anexo 4. ILUMINACIÓN EXTERIOR TANQUES TK12010 Y TK12020.





Anexo 7. ILUMINACIÓN EXTERIOR SEPARADOR API, TRAMPA EMMO, Y DESNATADOR.



Anexo 8. DOSSIERS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

**CUSIANA - CUIPIAGUA FULL FIELD DEVELOPMENT
COVENAS ONSHORE TERMINAL
MEMORIA DE CALCULO - ILUMINACION EXTERIOR**

DOC. OCENSA: FFD / T - 37CV - ELC - 705 REV. 0 Page 4 of 9
DOC. TECHINT: T E N - T C O - 0 4 - C A - E - 0 0 5 REV. 0

Paso 3: Localizar las luminarias buscando una óptima distribución.

Paso 4: Alimentar el programa OUTPOINT con los datos de entrada resultantes de los pasos anteriores y realizar la simulación para determinar si los niveles de iluminación son los adecuados dentro de la zona de interés.

Debe tenerse especial cuidado con las estadísticas arrojadas por el programa, ya que éste trabaja con base en áreas rectangulares donde necesariamente entran zonas que no son parte del objeto de diseño y por lo tanto no se iluminan, pero que al aparecer dentro de la región rectangular de análisis distorsionan negativamente los promedios de iluminación.

Paso 5: Si los niveles de iluminación dentro de la zona de interés son satisfactorios, el diseño está terminado. Si no, vaya al paso 3 y repita los cálculos.

5. RESULTADOS DE DISEÑO

5.1. ILUMINACIÓN PERIMETRAL

Paso 1: El nivel requerido de iluminación es de 4.5 luxes en promedio dentro de una franja de 20 mts medida desde la cerca interior hacia afuera. En la franja entre las cercas interior y exterior no se permitirá que haya menos de 1 lux en ningún punto.

Paso 2: Se utilizarán reflectores de 400 Watts tipo HPS

Paso 3: La localización de luminarias se puede observar en los planos de referencia que son consecuencia del presente diseño (Sección 1.2). La localización consiste en un juego de 3 postes cada 70 mts a lo largo de la cerca perimetral:

- El primero barriendo una franja de 35 mts a la izquierda del poste.
- El segundo barriendo una franja de 35 mts a la derecha del poste.
- El tercero en el centro de los anteriores, enfocando hacia la zona exterior de la estación.

Paso 4: Los resultados del diseño se observan en el anexo No.1. Se modeló una zona entre 3 postes cualquiera equipados como se indicó en el paso 3. El promedio de iluminación en la franja de 20 mts es mayor que 4.5 luxes y dentro de la franja entre las cercas interior y exterior la iluminación es mayor a 1 lux.

USPEC.D01 (M) 8-JUN-96 C:\MSOFT\DOC\WINWORD\...

**CUSIANA - CUIPIAGUA FULL FIELD DEVELOPMENT
COVENAS ONSHORE TERMINAL
MEMORIA DE CALCULO - ILUMINACION EXTERIOR**

DOC. OCENSA: FFD / T - 37CV - ELC - 705 REV. 0 Page 5 of 9
DOC. TECHINT: T E N - T C O - 0 4 - C A - E - 0 0 5 REV. 0

5.2. ILUMINACIÓN DE VIAS

Paso 1. El nivel de iluminación de vías requerido es de 4 luxes a nivel de piso.

Paso 2. La luminaria a utilizar será de Sodio tipo HPS - 250 W

Paso 3. El poste de la luminaria se sitúa a a lo 0.5 m del borde exterior de la berma de la vía.

Paso 4. El proceso fué el siguiente:

La iluminación de vías se calculó para la peor condición, es decir colocando una luminaria sodio-250 W cada 45 mts (normalmente estarán cada 40 mts), en poste de 12 m de alto con brazo de 2.5 m de largo. Los resultados se observan en el anexo No. 2. La zona escogida para la simulación es el sector sur-occidental de la estación. La región de análisis cubre la vía, las dos bermas y una región de 4 mts atrás de las luminarias con el fin de detectar cuánto ayudan estas luminarias a reforzar la iluminación general.

Se observa que con la distribución propuesta se obtienen niveles adecuados de iluminación, con promedio de 1.1 luxes, máximo de 3.7 luxes. Como se dijo en el punto 4, el mínimo de 1.96 luxes aparece en una región que no es de interés.

5.3. ILUMINACIÓN DE ZONAS GENERALES Y DE PROCESO

5.3.1. Iluminación de Zona de Bombeo, Medidores y Edificios.

Paso 1. Los niveles requeridos de iluminación son:

Vías:	4 Luxes
Zona de medidores	54 Luxes
Zona de manifold	54 luxes
Otras zonas generales	11 Luxes

Paso 2. De acuerdo con los criterios de diseño, esta zona se modeló completa con luminarias 250 W-HPS para vías interiores y proyectores 400 W-HPS para iluminación de zonas de proceso.

Paso 3. La focalización de luminarias se observa en el plano TEN-TCO-04-DW-E-078.

USPEC.D01 (M) 8-JUN-96 C:\MSOFT\DOC\WINWORD\...

Anexo 9. CERTIFICACION DE DARK SKY A LAMPARA HB SERIES LED HIGH BAY FIXTURE

*International Dark-Sky Association
Fixture Seal of Approval*

Presented To

Dialight

HB Series LED High Bay Fixture

You are an integral part of IDA's success in creating a more pleasant nighttime environment.




Peter Strasser
Managing Director