

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL
DE LAS AMÉRICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL
GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**“Valoración del sistema actual de Iluminación y propuesta basado en
tecnología LED para la gramilla del Estadio Nacional según las
normativas aprobadas por FIFA”**

AUTOR:

JEREMY ARGUEDAS MONTERO

TUTOR:

ING. BILLY RETANA

SAN JOSÉ, SETIEMBRE, 2023.

Agradecimiento

Quiero agradecerles a aquellas personas que estuvieron apoyándome muy de cerca para incluso volver a retomar la carrera que durante más de un año dejé detenida.

Quiero agradecerles a mis padres que sin ellos no hubiese logrado cursar de la mejor manera los primeros años de estudio, todo el apoyo que me dieron económico y de transporte que aún lo recuerdo.

También agradecer a mi trabajo anterior por el apoyo que me dieron durante el desarrollo de la carrera, en el cuál me apoyaron económicamente y pude avanzar en mis estudios.

Quiero agradecer a la gerencia administrativa y de mantenimiento del Estadio Nacional por abrirme las puertas, brindarme información y dejarme realizar el trabajo.

También quiero agradecerles a los dos profesores, mi tutor Billy Retana por instruirme y guiarme durante el proceso de investigación y a don Álvaro Rojas por darme el espacio y tiempo para las diferentes asesorías.

Gracias a todos y cada uno, por aportar su grano de arena para alcanzar este objetivo tan inmenso.

Dedicatoria

Este proyecto de investigación va dedicado especialmente a mi persona, por luchar y salir adelante contra los pensamientos que me consumieron mientras dejé de lado los estudios, pensaba genuinamente que nunca lograría llegar a estas instancias, por diversas razones, entre ellas personales. Por eso esta primera dedicatoria es hacia mí mismo.

Seguidamente, quiero dedicarlo a mi papá y mamá que siempre han estado allí, atentos de que logre alcanzar un objetivo que ellos no han logrado por dedicarnos su tiempo y dinero en nuestras crianzas.

A mis hermanos que sin duda han sido parte para motivarme y terminar con mis objetivos, soy el mayor y sé que para ellos en este aspecto puedo ser su ejemplo a seguir.

A mi novia, por siempre incentivarme, motivarme, escucharme, apoyarme y darme sus puntos de vista para volver a retomar mis estudios, estuvo conmigo en la última pero más significativa etapa de la carrera, dónde en algún punto quise dejar todo de lado.

Siempre estaré agradecido por el apoyo y confianza que cada uno depositó en mí.

Contenido

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	6
Planteamiento del problema	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos	6
Justificación	7
Antecedentes	8
Antecedentes internacionales.....	8
Antecedentes nacionales.....	13
Resumen.....	18
Limitaciones.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
Naturaleza de la Luz	20
Evolución	22
Conceptos y Magnitudes:.....	23
Métodos de diseño de iluminación	29
Método de lúmenes:	29
Método de las cavidades zonales:	29
Método de punto por punto:	29
Deslumbramiento:.....	30
Tipos de Fuentes de luz:.....	32
Tipos de Balastos y Controladores	37
Luminarias	41
Clasificación de las luminarias según su aplicación.....	45
Iluminación Aplicaciones Deportivas:.....	45
Diseño de Iluminación	50
Eficiencia Energética	71
Consumo eléctrico	72
Facturación Eléctrica.....	73
Conversión de kWh a dinero.....	73
Factibilidad	74
Análisis Financiero	75
Valor Actual Neto (VAN)	75
Tasa Interna de Retorno (TIR)	76

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	78
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
Inventario Actual de Luminarias	82
Especificaciones Técnicas	83
Niveles de Iluminación Requeridos	87
Niveles de Iluminación en planos Asbuilt Estadio Nacional	88
Método de lúmenes para iluminación de exteriores empleando proyectores (Método del Lumen del Haz) Situación Actual	89
Método de lúmenes para iluminación de exteriores empleando proyectores (Método del Lumen del Haz) Propuesta LED.....	93
Comprobación de valores obtenidos a través del software	97
Análisis Financiero	102
Retorno de Inversión	107
Cálculo del VAN y TIR.....	109
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
Conclusiones	111
Recomendaciones.....	113
CAPÍTULO VI: PROPUESTA	114
Bibliografía.....	115
Anexos	118

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

¿Es factible técnica y económicamente realizar una propuesta de iluminación para el cambio de las luminarias con tecnología halogenuro metálico (High Intensity Discharge), instaladas en el Estadio Nacional de San José, Costa Rica, a tecnología diodo emisor de luz (LED), mediante los análisis de estudios luminotécnicos, mediciones en campo con luxómetro (lx) obtenidos y rentabilidad, de manera que el funcionamiento del sistema de iluminación sea más eficiente que el actual, reduzca costos en la factura eléctrica, mantenimiento y de residuos tóxicos al medio ambiente?

Objetivo General

Realizar un estudio de iluminación, de las condiciones actuales de la gramilla del Estadio Nacional y de ser necesario plantear un rediseño del sistema, que involucra el reemplazo de la tecnología en halogenuro metálico a LED de modo tal que sea un sistema más eficiente al actual y genere ahorro en diferentes aristas.

Objetivos Específicos

- Realizar el inventario de las luminarias instaladas que se encuentran actualmente cumpliendo la función de iluminar la gramilla.
- Obtener el consumo actual de las luminarias de halogenuro metálico, conociendo la potencia de estas a través de su hoja de datos.
- Determinar el flujo luminoso que requiere el estadio para establecer los parámetros que se necesitan para la selección de la luminaria adecuada en tecnología LED, a través de métodos principales de cálculo como método de lúmenes o punto por punto.
- Elaborar un estudio de iluminación a través del software DI Alux Evo 8.1, para determinar la situación actual versus la propuesta en LED, de manera que podamos

obtener la cantidad, potencia y dirección adecuada de las luminarias para la nueva propuesta.

- Valorar la propuesta económica de los costos del proyecto con el alcance únicamente de las luminarias mediante cotizaciones y revisión del retorno de inversión para determinar la viabilidad del cambio de tecnología.

Justificación

En los últimos años hemos notado el potencial crecimiento que los dispositivos electrónicos han tenido y con ello el impacto que ha generado en la sociedad. Uno de ellos es la implementación de la tecnología LED en nuestra cotidianidad. Actualmente tenemos diferentes aplicaciones dónde los encontramos, por ejemplo, hogares, comercios, dispositivos electrónicos, vehículos y con ello el auge ha sido de carácter exponencial.

Esta tecnología ha logrado impactar en industrias de todo tipo, desde el hogar hasta la implementación en cuartos limpios y salas quirúrgicas, estos últimos los utilizan para poder seguir la norma internacional ISO 50001 y poder involucrarse al Sistema de Gestión de la Energía, mediante el ahorro de consumo energético, reducción de la contaminación y un coste reducido en mantenimiento. Según Serrano (2015) “el mercado mundial está demandando con mayor intensidad la transformación de las fuentes de iluminación convencional a soluciones más eficientes y duraderas basadas en sistemas de iluminación LED” (párr. 3). Sin embargo, para aplicaciones de uso más específico, existe una brecha amplia de desconocimiento con dudas sobre si esta tecnología reemplazará las existentes.

En esta investigación mediante el estudio de factibilidad técnica y económica, se buscará el cambio de la tecnología actual llamada Halogenuro Metálico a la tecnología LED con el modelo de luminaria apta y adecuada para generar una propuesta de reconversión mediante la simulación luminotécnica en el Estadio Nacional de San José, Costa Rica, con la implementación de luminarias de uso deportivo, con el fin de obtener una mejora en el consumo energético y con esto el retorno de inversión sea viable, a su vez incrementando la esperanza de vida útil de las luminarias y experiencia visual para los involucrados. Desde el

punto de vista medioambiental supone también una importante reducción en emisiones de CO₂ y eliminación de residuos tóxicos como el mercurio.

Antecedentes

Antecedentes internacionales

Tesis N°1

Institución: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Colombia.

Tema: Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso

Autor: Ana Serrano-Tierz, Abelardo Martínez-Iturbe b, Oscar Guardón-Muñoz c & José Luis Santaolaya-Sáenz.

Año: 2015

En esta investigación el autor comienza analizando la influencia de la temperatura entre las luminarias. Las lámparas de halogenuros metálicos alcanzan altas temperaturas de más de 250°C. Esto provoca un alto calentamiento del ambiente de trabajo, lo cual puede llegar a ser un problema. Un aumento de la temperatura ambiente aumentará la tensión y la potencia en la lámpara. También aumentará el grado de envejecimiento y corrosión de los componentes y puede llegar a producir un fallo prematuro de la lámpara.

Las lámparas de inducción o fluorescentes T5 utilizan amalgamas y gas con mercurio que son fuertemente dependientes de la temperatura ambiente, ya que alcanzan su máximo flujo luminoso en torno a los 35°C. Temperaturas superiores a 50°C provocan un descenso acusado de la luminosidad por la reabsorción ultravioleta en el mercurio. Con temperaturas bajas, se reduce drásticamente la luz emitida, siendo la mínima temperatura de trabajo -5°C a baja frecuencia y -10°C a alta frecuencia.

El autor también realiza una equivalencia entre luminarias, con esto pretende analizar una sustitución de una luminaria de halogenuros metálicos de 400W por una de 200W LED, es equivalente en términos lumínicos, y se han probado ambas sobre la misma escena. La escena consiste en una habitación de las siguientes dimensiones: anchura, profundidad, altura, 15m*15m*10m. La luminaria está centrada en la habitación y colocada a una altura de 6m.

Finalmente se concluye que el reciente desarrollo de tecnología LED para aplicaciones de alta potencia en iluminación industrial ofrece la posibilidad de optimizar los costes de iluminación reduciendo en torno a un 50% el consumo energético.

Tesis N°2

Institución: Universidad de Extremadura. España.

Tema: MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR BASADA EN LA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍA LED Y REGULACIÓN PUNTO A PUNTO. EXPERIENCIA PILOTO EN SAN FRANCISCO DE OLIVENZA (BADAJOZ)

Autor: María Victoria Vázquez Godoy, Martín Cobos Rodríguez, Aida Redrado Bonilla.

Año: 2015

Esta investigación tiene como objetivo principal demostrar la evolución de la tecnología LED en el alumbrado exterior. El autor comenta sobre la vertiginosa carrera tecnológica en la mejora de la eficiencia de los LED, combinada con los avances en los sistemas ópticos, y menciona que hoy por hoy es una fuente de luz de mayor eficiencia y calidad luminosa que el vapor de sodio de alta presión (VSAP). Pero lo que realmente está haciendo que esta tecnología se imponga aún más rápido, es su capacidad de reducir los niveles lumínicos respecto a otras tecnologías de baja reproducción cromática.

El estudio realizado tiene hecho en la localidad de San Francisco de Olivenza, un pueblo muy al este de España. Básicamente, la instalación de alumbrado público de San Francisco de Olivenza constaba de unos faroles de diseño exclusivo y fabricados de forma artesanal. Posteriormente se incluyó en estas luminarias un equipo de encendido externo para poder utilizar lámparas de descarga. En la actualidad, esta instalación, además de obsoleta, presentaba serias deficiencias en cuanto al nivel de iluminación y uniformidad lumínica.

El autor menciona durante la fase de ejecución la elevada eficiencia de los componentes de la nueva instalación de alumbrado, y que es posible obtener al mismo tiempo un ahorro energético y un aumento sustancial de los niveles actuales de iluminación.

La modernización tecnológica de las instalaciones de alumbrado público se consigue esencialmente cambiando los componentes tecnológicamente obsoletos por componentes de nueva generación, e introduciendo tecnologías innovadoras, en este caso LED.

El autor menciona las especificaciones técnicas de la luminaria, hace mención al largo periodo de vida útil que conlleva esta tecnología, más de 15 años de funcionamiento y una eficacia superior a 109lm/W, lo que conlleva a una mejora de más del 200% con tecnologías vapor de sodio de alta presión.

Tesis N°3

Institución: Universidad de Málaga. España.

Tema: Evolución urbana sostenible a través de las instalaciones de iluminación.

Autor: D. Rami David Orejón Sánchez

Año: 2022

El autor para este trabajo se plantea el uso de las instalaciones de iluminación para mejorar la eficiencia energética en las ciudades, centrandó la investigación en instalaciones de iluminación en edificios, instalaciones deportivas y alumbrado público viario. Estas instalaciones se caracterizan por su alto consumo eléctrico y su baja eficiencia energética. Además de la eficiencia energética, las mejoras se extienden a los objetivos primarios del diseño como el confort o la seguridad.

El autor analiza estructuras singulares de las ciudades, como los estadios de fútbol a nivel competitivo profesional, comenta que son centros neurálgicos de una ciudad, sobre los que se desarrollan y condicionan amplios bloques urbanísticos, es decir, son espacios con requisitos lumínicos que han aumentado en los últimos años y que los convierten en las instalaciones de alumbrado de mayor potencia e intensidad de estos entornos.

A su vez menciona la posibilidad de manejar luminarias de manera autónoma con energía solar para la iluminación de alumbrado público respecto a otra de iluminación LED conectada a la red de distribución en corriente alterna, con resultados luminotécnicos equivalentes.

Finalmente, comenta que la aplicación de esta nueva tecnología implementada en estadios, dónde exista únicamente un reemplazo de las luminarias para las torres existentes es las esquinas es inviable iluminar, eficientemente y con un nivel suficiente de calidad, y recomienda que la iluminación sea más bien de forma óvalo en el área. El autor fundamenta estos resultados con estudios luminotécnicos en DIALux.

Tesis N°4

Institución: Universidad de Zaragoza, España.

Tema: Análisis y perspectivas de la tecnología led en la iluminación. Ventajas de su utilización y beneficios medioambientales.

Autor: Miguel Ángel Torres Portero

Año: 2005

El estudiante Miguel Ángel Torres explica que su trabajo de tesis trata principalmente del tema de la luz, más concretamente de la implementación de la Iluminación de Estado Sólido (Solid State Lighting, en adelante SSL), por medio del uso de los LED's

Menciona que A lo largo del desarrollo de la tesis se expondrán las razones que avalan el inmediato uso masivo de dicha tecnología emergente, entre las cuales podemos citar que el alumbrado artificial, al llevar sólo poco más de un siglo de desarrollo, apenas ha desplegado sus potencialidades, ya que ha sido en años recientes que los componentes del sistema pueden generar variaciones en las características de la iluminación que generan valor añadido para el receptor. Indica también que la ingeniería en iluminación continúa basándose para las reglamentaciones casi en exclusiva, en los efectos ópticos de la luz en las personas.

Esto se debe en gran medida al desconocimiento y desconsideración hacia otros factores y hechos relevantes que se adicionan a las consideraciones existentes, tales como economía, rendimiento, mantenimiento, estética, medioambiente, efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano, etc... Esta ignorancia genera, en muchos casos, áreas con una iluminación muy reducida, no apta para las condiciones laborales en cada nicho de mercado.

Miguel Ángel Torres indica que la problemática anteriormente descrita tiene dos vertientes, la primera es resumir los conceptos relacionados con la tecnología LED's, ya que de esta forma se considera podemos educar a ingenieros en iluminación y proyectistas, para que se puedan replantear y reinventar las soluciones de iluminación actuales, en un nuevo concepto de iluminación que sustituya y mejore las existentes. La segunda se da a través de la exposición de una serie de resultados prácticos, ejemplos y soluciones de iluminación para problemas específicos; dichas propuestas serán fruto de la aplicación de una metodología de experimentación, cuyos resultados se contrastarán con aquellos obtenidos por medio de las tecnologías actuales de iluminación.

Tesis N°5

Institución: Universidad Tecnológica de La Habana. Cuba.

Tema: Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV.

Autor Lisan Silverio Valle, Diego Quintero Cabrera, Ernesto Yoel Fariñas Wong

Año: 2021

En esta tesis los investigadores proponen el cambio de iluminación en edificios de oficinas mediante la tecnología LED, lo que supone en un importante ahorro energético.

El caso de estudio es un edificio de 20 niveles donde la mayoría de estos están destinados a oficinas, por ello su principal consumo de portadores energéticos es la electricidad, con un promedio anual de 219,7 MWh/mes de consumo y llegando a picos de 265,3 MWh/mes de consumo para los meses de verano.

Los estudiantes realizan un inventario de lámparas, establecen que el edificio cuenta con unas 7 000 unidades, en el levantamiento realizado por los autores se comprobó que el sistema de iluminación estaba constituido por lámparas fluorescentes T8 de 120 cm de 36 Watts de potencia con tecnología de balastro electrónico con un factor de potencia de 0,88 según

fabricante, por lo que se propone sustituir estas por lámparas del tipo LED T8 de 120 cm de 18 Watts con un factor de potencia $\geq 0,95$ según fabricante. Para realizar esta propuesta los autores han tenido una serie de consideraciones dado el tamaño del inmueble, su utilización, el tipo de tecnología existente en el mismo, las tecnologías propuestas para este tipo de edificios y su aplicación tienen grandes ventajas respecto a la base instalada, estas son menor consumo, mayor duración, salud y medio ambiente.

Finalmente, los estudiantes realizan el análisis económico de la propuesta en tecnología LED, la inversión asciende los 36,000 USD y se recuperan en 6 meses, la implementación de esta tecnología logra ahorrar casi 300 000 KWh/año, y se dejan de emitir aproximadamente 332 toneladas de CO₂ a la atmósfera cada año.

Algo que resaltar es la mención que hacen los estudiantes en sus recomendaciones para implementar estas propuestas de mejoras en otros edificios para ello es necesario realizar un estudio previo de cada inmueble, el cual permita identificar si es posible realizar este tipo de inversiones dada las características puntuales de cada instalación. Primeramente, se debe realizar un levantamiento del tipo de tecnología existente, la cantidad de elementos donde incidir, así como la cantidad de horas de uso que tienen estos sistemas, lo que permitiría proponer la tecnología más adecuada a cada inmueble.

Tesis N°6

Institución: Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú

Tema: Huella de carbono- emisiones de GEI por uso del sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.

Autor: Enrique Saavedra-Farfán1

Año: 2020

El autor para este trabajo se plantea como objetivo establecer parcialmente la Línea Base de la Huella de Carbono por el uso de los Sistemas de Iluminación en los ambientes de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en el desarrollo de las actividades académicas, gestión y de apoyo.

Enrique Saavedra realiza un inventario de las luminarias instaladas en cada edificio, verifica su potencia, promedia el uso diario y semanal con base en las horas para obtener el consumo de energía anual en MWh, y lo multiplica por el factor de emisión dado por la fuente de energía indirecta para obtener las emisiones GEI (Gases de Efecto Invernadero). Utilizan un factor de emisión de 0.52144 toCO₂E₂/MWh, el cuál es el dato más actualizado de la red eléctrica peruana.

Determina las emisiones por tonCO₂ de cada lámpara instalada, y hace mención a lo siguiente: a las lámparas existentes en la FIA, la que unitariamente genera la menor emisión indirecta de GEI es la de mayor eficacia luminosa, ya que para los mismos niveles de iluminación requieren menor potencia por unidad de tiempo, este es el tipo LED1600 de 100 lúmenes/W. De este modo el reemplazo de lámpara LED por Fluorescente T12 representa una disminución unitaria de 56% de emisiones, y por Fluorescente T8 de 31%.

Finalmente da una recomendación basándose en los datos obtenidos de la investigación, identifica varias oportunidades de mejora con la implementación de la tecnología LED.

Antecedentes nacionales

Tesis N°1

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Tema: Proceso de Diseño de Sistemas de Iluminación LED Energéticamente Autónomos.

Autor: Rodolfo Chacón-Avilés¹, Carlos Meza-Benavides², Henrique A.C-Braga³, Pedro S.-Almeida⁴, Cristiano G.-Casagrande.

Año: 2017

En esta investigación los autores tratan sobre la importancia de la iluminación artificial y su consumo de energía eléctrica, así como el desarrollo de dispositivos de iluminación energéticamente autónomos basados en LED. Hacen una breve reseña de la iluminación artificial, mencionando que su consumo representa una cantidad significativa de energía eléctrica en todo el mundo. Comentan sobre el desarrollo de soluciones con unidades inteligentes de control de iluminación LED para reducir la huella de carbono y los costos de iluminación, especialmente en aplicaciones de iluminación pública y en exteriores.

Esto determina el claro potencial que se obtienen con los dispositivos de tecnología LED. (Agregar tablas)

El estudio de los autores se basa en el diseño de un dispositivo de iluminación energéticamente autónomo, que utiliza unidades de acondicionamiento de potencia para cargar baterías y regular la corriente entregada a los LED. Se describe un proceso de diseño que incluye la selección de LED y tecnología de almacenamiento de energía eléctrica, así como sensores para optimizar el funcionamiento de la luminaria LED.

Se mencionan las características técnicas de varios LED comerciales y la importancia de medir experimentalmente sus propiedades fotométricas, como el índice de reproducción cromática (IRC), el flujo luminoso (lm) y eficiencia como puntos importantes.

En resumen, abordan la importancia de la iluminación artificial, la necesidad de soluciones energéticamente eficientes y autónomas basadas en LED, y el proceso de diseño de dichos

sistemas para alargar la vida útil de los dispositivos, así como el control para generar diferentes ambientes dentro del espacio a iluminar.

Tesis N°2

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Tema: Propuesta de redistribución en planta y mejoramiento del sistema de almacenamiento e iluminación del Laboratorio Aduanero del Ministerio de Hacienda.

Autor: Joselyn Obando Rodríguez.

Año: 2017

En esta investigación la estudiante Joselyn tuvo como objetivo proponer una redistribución en planta y mejorar el sistema de almacenamiento e iluminación, tomando en cuenta a su vez el tema de locales de trabajo basado en la legislación nacional e internacional.

Su investigación se base en el análisis de reflectancia y homogeneidad en los diferentes espacios del laboratorio aduanero, que involucran las oficinas y laboratorios, realiza una serie de mediciones y determina diferentes puntos que generan deslumbramiento en base a la norma INTECO.

A su vez comenta que la falta de mantenimiento en el sistema de iluminación ocasiona la no uniformidad en las áreas de trabajo, lo que conlleva a su vez a generar un plan de mantenimiento para los sistemas convencionales de iluminación.

Dentro de la propuesta de redistribución analiza el método de cavidad zonal, uno de los métodos para determinar el número de luminarias necesarias para lograr una redistribución correcta de los puestos de trabajo, el cual consiste en calcular las cavidades del techo, del piso y del local. Para el desarrollo de este, se utilizan los parámetros de la reflexión efectiva de la cavidad, el coeficiente de utilización, el factor de depreciación de la lámpara y la depreciación debida al polvo.

Tesis N°3

Institución: Universidad Nacional, Facultad de la Tierra y el mar Escuela de Ciencias Ambientales. Costa Rica.

Tema: Propuesta para una iluminación eficiente en el edificio de Ciencias Forenses y Medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia.

Autor: Paola Reyes Pérez.

Año: 2016

En esta investigación Paola realiza un levantamiento completo de las instalaciones de la ciudad Judicial en San Joaquín de Flores, Heredia. Determina la posibilidad de realizar un

cambio a tecnología LED ya que lo que encuentra son luminarias con lámparas convencionales tipo T8 y T12 con altas concentraciones de mercurio, el cuál es un elemento dañino para la salud.

Paola indica que los objetivos son evaluar los niveles de iluminación en el edificio, estimar el consumo eléctrico anual para determinar el cálculo de las emisiones de CO₂ y de mercurio y proponer un diseño de iluminación eficiente.

Menciona a su vez las ecuaciones necesarias para obtener la iluminancia promedio, flujo son por el software DIALux.

Finalmente determina que Utilizando lámparas de LED, existe la reducción del consumo energético y de emisiones de CO₂, entre un 25 a 50% de disminución, creando una mejor eficiencia energética en el consumo energético interno del edificio, más puntualmente indica que el ahorro en consumo energético anual del primer nivel es de un 55%, un 44% para el segundo nivel y para el tercer nivel un 25%, este último sufrió un menor ahorro debido a que fue necesario incluir más luminarias para alcanzar los lux adecuados según la norma.

Tesis N°4

Institución: Universidad Latinoamérica de Ciencia y Tecnología. Costa Rica.

Tema: Plan de Gestión de Proyecto: Nuevo Sistema de Iluminación Basado en Tecnología LED para AABB Corp. Costa Rica.

Autor: Julio Santamaría González.

Año: 2012

El autor Julio Santamaría propone la gestión de un proyecto para el nuevo sistema de iluminación basado en tecnología LED en AABB Corp., una empresa multinacional líder en dispositivos que opera a nivel mundial y tiene una instalación de manufactura en Costa Rica.

AABB Corp. se ha propuesto mejorar la eficiencia energética en su planta de Costa Rica. Para lograr esto, la empresa considera reemplazar las tecnologías de iluminación existentes, que incluyen fluorescentes, halógenos e incandescentes, con sistemas de iluminación basados en tecnología LED.

El estudiante demuestra el análisis de viabilidad que la adopción de tecnología LED podría conducir a un notable ahorro de energía. Además, se evalúan los costos de mantenimiento relacionados con las dos opciones de iluminación.

El análisis de viabilidad revela que la adopción de iluminación LED podría resultar en un ahorro anual de hasta un 70% en el consumo energético relacionado con la iluminación. Esto equivaldría a una reducción sustancial en costos eléctricos, que actualmente ascienden a \$19,517.43 al mes con la tecnología existente. Con la implementación de LED, los costos mensuales se reducirían a tan solo \$5,596.85, lo que representa un ahorro mensual de

\$13,920.58, tras el análisis anterior el proyecto retorna la inversión en un periodo no superior a los tres años y cuatro meses.

Tesis N°5

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Tema: Optimización del consumo de electricidad en el Tecnológico de Costa Rica.

Autor: Montserrat Capón Jiménez.

Año: 2017

En esta investigación la estudiante Monserrat realiza un proyecto de optimización de la energía en el Tecnológico de Costa Rica, que involucra diferentes sistemas, entre ellos las luminarias.

Realiza un levantamiento de luminarias por edificación incluyendo aulas académicas, escuelas de diseño y presenta un inventario.

Además, destaca el análisis de la iluminación en estos edificios, incluyendo el tipo de tecnología utilizada (LED, fluorescente T8, T5, etc.) y la descripción de las luminarias. Sugiere la conversión de tecnología fluorescente a LED como una oportunidad para reducir el consumo de energía.

Menciona que el 22.6% del consumo del campus corresponde a la iluminación. Se toma en cuenta la viabilidad económica de las propuestas, considerando el retorno de inversión.

Tesis N°6

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Tema: Rediseño del sistema de iluminación, diseño del sistema de iluminación de emergencias para los hangares, estudio de cortocircuito y de arco eléctrico para COOPESA R.L.

Autor: Christopher Andrés Arroyo Chacón.

Año: 2019

El autor Christopher propone un rediseño del sistema de iluminación y a su vez un diseño de un sistema de iluminación de emergencia debido a la problemática detectada por el autor y por los empleados de la empresa COOPESA, dicha problemática ha sido comentada en reuniones del personal buscando soluciones eficientes, basado en un estudio que se realizó, donde la medición de lúmenes promedio dio 200 lux en un área (oficinas) que, según la norma, debe estar en 500 lux, por citar un ejemplo, por lo tanto surge la necesidad de proponer un rediseño del sistema de iluminación, uno que vele por los trabajadores y a su vez genere un ahorro energético para la empresa.

A través de la revisión de inventario en el hangar se determina el uso de diferentes tecnologías, entre ellas el halogenuro metálico, el auto comenta sus capacidades técnicas como lo son la eficacia, flujo luminoso, temperatura de color, IRC (índice de reproducción de color) y sus tiempos de encendido y reencendido, lo cual son datos importantes para nuestra investigación.

Hace énfasis en la iluminación de los hangares, las mediciones las realiza en diferentes puntos a 0.85m de altura respecto al suelo, y se determina que el mejor resultado se encuentra por debajo de un 48% según la norma. Realiza un estudio de iluminación a través de DIALux y determina no sólo el reemplazo unitario de las luminarias, sino que la propuesta da para el hangar principal el cambio de 80 luminarias HID por 90 HBL150W, en el hangar 2 se cambian 60 HIB por 68 HBL, y en el hangar 3 se deja la misma cantidad (61 luminarias), solo se cambia la marca y la potencia por HBL150W.

En resumen, se determina que el rediseño del sistema de iluminación arroja una cantidad mayor de luminarias a las instaladas para garantizar el cumplimiento de la norma, aun así el ahorro en las emisiones de CO₂ representan una reducción del 45,33 %, al cambiar el sistema antiguo de iluminación, lo que el autor indica que aporta en 203,458 toneladas de CO₂ menos al año.

Resumen

En este proyecto nuestro enfoque de estudio será demostrar los beneficios que presenta el uso de la tecnología LED para aplicaciones deportivas. Esta tecnología ha presentado un crecimiento exponencial en el uso cotidiano y ha llevado a la implementación de esta en muchos nichos de mercado.

Durante el desarrollo del proyecto se pretende demostrar el cambio de las luminarias actuales del Estadio Nacional de Costa Rica en HID a tecnología LED. Para esta investigación es necesario realizar una propuesta de diseño de iluminación lo que conlleva a evaluar la tecnología actual mediante datos técnicos en hojas de datos, mediciones lumínicas en sitio, inventario de equipos, consumo actual entre otras tareas y con base a estos datos obtenidos poder realizar la selección de la luminaria más adecuada para cumplir con los niveles mínimos requeridos según la norma.

Luego de obtener estos datos se analizarán e implementarán en el diseño gráfico y modelado en tres dimensiones, dónde haremos una copia casi exacta del Estadio Nacional y valoraremos los resultados del estudio lumínico con base en criterio de desarrollo luminotécnico que se implemente, con este cambio se pretende demostrar el ahorro energético, ahorro en mantenimiento y reducción de CO₂ emitido al medio ambiente de manera que sea una propuesta que genere valor y reducciones al medio.

Finalmente, se debe realizar un análisis de retorno de inversión dónde se demuestre el ahorro en diferentes aristas que tendrá el proyecto y determinar si la propuesta de iluminación en tecnología LED es viable para aplicaciones deportivas de este nivel.

Limitaciones

Un proyecto de este nivel comprende varias limitaciones, entre ellas la más considerable es el costo final que puede involucrar el desarrollo de esta propuesta para la directiva o gerencia del Estadio Nacional, de modo que sea un monto que sobrepase el presupuesto, a pesar de que la propuesta se visualiza como retorno de inversión.

Otra de las limitantes es el acceso que pueda tener propiamente dentro del Estadio Nacional, para poder realizar mediciones en sitio, con luxómetro dentro de la gramilla, así como la adquisición de los planos, ubicación de las luminarias actuales, cantidad de estas y datos adicionales que se necesiten como tarifas de consumo eléctrico en KW/H, acceso a paneles de control para medición de consumos.

También se considera estudiar la propuesta con los alcances que limita la estructura actual del Estadio Nacional, ya que se pretende un reemplazo unitario de las luminarias actuales considerando mantener las ubicaciones y homogeneidad, de manera tal que no encarezca el proyecto al reubicarlas de posición y optimizar la propuesta.

A su vez, otro limitante consiste en encontrar en el mercado una luminaria que se adapte a las condiciones eléctricas y especificaciones requeridas para el cumplimiento de la norma.

Dentro del presente estudio no se consideran los costos de los mantenimientos preventivos y correctivos brindados a los transformadores que suministran la energía al Estadio Nacional, esto en el caso de considerar el cambio de consumo a la red eléctrica.

Seguidamente, para el consumo en los cálculos de la red eléctrica se utiliza solamente el costo de energía de consumo, no se toma en cuenta el costo que se tendría por demanda de energía de la empresa electrificadora, Compañía Nacional de Fuerza y Luz para el momento de arranque de encendido de las luminarias, esto debido a que no se tiene certeza y claridad del costo que la compañía estaría brindando.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Naturaleza de la Luz

Antes de iniciar el siglo XIX, la luz era considerada un flujo de partículas o corpúsculos sin masa que eran emitidas por un objeto observado o emanaban de los ojos del observador. Newton (1643 – 1727), principal arquitecto del modelo de las partículas de la luz afirmaba que estas eran emitidas por una fuente luminosa y que estimulaban el sentido de la vista al entrar en los ojos del observador.

Newton también propuso las siguientes teorías sobre la luz:

- La luz podría ser una clase de movimiento ondulatorio.
- La trayectoria seguida por los corpúsculos es rectilínea.
- Los corpúsculos no atraviesan obstáculos, así se forman las sombras.
- La reflexión se debe al rebote de los corpúsculos sobre la superficie reflectora.

En 1678 el físico y astrónomo holandés Christian Huygens (1629 - 1695) contemporáneo de Newton quien elaboró una teoría diferente, demostró que una teoría de ondas de luz que correspondían al movimiento específico que sigue la luz al propagarse a través del vacío en un medio insustancial e invisible llamado éter

- La masa de los cuerpos que emiten luz no cambia.
- La propagación rectilínea y la reflexión se puede explicar ondulatoriamente.
- La rapidez de la luz disminuye al penetrar al agua, por ello explica refracción es un fenómeno típico de las ondas.

En 1801, Thomas Young (1773-1829) dio la primera demostración clara de la naturaleza ondulatoria de la luz. Demostró que, bajo condiciones apropiadas, los rayos de la luz se interfieren unos con otros. Tal comportamiento no podía ser explicado en aquel tiempo por una teoría de partículas porque no había forma imaginable que 2 o más partículas pudieran unirse y cancelarse entre sí. Desarrollos adicionales durante el siglo XIX condujeron a la aceptación general del modelo de onda de la luz. El resultado más importante de la obra de James Clerk Maxwell, quien 1873 afirmó que la luz era una forma de onda electromagnética de alta frecuencia. Argumentando que la luz y las otras ondas se conocían como las de la radio consistían en un mismo fenómeno: que eran ondas electromagnéticas que se diferenciaban sólo en su frecuencia. Hoy consideramos que una onda electromagnética es única, aunque se compone de dos perturbaciones: un campo eléctrico vibrando perpendicularmente a un campo magnético (Serway & Jewett, 2008).¹³ Esto quiere decir que, la luz es la sensación producida en el ojo humano por las ondas electromagnéticas. Se trata de campos electromagnéticos alternativos que transportan energía a través del espacio y se propagan bajo la forma de oscilaciones o vibraciones. Al igual que todos los movimientos ondulatorios, las ondas electromagnéticas se caracterizan por la longitud de onda y por la frecuencia. La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es de 300 000 kilómetros por segundo.

Los seres humanos poseen una capacidad extraordinaria para adaptarse a su ambiente y a su entorno inmediato. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean en nuestra vida diaria. La mayor parte de la información que obtenemos a través de nuestros sentidos la obtenemos por la vista (Guasch, 2012).

El punto débil de la visión aparece cuando se hace necesario observar pequeños detalles muy cercanos con un nivel de iluminación bajo; en estas circunstancias se

incrementan los errores, y surgen la fatiga visual y mental, por lo que es explicable que para tareas visuales con esas características se busquen soluciones tales como incrementar el nivel de iluminación y/o el tamaño de los detalles (Paute & Carrillo, 2014). Una mala iluminación puede provocar la aparición de fatiga visual, generando un problema latente para el área de seguridad laboral (Chavarría, 2003, p.6). Con el mejoramiento de las condiciones de iluminación se puede disminuir la perturbación de la visión, dolores de cuello, cabeza y hombro. (Akbari, Dehghan, Azmoon & Forouharmajd, 2013)

También se hace preciso conocer las magnitudes y unidades de la iluminación, pues las mismas nos ayudarán a realizar una iluminación adecuada al uso o función de la habitación, y nos permitirán hacer un uso eficiente de la energía empleada en la iluminación. (García, González1 & González2, 2013).

Evolución

La industria está impulsando una evolución tecnológica hacia la alternativa de los sistemas digitales. Este proceso se ha observado en las cámaras de fotografía, televisores, vehículos, teléfonos y, en la última década, en equipos de iluminación para todos los propósitos con la introducción de la tecnología LED como fuente de luz. La iluminación es un fenómeno que, por cotidiano, pasa de manera inadvertida para la mayoría de las personas. Sin embargo, es difícil concebir nuestro día a día y nuestra sociedad sin la iluminación artificial.

Se entiende como un elemento fundamental, supuesto y garantizado, y tiene un peso primordial en muchos parámetros que miden el estado y el modo de funcionamiento de la economía de un país o región, de su modelo energético e, incluso, del estado de bienestar de sus habitantes (Gago-Calderón, 2011). Uno de los puntos fundamentales en el desarrollo de nuevas estructuras es la mejora de la eficiencia energética de sus instalaciones. En esta dimensión la iluminación juega un papel determinante.

El alumbrado público supone una parte muy importante del presupuesto de las ciudades. Así, empresas locales de pequeño y mediano tamaño llegan a destinar hasta el 80% de su presupuesto a este gasto mensual (Gutiérrez Escolar et al., 2015). Este consumo está directamente relacionado con la tecnología de emisión de luz existente; en este sentido, tras

la llegada de la tecnología LED en este sector tecnológico, se ha destinado una importante cantidad de recursos económicos en su modernización para su adaptación al nuevo modelo de iluminación. Además, cabe mencionar que este consumo puede verse afectado por factores como el mantenimiento (Orejón-Sánchez, Hermoso-Orzáez & Gago-Calderón, 2020).

La iluminación artificial posee gran utilidad diaria, por eso mismo, se estableció una norma nacional para regular el nivel de lux dependiendo de cada área específica, así como su importancia, no es lo mismo la cantidad de lux de una sala de operaciones a la que necesita en este caso nuestro objeto de estudio.

Al respecto, se menciona que: Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visuales son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben, entre otras razones, a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta difícil identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, los transportes, los recipientes peligrosos, etcétera (Calleja, 2001).

Conceptos y Magnitudes:

Luz visible:

Es la energía radiante que produce una sensación visual. Según su capacidad y ciertas propiedades. La luz visible está ubicada en el espectro luminoso entre las radiaciones ultravioleta e infrarroja, comprendida entre los límites de longitud de onda entre 380nm y 760nm. La primera corresponde al color violeta y la segunda al color rojo.

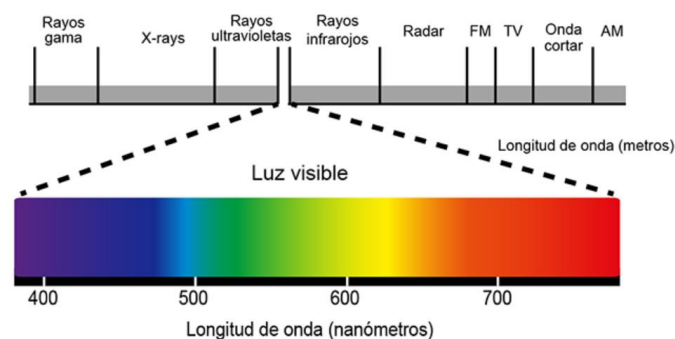


Imagen 1- Clasificación del espectro visible. Aquatecnica. (s.f.). Medición de color de una fuente de luz y luz.

Recuperado de <https://www.aquatecnica.com/medicion-de-color-de-una-fuente-de-luz-y-luz/>

Lámpara:

Son los dispositivos que son capaces de transformar energía química, mecánica o eléctrica en energía electromagnética cuyo rango espectral se encuentra en el rango de la luz visible.

Flujo luminoso:

El flujo luminoso, medido en lúmenes (lm), es la potencia de radiación emitida por una luminaria. Indica la cantidad de luz que emite una fuente de radiación en todas las direcciones. Por tanto, los lúmenes de una luminaria proporcionan información sobre su luminosidad.

Φ = Flujo Luminoso (Lumen)

Eficiencia Luminosa:

Se expresa el rendimiento energético de una lámpara y mide la calidad de la fuente como instrumento destinado a producir luz por la transformación de energía radiante visible. (aducarte.weebly.com)

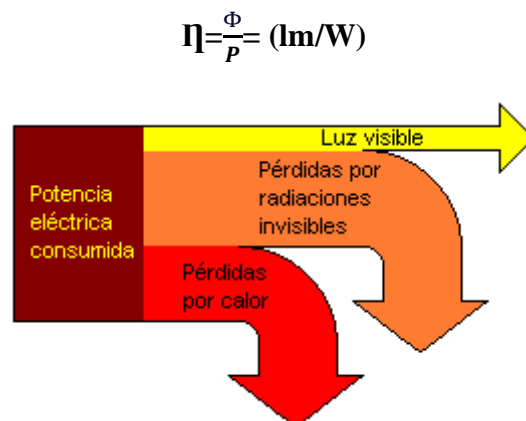


Imagen 2- Aducarte. (s.f.). Recuperado de <https://www.aducarte.weebly.com>

Lumen:

Es una medida de la cantidad total de luz visible emitida por una fuente de luz en todas direcciones. Cuanto más alto sea el número de lúmenes, más brillante será la fuente de luz. Su unidad se representa como (lm).

Illuminancia:

Illuminancia o iluminación se define como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie. Su unidad es el lux. El lux se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 m² cuando sobre ella incide, uniformemente repartido un flujo luminoso de 1 lumen. (aducarte.weebly.com)

$$\epsilon = \frac{\Phi}{S} \text{ (1)}$$

Donde:

Φ =Flujo Luminoso

S= Superficie o área a iluminar (m²)

ϵ = Iluminación en la Superficie S (lux)

Illuminancia promedio (E_{med}):

Es una medida importante que hay que considerar en el momento de realizar cualquier proyecto de iluminación. Se define como la relación entre la sumatoria de las iluminancias calculadas en cada punto considerado entre el número de dichos puntos. Por lo tanto:

$$E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{np} E_{p_i}}{np} \quad (lux) \quad (2)$$

Donde:

E_{med} = Iluminación media.

E_{p_i} = Iluminancia en el punto i-ésimo.

np = Número de puntos considerados.

Luminancia:

Se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por el observador, su unidad es: cd/m^2

$$L = \frac{I}{S} \quad (3)$$

Donde:

I = Intensidad luminosa Reflejada.

S = Superficie o área a iluminar (m^2)

L = Luminancia o Brillo.

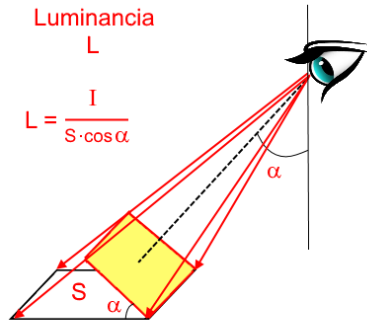


Imagen 3- Compara lux. (s.f.). Magnitudes Fundamentales. Recuperado de <https://www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesFundamentales.php>

Intensidad luminosa:

La intensidad luminosa es un valor importante para comparar diferentes lámparas. Las lámparas con el mismo flujo luminoso pueden tener intensidades luminosas completamente diferentes debido a su ángulo de haz. El ángulo del haz de luz indica el ángulo en el que la luz es emitida por la lámpara.

La intensidad luminosa o su valor en candela indica la intensidad con la que se emite la luz. Cuanto más enfocada es a misión de la luz, más intensa es su unidad es la candela (cd).

$$I = \frac{\Phi}{w} \quad (4)$$

Donde:

I= es la intensidad luminosa en candelas (cd).

Φ = es el flujo luminoso en lúmenes (lm).

w= es el ángulo sólido en estereorradianes (sr).

Un estereorradián es unidad de medida de ángulos sólidos del Sistema Internacional, de símbolo (sr), que equivale a un ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera, abarca sobre la superficie de ésta un área equivalente a la de un cuadrado de lado igual al radio de la esfera.

Nivel de iluminación:

Se refiere a la cantidad de luz presente en un área o espacio específico. Se mide en unidades llamadas lux (símbolo: lx). Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$). Los lux miden la cantidad de luz visible que incide en una superficie y se utilizan comúnmente en aplicaciones relacionadas con la iluminación artificial y natural

Uniformidad:

La iluminancia proporcionada en una superficie determinada nunca será totalmente uniforme. Esto se debe a que siempre habrá diferencias de valores de iluminancia dentro del escenario visual iluminado. Para definir la uniformidad de los niveles de iluminación en un área, es necesario definir los factores que determinan las variaciones de iluminancia.

Factor de uniformidad general de iluminancia:

Es la relación entre la iluminación mínima y la iluminación media sobre una superficie de una instalación de alumbrado. Se simboliza por U_m y su unidad está dada en por ciento (%) o por una relación. Su expresión es:

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (5)$$

Factor de uniformidad extrema:

Es la relación entre la iluminación mínima y la iluminación máxima sobre una superficie de una instalación de alumbrado. Se simboliza por U_e y su unidad está dada en por ciento (%) o por una relación. La expresión que la define es:

$$U_e = \frac{E_{min}}{E_{máx}} \quad (6)$$

Temperatura de color (Tc):

La temperatura de color de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática y está basada en el principio según el cual, todos los objetos cuando aumentan su temperatura emiten luz. El color de esa luz cambia dependiendo del incremento de la temperatura, expresada en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). A continuación, se muestra como los colores de luz son clasificados:

Color de luz	Temperatura de color (°K)	Apariencia de color
Amarillento	1800 - 2500	Cálido
Blanco cálido	2600 - 3000	
Blanco neutral	3100 - 4100	Intermedio
Blanco frío	4300 - 6000	Frío
Blanco luz día	6100 - 6500	

Tabla I: Apariencia del color según su temperatura. (Roustaiyan, 2007) . **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.12).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Métodos de diseño de iluminación

En la práctica de diseñar sistema de iluminación, existen varios métodos muy útiles para tal fin, pero que se adecuan a tareas distintas, unos métodos más precisos que otros, para aplicaciones más especializadas.

Método de lúmenes:

Este método es usado tanto para diseño como para analizar o evaluar una iluminación existente. El objetivo principal es obtener el número de luminarias adecuado para lograr la cantidad de lux establecidos, para este método es necesario saber las dimensiones del recinto (alto, ancho, área, color, etc.), las limitaciones físicas, si presenta, y el tipo de actividad a realizar, este método solo aplica para iluminación interior.

Método de las cavidades zonales:

Es un método simple, funcional y seguro. Es muy similar al método de lúmenes, solo que es un poco más riguroso con los 12 coeficientes de reflexión, para este método se toma en cuenta la distancia entre la luminaria entresuelo y el techo, igualmente que el anterior solo aplica para iluminación interior y que el área es un cuadrilátero.

Método de punto por punto:

Es un método más riguroso, ya que analiza varios puntos clave en el área a iluminar, estos puntos son escogidos por el diseñador y son numerados para dar un seguimiento

adecuado, este método sirve para cualquier aplicación (exterior, interior, público, etc.) sirve para cualquier tipo y forma de superficie, se pueden mezclar tipos de luminarias y normalmente se requiere de la utilización de algún software para agilizar su proceso.

Deslumbramiento:

Otro aspecto importante en temas de iluminación es el deslumbramiento que se puede producir en los lugares de trabajo, así lo define la misma normativa nacional. El deslumbramiento es la sensación visual provocada por áreas brillantes dentro del campo visual y que puede ser percibida como un deslumbramiento molesto. El deslumbramiento puede también ser provocado por reflexiones en superficies especulares, conocidas usualmente como reflexiones velantes o deslumbramiento reflejado (INTE/ISO 8995-2016, 2016). Por lo tanto, a la hora de diseñar un buen sistema de iluminación, se debe tener en cuenta este tipo de variables, debido a que un alto deslumbramiento puede provocar fatiga, dolor de ojos, cansancio excesivo, lo cual repercutirá en la calidad y eficiencia del trabajo.

El deslumbramiento se percibe mejor cuando se mira una lámpara directamente (como mirar al sol), en oficinas se da mucho este problema, por los reflejos de las pantallas de datos, otra razón se debe a tener ventanas abiertas y un nivel de iluminación pobre, lo cual provoca un deslumbramiento por el sol, la solución es adecuar el nivel de iluminación ya sea regulando y aprovechando la luz natural o poniendo cortinas.

Se presenta la fórmula 1 utilizada por la norma para calcular el índice de deslumbramiento CUD (Capacidad unificada de deslumbramiento, en español) o UGL (Unified glare rating, en inglés).

$$CUD = 8 * \text{Log} [0,25 L_b * \sum L^2 * W_p^2] \quad (8)$$

Donde:

L_b: Luminancia del fondo (cd/m²).

L: Luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador (cd/m²).

W: Ángulo sólido de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador.

p: Índice de posición de Guth para cada luminaria individual, que se relaciona con su desplazamiento de la línea de visión.

IRC (RA):

El índice de reproducción de color es la capacidad de una fuente de luz de reproducir los colores, su valor máximo es el 100. Es un dato que da el fabricante, respecto a la construcción de la lámpara. La idea es que se asemeje lo mayor posible a los colores de verdad, no se recomienda el uso de luminarias con índices de Ra menores a 90 para estadios de fútbol

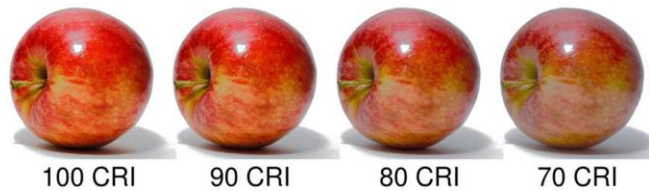


Imagen 4- Electric. Iluminet. (s.f.). Entender el índice de rendimiento cromático. Iluminet. Recuperado de <https://iluminet.com/entender-indice-rendimiento-cromatico/>

Grado del IRC	IRC	APARIENCIA
1	$IRC \geq 85$	Muy bueno
2	$75 \leq IRC \leq 85$	Bueno
3	$40 \leq IRC \leq 75$	Medio
4	$IRC \leq 40$	Nulo (monocromático)

Tabla II: Clasificación del IRC según su grado y apariencia. (Roustaiyan, 2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.12). Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

En el segmento de iluminación, existen miles de tipos de luminarias, pero las más conocidas actualmente son las luminarias HID, LED y fluorescentes. La tecnología HID se considera como la tecnología con mayor base instalada en centros deportivos de uso exterior y es debido a los altos flujos luminosos que podemos obtener. Sin embargo, se explica más abajo con detalle algunas de sus desventajas.

Tipos de Fuentes de luz:

Las primeras fuentes luminosas empleadas por el hombre estuvieron basadas en alguna forma de combustión, ya sea el fuego, las velas o las antorchas. Hoy existen muchas formas y variedades de generar luz para las distintas aplicaciones necesarias en la industria. Todas las fuentes de luz artificial implican la conversión de alguna forma de energía en radiación electromagnética, basándose principalmente en la excitación de átomos y luego la emisión de fotones. Artificialmente existen varias formas de producir radiación luminosa y están divididas por los procesos de incandescencia y la luminiscencia. Esta última, a su vez se divide principalmente en descarga en gases, fotoluminiscencia y electroluminiscencia. En la industria, los procesos de incandescencia y por descarga en gases son los más comunes y los más usados. Las lámparas pueden ser de muchas clases, cada una de ellas con sus particularidades y características específicas. Como se dijo anteriormente, existen dos clasificaciones que describen el tipo de lámpara. En la siguiente figura se puede observar dicha clasificación:

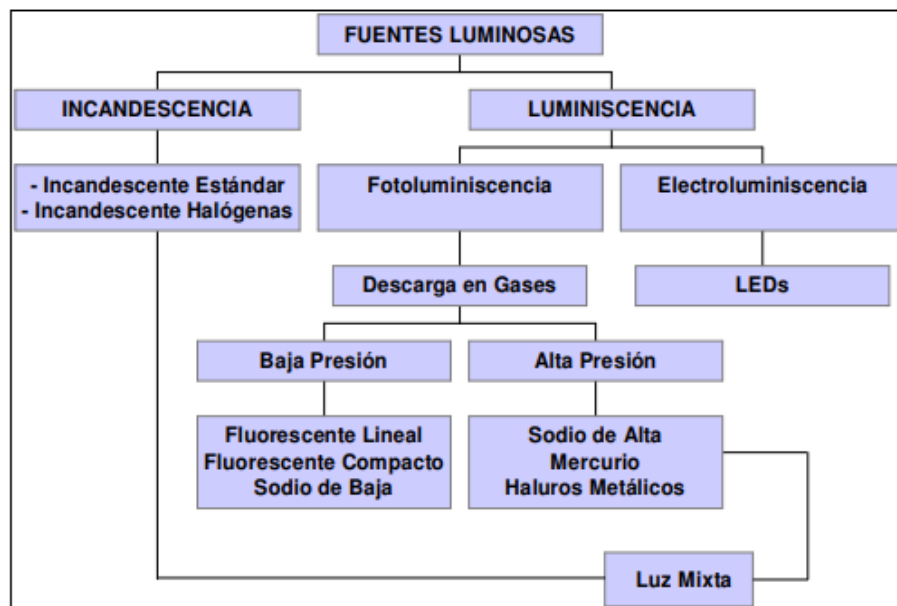


Imagen 5- Clasificación general de las fuentes luminosas. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.17).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Fluorescente: Son luminarias consideradas muy eficientes, una luminaria fluorescente promedio tiene una vida útil de 5 000 a 8 000 horas (Phillips, 2017), las cuales se ven afectadas con la cantidad de encendidos durante el día. Al ser lámparas con descarga de mercurio de baja presión, cada vez que se enciende la luminaria, esta perderá vida útil.

Son consideradas como lámparas de descarga. La corriente pasa a través de un vapor de mercurio a baja presión, de esta manera estas lámparas son también llamadas “lámparas de descarga de mercurio a baja presión”. En el momento en que la lámpara se enciende, los electrones “bombardean” los átomos de mercurio provocando que el gas emita los rayos ultravioletas (UV). Cuando estos rayos golpean una capa de fósforo se produce una luz visible. Para el encendido de estas lámparas, es necesario el uso de equipos auxiliares como es el balasto. Entre sus características, se destacan: una vida útil elevada, tienen poca pérdida de energía en forma de calor y bajo consumo de energía.

HID: Las luminarias de halogenuro metálico (descarga de alta intensidad) son usualmente utilizadas en grandes áreas a iluminar, con alturas mayores a 6 metros, es otra variante de las lámparas de vapor de mercurio (Chinen, 2013). Dentro de esta gran familia, se encuentran las lámparas halógenas, vapor de sodio a baja presión, vapor de sodio a alta presión, vapor de sodio, mercurio halogenado y mezcladoras, principalmente se va a desarrollar las luminarias halógenas metálicas.

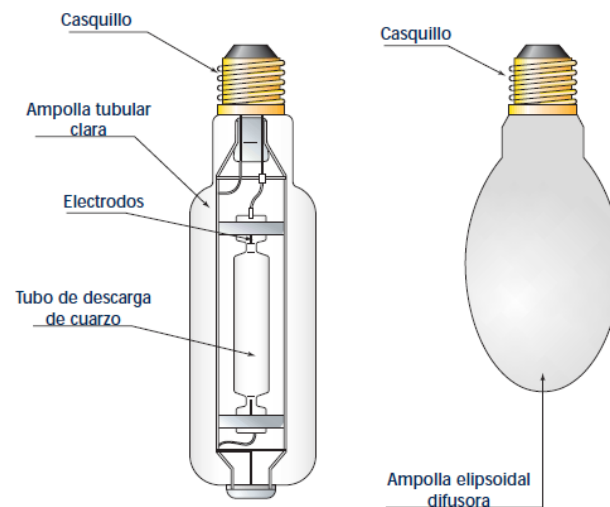


Imagen 6- Partes de la lámpara de halogenuros Grupo de Investigación en Luminotecnia (s.f.). **Sistemas de Iluminación - Fuentes de Luz - Lámparas de Descarga - Lámpara de Halogenuros Metálicos.** Grupo de Investigación en Luminotecnia, Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de

<https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaHalogenurosMetalicos.php> metálicos.

Lámparas de vapor de sodio de baja presión: Existe una gran similitud entre el trabajo de una lámpara de sodio de baja presión y una lámpara de mercurio e incluso una fluorescente. La radiación visible de la lámpara de sodio es casi monocromática y se produce por la descarga a través del sodio a baja presión. Posee una mala reproducción cromática (la luz es de color amarillo), por lo que será la menos valorada de todos los tipos de lámpara. Sin embargo, es la lámpara de mayor eficiencia luminosa y larga vida. Son comúnmente usadas en aquellos lugares donde el factor de color no tiene mucha importancia, como son las calles, autopistas, túneles, playas, etc. 20

Lámparas de vapor de sodio de alta presión: La diferencia de presiones del sodio en el tubo de descarga es la principal diferencia con la lámpara antes mencionada. No solo hay exceso de sodio en el tubo de descarga, sino también mercurio y xenón. Esto hace que tanto la temperatura de color como la reproducción de este mejoren significativamente con la de baja presión. Además, facilita el encendido, y se caracterizan por mantener una eficacia elevada y una larga vida útil. Son ampliamente usados en alumbrado de exteriores por su capacidad de acentuar los elementos iluminados.

Lámparas de luz mixta: Es una combinación entre una lámpara de mercurio y una incandescente, ya que posee un filamento para estabilizar la corriente. Por lo tanto, no requiere el uso de un balasto. Dicho filamento está conectado en serie con el tubo de descarga, y la luz producida es una combinación entre la descarga del mercurio y la del filamento. También posee una buena reproducción cromática.

Halógenas: Son lámparas para grandes alturas, se genera un arco entre los dos electrodos (al igual que las luminarias fluorescentes), pero más corto y con mayor intensidad generando más luz y calor, la luz se produce por la excitación de los gases o vapores metálicos, tiene una eficacia entre 70-90 lm/w y un Ra (CRI) entre 60-90, las cuales las hacen muy utilizadas en las naves industriales como alimenticias, de procesos, etc., son luminarias que tardan 600 s en reencender (10 minutos) (Montserrat, 2018).

HALOGENUROS METÁLICOS	
Potencias nominales	20-2.000 W
Eficacia	70-90 lm/W
Flujo luminoso	3.300-32.000 lm
Temperatura de color	2.800-5.000 K
IRC	60-90
Tono	Blanco
Espectro de emisión	Discontinuo
Tiempo de encendido	300
Tiempo de reencendido	600
Tamaño	Grande
Posición de funcionamiento	Universal



Imagen 7– Característica de las Lámparas de Halogenuros Metálicos. Repositorio del Tecnológico de Costa Rica. (s.f.). Rediseño del sistema de iluminación: Diseño del sistema de iluminación (p. 16). Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10913/rediseño_sistema_iluminación_diseño_sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Halogenuros HPI-T Pro: Son lámparas de halogenuros metálicos de cuarzo de un solo extremo con envoltura exterior tubular, funcionan con balastro magnético de mercurio con encendedor externo. Contiene una emisión luminosa muy alta con excelentes propiedades de color. Adecuado para filmaciones de televisión en estadios deportivos y áreas grandes, incluidas aplicaciones de iluminación industrial en aparcamientos exteriores, patios ferroviarios y portuarios.

Tiene una eficacia de 101 lm/w, con consumos de energía entre 1000W y 2000W, cuenta con una vida útil aproximada de 12000hrs y flujos luminosos superiores a los 200,000 lm. (Philips Lighting, 2023, abril)

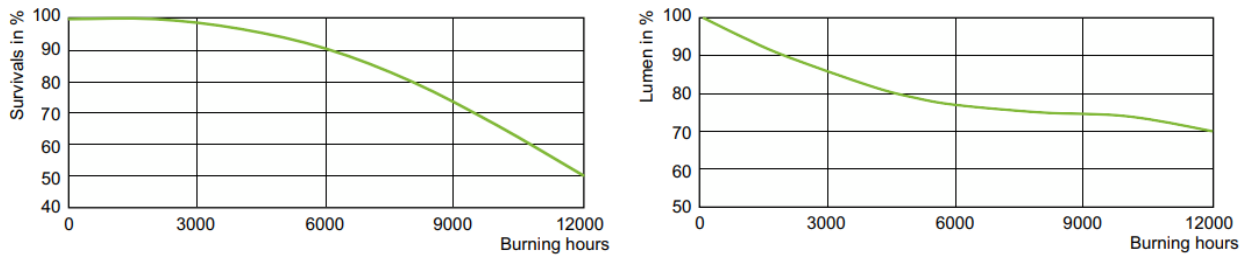
Vida útil

Imagen 8– Comparativa de vida útil (horas de uso) vs rendimiento de flujo luminoso. (Fuente: Philips Lighting, 2023, abril.)

Como se puede observar en la imagen anterior, existe una depreciación del 30% aproximadamente al cabo de las 12 000 horas de uso, esto quiere decir que por cada vez que se activa el sistema de iluminación en cualquier aplicación en la que encontremos esta tecnología irá perdiendo su eficiencia cada vez, por lo tanto, los valores máximos que ofrecen se obtienen una única vez.

LED: Los Diodos emisores de luz, (Light Emitting Diode, en inglés) son la fuente de iluminación más avanzada hasta la fecha, cuentan con importantísimas ventajas en el mercado laboral que los ha hecho muy competitivos, la primera ventaja es el ahorro energético, aportando un descenso de nuestra facturación de luz del orden de 70-80 %, (Ortiz, 2014). Otra ventaja es su larga vida útil de 50 000 horas hasta 100 000 horas, dependiendo de la construcción de la luminaria, sus bajas emisiones de CO₂ y su bajo mantenimiento, la hacen la mejor alternativa a los nuevos sistemas de iluminación, su coste es más elevado que las típicas luminarias fluorescentes, pero casi siempre suele ser rentable a futuro, bajando los costes de la facturación eléctrica. Las luminarias LED, en comparación con otras fuentes de iluminación, son más rentables, igualando inclusive la eficacia de las luminarias de vapor de sodio a baja presión.

Entre los parámetros más importante se encuentra la vida útil del LED el cual se determina por medio de las curvas de depreciación lumínica que emite el LED [Ana Serrano-Tierza. Et alii (2015). Analysis of energy saving in industrial LED lighting: A case study. Dyna, 191, 231-239.]. El procedimiento para analizar la vida útil de LED es el siguiente: se deja encendido el LED en un periodo de 6,000 a 10,000 horas, en este periodo se recopilan datos cada 1000 horas de acuerdo con la norma LM-70, los datos recopilados son los lúmenes que

producen, además de un monitoreo de la temperatura, la norma LM-70 describe que cuando la lámpara LED reduce su luminosidad un 30% esto se considera como el final de su vida útil [Héctor Beltrán San Segundo, (2015). Módulo 1.3, Lámparas: aplicaciones y modelos comerciales. 1/02/2020, de Universitat Jaume I - Fundació F2], después de cada prueba se aplica los procedimientos descritos en la norma TM-21, la cual es la normativa aprobada por el IESNA, los cuales describen los procedimientos estadísticos para obtener una aproximación de la vida útil de LED. La vida útil del LED se puede ver recortada por parámetros como la temperatura o por medio de la forma de onda de alimentación que entrega el controlador.

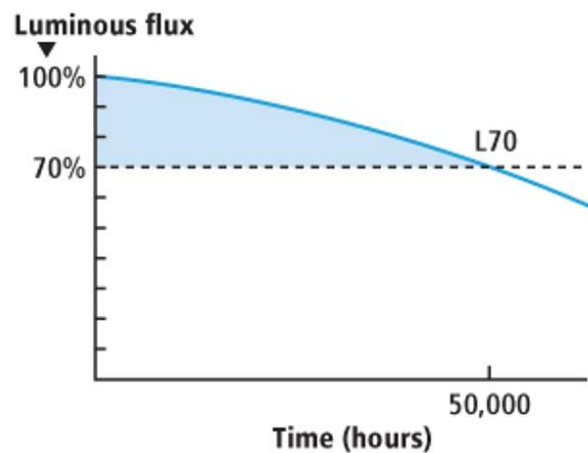


Imagen 9- Demostración de la norma LM70, Flujo Luminoso vs vida útil en horas. (Lumitex, s.f.)

Tipos de Balastos y Controladores

Es un equipo que sirve para mantener estable y limitar la intensidad de lámparas, ya sea una lámpara fluorescente o una lámpara de haluro metálico. Técnicamente, en su forma clásica, es una reactancia inductiva que está constituido por una bobina de alambre de cobre esmaltado enrollada sobre un núcleo de chapas de hierro o de acero eléctrico. En la actualidad existen de diversos tipos, como los balastos electrónicos usados para lámparas fluorescentes o para lámparas de descarga de alta intensidad.

En una lámpara fluorescente el papel del balasto es doble:

- Proveer energía controlada para que produzca el encendido del fluorescente.

- Controlar, regular y emitir el suministro adecuado de corriente, para que el fluorescente trabaje a su máxima eficiencia (Sylvania, 2019).

Balastos magnéticos:

Es el balastro convencional que se utiliza en la mayoría de las luminarias de tubos fluorescentes, consiste en un gran número de espiras de hilo de cobre arrolladas sobre un núcleo y que, por su concepción, tiene elevadas pérdidas térmicas (Rivas, 2016). Generalmente, este tipo de balastos al encender la luminaria tiene un tiempo para accionar, lo cual provoca que la luminaria se encienda al rato de haber activado el interruptor.

Un inductor es utilizado comúnmente en los balastos para proporcionar las adecuadas condiciones de arranque y funcionamiento eléctrico para alimentar una lámpara fluorescente, lámpara de neón o de descarga de alta intensidad (HID). Las ventajas de este sistema es que su reactancia limita la corriente disponible a la lámpara, con pérdidas de potencia mínimas en el inductor y, que el pico de alta tensión que se produce cuando la corriente que pasa a través del inductor es rápidamente interrumpida, se utiliza en algunos circuitos para encender el arco eléctrico en la lámpara.

- **Núcleo:** es la parte fundamental del balastro. Está compuesto por varias placas delgadas de acero al silicio, sobre el que se enrolla el alambre de cobre para formar una bobina.
- **Carcasa:** es la envoltura protectora del balastro. De la bobina salen dos o tres cables de cobre que se conectan al circuito externo, mientras que en los balastos electrónicos salen cuatro.
- **Sellador:** es un compuesto de poliéster que se deposita entre la carcasa y el núcleo del balastro. Su función es de aislante eléctrico.

Al ser elementos que van conectados a la red eléctrica domiciliaria, por lo general están normalizados (IEC, IRAM, CE, etc.).

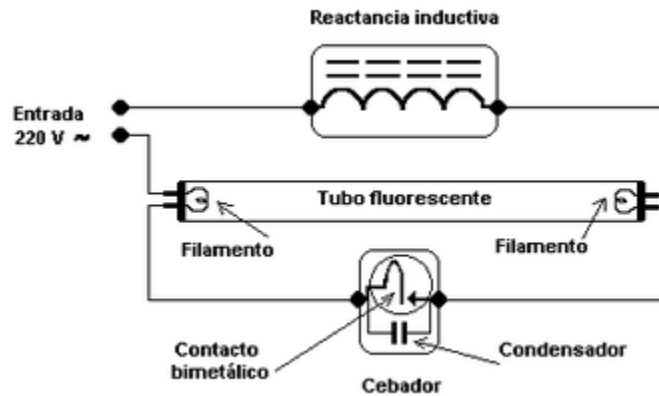


Imagen 10-Balasto Magnético. Wikipedia. (s.f.). Balasto eléctrico. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto_el%C3%A9ctrico

Balastos electrónicos:

Un balasto electrónico utiliza un circuito de semiconductores para proporcionar a las lámparas un arranque más rápido, sin parpadeo, pudiendo utilizarse para alimentar a varias lámparas a la vez. En general, los balastos electrónicos aumentan la frecuencia de trabajo a 20 kHz o más, con lo que se consigue hacer inapreciable el parpadeo que se produce cuando se trabaja a 100 o 120 Hz (dos veces la frecuencia de la alimentación). Además, el rendimiento de las lámparas fluorescentes aumenta un 9% cuando se llega a 10 kHz, y continúa aumentando poco a poco hasta los 20 kHz. Este aumento de la frecuencia permite aumentar el rendimiento energético de conjunto lámpara-balasto.

El balasto electrónico reemplaza el conjunto del balasto convencional, el cebador y el condensador. La carcasa que contiene los componentes tiene forma oblonga para encajar en el lugar de los viejos balastos en las luminarias.

Otras ventajas:

- Silencioso y con un rendimiento energético superior al 98%. Esto es mucho si se compara con los balastos corrientes, y se debe principalmente a que casi no se calientan (no disipan energía en forma de calor).

- El rendimiento luminoso aumenta con la frecuencia de algunos centenares de kHz, con 32 W se obtiene el mismo flujo luminoso que con 36 W con balasto normal, considerando el consumo exclusivamente del tubo.
- Un solo balasto puede encender a uno o más tubos.

Algunos balastos electrónicos no utilizan electrodos de calentamiento, lo que puede limitar la duración de las lámparas en caso de ciclos de encendido-apagado repetitivos.

Este tipo de balasto se utiliza en las lámparas llamadas compactas.

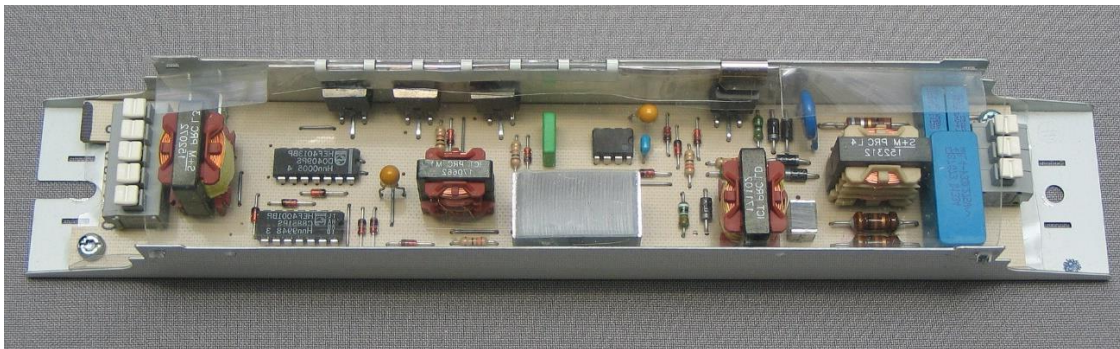


Imagen 11- Balasto Electrónico. Wikipedia. (s.f.). Balasto eléctrico. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto_el%C3%A9ctrico.

Controladores

Los controladores LED realizan una función similar a la de un balasto en las lámparas fluorescentes.

El controlador LED transforma la tensión de la red eléctrica para el correcto funcionamiento de una bombilla, rectificando un alto voltaje y corriente alterna a bajo voltaje y corriente continua.

El controlador también regula y mantiene una cantidad constante de corriente, evitando posibles calentamientos de la bombilla, dicho de otra forma, protegen a los LED de las fluctuaciones de voltaje o corriente. Un cambio en el voltaje podría causar un cambio en la corriente que se suministra a los LEDs. Demasiada o muy poca corriente puede causar que la salida de luz varíe o se degrade más rápido debido a las temperaturas más altas dentro del LED.



Imagen 12 – Parte posterior de luminaria reflectora, se visualiza su sistema de disipación y controlador. Philips Lighting France Indal. (s.f.). [Luminaria de Philips]. Recuperado de <https://www.archiexpo.es/prod/philips-lighting-france-indal/product-11268-1831511.html>

Luminarias

Según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), la definición de luminarias es “Aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación”.

Resumiendo, los objetivos antes mencionados, una luminaria debe proveer los siguientes requisitos básicos para su funcionalidad:

- Protección de las fuentes de luz.
- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
- Aprovechar la mayor cantidad de flujo luminoso emitido por las fuentes de luz.
- Satisfacer las necesidades estéticas según el ambiente donde estén destinadas.
- Evitar las molestias provocadas por el brillo excesivo (deslumbramiento).

Las luminarias según distintos criterios de selección:

La selección de la luminaria ideal para cada tipo de proyecto es uno de los procedimientos más importantes dentro de la luminotecnia, y además debe realizarse en forma conjunta con la elección de la lámpara. En la actualidad existen diversos tipos de

tamaño, aplicación y forma de luminarias, y diferentes criterios de clasificación que un proyectista tenga en consideración para la elección de estas. Las luminarias tienen ciertas características esenciales las cuales pueden clasificarse según su: cualidad, grado de protección, aplicación y factor de eficiencia.

Clasificación de las luminarias según su cualidad:

Una luminaria debe poseer una serie de características que satisfagan las necesidades requeridas para una determinada instalación de alumbrado. Por lo tanto, deben poseer las siguientes 22 cualidades para que cumplan eficientemente su función: sistemas ópticos, mecánica y eléctrica, y estética.

Sistemas ópticos utilizados:

- Para la adecuada distribución luminosa, las luminarias actúan con uno o más de los siguientes elementos de control óptico: reflectores, refractores, difusores, dispositivos de apantallamiento y filtros.
- Elementos reflectores. Son aquellos en donde la luz incidente de la luminaria se refleja total o parcialmente, en forma especular o difusa. Se emplean cuando se requiere una forma precisa de la distribución de luz. El reflector puede ser: parabólico, esférico, elíptico o difuso.

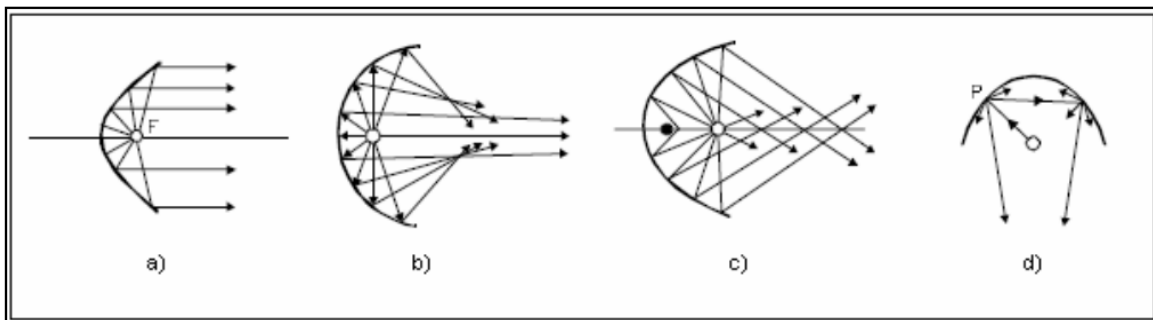


Imagen 13: Ejemplo de un reflector: a) parabólico, b) esférico, c) elíptico y d) difusor. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.22).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

- Elementos refractores. Los elementos refractores utilizados en luminarias permiten un buen control direccional de la luz, ya que modifica la velocidad de propagación y la dirección de ella. Comúnmente, estos elementos son empleados en alumbrado de interiores.
- Elementos difusores. Estos elementos no proporcionan un control de haz nítido pero son muy valiosos cuando lo que se pretende es dirigir la luz en todas las direcciones y hacia zonas amplias del ambiente.
- Dispositivos de apantallamiento. Consiste en acomodar el reflector de manera que provea el ángulo necesario para controlar o dirigir la luz y evitar el deslumbramiento directo. Dicho ángulo se expresa como el grado de apantallamiento.

Mecánica y eléctrica

La diversidad de aplicaciones y diseños de luminarias dan como resultado una amplia variedad de éstas. Las luminarias deben estar diseñadas para que su cuerpo provea un apropiado grado de protección contra el ingreso de cuerpos sólidos o polvo, contra el eventual ingreso de agua y que permita a la lámpara funcionar en condiciones apropiadas de temperatura. Los accesorios del sistema eléctrico de una luminaria tienen como principal objetivo facilitar la conexión y desconexión eléctrica. Por otra parte, están los accesorios del sistema eléctrico de la luminaria, que deben facilitar la fijación y el pasaje de los conductores de forma sencilla.

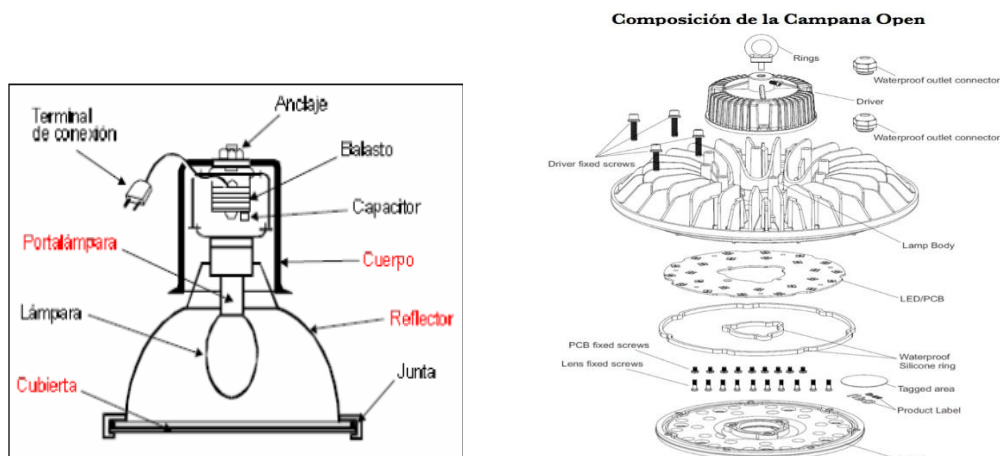


Imagen 14: Comparativa entre las Partes constitutivas de una luminaria HID vs LED. Rizzo-lo (Roustaiyan, 2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.23). Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

En el año 1989, La Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC) publicó el sistema de clasificación IP (del inglés, International Protection), el cual clasifica a las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de polvo, humedad y cuerpos extraños. El método consiste en identificar el equipo con dos dígitos, el primero indica el grado de protección contra la entrada de elementos sólidos extraños o polvo (de 0 al 6) y el segundo, el grado de protección que impide la entrada de agua (de 0 a 8). *Rizzolo Roustaiyan, C. M. (2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p. 24). Universidad Simón Bolívar.*



Primer número característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida.	No tiene
1	Protegida contra objetos sólidos mayores de 50 mm.	No tiene
2	Protegida contra objetos sólidos mayores de 12'5 mm.	No tiene
3	Protegida contra objetos sólidos mayores de 2'5 mm.	No tiene
4	Protegida contra objetos sólidos mayores de 1 mm.	No tiene
5	Protegida contra polvo.	
6	Hermética al polvo.	

Tabla III: Clasificación IEC 529 de luminarias de acuerdo con su grado de protección contra polvo. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.24).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.







Segundo número característico	Breve descripción	Símbolo
0	No protegida.	No tiene
1	Protegida contra gotas de agua en caída vertical.	
2	Protegida contra caída de agua verticales con una inclinación máxima de 15° de la envolvente.	No tiene
3	Protegida contra el agua en forma de lluvia fina formando 60° con la vertical como máximo.	
4	Protegida contra proyecciones de agua en todas las direcciones.	
5	Protegida contra chorros de agua en todas las direcciones.	
6	Protegida contra fuertes chorros de agua en todas las direcciones.	No tiene
7	Protegida contra efectos de inmersión temporal en agua.	
8	Protegida contra la inmersión continua en agua.	

Tabla IV: Clasificación IEC 529 de luminarias de acuerdo con su grado de protección contra el agua. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.24).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Clasificación de las luminarias según su aplicación

Cuando se trata de clasificar las luminarias según su aplicación, se emplean dos tipos o divisiones principales.

Iluminación de interiores

- Luminarias para iluminación industrial.
- Luminarias para iluminación comercial y/o oficinas.
- Luminarias para iluminación residencial.

Iluminación de exteriores.

- Luminarias para alumbrado público.
- Luminarias para fachadas y/o monumentos.
- Luminarias para zonas deportivas.
- Luminarias para áreas extensas.

Iluminación Aplicaciones Deportivas:

El objetivo principal de las instalaciones de alumbrado deportivo consiste en proporcionar las condiciones lumínicas necesarias para practicar y disfrutar de las actividades con normalidad, tanto a deportistas como espectadores.

Estas luminarias son usadas principalmente en cualquier tipo de instalaciones deportivas, tanto techadas o al aire libre, también para áreas extensas de trabajo, fachadas, medios de publicidad, y muchos más. La función principal de un proyector es concentrar la luz en un ángulo sólido determinado por medio de distintos sistemas ópticos, con la finalidad de conseguir la mayor intensidad luminosa deseada. Por lo general, las fuentes de luz que son utilizadas comúnmente con estas luminarias son las de mercurio de alta presión, halógenas, haluros metálicos y las de sodio. Desde el punto de vista de la distribución lumínica, estas luminarias se dividen en tres grupos básicos, que son:

- Projectores con simetría,
- Projectores de rotación simétrica.
- Projectores de rotación asimétrica.

Los proyectores pueden clasificarse también de otra manera, indicando el grado de apertura del haz de luz del proyector, si es: estrecho, medio o ancho. La apertura del haz de luz de un proyector es el ángulo que se forma cuando alcanza un determinado porcentaje de la intensidad luminosa emitida por la fuente de luz, generalmente hasta el 10% de su máximo valor.

Más adelante se muestra una tabla y figura de como la “Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)” clasifica los proyectores según la apertura del haz y según las distancias de proyección.

Clase (NEMA)	Apertura del haz (10% de I_{max})	Descripción
1	10° a 18°	Haz estrecho
2	18° a 29°	
3	29° a 46°	
4	46° a 70°	Haz medio
5	70° a 100°	
6	100° a 130°	Haz ancho
7	> 130°	

Tabla V: Clasificación según la apertura del haz. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.103).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

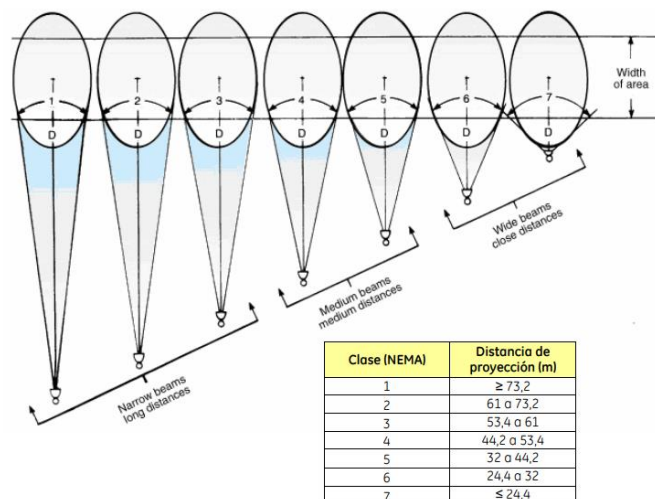


Tabla VI: Clasificación del proyector según la distancia de proyección (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.103).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Distribución de Intensidad Luminosa

Un proyector clasificado como rotacionalmente simétrico es aquel con distribución de intensidad luminosa constante del plano que se considere. Para este tipo de proyector se establece un valor de apertura del haz a ambos lados del eje. En el caso de un proyector con distribución asimétrica, se establecen dos valores de apertura que indican la dispersión del haz en dos planos perpendiculares de simetría, vertical y horizontal respectivamente. Un ejemplo de distribución asimétrica podría ser $6^\circ/24^\circ$. Hay casos en donde puede presentarse una asimetría en el plano vertical del proyector con relación al eje del haz. Se dan dos cifras para la apertura del haz en dicho plano y otra para el plano horizontal. Por ejemplo: $5^\circ - 8^\circ/24^\circ$, esto es 5° por encima del haz y 8° por debajo, y en el plano horizontal, 12° a la derecha y 12° a la izquierda. Existe también, con respecto a las clasificaciones antes mencionadas, dos tipos de proyectores para las consideraciones de diseño, que son: proyectores circulares y rectangulares. Los proyectores circulares pueden ser cónicos o cónicos ligeramente asimétricos, por lo que se obtiene una proyección elíptica sobre la superficie iluminada. Además, estos suelen ser más eficientes que los rectangulares por la forma en que se refleja la luz. Los proyectores rectangulares emplean una distribución simétrica en los planos horizontales y verticales de forma rectangular. Aunque en el plano vertical también puede ser asimétrica, obteniendo una proyección de forma trapezoidal. Rizzo-lo Roustaiyan, C. M. (2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p. 29). Universidad Simón Bolívar.



Imagen 15: Proyectores circulares. Imagen 13: Proyectores rectangulares. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.29).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Clasificación de las luminarias según los factores de eficiencia.

En la selección de las luminarias se deberá tener en cuenta los distintos criterios de clasificación mencionados anteriormente, aunque simultáneamente se deben considerar otros requisitos básicos asociados a la eficiencia de la luminaria, como son: el rendimiento luminoso, el factor de utilización y el factor de mantenimiento.

Rendimiento luminoso de una luminaria (η)

Es la relación entre el flujo luminoso que sale de la luminaria y el flujo luminoso de la o las fuentes de luz, funcionando fuera de dicha luminaria. Se puede representar por medio de tablas (fabricante) como rendimiento luminoso del hemisferio superior y del inferior de la luminaria.

Factor de utilización (f_u).

Es la relación entre el flujo luminoso incidente al plano de trabajo y el flujo total que emiten las fuentes de luz instaladas sobre dicho plano. Su unidad es en por unidad y se

$$f_u = \frac{\phi_U}{\phi_{Total}}$$

expresa así: (9)

donde:

ϕ_U = Flujo luminoso sobre el plano de trabajo (lm).

ϕ_{Total} = Flujo luminoso Total (lm).

Para el caso de iluminación de interiores, este es un factor muy importante para considerar ya que depende de las características geométricas de un local, el color y reflectancias de sus superficies. Para el caso de iluminación con proyectores, dicho factor es llamado coeficiente de utilización del haz (CBU, del inglés Coefficient of Beam Utilization), e indica la relación entre la totalidad de los lúmenes incidentes sobre la superficie a iluminar (lúmenes utilizados)

y los lúmenes del haz del proyector (suministrados por el fabricante). Queda expresado de la siguiente manera:

$$CBU = \frac{\text{Lúmenes utilizados}}{\text{Lúmenes del haz}} \quad (10)$$

Factor de mantenimiento (fm).

Es uno de los factores producidos por la disminución de la iluminancia, y se define como la razón de la iluminancia de una instalación en un tiempo especificado y la iluminancia de una instalación nueva. Este factor depende de una combinación de elementos producidos por la suciedad de las lámparas y las luminarias, las pérdidas de las propiedades ópticas y otros elementos que contribuyan a la pérdida de luz. Para el cálculo del factor de mantenimiento, existen tres factores parciales de pérdidas que deben tenerse en cuenta: la depreciación del flujo de la lámpara, de la luminaria y por suciedad sobre la superficie del local (para iluminación de interiores).

Depreciación del flujo de la lámpara (FDF).

Está relacionada con el tiempo de uso y ciertos factores relacionados con las condiciones de funcionamiento de las lámparas. Los siguientes factores pueden influir en el índice de depreciación: Posición de funcionamiento de la lámpara. - Temperatura del ambiente. - Voltaje suministrado. - El tipo de equipo auxiliar utilizado (si es relevante). Una manera en la que se puede obtener dicho factor, en caso de no obtener ninguna información del valor preciso, es dividir los lúmenes medios (al 50% de la vida de la lámpara) entre los lúmenes iniciales, y así se podrá obtener un valor ligeramente sobrevaluado.

Depreciación de la luminaria (FDS).

Está relacionada con la suciedad acumulada en las superficies internas y externas de la luminaria a lo largo del tiempo. La depreciación de la emisión de luz de las luminarias puede ser reducida si ésta es seleccionada y apropiada para el lugar determinado. Las luminarias abiertas acumulan más suciedad en menor tiempo y si el local es de ambiente

contaminante, es preferible usar luminarias cerradas (ver Tabla VII). Rizzo-lo Roustaiyan, C. M. (2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p. 32). Universidad Simón Bolívar.

Tipo de Luminaria	Muy limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy sucio
Abierta no ventilada	0.90	0.8	0.71	0.64	0.56
Abierta Ventilada	0.95	0.89	0.83	0.78	0.72
Cerrada	0.97	0.93	0.88	0.83	0.78
Vidrio Refractor o Cerrada y Filtrada	0.98	0.95	0.93	0.89	0.86

Tabla VII: Factores de depreciación por suciedad en las luminarias dependiendo del ambiente.
(Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas** (Informe final de pasantía, Tomo I, p.32). Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

La iluminación de un espacio deportivo debe proporcionar:

- Condiciones visuales adecuadas para practicar el deporte sin que influya en la velocidad o precisión de los movimientos.
- Condiciones visuales adecuadas para los observadores, para permitir una percepción fácil y cómoda.
- Alumbrado suficiente para retransmitir la actividad por televisión.
- Alumbrado integrado con el estilo del recinto.

Diseño de Iluminación

Establecer un procedimiento sistemático para diseñar un sistema de iluminación es bastante complejo, ya que cualquier proyecto puede tener diferentes puntos de factores y criterios a considerar. Por lo tanto, es recomendable definir y esquematizar un proyecto de iluminación bajo cuatro procedimientos principales bien diferenciados, estos son los que se indican en la siguiente figura:

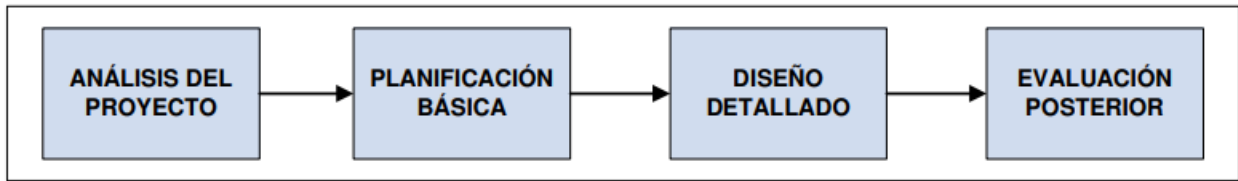


Imagen 16: Proceso principal de diseño de iluminación. (Roustaiyan, 2007). *Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.34).* Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Planificación básica empleada en iluminación deportiva (exteriores).

El objetivo principal de iluminar áreas deportivas es ofrecer un ambiente adecuado para la práctica y disfrute de cada uno de los jugadores y el público. Ya que existen distintas actividades deportivas practicadas al aire libre, las exigencias lumínicas y requisitos básicos variarán según el tipo y actividad de deporte (amateur, profesional, universitario, etc.), el tipo de instalación y el tipo de clase (recreo, entrenamiento o competición).

SPORT	Lighted Area	Class of Play	Horizontal		Vertical		Uniformity		Section
			Lux	fc	Lux	fc	CV	Max:/Min	
Lacrosse		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.18
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Motor Racing	Track	II	300	30			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.19
	Finish Line		750	75					
	Track	III	200	20			0.25 or Less	3:1 or Less	
	Finish Line		500	50					
Platform Tennis		II	500	50			0.17 or Less	2:1 or Less	6.20
		III	300	30					
		IV	200	20					
Rifle/Pistol Ranges	Shooting Line Target	III	100	10	500	50	0.17 or Less	2:1 or Less	6.21
Rodeo And Animal Shows		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.22
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
Skeet And Trap Shooting	Shooting Line	III	100	10			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.23
	Target @ 18.3m (60')				300	30			
	Target @ 30.5m (100')			400	40				
	Shooting Line	IV	100	10			0.25 or Less	3:1 or Less	
Target @ 18.3m (60')				200	20				
Target @ 30.5m (100')				200	20				
Skating			5	0.5	2	0.2	No Criteria	6.24	
Soccer		I	750	75			0.13 or less	1.7:1 or less	6.25
		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Softball								6.26	
Swimming (Water Sports)	Luminances of the Pool Surface (Candelas per Square Meter)	II	25				0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.27
		III	15				0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	15				0.3 or Less	4:1 or Less	
	Illuminances on Pool Deck	II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	300	30			0.3 or Less	4:1 or Less	
Tennis		I	1250	125			0.13 or Less	1.7:1 or Less	6.28
		II	750	75			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	500	50			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	300	30			0.3 or Less	4:1 or Less	

Tabla VIII: Valores de iluminación para aplicaciones deportivas. (Roustaiyan, 2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.98). Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Datos de Entrada en Iluminación de Exteriores Para Espacios Deportivos.

A partir del proceso de análisis del proyecto, es necesario establecer los parámetros y dimensiones del área a iluminar, los niveles de iluminación requeridos según el tipo de deporte y la altura en el cual dichos niveles de iluminación serán calculados (altura del plano). A diferencia de una instalación de iluminación de interiores, las reflectancias de las superficies no tienen importancia. En tal caso, sólo servirían para actividades deportivas practicadas en interiores. *Rizzo-lo Roustaiyan, C. M. (200). Manual de procedimientos para*

la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p. 42). Universidad Simón Bolívar.

A continuación, se describe cada uno indicando el orden del procedimiento:

- 1- **Dimensiones de las áreas:** Dependiendo del tipo de deporte, podría existir tres tipos de áreas esenciales las cuales describen dos áreas distintas de juego y un área que establece la frontera o el “fuera”. Las primeras dos indican que el área total del juego puede dividirse en dos, ya que presenta un Área Principal de Juego (PPA, del inglés Primary Playing Area) y un Área Secundaria de Juego (SPA, del inglés Secondary Playing Area). Béisbol (“infield” y “outfield”) y Tenis son dos deportes típicos que tienen esta característica. Pero todo deporte tiene un Área de Frontera (BA, del inglés Boundary Area), lo cual indica hasta donde el deporte “sigue en juego” o indica el área total del campo deportivo. Por lo tanto, se debe disponer de planos o plantillas del área a iluminar, para determinar las longitudes (m) y anchos (m) necesarios para obtener las distintas áreas (m²).
- 2- **Altura del plano de trabajo:** Esta altura puede variar según el tipo de deporte y las exigencias que llevan cada uno de ellos. Por lo general, estas alturas ya están determinadas y tabuladas. Para efectos de diseño, se puede establecer un plano de trabajo “tipo” a una altura de 1 metro del piso.
- 3- **Nivel de iluminación:** La “Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)” efectúa una clasificación para determinar los criterios de iluminación en el ámbito deportivo. Los niveles de iluminación se clasifican según la CLASE y la actividad del deporte. A medida en que el juego tienda a ser más profesional y es visto por más espectadores, los niveles de iluminación son mayores y más exigentes. (Ver Figura Arriba)

Elección del sistema de alumbrado en iluminación deportiva (exterior).

La elección del sistema de alumbrado para espacios deportivos determinará la distribución y el emplazamiento de los postes para iluminar dicha área. En la práctica, la ubicación de los

postes y el tipo de sistema se determina a partir de la arquitectura y la disposición del lugar. Existen varios sistemas de alumbrado para los distintos deportes, siendo la mayoría practicados en campos rectangulares. Un buen ejemplo de sistemas de alumbrado para campos rectangulares son aquellas condiciones que son necesarias para el Fútbol o juegos similares.

A continuación, se describe los tres distintos sistemas más utilizados hoy en día.

Sistema de alumbrado lateral: Se puede disponer de 1, 2, 3 y 4 postes por banda, dependiendo de las dimensiones del área o la clase y actividad del deporte. Los pequeños campos de entrenamiento pueden iluminarse algunas veces desde un solo lado. A medida que el nivel de iluminación sea mayor o la clase del deporte sea más exigente, se recomienda colocar más postes ya que los números de proyectores serán mayores.

Sistema de alumbrado por esquinas: Se disponen de 4 postes, uno en cada esquina. Generalmente se utiliza este sistema cuando la arquitectura del lugar impide colocar un sistema lateral o para impedir el obstáculo de las tribunas por los postes laterales.

Sistema de alumbrado mixto: Habrá ocasiones donde los lugares resultan ser difíciles de iluminar suficientemente desde las 4 esquinas. Es por eso por lo que se puede emplear, si la arquitectura lo permite, un sistema mixto entre el sistema lateral y por esquinas.

Elección de las fuentes luminosas para áreas deportivas.

El proceso de selección de las fuentes luminosas en áreas deportivas de acuerdo con las características dadas y demandas necesarias en el proceso de análisis de proyecto, se determina la fuente luminosa y el tipo de lámpara a emplear. Por lo general, en proyectos de iluminación deportiva, las lámparas de descarga de alta densidad y LED son las más recomendables para esta aplicación.

En cuanto a las percepciones del color y los objetos, la apariencia del color de la luz emitida (temperatura de color) debe estar por encima de los 4000 °K y el rendimiento de color de la luz (IRC) debe superar un índice de 65. A continuación se presenta una tabla que indica los valores mínimos recomendables de IRC para cada actividad:

ACTIVIDAD	IRC
ACTIVIDAD RECREACIONAL	-----
Entrenamientos	≥ 20
Deportes no competitivos	≥ 20 (preferible = 65)
Competición nacional	≥ 65
ACTIVIDAD PROFESIONAL	-----
Entrenamientos	≥ 65
Competición nacional	≥ 65
Competición internacional y torneos	≥ 65
TV nacional	≥ 65 (preferible = 90)
HDTV	≥ 65 (preferible = 90)

Tabla IX: Valores mínimos recomendables de IRC según la actividad deportiva. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.98).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Diseño Detallado

En esta etapa, en función del perfil definido en la fase de planificación básica, se comienza a resolver los aspectos específicos del proyecto, estos comprenden: la selección preliminar de la luminaria, el tipo y altura de montaje, la preselección del equipo (lámpara-luminaria), el número preliminar de luminarias a emplear y las ubicaciones de los puntos de medición.

Selección preliminar de la luminaria.

El mercado ofrece una amplia variedad de luminarias que permiten satisfacer, prácticamente, cualquier tipo de demanda. Sin embargo, se debe tener en cuenta a primera instancia, que las luminarias deben ser seleccionadas preliminarmente de acuerdo con la aplicación, los aspectos fotométricos, el tipo de lámpara y las condiciones del ambiente de trabajo.

Esto significa que una vez definido las principales características, el universo de luminarias disponibles se reduce. Por lo tanto, éstas se seleccionan según las distintas clasificaciones en el orden indicado:

1. Seleccionar las luminarias según el tipo de iluminación: Interiores o exteriores.
2. Seleccionar las luminarias según el tipo de aplicación: Alumbrado público, industrial, deportivo, áreas decorativas, áreas extensas, etc.

3. Seleccionar las luminarias según el tipo de lámpara: Seleccionar aquellas luminarias compatibles con la preselección de las lámparas en el proceso anterior.
4. Seleccionar las luminarias según su distribución luminosa: Seleccionar aquellas luminarias según la distribución espacial y el sistema de alumbrado elegido.
5. Seleccionar las luminarias según su grado de protección: Contra el ingreso de polvo, humedad y cuerpos extraños (ver Tablas III y IV). De aquí se determina si la luminaria debe ser de abierta, ventilada, cerrada, hermética, etc.
6. Seleccionar las luminarias según su tolerancia térmica: Determinar la máxima temperatura de operación según las condiciones del ambiente.
7. Seleccionar las luminarias según sus dimensiones físicas: Deben concordar con las dimensiones del área y otras luminarias.

Establecer el tipo y altura de montaje de las luminarias.

Por lo general, las alturas de montaje de las luminarias quedan definidas por las características de la arquitectura o incluso por el cliente. Muchas veces se puede jugar con las alturas, pero hay casos donde existen restricciones, por ejemplo: estructuras, puentes, grúas, etc. A continuación, se presenta los métodos de cálculo para aplicaciones deportivas.

Tipo y altura de montaje para iluminación deportiva.

Para determinar la posición y la altura de los postes o luminarias, hay que considerar a primera instancia el efecto del deslumbramiento. Para controlarlo, se puede considerar que la altura mínima aceptable de los postes está determinada cuando la dirección de los ojos de dicho jugador en el centro del área de juego (principal o secundaria) forme un ángulo de 20° con la horizontal y 75° cuando éste se encuentra en el borde del campo.

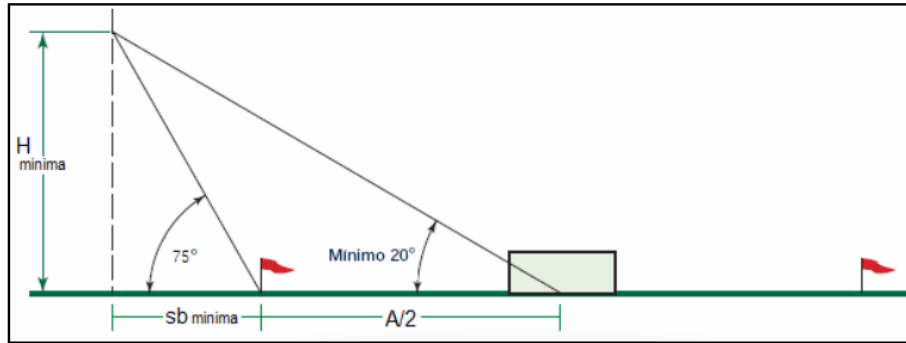


Imagen 17: Ejemplo para el cálculo de altura y distancia mínima en un campo de fútbol con un sistema de alumbrado lateral. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.49).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

De la figura, la variable “Hmínima” indica la altura mínima del poste, “A” el ancho del área de juego y “sbmínima” (del inglés, Setback) indica la distancia mínima entre el poste y el borde del campo. A partir del sistema de ecuaciones, podemos hallar las variables de interés:

$$\begin{aligned} \text{Tag}(20^\circ) &= \frac{H_{\text{mínima}}}{(A/2 + sb_{\text{mínima}})} \\ \text{Tag}(75^\circ) &= \frac{H_{\text{mínima}}}{sb_{\text{mínima}}} \end{aligned} \Rightarrow \begin{cases} H \geq \text{Tag}(20^\circ) \cdot (A/2 + sb) \\ sb \geq \frac{A/2 \cdot \text{Tag}(20^\circ)}{\text{Tag}(75^\circ) - \text{Tag}(20^\circ)} \end{cases} \quad (11)$$

Selección preliminar del equipo (lámpara-luminaria):

La selección preliminar del equipo consiste en tomar una decisión en función de la preselección de las lámparas y las luminarias realizada en procesos anteriores. Por lo tanto, los equipos se seleccionan según las clasificaciones mencionadas a continuación: 1. Selección del equipo según la altura de montaje. Existen luminarias especiales para bajas alturas (0 a 8 m) y para alturas altas (mayores de 6 m).

Selección del equipo según la potencia (W) más adecuada.

Este factor también se determina a partir de la altura de montaje establecida (ver Figura 22). En caso en que haya lámparas del mismo modelo, pero con distinto consumo, se debe seleccionar aquella que posea una mejor vida útil (horas) y un mejor rendimiento luminoso (lm/W).

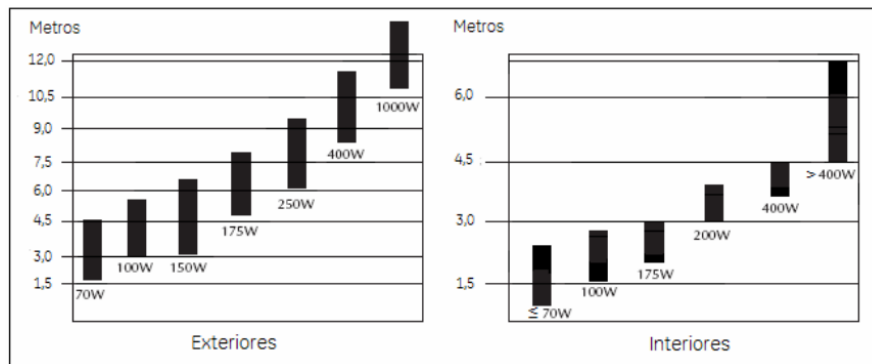


Imagen 18: Consumo recomendado según la altura de montaje para el tipo de iluminación. (Roustaiyan, 2007). *Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.48).* Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Selección del equipo según la fotometría más adecuada.

Se establecen los siguientes criterios de selección para tipo de iluminación exterior:

Para exteriores: Se eligen de acuerdo con la clasificación según la apertura del haz (ver Tablas VI-VII) del proyector dependiendo de la distancia de proyección (dp). La distancia de proyección se determina a partir del criterio de evitar el efecto de deslumbramiento. Los proyectores deben tener una inclinación menor a un ángulo de 70° con su vertical. Por lo tanto, a primera instancia se puede asumir una inclinación de 65° (ver Imagen 17). *Rizzo-lo Roustaiyan, C. M. (2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p. 49).* Universidad Simón Bolívar.

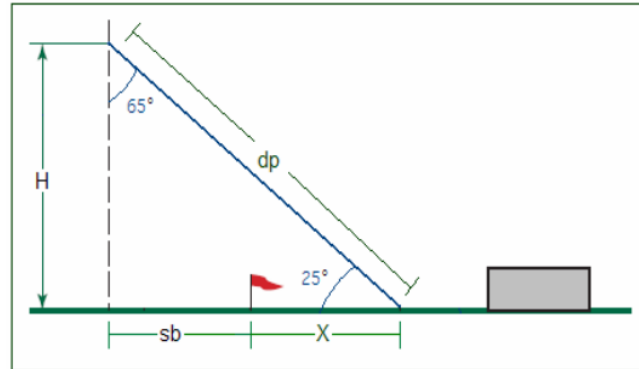


Imagen 19: Representación de la distancia de proyección (dp). (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.49).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Obtención de la variable dp :

$$x = \frac{H}{\text{Tag}(25)} - sb \quad (12)$$

$$dp = \sqrt{(sb + X)^2 + H^2} \quad (13)$$

Métodos de cálculo.

En todo proyecto de iluminación, los cálculos se realizan por medio de dos métodos principales llamados el método de lúmenes y el punto por punto. En el método punto por punto, los cálculos son más exactos, pero también es más laborioso, ya que en cada punto de medición se debe considerar la contribución de cada luminaria de forma individual. Por estas razones, la aplicación manual de este método es prácticamente posible sólo si el número de puntos y luminarias no es grande. De lo contrario, se debe recurrir a programas especializados por computadora, ya que éstos utilizan este método para los cálculos de iluminación. El método de lúmenes sirve para determinar la iluminancia media sobre una superficie (plano de trabajo) y está basado principalmente en la Ley Fundamental. A partir de la definición de Iluminancia y en la Ley Fundamental, se determina la expresión básica para este método:

$$E = \frac{\varphi}{\text{Area}} = \frac{\varphi}{L.a} \quad (14)$$

Donde:

E = Nivel de iluminación (lux).

φT = Total de lúmenes incidentes sobre una superficie (lm).

a = Ancho del área (m)

l = Longitud del área (m).

Este valor tendrá modificaciones en lo que se refiere al flujo luminoso total (ϕT), ya que éste será afectado por los factores relacionados con la eficiencia de la luminaria, como son el factor de utilización (f_u) y el factor de mantenimiento (f_m). Por lo tanto, la expresión básica en función de dichos factores queda de la siguiente manera:

$$E = \frac{\phi * f_u * f_m}{Area} \text{ (lux)} \quad (15)$$

Método de lúmenes para iluminación de exteriores empleando proyectores (Método del Lumen del Haz)

En este caso se utiliza un método muy semejante al método de los lúmenes usado para el cálculo de la iluminación de interiores. Se llama el método del lumen del haz, y tiene como objetivo determinar el número de proyectores necesarios para emplear un nivel de iluminación adecuado en una zona dada. Por lo tanto, para determinar el número de proyectores en una instalación se debe seguir los siguientes pasos:

1er Paso:

Determinar el coeficiente de utilización del haz (CBU). Este factor depende de distintas variables que han sido determinadas en procesos anteriores, tales como: el sistema de alumbrado seleccionado, las características fotométricas del proyector preseleccionado, las propiedades lumínicas de la lámpara, las dimensiones de las distintas áreas de interés, las alturas de los postes y los Setbacks.

A continuación, se presenta el procedimiento y el orden para determinar dicho factor:

1. Dependiendo del sistema de alumbrado y el área de interés (PPA (área principal de juego) o SPA (área secundaria de juego)), se debe colocar un poste a una distancia del borde de dicha área (sb) con su respectiva altura (H). La siguiente figura muestra

un ejemplo de lo antes descrito, siendo ABCD los puntos referenciales del área a iluminar, FO la altura del poste y OL el Setback.

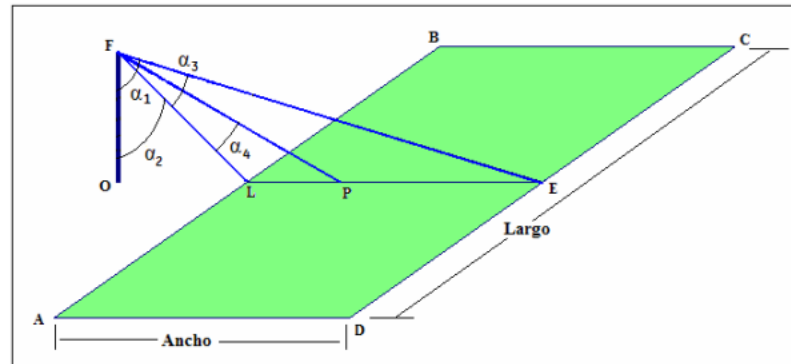


Imagen 20: Posición de un poste con respecto a un área y los puntos de referencia para los cálculos. (Roustaiyan, 2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.54). Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

2. Inicialmente, para simplificar los cálculos, se puede asumir que la luminaria colocada en el poste sólo “derramará” luz por su eje vertical y no por su horizontal (en el área). Por lo tanto, se debe hallar el ángulo respectivo que determina los “lúmenes útiles” derramados en el área. En este caso, según la imagen 18 estaríamos hallando el ángulo “3”, donde:

$$\alpha_1 = \text{Tag}^{-1}\left(\frac{OE}{FO}\right) \Rightarrow \text{Tag}^{-1}\left(\frac{SB + \text{Ancho del area}}{H}\right)$$

$$\alpha_2 = \text{Tag}^{-1}\left(\frac{OL}{FO}\right) \Rightarrow \text{Tag}^{-1}\left(\frac{SB}{H}\right) \quad (16)$$

por lo tanto:

$$\alpha_3 = \alpha_1 - \alpha_2$$

3. Una vez calculado “ α_3 ”, podemos asumir que el haz central del proyector será apuntado en un punto del área (P), de tal manera que el ángulo de derrame “ α_3 ” sea dividido entre dos. Esto genera un ángulo lo cual se denominará como “ α_4 ”, y así se podrá determinar la totalidad de lúmenes útiles derramados por encima (+4) y por debajo (-4) del haz central del proyector.

$$\alpha_4 = \frac{\alpha_3}{2} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \quad (17)$$

4. Por medio de la distribución lumínica del proyector (dato suministrado por los fabricantes), se procede a realizar una tabla especificando la acumulación de los lúmenes por encima y por debajo del centro del haz. Siendo el centro del haz el punto P (0°).

Es importante notar que los fabricantes también suministran esta información, la cual se determina como la variable *CBU coeficiente de utilización*, en caso de que el fabricante no la proporcione se procede a elaborar una gráfica que indique la relación entre los lúmenes acumulativos y los lúmenes totales de la lámpara en función de los ángulos. Dicha relación expresa el coeficiente de utilización, pero no debemos olvidar que anteriormente hemos asumido que los lúmenes sólo se derramarán por el eje vertical y no por el horizontal. Por lo tanto, dicha relación definirá lo que se llama un coeficiente de utilización preliminar (*CBU**).

$$CBU^* = CBU^+ + CBU^- \quad (18)$$

Floodlighting Concepts

Floodlighting Calculations

Floodlighting encompasses many variations. Since the location of the floodlight relative to the object to be lighted can be in any plane and at any distance from the source, floodlighting application is often considered the more complex and difficult of lighting techniques.

The most commonly used systems for floodlight calculations are the point-by-point method and the beam-lumen method.

Point-By-Point Method

The point-by-point method permits the determination of footcandles at any point and orientation on a surface and the degree of lighting uniformity realized for any given set of conditions.

In such situations the illumination is proportional to the candlepower of the source in a given direction, and inversely proportional to the square of the distance from the source (Figure 1).

$$\text{Footcandles on Plane} = \frac{\text{Candlepower of Light Ray}}{\text{Distance in Feet from Source to Point}^2}$$

$$\text{Expressed: } E = \frac{I}{D^2}$$

When the surface on which the illumination to be determined is tilted, the light will be spread over a greater area, reducing the illumination in the ratio of the area of plane A to the area of plane B as shown in Figure 2. This ratio is equal to the cosine of the angle of incidence; thus: Footcandles on Plane B =

$$\frac{\text{Candlepower of Light Ray}}{\text{Distance in Feet from Source to Point}^2} \times \text{Cosine of Angle } \beta$$

$$\times \text{Cosine } \beta$$

$$\text{Expressed: } E = \frac{I}{D^2}$$

Then β equals the angle between the light ray and a perpendicular to the plane at that point.

The Beam-Lumen Method

Beam Lumens (BL)

The beam-lumen method is quite similar to the method for interior lighting except that the utilization factors must take into consideration the fact that floodlights are not usually perpendicular to the surface and all of the useful light does not strike the task area.

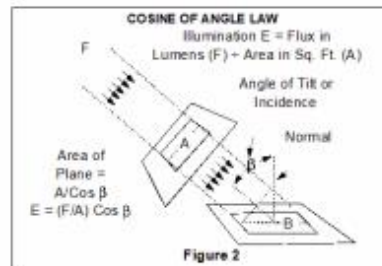
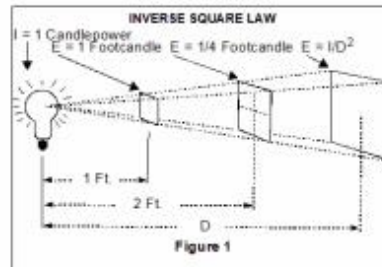
Beam lumens are defined as the quantity of light that is contained within the beam limits described as "beam spread." Beam lumens equal the lamp lumens multiplied by the beam efficiency of the floodlight.

Coverage

It is recommended that sufficient point-by-point calculations be made for each job to check uniformity and coverage.

Light Loss Factor (LLF)

The maintenance or light loss factor is an allowance for depreciation of lamp output with age and floodlight efficiency due to the collection of dirt on lamp, reflector, and cover glass. The total factor may vary from .65 to .85 depending on the type of lamp and luminaire used, and may include losses due to lamp orientation or "tilt."



Design Procedure

Step 1: Determine the level of illumination (fc)

The basic formula is:

$$E = \frac{N \times BL \times CBU \times LLF}{A}$$

Where:

- E = Average Maintained Illuminance (fc) of an area
- N = Quantity of Luminaires
- A = Area in Square Feet
- BL = Beam Lumens
- CBU = Coefficient of Beam Utilization
- LLF = Light Loss Factor

Floodlighting Concepts

Floodlighting Concepts

Step 2: Determine the type and location of floodlights

Regardless of light source there are industry standards on beam spreads. See Table 1.

Table 1

Outdoor Floodlight Luminaire Designations	
FIELD ANGLE (DEGREES)	NEMA TYPE
10 up to 18	1
> 18 up to 29	2
> 29 up to 46	3
> 46 up to 70	4
> 70 up to 100	5
> 100 up to 130	6
> 130 and up	7

The following general principles apply in the choice of beam spread:

1. The greater the distance from the floodlight to the area to be lighted the narrower the beam spread desired.
2. By definition, the "Field Angle" is used to determine the NEMA type. It is equal to the number of degrees between the 10% of maximum candlepower (near the center of the beam) locations. Since the 10% locations are generally near the edge of a floodlight's beam, the illumination at the edge is 1/10 or less of that at the beam center. To obtain reasonable uniformity, the beams of individual floodlights must overlap each other as well as the edge of the surface to be lighted.
3. The percentage of beam lumens falling outside the area to be lighted is usually lower with narrow beam units than with wide-beam units. Thus narrow-beam floodlights are preferable where they will provide the necessary degree of uniformity of illumination and the proper footcandle level.

Step 3: Determine the coefficient of beam utilization

The factor, CBU, written as a decimal fraction, expressed in the following ratio:

$$CBU = \frac{\text{Utilized Lumens}}{\text{BL}}$$

The exact CBU can be determined graphically by projecting the outline of the area to be lighted upon the photometric data and totalling the utilized lumens. This procedure is detailed in the IESNA Handbook. See Figure 3.

As an approximation, the average CBU of all the floodlights in an installation should fall within the range of .60 to .90. If less than 60% of the beam lumens are utilized, a more economical lighting plan should be possible by using different locations or narrower beam floodlights. If the CBU is over .90 it is probable that the beam spread selected is too narrow and the resultant illumination will be spotty. An estimated CBU can be determined by experience, or by making calculations for several potential aiming points and using the average figure thus obtained.

Step 4: Determine the quantity of floodlights (N) required.

Rearrange the basic formula in Step 1 as follows:

$$N = \frac{A \times E}{BL \times CBU \times LLB}$$

TYPICAL CBU's

Baseball - Infield = .65, Outfield = .85

Football = .60

Tennis = .75

Large Parking Lots = .80

Building Facades = .65

Figure 3

TECHNICAL

Imagen 21: Conceptos técnicos de proyectores para cálculo y CBU's típicos según deporte. (Roustaiyan, 2007). Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, pp.106,107). Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

5. Para hallar el coeficiente de utilización del haz, se debe multiplicar el coeficiente de utilización preliminar por un factor. Esto se debe a que se asumió que los lúmenes sólo se derramarán por el eje vertical, lo cual es falso. Dicho factor se llama el factor de ajustamiento (AAF, del inglés Application Adjustment Factor), lo cual depende del NEMA seleccionado y la relación entre el ancho del área visto desde el proyector (W) y la mínima distancia entre dicho proyector y el borde de dicha área. Esta relación viene dada por un factor llamado factor del campo (FF, del inglés Field Factor)

$$FF = \frac{W}{\sqrt{H^2 + SB^2}} \quad (19)$$

Donde:

FF= Factor del campo.

W= Ancho del área vista desde el proyector (m)

H= Altura de la luminaria o poste (m)

Sb= Setback (m)

Es importante notar que en la imagen 18 el área vista por el proyector corresponde a los puntos (AB).

A partir de la siguiente tabla se determina el factor de ajustamiento (AAF)

Factor del campo (FF)	Apertura Horizontal del Haz (NEMA)		
	Estrecho (1 & 2)	Medio (3 & 4)	Estrecho (5, 6 & 7)
≥ 4,5	0,95	0,85	0,80
3,0 a 4,4	0,90	0,80	0,75
2,0 a 2,9	0,85	0,75	0,70
≤ 1,9	0,75	0,65	0,55

Tabla X: Valores del factor de ajustamiento (AAF). (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.56).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

6. Una vez determinado el coeficiente de utilización preliminar (CBU*) y el factor de ajustamiento (AAF), se procede a calcular el coeficiente de utilización del haz. Siendo éste el producto de ambos.

Para el cálculo del CBU, se puede recurrir a tablas donde indican los valores típicos para los distintos deportes. Estos valores no siempre son exactos, ya que el CBU depende de las distintas dimensiones del área y los distintos tipos de luminarias existentes en el mercado. (Ver imagen XIX)

$$CBU = CBU^* * AFF \quad (20)$$

2do Paso

Determinar el factor de mantenimiento (fm). Para compensar la disminución gradual de iluminación en una zona alumbrada con proyectores, sólo se toma en cuenta dos consideraciones para el cálculo, las cuales son: depreciación del flujo de la lámpara (FDF) y depreciación de la luminaria (FDS). Se estima que el factor de mantenimiento para zonas exteriores está comprendido entre 0,65 y 0,85.

Por lo tanto, el factor de mantenimiento para proyectos de iluminación con proyectores se expresa así: (Ver Tabla VII).

$$f_m = (FDF * FDS) \quad (21)$$

3er Paso

Determinar el número de proyectores (NP). A partir de la ecuación general del método de los lúmenes, podemos determinar el número de proyectores necesarios para un proyecto de iluminación en espacios externos. Por lo tanto, al sustituir las variables antes mencionadas junto con los datos de entrada y considerando que el número de lámparas por luminaria (n) es igual a uno, obtenemos la ecuación general del método del lumen del haz:

$$N_p = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\varphi_{haz} * CBU * f_m} \quad (22)$$

Donde:

N_p = Número de Proyectores

E_{med} = Nivel de iluminación medio (lux)

Área = Superficie a iluminar (m^2)

φ_{haz} = Lúmenes del haz/luminaria (lm)

CBU = Coeficiente de utilización del haz

f_m = Factor de mantenimiento

Distribución y espaciamiento del sistema de montaje.

Una vez calculado el número de luminarias a instalar, se procede al diseño geométrico y sistema de montaje. Para realizar esto, hay que tomar en cuenta no solo la cantidad de luminarias sino también otros factores que han sido elegidos y descritos anteriormente, como son: el sistema de alumbrado elegido, el tipo de luminaria y el diseño o geometría del área a iluminar. A continuación se describe el procedimiento para realizar una distribución y diseño del montaje de las luminarias o postes, dependiendo de la aplicación seleccionada.

Sistema y diseño de montaje de luminarias para iluminación deportiva.

1er Paso

Determinar la posición de los postes. La posición de los postes va a depender en primera instancia de la forma geométrica del área, y luego del sistema de alumbrado, los Set backs y la cantidad de postes. No obstante, los postes y luminarias deberían colocarse en ciertos lugares donde eviten efectos de deslumbramiento directo en los jugadores

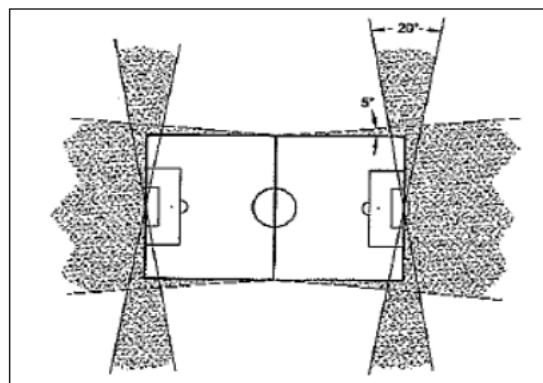


Imagen 22: Colocación de postes debido al efecto de deslumbramiento. (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.105).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

2do Paso

Determinar el número de proyectores por poste. Una vez determinado el número de postes (N_{postes}), “inicialmente” el número de luminarias por poste viene dado al dividir el número de luminarias (N_p) entre el número de postes:

$$N_p \text{ por poste} = \frac{N_p}{N_{postes}} \quad (23)$$

3er Paso

Determinar la orientación y direccionamiento de los proyectores. La orientación y dirección de los proyectores se basa principalmente en la ubicación del haz central del proyector sobre un determinado punto de un área. Los proyectores serán “apuntados” inicialmente siguiendo los pasos indicados a continuación: 1- El área de juego se divide simétricamente en igual número de postes. De este modo, cada poste tendrá la función de iluminar su área adyacente (sub-áreas). 2- Los haces centrales de los proyectores deben tener una inclinación (θ) de 65° con respecto a su vertical. Esto se debe a lo que se asumió en procesos anteriores para la preselección lámpara-luminaria según el NEMA elegido. Habrá ocasiones en donde algunos haces no podrán tener dicha inclinación debido a la geometría del área. Por lo tanto, se deben inclinar de tal forma que se encuentren ubicados dentro del sub-área. 3- Los haces centrales serán orientados de tal manera que abarquen todo el ancho del sub-área formando una especie de “abanico”. Éstos serán separados equidistantemente en grados (γ)

$$\gamma = \frac{\varphi}{N_p \text{ por poste} - 1} \quad (24)$$

Donde=

γ = Ángulo de separación entre los haces centrales.

φ = Ángulo formado entre ambas esquinas del sub-área y el poste.

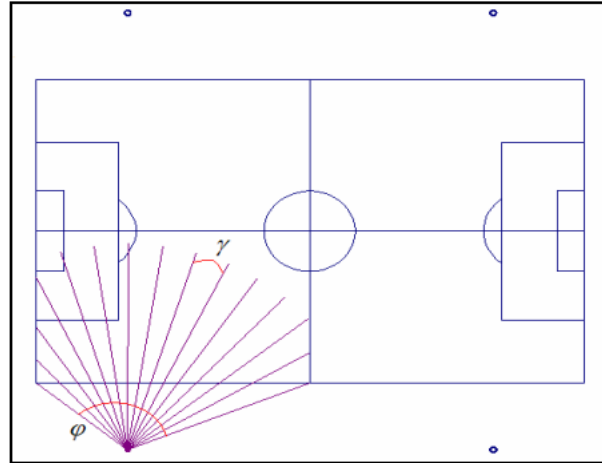


Imagen 23: Ejemplo de la orientación de proyectores y división de las áreas (4 postes). (Roustaiyan, 2007). **Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas (Informe final de pasantía, Tomo I, p.62).** Universidad Simón Bolívar, Coordinación de Ingeniería Eléctrica, Sartenejas.

Una vez tengamos esa información podemos validar los resultados teóricos con los obtenidos en el estudio de iluminación realizado a través del software antes mencionado y que es muy preciso, el cual se ha utilizado anteriormente en la carrera de Ingeniería Electromecánica.

Equipo Por Utilizar:

Medidor Láser:

Este es un instrumento electrónico de medición que calcula la distancia desde dos puntos gracias a un rayo láser. Estos aparatos funcionan según el principio de vuelo: emiten una señal de láser a un objetivo y posteriormente se calcula el tiempo que esta tarda en ir y volver al medidor.

Luxómetro:

Un luxómetro es un instrumento de medición que evalúa la cantidad de luz visible en un lugar particular. Utiliza un sensor fotosensible, como un fotodiodo o una célula fotoeléctrica, para detectar la intensidad de la luz en lux (Unidad de medida en el Sistema Internacional), una unidad de medida que indica la iluminación en relación con un metro cuadrado.

El luxómetro se utiliza en diversas aplicaciones para medir y evaluar la iluminación en diferentes entornos. Su propósito principal es asegurarse de que los niveles de iluminación sean adecuados para garantizar la seguridad, la comodidad y la eficiencia en una variedad de contextos, incluyendo, diseño de iluminación interior y exterior, evaluación de la seguridad en el trabajo, control de la calidad en la industria:

Funciones principales:

Medición de niveles de iluminación: Un luxómetro permite medir la cantidad de luz en lux en una ubicación específica. Esto es esencial para determinar si los niveles de iluminación son adecuados o si es necesario realizar ajustes.

Calibración y ajuste de iluminación: Los luxómetros se utilizan para calibrar y ajustar sistemas de iluminación, como lámparas y luminarias, para garantizar que proporcionen los niveles de iluminación deseados y cumplan con los estándares de seguridad y comodidad.

Cumplimiento de regulaciones y normativas: En entornos industriales y comerciales, los luxómetros se emplean para asegurarse de que se cumplan las normativas de iluminación específicas, lo que puede ser esencial para el cumplimiento de regulaciones de seguridad y bienestar de los trabajadores.



Imagen 24: Referencia Visual de un luxómetro. Mazcr. (s.f.). Aparatos de Medición Portátil Tipo Tester - Luxómetro Digital Testboy TV335 (20-400,000lx). Mazcr. Recuperado de <https://mazcr.com/en/aparatos-de-medicion-portatil-tipo-tester/4406-luxometro-digital-testboy-tv335-20-400000lx.html>

Herramienta de Diseño para Espacios Deportivos

DIALux es una herramienta de diseño de iluminación de vanguardia que revoluciona la planificación de proyectos lumínicos a gran escala. Su versatilidad y funcionalidades lo hacen imprescindible para arquitectos, ingenieros y diseñadores de interiores que desean crear espacios bien iluminados y eficientes energéticamente.

Este software permite diseñar sistemas de iluminación obteniendo únicamente los planos del área y realizando un levantamiento en 3D del recinto a iluminar, lo que brinda una visión detallada de cómo la luz se distribuirá en un entorno específico.

DIALux es especialmente útil para proyectos a gran escala, como complejos industriales, rascacielos, estadios o incluso iluminación urbana. Con el alcance del software podemos asegurarnos el cumplimiento en los niveles de iluminación según la norma INTECO, mediante la colocación de cada luminaria, previamente escogida según las características comentadas, tales como potencia de la luminaria, óptica, grados de protección IP entre otros.

En resumen, DIALux es una herramienta indispensable para diseñar proyectos de iluminación a gran escala, brindando eficiencia energética, belleza y funcionalidad a los espacios. Su capacidad para modelar y visualizar la iluminación en 3D, optimizar el consumo de energía y garantizar el cumplimiento de normativas lo convierte en una elección inteligente para cualquier proyecto de iluminación ambicioso.

Eficiencia Energética

El término eficiencia energética hace referencia a la capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos. Nos permite reducir el consumo de cualquier tipo de energía y con ello los posibles impactos ambientales asociados a ella. Esto es aplicable desde la generación de dicha energía hasta su consumo final.

Con la eficiencia energética tratamos, por tanto, mantener el mismo rendimiento de nuestra actividad, pero incorporando una serie de modelos de gestión sostenibles, hábitos responsables e inversiones en innovación tecnológica.

Potencia Eléctrica:

La potencia eléctrica es un parámetro que nos indica la cantidad de energía eléctrica que es transferida de una fuente generadora a un elemento o dispositivo consumidor por unidad de tiempo y su unidad de medida de medida es el vatio (W) en el Sistema Internacional de Unidades.

El cálculo de la potencia eléctrica se obtiene al tener la carga eléctrica, también conocida como tensión eléctrica, que pasa en un tiempo limitado a través de una diferencia de potencia, denominada intensidad. El resultado, se obtiene al multiplicar la tensión por la intensidad. Generalmente la tensión se pone en Voltios (V) y la Intensidad en Amperios (A).

Consumo eléctrico

El consumo eléctrico es la cantidad de energía consumida en un período determinado de facturación por parte del usuario. El consumo eléctrico se mide en Kilowatts hora (kWh) y son varios factores que influyen en la cantidad de consumo a pagar, dependiendo de la empresa a la cual le contratemos el servicio va a variar el precio. Existen varios tipos de consumidores eléctricos: Industria, servicios y residencial. Esta unidad se usa para calcular el costo de la electricidad y también para determinar el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero que producen los usuarios de electricidad.

Consumo eléctrico pico

También conocida como demanda máxima es el consumo de energía eléctrica más alta que se ha dado en un periodo de tiempo específico. La demanda pico son términos utilizados en la gestión de la demanda de energía que describen un período en el que se espera que se proporcione energía eléctrica durante un período sostenido a un nivel de suministro significativamente superior al promedio. Las fluctuaciones máximas de la demanda pueden ocurrir en los ciclos diarios, mensuales, estacionales y anuales. Para una empresa de servicios eléctricos, el punto real de demanda máxima es un período de media hora u hora que representa el punto más alto de consumo de electricidad de los clientes.

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz establece los siguientes horarios para los diferentes consumos de energía:

Período punta:

Se define como período punta al comprendido entre las 10:01 y las 12:30 horas y entre las 17:31 y las 20:00 horas, exceptuando estas horas registradas los sábados y domingos, exclusivamente para esta tarifa.

Período valle:

Se define como período valle al comprendido entre las 6:01 y las 10:00 horas y entre las 12:31 y las 17:30 horas. Incluye las horas del período punta registradas los sábados y domingos, exclusivamente para esta tarifa.

Período nocturno:

Se define como período nocturno al comprendido entre las 20:01 y las 6:00 horas del día siguiente.

Facturación Eléctrica

La facturación eléctrica es el recibo o justificante en el cual se especifica **nuestro consumo de electricidad y cuánto debemos pagar por él**. Estas facturas se empiezan a emitir desde el instante en que damos de alta la luz y se reciben, generalmente, en el domicilio o a través del correo electrónico. La factura dependerá el tipo de tarifa que tengamos contratada, de la potencia, de si es una tarifa con discriminación horaria o no, de nuestros hábitos energéticos.

Conversión de kWh a dinero

Se debe saber la potencia del equipo (luminarias instaladas), seguido de eso se multiplica por las horas en las cuales se encuentra operando y seguido a eso se multiplica por el costo del kWh que tiene la empresa que brinda el servicio eléctrico, con base en el período de consumo.

Factibilidad

El estudio de factibilidad de cierta manera es un proceso de aproximaciones sucesivas, donde se define el problema por resolver. Para ello se parte de supuestos, pronósticos y estimaciones, por lo que el grado de preparación de la información y su confiabilidad depende de la profundidad con que se realicen tanto los estudios técnicos, como los económicos, financieros, de mercado y otros que se requieran. En cada etapa deben precisarse todos aquellos aspectos y variables que puedan mejorar el proyecto, o sea optimizarlo. Puede suceder que del resultado del trabajo pudiera aconsejarse una revisión del proyecto original, que se postergue su iniciación considerando el momento óptimo de inicio e incluso lo anterior no debe servir de excusa para no evaluar proyectos. Por el contrario, con la preparación y evaluación será posible la reducción de la incertidumbre que provocarían las variaciones de los factores. (*"Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: etapas en su estudio"* en Contribuciones a la Economía, noviembre 2008)

Factibilidad Técnica

Realiza una evaluación del equipo que está disponible y tiene las capacidades técnicas por cada alternativa de diseño que se está considerando. Los estudios de factibilidad técnica también consideran las interfases entre los sistemas actuales y el nuevo.

El objetivo del estudio técnico consiste en analizar y proponer diferentes alternativas de proyecto para producir el bien que se desea, verificando la factibilidad técnica de cada una de las alternativas. A partir del mismo se determinarán los costos de inversión requeridos y los costos de operación que intervienen en el flujo de caja que se realiza en el estudio económico-financiero.

Factibilidad económica

La factibilidad económica se caracteriza por ser el análisis que se realiza para conocer posibles costos e ingresos que se puede obtener durante la implementación de un proyecto y, en definitiva, si es rentable hacerlo. Es un análisis del tipo **costo-beneficio** de un determinado proyecto. Se evalúa el potencial de un posible proyecto para, posteriormente, tomar decisiones en torno a si conviene o no ejecutarlo.

También conocido como análisis de costos, ayuda a identificar la ganancia esperada contra la inversión de un proyecto.

Análisis Financiero

Un análisis financiero es una evaluación detallada de los estados financieros de una empresa o individuo para comprender su salud económica. Involucra el examen de ingresos, gastos, activos y pasivos para determinar la rentabilidad y solidez financiera. Este proceso ayuda a identificar tendencias, riesgos y oportunidades. Los componentes clave incluyen el estado de resultados, balance general y flujo de efectivo. Los analistas financieros utilizan técnicas como razones financieras, proyecciones y comparaciones con estándares de la industria para tomar decisiones informadas sobre inversiones, préstamos o estrategias comerciales. El análisis financiero es fundamental para la gestión financiera efectiva y la toma de decisiones financieras sólidas.

Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es el acrónimo del Valor Actual Neto, también conocido como Valor Presente Neto (VPN). Es uno de los indicadores financieros para valorar y determinar la viabilidad y la rentabilidad de un proyecto de inversión, más conocidos y utilizados. Se determina mediante la actualización de los flujos de gastos e ingresos futuros del proyecto, menos la inversión inicial. Si el resultado de esta operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable. La fórmula utilizada para determinar el VAN es:

$$VAN = \text{Beneficio Neto Actualizado (BNA)} - \text{Inversión Inicial (I)}$$

Ecuación 11. Formula del VAN. Fuente: (Economía3)

Donde el BNA es el valor actualizado del flujo de caja que se obtiene al estipular el valor de venta a futuro y aplicarle una tasa de descuento para actualizar su valor al presente. Es decir, se calcula el valor en que podrías vender en el futuro y le aplicas una tasa de interés inversa para estimar ese valor hoy.

Esta operación nos dará 3 posibles resultados que nos servirán para determinar la viabilidad del proyecto en cuestión:

- **VAN = 0.** Si el resultado es igual a cero (0), se determina que el proyecto no dará ganancias ni pérdidas, o sea, es indiferente.
- **VAN > 0.** Cuando el valor obtenido es mayor a cero (0) se asume que el proyecto será rentable.
- **VAN < 0.** Si el valor obtenido es menor a cero (0) se considera el proyecto no viable.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

TIR o Tasa Interna de Retorno es uno de los métodos de evaluación de proyectos de inversión más recomendables. Se utiliza frecuentemente para analizar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de beneficio o rentabilidad que se puede obtener de dicha inversión. Estrechamente ligado al VAN, el TIR también es definido como el valor de la tasa de descuento que iguala el VAN a cero, para un determinado proyecto de inversión. Su resultado viene expresado en valor porcentual.

Es sumamente confiable cuando la empresa quiere determinar la rentabilidad y viabilidad de un proyecto de inversión. El TIR utiliza el flujo de caja neto proyectado y el monto de la inversión del proyecto. Aunque, esa confiabilidad se ve disminuida si se compara la rentabilidad de dos proyectos diferentes, debido a que no toma en cuenta la variación entre las dimensiones de ambos. En conclusión, TIR es el porcentaje de beneficio o pérdida que se puede obtener de una inversión.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad (25)$$

Ecuación12. Fórmula TIR. Fuente: (economía3).

- Si la TIR es < r se determina que el proyecto debe ser rechazado.

- Si la TIR es $> r$ entonces el proyecto será viable y puede ser aprobado.
- En el caso de que la TIR = 0, el proyecto en principio debe ser rechazado. Es cierto, que desde el punto de vista estratégico puro, se podría decidir invertir, pero a nivel financiero no compensa asumir dicho riesgo.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

La migración de luminarias HID a LED se aborda desde un enfoque cuantitativo para analizar en detalle el ahorro energético y ambiental. Este marco se concentra en aspectos cuantitativos, como la calidad lumínica, potencia, sostenibilidad y factibilidad, para evaluar cómo la transición contribuye a reducir el consumo de energía y minimizar el impacto ambiental.

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Realizar un estudio de iluminación, de las condiciones actuales de la gramilla del Estadio Nacional y de ser necesario plantear un rediseño del sistema, que involucra el reemplazo de la tecnología en halogenuro metálico a LED de modo tal que sea un sistema más eficiente al actual y genere ahorro en diferentes aristas.	Consumo Energético	Kilowatts hora (KW/H)	El consumo eléctrico es la cantidad de energía consumida en un período determinado de facturación por parte del usuario. El consumo eléctrico se mide en Kilowatts hora (kWh) y son varios factores que influyen en la cantidad de consumo por pagar.	Se tabulará en una hoja de cálculo las cifras obtenidas para conocer los consumos actuales versus los obtenidos en la nueva propuesta de iluminación.	Datos obtenidos de las fichas técnicas de las luminarias actuales, y tabulados en hojas de cálculos.

Realizar el inventario de las luminarias instaladas que se encuentran actualmente cumpliendo la función de iluminar la gramilla.	Número de Equipos.	Cantidad	Cantidad de equipos instalados para la obtención del flujo luminoso requerido de acuerdo con la norma.	Se realizará una visita a sitio para determinar la cantidad de equipos que contiene la gramilla del estadio nacional.	Estos datos se tabularán en una hoja de cálculo.
Obtener el consumo actual de las luminarias de halogenuro metálico, conociendo la potencia de estas a través de su hoja de datos.	Potencia	Watt	La potencia eléctrica es la tasa de transferencia de energía eléctrica, medida en Watts, y determina el trabajo realizado por un equipo eléctrico en un período.	Se obtendrá información de la hoja de datos técnica de las luminarias instaladas.	Estos datos se tabularán en una hoja de cálculo.

<p>Determinar el flujo luminoso que requiere el estadio para establecer los parámetros que se necesitan para la selección de la luminaria adecuada en tecnología LED, a través de métodos principales de cálculo como método de lúmenes o punto por punto.</p>	<p>Iluminancia</p>	<p>Lux</p>	<p>Iluminancia o iluminación se define como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie.</p>	<p>Búsqueda en catálogos de diferentes fabricantes, luego se compararán para elegir la opción que más se adapte.</p>	<p>Catálogos de diferentes proveedores de iluminación, para comparar las características de sus equipos.</p>
<p>Elaborar un estudio de iluminación a través del software DI Alux Evo 8.1, para determinar la situación actual versus la propuesta en LED, de manera que podamos obtener la cantidad, potencia y dirección adecuada de las luminarias</p>	<p>Capacidad Lumínica</p>	<p>Lumen</p>	<p>Es una medida de la cantidad total de luz visible emitida por una fuente de luz en todas direcciones. Cuanto más alto sea el número de lúmenes, más brillante será la fuente de luz. Su unidad se representa como (lm).</p>	<p>Se obtendrá información de la hoja de datos de las luminarias instaladas, medición de áreas y alturas de instalación.</p>	<p>-Estos datos se tabularán en hojas de cálculo, para determinar el consumo energético mensual del recinto. -Medidor Láser. -Luxómetro. -DI Alux Evo.</p>

para la nueva propuesta.					
Valorar la propuesta económica de los costos del proyecto con el alcance únicamente de las luminarias mediante cotizaciones y revisión del retorno de inversión para determinar la viabilidad del cambio de tecnología.	VAN, TIR	Dólares, Porcentaje	<p>VAN: El valor actual neto (VAN) nos indica mediante sus ecuaciones si la inversión del proyecto es positiva o es negativa.</p> <p>TIR: es la rentabilidad que ofrece una inversión.</p>	Se tabularán los datos obtenidos para determinar si el proyecto es viable.	Estos datos se tabularán en una hoja de cálculo.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Inventario Actual de Luminarias

Actualmente las instalaciones del Estadio Nacional cuentan con diferentes tecnologías de alumbrado en sus distintas áreas, para nuestro enfoque de estudio se identificó la cantidad de las luminarias pertenecientes a la gramilla del recinto.

Se contabilizaron un total de 476 luminarias, dirigidas hacia el campo de juego y distribuidas equitativamente en 2 partes igual entre los sectores este y oeste de la marca GE LIGHTING modelo ULTRA Sport Floodlight.



Imagen 25: Tipo de luminaria instalada para la iluminación de la gramilla.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Como se puede observar en la imagen tenemos diferentes nomenclaturas, entre ellas soluciones implementadas por el departamento de mantenimiento del Estadio Nacional para llevar una especie de “control” en la vida útil de las luminarias.

Por ejemplo, en esta imagen la referencia que indica “2K” se refiere a la potencia de consumo actual de la luminaria, es decir 2000W, mientras que la etiqueta en cinta corresponde a la fecha del último cambio de bulbo realizado a la luminaria, sin embargo, este último punto se analizará más adelante.

Dentro de la revisión en el conteo de las luminarias, también se debe conocer la distribución de estas hacia el campo de juego, esta es una referencia de la distribución que presentan actualmente.

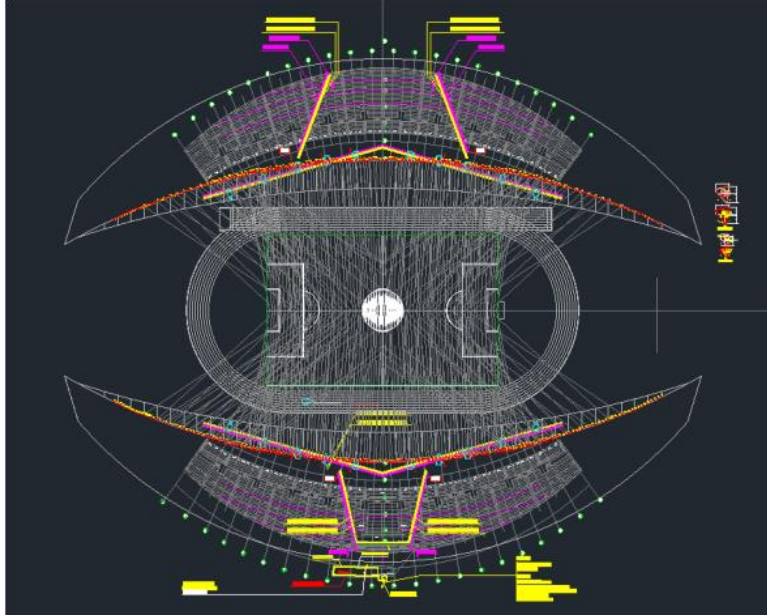


Imagen 26: Configuración de iluminación del Estadio Nacional.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Especificaciones Técnicas

Las luminarias instaladas corresponden a la familia de luminarias tipo proyectores marca GE LIGHTING modelo ULTRA Sport Floodlight. especial para aplicaciones deportivas que involucra muchas variables a tomar en cuenta en su funcionamiento, entre ellas la óptica de difusión dirigida, control de deslumbramiento y balastro de varias aplicaciones, grado de hermeticidad, polvo entre otras variables.

La tecnología utilizada es halogenuro metálico, el cuál es descrito bajo esta marca representativa como “HQI” que hace referencia a la tecnología metal Arc.

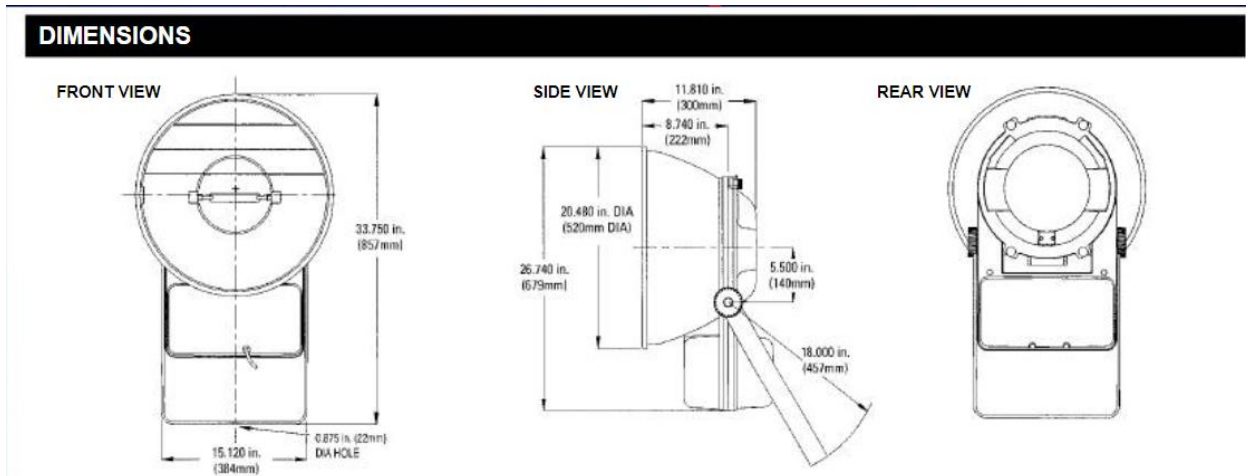


Imagen 27: Dimensiones de la luminaria instalada. General Electric. (s.f.). GE Ultra sport [Manual de usuario].

Recuperado de <https://www.manualslib.com/manual/58003/Ge-Ultrasport.html?page=11#manual>

Fotometría

Estas luminarias cuentan con un bulbo alargado con bases en sus extremos de tipo “pastilla” lo que permite tener un mayor haz de luz a lo interno del reflector y contar con una reflexión interna de 360°, la cual se estima según ficha técnica del fabricante que se obtiene en salida luminosa del 95% de flujo total del bulbo, lo cual se haya como una luminaria bastante eficiente.

<https://www.manualslib.com/manual/58003/Ge-Ultrasport.html?page=7#manual>



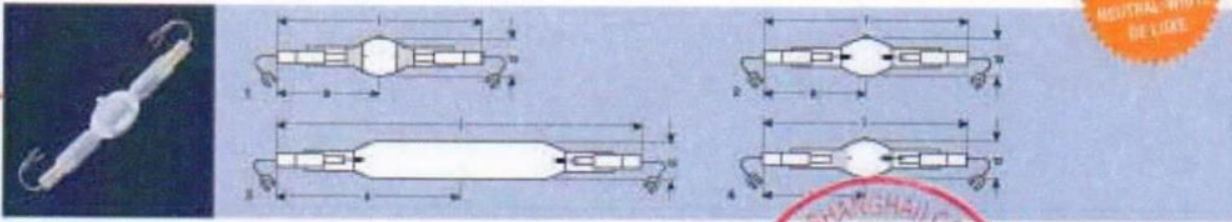
Imagen 28: Tipo de Instalación del bulbo dentro de la luminaria y configuración de la óptica y reflexión de las luminarias instaladas.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Lámpara

La lámpara utilizada, es un bulbo con un diseño de doble extremo, sin bombilla exterior de 2000W en tecnología Halogenuro Metálico. Este modelo cuenta con una vida útil promedio de 6000 horas, tiene una temperatura de color de 5900K y un índice de reproducción de color (IRC) mayor a 65.

Los datos marcados en amarillo corresponden al bulbo instalado en las luminarias de la gramilla del Estadio Nacional desde sus inicios.



POWERSTAR HQI®-TS Short-arc lamp

电压: 400V, 50HZ

Reference	HQI-TS 1000/NDL/S	HQI-TS 1000/D/S	HQI-TS 2000/D/S	HQI-TS 2000/D/S/V	HQI-TS 2000/NDL/S	HQI-TS 2000/NDL/S/V
Wattage	1000 W	1000 W	2000 W	2000 W	2000 W	2000 W
Lamp voltage	120 V	120 V	205 V	205 V	205 V	205 V
Lamp current	9.6 A	9.6 A	11.3 A ¹⁾	11.3 A ¹⁾	11.3 A ¹⁾	11.3 A ¹⁾
Luminous flux	90000 lm	90000 lm	200000 lm	200000 lm	200000 lm	200000 lm
Colour temperature	4400 K	5900 K	5900 K	5900 K	4400 K	4400 K
Colour rendering index	R _a = 85	R _a = 90	R _a = 90 显色指数	R _a = 90	R _a = 85	R _a = 85
Base Cable	Cable	Cable	Cable	Cable	Cable	Cable
Diameter d max.	36 mm	36 mm	36 mm	36 mm	36 mm	36 mm
Length max. L	187 mm	187 mm	187 mm	187 mm	187 mm	187 mm
Insertion length l	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm
Distance a (DCL)	93 mm	93 mm	93 mm	93 mm	93 mm	93 mm
Arc length	32 mm	32 mm	32 mm	32 mm	32 mm	32 mm
Burning position	p 15	p 15/a 15	p 15	a 15 ¹⁾	p 15	a 15 ¹⁾
Average life	6000 h	6000 h	4000 h	6000 h	-	-
Max. perm. outer bulb temp.	950°C	950°C	950°C	950°C	950°C	950°C
Max. pinch temperature	390°C	390°C	390°C	390°C	390°C	390°C
EAN	4050300348910	4050300300892	4050300271882	4050300877232	4008321910196	4008321910202
Standard pack	10	10	10	10	10	10
Fig. number	1	1	2	4	1	4

Imagen 29: Características técnicas de la lámpara instalada.

Fuente: Planos Asbuilt del Estadio Nacional de Costa Rica.

Balastro

Bajo la metodología de consumo que se utiliza para medir estos equipos, se determina el consumo total de la luminaria en operación conjunto con la lámpara y el balastro, en la tabla siguiente se expresa el consumo total teórico según fabricante por luminaria instalada en el Estadio Nacional.

Watts	Line Volts	% Allow-able Line Voltage Variation	Line Operating Line Amperes	Line Watts %	Power Factor	Line Starting Amperes	% Allow-able Line Voltage Dip
2000	208	±10	11.2	2125	90+	10.0	50
*25°C	240		9.5	2115		8.5	
Max	277		8.3	2115		7.2	
Ambient	347		6.6	2122		5.6	
	480		4.8	2132		4.4	
1500	120	±10	14.4	1630	90+	11.2	50
*40°C	208		8.5	1630		6.9	
Max	240		7.3	1630		5.6	
Ambient	277		6.3	1630		4.7	
	347		4.8	1620		3.9	
	480	3.7	1630	2.8			
1000	120	±	9.0	1080	90+	6.6	50
*40°C	208		5.4	1070		4.1	
Max	240		4.8	1080		3.5	
Ambient	237		4.1	1080		2.9	
	347		3.6	1070		2.9	
	480	2.6	1088	1.8			

NOTE: For 50Hz voltages, contact factory.
*See ballast table for wattage limitations.

Imagen 30- General Electric. (s.f.). GE Ultra sport [Manual de usuario]. Recuperado de <https://www.manualslib.com/manual/58003/Ge-Ultraspport.html?page=9#manual>

Esto significa que el balastro en operación aporta 132W de consumo adicional al ya obtenido por la lámpara, a un voltaje de 480V.

Niveles de Iluminación Requeridos

Según la tabla VIII (Niveles de Iluminación determinados por IESNA) y la información dada en la imagen 28 nos damos cuenta de que el nivel de iluminación ofrecido E_{med} es de 3682 lux, lo cuál nos lleva a analizar los niveles mínimos requeridos según la FIFA (Federación Internacional de Fútbol Asociación)

Para FIFA, el alumbrado de un campo de fútbol debe obedecer a las necesidades de los medios audiovisuales, los espectadores, los profesionales que practican este deporte y los árbitros. Luego, en función de si el partido es nacional o internacional y si es televisado o no, se aportan ciertas restricciones lumínicas.

Existen diferentes clases y parámetros diferenciales entre los campos de exterior y de interior.

Los principales tipos de iluminación en campos exteriores y sus características requeridas son:

- **Clase III:** Uso recreativo ($E_m \geq 75$ Lux / Uniformidad ≥ 0.5). Entrenamientos y juegos recreativos no televisados. Se recomienda un mínimo de 4 postes con luminarias.
- **Clase II:** Competiciones regionales ($E_m \geq 200$ Lux / Uniformidad ≥ 0.6). Partidos no televisados. Mínimo de 6 postes de luz.
- **Clase I:** Competiciones nacionales ($E_m \geq 500$ Lux / Uniformidad ≥ 0.7). Cuando el partido es televisado, se precisa la ausencia total de sombras.
- **FIFA:** Eventos televisados ($E_m \geq 2500-3500$ lux / Uniformidad ≥ 0.7). En los grandes eventos internacionales televisados de la FIFA, no debe haber sombras.

Se debe tomar en cuenta que estos valores de iluminación corresponden a valores ponderados, lo que quiere decir que para llegar a ellos debemos obtener niveles de iluminación mayores en distintos puntos del área que estamos analizando para llegar a los promedios que requiere FIFA.

La situación actual que sufren las luminarias del Estadio Nacional y su uniformidad durante la operación de estas precisa un NO cumplimiento de los valores establecidos en la norma que explicaremos más adelante, y con la cuál a través de los años se ha disminuido considerablemente.

Esto se debe a que existe un reemplazo de las lámparas una vez que caducan, lo cual origina que haya flujos luminosos distintos entre las luminarias ya que no se cambian todas a la vez, entonces se origina un no uniformidad en el área.

Niveles de Iluminación en planos Asbuilt Estadio Nacional

A continuación, se presenta los niveles de iluminación entregados una vez inaugurado el Estadio Nacional de Costa Rica.

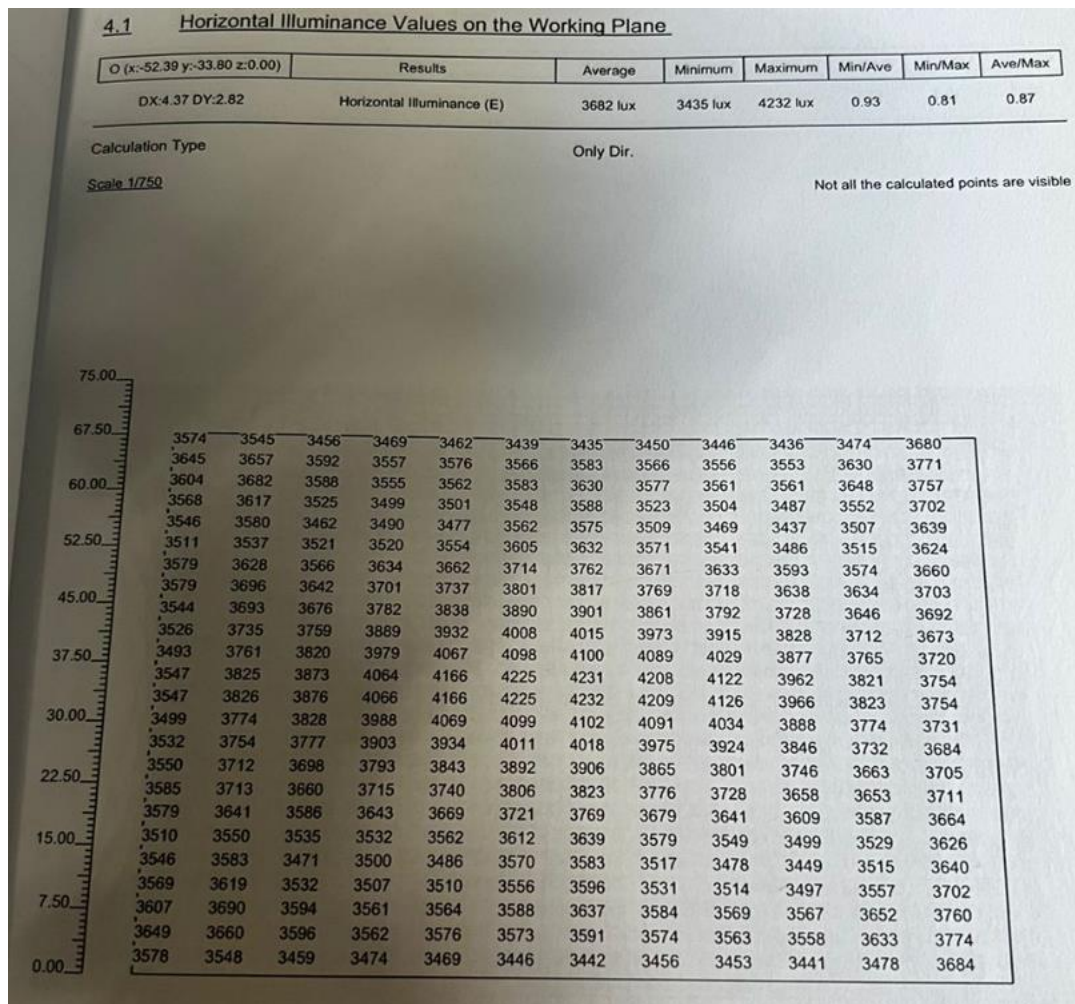


Imagen 31: Niveles de Iluminación de la gramilla del Estadio Nacional.

Fuente: Planos Asbuilt del Estadio Nacional de Costa Rica.

Con este nivel de iluminación promedio propuesto al inicio de la construcción del Estadio Nacional se determinará teóricamente la cantidad de proyectores necesarios, según tablas y criterios técnicos antes comentados.

Método de lúmenes para iluminación de exteriores empleando proyectores (Método del Lumen del Haz) Situación Actual

1. Datos de entrada:

Dimensiones del área: Con base en la información obtenida en los planos se determinó el área principal de juego, las cuáles son:

Ancho del PPA= 68m; Largo del PPA= 105m; Área (PPA) = 7140 m_2

Altura del plano de trabajo: La iluminancia es tomada a 1m de la altura del campo.

Nivel de Iluminancia: Según el nivel de $E_{med} \geq 2500-3500lx$, para este caso se utilizan los 3682 *lux*. (Ver imagen 28)

2. Elección del sistema de alumbrado en iluminación deportiva (exterior).

Sistema de alumbrado lateral: Alcance del trabajo según estructura actual del Estadio Nacional.

3. Elección de las fuentes luminosas para áreas deportivas:

Partimos del modelo instalado actualmente.

GE Ultra Sport Light						
Lámpara	Flujo Luminoso lm	Potencia (W)	Temp. De Color (K)	lm/W	IRC	Vida útil
Halogenuro Metálico	200000 lm	2000W	5900 K	93,81	65 +	6000 h

Tabla XI: Especificaciones Técnicas del modelo actual.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Diseño detallado:

1. Establecer la altura de montaje:

Para este caso partimos de la estructura actual del recinto, sin embargo, comprobamos que la misma esté dentro de los parámetros establecidos que eviten el efecto del deslumbramiento. (ver imagen 15).

A partir de la ecuación 11 y los datos de la estructura física del recinto podemos hallar las siguientes variables:

El ángulo mínimo debe ser 20° cuando la dirección de los ojos de dicho jugador esté en (PPA).

$$\tan(x) = \frac{H_{\text{mínima}}}{\left(\frac{\text{Ancho}}{2}\right) + sb_{\text{mínima}}} > \tan(x) = \frac{58 \text{ m}}{\left(\frac{68}{2}\right) + 41 \text{ m}} > \tan(x) = 0,77$$

$$(x) = \tan^{-1}(0,77)$$

$$(x) = 37,59^\circ$$

El ángulo mínimo debe ser 75° cuando la dirección de los ojos de dicho jugador esté en el área delimitada set back.

$$\tan(x) = \frac{H_{\text{mínima}}}{sb_{\text{mínima}}} > \tan(x) = \frac{58 \text{ m}}{41 \text{ m}} > \tan(x) = 1,41$$

$$(x) = \tan^{-1}(1,41)$$

$$(x) = 54,65^\circ$$

2. Selección Preliminar del equipo (lámpara-luminaria):

Con base a la imagen 16, y la altura de instalación de las luminarias (58 m), confirmamos el consumo de potencia por luminaria establecido, lo cual quiere decir que debe ser un consumo superior a 1000W.

Cálculo de la fotometría, aplicable para el modelo actual y el propuesto en tecnología LED, a partir de la ecuación (12-139).

$$x = \frac{58}{\text{Tag}(37,59)} - 41 > x = 34,34$$

$$dp = \sqrt{(41 + 34,34)^2 + 58^2} > dp = 95,07 \text{ m}$$

De acuerdo con la distancia de proyección obtenida se obtiene una clasificación de óptica como haz estrecho, es decir NEMA 1. (Ver tabla VI-VII)

3. Cálculo de número de proyectores:

Para determinar la cantidad de proyectores necesarios debemos determinar *el coeficiente de utilización (CBU)* este dato de acuerdo con el tipo de deporte se encuentra establecido en los conceptos de proyectores dados por los fabricantes. (Ver imagen 19)

De esta manera obtenemos un $CBU = 0,60$. En caso de no contar con este dato debemos seguir los pasos del método del lúmen del haz, específicamente en las ecuaciones (16-17-18).

Luego se determina el *factor del campo (FF)* a partir de la ecuación (19), dando como resultado:

$$FF = \frac{W}{\sqrt{H^2 + SB^2}} = FF = \frac{105}{\sqrt{58^2 + 41^2}} = 1,47$$

A partir de la tabla 10, se determina el *factor de ajustamiento (AAF)* siendo igual a 0,75.

Con esto determinamos el CBU^* a partir de la ecuación 20:

$$CBU = CBU^* * AAF > CBU^* = \frac{CBU}{AAF} > CBU^* = \frac{0,60}{0,75} = 0,80$$

El *factor de mantenimiento (fm)* se determina a partir de dos factores parciales, que son: *depreciación del flujo de la lámpara (FDF)* y *depreciación de la luminria (FDS)*.

A partir de la ecuación 21 se obtiene:

$$f_m = (FDF * FDS)$$

Para una luminaria cerrada como la GE ULTRA Sport Floodlight y con la consideración de estar situada en un ambiente sucio (expuesto al aire libre, bajo lluvia, insectos, humo vehicular), y tomando en cuenta la realidad del Estadio Nacional y su limitante con las tareas de mantenimiento realizadas a los equipos de iluminación, según la tabla VII el factor a considerar es de: $FDS = 0,83$.

La *depreciación del flujo de la lámpara (FDF)*, así como otros componentes internos (balastro), después de un periodo considerable de la instalación, es decir más de 12 años, en dónde existen luminarias con eficiencias distintas, debido al cambio no simultáneo de los bulbos una vez que se dañan, instalación de bulbos de diferentes marcas (ver imagen 29), luminarias sin encender, luminarias sin reflector entre otras características precisa un *factor de mantenimiento (fm)* bastante incierto.



Imagen 32: Repuestos de lámparas para la gramilla del Estadio Nacional.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Es importante mencionar que el nivel de iluminancia medio dado una vez inaugurado el Estadio Nacional es el nivel propuesto después de un tiempo considerable de funcionamiento, por lo general las propuestas de iluminación brindan los niveles de iluminación obtenidos después de un período de 5 años, con lo cual se contemplan los factores de mantenimiento más críticos.

A partir de la ecuación 22 el obtiene el (f_m):

$$N_p = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\varphi_{haz} * CBU * f_m} > 476 = \frac{3682 * 105 * 68}{200000 * 0.60 * f_m} > f_m = \frac{3682 * 105 * 68}{200000 * 0.60 * 476} = 0,46$$

Obteniendo f_m , sustituimos en la ecuación 21 y obtenemos FDF:

$$f_m = (FDF * FDS) > 0,46 = (FDF * 0,83) > FDF = \left(\frac{0,46}{0,83}\right) = 0,55$$

Método de lúmenes para iluminación de exteriores empleando proyectores (Método del Lumen del Haz) Propuesta LED

1. Datos de entrada:

Dimensiones del área: Con base en la información obtenida en los planos se determinó el área principal de juego, las cuáles son:

Ancho del PPA= 68m; Largo del PPA= 105m; Área (PPA) = 7140 m_2

Altura del plano de trabajo: La iluminancia es tomada a 1m de la altura del campo.

Nivel de Iluminancia: Según el nivel de $E_{med} \geq 2500-3500lx$, para este caso se utilizan 3250 lux , según la norma FIFA.

2. Elección del sistema de alumbrado en iluminación deportiva (exterior).

Sistema de alumbrado lateral: Alcance del trabajo según estructura actual del Estadio Nacional.

3. Elección de las fuentes luminosas para áreas deportivas:

En este caso consideramos que las lámparas más aptas para este proyecto son en tecnología LED.

Diseño detallado:

1. Selección Preliminar del equipo (lámpara-luminaria):

Según el catálogo de “Phillips Lighting” (año 2023), la línea de luminarias para esta aplicación son los proyectores Arena Visión LED gen3.5.

Se consideraron los aspectos físicos y constructivos de la luminaria para el grado de protección, estas serán colocadas a gran altura y expuestas a la intemperie, por lo cual se deben clasificar como IP-66 (ver tablas III y IV).

2. Establecer la altura de montaje:

Partimos de la altura actual de las luminarias en el recinto, sin embargo, con esta información logramos determinar el tipo de proyección que debe tener nuestra luminaria, a partir de la ecuación (12-13).

$$x = \frac{58}{\text{Tag}(37,59)} - 41 > x = 34,34$$

$$dp = \sqrt{(41 + 34,34)^2 + 58^2} > dp = 95,07 \text{ m}$$

De acuerdo con la distancia de proyección obtenida se obtiene una clasificación de óptica como haz estrecho, es decir NEMA 1. (ver tabla VI-VII), igual al obtenido para la Situación Actual.

3. Cálculo de número de proyectores:

Una vez obtenido *el coeficiente de utilización (CBU)* de acuerdo con el tipo de deporte se obtiene un $CBU = 0,60$.

Luego se determina al igual que en la situación actual el *factor del campo (FF)* a partir de la ecuación (19), dando como resultado:

$$FF = \frac{W}{\sqrt{H^2 + SB^2}} = FF = \frac{105}{\sqrt{58^2 + 41^2}} = 1,47$$

Estos valores se mantienen, puesto que estamos partiendo de las mismas dimensiones y condiciones actuales del Estadio Nacional, importante mencionar que la propuesta se llevará a cabo bajo la metodología de reemplazo uno a uno, esto conlleva a no modificar la instalación eléctrica actual, lo cual nos provoca encarecimiento del proyecto y a su vez la arquitectura de este nos dificulta poder modificar o colocar un equipo (luminaria) en una posición distinta. (Ver imagen 30)



Imagen 33: El ajuste o realineamiento de la mayoría de estas luminarias provocaría el bloqueo de las vigas de la estructura del techo.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Como lo mencionamos anteriormente, el *factor de mantenimiento* (f_m) se determina a partir de dos factores: *depreciación del flujo de la lámpara* (FDF) y *depreciación de la luminaria* (FDS).

A partir de la ecuación 21 se obtiene:

$$f_m = (FDF * FDS)$$

Para la luminaria escogida y con la misma consideración de estar situada en un ambiente sucio (expuesto al aire libre, bajo lluvia, insectos, humo vehicular), según la tabla VII el factor a considerar es de: $FDS = 0,93$.

La *depreciación del flujo de la lámpara* (FDF), en este caso al tratarse de una tecnología mucho más eficiente, explicada anteriormente y con un menor número de elementos internos para operar, de acuerdo con la información del fabricante, su

mantenimiento lumínico con una vida útil media de 50,000 h se rige bajo la norma L70, lo que indica que su flujo luminoso después de estas horas de consumo caerá a un 80% de su flujo inicial.

Por lo tanto, se obtiene:

$$f_m = (0.80 * 0.93) = 0,744$$

A partir de la ecuación 22 obtenemos el flujo luminoso mínimo requerido para el modelo LED (φ_{haz}):

$$N_p = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\varphi_{haz} * CBU * f_m} > 476 = \frac{3250 * 105 * 68}{\varphi_{haz} * 0,60 * 0,67} > \varphi_{haz} = \frac{3250 * 105 * 68}{476 * 0,60 * 0,744} = 109,206 \text{ lm}$$

El φ_{haz} obtenido contempla la *depreciación del flujo de la lámpara (FDF)* establecido en 0,80. Por lo tanto el (φ_{haz}) sin castigo por el factor de mantenimiento mínimo que debemos buscar del lado del fabricante es:

$$\varphi_{haz} = \frac{108,333}{0,80} = 135,416 \text{ lm}$$

Con respecto a estos resultados, volvemos a la ficha técnica del fabricante para escoger el modelo óptimo que cumpla con las características obtenidas.

Entre ellos se contempla:

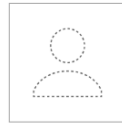
- Aplicación de la luminaria: Deportiva.
- Tipo de NEMA: 10°-18°.
- Flujo luminoso: 135,416 lm.

Según el catálogo de Phillips Lighting y Sylvania, dentro de las luminarias clasificadas según todos los criterios antes mencionados, las dos luminarias más aptas para este proyecto son:

Arena Vision LED Gen3.5						
Lámpara	Flujo Luminoso (lm)	Potencia (W)	Temp. De Color (K)	lm/W	IRC	Vida útil
LED Module 172000LM	151360 LM	1010W	5700K	149.86	70 +	100000 h

Product data sheet

Not yet a DIALux member - LED SYLFLOOD 960W CW 15D



P	979.8 W
Φ_{Lamp}	142080 lm
$\Phi_{Luminaire}$	142028 lm
η	99.96 %
Luminous efficacy	145.0 lm/W
CCT	3000 K

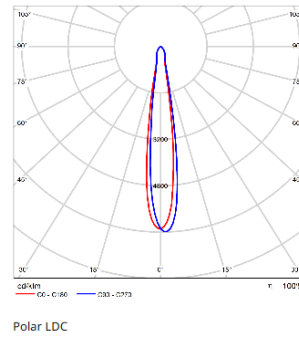


Imagen 34-35: Curvas Fotométricas de Luminarias Utilizadas en el Software DI Alux Evo.

Fuente: Elaboración propia (2024).

- **Colocación de luminarias: 476 unidades.**

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P
476	Philips		BVP425 OUT T15 S4	1010.0 W
pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P
476	Not yet a DIALux member		LED SYLFLOOD 960W CW 15D	979.8 W

Imagen 36: Cantidad de Luminarias Utilizadas en el Software DI Alux Evo.

Fuente: Elaboración propia (2024).

- **Niveles de Iluminación:**

Realizando el estudio de iluminación a través del software con los parámetros obtenidos en los pasos anteriores, se determinó el tipo de luminaria a utilizar para alcanzar el nivel propuesto. Notamos que el NEMA es muy importante dentro del ángulo del haz de luz de las luminarias y los niveles de iluminación alcanzaron muy por cerca los niveles requeridos. Es importante destacar que se deben ajustar en el software con más detalle los “puntos mínimos”, colocando la proyección del reflector hacia el punto de interés, esto en caso de mejorar aún más la uniformidad del recinto.

Este procedimiento se repitió hasta alcanzar los niveles de iluminación deseados en el PPA y mantener los factores de uniformidad dentro de los límites. Estos fueron los resultados finales:

Phillips Lighting:

Calculation surfaces

Properties	\bar{E}	E_{min}	E_{max}
Calculation surface 1 Perpendicular illuminance Height: 0.800 m	3626 lx	1743 lx	5978 lx

Feilo Sylvania S.A.:

Calculation surfaces

Properties	\bar{E}	E_{min}	E_{max}
Calculation surface 1 Perpendicular illuminance Height: 0.800 m	3176 lx	1798 lx	4794 lx

Imagen 36-37: Iluminancias Promedios obtenidas en el Software DI Alux Evo.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Los resultados obtenidos son contemplando el factor de mantenimiento obtenido a partir de la ecuación 21, lo que significa que estos niveles de Luminancia Promedio serán los obtenidos después de un periodo considerable de tiempo de instaladas las luminarias, es decir cuándo estas lleguen a una vida media de 50 000h, por lo que, al realizarse el cambio de estas, el recinto tendrá un nivel de iluminancia promedio mayor.

- **Luminaria por elegir:**

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos observar que ambos modelos cumplen con las necesidades específicas de la propuesta, sin embargo, debemos inclinar la escogencia de la propuesta hacia un modelo específico, en este caso observamos que tanto la eficiencia, vida útil e iluminancia obtenido son sumamente similares.

Nos basamos en la escogencia del modelo mediante dos variables:

1. Certificación.

2. Costo.

Se determina para el modelo **Arena Visión LED Gen3.5** dentro de su hoja de datos las siguientes certificaciones, todas basadas en normativas europeas:

CE (Conformidad Europea): Indica que el producto cumple con los requisitos esenciales de seguridad, salud y medio ambiente establecidos por la legislación de la Unión Europea.

ENE (European Norms Electrical Certification): Es una marca de certificación para productos eléctricos y electrónicos que cumple con las normas europeas. Esta marca es emitida por organismos de certificación reconocidos y garantiza que el producto ha sido evaluado y cumple con los estándares europeos aplicables.

VDE-Ball: Significa que el producto ha sido sometido a pruebas específicas, como pruebas de impacto de esfera, para garantizar su resistencia y seguridad en determinadas condiciones.

Para el modelo **LED SYLFLOOD 960W CW 15°** dentro de su hoja de datos y certificación brindada por el fabricante se obtiene:

NOM (Norma Oficial Mexicana): Este tipo de certificación garantiza que el producto ha sido evaluado y cumple con los criterios de seguridad, calidad y eficiencia energética establecidos por las autoridades mexicanas.

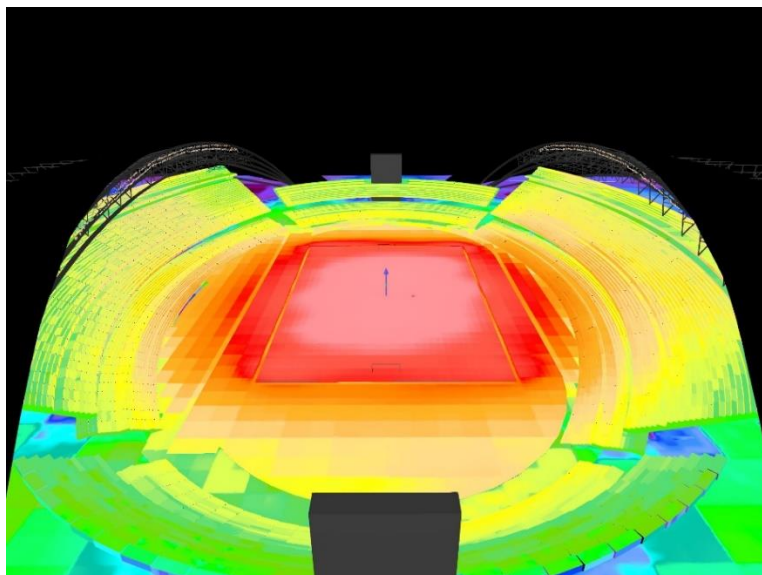
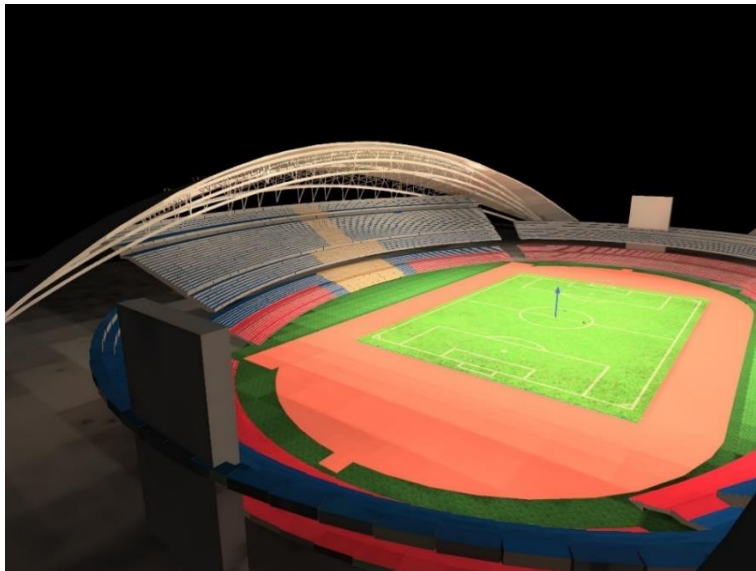
Para efecto del modelo **LED SYLFLOOD 960W CW 15°** esta certificación comprende:

- **Seguridad Eléctrica.**
- **Eficiencia Energética.**
- **Cumplimiento de normas para ambientes deportivos.**
- **Marcado y Etiquetado.**

Un hallazgo que se tienen en este tipo de luminarias es que no se logró encontrar en las fichas técnicas oficiales qué elementos para seguridad humana cumplen estas luminarias. La información dada por los fabricantes es limitada. Siendo así hay un tiempo reducido en el desarrollo de la presente tesis para investigar más a detalle con entes certificadores lo que comprende cada una de estas luminarias.

Basado en esto, al no tener un criterio técnico de certificación para aceptar un modelo o el otro la selección definitiva de los equipos lo determinaremos en base a su costo, ya que las diferencias de consumo, eficiencia, tiempo de entrega y certificación son mínimas.

La diferencia en costo del modelo **Arena Visión LED Gen3.5** con respecto al modelo **LED SYLFLOOD 960W CW 15°** es de un 72% por arriba. Un dato importante es la comercialización de los equipos, el modelo **Arena Visión LED Gen3.5** pasa por al menos 3 distribuidores para contar con la comercialización en Costa Rica, mientras que el modelo **LED SYLFLOOD 960W CW 15°** se importa directamente de China sin pasar por una cadena de intermediarios.



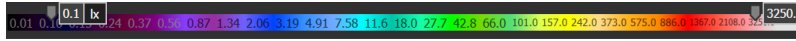


Imagen 38: Simulación en DI Alux Evo 8.1 con luminaria Sylvania.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Análisis Financiero

A partir del análisis financiero debemos de tomar en cuenta varias variables para determinar si el proyecto es rentable o no. Primeramente, analizamos el funcionamiento de la iluminación en la gramilla del Estadio Nacional, estas a partir de la generación eléctrica de dos plantas de 1 Mega Watt cada una dan alimentación a la iluminación de la gramilla.

Tomamos registro de una base de datos de 3 años, con la cantidad de eventos, horas de utilización de cada una de las plantas y consumo en litros de Diésel para determinar el consumo en Kw/h de la situación actual y valorar el ahorro en consumo con la propuesta en tecnología LED.

Ahora bien, es importante mencionar diferentes aspectos que tomaremos en cuenta para el análisis financiero, entre ellos.

1. La relación de consumo que tendrían al implementar la nueva tecnología led con la red eléctrica de tarifa media tensión (TMT).
2. El consumo que tendrían con la nueva tecnología a partir de la alimentación por plantas eléctricas.
3. Factores adicionales en gastos de mantenimiento que inicialmente no se tienen contemplados como consumos.

Para la realización de esta inversión se solicitó una cotización a la empresa I.E.S.A. Sonepark, distribuidor eléctrico en Costa Rica y proveedor autorizado para los productos que comercializa Feilo Sylvania S.A.

Eventos	Planta 1	Planta 2	Eventos	Planta 1	Planta 2	Eventos	Planta 1	Planta 2
2021	Horas Planta 1	Horas Planta 2	2022	Horas Planta 1	Horas Planta 2	2023	Horas Planta 1	Horas Planta 2
1	5,5	5,5	1	7	7	1	7	7
2	5	5	2	5	5	2	10	18
3	5	5,2	3	4	4	3	5,5	5,5
4	5	6	4	4,5	4,5	4	16	9
5	5,5	6	5	7,5	7,5	5	12	4
6			6	6	6	6	17	25
7	2	2	7	8	8	7	11	17
8	6	6	8	9	9	8	9	9
9	5	5	9	67	60	9	0	19
10	5,5	5,5	10	24	33,5	10	6	6
11	10	10	11	8	8	11	0	0
12	6,5	6,5	12	9	9	12	4,5	14
13	7	8	13	9	9	13	19	10
14	9,5	9,5	14	6	6	14	6	6
15	4	4	15	18	15	15	7	7
16	5,5	5,5	16	6	6	16	10	21
17	7,5	7,5	17	6	6	17	12	4
18	5	5	18	12	6	18	7	7
19	3,5	3,5	19	7	7	19	1	12
20	8	8	20	5	5	20	2	0
21	7	7	21	126	144	21	10	30
22	4	12	22	12	3	22	8	8
23	10	0	23	5	17	23	41	31
Total Horas	132	132,7	24	8	8	Total Horas	221	269,5
25			25	5	5			
26			26	12	10			
27			27	7	18			
28			28	17	24			
29			29	8	8			
30			30	8	17			
31			31	16	18			
32			32	12	0			
33			33	11	11			
34			34	15	5			
35			35	0	50			
36			36	10	27			
Total Horas			500	586,5				

Tabla XIV: Cantidad de horas de utilización para las plantas 1 y 2 del Estadio Nacional.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Año	Horas
2021	264,7
2022	1086,5
2023	490,5
Total	1841,7
Promedio Anual	613,9
Promedio Mensual	51,16

Tabla XV: Resumen de horas Promedios

Fuente: Elaboración propia (2024).

Gastos Kw/h Diésel

También se recopiló información el consumo de diésel que experimentaron las plantas con base a la cantidad de horas de uso en estos tres años, según información dada por la gerencia de mantenimiento del Estadio Nacional.

Con base a esta recopilación de información se obtiene el consumo de diésel por año y monto final ponderado en litros de diésel y colones. Se toma el costo del diésel de <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/>

Consumo de DIESEL				
Año	CONSUMO LITROS Anual		Monto Anual	Promedio Mensual
2021	27996	₡	17 049 564,00	₡ 1 420 797,00
2022	98684	₡	60 098 556,00	₡ 5 008 213,00
2023	40386	₡	24 595 074,00	₡ 2 049 589,50
Promedio	55688,66667	₡	33 914 398,00	₡ 2 826 199,83

Tabla XVI: Consumo de diésel anual por litros y colones.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Para el año 2022 se ve un aumento considerable en los consumos, esto se debe al Mundial Femenino de Fútbol que se impartió en ese año respectivo.

A partir de esta información podemos determinar el consumo energético en KW/h que se obtuvo, para lo siguiente se contemplaron las respuestas dadas por el departamento de mantenimiento del Estadio Nacional

- ¿Capacidad de las plantas? 1MW
- ¿Generación en KW de cada una de las plantas cuándo operan? 65%
- ¿Funciona como un sistema redundante? Sí

La generación completa de las plantas es de 1300Kw, contemplando el uso de estas a un 65% nos da 650Kw cada una.

Tomando en cuenta la tabla de “Resumen de Horas Anuales” y los Kw generados por las plantas obtenemos los Kw/h de consumo anuales y mensuales.

Consumo Energético		
Consumo Plantas Generadoras	1300	Kw
Consumo Anual	798070	Kw/h
Consumo Mensual	66505,8	Kw/h

Tabla XVII: Consumo energético de plantas generadoras en Kw/h.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Sumado a los costos contemplados por utilización de las plantas generadoras, se contempla también los gastos generados por mantenimiento.

Gastos Anuales por Mantenimiento Plantas Generador	Monto
Mantenimiento Predictivo	₺ 3 390 000,00
Mantenimiento Tanques de Diésel	₺ 2 034 000,00
Mantenimiento Correctivo	₺ 4 000 000,00

Tabla XVIII: Costos por mantenimientos a plantas generadoras.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Recopilando la información de las diversas tablas antes mostradas, se pretende obtener el costo Kw/h reflejado en el Estadio Nacional, contemplando diferentes variables, a continuación, se muestra el resumen:

Gastos Anuales Plantas Generadora	Monto
Consumo Diésel	₺ 33 914 398,00
Mantenimiento Predictivo	₺ 3 390 000,00
Mantenimiento Tanques de Diésel	₺ 2 034 000,00
Mantenimiento Correctivo	₺ 4 000 000,00
Total	₺ 43 338 398,00
Costo Kw/h Diésel	₺ 54,30

Tabla XIX: Costo Kw/h para consumo de Diésel.

Fuente: Elaboración propia (2024).

El costo Kw/h Diésel se obtiene dividiendo el Total de gastos entre el consumo Energético anual, lo cual nos brinda un estimado más preciso del costo Kw/h que se tiene al utilizar las plantas generadoras.

La información sobre los costos de mantenimientos fue dada por la gerencia de mantenimiento del Estadio Nacional.

Gastos Kw/h Red Eléctrica

Evaluando la misma cantidad de horas de utilización de las plantas generadoras, pero ahora utilizando el costo de Kw/h que brinda la CNFL para la tarifa TMT (Media Tensión) y contemplando a su vez los gastos por mantenimiento predictivo y correctivo los cuáles se obtuvieron bajo el siguiente análisis:

Tomando en cuenta los costos actuales relacionados con las horas de consumo, determinamos que para cada hora de uso se tiene un costo promedio estimado tanto en mantenimiento predictivo como correctivo.

La metodología fue contactar a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz para tener el dato de cuántos cortes de corriente o salidas de servicio en horas al año han tenido en el sector de la Sabana, y con esto estimar el mantenimiento predictivo y correctivo que tendrían las plantas generadoras al utilizarlas ya no como consumo al 100% si no solamente en las salidas de servicio.

Mantenimiento	Costo Total Anual	Costo x hrs de Utilización
Mantenimiento Predictivo	₡ 3 390 000,00	₡ 5 522,07
Mantenimiento Tanques de Diésel	₡ 2 034 000,00	₡ 3 313,24
Mantenimiento Correctivo	₡ 4 000 000,00	₡ 6 515,72

Tabla XX: Costos de Mantenimiento por Kw/h.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Logramos recopilar la información, la cual nos fue brindada y se muestra que, en un periodo comprendido de 3 años, del 2020 al 2023 el medidor Sub-Anonos Sabana, el cuál abastece de energía el Estadio Nacional han tenido una cantidad de 763 incidentes los cuáles suman 20 segundos continuos de salida de servicio, también se promedia según la tabla de abajo que la mayor cantidad de incidentes están comprendidos entre los 0.01 s y 1s.

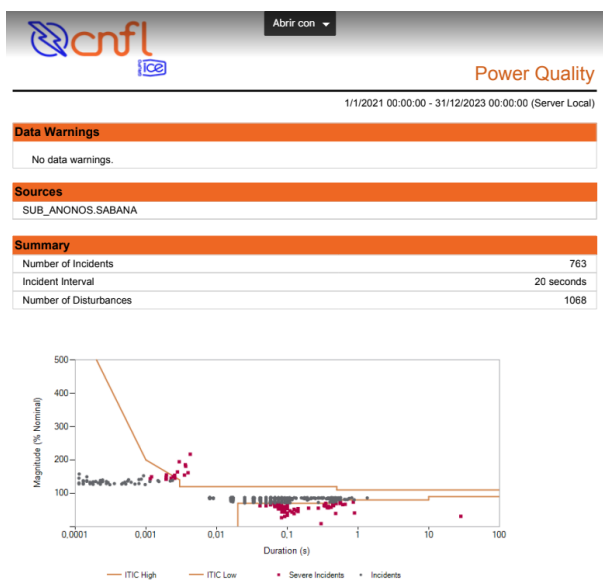


Imagen 39: Calidad de Energía abastecida al Estadio Nacional. SUB_ANONOS.SABANA. (2024). Number of Disturbances 1068 [Datos de perturbaciones]. Recuperado de [Compañía Nacional de Fuerza y Luz].

Considerando las salidas de servicio como tiempos en los cuáles las plantas entrarían en operación, determinamos los costos por mantenimiento según la metodología explicada en la pág. 105.

Mantenimiento	Horas de Salida de Servicio	Costo Hrs Servicio
Mantenimiento Predictivo	0,0055	₡ 30,37
Mantenimiento Tanques de Diésel	0,0055	₡ 18,22
Mantenimiento Correctivo	0,0055	₡ 35,84

Tabla XXI: Costos de Mantenimiento estimado para consumo en red Eléctrica.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Siendo así, obtenemos el costo Kw/h estimado de la red eléctrica reflejado en el Estadio Nacional, contemplando diferentes variables, a continuación, se muestra el resumen:

Gastos Anuales Red Eléctrica	Monto
Consumo Energético	₡ 36 711 220,00
Mantenimiento Predictivo	₡ 30,37
Mantenimiento Tanques de Diésel	₡ 18,22
Mantenimiento Correctivo	₡ 35,84
Total	₡ 36 711 304,43
Costo Kw/h Red Eléctrica	₡ 46,00

Tabla XXII: Costo Kw/h para consumo en red Eléctrica.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Retorno de Inversión

La inversión del proyecto, tomando en cuenta la cotización enviada por Feilo Sylvania para el suministro de luminarias, y la instalación de estas ofertada por la compañía electromecánica Materiales Electromecánicos Padilla S.A (MATELPA) es el siguiente, el tipo de cambio del dólar se estimó en ₡515.

Inversión Total	
Suministro Equipos	₡ 178 848 908,00
Instalación	₡ 18 552 100,00
Impuesto	₡ 25 662 131,04
Total	₡ 204 511 039,04
Total \$	\$397 108,81

Tabla XXIII: Inversión Total del Proyecto.

Fuente: Elaboración propia (2024).

A continuación, se presentan los consumos para cada tecnología, y su retorno de inversión con el consumo a la red eléctrica o manteniéndolo a través de las plantas generadoras.

Luminarias Actuales			
Cant	Descripción	Watts*Luminaria	Total de Watts
Gramilla Estadio Nacional Costa Rica			
476	GE Ultra Sport Light	2132	1 014 832
		Total KW	1 014,83
Propuesta (LED)			
Cant	Descripción	Watts*Luminaria	Total de Watts
Gramilla Estadio Nacional Costa Rica			
476	LED SYLFLOOD 960W CW 15°	960	456 960
		Total KW	456,96

Tabla XXIV: Consumos según tecnologías de Iluminación.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Costo Diésel a Red Eléctrica			Costo Diésel a Diésel		
KW	Situación Actual	Propuesta LED	KW	Situación Actual	Propuesta LED
KW Totales Anual Promedio de 3 años	798 070,00	358 333,43	KW Totales Anual Promedio de 3 años	798 070,00	358 333,43
Horas de uso Mensual Promedio de 3 años	51,16	51,16	Horas de uso Mensual Promedio de 3 años	51,16	51,16
KWH Mensual(30 días)	66 505,83	29 861,12	KWH Mensual(30 días)	66 505,83	29 861,12
Costo de la Luz Mensual TMT	7 066,24	2 657,64	Costo de la Luz Mensual Kw/h Diésel	7 066,24	3 172,74
Costo de la Luz anual	\$ 84 794,94	\$ 31 891,68	Costo de la Luz anual	\$ 84 794,94	\$ 38 072,93
Ahorro Factura Eléctrica			Ahorro Consumo Diésel		
Tecnología	Ahorro	%	Tecnología	Ahorro	%
LED	\$ 52 903,26	62,39	LED	\$ 46 722,01	55,10
Ahorro Compra de Bulbos Anual			Ahorro Compra de Bulbos Anual		
Bulbos Anuales	Total	Ahorro Total	Bulbos Anuales	Total	Ahorro Total
100,00	\$ 4 500,00	\$ 4 500,00	100,00	\$ 4 500,00	\$ 4 500,00
Ahorro Total Consumo Eléctrico			Ahorro Total Consumo Eléctrico		
Tecnología	Ahorro	Ahorro Total	Tecnología	Ahorro	Ahorro Total
LED	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26	LED	\$ 51 222,01	\$ 51 222,01
Retorno de Inversión			Retorno de Inversión		
Inversion	ROI	Tipo/Cambio	Inversion	ROI	Tipo/Cambio
\$ 397 108,81	6,92	515	\$ 397 108,81	7,75	515

Tabla XXV: Retornos de Inversión para Propuestas de Consumo.

Fuente: Elaboración propia (2024).

El costo Kw/h utilizado para cada propuesta fueron los utilizados en la página 104 y 106 respectivamente.

Observamos que para la propuesta de consumo a red eléctrica el ROI se obtiene en un periodo de 7 años aproximadamente, mientras que para la propuesta de consumo con las plantas generadoras se obtiene en un periodo de 8 años, para ambas propuestas se contempla un gasto por compra de bulbos anuales que recurre el Estadio Nacional para el mantenimiento de las luminarias actuales.

Cálculo del VAN y TIR

Seguido de haber calculado y determinado cual es la inversión para el proyecto, necesitamos realizar el estudio de factibilidad económica para conocer si el proyecto es viable y genera algún beneficio a la administración del estadio o bien si no es viable. En la siguiente tabla se mostrará el cálculo para demostrar la factibilidad.

Flujo de Egresos			
Año	Egresos	Ingresos	Flujo Efectivo
0			-\$ 397 108,81
1	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
2	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
3	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
4	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
5	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
6	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
7	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
8	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
9	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26
10	\$ -	\$ 57 403,26	\$ 57 403,26

Inversión	\$397 108,81
TD	4,76%
BNA	₡448 464,69
VAN	\$51 355,88
TIR	7,33%

Tabla XXVI-XXXVII: Cálculo de Factibilidad Económica.

Fuente: Elaboración propia (2023).

En las tablas anteriores se muestra el flujo de efectivo año a año que tendrá la administración del Estadio Nacional, realizamos la consulta a este ente para conocer la tasa de descuento que manejan para un proyecto de Inversión, sin embargo, es desconocida, por lo cual

utilizamos una tasa reflejada para fondo de Inversiones del 4,76% del Banco de Costa Rica tomada del sitio web.

El VAN del proyecto corresponde a \$51 355,88 lo que nos indica es que el proyecto es factible, porque cuando el VAN es mayor a cero nos dice que el proyecto es rentable para la empresa.

Para el caso del TIR este valor nos da 7,33% lo que también nos indica que el proyecto es rentable para la empresa, porque nos indica la teoría que si el resultado del TIR es mayor a la Tasa de Descuento (TD) el proyecto se considera rentable.

Para esta propuesta de cambio se utilizó el escenario más rentable, es decir el Consumo a Red Eléctrica.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1- Se logra determinar la factibilidad técnica y económica para realizar el reemplazo de las luminarias de tecnología metal Arc del Estadio Nacional de Costa Rica a un sistema de Iluminación LED, mediante las ecuaciones respectivas logramos determinar el tipo de luminaria adecuada en cuanto a flujo luminoso, la cual debe de ser superior a 135,416lm. Se logra obtener los resultados de iluminancia promedio superiores a los recomendamos por la norma FIFA con una luminaria que permite un ahorro unitario del 55%, proporcionando una iluminancia media de 3176lx.
- 2- A su vez se determina un hallazgo importante en cuanto a la fuente de consumo energético dentro del recinto, como bien se menciona anteriormente el consumo energético del Estadio Nacional es generado por 2 plantas generadoras, de las cuáles se determinó que obtenían un costo Kw/h mayor que el costo Kw/h que obtendrían consumiendo directamente de la red eléctrica. Se concluye con el análisis financiero total 2 escenarios, uno contemplando la transición de consumo a red eléctrica, para el cuál se obtiene un ahorro anual aproximado de \$57 403,26 y para el escenario donde consideren seguir utilizando las plantas generadoras obtienen un ahorro mensual de \$51 222,01, esto nos lleva a tener un ROI de 6,92 y 7,8 años respectivamente. Para la factibilidad económica se obtuvo un valor del VAN de \$51 355,88 y un TIR de 7,33%, esto con una tasa reflejada para fondo de Inversiones del 4,76% del Banco de Costa Rica, indicando que el proyecto es rentable y beneficioso para la administración con esto logrando que el funcionamiento del sistema de iluminación sea más eficiente y que genere un ahorro energético.
- 3- Se identificó la cantidad total de luminarias que están actualmente en el recinto, para un total de 476, de ellas todas en su totalidad se pretenden cambiar a la nueva tecnología y mantener la cantidad. Para con ello reducir los costos del proyecto y que de esta manera sea más viable. Se mantendría el mismo cableado, el cuál está diseñado para una capacidad casi 3 veces mayor a la propuesta, y ubicación de las luminarias ya que el diseño arquitectónico del recinto no permite generar muchos cambios en la instalación de las luminarias.

- 4- Se determina a través de la recopilación de información con los gastos de consumo de diésel y otros correspondientes a mantenimiento como la compra de equipos (bulbos) para mantener las luminarias operando que tiene un costo de $\text{C}\$54,30$ KW/h, mientras que para la propuesta de consumo a través de la red eléctrica, y tomando en cuenta la cantidad de horas de salidas de fallo de servicio de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz para poder asumir y relacionar los costos equivalentes que se tendrían en mantenimiento para las plantas generadoras es de $\text{C}\$46,00$ lo que nos concluye en un mejor costo energético. Que a su vez se podría mejorar en caso de llegar a una negociación de tarifa especial.
- 5- Se seleccionó el equipo que más se adapta a las necesidades actuales para mejorar las condiciones de iluminación del Estadio con base en los cálculos del Método de lúmenes para iluminación de exteriores empleando proyectores (Método del Lumen del Haz). Esta luminaria con sus especificaciones técnicas detalladas se solicitó a dos proveedores diferentes, que certifican el uso de estas para aplicaciones deportivas. Se concluye que los proveedores de luminarias una vez brindaron las certificaciones, se limitan a mencionar cuáles son esas certificaciones que hacen que la luminaria cumpla con la norma NOM o UL, o al menos en su File de registro no mencionan los parámetros que cumplieron para obtener dicha certificación.
- 6- Se realizó la inversión conforme a las cotizaciones tanto de suministro de equipos como de instalación y la determinación de ahorros en facturación energética, obteniendo un ahorro anual no menor a 55% que en dinero sería $\$51\,222,01$ comparado con el dato de consumos de las luminarias actuales. Con la factibilidad económica se obtuvo un valor del VAN de $\$51\,355,88$ y un TIR de 7,33% indicando que el proyecto es rentable.

Recomendaciones

1. Dado que se ha determinado la factibilidad técnica y económica para el reemplazo de las luminarias por un sistema de iluminación LED, se recomienda proceder con la implementación del proyecto según las especificaciones y cálculos realizados. Esto permitirá mejorar la eficiencia energética del Estadio Nacional de Costa Rica y cumplir con los estándares de iluminación recomendados por la normativa FIFA.
2. Se sugiere considerar la transición del consumo de energía de las plantas generadoras al suministro directo de la red eléctrica, ya que esto resultaría en un ahorro significativo y un retorno de la inversión (ROI) más rápido, como se ha demostrado en el análisis financiero. Esto también contribuirá a una gestión más sostenible y económica de la energía.
3. Para maximizar la viabilidad del proyecto, se recomienda explorar opciones para reducir los costos asociados. Esto podría incluir la negociación de tarifas especiales con la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.
4. Una vez implementado el sistema de iluminación LED, se recomienda establecer un plan de mantenimiento para garantizar el óptimo funcionamiento a lo largo del tiempo, y evitar una depreciación de iluminación similar a la actual.
5. Se recomienda, debido a la magnitud del proyecto obtener una garantía en años considerable de parte de los proveedores superior a lo que ofrecen en el mercado.
6. Se ha determinado que el dimensionamiento físico y el peso de las nuevas luminarias son menores que los de las anteriores, se aconseja realizar una evaluación estructural para garantizar que no se generen problemas o riesgos inesperados en la instalación de las nuevas luminarias.

CAPÍTULO VI: PROPUESTA

El presente trabajo de investigación busca determinar la viabilidad de realizar el cambio de tecnología en el sistema de iluminación para la gramilla del Estadio Nacional, sustituyendo las 476 luminarias que están dirigidas al campo de juego por una tecnología más avanzada de iluminación mediante diodos emisores de luz LED, cumpliendo con las normativas y regulaciones dadas por la FIFA.

La idea principal del cambio es mejorar las condiciones de iluminación actuales, tanto a nivel de iluminancia sobre la cancha de juego, uniformidad y deficiencias de los equipos instalados actualmente. Con este cambio se pretende tener una mejor eficiencia por luminaria y que sea apoyada bajo un marco de ahorro de consumo energético.

Se evaluó el tipo de tecnología instalado, el cual se determinó que son luminarias con consumos aproximados a los 2132W, a su vez se revisa el mantenimiento dado a los equipos los cuáles han tenido cambios en sus fuentes luminosas (bulbos) en momentos distintos, lo que ha provocado una no uniformidad en la distribución de la luz sobre la cancha de juego. Esto ha sido provocado por a vida útil tan reducida de estas lámparas.

A través de las diversas ecuaciones y pasos para un diseño detallado, se realizó la escogencia del equipo para que pueda cumplir con los requerimientos solicitados, a partir de datos principales como:

- Mantener la cantidad actual de luminarias.
- Alcanzar niveles superiores de luminancia a los 3000lx.

Se logra determinar el flujo luminoso mínimo requerido por luminaria, así como el tipo de óptica, grado de impermeabilidad, voltaje de operación entre otros aspectos.

El consumo actual de las luminarias es superior a 1MW, mientras que con la propuesta LED ronda los 457KW, este ahorro energético tan considerable permite que el proyecto sea rentable y eficiente, esta nueva tecnología nos lleva a alcanzar valores muy prometedores en cuanto a su consumo, con niveles de eficiencia superiores a 150lm/W.

Los niveles de iluminación obtenidos sobre el área de juego superan los 3000lx, lo cual nos posiciona dentro de la normativa de FIFA.

Esta propuesta consiste en alimentar las luminarias a través de la red eléctrica local y no por sistema de plantas generadoras, debido al ahorro que esta tecnología presenta permite valorar la opción de consumo a red eléctrica local, con esto reducir costes por mantenimiento a los equipos generadores, compras anuales por suministro de bulbos y una reducción en las horas dedicadas para limpieza y mantenimiento para cada una de las luminarias, ya que esta tecnología tiene una vida útil superior a las 80,000 horas. Lo que nos permite obtener un ROI bastante prometedor.

Bibliografía

Aducarte. (s.f.). Obtenido de www.aducarte.weebly.com

Ana Serrano-Tierz a, A. M.-I.-M.-S. (2015). *Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: un estudio de caso*. Colombia .

Aquateknica. (s.f.). *Medición de Color de una fuente de luz y luz* . Obtenido de www.aquateknica.com/medicion-de-color-de-una-fuente-de-luz-y-luz/

Bonilla, M. V. (2015). *MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR BASADA EN LA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍA LED Y REGULACIÓN PUNTO A PUNTO. EXPERIENCIA PILOTO EN SAN FRANCISCO DE OLIVENZA (BADAJOZ)*. España.

Característica de las Lámparas de Halogénios Metálicos. (s.f.). Obtenido de [://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10913/rediseño_sistema_iluminacion_diseno_sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10913/rediseño_sistema_iluminacion_diseno_sistema.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chacón, C. A. (2019). *Rediseño del sistema de iluminación, diseño del sistema de iluminación de emergencias para los hangares, estudio de cortocircuito y de arco eléctrico para COOPESA R.L.* Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Comparalux. (s.f.). *Magnitudes Fundamentales*. Obtenido de www.comparalux.es/www/apuntes/magnitudesFundamentales.php

Electric, G. (s.f.). *GE Ultrs Sport (Manual de Usuario)*. Obtenido de [//www.manualslib.com/manual/58003/Ge-Ultrsport.html?page=11#manual](http://www.manualslib.com/manual/58003/Ge-Ultrsport.html?page=11#manual)

Electric. Iluminet. (s.f.). Obtenido de [://iluminet.com/entender-indice-rendimiento-cromatico/](http://iluminet.com/entender-indice-rendimiento-cromatico/)

González, J. S. (2012). *Plan de Gestión de Proyecto: Nuevo Sistema de Iluminación Basado en Tecnología LED para AABB Corp. Costa Rica*. Universidad Latinoamérica de Ciencia y Tecnología, Costa Rica.

- Indal, P. L. (s.f.). *Parte Posterior de Luminaria Reflectora*. Obtenido de [//www.archiexpo.es/prod/philips-lighting-france-indal/product-11268-1831511.html](http://www.archiexpo.es/prod/philips-lighting-france-indal/product-11268-1831511.html)
- Jiménez, M. C. (2017). *Optimización del consumo de electricidad en el Tecnológico de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Lisan Siverio, D. Q. (2021). *Eficiencia Energética en Edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV*. Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.
- Luminotécnica, G. d. (s.f.). *Partes de la lámpara de Halógenos Grupo de Investigación en Luminotécnica*. Obtenido de [://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaHalogenurosMetalicos.php](http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaHalogenurosMetalicos.php) metálicos.
- Luz, C. N. (2024). *Reporte PQ Circuito Sabana 2021-2023*. San José.
- Mazcr. (s.f.). *Referencia Visual de un Luxómetro*. Obtenido de <https://mazcr.com/en/aparatos-de-medicion-portatil-tipo-tester/4406-luxometro-digital-testboy-tv335-20-400000lx.html>
- Philips Lighting. (2023).
- Portero, M. á. (2015). *Análisis y perspectivas de la tecnología led en la iluminación. Ventajas de su utilización y beneficios medioambientales*. Zaragoza, España.
- RECOPE. (s.f.). *Productos Precios Nacionales Tabla de Precios*. Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/>
- Reyes, P. (2016). *Propuesta para la iluminación eficiente en el edificio de Ciencias Forestales y Medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia*. Universidad Nacional, Facultad de la Tierra y el mar Escuela de Ciencias Ambientales. Costa Rica.
- Rodolfo Chacón-Avilés1, C. M.-B.-B.-A.-C. (2017). *Proceso de Diseño de Sistemas de Iluminación LED Energéticamente Autónomos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Rodríguez, J. O. (2017). *Propuesta de redistribución en planta y mejoramiento del sistema de almacenamiento e iluminación del Laboratorio Aduanero del Ministerio de Hacienda*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- Roustaiyan, C. M. (Febrero de 2007). *Academia*. Obtenido de https://www.academia.edu/10486423/Manual_de_Procedimientos_para_la_Ingenieria_de_Iluminacion_de_Interiores_y_Areas_Deportivas
- Saavedra-Farfán, E. (2020). *Huella de carbono- emisiones de GEI por uso del sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú*. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Perú .
- Sanchez, D. R. (2022). *Evolución urbana sostenible a través de las instalaciones de iluminación*. Málaga, España.

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto_el%C3%A9ctrico (Fuente Wikipedia)

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Balasto_el%C3%A9ctrico

Anexos

Anexo 1: Cotizaciones de Proveedores, Iluminación y Mano de Obra.

PROFORMA NO. MG0002053		SYLVANIA					
Fecha:	15 DE FEBRERO DE 2024	Feilo Sylvania Costa Rica S.A					
Cliente:	13015001	Cedula Juridica 3-101-008587					
Nombre:	I.E.S.A	Zona Industrial Pavas, San Jose, Costa Rica					
Proyecto:	COTIZACION	Telefono: 4110-7600 Fax Ventas: 2232-8718-5/12					
Vigencia de la oferta:	01 DE MARZO DE 2024	servicioalcliente.cr@sylvania-lighting.com					
Condiciones de pago:	CONTADO						
Observaciones:	ATENCION JEREMY ARGUEDAS						
NOTA: CONFIRMAR MODELOS COTIZADOS							
PRECIO VIA IESA							
Lin.	Cantidad	Codigo	Descripcion	Precio	Total Neto	I.V.	Entrega
1	476	P9999999	LED SYLFLOOD 960W CW 15D	₡375 733,00	₡178 848 908,00	13	25 SEMANAS
					Subtotal:	₡178 848 908,00	
					Impuestos:	₡23 250 358,04	
					TOTAL:	₡202 099 266,04	



v1.26

Proforma : No. 1185708

Compañía : I E SOCIEDAD ANONIMA
 Sucursal : Barrio México
 Cédula : 3-101-023412
 Fecha : 21/02/2024

CRONUS erp - Ver: 6.5.42

Página 1 de 1

Cliente : 1 JEREMY ARGUEDAS
 Dirección envío : 0
 Licitación : ESTADIO NACIONAL

De acuerdo a su amable solicitud, nos es grato presentar a su consideración nuestra cotización como sigue :

#L	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Subtotal
1	9999	BVP418 1720/757 HGB S2 T35 OUT PSDMX	457.00	2,800.00	1,279,600.00

**** Gracias por preferirnos (1 producto(s)) ****

**** El cliente debe de revisar la oferta y verificar que cumple con lo solicitado, cantidades sujetas a venta previa ****

Agente : 110 GERENCIA

Forma de pago : CONTADO

Observaciones : TIEMPO DE ENTREGA DE 12 - 14 SEMANAS

Debido a las constantes variaciones en los precios de los fabricantes, los precios aquí cotizados tienen una vigencia máxima de 30 días

Dólares

Subtotal : 1,279,600.00
 I.V.A. : 166,348.00
 Total : 1,445,948.00

** TRES MIL CIENTO SESENTA Y CUATRO CON 00 CTS. **

MATERIALES ELECTROMECANICOS PADILLA S.A.

Céd. Jurídica: 3-101-205952
 Tel.: +506 4404-7600
 Ofibodegas Última Park 2
 Escazú, 10203, Costa Rica
 www.matelpa.com
 contactenos@matelpa.com

Señores: Proyectos
Atención:
Email:



FACTURA PROFORMA # - 0324-002

Validez de la Oferta: 5/4/2024
Forma de Pago: Contado
Vendedor: HMV
Fecha: 5/3/2024
Teléfono:
Proyecto:

Conforme su estimable solicitud le(s) enviamos cotización según el siguiente detalle:

Descripción	Fecha Entrega	Precio	Imp.	Total
MANO DE OBRA DESINSTALACIÓN E INSTALACIÓN DE 476 LUMINARIAS		35,680.96	4,638.52	35,680.96

Observaciones

MANO DE OBRA POR INSTALACIÓN Y DESINSTALACIÓN LUMINARIAS ESTADIO NACIONAL DE COSTA RICA

Resumen de documento TC: 515.95

Subtotal:	\$ 35,680.96
Descuento:	\$ 0.00
Flete:	\$ 0.00
Impuestos:	\$ 4,638.52
Total:	\$ 40,319.48

Anexo 2: Tabla de Niveles de Iluminación para Actividades deportivas al aire libre. INTECO.

Outdoor Applications									
SPORT	Lighted Area	Class of Play	Horizontal		Vertical		Uniformity		Section
			Lux	fc	Lux	fc	CV	Max./Min	
Archery	Shooting Line	III	100	10			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.4
	Target @ 30.4m (100')				300	30			
	Target @ 91.4m (300')				500	50			
	Shooting Line	IV	100	10			0.25 or Less	3:1 or Less	
	Target @ 30.4m (100')				200	20			
Target @ 91.4m (300')					300	30			
Baseball & Softball	Infield	I	1500	150			0.07 or Less	1.2:1 or Less	6.5
	Outfield		1000	100			0.13 or Less	1.7:1 or Less	
	Infield	II	1000	100			0.10 or Less	1.5:1 or Less	
	Outfield		700	70			0.17 or Less	2:1 or Less	
	Infield	III	600	60			0.17 or Less	2:1 or Less	
	Outfield		300	30			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
	Infield	IV	300	30			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
	Outfield		200	20			0.25 or Less	3:1 or Less	
Basketball		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	6.6
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Bicycle Racing	Track*	III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	6.7
	Final 100' & Finish*		500	50					
	Track*	IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Final 100' & Finish*	300		30						
Dog Racing*			300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	6.8
Drag Racing	Area 1*	I	200	20			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.9
	Area 2*		300	30			0.13 or Less	1.7:1 or Less	
	Area 3A*		250	25			0.13 or Less	1.7:1 or Less	
	Area 3B*		200	20			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
	Area 4*		100	10			0.25 or Less	3:1 or Less	
	Area 1*	II	100	10			0.25 or Less	3:1 or Less	
	Area 2*		200	20			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
	Area 3A*		150	15			0.25 or Less	3:1 or Less	
	Area 3B*		100	10					
	Area 4*		50	5					
Field Hockey		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.10
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Football		I	1000	100			0.13 or Less	1.7:1 or Less	6.11
		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Golf Course	Tee Boxes*		50	5			0.25 or Less	3:1 or Less	6.12
	Fairways*		30	3			0.35 or Less	5.7:1 or Less	
	Greens*		50	5			0.25 or Less	3:1 or Less	
Golf: Driving Ranges	Tee Boxes*		200	20			0.25 or Less	3:1 or Less	6.13
	At 183m (600')				100	10	0.25 or Less	3:1 or Less	
Handball, Racquetball and Squash		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	6.14
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Horse Racing	Track		500	50			0.25 or Less	3:1 or Less	6.15
	Home Stretch		1000	100			0.13 or Less	1.7:1 or Less	
	Finish Line				700	70			
Ice/Roller Hockey*		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.16
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Ice Skating (Speed*)		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	6.17
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	

SPORT	Lighted Area	Class of Play	Horizontal		Vertical		Uniformity		Section
			Lux	fc	Lux	fc	CV	Max./Min	
Lacrosse		I	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.18
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Motor Racing	Track	II	300	30			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.19
	Finish Line		750	75					
	Track Finish Line	III	200	20			0.25 or Less	3:1 or Less	
Platform Tennis		II	500	50					6.20
		III	300	30			0.17 or Less	2:1 or Less	
		IV	200	20					
Rifle/Pistol Ranges	Shooting Line Target	III	100	10	500	50	0.17 or Less	2:1 or Less	6.21
Rodeo And Animal Shows		I	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.22
		II	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
Sweet And Trap Shooting	Shooting Line	III	100	10			0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.23
	Target @ 18.3m (60') Target @ 30.5m (100')				300	30	400	40	
	Shooting Line	IV	100	10			0.25 or Less	3:1 or Less	
	Target @ 18.3m (60') Target @ 30.5m (100')				200	20	200	20	
Skiing			5	0.5	2	0.2	No Criteria	6.24	
Soccer		I	750	75			0.13 or Less	1.7:1 or Less	6.25
		II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less	
Softball								6.26	
Swimming (Water Sports)	Luminance of the Pool Surface (Candelas per Square Meter)	II	25				0.21 or Less	2.5:1 or Less	6.27
		III	15				0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	15				0.3 or Less	4:1 or Less	
	Illuminance on Pool Deck	II	500	50			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	300	30			0.25 or Less	3:1 or Less	
	IV	200	20			0.3 or Less	4:1 or Less		
Tennis		I	1250	125			0.13 or Less	1.7:1 or Less	6.28
		II	750	75			0.21 or Less	2.5:1 or Less	
		III	500	50			0.25 or Less	3:1 or Less	
		IV	300	30			0.3 or Less	4:1 or Less	

Facility	Class			
	I	II	III	IV
International	X			
National	X			
Professional	X			
College	X	X		
Semi-professional	X	X		
Sports clubs	X	X	X	
Amateur leagues		X	X	X
High schools		X	X	X
Training facilities			X	X
Elementary schools				X
Recreational events				X
Social events				X

-Clase I: Instalaciones por encima de los 5000 espectadores.

-Clase II: Instalaciones por debajo de los 5000 espectadores.

-Clase III: Se prevé la presencia de los espectadores (no hay importancia).

-Clase IV: Instalaciones para actividades sociales y recreativas.

Anexo 3: Conceptos de Reflectores Deportivos.

Floodlighting Concepts

Floodlighting Calculations

Floodlighting encompasses many variations. Since the location of the floodlight relative to the object to be lighted can be in any plane and at any distance from the source, floodlighting application is often considered the more complex and difficult of lighting techniques.

The most commonly used systems for floodlight calculations are the point-by-point method and the beam-lumen method.

Point-By-Point Method

The point-by-point method permits the determination of footcandles at any point and orientation on a surface and the degree of lighting uniformity realized for any given set of conditions.

In such situations the illumination is proportional to the candlepower of the source in a given direction, and inversely proportional to the square of the distance from the source (Figure 1):

$$\text{Footcandles on Plane (Normal to Light Ray)} = \frac{\text{Candlepower of Light Ray}}{\text{Distance in Feet from Source to Point} - \text{Squared}}$$

$$\text{Expressed: } E = \frac{I}{D^2}$$

When the surface on which the illumination to be determined is tilted, the light will be spread over a greater area, reducing the illumination in the ratio of the area of plane A to the area of plane B as shown in Figure 2. This ratio is equal to the cosine of the angle of incidence, thus: Footcandles on Plane B -

$$\frac{\text{Candlepower of Light Ray}}{\text{Distance in Feet from Source to Point} - \text{Squared}} \times \text{Cosine of Angle } \beta$$

$$\times \text{Cosine } \beta$$

$$\text{Expressed: } E = \frac{I}{D^2}$$

Then β equals the angle between the light ray and a perpendicular to the plane at that point.

The Beam-Lumen Method

Beam Lumens (BL)

The beam-lumen method is quite similar to the method for interior lighting except that the utilization factors must take into consideration the fact that floodlights are not usually perpendicular to the surface and all of the useful light does not strike the task area.

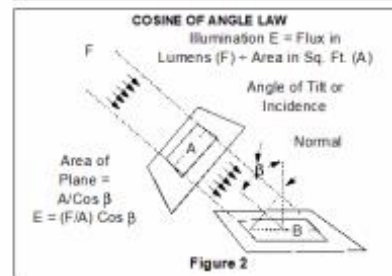
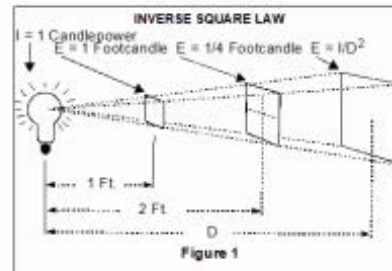
Beam lumens are defined as the quantity of light that is contained within the beam limits described as "beam spread." Beam lumens equal the lamp lumens multiplied by the beam efficiency of the floodlight.

Coverage

It is recommended that sufficient point-by-point calculations be made for each job to check uniformity and coverage.

Light Loss Factor (LLF)

The maintenance or light loss factor is an allowance for depreciation of lamp output with age and floodlight efficiency due to the collection of dirt on lamp, reflector, and cover glass. The total factor may vary from .65 to .85 depending on the type of lamp and luminaire used, and may include losses due to lamp orientation or "tilt."



Design Procedure

Step 1: Determine the level of illumination (fc)

The basic formula is:

$$E = \frac{N \times BL \times CBU \times LLF}{A}$$

Where:

E = Average Maintained Illuminance (fc) of an area

N = Quantity of Luminaires

A = Area in Square Feet

BL = Beam Lumens

CBU = Coefficient of Beam Utilization

LLF = Light Loss Factor

Floodlighting Concepts

Step 2: Determine the type and location of floodlights

Regardless of light source there are industry standards on beam spreads. See Table 1.

Table 1

Outdoor Floodlight Luminaire Designations	
FIELD ANGLE (DEGREES)	NEMA TYPE
10 up to 18	1
> 18 up to 29	2
> 29 up to 46	3
> 46 up to 70	4
> 70 up to 100	5
> 100 up to 130	6
> 130 and up	7

The following general principles apply in the choice of beam spread:

1. The greater the distance from the floodlight to the area to be lighted the narrower the beam spread desired.
2. By definition, the "Field Angle" is used to determine the NEMA type. It is equal to the number of degrees between the 10% of maximum candlepower (near the center of the beam) locations. Since the 10% locations are generally near the edge of a floodlight's beam, the illumination at the edge is 1/10 or less of that at the beam center. To obtain reasonable uniformity, the beams of individual floodlights must overlap each other as well as the edge of the surface to be lighted.
3. The percentage of beam lumens falling outside the area to be lighted is usually lower with narrow beam units than with wide-beam units. Thus narrow-beam floodlights are preferable where they will provide the necessary degree of uniformity of illumination and the proper footcandle level.

Step 3: Determine the coefficient of beam utilization

The factor, CBU, written as a decimal fraction, expressed in the following ratio:

$$CBU = \frac{\text{Utilized Lumens}}{\text{BL}}$$

The exact CBU can be determined graphically by projecting the outline of the area to be lighted upon the photometric data and totalling the utilized lumens. This procedure is detailed in the IESNA Handbook. See Figure 3.

As an approximation, the average CBU of all the floodlights in an installation should fall within the range of .60 to .90. If less than 60% of the beam lumens are utilized, a more economical lighting plan should be possible by using different locations or narrower beam floodlights. If the CBU is over .90 it is probable that the beam spread selected is too narrow and the resultant illumination will be spotty. An estimated CBU can be determined by experience, or by making calculations for several potential aiming points and using the average figure thus obtained.

Step 4: Determine the quantity of floodlights (N) required.

Rearrange the basic formula in Step 1 as follows:

$$N = \frac{A \times E}{BL \times CBU \times LLB}$$

TYPICAL CBU's

Baseball - Infield = .65, Outfield = .85
Football = .60
Tennis = .75
Large Parking Lots = .80
Building Facades = .65

Figure 3

Anexo 4: Ficha Técnica Luminaria Sylvania.



Proyector LED
LED SYLFLOOD 960W CW 45°
P29746



El nuevo **LED Sylflood** es una completa gama de proyectores para exteriores para reemplazar los tradicionales reflectores de HID, diseño moderno y robusto con driver de alto desempeño. Proyección uniforme de la luz, reduce los costos de consumo de energía y de mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS

- Diseño moderno y robusto, resistente a la humedad
- Chasis en aluminio extruido
- Lentes en material de alta transmitancia >90% en el espectro visible
- Driver dimerizable 0-10V

APLICACIONES

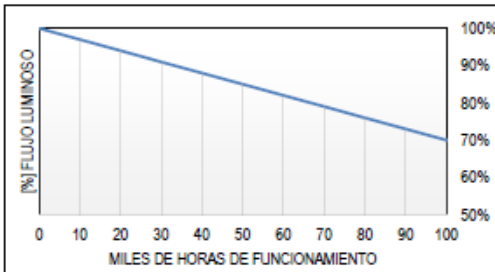
- Perfecto para iluminación de áreas deportivas
- Estadios y coliseos
- Áreas logísticas exteriores, parqueaderos al aire libre



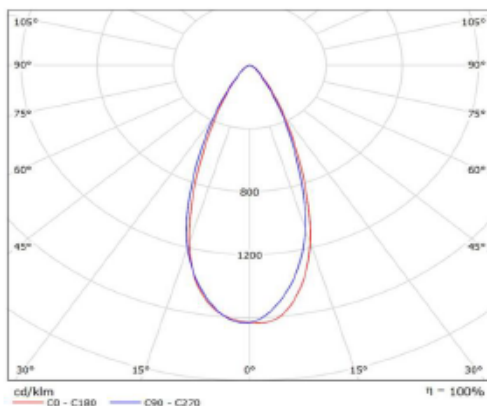
DATOS ÓPTICOS

Temperatura de color	5000K (CW)
Flujo luminoso	153600 lm
Ángulo de apertura	45°
Tipo de distribución	Directa asimétrica
Reproducción de color (IRC)	≥70
Vida útil	100000h *
Eficacia	160 lm/W
Tipo chip LED	SMD5050
Número de Chips LED	378 pcs
Consistencia de color	SDCM < 6
*Vida útil LED L70 LM80 TM21	

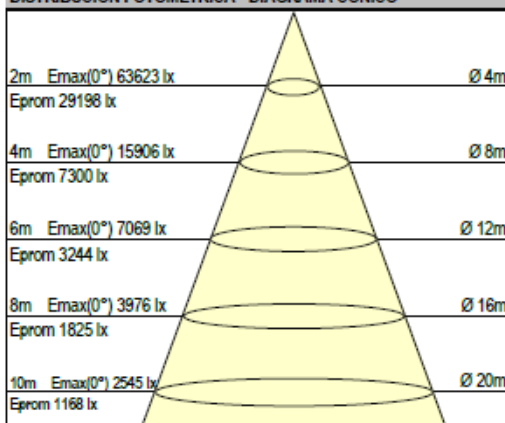
MANTENIMIENTO DE FLUJO LUMINOSO



DISTRIBUCIÓN FOTOMÉTRICA



DISTRIBUCIÓN FOTOMÉTRICA - DIAGRAMA CÓNICO



Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 06/23.

Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

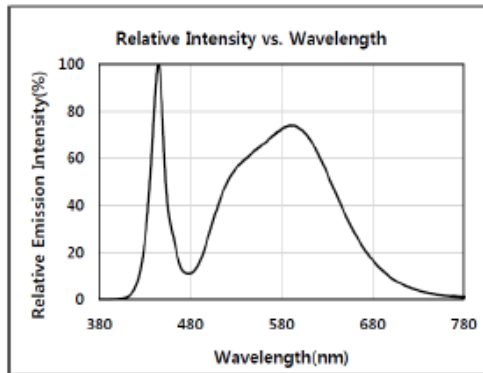
SYLVANIA

Proyector LED

LED SYLFLOOD 960W CW 45°

P29746

DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL



DATOS ELÉCTRICOS

Potencia de entrada	960 W
Tensión de operación	120-277V 50/60Hz
Corriente de entrada	4.85 A @ 220 V
Factor de potencia	0.9
Distorsión Armónica (THD)	<20%
Tipo de driver	Corriente constante
Atenuable	Si (0-10V)
Eficiencia driver	93% (x2)
Protección integrada driver	3kV (L-L), 6kV (L-T)
Tensión de salida DC	24-60VDC
Corriente de salida DC	17.86A

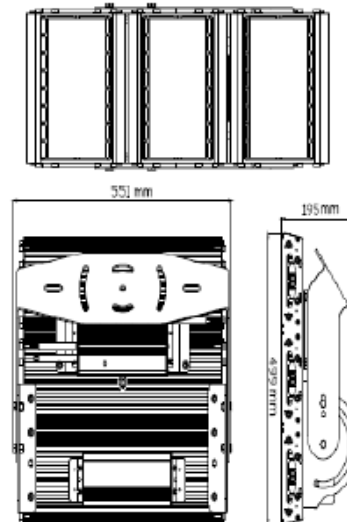
DATOS FÍSICOS

Acabado	Gris RAL7042
Grado de protección IP IK	IP66 IK08
Dimensiones (LxWxH)	551x499x195 mm
Peso (kg)	20.3 Kg
Tipo de montaje	Soporte orientable
Chasis	Aluminio extruido
Material óptica	Lente PMMA
Temperatura de operación Ta	-40°C ~ +45°C

DATOS DE EMPAQUE

Unidades por caja	1
EAN-13	770204829746X
EAN-14	1770204829746X

ESQUEMA PRODUCTO



ACCESORIO DE MONTAJE (BRACKET)

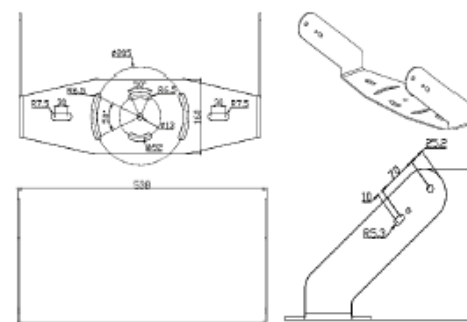
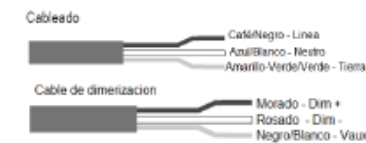


DIAGRAMA DE CONEXIÓN



Notes
 Si no utiliza dimmerización 0-10V el cable Dim + no debe conectarse.
 Cable auxiliar : 12VDC 200mA (el cable vaux de cada driver NO debe conectarse en paralelo)

Las características de los productos pueden ser modificadas sin previo aviso según la evolución de la tecnología LED. 06/23.

Producto Ecológico: Permite ahorrar energía comparado con productos tradicionales. Libre de mercurio.

by FEILO SYLVANIA

Anexo 5: Carta de Certificado NOM para Luminaria Sylvania.

Certificado NOM de Producto
FSP-6R28
Organismo de Certificación acreditado por ema, a.c. con acreditación No. "20/12"
Vigente a partir del 06/03/12

Certificado No. **FAC.31318.1.23**
Modificación: **0**
Cancela al: **NA**
Ampliado de: **NA**
Renueva a: **FAC.30457.1.23**

Factual Services, S.C. como Organismo de Certificación de Producto debidamente acreditado y aprobado en los términos de la Ley de Infraestructura de la Calidad en los Art. 43, 53 al 57, 60, 61, 62, 64, 65, 67 y 69 y demás relativos y aplicables de la Ley, así como el Reglamento de la Ley Federal de Metrología y Normalización, otorga el presente certificado de conformidad con base en el informe de pruebas 2023LABEL0553 emitido por el laboratorio Centro de Metrología y Ensayos Técnicos, S.A. de C.V. (Eléctrica, Electrónica) con número de acreditación EE-0793-028/16 y aprobación correspondiente, bajo la Norma Oficial Mexicana: NOM-003-SCFI-2014

De acuerdo a los procedimientos internos de Factual Services, S.C. y con respecto al número de solicitud 31318 se otorga el certificado mediante la modalidad o esquema de Certificación con seguimiento del producto en punto de venta o en la comercialización a la empresa FEILO MEXICO, S.A. DE C.V. con RFC HME9509059D7 y con domicilio Av. José López Portillo 6, Bodega 2, Nave 1, Villas de San Francisco Chilpan, CP 54945, Tultitlán EDO MEX.

El certificado avala al siguiente: **PRODUCTO**

Producto: LUMINARIO LED PARA EXTERIORES Categoría: Nuevo Fracción arancelaria: 94054291 Marca: Lumiance, SYLVANIA Modelo(s): VER ANEXO A País (es) de Origen: CHINA (REPUBLICA POPULAR) País de Procedencia: CHINA (REPUBLICA POPULAR), COLOMBIA (REPUBLICA DE) Características eléctricas: 120-277 V~; 50/60 Hz; 0.263-0.114 A, 0.439-0.190 A, 0.702-0.304 A, 0.877-0.381 A, 1.315-0.570 A, 2.631-1.140 A, 3.508-1.520 A, 5.263-2.280 A, 7.017-3.040 A, 8.421-3.648 A, 2.632-1.140 A, 3.509-1.520 A, 4.386-1.900 A; 30 W, 50 W, 80 W, 100 W, 150 W, 300 W, 400 W, 500 W, 600 W, 800 W, 960 W Método de Prueba de acuerdo con la Norma Mexicana: NMX-J-307-ANCE-2017 Observaciones: VER ANEXO A

El presente certificado es expedido en la Ciudad de México y entra en vigor el día **14 de diciembre de 2023** y su vigencia caduca el día **14 de diciembre de 2024**. El certificado puede ser utilizado para los efectos que el interesado convenga, cumpliendo los acuerdos firmados en el contrato 0816/E/0700.

La vigencia del presente certificado estará sujeta al resultado del seguimiento efectuado al producto según la modalidad o esquema antes mencionada.

La marca de Factual Services, S.C. se debe de ostentar, en forma legible, discernible e indeleble en los productos que ampara el presente certificado de conformidad. Tanto la contraseña oficial como la marca de Factual Services, S.C. estarán sujetas al cumplimiento de los seguimientos durante la vigencia del certificado.

Los documentos normativos que se utilizaron para dar cumplimiento a la norma antes mencionada son las Políticas y Procedimientos para la Evaluación de la Conformidad emitidas por Secretaría de Economía y publicadas en Diario Oficial de la Federación; o en su defecto, los Procedimientos de Evaluación de la Conformidad descritos dentro de la misma norma.


 Auditor de Producto


 Coordinador de Producto

Av. Insurgentes Sur #504 Despacho 303, Colonia Del Valle, México, Ciudad de México,
Delegación Benito Juárez, C.P. 03100, administraciones@factualservices.com

Rev.21 05/02/21

Certificado NOM de Producto

FSP-6R28

Organismo de Certificación acreditado por ema, a.c. con acreditación No. "20/12"
Vigente a partir del 06/03/12

Certificado No. **FAC.31318.1.23**

Modificación: **0**


Cancela al: **NA**


Ampliado de: **NA**

Renueva a: **FAC.30457.1.23**

"ANEXO A"

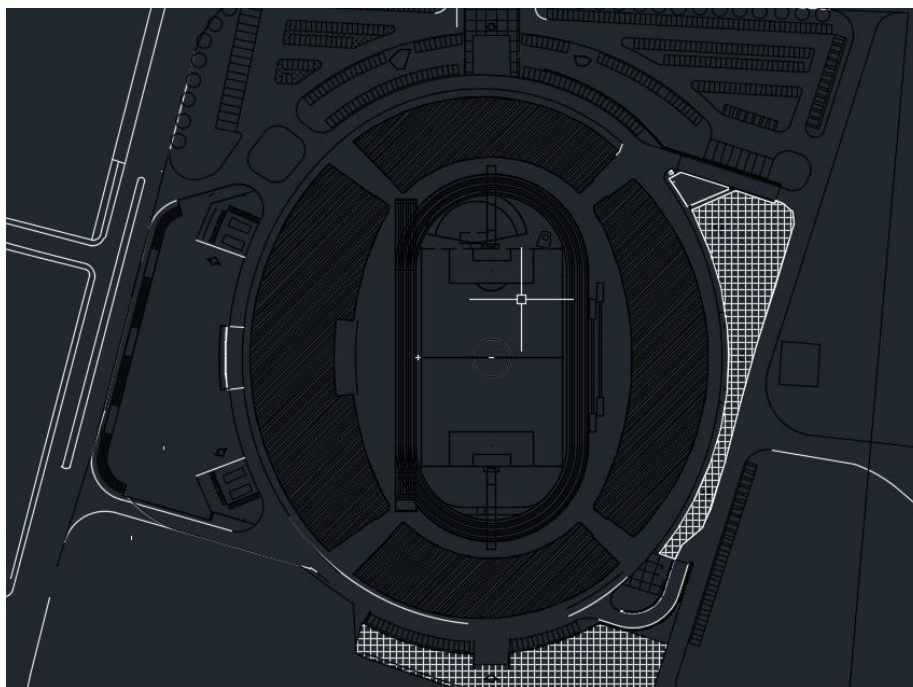
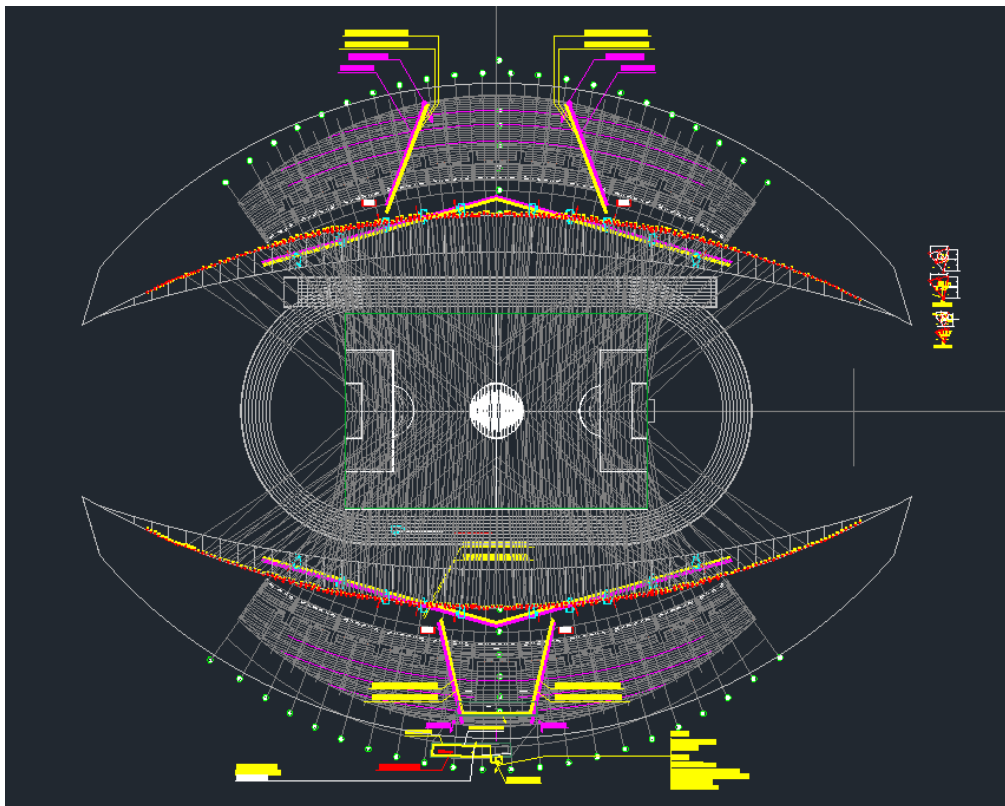
Sub certificado	Fracción arancelaria	Modelos
FAC.31318.1.23-1	94054291	LED TNL- 30W-3600-5000, LED TNL- 50W-6000-5000, LED TNL- 80W-9600-5000, LED TNL- 100W-12000-5000, LED TNL- 100W-12000-8500, LED TNL- 150W-18000-5000, SYLFLOODHW-300W-39000-5000, SYLFLOODHW-400W-52000-5000, SYLFLOODHW-600W-78000-5000
FAC.31318.1.23-2		SYLFLOODHW-800W-104000-5000, SYLFLOODHW-960W-124800-5000, SYLFLOODHW-300W-48000-5000, SYLFLOODHW-400W-64000-5000, SYLFLOODHW-600W-96000-5000, SYLFLOODHW-800W-128000-5000, SYLFLOODHW-960W-153600-5000, JETAHW-300W-36000-5000, JETAHW-400W-48000-5000
FAC.31318.1.23-3		JETAHW-500W-60000-5000


 Auditor de Producto


 Coordinador de Producto

Av. Insurgentes Sur #594 Despacho 303, Colonia Del Valle, México, Ciudad de México,
Benito Juárez, C.P. 03100, administraciones@factualservices.com

Anexo 6: Planta de Distribución de luminarias Actual y planta Arquitectónica del Estadio Nacional.



Anexo 7: Ficha técnica de Luminaria Instalada Actualmente.

泛光照明

ULTRA★SPORT™ 大功率投光灯




最大照射面积: 420m²
净重: 25-34kg

应用场合

- 对照明效果要求高的大型体育场照明, 例如需要优越照明环境和感光控制的大型体育场。
- 新体育场照明工程照明。
- 高杆灯照明系统的照明。

结构特性

- 铝合金压铸, 表面处理电泳, 使用寿命为40年。
- 高压压铸铝外壳, 配300V高压绝缘漆涂层。
- 高级反射光学系统, 一级为玻璃镀膜反射器, 二级为20度(500mm) x 0.01A²合金镀膜反射器。
- 可配内置式调光控制系统, 可有效控制灯光与亮度。
- 有可开合式更换灯罩, 开门自动断电装置, 门玻璃镀膜防反射电装置, 防止意外眩光。
- Hydro★Gard™ 先进过流系统。
- 可配热色温与分体式电气系统。
- 可配高级控制调光系统, 可得到不同效果。
- 可达1000W/1500W/2000W灯罩, 灯罩为体育照明设计。
- 精确配光, 在体育场照明中, 灯具效率最佳。

全金属压铸外壳和反射器, 灯具透光罩采用钢化玻璃, 防护等级IP66以上, 功率因数 cos φ > 0.95。

反射器为阳极氧化氧化铝材质, 加装控制级光透光板。

灯具采用可开合方式更换光源, 开启后, 灯具自动断电, 净重 25-34kg。

灯具外可加不锈钢防护网。

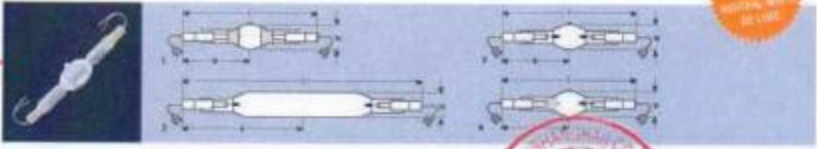
ELOPMENT (SHANGHAI) CO., LTD
上海爱洛普照明有限公司

FLOOD LIGHTING



Anexo 8: Bulbo Instalado de fábrica en Luminarias Actuales.

TECHNICAL DATA



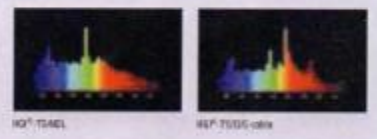
POWERSTAR HQI[®]-TS Short-arc lamp

Reference	HQI-TS 1000/NL/S	HQI-TS 1600/G/S	HQI-TS 2000/G/S	HQI-TS 2000/G/S V	HQI-TS 2600/MD/S	HQI-TS 2000/NL/S V
Wattage	1000 W	1600 W	2000 W	2000 W	2600 W	2000 W
Lamp voltage	120 V	120 V	250 V	250 V	250 V	250 V
Lamp current	8.6 A	8.6 A	11.2 A	11.2 A	11.3 A	11.3 A
Luminous flux	90000 lm	96000 lm	100000 lm	100000 lm	120000 lm	100000 lm
Colour temperature	4400 K	5400 K	5400 K	5400 K	4400 K	4400 K
Colour rendering index	R _a = 85	R _a = 90	R _a = 90	R _a = 90	R _a = 85	R _a = 85
Base	Cable	Cable	Cable	Cable	Cable	Cable
Diameter of max.	26 mm	26 mm	26 mm	26 mm	26 mm	26 mm
Length (max. L)	187 mm	187 mm	187 mm	187 mm	187 mm	187 mm
Insertion length L	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm	157 ± 2 mm
Distance s (d.c.)	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm
Arc length	22 mm	22 mm	22 mm	22 mm	22 mm	22 mm
Burning position	p 15	p 15/16	p 15	p 15 ¹⁾	p 15	p 15 ¹⁾
Average life	6000 h	6000 h	4000 h	4000 h	-	-
Max. perm. outer bulb temp.	90°C	65°C	60°C	60°C	85°C	60°C
Max. pinch temperature	250°C	280°C	280°C	280°C	280°C	280°C
EAN	415010040818	415010030002	4150100271842	415010067222	4150101810146	415010181022
Standard pack	10	10	10	10	10	10
Fig. number	1	1	2	4	3	4

POWERSTAR HQI[®]-TS Long-arc lamp

Reference	HQI-TS 2000/NL	HQI-TS 2000/DL ¹⁾
Wattage	2000 W	2000 W
Lamp voltage	220 V	-
Lamp current	10.7 A	-
Luminous flux	230000 lm	-
Colour temperature	4400 K	-
Colour rendering index	R _a = 85	-
Base	Cable	Cable
Diameter of max.	30 mm	-
Length (max. L)	375 mm	-
Insertion length L	342 ± 2 mm	-
Distance s (d.c.)	134 mm	-
Arc length	122 mm	-
Burning position	p 13	-
Average life	3000 h	-
Max. perm. outer bulb temp.	90°C	-
Max. pinch temperature	290°C	-
EAN	4150100607344	-
Standard pack	1	-
Fig. number	3	-


Relative spectral power distribution



HQI[®]-TS metal halide lamps with their extremely short arc are close to the ideal of a point light source and can be easily directed. This significantly increases the luminaire efficiency.

Figure 11. Luminaires characteristics

These 11.7 m long double ended lamps without outer bulbs are ideal for sports stadiums, building façades, airports, streets, squares and industrial facilities. HQI[®]-TS lamps provide more light where it is needed, and less glare for spectators, residents and drivers. All the lamps can be operated on conventional control gear and ignited at 4 to 5 kV. Hot restart is possible with HQI[®]-TS short-arc lamps if used with a special igniter.

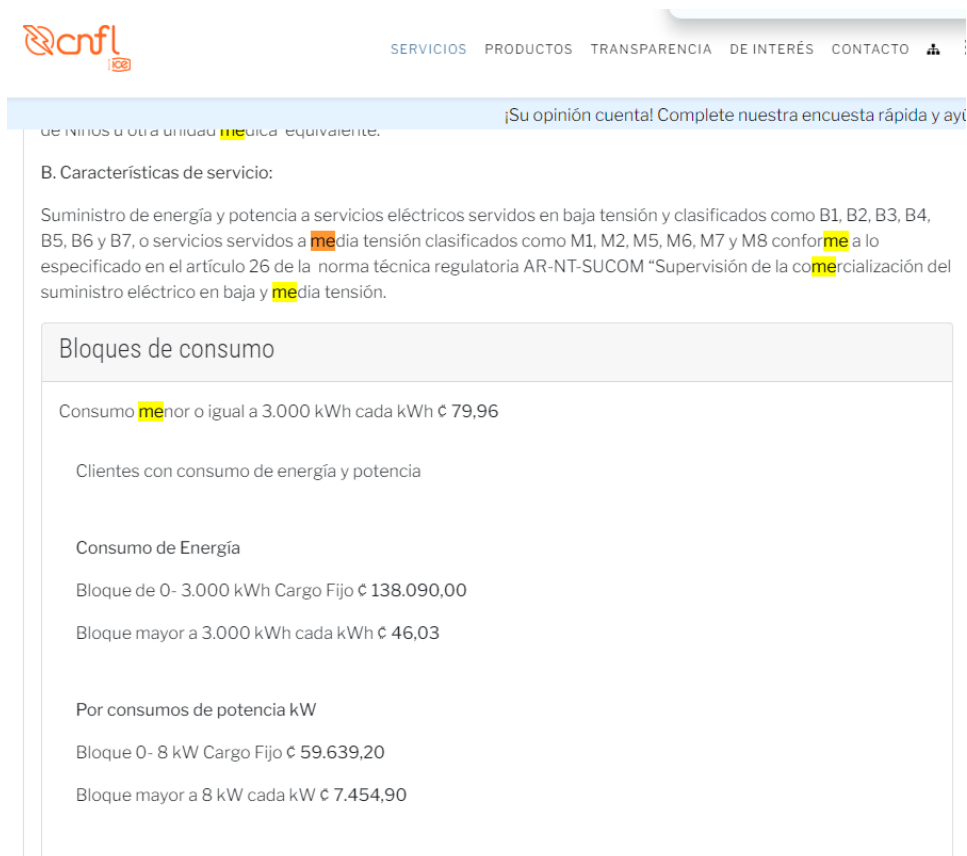


Anexo 9: Tasa Reflejada para fondo de Inversiones del Banco de Costa Rica.

Características del Fondo:

Rendimiento últimos 12 meses	4.76%
Rendimiento últimos 30 días	3.62%
Comisiones vigentes	1.15
Volumen neto administrado	€45,240,412,899.79
Volumen nominal	€45,273,709,561.75
Cartera modificada	0.23
Duración carterá	0.23
Plazo	0.18

Anexo 10: Tarifa Eléctrica de Media Tensión CNFL.



de niños a otra unidad **me**trica equivalente.

¡Su opinión cuenta! Complete nuestra encuesta rápida y ayu

B. Características de servicio:

Suministro de energía y potencia a servicios eléctricos servidos en baja tensión y clasificados como B1, B2, B3, B4, B5, B6 y B7, o servicios servidos a **me**dia tensión clasificados como M1, M2, M5, M6, M7 y M8 conforme **me** a lo especificado en el artículo 26 de la norma técnica regulatoria AR-NT-SUCOM "Supervisión de la **co**mercialización del suministro eléctrico en baja y **me**dia tensión.

Bloques de consumo

Consumo **me**nor o igual a 3.000 kWh cada kWh € 79,96

Clientes con consumo de energía y potencia

Consumo de Energía

Bloque de 0- 3.000 kWh Cargo Fijo € 138.090,00

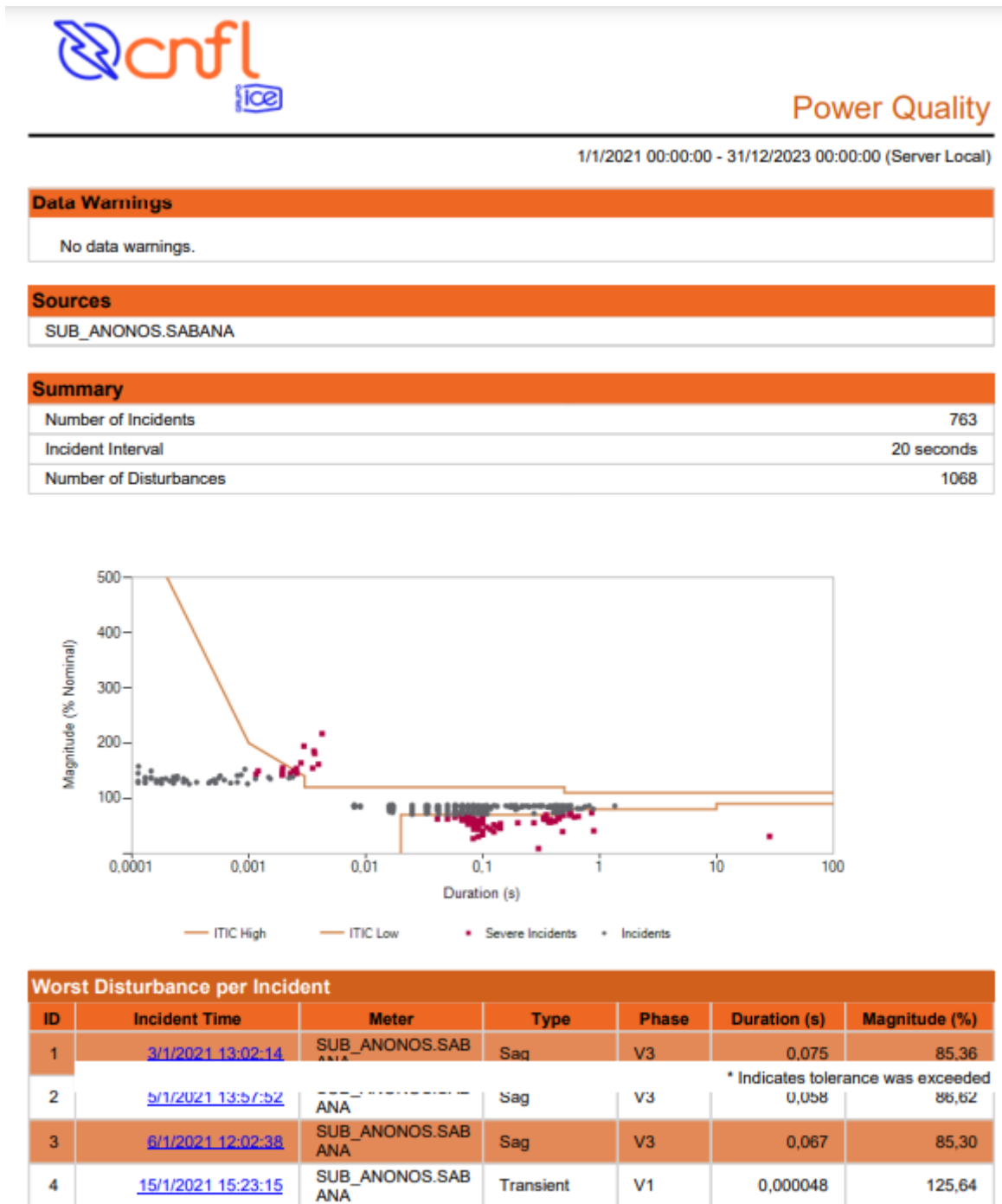
Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh € 46,03

Por consumos de potencia kW

Bloque 0- 8 kW Cargo Fijo € 59.639,20

Bloque mayor a 8 kW cada kW € 7.454,90

Anexo 11: Resumen de 3 años para la calidad de Emergía entregada por la CNFL en sector de La Sabana.





Power Quality

1/1/2021 00:00:00 - 31/12/2023 00:00:00 (Server Local)

ID	Incident Time	Meter	Type	Phase	Duration (s)	Magnitude (%)
28	13/3/2021 20:26:22	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V2	0,067	85,07
29	14/3/2021 15:31:45	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V1	0,059	86,53
30	17/3/2021 16:52:40	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V2	0,066	84,17
31	18/3/2021 13:40:30	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V3	0,350	69,65
32	20/3/2021 08:24:35	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V3	0,492	68,74
33	21/3/2021 16:02:42	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V1	0,050	78,46
34	21/3/2021 17:22:10	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V1	0,050	67,26
35	22/3/2021 08:10:10	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V3	0,016	86,90
36	22/3/2021 14:38:26	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V3	0,075	63,25
37	22/3/2021 15:49:52	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V3	0,067	63,33
38	23/3/2021 15:38:11	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V3	0,058	83,84
39	24/3/2021 03:11:36	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V3	0,075	85,74
40	25/3/2021 03:22:31	SUB_ANONOS.SAB ANA	Transient *	V2	0,001155	143,47
41	28/3/2021 20:47:06	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V2	0,050	76,36
42	3/4/2021 06:40:43	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V1	0,275	85,27
43	4/4/2021 11:33:42	SUB_ANONOS.SAB ANA	Transient	V2	0,002376	138,38
44	4/4/2021 15:40:19	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V3	0,092	30,25
45	4/4/2021 15:44:46	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V2	0,100	40,86
46	5/4/2021 06:20:32	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V2	0,041	78,32
47	8/4/2021 13:00:53	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V2	0,075	85,32
48	8/4/2021 14:04:21	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag *	V2	0,567	70,92
49	8/4/2021 16:17:09	SUB_ANONOS.SAB ANA	Transient *	V2	0,002278	144,99
50	8/4/2021 17:24:12	SUB_ANONOS.SAB ANA	Sag	V1	0,033	85,93

Anexo 12: Niveles de iluminación obtenidos previo al mundial Femenino FIFA en el Estadio Nacional. Año 2020.

	1	2	3	4	5	6	7
A	1565	1848	1529.5	1364	1459	1669.5	1378.5
B	1511.5	1809	1734	1716	2112	2628.5	2110
C	1696.5	1970.5	1841	1851	2249	2795.5	2362
D	1943.5	2149	2063.5	2183	2604.5	2750.5	2492
E	2040.5	2285	2303	2285.5	2480.5	2632	2593
F	1865	2131.5	2172.5	2169	2303	2511.5	2327
G	1443	1792	1631	1558	1776	2175.5	1739
H	1678	2095.5	1969.5	1898.5	2315.5	2810.5	2348
I	2151	2320.5	2138.5	2158	2416	2821	2403
J	2404.5	2731	2471	2257.5	2295	2331	2106
K	1967	2462.5	2523.5	2265	2398.5	2922.5	2486.5

Anexo 13: Resultados finales para los Niveles de iluminación obtenidos previo al mundial Femenino FIFA en el Estadio Nacional. Año 2020.

Measurement	Lux
E_{av} (lx)	2139
E_{min} (lx)	1363
$E_{máx}$ (lx)	2925
U_1	0.46
U_2	0.64
U_G	1.57

Anexo 14: Tablas de consumo de Diésel por cada evento realizado, suministrada por la gerencia administrativa el Estadio Nacional.



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO														
CÁLCULO DE COMBUSTIBLE EN EVENTOS														
EVENTO:		PARTIDO COSTA RICA VS NIGERIA												
DÍA DE EVENTO:		9/11/2022												
EMPRESA ORGANIZADORA		FEDEFUTBOL												
Cálculo teórico de Diesel														
TANQUE RESERVA	#1 y #2	Medidas de tanques (m)			Volumen									
PLANTA	#1	Largo	0,95	m ³	0,141075									
Fecha	8/11/2022	Ancho	1,35	litros	141,075									
Hora inicio	7:30 p. m.	Alto	0,11	galones	37,27									
Hora final	9:25 p. m.	TOTAL			galones	37								
Evento	Reconocimiento				litros	141								
Nivel inicial tanque		FULL												
Cálculo teórico de Diesel														
TANQUE RESERVA	#1 y #2	Medidas de tanques (m)			Volumen									
PLANTA	#2	Largo	0,95	m ³	0,141075									
Fecha	8/11/2022	Ancho	1,35	litros	141,075									
Hora inicio	7:30 p. m.	Alto	0,11	galones	37,27									
Hora final	9:25 p. m.	TOTAL			galones	37								
Evento	Reconocimiento				litros	141								
Nivel inicial tanque		FULL												
Cálculo teórico de Diesel														
TANQUE RESERVA	#1 y #2	Medidas de tanques (m)			Volumen									
PLANTA	#1	Largo	0,95	m ³	0,705375									
Fecha	9/11/2022	Ancho	1,35	litros	705,375									
Hora inicio	4:35 p. m.	Alto	0,55	galones	186,36									
Hora final	11:40 p. m.	TOTAL			galones	186								
Evento	Partido				litros	705								
Nivel inicial tanque		FULL												
Cálculo teórico de Diesel														
TANQUE RESERVA	#1 y #2	Medidas de tanques (m)			Volumen									
PLANTA	#2	Largo	0,95	m ³	0,69255									
Fecha	9/11/2022	Ancho	1,35	litros	692,55									
Hora inicio	4:35 p. m.	Alto	0,54	galones	182,97									
Hora final	11:40 p. m.	TOTAL			galones	183								
Evento	Partido				litros	693								
Nivel inicial tanque		FULL												
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">TOTAL DE CONSUMO DEL EVENTO</th> </tr> <tr> <td>444</td> <td>galones</td> </tr> <tr> <td>1680</td> <td>litros</td> </tr> </table>					TOTAL DE CONSUMO DEL EVENTO		444	galones	1680	litros	Fecha		Cantidad	
					TOTAL DE CONSUMO DEL EVENTO									
444	galones													
1680	litros													
		Nombre de empresa que entrega												
		Nombre de quien entrega												
		Firma de quien entrega												
		Nombre de quien recibe Estadio Nacional												