

**PROPUESTA DE CAMBIO TECNOLÓGICO PARA LAS FUENTES DE
ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EXTERIOR DE LAS DE LAS PLANTAS DE
PROCESO CON SU PLAN DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA LA
GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.**

**YENNIFFER DURAN MORA
JOSE MAURICIO TRIGOS PAEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**PROPUESTA DE CAMBIO TECNOLÓGICO PARA LAS FUENTES DE
ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EXTERIOR DE LAS DE LAS PLANTAS DE
PROCESO CON SU PLAN DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA LA
GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.**

**YENNIFFER DURAN MORA
JOSE MAURICIO TRIGOS PAEZ**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: Rubén Darío Hernández Hernández
Especialista en Gerencia de Proyectos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

A Dios por darme Sabiduría para
finalizar con éxito esta nueva meta.
A mis padres, esposo e hijo por su
Paciencia, Compresión y Apoyo dado
durante toda esta nueva etapa.

YENNIFFER DURAN MORA

Dedico este nuevo logro a todos los que creyeron en mi, a toda la gente que siempre me ha apoyado, a mis familiares, a mis amigos y compañeros, ha esta institución que me ha formado, pero en especial se lo dedico a mi padres, que han sido pilar fundamental en mi formacion y educacion como persona, y a los amigos que me brindaron su ayuda, su atencion y, los mas importante su amistad.

JOSE MAURICIO TRIGOS

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

ECOPETROL S.A. y a la UTVQINCOLPROY por permitirnos continuar en nuestro proceso de crecimiento personal y profesional, en especial al Ingeniero Rubén Darío Velásquez por su apoyo en este proceso.

CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS	
INTRODUCCIÓN	23
1. MARCO CONTEXTUAL	24
1.1. LA EMPRESA.....	24
1.2. DESCRIPCION DE GERENCIA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA ...	25
1.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	25
1.3.1. Estructura Organizacional de la GRB	25
1.3.2. Estructura Organizacional del Departamento de Mantenimiento	27
1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA GRB	27
1.5. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE ILUMINACION ACTUAL EN PLANTAS DE PROCESO DE LA GRB.....	28
1.5.1. Clasificación de áreas	28
1.5.2. Sistema de iluminación para uso exterior.	33

1.5.2.1	Circuitos de alimentación.....	35
1.5.2.2	Transformadores de alumbrado.....	35
1.5.2.3	Tablero de servicios generales - TSG.....	36
1.5.2.4	Paneles de alumbrado - LP.....	38
1.5.2.5	Fuentes de iluminación y luminarias de uso exterior.....	38
1.5.2.6	Tomas para servicios generales exteriores.....	39
1.6.	PROCESO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION "ACTUAL" EN PLANTAS DE PROCESO DE LA GRB	39
1.6.1.	Antecedentes.....	39
1.6.2.	Estrategia de Mantenimiento.....	41
1.6.3.	Costos de Mantenimiento.....	41
1.7.	DIAGNOSTICO (PROBLEMA)	42
1.8.	JUSTIFICACIÓN	43
1.9.	INDICADORES.....	44
1.10.	OBJETIVOS	44

1.10.1.	Objetivo General	44
1.10.2.	Objetivos específicos	44
2.	MARCO TEORICO.....	46
2.1.	TEORÍA DEL MANTENIMIENTO	46
2.1.1.	Mantenimiento Correctivo	46
2.1.2.	Mantenimiento Preventivo.....	47
2.1.3.	Mantenimiento Predictivo.....	47
2.1.4.	Mantenimiento Proactivo.....	48
2.1.5.	Mantenimiento Basado en Condición.....	49
2.2.	TEORÍA DEL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.....	49
2.2.1.	Factores de mantenimiento (Según RETILAP)	49
2.2.2.	Mantenimiento preventivo	52
2.2.3.	Mantenimiento correctivo	55
2.3.	TEORÍA BASICA DE ILUMINACIÓN.....	56
2.4.	NUEVAS FUENTES DE ILUMINACION PARA ÁREAS EXTERNAS.....	62

2.4.1.	Tecnologías alternativas de reemplazo para la fuente actual MH-175W PROBE START.....	62
2.4.2.	Led.....	64
2.4.3.	Inducción.....	67
2.4.4.	Super Pulse Start SPL.	70
2.4.5.	Estado del arte de las diferentes tecnologías.	71
2.4.6.	Aspecto Medioambiental.....	72
2.4.7.	Indicadores de costos por iluminación.	83
2.5.	FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA UTIL DE LAS FUENTES DE ILUMINACION.	86
2.6.	REDUCCION DE EMISION DE GASES EFECTO INVERNADERO.....	88
2.6.1.	Opciones para la reduccion de emisiones y captura de CO ₂	90
2.6.1.1	Descripción de las nuevas tecnologías energéticas.....	91
3.	FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA.....	94
3.1.	SELECCION DE ALTERNATIVAS DE FUENTES DE ILUMINACIÓN.....	94
3.1.1.	Estimado de costo de las alternativas.....	94
3.1.2.	Evaluacion financiera.....	94
3.1.3.	Tecnología.....	96
3.1.4.	Ambiental.....	96

3.1.5.	POTENCIAL DE REDUCCION DE EMISIONES DE GASES.	97
3.1.5.1.	Cálculo de emisión de CO ₂ equivalentes por ahorros de energía	97
3.1.5.2.	Beneficios por Disminución de Emisión de CO ₂	97
3.2.	PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	98
3.2.1.	Sistemas Visuales para mejorar la Efectividad del Sistema de	98
3.2.2.	Proceso de mantenimiento al Sistema de Iluminación GRB.....	99
3.2.3.	Mantenimiento Preventivo de la tecnología seleccionada MH-SPL. ...	100
3.2.4.	Especificaciones de Mantenimiento para la tecnología seleccionada MH-SPL en la GRB.....	100
3.2.4.1.	Alcance general	100
3.2.4.2.	Mantenimiento mejorativo	101
3.2.4.3.	Mantenimiento preventivo	101
3.2.4.4.	Mantenimiento correctivo	104
4.	CONCLUSIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación Áreas Peligrosas	32
Tabla 2. Periodos máximos para realizar limpieza del conjunto óptico de luminarias	51
Tabla 3. Características técnicas de las nuevas fuentes de iluminación	63
Tabla 4. Contenido de sustancias contaminantes fuentes de iluminación	82
Tabla 5. Indicadores de costo por iluminación	85
Tabla 6. Ejemplos Indicativos de posiciones posibles de funcionamiento para lámparas	87
Tabla 7. Resumen Relación Beneficio-Costo	95
Tabla 8. Resumen Evaluación Financiera	96
Tabla 9. Cálculo de Emisión CO2	97
Tabla 10. Periodos de mantenimiento	102

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Organigrama GRB.....	26
Figura 2. Organigrama del Departamento de Mantenimiento-GRB...	27
Figura 3. Localización y ubicación geográfica de GRB.....	27
Figura 4. Condiciones para una explosión.....	29
Figura 5. Localizaciones con posible presencia de gas.....	30
Figura 6. Localizaciones con posible presencia de polvo	31
Figura 7. Localizaciones con posible presencia de fibras	31
Figura 8. Sistema Iluminación.....	33
Figura 9. Costos de mantenimiento.....	42
Figura 10. Flujo luminosos.....	56
Figura 11. Intensidad Luminosa-Luminancia.....	57
Figura 12. Iluminancia.....	58

Figura 13.	Eficacia Luminosa.....	59
Figura 14.	Representación de la Temperatura.....	60
Figura 15.	La influencia de la temperatura de color en aplicaciones...	60
Figura 16.	Índice Rendimiento del Color.....	62
Figura 17.	Diodo Emisor de Luz (Led).....	65
Figura 18.	Lámpara Industrial Led.....	66
Figura 19.	Lámpara de Inducción (Philips).....	67
Figura 20.	Lámpara de Inducción (Osram).....	69
Figura 21.	Luminarias de Inducción Tipo Industrial para áreas.... ..	69
Figura 22.	Lámpara MH-SPL.....	71
Figura 23.	Estado del Arte de las tecnologías.....	71
Figura 24.	Costo inicial de la luminaria.....	94

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Evaluaciones Financieras.....	112
ANEXO B. Proceso de mantenimiento al Sistema de Iluminación de GRB.....	116
ANEXO C. Calculo de Equivalencias en Toneladas de CO ₂	117

GLOSARIO

BALASTO: pieza auxiliar del equipo necesaria para encender y controlar correctamente el flujo de la corriente a las fuentes de luz por descarga de gas, como las lámparas fluorescentes y las de descarga de alta intensidad.

BASE MOGUL: base de rosca utilizada para lámparas de tamaño grande, por ejemplo muchas de las de descarga de alta intensidad (HID).

BOMBILLA: forma general de referirse a una lámpara. "Bombilla" describe el globo de vidrio externo que contiene la fuente de luz.

CCM: cuarto de Control de Motores.

CEE: confiabilidad Equipo eléctrico.

ECP: ECOPETROL S.A..

ESCOTÓPICA: visión de la que se encargan exclusivamente los bastones retinianos, normalmente similar a los niveles de luz natural en el campo en una noche estrellada y sin luna.

FOTÓPICA: visión de la que se encargan los conos de los ojos, normalmente de brillo alto y en la región foveal o central.

GRB: gerencia refinería barrancabermeja.

LÁMPARA: término utilizado para indicar el conjunto completo de la fuente de luz, que incluye las partes internas y una bombilla o un tubo exterior.

LFC: lámpara Fluorescente Compacta.

LP: panel de Alumbrado.

LUMINARIA: unidad de iluminación completa formada por una o más lámparas y uno o más balastos, junto con las partes diseñadas para distribuir la luz, colocar y proteger las lámparas y conectarlas al suministro de energía.

MANTENIMIENTO DEL LUMEN: medida de la capacidad de una lámpara para mantener su flujo lumínico con el paso del tiempo. Puede expresarse en números o como un gráfico de flujo lumínico con respecto al tiempo.

MTBF: tiempo Medio entre Fallas

PS&O: planeación, Programación y Optimización del Mantenimiento

RCA: análisis Causa Raíz

SAES: sistema de Aislamiento Eléctrico Seguro.

TAG: código de identificación interna del activo.

TIPO DE BALASTO ANSI: tipo de balasto utilizado para hacer funcionar la lámpara, en conformidad con el estándar ANSI.

TR: transformador.

TSG: tablero de Servicios Generales.

VIDA ÚTIL NOMINAL DE LA LÁMPARA: para la mayor parte de tipos de lámparas, la vida útil es el periodo de tiempo transcurrido entre el primer uso y el momento en que el 50% de las lámparas ha dejado de funcionar.

VPN: valor presente neto.

RESUMEN

TITULO: CAMBIO DE TECNOLOGIA PARA LA FUENTE DE ILUMINACION DE PLANTAS Y UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA.

AUTORES: YENNIFFER DURAN MORA, JOSE MAURICIO TRIGOS PAEZ.

PALABRAS CLAVES: SISTEMAS, GESTIÓN, MANTENIMIENTO, EVALUACION FINANCIERA, INDICADORES, ILUMINACION.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO: Esta monografía propone una nueva tecnología para actualizar el sistema de iluminación industrial actualmente instalado en la Refinería de Barrancabermeja (metal halide Probe-Start) por una nueva fuente las cuales serán objeto de estudio de esta monografía, también se establece la estrategia de mantenimiento para tecnología que resulte seleccionada. Este cambio tecnológico busca mejorar la mantenibilidad, reducir costos de mantenimiento, reemplazar tecnología obsoleta actualmente instalada en la Refinería de Barrancabermeja y proponer una estrategia para planear y ejecutar los mantenimientos enfocados hacia el preventivo basado en el tiempo.

Las tecnologías de iluminación que serán objeto de estudio, se determinarán a través de la aplicación de indicadores de costos por iluminación y un estudio de costos basado en el ciclo de vida del activo en la cual se basa la evaluación financiera utilizada en la GRB y en este trabajo, donde se tienen en cuenta los costos iniciales de la inversión, los costos de mantenimiento y los costos por respuestos durante la vida útil de tecnología bajo estudio y comparada con la tecnología actual, obteniendo la relación Beneficio/Costo.

La tecnología seleccionada es compatible con las luminarias actuales por lo que la actualización tecnológica no implica cambio de luminarias sino del KIT interno, representando un ahorro económico significativo y ventajas de reposición frente a las otras tecnologías.

Se espera que al implementarse esta propuesta, genere un impacto positivo en los costos de mantenimiento del sistema de iluminación de la GRB, minimice el desecho de residuos, generación de emisiones de CO₂ y el inventario ocioso de repuestos.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Rubén Darío Hernández Hernández.

SUMMARY

TITLE: CHANGE OF TECHNOLOGY FOR THE POWER OF LIGHTING PLANTS AND STRATEGY OF LIGHTING SYSTEM MAINTENANCE IN GRB BARRANCABERMEJA*.

AUTHORS: : YENNIFFER DURAN MORA, JOSE MAURICIO TRIGOS PAEZ.

KEYWORDS: SYSTEMS, MANAGEMENT, MAINTENANCE, EVALUATION FINANCIAL, INDICATORS, LIGHTING.

SUBJECT OR DESCRIPTION: This paper proposes a new technology to upgrade the industrial lighting system currently installed on the Barrancabermeja Refinery (Probe-start metal halide) with a new source which will be studied in this paper also sets the maintenance strategy for technology to be selected. This technological change seeks to improve maintainability, reduce maintenance costs, replace outdated technology currently installed in the Barrancabermeja refinery and propose a strategy to plan and execute preventive maintenance-focused based on time.

Lighting technologies will be studied will be determined through the application of indicators and lighting costs for a cost study based on the asset's life cycle which is based on financial assessment used in the GRB and this work, which take into account the initial investment costs, maintenance costs and spare parts costs over the life of technology under study and compared with current technology, obtaining the benefit / cost ratio.

The selected technology is compatible with existing fixtures so that the update does not imply technological change fixtures but the internal KIT, representing a significant cost savings and benefits of replacement versus other technologies.

It is hoped that this proposal be implemented, generate a positive impact on maintenance costs of the lighting system of the GRB, minimize waste disposal, generation of CO2 emissions and idle inventory of spare parts.

* Monograph

** Faculty of Mechanical Engineering Physics. School of Mechanical Engineering. Director Ruben Dario Hernandez Hernandez.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto propone el uso de una fuente de iluminación más eficiente para reducir los costos de operación y mantenimiento, la elaboración de un plan de mantenimiento correspondiente a la fuente seleccionada acorde con la normatividad de uso racional y eficiente de la energía, y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).

La selección de las tecnologías que serán parte de este estudio, se realizará mediante análisis de parámetros técnicos y económicos para fuentes de iluminación de uso exterior, teniendo como principio los conceptos básicos de iluminación y su madurez de desarrollo tecnológico. Una vez seleccionada las tecnologías que harán parte de este documento, se procederá a realizar la evaluación financiera utilizada en la GRB que es basa en el Análisis del Costo del Ciclo de Vida (Life Cycle Cost -LCC) usado para evaluar proyectos de inversión, con el que se busca determinar la relación beneficio-costos, factor que determinará la viabilidad del cambio de tecnología.

Definida la tecnología que reemplazará a la actual, se calculará el potencial de reducción de emisiones de gases de CO₂ por ahorro de energía, y los beneficios que se aportan al medio ambiente. Estos beneficios se determinarán utilizando equivalencias de toneladas de CO₂ dejadas de emitir por ahorro de energía eléctrica con potenciales de beneficios ambientales.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1.LA EMPRESA

ECOPETROL S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, ECOPETROL S.A. pertenece al grupo de las 35 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

ECOPETROL S.A. tiene la participación mayoritaria de la infraestructura de transporte y refinación del país, posee el mayor conocimiento geológico de las diferentes cuencas, cuenta con una respetada política de buena vecindad entre las comunidades donde se realizan actividades de exploración y producción de hidrocarburos, es reconocida por la gestión ambiental tanto en el upstream como en el downstream, ha establecido negocios con las más importantes petroleras del mundo.

Cuenta con campos de extracción de hidrocarburos en el centro, el sur, el oriente y el norte de Colombia, dos refinerías, puertos para exportación e importación de combustibles y crudos en ambas costas y una red de transporte de 8.124 kilómetros de oleoductos y poliductos a lo largo de toda la geografía nacional, que intercomunican los sistemas de producción con los grandes centros de consumo y los terminales marítimos.

Desde 1997 ha marcado récords al obtener las más altas utilidades de una compañía colombiana en toda la historia. En 2003 se convirtió en una sociedad pública por acciones y emprendió una transformación que le garantiza mayor autonomía financiera y competitividad dentro de la nueva organización del sector de hidrocarburos de Colombia, con la posibilidad de establecer alianzas comerciales fuera del país.

En 2007, ECOPETROL S.A. consolidó grandes transformaciones. Por un lado renovó su marca y asumió a una iguana verde como su nuevo logotipo. Por el otro, desarrolló el proceso de capitalización más grande de Colombia con el que vinculó a cerca de 450 mil colombianos de todos los niveles y regiones del país como accionistas.

Para garantizar la transparencia de sus operaciones y fluidez e integridad en la información, ha adoptado un código de Buen Gobierno. Gracias a sus fortalezas y competencias, ECOPETROL S.A. es líder en Colombia y el socio preferido para explorar y producir hidrocarburos.

ECOPETROL S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.

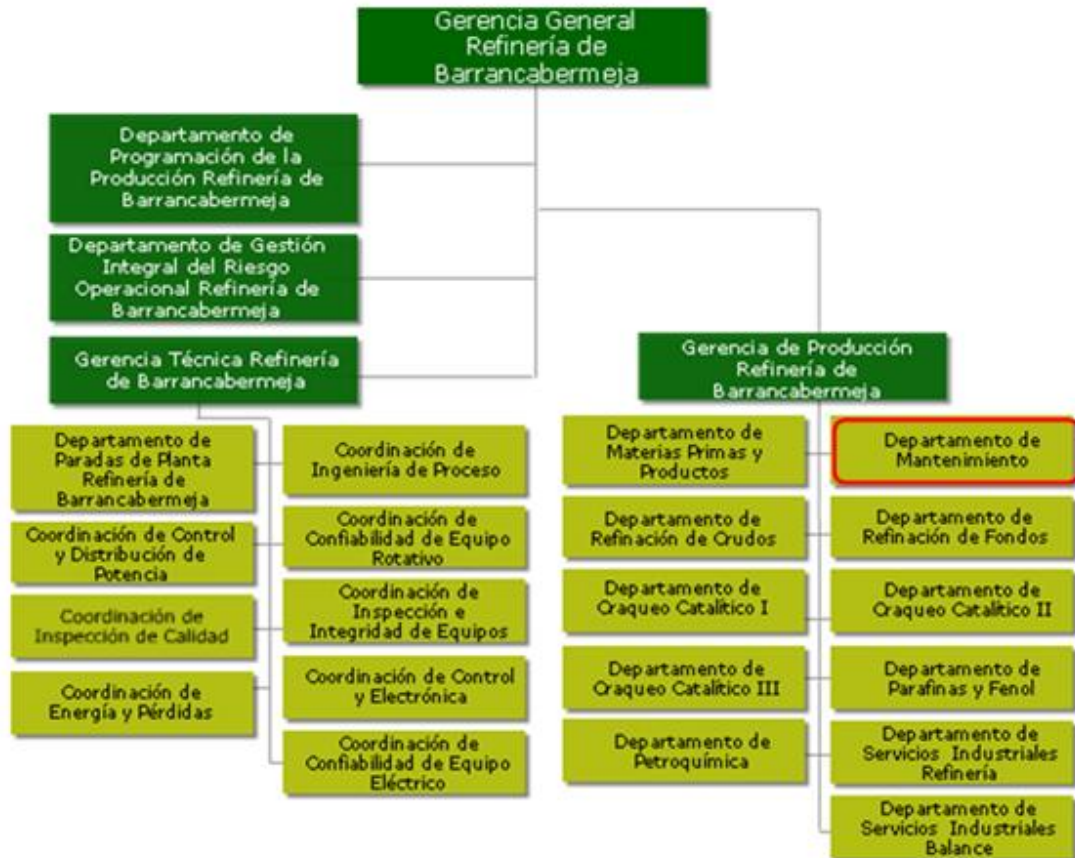
1.2. DESCRIPCION DE GERENCIA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA – GRB

1.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

1.3.1. Estructura Organizacional de la GRB

Figura 1. Organigrama de la GRB

Gerencia General Refinería de Barrancabermeja

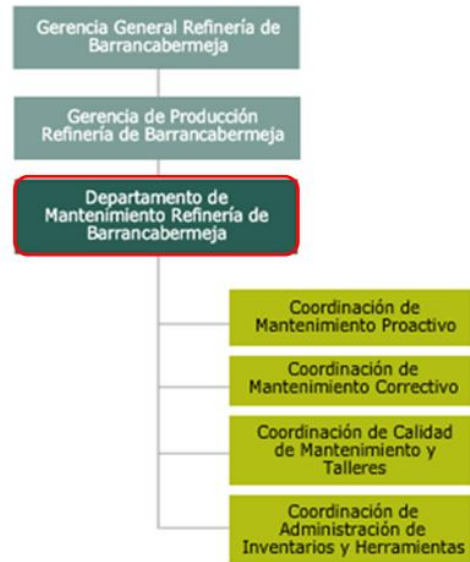


Fuente: Intranet ECOPETROL – IRIS

1.3.2. Estructura Organizacional del Departamento de Mantenimiento

Figura 2. Organigrama del Departamento de Mantenimiento GRB

Departamento de Mantenimiento-GRB



Fuente: Intranet ECOPEPETROL – IRIS

1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA GRB

Figura 3. Localización y ubicación geográfica de la GRB



Fuente: Propia

1.5. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE ILUMINACION ACTUAL EN PLANTAS DE PROCESO DE LA GRB.

1.5.1. Clasificación de áreas. En instalaciones de la Industria Petrolera, donde el objetivo es la producción, transporte, procesamiento de crudo y la obtención de productos derivados, hidrocarburos todos, combustibles e inflamables, adicionados a la gran cantidad de posibles fuentes de ignición por los equipos y procesos que se realizan y la presencia del oxígeno de la atmósfera, hacen que la probabilidad de presentarse incendios o explosiones, en este tipo de industria sea bastante alta.

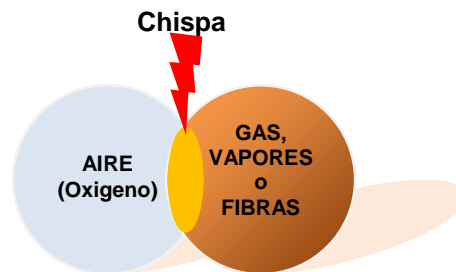
Para quienes trabajamos en Industrias Petroleras es claro que un incendio o explosión, debido a la fácil transmisión del fuego por la permanente presencia de productos combustibles e inflamables, puede llevar a la destrucción total de las instalaciones y a graves lesiones, inclusive con pérdida de vidas de las personas que se puedan encontrar en esos momentos en dichas instalaciones.

Con el objeto de reducir o eliminar este peligro es conveniente determinar el grado de riesgo que se puede presentar en cada uno de los sitios de la refinería de Barrancabermeja, el cual dependerá principalmente de la presencia de gases y vapores combustibles e inflamables, debido a que la existencia de oxígeno del aire y las fuentes de calor son prácticamente normales y permanentes en una instalación industrial de este tipo.

Las características de cada una de las sustancias inflamables son propias y debido a la gran variedad y cantidad de sustancias existentes, el tratamiento no será único y general, si no que dependerá de dichas características. Debido a que no hay manera exacta de medir la probabilidad de existencia de mezclas incendiables o explosivas en el ambiente y su presencia depende de condiciones eventuales, la Clasificación de un área determinada estará en función del riesgo o

posibilidad de que ellas existan y al tipo de incendio o explosión que se pueda presentar. De acuerdo con lo explicado anteriormente, los factores que influyen en la clasificación de un área determinada, son: la existencia de una fuente de calor, la presencia de oxígeno y la posibilidad y características del tipo de combustible que se encuentre en forma de atmósfera inflamable.

Figura 4. Condiciones para una explosión



Fuente: Propia

Teniendo en cuenta lo anterior, nuestro interés ahora, es conocer las normas para clasificar un área determinada, de acuerdo con las propiedades de los vapores, líquidos o gases inflamables y los polvos o fibras combustibles que pueda haber en ellas y por la posibilidad de que se produzcan concentraciones o cantidades inflamables o combustibles.

Se definen lugares peligrosos o clasificados (NEC) como los sitios donde puede existir riesgo de explosión debido a la presencia de gases o vapores inflamables, líquidos inflamables o combustibles, polvos combustibles y fibras o partículas combustibles, además de poder presentarse una chispa o calor suficiente para encender estos productos, debido al alambrado y equipos eléctricos y electrónicos a cualquier tensión.

Clasificación de áreas según el NEC – Artículo 500

En el Artículo 500 del National Electric Code (NEC) de los Estados Unidos y en nuestro Código Eléctrico Colombiano NTC-2050, Sección 500, las áreas son

clasificadas según el tipo de material inflamable (Clase I, II, III) y por la presencia o la posibilidad de presencia de concentraciones y cantidades inflamables o combustibles (División 1 o 2).

➤ **Clases**

Por el tipo de material inflamable que pueda estar presente en el área que se analiza, los sitios o localizaciones se clasifican en:

Clase I

Son aquellas localizaciones en las cuales gases y vapores inflamables están o pueden estar presentes en aire en cantidades suficientes para producir mezclas incendiables o explosivas.

Figura 5. Localizaciones con posible presencia de gas o vapores combustibles.



Fuente: EV World Open Access Article

Clase II

Son aquellas localizaciones peligrosas a causa de la presencia de polvo combustible.

Figura 6. Localizaciones con posible presencia de polvo combustible



Fuente: Advanced, safety y health

Clase III

Localizaciones Clase III son aquellas que son peligrosas a causa de la presencia de fibras o partículas fácilmente combustibles, pero en el que no es probable que tales fibras o partículas estén en suspensión en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas combustibles o inflamables.

Figura 7. Localizaciones con posible presencia de fibras o partículas combustibles.



Fuente: Industrial Air Purification

➤ **Divisiones**

Cuando para las Clases anteriores se tienen en cuenta la presencia o posibilidad de presentarse los materiales inflamables, en los sitios o localizaciones bajo consideración, estas áreas se clasifican a su vez en Divisiones. Por lo anterior se establece como:

División 1:

Cuando las sustancias inflamables se pueden presentar en los sitios o localizaciones bajo estudio, en condiciones normales o por efectos de mantenimiento u operación normal.

División 2:

Cuando las sustancias inflamables se pueden presentar en los sitios o localizaciones bajo estudio, por ruptura o daño de los equipos, como resultado de una operación anormal o como un área adyacente a una División 1.

Las definiciones de las áreas División 1 y 2 dentro de las tres clases están dadas en la Tabla 1.

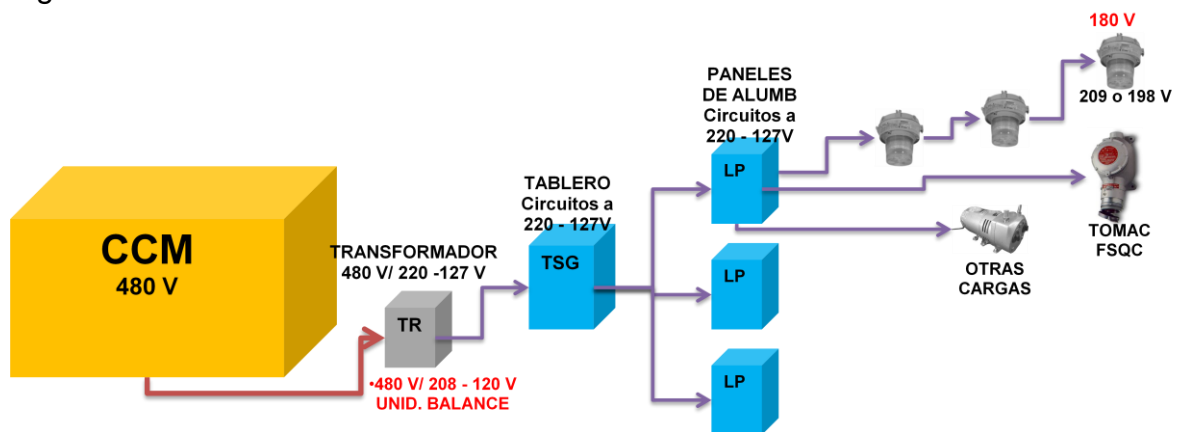
Tabla 1. Clasificación Áreas Peligrosas

CLASE	DIVISIÓN	DESCRIPCIÓN
I	1	Localizaciones en las cuales concentraciones peligrosas de GASES O VAPORES INFLAMABLES existen continuamente, intermitentemente o periódicamente bajo condiciones de operación normal, o Localizaciones en las que concentraciones peligrosas de tales GASES O VAPORES pueden existir frecuentemente a causa de operaciones de mantenimiento, reparación o a causa de escapes, o Localizaciones en las que una avería u operación defectuosa del equipo o proceso, PODRÍA liberar concentraciones peligrosas de VAPORES O GASES INFLAMABLES y que esta falla PODRÍA CAUSAR FALLA SIMULTANEA del equipo eléctrico, de tal manera que provoque directamente que este equipo se convierta en una fuente de ignición.
	2	Localizaciones en las cuales se manejan, procesan o usan líquidos volátiles inflamables o gases inflamables, pero en las que los líquidos, vapores o gases peligrosos normalmente estarán confinados dentro de recipientes o sistemas cerrados, de los cuales pueden escapar solamente en caso de ruptura o alteración accidental de tales recipientes o sistemas, o en caso de operación anormal del equipo, o Localizaciones en las que CONCENTRACIONES INCENDIABLES de gases o vapores, SON PREVENIDAS NORMALMENTE por ventilación mecánica positiva, pero las cuales podrían llegar a ser peligrosas por falla u operación anormal del equipo de ventilación, o Localizaciones adyacentes a localizaciones clase I división 1, y a las cuales concentraciones peligrosas de gases o vapores podrían ocasionalmente ser comunicados a menos que tal comunicación sea evitada por ventilación a presión positiva, desde una fuente de aire limpio y se tomen precauciones efectivas contra falla de la ventilación.

II	1	Localizaciones en las cuales polvo combustible está o puede estar en suspensión en el aire continuamente, o periódicamente bajo condiciones de operación normal, en cantidades suficientes para producir mezclas incendiables o explosivas, o Localizaciones donde falla mecánica u operación anormal de la maquinaria o equipo podría hacer que tales mezclas sean producidas y podrían proveer también una fuente de ignición, debido a falla simultanea del equipo eléctrico, operación de aparatos de protección o de otras causas, o Localizaciones en las cuales polvos de naturaleza conductiva eléctricamente pueden estar presentes.
	2	Localizaciones en las cuales polvo combustible no estará normalmente en suspensión en el aire, o no será probable que sean arrojados en suspensión por la operación normal del equipo o aparatos en cantidades suficientes para producir mezclas incendiables o explosivas, pero donde tales depósitos o acumulaciones de tales polvos pueden ser suficientes para interferir en la disipación segura de calor del equipo eléctrico o aparatos, o Donde tales depósitos o acumulaciones de polvo sobre, dentro, o en la vecindad de equipo eléctrico podría ser incendiado por arcos, chispas o material inflamado.
III	1	Localizaciones en las cuales se manipulan, fabrican o usan fibras fácilmente combustibles o materiales que producen partículas combustibles.
	2	Localizaciones en las cuales se almacenan o manipulan fibras fácilmente incendiables en procesos diferentes a los de manufactura.

1.5.2. Sistema de iluminación para uso exterior. Se utiliza en zonas sin cubiertas (no techadas), por ejemplo: zonas de planta de procesos, plataformas, tanques, fachadas, etc.

Figura 8. Sistema Iluminación



Fuente: Propia

En la GRB el sistema de iluminación de las áreas de proceso se selecciona teniendo en cuenta la clasificación de las áreas. En áreas Clase I, División 1 y Clase I, División 2, las luminarias deben ser a prueba de explosión y certificadas para el área de instalación, deben cumplir con el código de temperatura para el gas o vapor predominante en el área y ser a prueba de agua y corrosión (NEMA 4X). En todos los casos la temperatura máxima certificada de las luminarias debe ser menor al 80% de la mínima temperatura de ignición de los gases presentes, asumiendo una temperatura ambiente de 40°C.

Las luminarias en las áreas de proceso por directriz técnica de la GRB deben ser de Halogenuros Metálicos de 175 W, 208Vca, montaje colgante, con diámetro de acceso $\frac{3}{4}$ ", Ref. VMVM2A175GPMT de Crouse Hinds o equivalente. Además deben poseer globos de vidrio resistente, con empaque, defensa metálica protectora y reflectores donde se requiera, con conexión tipo multitap con reactancias de alto factor de potencia.

Los reflectores para áreas exteriores de proceso son de Halogenuros Metálicos de 250 W o 400 W, 208Vca de Crouse Hinds o equivalente.

En zonas donde hay instrumentos, las lámparas están lo suficientemente cercanas de manera que no se requiere, en lo posible, iluminación adicional. En las áreas que involucren instrumentos que requieran una observación o control nocturnos tienen una iluminación puntual para este propósito.

Se exige que la carga inicial de cada circuito esté diseñada para que no exceda el 70% de su capacidad y la caída máxima de voltaje no exceda el 5%.

Para las vías de acceso se utilizan luminarias de Sodio de Alta Presión de 250 W, 208Vca.

1.5.2.1 Circuitos de alimentación. Cada circuito de iluminación o tomacorrientes está cableado con un conductor de neutro y de tierra independiente. En áreas exteriores se utilizan circuitos ramales a 208Vac.

El calibre mínimo para los circuitos de iluminación exterior es cable de cobre No. 12 AWG, trenzado al igual que el calibre mínimo para el conductor de tierra.

El calibre mínimo para los circuitos de tomacorrientes de servicio exterior es cable de cobre N 8 AWG, trenzado.

En la distribución de cargas se busca conseguir el mejor balance posible entre fases. Cada zona de iluminación exterior es alimentada a 208 ó 220 Vca, 4 hilos (R,S,T,G), usando un tablero de distribución local existente con interruptores no menores de 20 A, monopolares, bipolares y/o tripolares según sea el caso. Las cargas deben estar balanceadas entre fases. La caída de voltaje para los circuitos de iluminación y tomacorrientes es del 5% y estará compuesta así:

- 2% hasta el tablero de distribución de iluminación y tomacorrientes
- 3% hasta la carga.

1.5.2.2 Transformadores de alumbrado. Los transformadores de iluminación, tomacorrientes y cargas misceláneas de servicios generales y auxiliares, son de dos arrollamientos, tipo seco, encapsulados en resina epóxica y con cubierta a prueba de intemperie, cerramiento NEMA 4 o 4X, certificados para Clase 1, División 2 si son instalados en áreas exteriores. El aislamiento es Clase H, y el cerramiento es NEMA 1 o IP 40, si es instalado en un área interior.

Los transformadores tienen el primario con conexión delta y el secundario con conexión estrella con neutro puesto a tierra. Tienen tomas de $\pm 2 \times 2.5\%$ del voltaje nominal. No deben exceder los niveles de ruido indicados en las Normas NEMA.

Los transformadores son de 480/208-120 Vac, trifásicos.

En líneas generales, los transformadores están limitados a 45 kVA para no exceder la capacidad de interrupción de los interruptores ramales del tablero de iluminación. La carga del transformador no debe exceder el 70% de la capacidad del mismo.

Por regla interna, los transformadores no se instalan en áreas Clase I, División 1. La alimentación es de 480 Vac para los transformadores con cargas de iluminación, tomacorrientes y cargas auxiliares, y se hace a través de interruptor termo magnético ubicado en el Centro de Control de Motores (CCM) de 480 Vac. El interruptor en el lado secundario del transformador está ubicado en el tablero de distribución de iluminación, tomacorrientes y cargas auxiliares.

1.5.2.3 Tablero de servicios generales - TSG. Son tableros de distribución para circuitos trifásicos y/o monofásicos para cargas de alumbrado exterior y tomacorrientes.

El voltaje de servicio es de 208 ó 220 / 120 VAC a 60 Hz. Los Tableros de Servicios Generales están ubicados generalmente en subestaciones eléctricas o cuartos de breakers dotados con aire acondicionado pero deben ser diseñados para trabajar a temperatura ambiente. Algunos TSG están instalados sobre muro si tienen 36 circuitos o menos y para un número mayor de circuitos son del tipo auto soportado. Los tableros que alimenten más de 18 circuitos tienen breaker totalizador.

Los tableros de servicios generales contienen los siguientes elementos.

Interruptor principal: Consiste en un espacio donde se aloja un Interruptor tripolar de caja moldeada. Este compartimento está en la parte superior del tablero y su acceso es restringido. Los conductores salen del Interruptor Principal directamente al barraje localizado en el compartimento o sección inferior. El flujo de potencia entra a los interruptores totalizadores por los conectores de la parte superior del breaker y salen por la parte inferior. Los breakers totalizadores

cuentan con mecanismo de disparo rápido (Trip) y contactos auxiliares que indican su estado.

Sección para Barras de Distribución: Esta sección va en el Compartimento Inferior del Tablero, tiene las dimensiones necesarias para albergar las tres barras correspondientes a las fases más la barra del neutro. El acceso al barraje es restringido es decir este barraje va protegido contra contacto accidental directo.

Sección para los Interruptores de distribución tipo industrial: Estas secciones van a lado y lado del barraje y tienen las dimensiones necesarias para albergar los Interruptores tripolares tipo industrial.

Sección para los Interruptores monopoles y/o minibreakers: Los breakers monopoles para cargas a 120 VAC se agrupan e instalan en una sección del tablero definida para cargas monofásicas que cuenta con una barra de neutros dispuesta cerca de esta sección para facilitar el cableado.

Sección para controles de alumbrado: En esta sección se encuentran los circuitos de alumbrado controlados por fotoceldas y contactores, dotada de temporizadores que evitan falsas operaciones de la fotocelda además de selectores “MANUAL-AUTOMATICO” que permiten deshabilitar la fotocelda.

Sección para el barraje de tierra: El barraje para el sistema de tierra se encuentra localizado en la parte Inferior del tablero y está sujeto a la estructura del tablero mediante tornillos de acero inoxidable.

1.5.2.4 Paneles de alumbrado - LP. Los tableros de distribución de iluminación, tomacorrientes y cargas auxiliares trabajan a 208 ó 220/120Vca, 3 fases, 5 hilos (R,S,T,N,G) ubicados cerca a los transformadores, en la subestación o cuartos de equipos eléctricos.

Se consideran cargas auxiliares:

- Los “heaters” de tableros.
- Los “heaters” de motores.
- Alimentación de control de tableros.
- Luminaria y tomacorriente de tableros y/o gabinetes.

El control de alumbrado exterior es por contactor(es) controlado(s) por una celda fotoeléctrica o control electrónico temporizado y con selector(es) manual-off-automático.

1.5.2.5 Fuentes de iluminación y luminarias de uso exterior. Por ejemplo, en zonas de procesos, plataformas, tanques, fachadas, etc., se utiliza luminarias de halógeno metálico (Metal Halide) de 175W. Por directriz técnica se estandarizó el uso de una sola referencia de luminaria, indiferentemente del tipo de montaje, ajustando su instalación en montaje sobre muros, tipo colgante, cuello ganso, etc. Las luminarias usan bombillas con balastos tipo autoregulado de alto factor de potencia (> 90 %), con multitaps 208 V - 240 V - 277 V.

La temperatura de operación de la luminaria no debe exceder el 80% de la temperatura de ignición los gases presentes en el sitio de instalación.

Adicionalmente tienen las siguientes características técnicas:

- Aptas para uso industrial.
- El voltaje de operación de la luminaria es de 220 o 208 Vac.

- La fuente luminosa es Halógeno Metálico de 175W, 13.500 lúmenes (mín), de posición universal, base mogul, vida promedio: 10.000 horas, índice de rendimiento del color (CRI):65, temperatura color: 4200 °K.
- Las bombillas son color claro.
- El cable que interconecta el balasto con la lámpara es como mínimo 14 AWG.
- El balasto con su condensador es de alto factor de potencia > 0.9, tipo CWA (balasto autoregulado de potencia constante), multitap, el control automático de arranque se realizará por medio de fotocelda.

Esta lampara de halogenuros es de tecnología *Probe Start* desarrollada hacia el año 1962 por GE.

1.5.2.6 Tomas para servicios generales exteriores. Estas tomas se usan para alimentar lámparas portátiles, y/o herramientas eléctricas manuales para mantenimiento ó cualquier otra aplicación que requieran en áreas industriales; sus características son: 20 A, 120 Vca, 2 hilos, 3 polos, Ref. FSQC-230 de Crouse Hinds o equivalente.

1.6. PROCESO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION “ACTUAL” EN PLANTAS DE PROCESO DE LA GRB

1.6.1. Antecedentes.

El mantenimiento del sistema de iluminación en la GRB actualmente está tercerizado. En los últimos años se ha realizado un trabajo de recuperación de la iluminación de las algunas plantas a solicitud de los usuarios y a la planeación anual del mantenimiento.

En diciembre del año 2003 en la GRB se realiza emisión de una ESPECIFICACIÓN LUMINARIAS para implementación de Propuestas de Mejoramiento de sistemas de iluminación en la refinería de Barrancabermeja, con

la idea de estandarizar dichos sistemas interior y exterior. Para la instalación de luminarias de uso exterior se exige utilizar “*una sola referencia de luminaria, indiferentemente del tipo de montaje, ajustando su instalación en montaje sobre muros, tipo colgante, cuello ganso, etc*”¹. A partir del año 2004 con esta directriz se inicia un proceso de actualización tecnológica en la iluminación de uso exterior que no estaba estandarizada, pues se empleaban luminarias de vapor de sodio, luz mixta y halogenuros metálicos; entonces se procede a cambiar las luminarias de 125W de vapor de mercurio de alta presión, luz mixta de 160W a Halogenuros Metálicos de 175W.

Estos cambios impactaron en el sistema de iluminación en las plantas de proceso, ocasionando sobrecarga no solo de los transformadores de potencia dedicados al alumbrado sino de las acometidas del sistema. Posteriormente se decidió atenuar este impacto implementando el uso de luminarias de halogenuros metálicos de 100W y 70W.

En el año 2005 la EPACK (Energy Policy Act) en USA inicia un programa de descuentos e incentivos de ahorro de energía a través del uso de fuentes de iluminación más eficientes donde la fluorescente T8 es la nueva T12 y T5 es la nueva T8, *Pulse Start* es la nueva *Probe Start* en los halogenuros metálicos, el LED evoluciona rápidamente y el Vapor de Mercurio va saliendo del mercado. En el año 2007 la EISA (Energy Independence and Security Act) de USA legisla cambios en la industria para desarrollar el reemplazo de productos de iluminación ineficiente y esto hace que a partir del 2009 se exija para la tecnología PROBE START con balasto magnético una eficiencia mínima de 94%, lo que la hace prácticamente obsoleta. A partir del 2009 la producción de la tecnología PROBE START fabricada en USA se realiza para el mercado externo y no se usa en el mercado local.

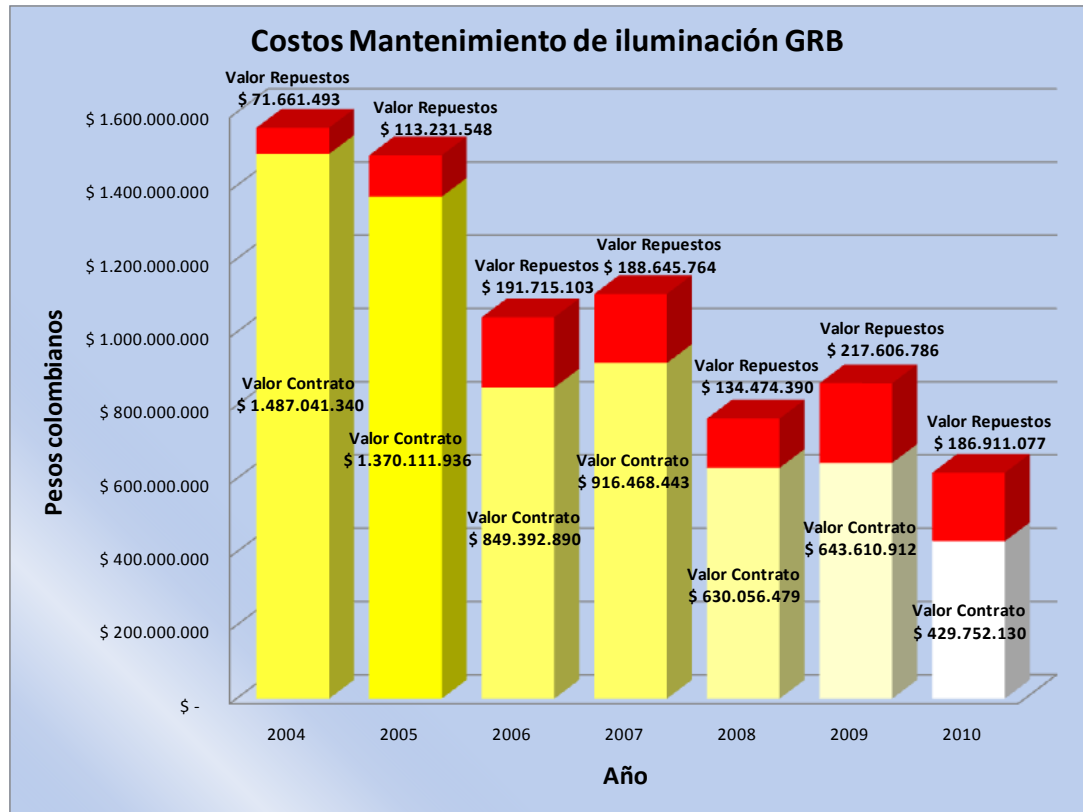
¹ ESPECIFICACIÓN LUMINARIAS. GCB-ELEC-ES-014. Versión: 0 Fecha Rev: 2003-12-03. Pág. 5.

1.6.2. Estrategia de Mantenimiento. A continuación se describe el alcance del mantenimiento realizado actualmente al sistema de iluminación de la refinería de Barrancabermeja:

- Cambio o Mantenimiento de Tableros de Alumbrado (A prueba de Explosión y de áreas sanas).
- Cambio Kit's (Balasto y Condensador) para lámparas Metal Halide existentes. Incluye cambio Bombilla 70W, 100 W y 175 W.
- Cambio de todas las lámparas que no sean de Metal Halide (en algunas plantas existen aún de vapor de mercurio).
- Cambio de acometidas de tomas y alumbrado, mayores a 10 años de instalación.
- Cambio o Mantenimiento de Tomas tipo FSQC de 120 V y 440 V.
- Instalar y mantener Iluminación Perimetral en Plantas y barrios GRB.
- Cambio de transformadores de alumbrado.
- Caracterización e inventario del Sistema de Iluminación.

1.6.3. Costos de Mantenimiento.

Figura 9. Costos de mantenimiento del Sistema Iluminación GRB



Fuente: Propia

1.7. DIAGNOSTICO (PROBLEMA)

Actualmente la Refinería de Barrancabermeja cuenta con un sistema de iluminación de áreas externas tales como: Metal-halide 175W (Probe-Start), Vapor de mercurio de 125W, Luz Mixta 160W. El mantener este sistema de iluminación conlleva que a medida que pasa el tiempo y por la reglamentación (Artículo 2, Decreto 3454 del 12 de septiembre del 2008) sea difícil la consecución de estos repuestos.

Basados en la normatividad actual RETILAP “ Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público” determinamos que este sistema de iluminación es obsoleto toda vez que estas fuentes son de baja eficacia lumínica.

Continuar con este sistema de iluminación que se encuentra en etapa de obsolescencia, llevará a que en determinado tiempo colapse la iluminación de las áreas exteriores impactando la productividad, seguridad de las personas y equipos.

1.8. JUSTIFICACIÓN

Actualmente el mantenimiento del sistema de iluminación de la Refinería de Barrancabermeja está tercerizado, presenta costos elevados y año tras año los problemas de confiabilidad del sistema de iluminación exterior de las plantas de la GRB continúan, incrementado riesgos de seguridad en las personas y en los activos, no existe una estrategia clara de mantenimiento y está enfocada hacia el mantenimiento correctivo, no hay estandarización en la fuente de iluminación que se utiliza para áreas exteriores y en la mayoría de los casos se utiliza lámpara de Halogenuros metálicos de 175W con tecnología Probe-Start que por razones de eficiencia, desarrollo de la tecnología y en Colombia por regulación del gobierno se prohibió la importación, distribución, comercialización y utilización de fuentes de iluminación de baja eficacia lumínica, exigiendo para esta tecnología vida promedio de 10.000 horas y eficiencia lumínica mínima de 72 Lm/W por tanto está siendo reemplazada por la tecnología Pulse-Start. Debido a esto, en el año 2010 fue difícil conseguir en el mercado repuesto para estas luminarias.

En Colombia, el ministerio de minas y energía según la Ley 697 de 2001 “Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones”, declaró el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional. Respecto a lo económico, el ahorro de

energía permite, por ejemplo, aliviar el consumo eléctrico, con lo cual se reducen costos presupuestales, respecto a lo ecológico, el uso racional de la energía evita que se quemen innecesariamente combustibles, cuyas emanaciones impactan negativamente sobre el medio ambiente. En grandes empresas industriales, los gastos de energía dedicados a la iluminación pueden ser aproximadamente el 10% del consumo de energía total, resultando un potencial de ahorro a través de mejorar la eficiencia y el ahorro energético de las instalaciones de iluminación.

Este proyecto propone el uso de una fuente de iluminación más eficiente que reduzca los costos de operación y mantenimiento, también elaborar el plan de mantenimiento correspondiente a la fuente seleccionada acorde con la normatividad de uso racional y eficiente de la energía y el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP).

1.9.INDICADORES

Actualmente en el proceso de mantenimiento del sistema de iluminación no existen indicadores para medir y controlar.

1.10. OBJETIVOS

1.10.1. Objetivo General

➤ Proponer un cambio tecnológico para las fuentes de iluminación industrial exterior de las de las plantas de proceso con su plan de gestión del Mantenimiento para la Gerencia Refinería Barrancabermeja.

1.10.2. Objetivos específicos

➤ Recopilar datos y estudiar el sistema actual de iluminación exterior de las de las plantas de proceso y su plan de mantenimiento.

➤ Seleccionar nuevas fuentes de iluminación industrial que reemplacen las luminarias utilizadas actualmente en la GRB.

- Comparar características de desempeño de cada una de las fuentes de iluminación seleccionadas para este estudio.
- Proponer indicadores de costos de iluminación para realizar una comparación técnico-económica de las fuentes seleccionadas.
- Elaborar evaluación financiera para cada una de las tecnologías de iluminación propuestas en esta monografía y compararlas con la fuente de iluminación instalada actualmente en la Refinería de Barrancabermeja.
- Calcular los ahorros de energía para cada una de las fuentes de iluminación propuestas en este documento y las disminuciones en las emisiones de CO₂.
- Proyectar un plan de mantenimiento de la fuente de iluminación que resulte seleccionada como producto del análisis desarrollado en el presente documento.

2. MARCO TEORICO

2.1. TEORÍA DEL MANTENIMIENTO

Entendemos por Gestión del Mantenimiento, la realización de diligencias encaminadas a determinar, organizar y administrar los recursos del mantenimiento, con el objeto de lograr la más alta disponibilidad de los equipos con sano criterio económico².

La selección de un modo de gestión de mantenimiento se hace con base en las necesidades específicas de cada empresa; existen suficientes diferencias y alternativas entre las diferentes opciones. La escogencia individual del modo de gestión del mantenimiento es indiferente del momento y estado que viva la empresa, puede llegar a ser uno de los grandes pecados estratégicos que conduzcan a resultados deficientes de mantenimiento en el mediano o largo plazo.

Se debe proceder con un diagnóstico inicial integral, tener muy claro con qué instrumentos se cuenta y cuáles faltan por desarrollar; en especial tener un panorama claro de la ubicación física de los equipos relevantes y/o críticos con sus curvas de tasas de fallas, de tal forma que haya coherencia entre los estados de los equipos y el modo de gestión que se desea implementar. El comentario es que en parte la decisión debe partir de la premisa de la fase en que se encuentra en la curva de la bañera los equipos importantes, las unidades de producción y sobretodo la empresa en conjunto.

2.1.1. Mantenimiento correctivo

Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente.

² GONZÁLEZ B., Carlos Ramón. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de Mantenimiento, pág. 28.

Este tipo de mantenimiento es el más común y conocido por los encargados, jefes e ingenieros de mantenimiento. Por lo general obliga a un riguroso conocimiento del equipo y de las partes susceptibles a falla, a un diagnóstico acertado y rápido de las causas.

2.1.2. Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que se ejecuta a los equipos de una Planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas imprevistas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de las máquinas³. Se pueden lograr bajos costos y un tiempo mínimo de parada con un balance apropiado entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo.

Puede prevenir que las fallas ocurran en mal momento, sensar cuando la falla está próxima a ocurrir y repararla antes de que ocurra el daño.

“Cada vez que un equipo es intervenido, está expuesto a un daño potencial, es excesivamente costoso reemplazar componentes prematuramente”.

2.1.3. Mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo estudia la evolución temporal de ciertos parámetros, para asociarlos a la ocurrencia de fallas, con el fin de determinar en que período de tiempo esa situación va a generar escenarios fuera de los estándares, para así poder planificar todas las tareas proactivas con tiempo suficiente para que esa avería nunca tenga consecuencias graves ni genere paradas imprevistas de equipos.

La predicción del comportamiento de los parámetros se hace a través de las ciencias: matemáticas, estadísticas, proyectivas, prospectivas, correlacionales, aleatorias, univariantes, bivariantes y multivariantes, etc. Una de las características

³ GONZÁLEZ B., Carlos Ramón. Especialización en Gerencia de Mantenimiento 2007. Principios de Mantenimiento, pág 39.

más importantes de este tipo de acción de mantenimiento es que no debe alterar el funcionamiento normal del equipo mientras se está aplicando⁴.

La inspección y evaluación de los parámetros se puede realizar en forma periódica o en forma continua, dependiendo de diversos factores como son: el tipo de actividad, los tipos de falla por diagnosticar y la inversión que se quiera realizar.

2.1.4. Mantenimiento proactivo. El mantenimiento proactivo es un modo de gestión de mantenimiento, dirigido fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas inmediatas que generan el desgaste han sido localizadas, no se debe permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria ya que, de hacerlo, su vida y desempeño se ven reducidos.

La longevidad de los componentes de los equipos depende de que los parámetros de causa de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de detección y corrección de las desviaciones según el programa de proactivo. Límites aceptables significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio⁵.

El mantenimiento proactivo se define como la metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallas de los equipos. Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma.

⁴ MORA G., Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios – Enfoque Sistemático Kantiano. Pág 266.

⁵ MORA G., Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios – Enfoque Sistemático Kantiano. Pág. 279.

El proactivo representa el próximo paso en la evolución hacia un mantenimiento planeado y dentro de este procedimiento el personal de mantenimiento lleva estadísticas específicas sobre los equipos por monitorear para cumplir con los requerimientos necesarios. La táctica proactiva evita elevados costos de inversión en mantenimiento de maquinaria y en la reposición de la misma.

“El Mantenimiento Proactivo es una técnica enfocada a la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, esta técnica implementa soluciones que atacan la causa de los problemas y no los efectos”.

2.1.5. Mantenimiento basado en condición. La permanente revisión y estudio de las variables internas o externas asociadas (directa o indirectamente) al proceso de operación de una máquina, permite diagnosticar el comportamiento futuro en tiempo real de la posible aparición de fallas o situaciones fuera de las condiciones estándares, con el fin de evitarlas a toda costa y alargar los períodos de funcionalidad del equipo y por ende la vida útil total de los componentes.

2.2. TEORÍA DEL MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

2.2.1. Factores de mantenimiento (Según RETILAP)

a) Depreciación de la luminaria por envejecimiento y degradación. La rapidez y severidad de la acumulación de polvo en las fuentes luminosas y luminarias varía considerablemente con el tipo y construcción de la luminaria (abierta o cerrada), la altura de montaje y sobre todo con el grado de humedad y polución de la atmósfera del ambiente, el cual depende a su vez, de otros factores (naturaleza de la planta de proceso, trayectoria del viento, ubicación de la instalación, etc.) que producen un envejecimiento y degradación de todos los materiales que conforman los sistemas de iluminación exterior.

b) Depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB). La influencia de la depreciación en la frecuencia de sustitución de las bombillas debe considerarse para mantener ciertas condiciones mínimas de iluminación durante la vida útil de la instalación. Los fabricantes de bombillas deben suministrar la información de la reducción del flujo luminoso de los distintos tipos de bombillas y las diferentes potencias obtenidos bajo condiciones de funcionamiento controladas. La autoridad técnica debe tener en cuenta tales condiciones para especificar el tipo de conjunto eléctrico necesario para cada tipo de fuente luminosa propuesta y plantear el esquema de mantenimiento. Los operadores (mantenedores) del servicio de alumbrado deben crear y alimentar las bases de datos que les permitan determinar la depreciación y vida útil real de las bombillas por marcas, tecnología, potencia y condiciones del sitio de instalación.

c) Factor de reemplazo de bombillas (R). El factor de reemplazo de la bombilla estará determinado por la vida útil (70% del flujo luminoso nominal). Por diversas circunstancias, algunas bombillas terminan su vida antes de lo esperado, y dado que existen necesidades de optimizar el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado, se deben considerar las características de depreciación y mortalidad de la bombilla, para establecer un cronograma de reemplazo.

El factor de cambio de bombilla (R) se determinará a partir de los registros de información alimentados por el operador (mantenedor) del alumbrado y por lo tanto deberá verificar su continuidad y pertinencia.

Todo programa de modernización de alumbrado, entendido como cambio de tecnología de las luminarias, deberá tener implementado un sistema de información de alumbrado y en su base de datos, se deben registrar, como mínimo, los siguientes datos: Marca; Tecnología; Potencia; Fecha de instalación; Sitio de instalación (georeferencia); Tipo de área iluminada (vía, planta con área clasificada, área sana, etc.). ;Intervenciones de mantenimiento del punto instalado desde la fecha de la modernización.

d) Depreciación por ensuciamiento, factor de ensuciamiento (FE). La acumulación de suciedad en el conjunto óptico de las luminarias afecta el rendimiento y, por lo tanto, disminuye los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado. La rapidez y severidad de la acumulación de suciedad varía de acuerdo con las condiciones existentes en el sitio de la instalación y las propiedades de hermeticidad de la luminaria.

e) Relación entre el factor de ensuciamiento y el índice de hermeticidad. La cantidad de suciedad acumulada depende del grado de hermeticidad del conjunto óptico y del ambiente en el cual se instala la luminaria. La autoridad técnica para calcular el factor de mantenimiento y establecer la curva del esquema de mantenimiento de la instalación del proyecto de alumbrado debe considerar los periodos máximos de limpieza del conjunto óptico de la luminaria establecidos en la Tabla. 2, periodos que en la etapa de operación deberán aplicarse por parte del operador (mantenedor) del sistema.

Tabla 2. Periodos máximos para realizar limpieza del conjunto óptico de luminarias

CATEGORIAS		NIVEL DE PARTICULAS	PERIODO DE LIMPIEZA (Meses)
I	Ambientes poco polucionados	<80µg/m ³	36 o cambio de bombilla
II	Ambientes medianamente polucionados	80-150 µg/m ³	24
III	Ambientes muy polucionados y zonas industriales	150 - 300µg/m ³	12
		300 - 400µg/m ³	6
IV	Ambientes excesivamente polucionados	400 - 600µg/m ³	6
		> 600µg/m ³	3

Fuente: Adaptación norma NTC 900 Tabla 18

f) Factor de Balasto (FB). Para las bombillas de descarga de alta intensidad (HID) el factor de balasto, no está normalizado. Bajo la consideración que el balasto debe garantizar las condiciones nominales de funcionamiento de la bombilla se podría aproximar tal factor a 1.

2.2.2. Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo determina las acciones para evitar o eliminar las causas de las fallas potenciales del sistema y prevenir su ocurrencia, mediante la utilización de técnicas de diagnóstico y administrativas que permitan su identificación. Dentro de las técnicas de diagnóstico se deben considerar:

- a. Las mediciones eléctricas en diferentes puntos de la red de los perfiles de tensión, niveles de armónicos.
- b. La medición de los parámetros eléctricos de operación de las luminarias y sus componentes.
- c. Las mediciones fotométricas deben permitir obtener parámetros como niveles de Iluminancia, que permitan medir la calidad de la iluminación.

Estas rutinas de inspección se ejecutan a través de grupos de Inspección con equipos y elementos adecuados.

Para programar los trabajos de mantenimiento en un área exterior se deben comparar los valores de iluminación medidos con los valores de iluminación promedio mantenida requeridos de acuerdo a la clase de iluminación asignada al área y/o actividad.

Con la aplicación del esquema de mantenimiento de diseño de la instalación de alumbrado, el operador (mantenedor) debe proceder a efectuar los trabajos de mantenimiento preventivo de limpieza del conjunto óptico de la luminaria o hacer

un reemplazo en grupo de todas las bombillas que tengan el mismo tiempo de instalación, es decir cuando lleguen al final de su vida útil (70% flujo luminoso nominal).

El operador (mantenedor) del servicio de alumbrado en cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo debe hacer seguimiento a cada uno de los componentes del sistema de iluminación. Para el efecto realizará mediciones en terreno para determinar niveles de iluminancia mínima mantenida y en banco de pruebas de flujo luminoso de bombillas retirando muestras estadísticamente representativas de la población como referencia (lote), para determinar la muestra podrá utilizar la norma NTC ISO 2859 parte 1 Planes de muestreo determinado por el nivel aceptable de calidad (NAC o AQL) para inspección lote a lote.

Un banco de pruebas del flujo luminoso de bombillas puede consistir en una caja negra dotada de una fotocelda a la cual se le mide la corriente. La resistencia del circuito eléctrico con la fotocelda es inversamente proporcional a la iluminancia dentro de la caja negra, este efecto permite estimar el valor del flujo luminoso de la bombilla mediante un miliamperímetro, para un valor de tensión de alimentación preestablecido. Para cada potencia de bombilla debe existir una caja negra, las cuales deben ser calibradas cada año en un laboratorio de iluminación acreditado. Cuando se ha realizado el cambio masivo, algunas de las bombillas retiradas de terreno dispondrán de vida útil y podrán ser usadas en los trabajos de mantenimiento correctivo, y para ello la clasificación de las bombillas se podrá hacer mediante la caja negra.

La periodicidad con la cual se adelanten las labores de muestreo será determinada por la autoridad técnica para obtener una mejor trazabilidad de cada uno de los componentes de la infraestructura del sistema de alumbrado y su incidencia en el plan de mantenimiento preventivo.

Todos estos elementos deben ser analizados y tenidos en cuenta en la elaboración de un programa de mantenimiento preventivo, incluyendo la evaluación económica. El programa debe ser elaborado teniendo en cuenta:

a) Reemplazos masivos de bombillas. La reposición programada de bombillas tiene por objeto mantener las instalaciones de alumbrado dentro del nivel proyectado. Las bombillas que se retiren deben ser entregadas al responsable técnico de la instalación, quien debe elegir aquellas que desee estudiar con el fin de determinar si existen causas anormales que provoquen su rápido envejecimiento. Si el flujo emitido por un número significativo de las bombillas retiradas, en la reposición en grupo, fuese inferior al previsto, se debe evaluar la continuidad de uso del tipo de bombilla por la marca, lote o la referencia.

No obstante lo anterior, no se debe descartar el mantenimiento correctivo puntual, debido a que hay bombillas defectuosas que no cumplen su vida útil, siendo necesario reemplazarlas. Para garantizar la confiabilidad y calidad del servicio de alumbrado, en este caso se podrán utilizar las bombillas retiradas en cambios masivos anteriores, seleccionadas por disponer aún de vida útil.

b) Operaciones de limpieza de luminarias y soportes. Se debe efectuar de forma programada en concordancia con el esquema de mantenimiento previamente establecido, teniendo en cuenta el grado de hermeticidad de la luminaria y el nivel de contaminación de su sitio de instalación. La limpieza de luminarias se debe realizar tanto interior como exteriormente, con una metodología que permita que tras ésta se alcance un rendimiento mínimo del 80 % inicial. Este rendimiento se comprobará midiendo la iluminancia, tras la ejecución de la correspondiente limpieza. Al mismo tiempo que se hace limpieza, se debe efectuar una inspección visual del sistema óptico y del estado de todos los componentes de la luminaria.

Se deben aprovechar los trabajos de reemplazos en grupo, para realizar todo el mantenimiento de las funciones de la bombilla y la luminaria, es decir:

- a. Enfoque correcto de la bombilla
- b. Limpieza de la luminaria, y particularmente del sistema óptico
- c. Revisión del equipo auxiliar
- d. Revisión de las partes mecánicas de la luminaria.

c) Verificación cables de alimentación: Se deberá verificar el estado de resistencia de aislación de los conductores de alimentación, de registrarse valores bajos, se procederá a los realizar los trabajos necesarios para normalizar la instalación.

2.2.3. Mantenimiento correctivo. Consiste en localizar, reparar y adecuar las instalaciones para que funcionen el máximo número de horas posible, con el desempeño para el que fueron diseñadas.

Cuando se detecten deficiencias en los rangos de variación de tensión en el servicio de energía eléctrica, se debe contemplar la medición puntual de la tensión mediante la instalación de registradores de tensión, en las cabeceras y finales de circuito de alumbrado, para verificar los rangos de variación de los valores de tensión en las diferentes horas de funcionamiento del servicio de alumbrado y su comparación con las condiciones normales de funcionamiento de las bombillas.

Para la ejecución del mantenimiento correctivo es importante tener en consideración los siguientes aspectos, principalmente en lo que tiene que ver con bombillas y luminarias:

- a) Reemplazar las bombillas y, en donde sea necesario, los equipos auxiliares y cerciorarse que el casquillo de la bombilla esté perfectamente adaptado al portabombilla (por ejemplo, evitando la confusión entre los portabombilla E39 (Mogul) y E40).

- b) Revisar el encendido y apagado y el correcto funcionamiento del dispositivo de encendido para alumbrado, detectar fallas eléctricas y daño accidental.
- c) Limpiar las bombillas, el conjunto óptico de las luminarias.
- d) Realizar el mantenimiento mecánico y eléctrico (accesorios de alumbrado y sistema de distribución).
- e) Coordinar con planeación de mantenimiento la poda de los árboles circundantes a los equipos de iluminación, para despejar el cono de intensidad máxima de cada luminaria.

2.3. TEORÍA BÁSICA DE ILUMINACIÓN

FLUJO LUMINOSO: es la medida de la potencia luminosa percibida. Difiere del flujo radiante, la medida de la potencia total emitida, en que está ajustada para reflejar la sensibilidad del ojo humano a diferentes longitudes de onda. Su unidad de medida es el lumen (lm). El flujo luminoso se obtiene ponderando la potencia para cada longitud de onda con la función de luminosidad, que representa la sensibilidad del ojo en función de la longitud de onda. El flujo luminoso es, por tanto, la suma ponderada de la potencia en todas las longitudes de onda del espectro visible.

Figura 10. Flujo luminoso.

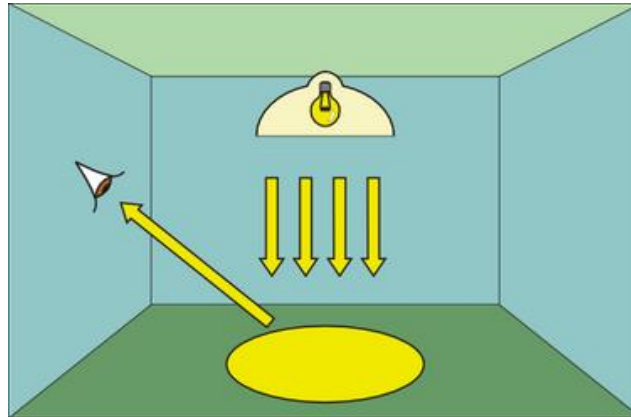


Fuente: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

CANTIDAD DE LUZ (ENERGÍA LUMINOSA): De forma análoga a la energía eléctrica (Kw-h) que se determina mediante la potencia eléctrica (W) por unidad de tiempo (h), la cantidad de luz o energía luminosa se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso (lm) emitido en la unidad de tiempo (h). La cantidad de luz se representa por la letra Q, y su unidad es el lumen por hora (lm-h).

INTENSIDAD LUMINOSA: Una fuente de luz ideal, puntual, irradia su flujo luminoso uniformemente en todas las direcciones del espacio, su intensidad luminosa es igual en todas las direcciones. Pero en la práctica se da siempre una distribución espacial irregular del flujo luminoso, que se debe en parte a la construcción de los manantiales de luz, y en parte a la dirección impartida a la luz de la luminaria. La candela, como unidad de la intensidad luminosa, es la unidad básica de la luminotecnia. De la misma se derivan todas las demás magnitudes propias de esta tecnología.

Figura 11. Intensidad Luminosa- Luminancia



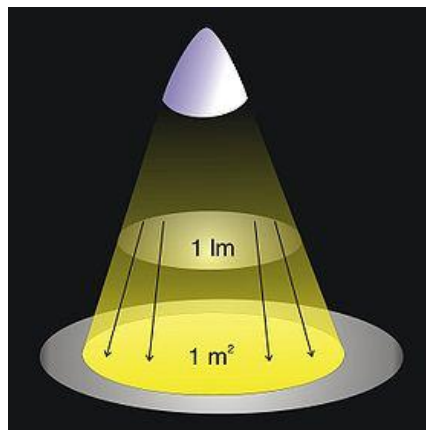
Fuente: EULEB - European high quality Low Energy Buildings

LUMINANCIA: se define como la densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada. Alternativamente, también se puede definir como la densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección dada. Mientras que la iluminancia nos describe la potencia luminosa que incide en una superficie, vemos que la luminancia nos describe la luz que procede de esa misma superficie. A su

vez dicha luz puede ser procedente de la superficie misma (p.ej. en el caso de la luminancia de lámparas y luminarias). También vemos que la luminancia se encuentra definida como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie proyectada sobre el plano perpendicularmente a la dirección de irradiación. La luminancia es la luz reflejada procedente de un cuerpo, la cual es percibida por el ojo humano.

ILUMINANCIA: En fotometría, la iluminancia (E) es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el lux: $1 \text{ lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$.

Figura 12. Iluminancia.



Fuente: Wikipedia

EFICACIA LUMINOSA: Es la razón entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y la potencia disipada por ella. Su unidad son Lúmenes/watios. La eficacia luminosa describe el rendimiento de una lámpara. La eficacia luminosa depende de dos factores:

- El porcentaje potencia eléctrica realmente convertido en radiación visible.
- La distribución espectral de la radiación con respecto a la curva de sensibilidad del ojo.

La eficacia es la clave para poder evaluar una lámpara ya que la iluminación representa del 30% al 50% del total del costo de operación en una instalación típica y puede afectar otros costos relativos, como el aire acondicionado. Además, un sistema de iluminación eficiente beneficia el medio ambiente. El valor teórico máximo alcanzable con una conversión total de la energía a 555 nm sería 683 lm/W. La eficacia luminosa es la cantidad de flujo luminoso que es capaz de generar 1 Watt de potencia de una fuente luminosa.

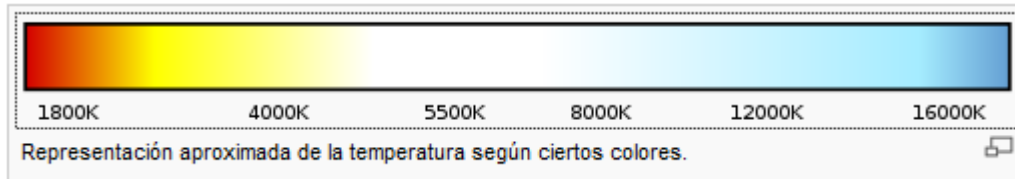
Figura 13. Eficacia luminosa.



Fuente: Ecos lighting

TEMPERATURA DEL COLOR: La temperatura de color es una medida que se especifica en las lámparas y se refiere a la apariencia o tonalidad de la luz que emite la fuente luminosa. La forma en que vemos cierto ambiente depende de la tonalidad de luz de la lámpara y es crucial para establecer una atmósfera de confort o fresca. La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada.

Figura 14. Representación de la temperatura.



Fuente: Wikipedia

Generalmente no es perceptible a simple vista, sino mediante la comparación directa entre dos luces como podría ser la observación de una hoja de papel normal bajo una luz de tungsteno (lámpara incandescente) y a otra bajo la de un tubo fluorescente (luz de día) simultáneamente.

Figura 15. La influencia de la temperatura de color en aplicaciones de iluminación.

TEMPERATURA DE COLOR	GRADOS KELVIN	EFFECTOS Y AMBIENTES ASOCIADOS	APLICACIONES RECOMENDADAS
CALIDO	2600-3400°K	Amigable Intimo Personal Exclusivo	Restaurantes Lobbies Boutiques Librerías Tiendas de Ropa Oficinas
NEUTRAL	3500°K	Amigable Invitante	Recepciones Salón de Exposiciones Librerías Oficinas
FRIO	3600-4900°K	Fresca Limpio Eficiente	Oficinas Salón de Conferencias Escuelas Hospitales Tiendas comerciales
LUZ DE DIA	5000°K	Impersonal Dinámico Limpio	Joyerías Consultorios Imprentas Hospitales

Fuente: Catalogo Phillips

Las fuentes de luz que percibimos blancas y brillantes o azuladas tienen una temperatura de color arriba de los 3600°K (grados Kelvin) y la luz se denomina “luz fría”, se usan en aplicaciones industriales, oficinas, hospitales, etc.

Las fuentes de luz que percibimos rojizas o amarillentas tienen una temperatura de color abajo de los 3400°K y se denomina “luz cálida”, se usan en lugares donde se requiera un ambiente de hospitalidad y confort por ejemplo, tiendas de ropa, hogar, restaurantes, etc.

Fuentes de luz con temperatura de color de 3500°K se consideran neutras y comúnmente son usadas en lugares de trabajo incluyendo oficinas, salas de conferencias, bibliotecas, escuelas.

INDICE DE RENDIMIENTO DEL COLOR: El índice de rendimiento de color (CRI) es la capacidad que tiene una lámpara para reproducir fielmente los colores de los objetos, y es un factor muy importante a considerar en cualquier aplicación de iluminación. El CRI se mide en una escala de 0 a 100. La luz del sol, y la luz de una lámpara incandescente tiene un CRI de 100, unos valores más bajos indican una reproducción cromática menos buena. Es importante saber que los objetos y personas iluminados bajo la luz con un alto CRI se ven más naturales, además que el nivel de iluminación se percibe como mayor.

Figura 16. En estas fotografías se aprecia la diferencia de 2 objetos idénticos iluminados con diferentes fuentes de luz, con la misma temperatura de color pero diferente CRI.



Fuente: Catalogo Phillips

En aplicaciones comerciales, las Lámparas con alto índice de rendimiento de color hacen que la mercancía sea más atractiva al cliente, la comida sea más apetitosa en los restaurantes y la gente en general luzca mejor, más saludable y más natural. En las oficinas incrementa la productividad del trabajador, reduce el ausentismo en el lugar de trabajo y disminuye el riesgo de cometer errores.

2.4. NUEVAS FUENTES DE ILUMINACION PARA ÁREAS EXTERNAS

2.4.1. Tecnologías alternativas de reemplazo para la fuente actual MH-175W PROBE START.

MH PROBE START evolucionó a MH PULSE START

Tabla 3. Características técnicas de las nuevas fuentes de iluminación.

Parámetros Técnicos	NUEVAS FUENTES DE ILUMINACION PARA ÁREAS EXTERNAS					
	Plasma	LED	Inducción	Halogenuro miniaturizado	Super Pulse Start - SPL	Sodio Mejorado
Eficacia sistema (lm/W)	98	40	70	100	>90	90
Flujo luminoso (lm)	< 98000	<16000	<40000	<16500	4800 a 60000	<120000
Reproducción de color (%)	90	20-80	70	70	68	40-60
Potencia sistema (W)	> 1000	<300	40-70-80-100-150-200-400	60-90-140	60 a 575	50-70-100-150-250-400-600-1000
Vida útil (h)	60000	50000	60000	30000	40000	30000
Temperatura de color (K)	4300 – 7000	2700-7000	>4000	2800	3700-4000	3000
Frecuencia de operación (Hz)	2450M	DC	2M	400	60	60 - 120
Necesita Kit eléctrico	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Aplicación (Int. o Ext.)	+ Int. Ext.	+ Int. Ext.	+ Int. Ext.	Int. + Ext.	Int. + Ext.	Int - Ext..

Fuente: Adaptación tabla Pág. 16 Tesis: ANÁLISIS DE NUEVAS FUENTES EN ILUMINACIÓN. BOGOTA. 2010. Autor: QUIROGA RIAÑO, Mario Erwin

Teniendo en cuenta los conceptos básicos de iluminación, y analizando los parámetros técnicos de cada una de las nuevas fuentes de iluminación de la tabla 3, se descartan las siguientes tecnologías:

Plasma, solo maneja potencias superiores a los 1000 W con gran flujo luminoso, por lo que se descarta el uso de esta tecnología para el reemplazo de la tecnología actualmente instalada MH-175W en áreas exteriores de la GRB.

Halogenuro miniaturizado y Sodio mejorado, presentan temperaturas del color de 2800°K y 3000°K respectivamente, de acuerdo a lo descrito en la figura 15 (La influencia de la temperatura de color en aplicaciones de iluminación), se indica que estas temperaturas corresponden con luz “calida”, que no se usa en aplicaciones industriales, donde se recomienda utilizar temperaturas de color arriba de los

3600°K, por lo que no se tendrán en cuenta en el estudio de esta propuesta. El Sodio mejorado presenta además pobre reproducción del color.

Las alternativas de reemplazo para la fuente actual MH-175W PROBE START que se estudiarán son la LED, INDUCCION y PULSE START.

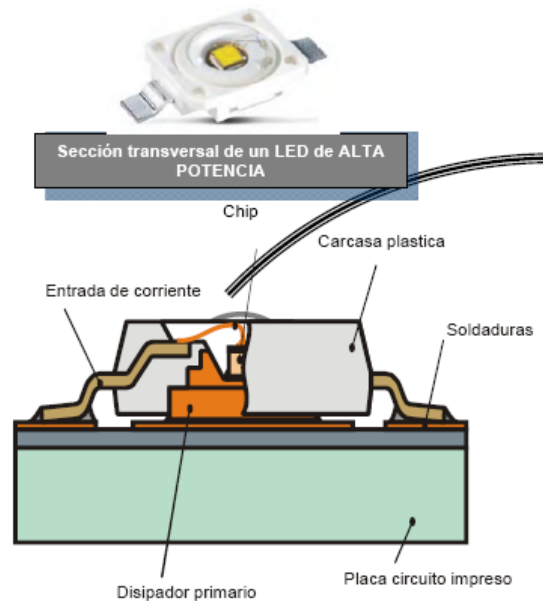
2.4.2. Led.El primer LED que emitía en el espectro visible fue desarrollado por el ingeniero de General Electric Nick Holonyak en 1962.

Un LED (diodo emisor de luz) es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz cuasi-monocromática, es decir, con un espectro muy angosto, cuando se polariza en directa y es atravesado por una corriente eléctrica. El color, (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo, variando desde el ultravioleta, pasando por el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo.

Funciona de manera en que, un electrón pasa de la banda de conducción a la de valencia, perdiendo energía. Esta energía se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria.

El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico. Algunas veces este plástico puede estar coloreado, lo cual no significa que influya en gran medida en el color de la luz emitida. Usualmente un LED es una fuente de luz compuesta con diferentes partes

Figura 17. Diodo Emisor de Luz (Led)



Fuente: Estado del arte de la tecnología LED. Alfonso Canorea García. Diapositiva 10

La eficiencia de radiación luminosa depende fundamentalmente de la corriente que atraviesa el LED, del área, de la geometría de la unión semiconductor y el tamaño del contacto eléctrico, no obstante el material semiconductor.

En corriente continua (CC), todos los diodos emiten una cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan, es decir, cuando los electrones caen desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía). La frecuencia de la radiación emitida y, por ende, su color, dependerá de la altura de la banda prohibida (diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia), es decir, de los materiales empleados. Los diodos convencionales, de silicio o germanio, emiten radiación infrarroja muy alejada del espectro visible. Sin embargo, con materiales especiales pueden conseguirse longitudes de onda visibles.

Figura 18. Lámpara Industrial Led.



Fuente: catálogo COOPER CROUSE HINDS

Los beneficios que trae esta tecnología para la iluminación son innumerables. A continuación se tratarán algunos de ellos:

- **Bajo Consumo:** Una lámpara LED requiere menor potencia para producir la misma cantidad de luz. El beneficio es notable cuando se trata de luz de color. Una lámpara incandescente de 100W con filtro rojo produce 1W de luz roja. Para generar la misma cantidad de luz roja, un LED sólo requiere 12W.
- **Baja tensión:** Generalmente se alimenta a 24V de corriente continua, adaptándose perfectamente a la mayoría de las fuentes de alimentación de los equipos, y reduciendo al mínimo los posibles riesgos de electrocución.
- **Baja temperatura:** Por su alto rendimiento, el LED emite poco calor. Además, los procesos de su operación no requieren el calor, como las lámparas incandescentes y hasta cierto punto las de descarga, por lo cual opera a baja temperatura.

- Mayor rapidez de respuesta: El LED tiene una respuesta de funcionamiento mucho más rápida que el halógeno y el fluorescente, del orden de algunos microsegundos, ello lo hace ideal para funcionar con un estrobo, aumentando así las prestaciones de este último.
- Sin fallos de iluminación: Absorbe las posibles vibraciones a las que pueda estar sometido el equipo sin producir fallos ni variaciones de iluminación. Esto es debido a que el LED carece de filamento luminiscente evitando de esta manera las variaciones de luminosidad del mismo y su posible rotura.

2.4.3. Inducción. Es una lámpara de mercurio a baja presión, pero que carece de electrodos. La tecnología desarrollada por PHILIPS, el centro de la lámpara es la bobina de inducción que, alimentada por un generador electrónico de alta frecuencia (2,65 Mhz), induce un campo eléctrico para excitar a los átomos de mercurio, produciéndose así la emisión ultravioleta. La porción interior del vidrio está recubierta con un recubrimiento de fósforo el cual es similar al que se encuentra en las lámparas fluorescentes. La antena transmite la energía generada por el primario de la bobina de un sistema de inducción al gas que se encuentra dentro de la lámpara, por lo cual se crea una radiación ultravioleta, la cual es luego transformada a fuentes visibles en una gama de 2.700 K a 4.000 K por medio del recubrimiento de fósforo en la superficie de vidrio.

Figura 19. Lámpara de Inducción (Philips).



Fuente: catálogo PHILIPS

Las lámparas de inducción constan de tres componentes principales, cada uno de los cuales puede reponerse por separado:

Ampolla o cámara de descarga

Es un recinto de vidrio que contiene un gas inerte a baja presión y una pequeña cantidad de vapor de mercurio. Las paredes están recubiertas de polvos fluorescentes del mismo tipo empleado en las lámparas fluorescentes lineales, lo que posibilita la obtención de diferentes temperaturas de color. La cámara de descarga está fijada al equipo que provee la energía mediante un casquillo de plástico con cierre de seguridad.

Equipo que provee energía

Transfiere energía desde el generador de alta frecuencia a la ampolla utilizando una antena formada por una bobina primaria de inducción y un núcleo de ferrita. Este equipo, además, consta de un soporte para la antena, un cable coaxial y una varilla termo-conductora.

Generador de alta frecuencia

Produce una corriente alterna de 2.65 MHz o 13.65 MHz, que se suministra a la antena. Contiene un oscilador ajustado a las características de la bobina primaria. Debido a que estas lámparas son diseños electrónicos, generan ondas electromagnéticas y por tanto producen interferencia no deseada. El valor de esta frecuencia está regulado por los países, de aquí que en Estados Unidos estas lámparas deben operar a 13.65 MHz y están aprobadas para su uso comercial y doméstico mientras en la comunidad Europea operan a 2.65 MHz.

Figura 20. Lámpara de Inducción (Osram).



Ampolla o cámara de descarga

Fuente: catálogo OSRAM



Generador de alta frecuencia

La tecnología desarrollada por OSRAM, induce desde el exterior a través bobinas en forma de anillos rodeando el tubo, la excitación de las partículas de mercurio en amalgama y este a su vez el fósforo que recubre el tubo de vidrio, produciendo así un brillo uniforme.

Figura 21. Luminarias de Inducción Tipo Industrial para áreas clasificadas APPLETON y CROUSE HINDS



Fuente: catálogo APPLETON y COOPER CROUSE HINDS

Ventajas

La principal ventaja es su larga duración (vida útil de 100,000 hrs) y baja depreciación luminosa. Por ser una lámpara de alta frecuencia posee un arranque inmediato (0,5 s), con fácil regulación del flujo luminoso, no presentando efecto estroboscópico. No necesita mantenimiento ni cambios de foco ni balasto, no tiene pérdidas de energía. El índice de rendimiento de color es mejor con esta tecnología (> 85) en comparación con el rendimiento de los haluros metálicos (78) lo que hace que los colores se vean más vivos y mejor en cuestiones de seguridad industrial. No utiliza gases a presión ni tóxicos como los haluros metálicos. Es una lámpara anti-explosiva ya que no utiliza filamentos.

Se han desarrollado luminarias específicas para alumbrado público e iluminación comercial debido a que son apropiadas para aquellas situaciones en las que resulta difícil el mantenimiento de las lámparas, como son vestíbulos de gran altura, túneles, etc.

2.4.4. Super Pulse Start SPL. Es una lámpara de halogenuros metálicos tecnología PULSE START desarrollada por Venture Lighting mejorando su tecnología Uni-Form Pulse Start, denominándola “Super Pulse Start Long Life” SPL. Las ventajas específicas son una mayor eficacia, una mejor uniformidad del color, un calentamiento más rápido, mejor mantenimiento del flujo luminoso y larga vida. Esta tecnología ofrece hasta un 50% más de su vida útil, permitiendo reducir los costos de operación. La uniformidad del color se logra gracias a las características térmicas de cada tubo y al control de la potencia del balastro. La mayor eficiencia se traduce en un ahorro de más de 100 watts por luminaria. La vida útil de esta tecnología es de 40.000 horas, una temperatura del color de 4.000K, índice de reproducción del color 68 y los lúmenes iniciales 14000.

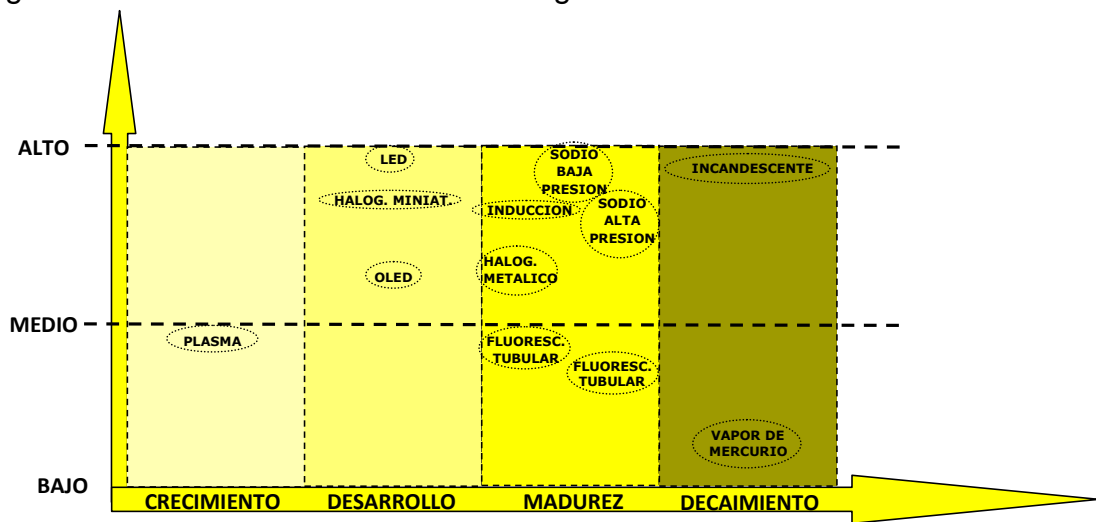
Figura 22. Lámpara MH-SPL y Kit.



Fuente: catálogo VENTURE LIGHTING

2.4.5. Estado del arte de las diferentes tecnologías. De acuerdo con la figura 23, se observa que hay tecnologías que se encuentran en desarrollo y crecimiento tal es el caso de los Led y el Plasma, son tecnologías que están en el mercado desde hace unos años pero que todavía se encuentran en etapa de estudio. Las tecnologías a tener en cuenta en este estudio son aquellas que se encuentran en etapa de madurez como los son: sodio de baja presión, inducción, Halogenuros metálicos, sodio de alta presión.

Figura 23: Estado del arte de las tecnologías



Fuente: Propia

2.4.6. Aspecto Medioambiental. El impacto medioambiental que producen las fuentes de luz se pueden resumir en el consumo eléctrico para el desempeño de su funcionalidad y en las materias primas utilizadas para su producción (mercurio, metales pesados). Algunos fluorescentes necesitan la presencia de metales (mercurio o metales pesados) para su funcionamiento. Por lo tanto los fluorescentes han de tratarse como residuos especiales.

Los aspectos mas nocivos medioambientales hablando en el uso de las fuentes de luz: consumo de energía eléctrica, materiales de producción pueden minimizarse mediante las siguientes acciones:

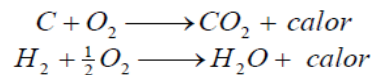
- Examinar el consumo eléctrico de cada fuente de luz que se adquiere para la empresa. Las fuentes de luz más eficaces energéticamente hablando son los fluorescentes de balastos electrónicos de alta frecuencia y recubrimiento de trofósforo.
- Establecer mecanismos de recogida selectiva de las distintas fuentes de luz poniendo en marcha acciones que permitan hacer llegar estos residuos a una planta de tratamiento.
- Los componentes de los sistemas de iluminación generan una diversidad de desechos contaminantes al fin de su vida útil, que en algunos casos son tóxicos a lo que habría que agregar los efectos biológicos nocivos, producto de las radiaciones asociadas a la iluminación. Por último, se puede mencionar la “Polución Luminosa” o contaminación de luz.

A continuación se analizan algunas de estas manifestaciones ambientales asociadas a los sistemas de iluminación:

A. Efectos asociados a la generación de energía eléctrica

Cambio climático. Dada la estructura de fuentes que sustentan nuestras necesidades energéticas en donde el 86 % de la energía primaria utilizada por la humanidad proviene de la utilización de combustibles fósiles, emerge rápidamente que los problemas asociados a su extracción, transporte y consumo ocupan uno de los sitios más destacados dentro del conjunto de preocupaciones relacionadas con esta temática. Las centrales termoeléctricas generan energía eléctrica a partir del empleo de combustibles (fósiles o no).

Realizando un análisis en forma teórica (ideal) considerando los componentes fundamentales de todo combustible fósil (y la biomasa) —carbono (C) e hidrógeno (H₂)— tendremos que la combustión (oxidación) de estos elementos libera calor (efecto buscado) y produce principalmente CO₂ y vapor de agua según lo muestran las siguientes ecuaciones:



Las proporciones de CO₂ y H₂O emitidas dependerán, respectivamente, de las proporciones de C y H₂ que se encuentren en el combustible quemado. El CO₂ en la atmósfera contribuye al llamado Efecto Invernadero que se describe a continuación.

La temperatura media de la Tierra queda determinada por la cantidad de energía entrante y saliente del planeta. Ahora bien, como la Tierra está suspendida en el vacío la única posibilidad de intercambiar energía con el exterior es a partir de los ingresos y egresos de radiación electromagnética, quedando excluidos los fenómenos de conducción y convección del calor. Por este motivo a la sumatoria de entradas y salidas de energía radiante se la conoce como Balance Radiativo de la Tierra.

Dentro de los ingresos de energía el único relevante es el constituido por la fracción de la radiación solar que llega a la Tierra. Las salidas de energía pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: a) energía reflejada y b) radiación de onda larga. La primera está constituida por la radiación solar reflejada directamente por la atmósfera, las nubes, los aerosoles en suspensión y por la superficie terrestre (albedo), mientras que la radiación de onda larga está determinada por la temperatura de la atmósfera, las nubes y la superficie terrestre y se produce, enteramente, dentro de la zona infrarroja lejana (con longitud de onda alrededor de 10 micrómetros, es decir diez veces más largas que la radiación infrarroja cercana emitida por el Sol).

Ahora bien, ciertos elementos (o materiales) se comportan selectivamente frente a las distintas longitudes de onda de la luz. Esto significa que la cantidad de radiación que dejan pasar (transmisividad) varía en función de la longitud de onda. En el caso particular del CO_2 éste presenta una alta transmisividad para las longitudes de onda más cortas (como son las que llegan del Sol) y una baja transmisividad para las longitudes de onda pertenecientes a la zona de las infrarrojas lejanas (como lo es la radiación terrestre que corresponde a la de un cuerpo a temperatura de alrededor de $15\text{ }^\circ\text{C}$). La presencia de CO_2 y otros gases con similares características implica que la energía se acumula en la atmósfera —mientras incide la radiación solar— elevándose la temperatura en su interior pues la cantidad de energía entrante es mayor que la saliente (emitida). En estas condiciones, la temperatura media de la Tierra aumenta hasta que se alcance un nuevo equilibrio entre la energía entrante y saliente. En síntesis, la atmósfera terrestre actúa como un gigantesco invernadero evitando la pérdida de calor por radiación al espacio exterior y manteniendo los valores medios de temperatura planetaria dentro de los rangos que hacen posible la vida tal cual la conocemos en la actualidad. Se estima que de no existir este Efecto Invernadero la temperatura media del planeta descendería alrededor de $30\text{ }^\circ\text{C}$ respecto de la temperatura media actual ($15\text{ }^\circ\text{C}$).

Efectos de la contaminación por SOX, NOX. En el proceso de combustión, además de CO_2 y vapor de agua se emiten otros gases. Uno de ellos es el dióxido de azufre (SO_2), que proviene de la combustión del azufre contenido en el carbón mineral y en el petróleo. El SO_2 a su vez se oxida formando el trióxido de azufre (SO_3). El conjunto de óxidos SO_2 y SO_3 suele llamarse SOX. Otros a considerar son los óxidos de nitrógeno que surgen debido a que en la práctica no se utiliza oxígeno puro como comburente sino aire, compuesto principalmente por nitrógeno y a que, a su vez, los combustibles contienen una proporción de este elemento. A altas temperaturas en los procesos de combustión el oxígeno reacciona con el nitrógeno formando monóxido de nitrógeno (NO) que también oxida parcialmente, formando el dióxido de nitrógeno (NO_2). La combinación de estos dos óxidos de nitrógeno se denomina NOX. El SO_3 y el NO_2 combinan con el agua en la atmósfera transformándose en ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), respectivamente.

➤ **Precipitación seca y lluvia ácida.** En algunos casos las partículas de ácidos sulfúrico y nítrico originadas a partir de las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno generados en los procesos de combustión desaparecen del aire por gravedad o por impacto contra los edificios, las plantas, el suelo, etc. produciendo la llamada «precipitación seca». En las cercanías de las fuentes de emisión, la precipitación suele ser "seca". El resto de las partículas ácidas se disuelven en las gotas de lluvia y abandonan la atmósfera con las tormentas produciendo una precipitación más ácida de lo normal conocida como Lluvia ácida. Una lluvia "normal" tiene un grado de acidez (pH) de 5,6 aproximadamente. Técnicamente la lluvia se considera ácida si su grado de acidez es menor de 5,6. Desde la Revolución Industrial, la acidez de la lluvia ha aumentado en todo el mundo entre cinco y treinta veces. En algunos lugares, la lluvia es mil veces más ácida que antes. Este fenómeno comienza a evidenciarse desde 1930, pero toma importancia a partir de 1970. Uno de los casos de mayor acidez en la lluvia de los que se tiene noticia, tuvo lugar al principio de una tormenta en Pitlochry (Escocia),

en 1974. El grado de acidez era de 2,4 lo que hizo a la lluvia tan ácida como el vinagre. Los efectos sobre el ser humano y el ambiente dependen del tipo de sistema en cuestión, por lo que se tratarán por separado:

➤ **Efectos sobre la salud humana.** Los efectos tóxicos de estos compuestos de azufre sobre los seres humanos y los animales, se deben a la presencia de partículas de polvo y aerosoles de ácido sulfúrico. La lluvia ácida en si misma no parece representar un peligro directo para la salud humana. Sin embargo, las partículas de sulfato que caracterizan la precipitación seca no son lo suficientemente grandes como para ser repelidas por la defensas del pulmón y suelen provocar trastornos respiratorios. La respuesta fisiológica a la acción irritante de estos compuestos es la broncoconstricción, con el consecuente desmejoramiento de la función pulmonar.

➤ **Efectos sobre los vegetales.** Los ácidos no sólo erosionan la superficie de las hojas, sino que también penetran obstruyendo la fotosíntesis. La lluvia ácida perjudica la flora y fauna microbiana responsables en gran medida de la fertilidad de los suelos, y moviliza a los metales pesados que se encuentran en los suelos los cuales penetran en las plantas, intoxicándolas. Se cree que la lluvia ácida puede reducir la producción de bosques de algunas zonas en un 10 %, pero resulta difícil distinguir los efectos de los distintos mecanismos causales que entran en juego. Experimentos controlados que simulaban lluvia ácida sobre cultivos agrícolas han demostrado que ésta también puede afectar su rendimiento.

➤ **Efectos sobre los suelos.** Los óxidos de azufre y el ácido sulfúrico provocan, si su concentración es elevada, la destrucción de la vegetación. De esta forma los suelos se ven privados de la materia orgánica y aumentan su acidez, disminuyendo su capacidad de absorber agua y modificando por tal causa su estructura y textura. La ausencia de vegetación favorece la acción hídrica y eólica transformando el suelo en un desierto. Los suelos poseen una capacidad de

regulación que depende de la concentración de calcio. Muchos suelos, principalmente los de las regiones secas, son ricos en estos iones. Por el contrario, los de las regiones húmedas, entre ellos muchos del norte de Europa, noreste de Norteamérica y gran parte de los tropicales, están muy lixiviados y tienen concentraciones menores. Tales suelos son muy ácidos, con un pH medio en sus horizontes superiores de 4,0 - 4,5. La filtración de agua de lluvia con un bajo pH incrementa la tasa de lixiviación de los nutrientes.

➤ **Lagos y lagunas.** La lluvia ácida sobre lagos y lagunas trae consigo dos modificaciones inmediatas: la primera y obvia es el descenso del pH en el cuerpo de agua, lo que determina una reducción de la cantidad de calcio en la misma. El plancton no soporta la acidificación, el zooplancton tampoco se desarrolla sucediendo lo mismo con las algas, destruyéndose así la base de la cadena trófica. La posibilidad de reproducción de los peces también se ve afectada pues sus huevos no resisten un pH bajo. Otras especies de peces mueren directamente a causa de la elevada acidez. La segunda modificación, no tan evidente, es el aumento de la cantidad de metales provenientes de las tierras y rocas que rodean al lago y que son lixiviados por la lluvia ácida. La lluvia ácida moviliza a los metales pesados de las rocas y de los sedimentos, yendo a parar a las aguas superficiales. Es por este motivo que los lagos con acidez en sus aguas contienen altos niveles de cadmio, mercurio, plomo, aluminio, magnesio, zinc, cobre y níquel. Todos estos metales pueden matar a los organismos vivos si su proporción es elevada: su muerte se debe más a la presencia de ellos que a la propia acidez de las aguas.

➤ **Efectos sobre construcciones y monumentos.** El SO₂ en presencia de partículas y humedad corroe diversos materiales como metales y mampostería. Estos ataques químicos pueden observarse en las instalaciones internas de las centrales termoeléctricas, que se encuentran ubicadas en las proximidades de las chimeneas de baja altura. El efecto más visible de la lluvia ácida es el deterioro de

edificios y monumentos, principalmente de los construidos de piedra caliza y mármol. Estas rocas, compuestas de carbonato cálcico, tienen excelentes propiedades como materiales de construcción, pero son extremadamente sensibles a los ácidos (muchas construcciones de mármol y piedra caliza de la Antigüedad han sufrido mucho más daño en los últimos 20 años que en sus primeros 20 siglos de existencia). Los efectos se hacen sentir también en estructuras modernas tales como puentes, vías de ferrocarril, etc.

Generación hidroeléctrica: La construcción de represas hidroeléctricas, representa en algunos casos uno de los impactos ambientales del tipo local y/o regional más importantes producidos por el hombre. En particular aquellas que se ubican sobre los ríos de llanura y climas subtropicales y tropicales, resultan ser las más conflictivas por las enormes áreas que inundan y por la complejidad de los ecosistemas que afectan. Toda central hidroeléctrica necesita de una presa que es una obra civil que interrumpe el curso normal de un río, acumulando agua «aguas arriba» de la misma formando un «embalse», y liberando o no agua en función de su destino dentro del sistema eléctrico. Debido a la gran variedad de modificaciones producidas, se describirán someramente los distintos fenómenos por separado, aún cuando éstos se interrelacionan.

➤ **Modificación del caudal del régimen hidrológico.** Debido a que las centrales hidroeléctricas tienen como función principal la generación de energía eléctrica la periodicidad de los caudales aguas abajo de la presa se pierde, en general, afectando a los ecosistemas.

➤ **Características del agua del río.** Es sabido que algunos ríos, arrastran gran cantidad de sedimentos confiriéndole al agua su característica turbiedad. El aquietamiento del agua en el embalse, permite que parte de estos sedimentos se depositen gradualmente en el fondo produciendo el fenómeno conocido como «colmatación», que va restando paulatinamente capacidad de almacenamiento al

embalse hasta inutilizarlo. Aguas abajo de la presa, la disminución de la cantidad de partículas sedimentables captadas en el embalse afecta principalmente al delta del río en cuestión que son formaciones debidas a un delicado balance entre procesos de sedimentación y erosión. La calidad del agua embalsada, por otro lado, también debe ser objeto de cuidado. La existencia de poblaciones debería obligar al tratamiento de los vertidos de cloacas y efluentes industriales para no deteriorar la calidad del agua. Finalmente, la creación del lago eleva el nivel de la napa freática, y puede en algunos casos invertir el flujo de la misma, modificando las características del agua de las mismas.

➤ **Problemas sobre la fauna y flora.** La destrucción del hábitat ocupado por el área inundada no requiere explicación, y afecta a todas las formas de vida. En el caso de ríos en climas subtropicales y tropicales los ecosistemas afectados son generalmente muy complejos y en vías de extinción. Aguas abajo y en las orillas del embalse la vegetación se ve afectada ante la pérdida de regularidad entre los ritmos de crecientes y bajantes, quedando estas márgenes al descubierto y erosionándose. Los peces son uno de los organismos más afectados por las represas. En los ríos Paraná y Uruguay existen muchas especies de peces que realizan migraciones reproductivas y tróficas: sábalo, dorado, etc. que ven interrumpido su viaje por una barrera infranqueable. La destrucción del área de desove y cría de los alevinos, por el área de inundación, agudiza la problemática que se les genera a los peces.

➤ **Problemas sobre el ser humano.** Los problemas más directos generados sobre el ser humano están relacionados con la destrucción de los patrimonios históricos tener en cuenta que los valles de los ríos han sido tradicionalmente los sitios donde han proliferado las civilizaciones, caminos, poblaciones etc., y con los reasentamientos de población que conlleva la modificación de las pautas culturales. Además ciertas enfermedades se ven favorecidas por las condiciones que generan estos cuerpos de agua.

B. La contaminación asociada a la generación eléctrica debido al consumo energético en la iluminación.

La quema de combustibles fósiles utilizadas para la generación eléctrica libera los óxidos de azufre y nitrógeno, material particulado y el dióxido de carbono. Las emisiones de los distintos gases contaminantes se determinan a través de muestreos en las chimeneas de las plantas generadoras y la de CO₂ a partir del contenido de carbono en los combustibles utilizados y la eficiencia de la generación eléctrica. La electricidad utilizada para la iluminación se relaciona con la electricidad generada de la siguiente manera: para cada kWh disipada en la instalación de luz, unos 1,15 a 1,20 debe ser generada, si uno toma en cuenta las pérdidas por transmisión y distribución. Para analizar el impacto de la iluminación, el primer paso es cuantificar el consumo de energía. Dicho impacto puede ser reducido mediante el uso eficiente de la energía en la iluminación. Para cuantificar este beneficio, se debe establecer el potencial de ahorro de energía y luego determinar la reducción en la generación de distintos tipos de centrales como consecuencia del ahorro.

C. Desechos contaminantes de los sistemas de iluminación

Los sistemas de iluminación producen diversos tipos de desechos, siendo los más perjudiciales los correspondientes a lámparas de descarga agotadas. Año a año millones de lámparas son arrojadas a los basurales, muchas de ellas conteniendo residuos altamente contaminantes como el mercurio. Estos residuos son potenciados si la ampolla es destruida, cosa que lamentablemente ocurre en la mayoría de los casos, cuando la basura es comprimida para facilitar su traslado a los repositorios.

Cada lámpara de descarga, es decir casi todas menos las incandescentes, contiene mercurio, un metal pesado y tóxico que es liberado al ambiente cuando

se descarta la lámpara. La cantidad de mercurio en una lámpara varia desde 3 a 50 mg (miligramos).

Las lámparas de mercurio de alta presión utilizadas en el alumbrado público y las mezcladores llevan la mayor cantidad de mercurio. Las lámparas de sodio de alta presión, utilizadas en el alumbrado público eficiente, también contiene mercurio pero de menor magnitud. La sustitución de lámparas de mercurio de alta presión y de mezcladoras en el alumbrado público por las más eficientes lámparas de sodio de alta presión, también reduce la liberación futura de mercurio al atmósfera. Sin embargo, en dicha sustitución, se liberaría todo el contenido de mercurio de las lámparas desechadas, a menos que se tomen las precauciones adecuadas.

La industria ha realizado un esfuerzo para reducir el contenido de mercurio en las lámparas de sodio de alta presión, con lo cual mejoraría la situación aún más en el futuro.

Los tubos fluorescentes sostienen la descarga con el vapor de mercurio. Los tubos tradicionales T12 de 40 W llevaban alrededor de 30 mg de mercurio. Según información provista por Osram, las lámparas T10 de 40 W, fabricadas en Brasil contienen sólo 8 mg de mercurio, mientras existen modelos T8 36 W (Lumilux Plus Eco) con tan sólo 4,5 mg del metal en cuestión.

Las emisiones están dominadas por lámparas fluorescentes. En la medida que las instalaciones de iluminación se hace más eficiente con lámparas T8 trifósforo, de mayor duración que las T12 tradicionales y con menor contenido de mercurio por lámpara, se espera una importante reducción de la cantidad de mercurio liberado al ambiente, aún sin considerar ningún tratamiento. Las emisiones de mercurio a partir de las lámparas fluorescentes pueden bajar a 150 kg al año, considerando 15 millones de lámparas descartadas con 10 mg de mercurio cada una.

La sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas implica un aumento en la cantidad de mercurio en las lámparas y su eventual liberación al medio ambiente. El contenido de las LFC típicamente varía desde 3 a 5 mg por lámpara. Con un programa muy exitoso de promoción de LFC, se puede lograr una venta anual de 10 millones de LFC y el descarte de una cantidad similar. Considerando el valor alto (5 mg) del contenido de mercurio, significa una liberación de 50 kg de mercurio al año, suponiendo ningún tratamiento de las lámparas descartadas.

Sumando los tubos fluorescentes y las lámparas compactas, estimamos la liberación de 200 kg de mercurio al año. Esta cantidad debe compararse con otras fuentes de mercurio, por ejemplo la rotura de termómetros, cuyo contenido de mercurio es mucho mayor. Un programa integral para el control de mercurio comprendería la sustitución de estos termómetros por otros electrónicos.

La siguiente tabla muestra en resumen el contenido de sustancias contaminantes de algunas fuentes de iluminación.

Tabla 4. Contenido de sustancias contaminantes fuentes de iluminación

Bombilla	Mercurio	Plomo	Itrio	Tierras raras	Antimonio	Bario	Estroncio
	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
Sodio de Alta presión	0,006	0,6	0,012	0,003	0	0,126	0,09
Inducción	0,01	0,01	0,12	0,08	0,03	0,06	0,28
Plasma	0	0	0	0	0	0	0
Halogenuro Miniaturizado	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
LED	0	0	0,005	0	0	0	0

2.4.7. Indicadores de costos por iluminación.

Evaluación de fuentes de iluminación

Aquí mostramos un indicador de tipo económico enfocado al uso racional de energía, propuesto por la Universidad Nacional de Colombia⁶ en la “Caracterización de las bombillas para uso interior comercializadas en Colombia” y que adecuamos para aplicarlo en la caracterización de las fuentes de iluminación uso exterior (luminaria+bombilla) consideradas en la presente monografía.

Pesos por Iluminación (\$/Iluminación)

Quando vamos a adquirir un producto tenemos que seleccionar normalmente entre varias marcas, tipos, presentaciones y/o tecnologías, buscando lo más conveniente por precio y calidad, *es decir el más económico, donde no necesariamente el producto más económico es el “mas barato”. Existen diversos indicadores que los usuarios encuentran en los empaques de los productos que ayudan a tomar la decisión de adquirir un determinado producto, por ejemplo, para todos los productos orgánicos de un supermercado, el cliente encuentra el valor del producto con relación con el peso, es decir que encuentra el costo por unidad de masa (\$/gr), indicador que le permite comparar entre diversas marcas y/o productos para escoger el más económico⁶.*

Análogamente para el caso de las fuentes de iluminación de uso exterior en sus diferentes **tecnologías**, marcas y presentaciones, el indicador propuesto opera de forma similar permitiendo al usuario de manera sencilla comparar costos y características de desempeño (enfocada al uso racional de energía) entre la gran variedad de presentaciones, tecnologías y marcas.

⁶ “Caracterización de las bombillas para uso interior comercializadas en Colombia”
Contrato 1517-23 de 2007 UPME – Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia Abril 28 de 2008.
REPÚBLICA DE COLOMBIA - MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA

Este indicador tiene en cuenta: El costo de compra de la luminaria+bombilla, el costo de la energía que esta consume a lo largo de su vida útil, la potencia consumida, la eficacia de la fuente y su vida útil. El indicador se denomina “pesos por iluminación”, y relaciona el costo total de la luminaria+bombilla (costo de compra mas costo de la energía total consumida), con el flujo luminoso total que emite dicha fuente de iluminación durante toda su vida útil.

No es una simple comparación de los precios, sino que compara el costo total de una fuente de iluminación con respecto a sus características eléctricas, de forma que la fuente de iluminación más económica es aquella que tenga las mejores características técnicas en relación con su costo. La ecuación que representa este indicador se muestra a continuación:

Donde :

Q= Costo de la fuente de iluminación mas costo de la energía consumida.

C= Precio de compra de la fuente de iluminación dada en pesos colombianos.

P= Potencia total nominal de la fuente de iluminación dada en vatios.

Φ = Flujo luminoso dado en lúmenes.

t= Vida útil de la bombilla en horas.

\$/KWh= Precio de la energía en \$/kWh.

En la ecuación anterior se puede observar, que a medida que una fuente de iluminación ofrezca una mejor eficacia y una vida útil más prolongada, su precio

por iluminación será más bajo. Las fuentes de iluminación más económicas serán aquellas que presenten las mejores características técnicas.

En la siguiente tabla se muestra la comparación del indicador propuesto para las fuentes de iluminación externas seleccionadas.

Tabla No. 5 Indicador de costos por iluminación

Fuente de iluminación	Valor kWh [\$/kWh]	Precio luminaria (\$)	Potencia eléctrica total (W)	Flujo luminoso luminaria (klm)	Vida útil bombilla (horas)	Indicador (\$/klm-h)	Eficacia total (lm/W)	Vida útil con uso x 12 h/día (años)	Reposición de bombillo en 25 años (veces)
MH SPL 150W	136	\$ 750.000	188,0	10,8	40000	4,111	57,3	9,1	2,7
IND 165W	136	\$ 2.393.308	165,0	9,2	60000	6,746	56,0	13,7	1,8
MH-PS 150W	136	\$ 700.000	188,0	10,0	15000	7,216	53,2	3,4	7,3
MH-ST 175W *	136	\$ 500.000	210,0	10,4	10000	7,557	49,5	2,3	11,0
LED 137W	136	\$ 3.307.060	144,7	8,6	60000	8,744	59,1	13,7	1,8

NOTA: IND (Inducción), MH-ST (Halogenuro Metálico estandar), MH-PS (Halogenuro Metálico Pulse Start) y MH SPL(Halogenuro Metálico Pulse Start Long Life). *Fuente de iluminación actual

Para las tecnologías seleccionadas se evalúan parámetros eléctricos destacando la eficacia (relación entre el flujo luminoso emitido por la fuente de iluminación y la potencia eléctrica demandada por el conjunto de la luminaria), la vida útil y los costos de adquisición de la luminaria completa.

En la tabla se puede apreciar que la tecnología MH SPL (Halogenuro Metálico Pulse Start Long Life) junto con su conjunto óptico, eléctrico es más eficiente en cuanto a cantidad de iluminación entregada por costos de energía consumida en su vida útil. La tecnología MH SPL con respecto a la fuente de iluminación actual representa un ahorro del 45,6% en pesos por flujo luminoso total emitido por la fuente de iluminación durante toda su vida útil, debido a que la eficacia total se

aumenta en un 15,8% y su vida útil es 4 veces mayor. Por tanto es la fuentes de iluminación más económicas pues tiene la mejor combinación entre características técnicas y costos.

2.5. FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA UTIL DE LAS FUENTES DE ILUMINACION.

Los factores externos que afectan al funcionamiento de las lámparas son la temperatura del entorno dónde esté situada la lámpara, las desviaciones en la tensión nominal en los bornes, número de encendidos y posición de funcionamiento.

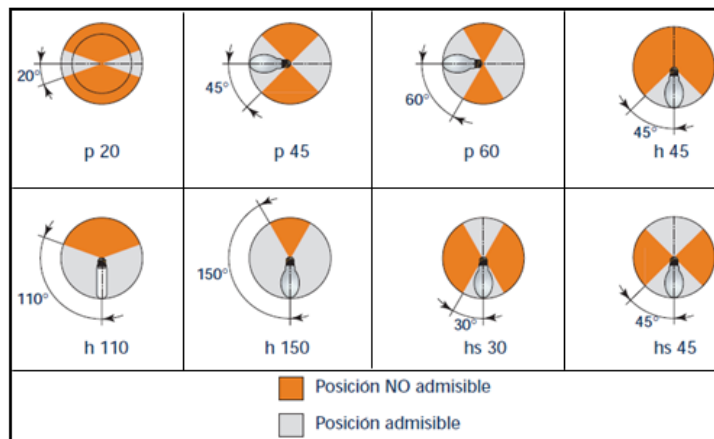
Temperatura ambiente. Las lámparas se construyen para que trabajen a temperaturas ambientes, es decir entre $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, debido a que algunas disipan una gran cantidad de calor, su temperatura de trabajo puede ser bastante alta. En las lámparas normales hay que tener cuidado que la temperatura de funcionamiento no exceda de los 200°C para el casquillo y los 370°C para el bulbo en el alumbrado general. Esto será de especial atención si la lámpara está alojada en luminarias con mala ventilación. En el caso de las lámparas halógenas es necesaria una temperatura de funcionamiento mínima en el bulbo de 260°C para garantizar el ciclo regenerador del wolframio. En este caso la máxima temperatura admisible en la ampolla es de 520°C para ampollas de vidrio duro y 900°C para el cuarzo.

Desviaciones de la tensión nominal de red. Las variaciones de la tensión se producen cuando aplicamos a la lámpara una tensión diferente de la tensión nominal para la que ha sido diseñada. Estas desviaciones de la tensión nominal de la red afecta tanto a la tensión de la lámpara, su potencia, corriente y flujo luminoso, pero estos efectos varían de acuerdo al tipo de lámpara que se trate.

Numero de encendidos. El número de veces que se enciende una lámpara de descarga a lo largo de un tiempo dado es un dato de importancia para determinar su duración, ya que esto afecta a la eliminación de las sustancias emisoras que contienen los electrodos. Por ello es importante definir el ciclo de encendido-apagado con el que se realiza una prueba de duración. Ya que es muy difícil que el ciclo real coincida con el de la prueba, existen discrepancias entre los valores reales y las condiciones de laboratorio.

Posición de funcionamiento. La posición de funcionamiento de una lámpara influye sobre la cantidad de luz entregada así como sobre su vida. Los catálogos especifican el flujo luminoso para una posición de funcionamiento vertical y horizontal, pudiéndose calcular para posiciones intermedias. Cuando esta posición no está especificada significa que no es de importancia. La tabla 6 muestra las maneras en que se indica la posición de funcionamiento en los catálogos. El sector angular de color claro, en cada uno de los símbolos de la tabla, indican el valor del ángulo que puede inclinarse la lámpara como máximo.

Tabla 6. Ejemplos Indicativos de posiciones posibles de funcionamiento para lámparas.



Fuente: Indalux

2.6. REDUCCION DE EMISION DE GASES EFECTO INVERNADERO.

Se entiende por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) el conjunto de residuos en forma gaseosa que se depositan en la atmosfera como consecuencia de la actividad que se desarrolla en un país y que contribuyen al efecto invernadero y cambio climático. Se trata de una variable numérica que cuantifica estas emisiones. Las emisiones de GEI tienen distintos orígenes, aunque la producción de energía es uno de los más relevantes.

El CO₂ no es el único GEI, y ni siquiera es el más poderoso, aunque es considerado uno de los más preocupantes por las enormes cantidades que se emiten. Entre los GEI más importantes se pueden mencionar, el vapor de agua (H₂O), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), y los clorofluorcarbonos (CFC).

El aumento de la concentración de GEI y, por ende, incremento del efecto invernadero, es uno de los factores que interviene en la generación de un problema “global” conocido como Cambio Climático que se manifiesta como una variación en las magnitudes, y/o en los patrones de distribución espacial y temporal de las variables climáticas (temperatura, régimen de vientos, humedad, régimen de lluvias, etc.). Entre las diversas causas que pueden provocar cambio climático se encuentran las externas y las internas (al planeta) y entre estas últimas las naturales y las origen humano. Dentro de las causas externas se pueden mencionar las variaciones en la órbita terrestre alrededor del Sol (conocidas como Ciclos de Milankovitch), la variabilidad de la fuente solar debido a los ciclos de manchas solares sobre su superficie que alteran los niveles de radiación, la variación en el nivel de irradiancia total y el impacto de meteoritos o cometas. Una de las causas internas de origen natural es la causada por las erupciones volcánicas que inyectan en la atmósfera enormes cantidades de polvo y aerosoles que reflejan los rayos solares.

Dentro del campo de lo que ya se ha comprobado científicamente, se puede realizar el siguiente resumen:

- Las concentraciones atmosféricas de los GEI, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, han aumentado en forma significativa desde tiempos preindustriales (1750): aproximadamente 30%, 145% y 15% respectivamente (valores de 1992). Estas tendencias se pueden atribuir a la actividad humana, principalmente al uso de los combustibles fósiles, a cambios en el uso de la tierra y a la agricultura.
- La temperatura media mundial del aire superficial se ha incrementado entre 0,3 y 0,6 °C desde fines del siglo XIX siendo los últimos años los más calurosos desde que existen mediciones, en 1860.
- El nivel de los océanos se ha elevado entre 10 y 25 cm durante los últimos 100 años y gran parte de este incremento es debido al incremento de la temperatura media mundial.

La temperatura media ha aumentado alrededor de 0,5 °C desde 1950. A partir de estos datos los modelos acerca de la futura variación del clima terrestre se basan en evaluar las futuras emisiones de GEI y aerosoles teniendo en cuenta estimaciones acerca del crecimiento de la población y la actividad económica, patrones de uso de la tierra, los cambios tecnológicos, la disponibilidad y los tipos de fuentes energética, y de modelizaciones de la atmósfera y el océano efectuadas para el periodo el período 1990-2100. El escenario medio proyecta en términos generales:

- Un calentamiento global que redundará en una mayor cantidad de días extremadamente calientes y en un descenso en la cantidad de días extremadamente fríos. El ciclo hidrológico se verá incrementado con mayores precipitaciones y humedad del suelo, sobre todo en el hemisferio norte. Habrá un incremento en el nivel de los océanos. Habrá mayor actividad fotosintética debido al aumento en la cantidad de CO₂.

Y en forma más específica:

- Un incremento de la temperatura media del aire de 2 °C para el 2100 respecto de 1990. (Como dato comparativo tenemos que la variación de la temperatura media del planeta entre glaciaciones ha oscilado entre 3 y 5 °C).
- Una elevación del nivel de los océanos de 50 cm, debido a su expansión térmica y el derretimiento de las masas de hielo polares.

Existen numerosos mecanismos internacionales que promueven de diferentes maneras — financiera, educativa, etc.— la reducción en las emisiones de los gases de efecto invernadero y principalmente del CO₂. La reducción de estas emisiones es posible en muchas áreas, pero las **medidas de eficiencia energética** han demostrado ser las que tienen mejor efectividad entre todas las opciones.

2.6.1. Opciones para la reducción de emisiones y captura de CO₂. Actualmente hay una gran variedad de tecnologías eficientes tanto para la generación de energía como para su consumo. Esta mayor eficiencia y uso racional de la energía se traducen en menores emisiones de GEI por unidad de energía utilizada. Una primera selección de tecnologías a utilizar implica el conocimiento del sistema energético nacional (oferta-demanda) así como de las tecnologías empleadas por los consumidores. La opción de reducción de emisiones consiste en sustituir la tecnología actual por una de las nuevas tecnologías eficientes. La evaluación de cada una de las nuevas tecnologías conlleva un análisis técnico-económico y ambiental, en el cual se comparan económica y ambientalmente las opciones tecnológicas que suministran la misma cantidad de energía o prestan el mismo servicio con el mismo grado de confiabilidad.

Para el caso colombiano, se han considerado tecnologías que tienen efectos potenciales para la reducción de las emisiones. Los criterios para seleccionar las tecnologías serán:

- Costo de las opciones
- Madurez tecnológica
- Reducción de emisiones
- Viabilidad técnico económica
- Estudios previos disponibles sobre estas tecnologías

El escenario de penetración de cada tecnología se hará teniendo en cuenta estudios de determinación del potencial de la tecnología disponibles en el país (p.e. cogeneración), las demandas de potenciales de equipos (p.e. iluminación), etc.

2.6.1.1 Descripción de las nuevas tecnologías energéticas. Varias de las tecnologías consideradas en la opción de reducción de emisiones son relativamente nuevas y no tan ampliamente conocidas como las convencionales. A continuación se presentan fichas descriptivas de algunas de estas nuevas tecnologías.

ILUMINACIÓN ELÉCTRICA EFICIENTE

Descripción de la tecnología: Las mejoras en los sistemas de iluminación incluyen fuentes lumínicas nuevas y más eficientes, luminarias y sistemas de distribución de la luz mejorados, y métodos optimizados de utilización de la iluminación en los lugares de trabajo.

Conceptos de sistemas:

- Mejoramiento de la eficiencia de sistemas existentes empleando mejores componentes, luminarias, etc.
- Sistemas avanzados de iluminación incluyen nuevos métodos para producir y distribuir la luz.
- El concepto escotópico de iluminación incluye una identificación y uso selectivo del espectro luminoso de una fuente para mejorar la agudeza visual y las

condiciones de iluminación en el lugar de trabajo con reducción del consumo de energía.

Tecnologías representativas:

- Fuentes lumínicas avanzadas, incluyendo reemplazo de lámparas incandescentes por más eficientes.
- Luminarias mejoradas
- Lámparas y aplicaciones que toman ventaja del espectro luminoso

Estado del arte/aplicaciones:

- Las eficacias de las lámparas incandescentes de 12 a 18 lúmenes/W; lámparas fluorescentes tubulares de 60 a 90 lúmenes/W; LFC (Lámparas Fluorescentes Compactas) de 45 a 60 lúmenes/W.
- Eficiencias de las luminarias son del orden de 45%. Es posible llevarlas hasta 80%.
- La lámpara de azufre sin electrodos alcanza eficacias del orden de 160 lúmenes/W.

Capacidades disponibles actualmente:

- La capacidad actual de producción a nivel mundial de LFC es de aprox. 200 Millones de unidades/año.

Costos: Las LFC's se comercializan en el país entre 8 y 15 US\$/unidad para 700 a 1400 lúmenes.

Penetración del Mercado: El mercado potencial en Colombia para LFC podría ser del orden de 2 unidades * 5 M hogares = 10 M unidades. Este mercado es incipiente en el país.

Beneficios potenciales para la nación:

Económicos: Es posible desarrollar una industria local de producción de LFC's, considerando como mercado además países de la subregión. Para las otras tecnologías de nuevas fuentes de iluminación, esta posibilidad no se da por lo limitado del mercado nacional y la rapidez a la cual está cambiando la tecnología.

Ambientales: Reducción del consumo de energía eléctrica en la proporción en que se substituyen tecnologías convencionales.

Reducción de emisiones: Ligada a la reducción del consumo de energía eléctrica.

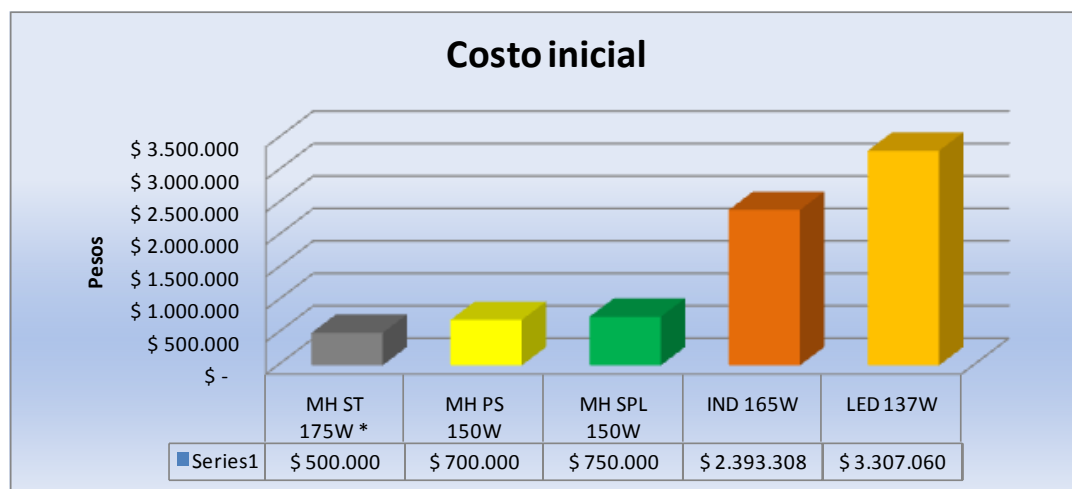
Energéticos: Reducción del consumo de energía eléctrica

3. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1. SELECCION DE ALTERNATIVAS DE FUENTES DE ILUMINACIÓN

3.1.1. Estimado de costo de las alternativas

Figura 24. Costo inicial de la luminaria.



Nota: * Tecnología actual.

Fuente: Propia

Los costos mostrados en la figura 24, representan el valor de la luminaria completa por tecnología comparada.

3.1.2. Evaluación financiera. En el Anexo 1 se encuentran las evaluaciones financieras desarrolladas para cada una de las tecnologías seleccionadas como estudio de esta monografía, este documento contiene los costos iniciales de la inversión para las diferentes tecnologías, los costos de mantenimiento y los costos de repuestos, a partir de estos datos se calcula la relación beneficio-costos (FACTOR J). La tecnología que arroje un mayor valor beneficio-costos, será la tecnología seleccionada para realizar la actualización del sistema de iluminación de la GRB.

Factor J: En sentido estricto, una relación B/C es la relación entre el valor presente de los ingresos y el valor presente de los egresos descontados a una tasa apropiada ajustada por riesgo o costo de oportunidad.

Al interior de la Compañía, el Factor J es la metodología que se utiliza para establecer una comparación relativa de los beneficios marginales de un proyecto generados por una inversión de capital. Para ECOPETROL el Factor J se define como:



El VPN riesgo base asocia los costos y las posibles pérdidas en que incurriría la Compañía de seguir en su situación actual. El VPN con proyecto asocia las inversiones requeridas y los mismos elementos del riesgo base en caso en que la Compañía desarrolle el proyecto.

En esencia, el Factor J calcula una eficiencia de la inversión, medida como la generación de beneficios marginales por cada peso invertido. A la fecha, el criterio de decisión utilizado en Ecopetrol para la aceptación de proyectos medidos con este indicador es el que se muestra a continuación:

Tabla 7. resumen relacion beneficio-costo

<i>Factor J < 1</i>	Proyecto no conveniente (inversión mayor a los beneficios generados)
<i>Factor J = 1</i>	Proyecto no conveniente (inversión igual a los beneficios generados)
<i>Factor J > 1</i>	Proyecto conveniente (beneficios generados mayores a la inversión realizada)

A continuación se muestra el resumen del Anexo 1 (Evaluaciones Financieras) realizada a cada una de las tecnologías seleccionadas como estudio de esta monografía:

Tabla 8. resumen evaluacion financiera

Tecnología	Costo Inversión Inicial	Costo cambio Tecnología	VPN Costos O&M		Factor J	VPN Ahorro
MH-SPL	\$ 1.645.160.000	\$ 610.410.453	\$ 8.329.160.279	47,5%	3,81	\$ 3.590.650.140
MH-PS	\$ 1.334.823.000	\$ 610.410.453	\$ 9.443.698.977	40,4%	3,12	\$ 2.176.532.718
IND	\$ 17.897.157.224	\$ 1.672.675.757	\$ 8.720.178.387	45,0%	-0,25	(\$ 11.926.091.310)
LED	\$ 24.730.194.680	\$ 1.672.675.757	\$ 7.857.050.687	50,4%	-0,37	(\$ 17.150.254.340)
* MH-ST	NA	NA	\$ 15.855.713.875	NA	NA	NA

NOTA: MH SPL(Halogenuro Metálico Pulse Start Long Life), MH-PS (Halogenuro Metálico Pulse Start), IND (Inducción) y MH-ST (Halogenuro Metálico estandar).

*Fuente de iluminación actual

3.1.3. Tecnología. Una vez realizada la evaluación financiera para cada una de las tecnologías propuestas, se encuentra que de acuerdo con los criterios de evaluación de proyectos de la GRB, la tecnología que ofrece un mayor beneficio a bajo costo para el reemplazo de la actual, es la Metal-Halide Super Pulse Start Long Life (MH SPL).

3.1.4. Ambiental. A continuación se describen algunas ventajas ambientales de la tecnología Seleccionada:

- Con el ahorro de energía que se obtiene al disminuir la potencia de la luminaria, se logra disminuir la emisión de CO2 en un 11.9%, comparado con el consumo actual.
- Esta tecnología es más segura para el medio ambiente, utiliza un 25% de mercurio menos de halogenuros metálicos tradicionales.

- Los materiales sólidos se vuelven a procesar para su uso como materia prima o su eliminación segura.

3.1.5. POTENCIAL DE REDUCCION DE EMISIONES DE GASES.

3.1.5.1. Cálculo de emisión de CO₂ equivalentes por ahorros de energía al año.

Tabla 9. Cálculo de emisión de CO₂e

Descripción	Lámpara	Balasto	Pot Tot	No Lam p	Energía			Costos	Fact. Conv.	CO ₂	
					KW-h/día	días	KW-h/año			\$/año	CO ₂ e/kW h
MH ST 175W	0,175	0,035	0,21	7478	18844,56	365	6.878.264	\$ 935.443.958	0,0002849	1959,6	100
MH SPL 150W	0,15	0,035	0,185	7478	16601,16	365	6.059.423	\$ 824.081.582	0,0002849	1726,3	88,1
AHORROS							818.841	\$ 111.362.376		233,3	11,9

RESOLUCIÓN 180947 DE 2010. Por medio de la cual se adopta el factor de emisión de gases con efecto invernadero para los proyectos de generación de energía eléctrica conectados al Sistema Interconectado Nacional.

3.1.5.2. Beneficios por Disminución de Emisión de CO₂. Utilizando la tabla para el cálculo de equivalencias en toneladas de CO₂, tenemos que 818.841 KWh de electricidad ahorrada, equivalen a:

- ✓ 583 toneladas de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera.
- ✓ Emisión anual de gases de efecto invernadero de 107 automoviles de pasajeros.
- ✓ Emisiones de CO₂ por 250.504 litros de gasolina que se dejarían de consumir.
- ✓ Emisiones de CO₂ por 1.356 Barriles de petróleo que se dejarían de consumir.
- ✓ Se dejarían de utilizar anualmente 14.949 nuevos árboles tardándose los primeros 10 años de su vida en procesar el CO₂.

NOTA: Ver Anexo 3 Calculo de Equivalencias en Toneladas de CO2.

3.2. PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

3.2.1. Sistemas Visuales para mejorar la Efectividad del Sistema de Iluminación. La efectividad del sistema de iluminación puede ser mejorada mediante el uso de algunas técnicas, conocidas como “sistemas visuales” o “señales visuales” que comunican información específica rápidamente y en el punto de uso o cerca del equipo. Para lograr mejorar la efectividad del sistema, se deberá definir lo siguiente:

- ✓ Determinar qué clases de información crítica harán al sistema más fácil de mantener e inspeccionar.
- ✓ Determinar la información correcta y un método confiable de aplicación .
- ✓ Aplicando la información crítica.

A continuación se describe la aplicación de sistemas visuales al sistema de iluminación para mejorar su efectividad:

- En el equipo
- En el área cercana al equipo

❖ En el Equipo

- Rotular los componentes del sistema de iluminación a fin de mantener un historial exacto de reparaciones (TAG´S LP).
- Rotular las luminarias según el circuito al cual pertenecen para agilizar la localización de fallas. (Ubicación LP # CTO).
- Rotular los cables en tableros y dispositivos para agilizar la localización de fallas.
- Rotular con calcomanía de tinta indeleble de color fuerte donde se pueda marcar con tinta indeleble la fecha de mantenimiento, lectura del horómetro, número de OT, nombre de mantenedor.

❖ **En el Área cercana al Equipo**

- Elaborar calendarios visibles de Mantenimiento Preventivo (PM) mostrando cuando las órdenes del Plan de Mantenimiento están a tiempo o vencidas, así como las cumplidas (a las cuantas HORAS es el próximo mantenimiento).

3.2.2. Proceso de mantenimiento al Sistema de Iluminación GRB. A continuación se describe el proceso de mantenimiento al sistema de iluminación de la GRB propuesto:

- 1. Identificar necesidad de mantenimiento:** esta identificación se realizará a través de la ronda de operaciones y del personal de vigilancia, quienes reportaran la falla del sistema de iluminación. También se surgen necesidades de acuerdo a la ruta del mantenimiento preventivo.
- 2. Reporte y análisis de la necesidad de mantenimiento:** El ingeniero de confiabilidad o el PS&O del área son los encargados de crear OT y documentarla. El ingeniero de confiabilidad es el responsable de cambiar el estado del sistema (si estaba operando, colocarlo en falla), revisar el historial de mantenimiento, en caso en que supere el MTTF (Tiempo medio para fallar) realizar un RCA, verificar si se requiere control de cambios y gestionarlo.
- 3. Alcance de mantenimiento:** En el Departamento de Planeación el planeador es el encargado de emitir el respectivo alcance del mantenimiento, definir y comprar repuestos, definir y asegurar los equipos requeridos.
- 4. Priorización:** En reunión de priorización del equipo núcleo, Operaciones, confiabilidad y planeación, son los encargados de priorizar la orden de trabajo.
- 5. Programación:** En el Departamento de Planeación el Programador, es el encargado de programar la orden de trabajo, verificando cumplimiento de requisitos de la OT.
- 6. Planeación HSE:** confirmar condiciones con operaciones para la ejecución segura del trabajo, alistar permisos.

7. **Ejecución:** solicitar permiso de trabajo, aplicar SAES, ejecutar mantenimiento, verificar si se requiere cambio de alcance, emitir protocolo de entrega.
8. **Protocolo:** PS&O e ingeniero de confiabilidad de CEE revisan y firman el protocolo de mantenimiento.
9. **Entrega equipo:** El mantenedor entrega el equipo a operaciones, quien firma el recibido en el protocolo y realizan el cierre de permisos.
10. **Cierre OT:** En el Departamento de mantenimiento, el mantenedor es el encargado de documentar y cerrar la orden de trabajo.
11. **Estado activo:** El ingeniero de confiabilidad es el encargado de cambiar el estado del activo y documentar el modo de falla.

3.2.3. Mantenimiento Preventivo de la tecnología seleccionada MH-SPL. Para la implementación del mantenimiento preventivo para la tecnología seleccionada, se deben considerar los siguientes pasos:

- ✓ Crear en ellipse TAG de los paneles de alumbrado por planta.
- ✓ Instalar a cada LP un horometro, para la gestión de mantenimiento por horas de funcionamiento.
- ✓ Realizar reposición total de lámparas por panel de alumbrado.
- ✓ Realizar mantenimiento preventivo cada 2 años (8760 Hrs) a las lámparas, este mantenimiento incluye limpieza externa de la lámpara, verificación visual de la luminaria y estado de las acometidas.
- ✓ Realizar reposición total de lámparas cada 6 años (26280 Hrs).

3.2.4. Especificaciones de Mantenimiento para la tecnología seleccionada MH-SPL en la GRB.

3.2.4.1. Alcance general. Hace parte del alcance las actividades de mantenimiento mejorativo, preventivo y correctivo, que incluyen el ensamble de

luminarias, montaje, cableado, pruebas y puesta en servicio de los sistemas de iluminación de las plantas de proceso de la GRB.

3.2.4.2. Mantenimiento mejorativo. El mantenimiento mejorativo consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o la instalación. En caso de las luminarias consiste en el cambio del kit interno y bombillo, desensamblando la tecnología existente y ensamblando la nueva de acuerdo a los procedimientos indicados por ECOPETROL S.A., y por los fabricantes de los componentes y de las luminarias.

En el caso de los Tableros de iluminación (LP's) consiste en instalar un horómetro que mida las horas de funcionamiento de las luminarias del tablero, realizando la adecuación de la tubería, cableado, etc., necesarios según las recomendaciones técnicas dadas por la Coordinación de Confiabilidad de Equipo Eléctrico (CEE) de la GRB.

3.2.4.3. Mantenimiento preventivo. La esencia del Mantenimiento Preventivo son las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva, de limpieza o de cambio y el Mantenimiento Basado en Tiempo en el que se realizará la sustitución por lotes (por LP) a intervalos regulares el equipo o sus componentes, independientemente de su estado en ese momento. Este tipo de mantenimiento es planeado y se llevará a cabo a intervalos predeterminados o que corresponden a unos criterios prescritos (condiciones de vida útil) según la tecnología de las luminarias instaladas definidos por ECOPETROL S.A., con el propósito de reducir las intervenciones de origen correctivo e incrementar el nivel de confiabilidad de los sistemas. Para la tecnología seleccionada MH SPL los periodos de mantenimiento serán los siguientes:

TABLA 10. Periodos de Mantenimiento.

VIDA ÚTIL NOMINAL (Hr)	VIDA UTIL CALC. (Hr)	TAREAS PREVENTIVAS (meses)	SUSTITUCIÓN POR LOTES (Hr)
40000	26000	24	26000

❖ **Tareas de mantenimiento preventivo eléctrico y mecánico del sistema de iluminación.**

Las actividades de mantenimiento preventivo incluyen la toma del nivel de iluminación en luxes y compararlo con el nivel inicial por panel de alumbrado (LP). En caso de encontrarse por debajo del 80% del valor inicial, realizar mantenimiento preventivo por condición, que incluye limpieza externa de las lámparas, mantenimiento al LP, verificación visual de la luminaria y estado de las acometidas (cables, tubería, letras, transformador, etc.) según la siguiente rutina:

- ✓ Toma de datos del horómetro y de carga de los circuitos de iluminación que corresponda al totalizador y la alimentación a los paneles de alumbrado (LP) y transformadores.
- ✓ Revisión externa del estado de los tableros de iluminación (verificar condiciones físicas, mecánicas y eléctricas).
- ✓ Revisión visual y prueba de funcionamiento del estado del control del sistema de iluminación.
- ✓ Revisión visual del estado de tuberías, letras, luminarias, bombillas y cables del sistema de alumbrado en planta, incluye área perimetral.
- ✓ Realizar limpieza externa de cada una de las luminarias del tablero de iluminación en caso de ser necesario (por condición).
- ✓ Realizar puesta a punto de tapas de conduletas y/o tableros (reponer tapas, tornillos y empaques) en caso de ser necesario.
- ✓ Tomar medida de aislamiento al transformador dedicado al alumbrado para determinar su estado actual y realizar observaciones y recomendaciones respectivas.

✓ Revisión visual de la identificación clara tanto del alimentador como de los tableros de alumbrado. Realizar pintura de elementos y marcar circuitos.

❖ **Tareas mantenimiento preventivo basado en tiempo del sistema de iluminación.**

Las actividades de mantenimiento preventivo basado en tiempo incluyen las siguientes actividades:

✓ Revisión externa del estado de los tableros de iluminación (verificar condiciones físicas, mecánicas y eléctricas).

✓ Revisión visual y prueba de funcionamiento del estado del control del sistema de iluminación.

✓ Revisión visual del estado de tuberías, letras, luminarias, bombillas y cables del sistema de alumbrado en planta, incluye área perimetral.

✓ Tomar medida de aislamiento al transformador dedicado al alumbrado para determinar su estado actual y realizar observaciones y recomendaciones respectivas.

✓ Desmontaje de las luminarias del panel de alumbrado (LP) en caso de requerir cambio de KIT (por cambio de tecnología) y realizar el ensamble del nuevo KIT y montaje de la luminaria nuevamente. Asegurar la marcación de cada luminaria de acuerdo al código correspondiente (ver numeral 3.2.1.). En caso de que falte la luminaria o no aplique a la nueva tecnología, realizar el cambio por nueva luminaria.

✓ Cambio del bombillo y limpieza externa de cada una de las luminarias del tablero de iluminación.

✓ Tomar datos de carga de cada uno de los circuitos de iluminación y ajustar la protección del circuito existente y/o cambio del breaker por el adecuado. Distribuir y equilibrar circuitos, dejándolos en el 80% de la capacidad del Interruptor.

✓ Actualizar el diagrama unifilar del panel de alumbrado.

- ✓ Toma de datos del horómetro y de carga de los circuitos de iluminación que corresponda al totalizador y la alimentación a los paneles de alumbrado (LP) y transformadores.
- ✓ Realizar puesta a punto de tapas de conduletas y/o tableros (reponer tapas, tornillos y empaques) en caso de ser necesario.
- ✓ Revisión visual de la identificación clara tanto del alimentador como de los tableros de alumbrado. Realizar pintura de elementos y marcar circuitos.

3.2.4.4. Mantenimiento correctivo. Consiste en el mantenimiento que se lleva a cabo después que una falla ha ocurrido, o como resultante de un diagnóstico preventivo con la intención de restaurar el componente a un estado en el cual se pueda realizar la función para la cual está diseñado.

El listado de actividades del mantenimiento correctivo a ser ejecutadas serán definidas previamente a través de la información recolectada durante los mantenimientos preventivos.

Las actividades de mantenimiento correctivo deberán ser planeadas y programadas con anterioridad y previa definición de las tareas específicas que se realizarán, listado de materiales requeridos, de tal forma que se puedan ejecutar en un periodo definido de tiempo y no estarán circunscritas en el marco de emergencia. Al ejecutar la labor se deberá entregar un reporte técnico incluyendo las labores ejecutadas y un Análisis de Causa Raíz de la falla con las recomendaciones para evitar la repetición de la misma.

❖ **Tareas mantenimiento correctivo eléctrico y mecánico del sistema de iluminación**

Las actividades de mantenimiento correctivo en la luminaria incluye:

- ✓ Desenergizar
- ✓ Desconectar y bajar lámpara

- ✓ Realizar limpieza al refractor, globo y bombillo con una lanilla húmeda. Si no es suficiente use jabonadura ligera o limpiador líquido. No use abrasivos, alcalinos fuertes o ácidos limpiadores, pueden dañar los componentes.
- ✓ Revisar visualmente cualquier calentamiento evidenciado por descoloración de los cables u otros componentes, partes dañadas o derrames por evidencias de agua o corrosión en el interior de la envolvente. Corregir toda condición anómala identificada.
- ✓ Verificar que todas las conexiones eléctricas estén limpias, así como la firmeza y el apriete (torque) de las mismas.
- ✓ Medir aislamiento al circuito
- ✓ Hacer limpieza general.
- ✓ Cambiar elementos malos (Balasto, condensador, arrancador, bombilla, refractor y demás requeridos según estado), A los balastos cambiados se les debe marcar en relieve la fecha de instalación. Cuando se requiera cambiar bombillas, utilizar ÚNICAMENTE bombillas del mismo tipo y potencia especificada en la placa de identificación de la luminaria. No instalar lámparas con temperaturas de operación que excedan las temperaturas de ignición de las atmosferas peligrosas circundantes.
- ✓ Ajustar conexiones. Verificar que las puntas no usadas del balasto estén cubiertas con capuchones aislantes (si aplica). Verificar que la tensión de alimentación sea igual a la tensión de la luminaria, si esta excede $\pm 5\%$ avisar al ingeniero electricista del área.
- ✓ Asegurar que todas las partes queden adecuadamente ensambladas
- ✓ Hacer pruebas
- ✓ Pintar e identificar luminaria
- ✓ Montar y asegurar luminaria, revisar e instalar soporteria para tubería que cuente con abrazadera ajustable, canales estructurados y todos los soportes de tubería deben estar debidamente soldados.
- ✓ Conectar
- ✓ Sellar entradas de agua.

Actividades complementarias al mantenimiento correctivo:

- ✓ Tomar datos de carga antes y después de los circuitos de iluminación y ajustarlo la protección del circuito existente y/o cambio del breaker por el adecuado.
- ✓ Tomar la medida de aislamiento antes y después de cada circuito desde el tablero.
- ✓ En plantas en donde la carga del transformador supere su capacidad, realizar cambio del transformador para garantizar el buen funcionamiento y futuros daños.
- ✓ Tapar tableros anexos y letras de tuberías, y sellar con chico en los lugares necesarios.
- ✓ Cambiar tuberías partidas y cambiar cables en donde se identifiquen deteriorados.
- ✓ Probar y energizar.
- ✓ Realizar maquillado y pintura de circuitos y componentes. Solamente se permitirán marquillas del tipo “termoencogible”, tanto para potencia como para control en ambos extremos del conductor debidamente marcadas con tinta indeleble.

En caso de requerirse acciones correctivas, el mantenimiento de un panel de alumbrado (LP), se realizarán las siguientes actividades:

El mantenimiento correctivo puede incluir las siguientes actividades u otras adicionales según las características del tablero. Las tareas sin limitarse a ellas se listan a continuación:

- ✓ Verificar que se encuentra desenergizado el Tablero de alumbrado y puesto el Sistema de Aislamiento Eléctrico (SAES).
- ✓ Destapar

- ✓ Inspeccionar las condiciones físicas, mecánicas y eléctricas del tablero, en caso de algún daño, reemplazar o reparar el elemento en falla (de acuerdo al preventivo).
- ✓ Revisar cualquier calentamiento evidenciado por decoloración de los cables u otros componentes, partes dañadas o desgastadas, o derrames evidenciados por agua o corrosión en el interior. Corregir toda condición anómala identificada.
- ✓ Hacer limpieza general con los productos adecuados.
- ✓ Revisar la firmeza de las conexiones y el apriete (torque) de las mismas.
- ✓ Revisar la correcta operación de todos los bloqueos eléctricos y mecánicos (por ejemplo: intentar cerrar breaker's bloqueados en posición abierto).
- ✓ Verificar que todas las partes estén adecuadamente ensambladas y que los mecanismos de funcionamiento se muevan libremente (por ejemplo: perillas). Corregir toda condición anómala identificada.
- ✓ Reorganizar cableado, maquillado, identificar cableado y circuitos.
- ✓ Inspeccionar aisladores, cables, tuberías, letras y soportes en busca de daño físico o presencia de contaminantes, en caso de algún daño, reemplazar o reparar el elemento en falla, de acuerdo con el mantenimiento preventivo.
- ✓ Verificar el funcionamiento del sistema de control automático existente (reloj o foto celda), y en caso de requerir cambio, analizar con el ingeniero electricistas del área, de cual tipo colocar (reloj o foto celda).
- ✓ Verificar la correcta operación de todos los componentes activos y componentes mecánicos de indicación si aplica.
- ✓ Verificar la correcta operación de todos los breaker's alimentadores de cada uno de los circuitos.
- ✓ Revisar y verificar el estado de los cables, barras de neutro y puesta a tierra.
- ✓ Cambiar los elementos que se encuentren en mal estado, deficientes, además reemplazar los que no soporten la capacidad amperimétrica requerida.
- ✓ Distribuir y equilibrar circuitos y tuberías, dejándolos en el 85% de la capacidad del Interruptor.

- ✓ Identificar claramente cada circuito con pintura, tanto en el alimentador como en el tablero de alumbrado con su respectiva área de cobertura, con un listado por circuito plastificado adherido al interior del tablero, sino lo posee a la fecha del mantenimiento.
- ✓ Lubricar tornillos, roscas de las tapas y bisagras, y reponer tornillos que hagan falta.
- ✓ Pintar externamente e identificar tablero.
- ✓ Tapar tableros y letras (tuberías) sellar con chico en los lugares necesarios y realizar el correcto sellado en la puerta para evitar la entrada de agua.
- ✓ Asegurar que el Sistema de Aislamiento eléctrico (SAES) quede operando.
- ✓ Realizar Pruebas Eléctricas.
- ✓ Energizar

4. CONCLUSIONES

- ❖ La selección de la tecnología Metal Halide Pulse Start Long Life, obedece a una comparación de tecnologías equivalentes en cuanto nivel de iluminación con la fuente actual y al análisis de características técnicas, técnico-económicas y de costos del ciclo de vida, observando que a pesar de no tener la mayor vida útil, si es la de mejor indicador técnico-económico y de menores costos de operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil.

- ❖ Al reemplazar la tecnología actual Probe Start con tecnología Metal Halide Pulse Start Long Life, se estará mejorando y optimizando el sistema de iluminación debido a sus diferentes características (vida útil, rápida respuesta de encendido, bajo consumo energía, etc.); lo cual la posiciona dentro del grupo de productos ambientalmente amigables y ecológicos, ya que esta tecnología usa un 25% menos de mercurio que los halogenuros metálicos tradicionales y los materiales sólidos se vuelven a procesar para su uso como materia prima o su eliminación segura.

- ❖ De acuerdo al indicador técnico-económico estudiado para la comparación de las distintas tecnologías, la Metal Halide SPL con respecto a la fuente de iluminación actual Probe Start, representa un ahorro en pesos del 45,6% por la iluminación entregada durante toda su vida útil, debido a su mayor eficacia y a que su vida útil es 4 veces mayor.

- ❖ La tecnología seleccionada Metal Halide Pulse Start Long Life es compatible con las luminarias actuales Probe Start por lo que la actualización tecnológica no implica cambio de luminarias sino del KIT interno, representando un ahorro económico significativo y ventajas de reposición frente a las otras tecnologías.

❖ En esta propuesta se recomienda la tecnología SPL de potencia 150W por que es la que se encuentra disponible comercialmente y es de características de iluminación similar a la 175W Probe Start existente, pero existe un potencial de ahorros y beneficios mayores, cuando el fabricante de esta tecnología ingrese al mercado la lámpara SPL de 125W, que según las características técnicas informadas por el fabricante podrán sustituir la 175W Probe Start, siendo mayor el aporte al medio ambiente en cuanto a la reducción en la emisión de CO₂ por ahorros de energía y reducción mayor de los costos de energía.

❖ Con la implementación del plan de mantenimiento propuesto para la tecnología seleccionada, se espera reducir significativamente los costos por mantenimiento invertidos cada año por ECP para atender el sistema actual. Antes estaba basado en mantenimientos correctivos, ahora se basarán en mantenimientos preventivos y la reposición será basada en el tiempo de funcionamiento de la fuente de iluminación.

❖ Con esta propuesta se definió como unidad funcional de mantenimiento al tablero de alumbrado (LP) y que se le emita Orden de Trabajo por LP, lo que busca mejorar el gerenciamiento de los activos, ya que de esta forma se podrá asegurar el historial exacto de mantenimientos en cada uno de ellos. Actualmente esto no es posible por que se hace Orden de Trabajo por Sistema de iluminación de cada planta, donde existen en promedio cinco LP lo que no permite el seguimiento del historial de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ASSAF Leonardo; DUTT Gautam y TANIDES Carlos. Manual de Iluminación Eficiente, Buenos Aires. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional U.T.N. 2006.

Caracterización de las Bombillas para uso interior comercializadas en Colombia. UPME- Universidad Nacional. Contrato 1517-23-2007.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Resolución 181331 de Agosto 6 de 2009.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180947 de 2010.

ICONTEC. Presentación de Tesis, Trabajos de Grado y Otros Trabajos de Investigación. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1486. 2008. Sexta actualización.

MANUAL DE CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN LA GRB. VRP-DPY-M-301. 2008.

QUIROGA RIAÑO, Mario Erwin. Tesis. Análisis de Nuevas fuentes de Iluminación. Bogotá. 2010.

[http://www.jornadaledsbcn.com/fileadmin/user_upload/pdf_ponencias/Osram Canorea Estado del arte tecnologia LED.pdf](http://www.jornadaledsbcn.com/fileadmin/user_upload/pdf_ponencias/Osram_Canorea_estado_del_arte_tecnologia_LED.pdf)

<http://www.wwestmexico.com/beneficioambiental.html>

ANEXO A. Evaluaciones Financieras.

ECOPEPETROL S.A. DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS		Versión: 01	ECP-DPY-F-010																									
FORMATO EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS REQUERIDOS PARA OPERAR		Fecha divulgación: 28 de Abril de 2008	Pág 1 de 1																									
TMR (Ecopetrol) FASE DEL PROYECTO RIESGO BASE		11%																										
		3																										
Pérdidas y Costos sin Proyecto		Beneficios Económicos en KUSD																										
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad																												
Perdidas por infraestructura																												
Perdidas por energía																												
Otras pérdidas																												
Perdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Maxima probabilidad de ocurrencia																												
Perdidas brutas *probabilidad de ocurrencia		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501
Costos de ENERGÍA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 432	-\$ 432	-\$ 401	-\$ 391	-\$ 382	-\$ 372	-\$ 363	-\$ 354	-\$ 345	-\$ 337	-\$ 328	-\$ 320	-\$ 312	-\$ 304	-\$ 297	-\$ 289	-\$ 282	-\$ 275	-\$ 268	-\$ 262	-\$ 255	-\$ 249	-\$ 243	-\$ 236	
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58	-\$ 61	-\$ 64	-\$ 67	-\$ 70	-\$ 74	-\$ 77	-\$ 81	-\$ 85	-\$ 89	-\$ 94	-\$ 99	-\$ 104	-\$ 109	-\$ 114	-\$ 120	-\$ 126	-\$ 132	-\$ 139	-\$ 146	-\$ 153	-\$ 161	-\$ 169	-\$ 177	-\$ 186	
Otros Costos																												
Flujo de caja		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 997	-\$ 969	-\$ 963	-\$ 957	-\$ 951	-\$ 946	-\$ 941	-\$ 936	-\$ 932	-\$ 928	-\$ 925	-\$ 922	-\$ 920	-\$ 918	-\$ 917	-\$ 916	-\$ 915	-\$ 915	-\$ 916	-\$ 917	-\$ 919	-\$ 921	-\$ 924	
Flujo de caja con declinación		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 997	-\$ 969	-\$ 963	-\$ 957	-\$ 951	-\$ 946	-\$ 941	-\$ 936	-\$ 932	-\$ 928	-\$ 925	-\$ 922	-\$ 920	-\$ 918	-\$ 917	-\$ 916	-\$ 915	-\$ 915	-\$ 916	-\$ 917	-\$ 919	-\$ 921	-\$ 924	
Declinación Anual de producción (porcentaje)		0%																										
VPN Total Riesgo base sin Declinación		-\$ 8.801.84																										
VPN Total riesgo base con Declinación		-\$ 8.801.84																										
VPN Riesgo base		-\$ 8.802																										
RIESGO CON PROYECTO		Inversiones en KUSD																										
Inversión, Pérdidas y Costos con Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Diseño (Consultoría)																												
Contrato para cambio de tecnología MH-SPL				-\$ 240	-\$ 132																							
Interventoría y Consultoría																												
AIU																												
Bruto (Global para la actividad)		\$ 0	\$ 0	-\$ 240	-\$ 132	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costo inicial de compra (Inversión inicial)				-\$ 400	-\$ 348																							
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478			-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96
Costos de ENERGÍA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 370	-\$ 370	-\$ 344	-\$ 335	-\$ 327	-\$ 319	-\$ 311	-\$ 304	-\$ 296	-\$ 289	-\$ 281	-\$ 274	-\$ 268	-\$ 261	-\$ 254	-\$ 248	-\$ 242	-\$ 236	-\$ 230	-\$ 224	-\$ 219	-\$ 213	-\$ 208	-\$ 203	
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58			-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12	-\$ 12
Costos de parada																												
Costos ambientales																												
Otros Costos																												
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad																												
Perdidas por infraestructura																												
Perdidas por energía																												
Otras pérdidas																												
Pérdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
FLUJO DE CAJA		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 1.250	-\$ 982	-\$ 359	-\$ 350	-\$ 342	-\$ 334	-\$ 326	-\$ 319	-\$ 311	-\$ 304	-\$ 296	-\$ 289	-\$ 283	-\$ 276	-\$ 269	-\$ 263	-\$ 257	-\$ 251	-\$ 245	-\$ 239	-\$ 234	-\$ 229	-\$ 224	-\$ 218	
VPN del Riesgo con proyecto		-\$ 5.950,12																										
Riesgo Base		-8.802																										
Riesgo Alternativa (KUSD)		-5.950																										
VPN Inversión Alternativa (KUSD)		-748																										
VPN Costos de O&M (KUSD)		-4.165																										
Relación Beneficio/Costo		3,81																										
Análisis de Sensibilidad +		3,31																										
Análisis de Sensibilidad -		4,24																										
Análisis de Sensibilidad Crítico		281%																										
		TECNOLOGÍA METAL HALIDE SUPER PULSE START LONG LIFE																										

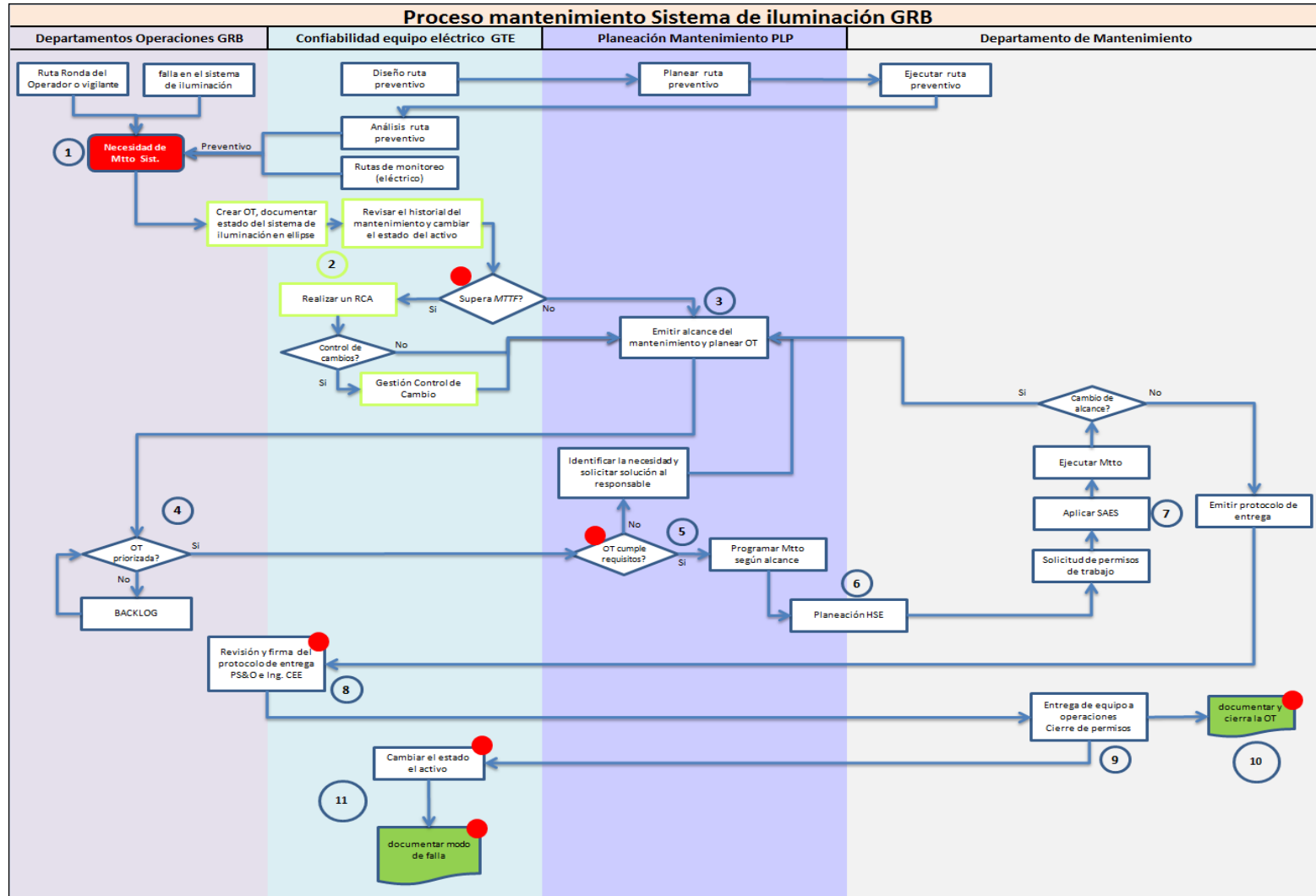
	ECOPETROL S.A DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS										Versión: 01		ECP-DPY-F-010														
	FORMATO EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS REQUERIDOS PARA OPERAR										Fecha divulgación: 28 de Abril de 2008		Pág 1 de 1														
TMR (Ecopetrol)		11%																									
FASE DEL PROYECTO		3																									
RIESGO BASE		Beneficios Económicos en KUSD																									
Pérdidas y Costos sin Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad																											
Perdidas por infraestructura																											
Perdidas por energía																											
Otras pérdidas																											
Perdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Maxima probabilidad de ocurrencia																											
Perdidas brutas *probabilidad de ocurrencia		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501	-\$ 501
Costos de ENERGIA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 432	-\$ 432	-\$ 401	-\$ 391	-\$ 382	-\$ 372	-\$ 363	-\$ 354	-\$ 345	-\$ 337	-\$ 328	-\$ 320	-\$ 312	-\$ 304	-\$ 297	-\$ 289	-\$ 282	-\$ 275	-\$ 268	-\$ 262	-\$ 255	-\$ 249	-\$ 243	-\$ 236
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58	-\$ 61	-\$ 64	-\$ 67	-\$ 70	-\$ 74	-\$ 77	-\$ 81	-\$ 85	-\$ 89	-\$ 94	-\$ 99	-\$ 104	-\$ 109	-\$ 114	-\$ 120	-\$ 126	-\$ 132	-\$ 139	-\$ 146	-\$ 153	-\$ 161	-\$ 169	-\$ 177	-\$ 186
Otros Costos																											
Flujo de caja		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 997	-\$ 969	-\$ 963	-\$ 957	-\$ 951	-\$ 946	-\$ 941	-\$ 936	-\$ 932	-\$ 928	-\$ 925	-\$ 922	-\$ 920	-\$ 918	-\$ 917	-\$ 916	-\$ 915	-\$ 915	-\$ 916	-\$ 917	-\$ 919	-\$ 921	-\$ 924
Flujo de caja con declinación		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 997	-\$ 969	-\$ 963	-\$ 957	-\$ 951	-\$ 946	-\$ 941	-\$ 936	-\$ 932	-\$ 928	-\$ 925	-\$ 922	-\$ 920	-\$ 918	-\$ 917	-\$ 916	-\$ 915	-\$ 915	-\$ 916	-\$ 917	-\$ 919	-\$ 921	-\$ 924
Declinación Anual de producción (porcenta		0%																									
VPN Total Riesgo base sin Declinación		-\$ 8.801,84																									
VPN Total riesgo base con Declinación		-\$ 8.801,84																									
VPN Riesgo base		-\$ 8.802																									
		-7.981																									
RIESGO CON PROYECTO		Inversiones en KUSD																									
Inversion, Pérdidas y Costos con Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Diseño (Consultoría)				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Contrato para cambio de tecnología				-\$ 240	-\$ 132																						
Interventoría y Consultoría																											
AIU																											
Bruto (Global para la actividad)		\$ 0	\$ 0	-\$ 240	-\$ 132	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costo inicial de compra (Inversión inicial)				-\$ 325	-\$ 282																						
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478			-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 132	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96
Costos de ENERGIA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 370	-\$ 370	-\$ 344	-\$ 335	-\$ 327	-\$ 319	-\$ 311	-\$ 304	-\$ 296	-\$ 289	-\$ 281	-\$ 274	-\$ 268	-\$ 261	-\$ 254	-\$ 248	-\$ 242	-\$ 236	-\$ 230	-\$ 224	-\$ 219	-\$ 213	-\$ 208	-\$ 203
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58			-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4	-\$ 8,4
Costos de parada																											
Costos ambientales																											
Otros Costos																											
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad																											
Perdidas por infraestructura																											
Perdidas por energía																											
Otras pérdidas																											
Pérdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
FLUJO DE CAJA		-\$ 806	-\$ 993	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
VPN del Riesgo con proyecto		-\$ 6.907,32																									
Riesgo Base		-8.802																									
Riesgo Alternativa (KUSD)		-6.907																									
VPN Inversión Alternativa (KUSD)		-607																									
VPN Costos de O&M (KUSD)		-4.722																									
Relación Beneficio/Costo		3,12																									
Análisis de Sensibilidad +		2,71																									
Análisis de Sensibilidad -		3,47																									
Análisis de Sensibilidad Crítico		212%																									
		15%																									
		-10%																									
		TECNOLOGÍA METAL HALIDE PULSE START STANDARD																									

	ECOPETROL S.A DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS										Versión: 01		ECP-DPY-F-010																		
	FORMATO EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS REQUERIDOS PARA OPERAR										Fecha divulgación: 28 de Abril de 2008		Pág 1 de 1																		
TMR (Ecopetrol)		11%																													
FASE DEL PROYECTO		3																													
RIESGO BASE		Beneficios Económicos en KUSD																													
Pérdidas y Costos sin Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035				
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad																															
Perdidas por infraestructura																															
Perdidas por energía																															
Otras pérdidas																															
Perdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0				
Maxima probabilidad de ocurrencia																															
Perdidas brutas *probabilidad de ocurrencia		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0				
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478	-\$ 501	-\$ 526	-\$ 553	-\$ 580	-\$ 609	-\$ 640	-\$ 672	-\$ 706	-\$ 741	-\$ 778	-\$ 817	-\$ 858	-\$ 900	-\$ 946	-\$ 993	-\$ 1.042	-\$ 1.095	-\$ 1.149	-\$ 1.207	-\$ 1.267	-\$ 1.330	-\$ 1.397	-\$ 1.467	-\$ 1.540				
Costos de ENERGIA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 432	-\$ 432	-\$ 401	-\$ 391	-\$ 382	-\$ 372	-\$ 363	-\$ 354	-\$ 345	-\$ 337	-\$ 328	-\$ 320	-\$ 312	-\$ 304	-\$ 297	-\$ 289	-\$ 282	-\$ 275	-\$ 268	-\$ 262	-\$ 255	-\$ 249	-\$ 243	-\$ 236				
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58	-\$ 61	-\$ 64	-\$ 67	-\$ 70	-\$ 74	-\$ 77	-\$ 81	-\$ 85	-\$ 89	-\$ 94	-\$ 99	-\$ 104	-\$ 109	-\$ 114	-\$ 120	-\$ 126	-\$ 132	-\$ 139	-\$ 146	-\$ 153	-\$ 161	-\$ 169	-\$ 177	-\$ 186				
Otros Costos																															
Flujo de caja		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 1.022	-\$ 1.021	-\$ 1.042	-\$ 1.065	-\$ 1.090	-\$ 1.116	-\$ 1.145	-\$ 1.176	-\$ 1.209	-\$ 1.244	-\$ 1.281	-\$ 1.321	-\$ 1.364	-\$ 1.409	-\$ 1.458	-\$ 1.509	-\$ 1.563	-\$ 1.621	-\$ 1.682	-\$ 1.746	-\$ 1.814	-\$ 1.887	-\$ 1.963				
Flujo de caja con declinación		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 1.022	-\$ 1.021	-\$ 1.042	-\$ 1.065	-\$ 1.090	-\$ 1.116	-\$ 1.145	-\$ 1.176	-\$ 1.209	-\$ 1.244	-\$ 1.281	-\$ 1.321	-\$ 1.364	-\$ 1.409	-\$ 1.458	-\$ 1.509	-\$ 1.563	-\$ 1.621	-\$ 1.682	-\$ 1.746	-\$ 1.814	-\$ 1.887	-\$ 1.963				
Declinación Anual de producción (porcentaje)		0%																													
VPN Total Riesgo base sin Declinación		-\$ 10.551,81																													
VPN Total riesgo base con Declinación		-\$ 10.551,81																													
VPN Riesgo base		-\$ 10.552																													
RIESGO CON PROYECTO		Inversiones en KUSD																													
Inversión, Pérdidas y Costos con Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035				
Diseño (Consultoría)																															
Contrato para cambio de tecnología				-\$ 605	-\$ 437																										
Interventoría y Consultoría																															
AIU																															
Bruto (Global para la actividad)		\$ 0	\$ 0	-\$ 605	-\$ 437	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0				
Costo inicial de compra (Inversión inicial)				-\$ 4.353	-\$ 3.785																										
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478			-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96	-\$ 2.96				
Costos de ENERGIA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 407	-\$ 407	-\$ 378,1	-\$ 369	-\$ 360	-\$ 351	-\$ 342	-\$ 334	-\$ 326	-\$ 317	-\$ 310	-\$ 302	-\$ 294	-\$ 287	-\$ 280	-\$ 273	-\$ 266	-\$ 259	-\$ 253	-\$ 247	-\$ 241	-\$ 235	-\$ 229	-\$ 223				
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58			-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0	-\$ 12,0				
Costos de parada																															
Costos ambientales																															
Otros Costos																															
Perdidas por disponibilidad y confiabilidad																															
Perdidas por infraestructura																															
Perdidas por energía																															
Otras pérdidas																															
Pérdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0				
FLUJO DE CAJA		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 5.970	-\$ 5.066	-\$ 393	-\$ 384	-\$ 375	-\$ 366	-\$ 357	-\$ 349	-\$ 341	-\$ 332	-\$ 324	-\$ 317	-\$ 309	-\$ 302	-\$ 294	-\$ 287	-\$ 281	-\$ 274	-\$ 268	-\$ 262	-\$ 255	-\$ 249	-\$ 244	-\$ 238				
VPN del Riesgo con proyecto		-\$ 12.614,04																													
Riesgo Base		-10.552																													
Riesgo Alternativa (KUSD)		-12.614																													
VPN Inversión Alternativa (KUSD)		-8.139																													
VPN Costos de O&M (KUSD)		-4.360																													
Relación Beneficio/Costo		-0,25																													
Análisis de Sensibilidad +		-0,22																													
Análisis de Sensibilidad -		-0,28																													
Análisis de Sensibilidad Crítico		-125%																													
		TECNOLOGÍA INDUCCIÓN																													
		15%																													
		-10%																													

	ECOPETROL S.A DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE PROYECTOS										Versión: 01		ECP-DPY-F-010														
	FORMATO EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS REQUERIDOS PARA OPERAR										Fecha divulgación: 28 de Abril de 2008		Pág 1 de 1														
TMR (Ecopetrol)		11%																									
FASE DEL PROYECTO		3																									
RIESGO BASE		Beneficios Económicos en KUSD																									
Pérdidas y Costos sin Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Pérdidas por disponibilidad y confiabilidad																											
Pérdidas por infraestructura																											
Pérdidas por energía																											
Otras pérdidas																											
Pérdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
Maxima probabilidad de ocurrencia																											
Pérdidas brutas *probabilidad de ocurrencia		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478	-\$ 601	-\$ 626	-\$ 553	-\$ 580	-\$ 609	-\$ 640	-\$ 672	-\$ 706	-\$ 741	-\$ 778	-\$ 817	-\$ 858	-\$ 900	-\$ 946	-\$ 993	-\$ 1,042	-\$ 1,095	-\$ 1,149	-\$ 1,207	-\$ 1,267	-\$ 1,330	-\$ 1,397	-\$ 1,467	-\$ 1,540
Costos de ENERGÍA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 432	-\$ 432	-\$ 401	-\$ 391	-\$ 382	-\$ 372	-\$ 363	-\$ 354	-\$ 345	-\$ 337	-\$ 328	-\$ 320	-\$ 312	-\$ 304	-\$ 297	-\$ 289	-\$ 282	-\$ 275	-\$ 268	-\$ 262	-\$ 255	-\$ 249	-\$ 243	-\$ 236
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58	-\$ 61	-\$ 64	-\$ 67	-\$ 70	-\$ 74	-\$ 77	-\$ 81	-\$ 85	-\$ 89	-\$ 94	-\$ 99	-\$ 104	-\$ 109	-\$ 114	-\$ 120	-\$ 126	-\$ 132	-\$ 139	-\$ 146	-\$ 153	-\$ 161	-\$ 169	-\$ 177	-\$ 186
Otros Costos																											
Flujo de caja		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 1,022	-\$ 1,021	-\$ 1,042	-\$ 1,065	-\$ 1,090	-\$ 1,116	-\$ 1,145	-\$ 1,176	-\$ 1,209	-\$ 1,244	-\$ 1,281	-\$ 1,321	-\$ 1,364	-\$ 1,408	-\$ 1,458	-\$ 1,509	-\$ 1,563	-\$ 1,621	-\$ 1,682	-\$ 1,746	-\$ 1,814	-\$ 1,887	-\$ 1,963
Flujo de caja con declinación		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 994	-\$ 1,022	-\$ 1,021	-\$ 1,042	-\$ 1,065	-\$ 1,090	-\$ 1,116	-\$ 1,145	-\$ 1,176	-\$ 1,209	-\$ 1,244	-\$ 1,281	-\$ 1,321	-\$ 1,364	-\$ 1,408	-\$ 1,458	-\$ 1,509	-\$ 1,563	-\$ 1,621	-\$ 1,682	-\$ 1,746	-\$ 1,814	-\$ 1,887	-\$ 1,963
Declinación Anual de producción (porcentaje)		0%																									
VPN Total Riesgo base sin Declinación		-\$ 10,551.81																									
VPN Total riesgo base con Declinación		-\$ 10,551.81																									
VPN Riesgo base		-\$ 10,552																									
RIESGO CON PROYECTO		Inversiones en KUSD																									
Inversion, Pérdidas y Costos con Proyecto		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Diseño (Consultoría)																											
Contrato para cambio de tecnología				-\$ 605	-\$ 437																						
Interventoría y Consultoría																											
AIU																											
Bruto (Global para la actividad)		\$ 0	\$ 0	-\$ 605	-\$ 437	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Costo inicial de compra (Inversión inicial)				-\$ 6,016	-\$ 2,311																						
Costos de mantenimiento		-\$ 249	-\$ 478			-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96	-\$ 2,96
Costos de ENERGÍA		-\$ 452	-\$ 458	-\$ 338	-\$ 338	-\$ 314,0	-\$ 306	-\$ 299	-\$ 292	-\$ 284	-\$ 277	-\$ 270	-\$ 264	-\$ 257	-\$ 251	-\$ 244	-\$ 238	-\$ 232	-\$ 227	-\$ 221	-\$ 215	-\$ 210	-\$ 205	-\$ 200	-\$ 195	-\$ 190	-\$ 185
Costos de repuestos		-\$ 106	-\$ 58			-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0	-\$ 15,0
Costos de parada																											
Costos ambientales																											
Otros Costos																											
Pérdidas por disponibilidad y confiabilidad																											
Pérdidas por infraestructura																											
Pérdidas por energía																											
Otras pérdidas																											
Pérdidas Brutas (por equipo y falla)		\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
FLUJO DE CAJA		-\$ 806	-\$ 993	-\$ 7,563	-\$ 6,442	-\$ 332	-\$ 324	-\$ 317	-\$ 310	-\$ 302	-\$ 295	-\$ 288	-\$ 282	-\$ 275	-\$ 269	-\$ 262	-\$ 1,683	-\$ 1,399	-\$ 245	-\$ 239	-\$ 233	-\$ 228	-\$ 223	-\$ 218	-\$ 213	-\$ 208	-\$ 203
VPN del Riesgo con proyecto		-\$ 14,730,39																									
Riesgo Base		-10,552																									
Riesgo Alternativa (KUSD)		-14,730																									
VPN Inversión Alternativa (KUSD)		-11,246																									
VPN Costos de O&M (KUSD)		-3,929																									
Relación Beneficio/Costo		-0,37																									
Análisis de Sensibilidad +		-0,32																									
Análisis de Sensibilidad -		-0,41																									
Análisis de Sensibilidad Crítico		-137%																									

TECNOLOGÍA LED

ANEXO B. Proceso de mantenimiento al Sistema de Iluminación de GRB



ANEXO C. Calculo de Equivalencias en Toneladas de CO₂



Por medio de nuestros equipos solares y lámparas de inducción, al momento hemos colaborado con la reducción de **6175.12** toneladas de CO₂



SOBRE WWEST MEXICO
SERVICIOS Y PRODUCTOS
BENEFICIO AMBIENTAL CO₂
NUESTRO EQUIPO SOLAR vs CHATARRITAS
RECONOCIMIENTOS Y PREMIOS
DISTRIBUIDORES
PROYECTOS DE AHORRO Y SUMINISTRO DE ENERGÍA
ARTÍCULOS DE PRENSA
PREGUNTAS FRECUENTES
CONTÁCTENOS

BENEFICIO AMBIENTAL CO₂

Al dejar de consumir electricidad proveniente de energía fósil por consumir electricidad proveniente de energías renovables, como la energía solar, y el estar ahorrando electricidad por medio de Lámparas de Inducción, estamos cooperando con la reducción del calentamiento global, al dejar de emitir CO₂ a la atmósfera de nuestro planeta.

WWEST MÉXICO está orgullosa que sus clientes han confiado en nuestro negocio y que por medio de nuestros Equipos Solares y Lámparas de Inducción se ha logrado, al momento, e incrementándose segundo a segundo, el dejar de emitir 6175.12 toneladas de CO₂ a la atmósfera, aportando así en algo, a la reducción del calentamiento global de nuestro planeta. Lo cuál representa a una de las siguientes afirmaciones:

No	Concepto	Cantidad	Unidad
1	Emisión anual de gases de efecto invernadero de	1131	automóviles de pasajeros dejarían de circular.
2	Emisiones de CO ₂ por	2653269	litros de Gasolina que se dejarían de consumir.
3	Emisiones de CO ₂ por	14361	Barriles de petróleo que se dejarían de consumir.
4	Se dejarían de utilizar anualmente	158336	nuevos árboles tardándose los primeros 10 años de su vida en procesar el CO ₂ .

* Fuente de calculo: U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

CALCULAR EQUIVALENCIA DE TONELADAS EN CO₂

818841 kWh de electricidad ahorrada.

Equivale a:

583 toneladas de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera.

Emisión anual de gases de efecto invernadero de 107 automóviles de pasajeros dejarían de circular.

Emisiones de CO₂ por 250504 litros de Gasolina que se dejarían de consumir.

Emisiones de CO₂ por 1356 Barriles de petróleo que se dejarían de consumir.

Se dejarían de utilizar anualmente 14949 nuevos árboles tardándose los primeros 10 años de su vida en procesar el CO₂.

* Fuente de calculo: U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

KITS SOLARES



WWEST MÉXICO presenta una serie de Kits Solares llave en mano para distintas necesidades. Sin embargo, estos se pueden adaptar según los requerimientos de nuestros clientes.

DISTRIBUIDORES



Con el fin de aportar una pequeña solución al problema de el calentamiento global, estamos buscando distribuidores en todo el mercado nacional para lograrlo de una forma más rápida.

NUESTRO EQUIPO SOLAR vs CHATARRITAS



WWEST MÉXICO ha detectado que existen equipos solares improvisados, muy baratos, que no cumplen con el mínimo requerimiento o regulación de calidad, por eso es muy importante saber que tipo de equipos solares se está adquiriendo.

<http://www.wwestmexico.com/beneficioambiental.html>