

**ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED PARA LA CANCHA DE FÚTBOL
DEL CORREGIMIENTO DE CORNEJO NORTE DE SANTANDER**

RONALD ENRIQUE GARCÍA NORIEGA

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN MANTENIMIENTO
ELECTROMECAÁNICO INDUSTRIAL
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2020**

**ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED PARA LA CANCHA DE FÚTBOL DEL
CORREGIMIENTO DE CORNEJO NORTE DE SANTANDER**

RONALD ENRIQUE GARCIA NORIEGA

**Trabajo integral de grado presentado como requisito para optar al título
de Tecnólogo en Mantenimiento Electromecánico Industrial**

Director

Ing. Electrónico FEISSAN ALONSO GERENA MATEUS

Codirector

M.Sc. Ing Mecánico CIRO ANTONIO CARVAJAL LABASTIDA

**Línea de Investigación:
Redes de Distribución Eléctrica**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN MANTENIMIENTO
ELECTROMECAÁNICO INDUSTRIAL
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2020**

A Dios, por protegerme y permitirme haber llegado a tan importante momento de mi formación personal y profesional.

A mis hijos Nickolle y Nicolás quienes han sido mi mayor motivación para culminar esta carrera y por quienes tome la decisión de iniciar mis estudios universitarios para poder brindarles un mejor futuro.

A mis padres Ender y Martha quienes fueron un gran apoyo en todos los aspectos de mi vida para la culminación de este proyecto.

A mi esposa Kinverly que fue mi compañera en esta aventura y siempre me motivo con su amor, sabiduría y comprensión en todo momento.

A mis profesores quienes impartieron su sabiduría y conocimiento cada día de clases, gracias por su paciencia y ayuda para con nosotros, ellos quienes pusieron todo su empeño y dedicación para el día de hoy llegar hasta aquí y cumplir este sueño.

RONALD ENRIQUE

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

CIRO ANTONIO CARVAJAL LABASTIDA, Ingeniero, Coordinador de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por convertirse en nuestro Padre estudiantil y que con sus enseñanzas ayudó a formar las personas e Ingenieros que hoy somos.

Dr. Ing. ANTONIO GAN ACOSTA, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como asesor.

EDGAR ALFONSO SANTOS HIDALGO, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, quien nos mostró que con firmeza y fuerza de carácter se pueden llegar a cumplir todas nuestras metas.

MSc. Ing. OSCAR ORLANDO GUERRERO DIAZ, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como maestro y amigo.

Ing. BENJAMÍN OTERO, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como maestro y amigo.

FEISSAN ALONSO GERENA MATEUS, Ingeniero de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, por su ayuda incondicional como director, maestro y amigo.

Todo el profesorado, de la Universidad Antonio Nariño por su apoyo incondicional y su orientación en la obtención de este logro.

RESUMEN

El Trabajo integral de grado consistió en la proyección del sistema de iluminación utilizando tecnología LED para la cancha de futbol del corregimiento de Cornejo el municipio de san Cayetano norte de Santander Colombia.

Durante el desarrollo de este proyecto se tomaron en cuenta las normas vigentes que en este sentido el país tiene implementado a través de los entes responsables como la CREG Comisión de Regulación de Energía, así como las normas eléctricas colombianas que rigen para el uso de productos eléctricos fotovoltaicos, sus especificaciones técnicas, el cumplimiento del reglamento eléctrico RETIE.

Este sistema fotovoltaico generará la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación con tecnología LED de la cancha de futbol ubicada en el corregimiento de Cornejo, creando un ahorro en el consumo de energía a largo plazo por aproximadamente 25 años de duración de la vida útil de estos paneles solares y por consiguiente beneficios económicos para la alcaldía del municipio de san Cayetano.

Se realizó el paso a paso de la proyección metodológico en la construcción de un sistema solar fotovoltaico, partiendo del análisis estadístico de variables climatológicas en el corregimiento de Cornejo por medio las estadísticas del IDEAM el cual se debe tener en cuenta para cualquier proyecto de energías renovables, la temperatura ambiente, la radiación solar, el brillo solar, la humedad relativa y la velocidad del viento en los diferentes meses del año.

Palabras clave: off grid, fotovoltaico, radiación solar, brillo solar, Inversor.

ABSTRACT

The integral Work of degree consisted in the projection of the lighting system using LED technology for the soccer field of the township of Cornejo, the municipality of San Cayetano, north of Santander, Colombia.

During the development of this project, the current regulations that the country has implemented through the responsible entities such as the CREG Commission for Energy Regulation, as well as the Colombian electrical regulations that govern the use of electrical products, were taken into account. photovoltaic, its technical specifications, compliance with the RETIE electrical regulation.

This photovoltaic system will generate the electrical energy consumed by the LED technology lighting system of the soccer field located in the Cornejo district, creating long-term energy consumption savings for approximately 25 years of the useful life of these solar panels and therefore economic benefits for the mayor of the municipality of san Cayetano.

The methodological projection in the construction of a photovoltaic solar system was carried out step by step, starting from the statistical analysis of climatological variables in the township of Cornejo using IDEAM statistics, which must be taken into account for any renewable energy project. , the ambient temperature, the solar radiation, the solar brightness, the relative humidity and the wind speed in the different months of the year

Key words: off grid, photovoltaic, solar radiation, solar brightness, inverter.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. FUNDAMENTACIÓN	16
1.1 EL PROBLEMA	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	18
1.3 OBJETO	18
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo general	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
1.5 ACOTACIONES	19
1.5.1 Alcance	20
1.5.2 Limitaciones	20
1.6 LEGISLACIÓN	20
1.6.1 Marco internacional	20
1.6.2 Marco nacional	21
1.6.3 Marco institucional	21
2. ARGUMENTACIÓN	22
2.1 ANTECEDENTES	22
2.1.1 Nivel internacional	22
2.1.2 Nivel nacional	23
2.1.3 Nivel local	23

2.2 MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 Tecnología LED	23
2.2.1.1 Funcionamiento del LED	24
2.2.1.2 Tecnología de fabricación	26
2.2.1.3 Patrón de luminosidad en un LED	27
3. METODOLOGÍA	29
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.2 MARCO ESTRATÉGICO TÁCTICO	29
3.3 PLAN DE TRABAJO	29
3.3.1 Etapa 1	30
3.3.2 Etapa 2	30
3.3.3 Etapa 3	30
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	31
4.1 ETAPA 1	31
4.1.1 Información técnica sobre tecnología LED	31
4.1.1.1 Tecnología Led	31
4.1.1.2 Flujo luminoso	32
4.1.1.3 Intensidad luminosa	33
4.1.1.4 Eficacia luminosa	33
4.1.2 Estudios de fotometría	33
4.1.2.1 Lámparas LED en campos deportivos	33
4.1.2.2 Fotometría	34

4.1.2.3 Normatividad requerida para la realización de un diseño de iluminación	36
4.1.2.4 Parámetros de diseño aplicando la normatividad RETILAP	36
4.2 ETAPA 2	42
4.2.1 Criterios generales del RETILAP para áreas deportivas	42
4.2.2 Disposición de soportes de los equipos de alumbrado de campos deportivos	44
4.2.3 Sistema de iluminación con tecnología LED	46
4.2.4 Aplicación resultados del estudio en la proyección	48
4.3 ETAPA 3	49
4.3.1 planos del sistema de iluminación con tecnología LED	50
4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO	51
4.5 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	53
4.6 GLOSARIO	53
5. CONCLUSIONES	55
6. RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	59

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Estudio de fotometría y proyección del sistema de iluminación	60

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Evolución del LED	24
Figura 2. Estructura del LED	25
Figura 3. Estructura electrónica del LED	26
Figura 4. Patrón de radiación LED blanco	28
Figura 5. Lúmenes útiles medidas dentro de un codo de 90 ^a	32
Figura 6. Lámparas LED para campos deportivos	34
Figura 7. Representación del eje de la luz	35
Figura 8. Curva isométrica	35
Figura 9. Configuración del proyecto	38
Figura 10. Configuración del proyecto, medidas del campo	39
Figura 11. Lámpara usada en el estudio Fotométrico	40
Figura 12. Visualización en 2D	40
Figura 13. Visualización en 3D	41
Figura 14. Posicionamiento de las 4 torres o postes de concreto	41
Figura 15. Gráfico de valores perpendiculares	42
Figura 16. Separación de campo y altura	45
Figura 17. Cancha sencilla	46
Figura 18. Distribución de las torres de iluminación	47

Figura 19. Estructura para la instalación de las lámparas	49
Figura 20. Distribución de luminarias	50
Figura 21. Distribución fotométrica del campo	51

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Compuestos empleados en la construcción de LED's	27
Cuadro 2. Niveles de iluminancia horizontal por tipo de juego y nivel de competencia	44
Cuadro 3. Especificaciones técnicas del reflector	48
Cuadro 4. Presupuesto global del proyecto	52

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	pág.
Fotografía 1. Cancha de fútbol Cornejo	16
Fotografía 2. Alumbrado Cancha de fútbol Cornejo	17
Fotografía 3. Control del sistema de alumbrado cancha de fútbol	17

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Norte de Santander se genera energía por sistema térmico consumiendo un alto porcentaje de recursos vegetales, combustibles fósiles y las fuentes hídricas, que están directamente relacionados con los recursos que se disponen y se utilizan para la satisfacción de las necesidades e intereses individuales y colectivos de la comunidad. Una forma de devolver estos recursos a la comunidad es desarrollando proyectos que impacten directamente como la cobertura progresiva de las prestaciones básicas para la convivencia, mejorando las condiciones para un desarrollo amigable con su entorno, donde el medio ambiente y su cuidado es vital. Es acá donde la ejecución de este trabajo integral de grado tiene importancia, ya que su impacto es directamente para la comunidad ubicada en el corregimiento de Cornejo Municipio de San Cayetano Norte de Santander, donde se pretende realizar la proyección del sistema de Iluminación para la cancha de fútbol, utilizando para su desarrollo las últimas tendencias de alumbrado público para campos deportivos que se están desarrollando en el país, como son las tecnologías limpias y energías renovables que se están convirtiendo en un servicio de uso masivo en los últimos años, buscando la reducción del impacto ambiental negativo a través de mejoras significativas en la eficiencia energética.

Otro aspecto importante que se evidencia, es la tendencia hacia la telegestión. Este estudio permite identificar el crecimiento en el uso de la tecnología LED para el alumbrado público.

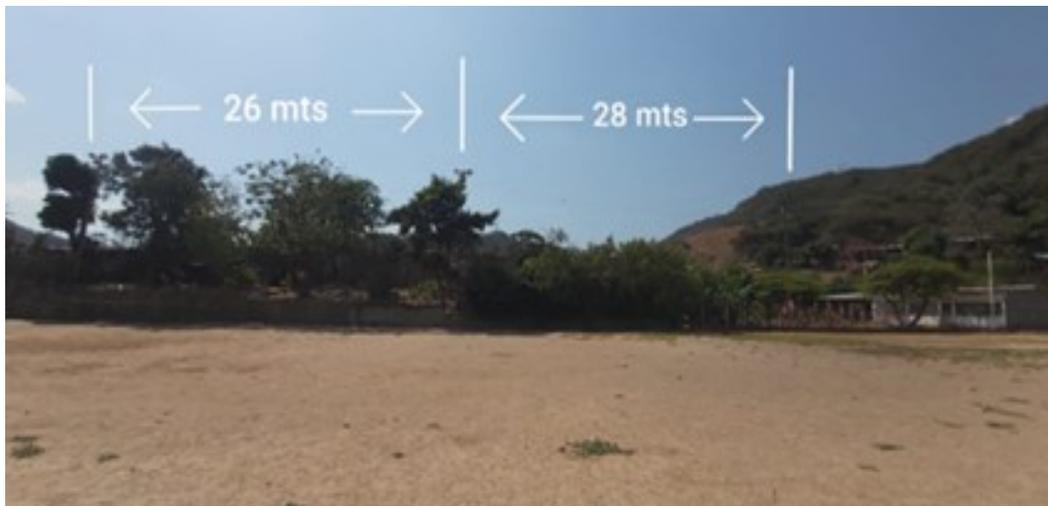
1. FUNDAMENTACIÓN

1.1 EL PROBLEMA

El sistema de alumbrado público para campos deportivos se convierte en problema económico en la mayoría de los municipios de nuestro país, debido a que se suma al alumbrado público general de la población y la facturación recae directamente sobre los fondos de las alcaldías, cualquier inversión que se realice para mejorar o mantener estos escenarios requiere de un costo económico alto. El mantenimiento de los que están en funcionamiento la mayoría de la veces no se realiza técnicamente aplicando las normas que se exigen para esta clase de trabajos como lo es el RETILAP (Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público).

Actualmente el municipio de San Cayetano al cual pertenece el Corregimiento de Cornejo, tiene una carga presupuestal alta para mantener estos espacios donde la comunidad realiza sus eventos deportivos; la iluminación actual de la cancha es deficiente y su sistema eléctrico es precario como se puede apreciar en las siguientes fotografías.

Fotografía 1. Cancha de fútbol Cornejo



Fuente: Autores del proyecto.

Fotografía 2. Alumbrado Cancha de fútbol Cornejo



Fuente: Autores del proyecto

Fotografía 3. Control del sistema de alumbrado cancha de fútbol



Fuente: Autores del proyecto.

El objeto principal de este proyecto, es generar una proyección del sistema de alumbrado para la cancha de futbol que abarque las tecnologías limpias y energías renovables conjuntamente con la iluminación LED, para entregarlo como un aporte de desarrollo en el área energética y cuidado del medio ambiente al Corregimiento de Cornejo, ubicado en el departamento de Norte de Santander por parte de la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La realización de este proyecto es de gran importancia e influencia en el aspecto social, económico y ambiental del Corregimiento de Cornejo, porque se pretende realizar una proyección tecnológica que promueva la aplicación de tecnologías limpias y de energías renovables, aplicadas en un proyecto de tecnología electromecánica para dar solución a un problema real que se presenta con la actual iluminación, la cual está conformada por una red de postera y lámparas que no son óptimas para este tipo de instalaciones y lo más importante, no cumplen con el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP.

Al proyectar el sistema de alumbrado con energía solar fotovoltaica y tecnología LED para la cancha de futbol del Corregimiento de Cornejo Norte de Santander, se desea impulsar el desarrollo intelectual del estudiante de Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial y así mismo, integrar las áreas de matemáticas, electromecánica, física, electrónica, instalaciones eléctricas, ciencia e investigación aplicadas en los sistemas de iluminación con energías renovables y tecnología LED.

Con el desarrollo de este proyecto integral se está dando cumplimiento al requisito para la obtención del título de tecnólogo en Mantenimiento Electromecánico Industrial por parte de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Electromecánica, Programa Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial.

1.3 OBJETO

Proyección del sistema de alumbrado para la cancha de futbol con las tecnologías limpias y energías renovables

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general. Proyectar el alumbrado basado en tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

1.4.2 Objetivos Específicos. Calcular el alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

Planear el alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander. Aplicando el RETILAP.

Desarrollar los planos de la proyección del sistema de alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

1.5 ACOTACIONES

Acuerdo de conformidad adendum: Para hacer realidad el proyecto global denominado ILUMINACIÓN DE LA CANCHA DE FUTBOL DEL CORREGIMIENTO DE CORNEJO NORTE DE SANTANDER se realizaron en conjunto tres subproyectos cuya denominación y autores son:

INFRAESTRUCTURA DE LA RED ELECTRICA PARA LA ILUMINACIÓN DE LA CANCHA DE FUTBOL DEL CORREGIMIENTO DE CORNEJO NORTE DE SANTANDER Autor: JORGE EDUARDO NORIEGA RUBIO Cód.: 23551729347.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LA ILUMINACIÓN DE LA CANCHA DE FÚTBOL DEL CORREGIMIENTO DE CORNEJO NORTE DE SANTANDER Autor: ALBERT PAUL RODRIGUEZ MONOGA Cód.: 23551726890

ILUMINACIÓN CON TECNOLOGIA LED PARA LA CANCHA DE FUTBOL DEL CORREGIMIENTO DE CORNEJO NORTE DE SANTANDER Autor: RONALD

ENRIQUE GARCIA NORIEGA Cód.: 23551729347

1.5.1 Alcance. El alcance del proyecto, es la proyección del sistema de alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol del Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

Generar propuestas para mejorar el desarrollo de la investigación en el campo de las energías renovables y sistemas de iluminación pública aplicando la normativa del RETILAP en el Programa en Mantenimiento Electromecánico Industrial de la Universidad Antonio Nariño UAN sede Cúcuta.

1.5.2 Limitaciones. El trabajo de grado se desarrolló en la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta, en un término de 4 meses y es aplicado a la formación en el Programa de Tecnología Electromecánica.

El desarrollo del trabajo de grado se limitó a la proyección del sistema de alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol del Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

1.6 LEGISLACIÓN

En la construcción de cualquier tipo de instalación eléctrica, incluyendo el alumbrado público y campos deportivos, existe el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y el RETILAP reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, donde se especifican todas las condiciones mínimas de seguridad, calidad que deben tener las instalaciones eléctricas, como distancias de seguridad, materiales a utilizar y la protección del medio ambiente

ISO 14001 VERSIÓN 2015: Norma aplicada en el manejo del plan de gestión integral de residuos sólidos.

1.6.1 Marco internacional. A nivel internacional no existen solo existen normas para los equipos que se utilizan.

1.6.2 Marco nacional. Norma Técnica Colombiana NTC 2050 código eléctrico colombiano.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.

Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, áreas deportivas.

Comisión de regulación de energía y gas CREG resolución 030 del 26 de febrero del 2018.

1.6.3 Marco institucional. Acuerdo N° 48 de la Universidad Antonio Nariño para los proyectos de grado, “reglamento de trabajo de grado”. El Consejo Directivo de la Universidad Antonio Nariño en uso de sus Facultades legales y estatutarias y en particular las que son mencionadas en el Reglamento Estudiantil en sus Artículos 9,10, 11, 12 y 43.

2. ARGUMENTACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

Después de realizar un rastreo bibliográfico sobre el proyecto de investigación que se adelanta, se puede decir, que no se encontraron trabajos de grado, artículos de revista e informes de investigación, que hagan una referencia específica a la actividad del proyecto. A continuación se relacionan algunos, similares al tema en estudio.

2.1.1 Nivel internacional. Título: Diseño de iluminación para estadios de fútbol nacional. Universidad de costa rica facultad de Ingeniería eléctrica

Palabras claves:

Reflexión, Setback, Refracción, Luminotecnia, Isolinea, Luminiscencia, Color de luz y temperatura de color Lumen, Flujo Luminoso, Iluminancia horizontal, Iluminancia Vertical, Coeficiente de uniformidad, Deslumbramiento, Índice de reproducción cromática Ra

Resumen:

Para la elaboración de este proyecto, inicialmente se realizó una recopilación de las normas, reglas y consideraciones más importantes de la Federación Internacional de Fútbol Asociación que se deben de tomar en cuenta a la hora de iluminar el campo de juego de un estadio de fútbol donde tengan lugar eventos futbolísticos internacionales y transmitidos en HDTV. Una vez identificados los aspectos a considerar, se procedió a investigar los tipos de luminarias disponibles en el mercado y las más ideales para el uso que se les daría en este proyecto las cuales son los halogenuros metálicos. Se escogieron 2 luminarias de la misma familia pero con características de potencia y desempeño distintas y se obtuvieron sus características más relevantes así como los archivos ?ies? de cada una. Como parte fundamental del proyecto, se investigaron y estudiaron los métodos más comunes de iluminación de exteriores, así como los programas para iluminación. Tras un análisis de las necesidades y las condiciones con las que se desarrollaría el proyecto, se eligió el método de los lúmenes por ser preciso y a la

vez sencillo de implementar, y por último el programa Dialux por ser probablemente el más utilizado a nivel mundial. Finalmente, se elaboró un programa para iluminación capaz de realizar un cálculo de la cantidad de luminarias necesarias para iluminar un campo de fútbol dado las dimensiones del campo, el tipo de luminaria, sus características de mantenimiento, desempeño y curvas de iluminación, la posición y altura donde se instalaran las luminarias, cantidad de postes y niveles de iluminación requeridos. El programa es capaz también de realizar un cálculo de la dirección que deberán tener los haces centrales de cada luminaria para poder asegurar uniformidad en la iluminación. Los resultados del programa fueron validados por el programa Dialux y se demostró que aunque fueron necesarios algunos ajustes en el direccionamiento de las luminarias o incluso en la cantidad de luminarias, si se obtuvieron resultados muy positivos que comprobaron el funcionamiento del programa.

2.1.2 Nivel nacional. Título: diseño de la iluminación de la unidad deportiva del municipio de Herrán Norte de Santander. Universidad Nacional de Colombia, facultad de ingeniería, departamento de ingeniería eléctrica Y electrónica.

Este trabajo se centró en el diseño de la iluminación de la unidad deportiva de este municipio, utilizando el software de diseño DIALux y tecnología LED.

2.1.3 Nivel local. En la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta en el año 2014 se realizó el proyecto: Diseño de un sistema de alumbrado público con energía solar fotovoltaica y tecnología led aplicado en una urbanización del municipio de Acarí y en los dos últimos años se han realizado proyectos con aplicación de energía solar en la parte comercial, industrial y el sector de la agricultura.

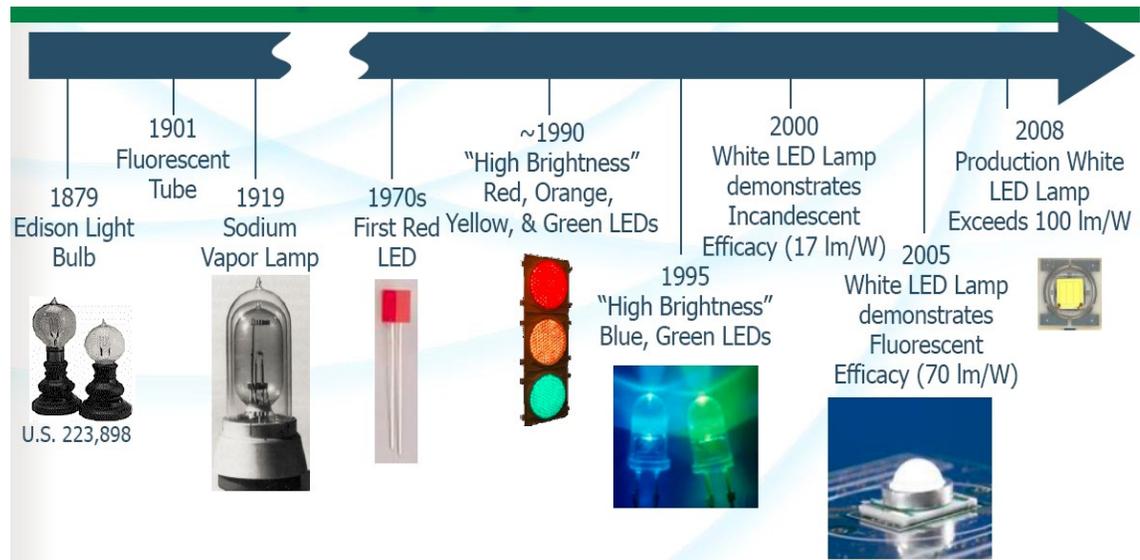
2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Tecnología LED. El primer LED¹ fue desarrollado en 1927 por Oleg Vladimirovich Losev, sin embargo, no se usó en la industria hasta la década de 1960. Solo se podían construir de color rojo, verde y amarillo con poca intensidad de luz y limitaba su utilización a mandos a distancia (controles remotos) y electrodomésticos para marcar el encendido y apagado. A finales del siglo XX se inventaron los LEDs ultravioletas y azules, lo que dio paso al desarrollo del LED blanco, que es un diodo LED de luz azul con recubrimiento de fósforo que produce

¹ McCLEAR, Mark. Trends and Best Practices using LED light sources in Commercial and Industrial

una luz amarilla, la mezcla del azul y el amarillo produce una luz blanquecina denominada "luz de luna" consiguiendo alta luminosidad con lo cual se ha ampliado su utilización en sistemas de iluminación. En la figura 1 se puede observar la evolución del LED a través del tiempo.

Figura 1. Evolución del LED

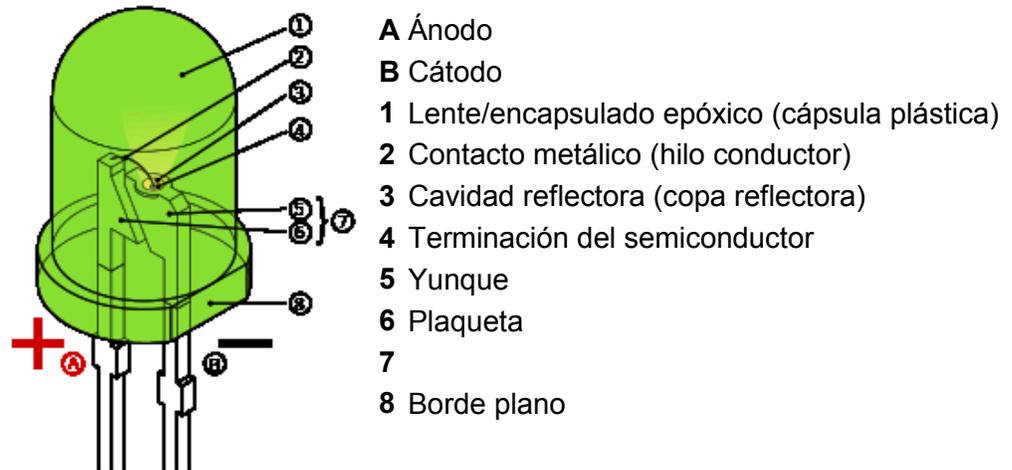


Fuente: McCLEAR, Mark. Trends and Best Practices using LED light sources in Commercial and Industrial.

2.2.1.1 Funcionamiento del LED. “El funcionamiento normal consiste en que, en los materiales conductores, un electrón, al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria”². El que esa energía pérdida, cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia, se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) depende principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona positiva se mueven hacia la zona negativa y los electrones se mueven de la zona negativa hacia la zona positiva; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo.

² J. D. Chatelain Dispositivos de Semiconductores. México: Limusa. 1987.

Figura 2. Estructura del LED



Fuente: J. D. Chatelain Dispositivos de Semiconductores.

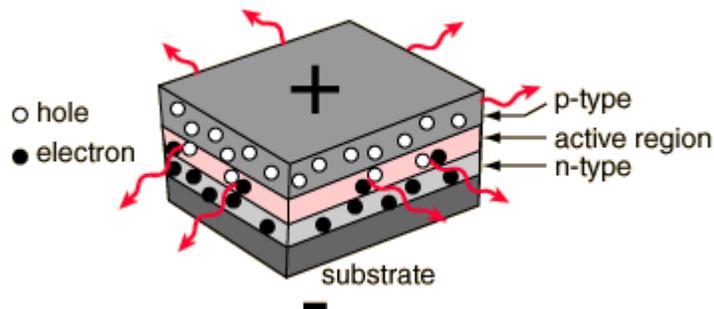
Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a "ocupar" los huecos "cayendo" desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa (direct bandgap) con la energía correspondiente a su banda prohibida (véase semiconductor). Esto no quiere decir que en los demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta (indirect bandgap) no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el nitruro de galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el silicio).

La Iluminación en Estado Sólido (SSL, por sus siglas en inglés) emerge como una tecnología alternativa en iluminación con una amplia variedad de aplicaciones. Los Diodos Emisores de Luz (LEDs, por sus siglas en inglés) son la tecnología SSL de mayor disponibilidad en el mercado, ofrece una gran variedad de ventajas sobre las otras tecnologías de iluminación, desde la eficiencia, solidez y longevidad hasta la capacidad de generar de manera directa una gran cantidad de colores. Los LEDs actualmente disponibles ya están reemplazando rápidamente a otras fuentes de iluminación como así también son hoy la tecnología preferida para

luces decorativas y de diferentes aplicaciones. La potencia de los LEDs, como fuente de iluminación general (luz blanca), es actualmente una de sus principales promesas de cara al futuro.

2.2.1.2 Tecnología de fabricación. En corriente continua (CC), todos los diodos emiten cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan; es decir, cuando los electrones caen desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía) emitiendo fotones en el proceso. Indudablemente, por ende, su color dependerá de la altura de la banda prohibida (diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia), es decir, de los materiales empleados. Los diodos convencionales, de silicio o germanio, emiten radiación infrarroja muy alejada del espectro visible. Sin embargo, con materiales especiales pueden conseguirse longitudes de onda visibles. Los ledes e IRED (diodos infrarrojos), además, tienen geometrías especiales para evitar que la radiación emitida sea reabsorbida por el material circundante del propio diodo, lo que sucede en los convencionales.

Figura 3. Estructura electrónica del LED



Fuente: J. D. Chatelain Dispositivos de Semiconductores.

“Los primeros Leds construidos fueron los diodos infrarrojos y de color rojo, permitiendo el desarrollo tecnológico posterior la construcción de diodos para longitudes de onda cada vez menores”³. En particular, los diodos azules fueron desarrollados a finales de los años noventa por Shuji Nakamura, añadiéndose a los rojos y verdes desarrollados con anterioridad, lo que permitió por combinación de los mismos la obtención de luz blanca. El diodo de seleniuro de cinc puede emitir también luz blanca si se mezcla la luz azul que emite con la roja y verde creada por fotoluminiscencia. La más reciente innovación en el ámbito de la

³ Ibid.

tecnología led son los ledes ultravioleta, que se han empleado con éxito en la producción de luz negra para iluminar materiales fluorescentes. Tanto los ledes azules como los ultravioletas son caros respecto a los más comunes (rojo, verde, amarillo e infrarrojo), siendo por ello menos empleados en las aplicaciones comerciales.

Cuadro 1. Compuestos empleados en la construcción de LED's

Compuesto	Color	Long. de onda
<u>arseniuro de galio</u> (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
<u>arseniuro de galio y aluminio</u> (AlGaAs)	rojo e infrarrojo	890 nm
<u>arseniuro fosfuro de galio</u> (GaAsP)	rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
<u>fosfuro de galio</u> (GaP)	Verde	555 nm
<u>nitruro de galio</u> (GaN)	Verde	525 nm
<u>seleniuro de cinc</u> (ZnSe)	Azul	
<u>nitruro de galio e indio</u> (InGaN)	Azul	450 nm
<u>carburo de silicio</u> (SiC)	Azul	480 nm
<u>diamante</u> (C)	Ultravioleta	
<u>silicio</u> (Si)	en desarrollo	

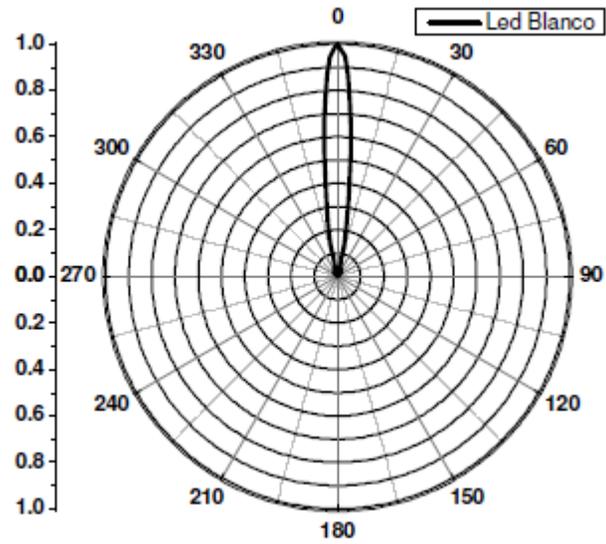
Fuente: J. D. Chatelain Dispositivos de Semiconductores.

2.2.1.3 Patrón de luminosidad en un LED. El patrón de luminosidad en un LED es importante y generalmente las características nos dicen la luminosidad a media intensidad. Esto es el ángulo al cual la intensidad luminosa es la mitad de la del eje del LED.

Es de vital importancia conocer la curva de emisión y el patrón de radiación cuando realiza el estudio y proyección de sistemas y circuitos opto electrónicos para uso en sistemas de iluminación.

En el caso del alumbrado o aplicaciones de iluminación el fabricante de las lámparas entrega esta información técnica.

Figura 4. Patrón de radiación LED blanco



Fuente: J. D. Chatelain Dispositivos de Semiconductores.

3. METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La realización del trabajo integral de grado se fundamentó en la investigación aplicada con el análisis de la información consultada y recopilada con referencia a las especificaciones técnicas de energía solar fotovoltaica existentes en el mercado local y nacional, haciendo un análisis técnico de las características de cada uno de los componentes, lo cual representa una forma de investigación de campo aplicada sobre los diferentes procesos y tecnologías que se utilizan.

Con la investigación realizada se espera el análisis técnico y el trabajo de campo a través de la proyección, la información obtenida en el rastreo bibliográfico efectuado en manuales técnicos de equipos y procesos de empresas del sector, aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en las áreas de circuitos eléctricos, electrónica análoga, electrónica digital, sistemas automáticos de control, instrumentación industrial y teoría de control.

3.2 MARCO ESTRATÉGICO TÁCTICO

La realización de este proyecto se fundamenta en el análisis y aplicación de los datos técnicos recopilados en la investigación de campo. Esta forma de investigación técnica nos permite aprender sobre los diferentes parámetros, procesos y tecnologías que se utilizan en los protocolos de instalación de dispositivos led en las canchas de fútbol y se centra en la realización de la proyección eficiente, eficaz y amigable con el medio ambiente.

3.3 PLAN DE TRABAJO

Para el desarrollo del proyecto, se trabajó con una metodología que permitió alcanzar los objetivos propuestos mediante la fundamentación del marco conceptual, reuniendo la información a través de actividades propuestas donde se analizó y evaluó dicha información, proponiendo tres etapas de desarrollo, donde cada etapa representa cada uno de los objetivos propuestos y así alcanzar el objetivo general.

3.3.1 Etapa 1. Calcular el alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

Actividades propuestas:

Recopilar información técnica sobre tecnología LED.

Ejecutar estudios de fotometría.

Realizar los cálculos del sistema de alumbrado con tecnología LED aplicando el RETILAP.

3.3.2 Etapa 2. Planear el alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander, aplicando el RETILAP.

Actividades propuestas:

Aplicar las normas del RETILAP a la proyección del sistema de iluminación con tecnología LED.

Proyectar el sistema de iluminación con tecnología LED

3.3.3 Etapa 3. Desarrollar los planos de la proyección del sistema de alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

Actividades propuestas:

Dibujar los planos del sistema de iluminación con tecnología LED de acuerdo a la proyección establecida.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 ETAPA 1

Calcular el alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

Actividades propuestas:

Recopilar información técnica sobre tecnología LED

Ejecutar estudios de fotometría

Realizar los cálculos del sistema de alumbrado con tecnología LED aplicando el RETILAP.

4.1.1 Información técnica sobre tecnología LED

4.1.1.1 Tecnología Led. La tecnología led se puede definir básicamente en un diodo emisor de luz compuesto por varias capas superpuestas de material semiconductor que emite luz en una o varias longitudes de onda cuando se polariza directamente.

- **Caracterización del diodo led.** "Un LED (Lighting Emitting Diode) es un diodo semiconductor emisor de luz. Este tipo de elemento fue creado a principio de la décadas de los 60 perteneciente a la familia de los diodos, este tipo de iluminación es de estado sólido no posee partes móviles o frágiles y tiene un muy larga duración, este tipo de iluminación posee más eficiencia que las lámparas comunes"⁴.

En la actualidad por relación de eficiencia, costo y amigable con el medio ambiente han revolucionado el mercado de iluminación las luces LED blancas, logrando ser tan eficientes para ser aplicada en interiores como exteriores.

⁴ Caracterización del diodo led. Disponible <https://www.iluminet.com/press/wp-content/uploads/2018/07/Guia-sobre-Tecnologia-LED-en-Alumbrado-fenercom-2015.pdf>

El diodo emisor de luz (LED) usa menos energía que los sistemas de iluminación común y tienen una vida útil mucho mayor y una de los puntos más importantes es que son amigables con el medio ambiente.

Los dispositivos que contienen esta tecnología emiten luz con temperaturas de 3200^ak y ofrece un CRI de 80 (Índice de reproducción cromática), lo cual ofrece una representación de color excelente en los objetos iluminados

4.1.1.2 Flujo luminoso. Es el flujo radiante de la potencia transmitida en forma de radiación, este flujo es emitido por un relector de tecnología led, la magnitud derivada del flujo radiante es valorada por su efecto sobre el observador fotométrico de la CIE y su unidad de medida es el lumen. Se utilizan dos medidas de lúmenes (lm) del tipo de lámpara.

- **Lúmenes lámparas no direccionadas:** es cuando el flujo luminoso es emitido por una lámpara en todas direcciones.
- **Lúmenes útiles:** es la cantidad de flujo luminoso en un codo de 90^a en dirección frontal de la lámpara.

Figura 5. Lúmenes útiles medidas dentro de un codo de 90^a



Fuente: <https://www.iluminet.com/press/wp-content/uploads/2018/07/Guia-sobre-Tecnologia-LED-en-Alumbrado-fenercom-2015.pdf>

4.1.1.3 Intensidad luminosa. La intensidad de iluminación está orientada a las lámparas direccionales, ya que es el cociente del flujo luminoso emitido por una luz en una dirección específica y el ángulo de la emisión.

La apertura de haz en las lámparas se expresa en grados, determinando el nivel de concentración a dispersión de la luz, un haz estrecho se utiliza para la iluminación de acento ya que con esto se logra resaltar los objetos o zonas, mientras que un haz ancho facilita la obtención de una iluminación general de un área.

4.1.1.4 Eficacia luminosa. “Este punto se analiza el indicador de eficaz es la fuente de luz, según la comisión internacional de iluminación CIE”⁵, y la potencia consumida en vatios se expresa en:

$$\frac{lm}{W}$$

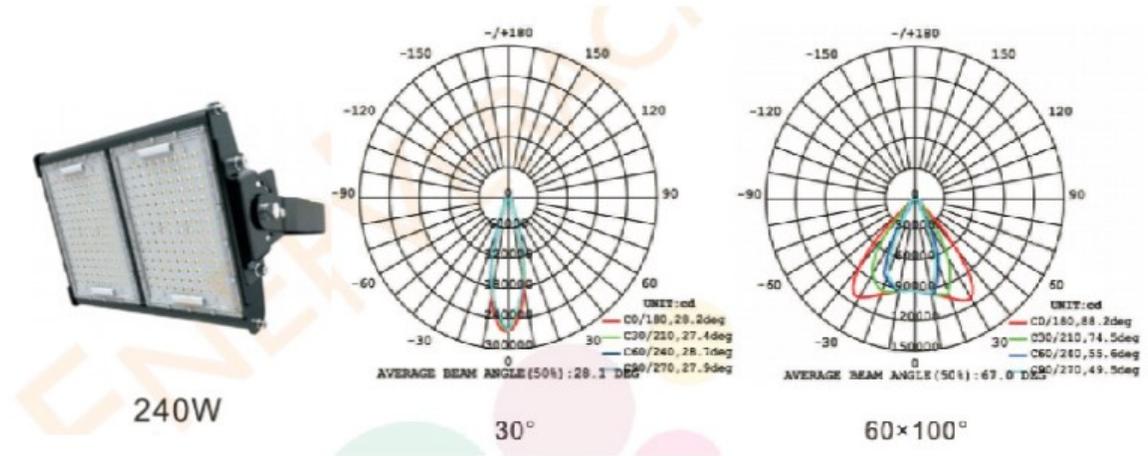
La eficiencia luminosa indica la calidad de luz en cuanto a lúmenes generados por cada vatio que es consumido; estos parámetros a tener en cuenta a la hora de valorar una fuente de luz.

4.1.2 Estudios de fotometría. Para realizar los estudios de fotometría se trabajó con el software Dialux Ver 4.12 y se configuró para que éste realice los cálculos y haga la aplicación del RETILAP; el software está diseñado y configurado para cumplir este reglamento.

4.1.2.1 Lámparas LED en campos deportivos. En los sistemas de iluminación para campos deportivos las luminarias tienen características especiales como por ejemplo ser de alta fidelidad para que se ilumine el terreno de juego y los espectadores. Con el desarrollo de la tecnología LED se ha solucionado los problemas de alto consumo de corriente.

⁵ Guía sobre tecnología LED en el alumbrado. Madrid.

Figura 6. Lámparas LED para campos deportivos



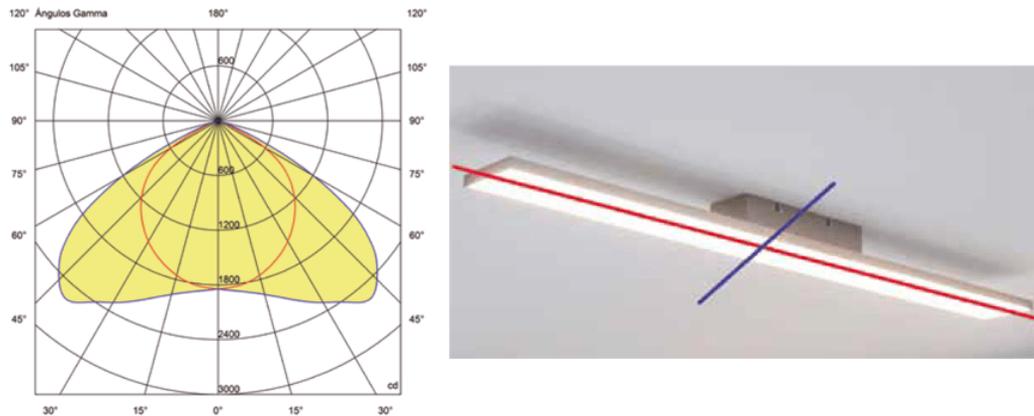
Fuente: LUMILEDS PHILIS.

4.1.2.2 Fotometría. Es la ciencia que se encarga de la medida de la luz, la cual define el brillo percibido por el ojo humano. Es decir, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de estimular el sistema visual. No debe confundirse con la Radiometría, encargada de la medida de la luz en términos de potencia absoluta.

En la figura 7, la imagen indica la curva roja que representa el eje 0°-180° y es el eje perpendicular al eje principal de la fuente de luz de la luminaria.

(Véase la Figura 7).

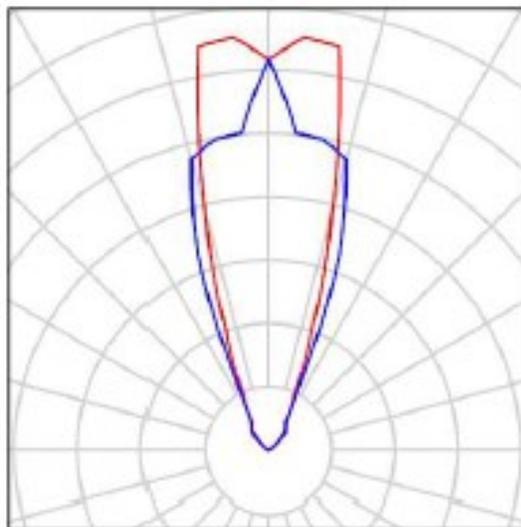
Figura 7. Representación del eje de la luz



Fuente: Representación del eje de la luz. Disponible en: w.w.w.proinstalaciones.com.

- **Líneas o curvas isométricas.** Las líneas o curvas fotométricas representan la distribución espacial de la luz refiriéndose a la distancia y la intensidad luminosa, la gráfica nos ilustra la correcta selección lumínica para un sistema de iluminación en interiores y exteriores.

Figura 8. Curva isométrica



Fuente: Simulación software Dialux.

4.1.2.3 Normatividad requerida para la realización de un diseño de iluminación. La iluminación de un escenario deportivo se hace con base a algunas series de normas que se aplican en el alumbrado del escenario a realizar. RETILAP Y RETIE son los principales reglamentos que aplican y orientan como obtener un buen y eficiente sistema de iluminación, con sus protecciones requeridas para evitar cualquier tipo de riesgo o peligro que pueda infligir daño en los usuarios de los espacios deportivos sin interesar el tipo de deporte. El reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), entra en vigencia el 1 de mayo del 2005 en la cual su principal objetivo es garantizar la seguridad de las personas y la vida tanto animal como vegetal, preservando el medio ambiente, minimizando y eliminando riegos de origen eléctrico este rige todos los aspectos eléctricos tendiendo a regir el RETILAP por ser un criterio de instalación eléctrica. (Ministerio de Minas y Energías, 2005).

- **RETILAP.** El reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP), entra en vigencia el 20 de febrero del 2010, en la cual su objetivo fundamental es establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, garantizando el bienestar del consumidor y la preservación del medio ambiente previniendo los riesgos originados por la instalación o uso de un sistema de iluminación. (Ministerio de Minas y Energía, 2010). La sección 560.1 del RETILAP enuncia “El trabajo visual en las canchas está orientado a proveer una visión clara del área de juego a los deportistas, incluyendo los objetos que intervienen. Bajo dos criterios fundamentales: Contraste elevado entre el jugador y el fondo, ausencia o minimización del deslumbramiento, para conseguir una buena visibilidad y una práctica más continua y menos fatigante”⁶.

Los sistemas de iluminación modernos necesitan el uso de fuente lumínicas altamente eficientes y confiables. Las luminarias tipo LED poseen una eficiencia de luz mayor que las de filamento o las de sodio y éstas poseen a su vez una vida útil mayor. “Su funcionamiento se debe principalmente a que su estructura como material semi-conductor con terminales de la unión p-n, pueda emitir luz cuando se le pasa una diferencia de potencia, esta característica logró que su emisión lumínica fuera más eficiente con un consumo eléctrico muy por debajo de los demás tipos de luminarias existentes”⁷.

4.1.2.4 Parámetros de la proyección aplicando la normatividad RETILAP. El sistema de iluminación a proyectar para la cancha de fútbol del Corregimiento de

⁶ Colombia. Ministerio de Minas y Energía. Retilap sección 560.1. Bogotá: El Ministerio, 2010.

⁷ SANTAMARIA, Pedro. ¿Qué es la iluminación LED? Especial: Iluminación LED2012.

Cornejo debe cumplir con normatividad técnica; la norma que rige sobre el diseño de iluminación es el RETILAP, se tendrá en cuenta la sección 3.3.1 “requisitos generales de diseño de alumbrado público. El cual tiene diferentes normas para el diseño del campo de futbol”⁸. (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

- **Software usado para la proyección fotométrica del alumbrado de la cancha.** La sección 520.2 del RETILAP⁹ enuncia: para efectos de hacer evaluación técnica y financiera necesaria y la comparación con otras alternativas, los diseñadores y fabricantes de luminarias o sistemas de iluminación que presenten propuestas con diseño fotométrico usando software especializado, deberán suministrar la información necesaria que le permita al evaluador, o a quien tome determinaciones sobre el proyecto, comparar y recomendar la propuesta que presente los mejores resultados técnicos y económicos para el municipio, de acuerdo con lo establecido en el capítulo 6 del presente Reglamento Técnico. (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

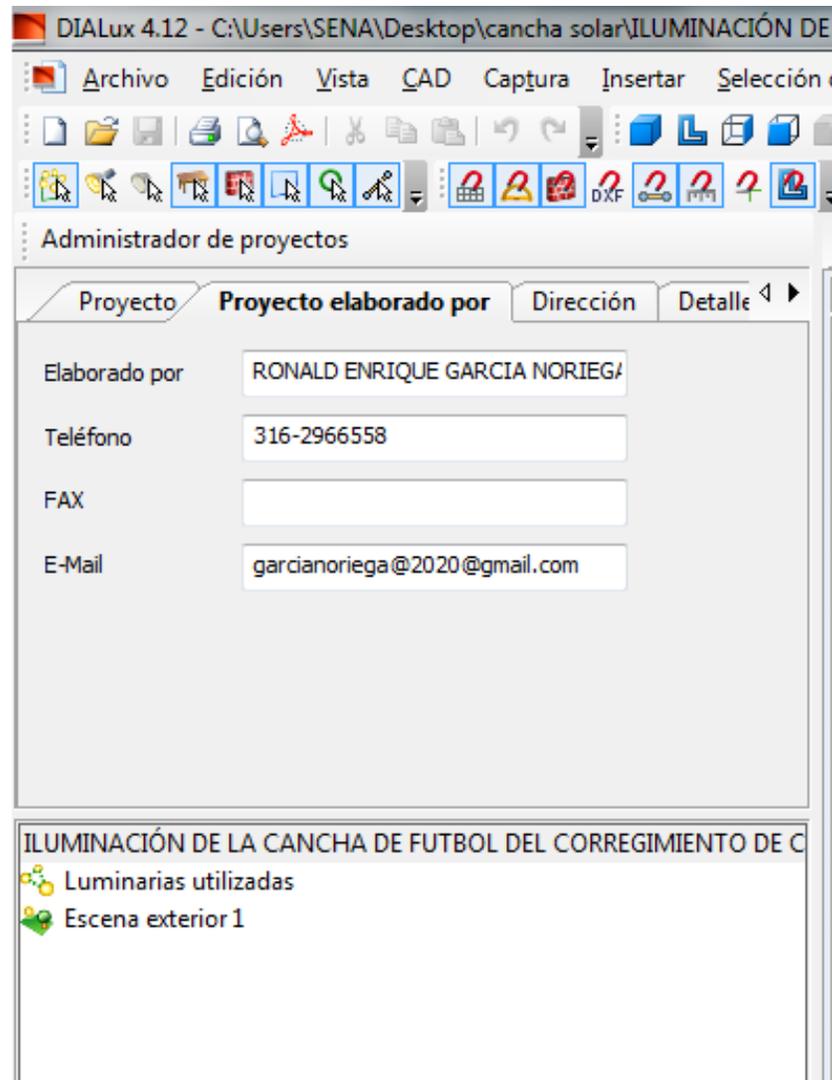
El software Dialux, Ver4.12 es el programa que se utilizó para el diseño y estudio fotométrico, ya que cumple con los requerimientos técnicos del RETILAP. Se utilizó esta versión porque está liberada, en el mercado se encuentran versiones más nuevas, pero ésta cumple los requerimientos técnicos del proyecto.

- **Estudio fotometría.** Para el inicio del estudio de fotometría se tomaron los datos del levantamiento topográfico para llevar las dimensiones de la cancha al software de diseño Dialux; en la siguiente figura se muestra cómo se realizó la configuración del proyecto.

⁸ RETILAP sección 3.3.1

⁹ RETILAP sección 520.2.

Figura 9. Configuración del proyecto

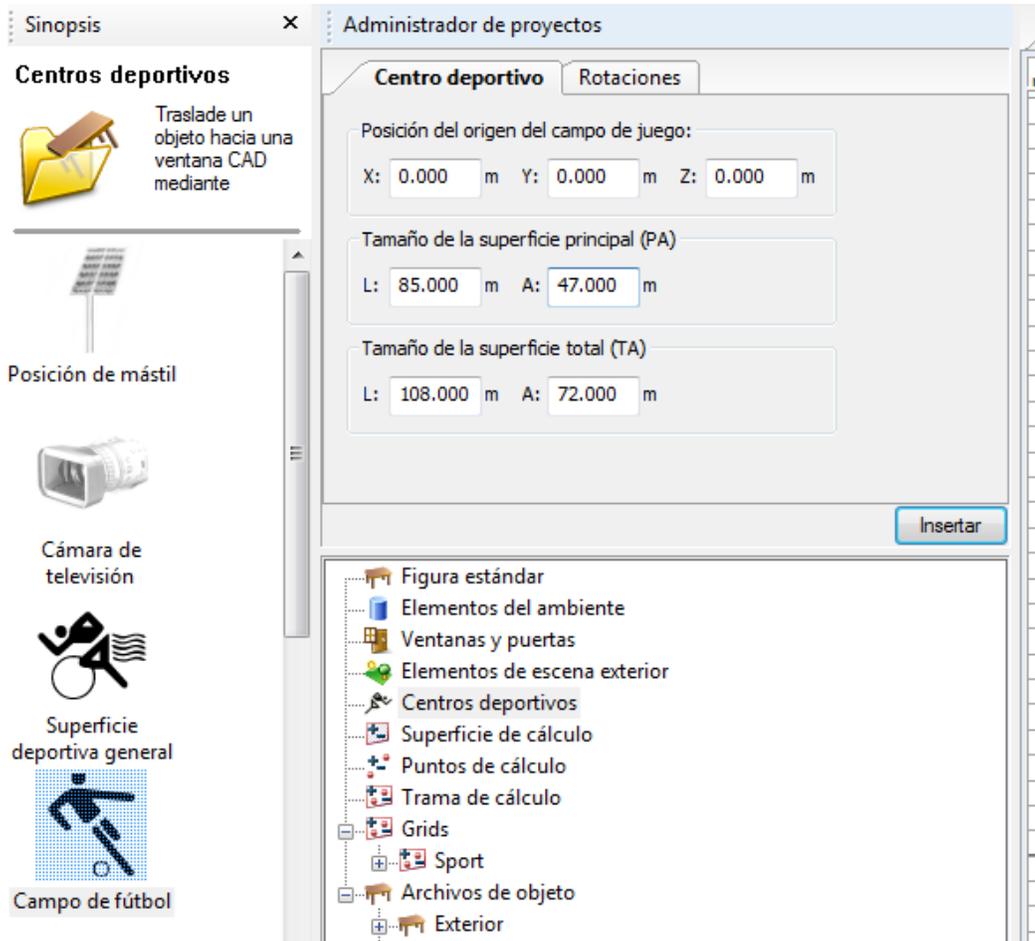


Fuente: Simulación software Dialux.

En la gráfica se puede observar que se configura el proyecto para una escena exterior porque es un campo de fútbol.

En la figura 10 se configura campo deportivo y se aplican las medidas de la cancha tomadas del plano realizado con los datos de topografía.

Figura 10. Configuración del proyecto, medidas del campo



Fuente: Simulación software Dialux.

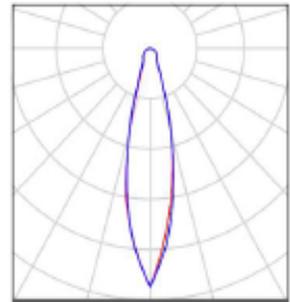
En el siguiente paso se ubican las torres de acuerdo a la proyección prevista en la planeación y se configuran 4 torres, 2 a cada lado de la cancha simétricamente y aplicando las distancias mínimas de la línea de juego a las torres el RETILAP reglamenta mínimo 2 metros de distancia.

En el siguiente paso se inicia el proceso de selección e instalación de lámparas, y se va realizando una inspección visualmente en 3D para ir configurando las líneas vectoriales de la fuente de luz.

La lámpara seleccionada para la proyección es la que se muestra la figura 11.

Figura 11. Lámpara usada en el estudio Fotométrico

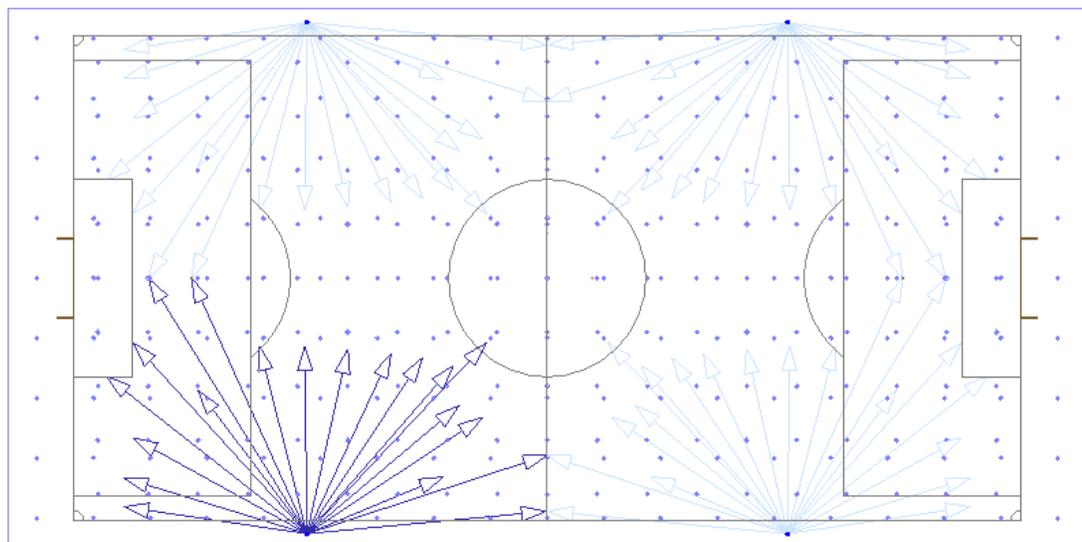
APPLETON I/AMLHL1CG3 AREAMASTER LED
24000 LUMENS NEMA 3X 3 CLEAR GLASS
5000 K CCT
N° de artículo: I/AMLHL1CG3
Flujo luminoso (Luminaria): 24010 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 24010 lm
Potencia de las luminarias: 180.3 W
Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 74 91 99 100 101
Lámpara: 1 x LED (Factor de corrección 1.000).



Fuente: Simulación software Dialux.

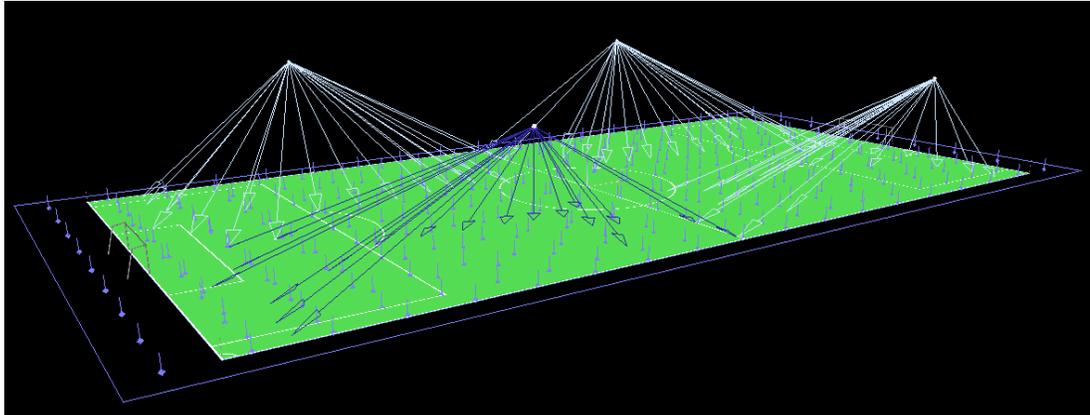
En la figura 12 se tienen las líneas isométricas, repartidas simétricamente para mirar la cobertura del sistema lumínico dentro de la cancha

Figura 12. Visualización en 2D



Fuente: Simulación software Dialux.

Figura 13. Visualización en 3D

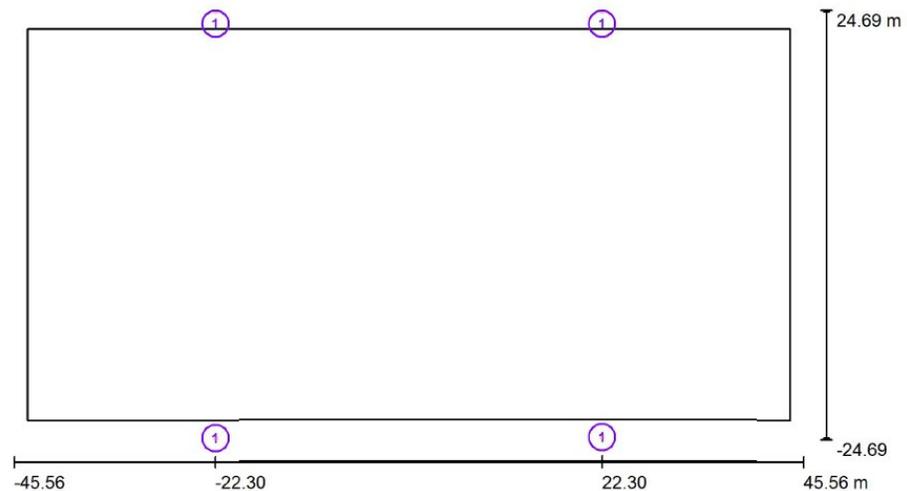


Simulación software Dialux.

Se van ajustando las distancias y dependiendo de la cobertura se integran más lámparas. Cuando se observa visualmente que la cobertura es la correcta, se genera el cálculo; el sistema nos muestra y entrega las gráficas y datos del estudio fotométrico. (Véase el Anexo A).

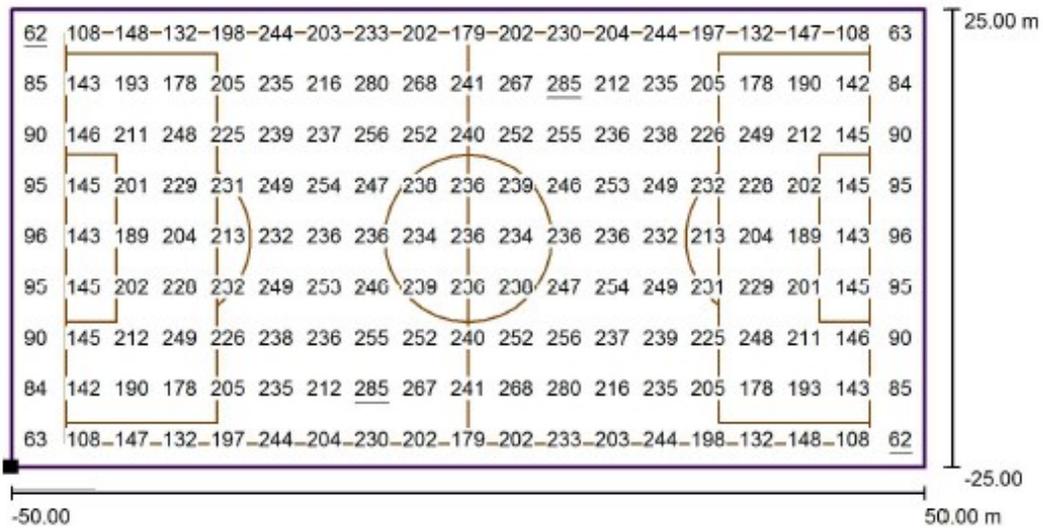
En la gráfica tenemos el posicionamiento de las torres con coordenadas.

Figura 14. Posicionamiento de las 4 torres o postes de concreto



Fuente: Simulación software Dialux.

Figura 15. Gráfico de valores perpendiculares



Fuente: Simulación software Dialux.

En el anexo A se entrega un informe completo del estudio fotométrico, que sirve para la proyección de la infraestructura y la proyección general del alumbrado.

4.2 ETAPA 2

Planear el alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el corregimiento de cornejo Norte de Santander. Aplicando el RETILAP.

Actividades propuestas:

Aplicar las normas del RETILAP a la proyección del sistema de iluminación con tecnología LED.

Proyectar el sistema de iluminación con tecnología LED

4.2.1 Criterios generales del RETILAP para áreas deportivas. De acuerdo al estudio (Véase el Anexo A), se deben instalar 4 torres con 20 lámparas cada una,

y aplicar la normativa de RETILAP y RETIE para su instalación.

El trabajo visual en las canchas está orientado a proveer una visión clara del área de juego a los deportistas, incluyendo los objetos que intervienen. Bajo dos criterios fundamentales: “Contraste elevado entre el jugador, el fondo y ausencia o minimización del deslumbramiento, para conseguir una buena visibilidad y una práctica más continua y menos fatigante. En los campos deportivos se encuentran una gran variedad de superficies reflectantes como el balón, los uniformes de los jugadores, la superficie de la cancha, de las graderías y los espectadores”¹⁰. Cada una de estas superficies no son uniformes ni continuas, sobre todo tratándose de campos deportivos comunales orientados al deporte recreativo o de entrenamientos. Esto hace que las reflectancias no sean uniformes y dificultan un estudio basado en luminancia. Por lo anterior, los diseños y los cálculos se deben basar en la cantidad de luz incidente o Iluminancia, tanto horizontal como vertical:

Iluminancia horizontal: La iluminancia horizontal es prácticamente la que determina el nivel de luz en el terreno de juego y como éste sirve de fondo visual para los jugadores y la pelota, es relevante tener una iluminancia horizontal suficiente para crear las condiciones de contraste correcto con el fondo. Por otra parte, como la iluminancia horizontal es responsable por la mayor parte de la luminancia del campo, entonces determina el estado de adaptación del ojo puesto que el área iluminada forma una parte considerable del terreno de visión. La iluminancia horizontal necesaria para un campo deportivo determinado depende de:

El nivel de competencia previsto para la cancha (recreativa, entrenamiento, torneos o profesional).

El tipo de juego, que a su vez determina la velocidad y tamaño de la pelota, el movimiento de los deportistas y la distancia entre éstos y la pelota durante el juego.

El cuadro ilustra los niveles de iluminancia horizontal en luxes y la uniformidad, recomendados de acuerdo con los criterios anteriores: El criterio para aplicar el rango por su mínimo o su máximo, depende de la calidad del escenario, el costo del proyecto, el uso real en torneos, competencias o entrenamientos.

¹⁰ Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP.

Cuadro 2. Niveles de iluminancia horizontal por tipo de juego y nivel de competencia

Deporte	Nivel de juego			Uniformidad (E_{min}/E_{max})	
	Recreativo	Entrenamiento	Competencia	Entrenamiento	Competencia
Fútbol	50(100)	60(150)	>600	1:3	2:3
Voleibol	60	100	300 a 600	1:3	2:3
Baloncesto	60	100	300 a 600	1:3	2:3
Tenis	150	250	400 a 700	1:2	2:3
Béisbol	150	250	400 a 700	1:2	2:3

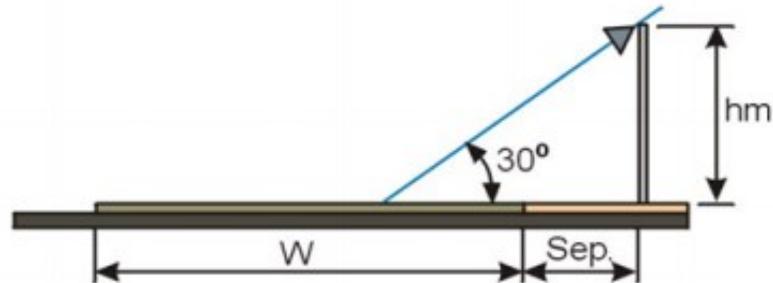
Iluminancia vertical: La iluminancia vertical en un campo de juego, es importante para reconocer los objetos y se calcula para escenarios que realizan torneos y juegos profesionales especialmente en donde hay afluencia de público y requerimientos de transmisiones de televisión. Para los jugadores, la iluminancia vertical es importante y debe venir de todas direcciones a fin de evitar las sombras que podrían comprometer la visibilidad de la pelota de juego. Igual sucede con los espectadores y con las cámaras de televisión. No obstante, si éstos ocupan una posición fija, la iluminancia horizontal deberá comprobarse en la dirección principal de observación. En campos deportivos donde se necesite calcular la iluminancia vertical, una buena práctica es instalar el mismo nivel lumínico que el establecido para la iluminancia horizontal. Claro está, la iluminancia horizontal se calcula a ras de piso en la cancha, en tanto que la iluminancia vertical se calcula a 1,80 m. del nivel de cancha y en las direcciones desde donde el público tiene visión sobre el juego.

4.2.2 Disposición de soportes de los equipos de alumbrado de campos deportivos. De acuerdo con el escenario a iluminar, hay algunas estructuras de soporte con disposiciones típicas que han sido probadas con muy buenos resultados. “Los postes o apoyos para la iluminación de campos deportivos exteriores de uso público, se ubican en disposición lateral al campo de juego o en los vértices del campo. La distancia mínima de separación entre la cancha y el pie de los postes depende en general de la calidad del escenario”¹¹. Por ejemplo: una cancha múltiple para un barrio, con disposición de juego recreativo en donde se pueda jugar básquetbol, voleibol, microfútbol y se usa como pista de patinaje, la separación mínima es de 1 m. Este mismo escenario, con gradería para torneos locales, debe colocar los postes detrás de la gradería, a unos 10 m de la cancha. Pero la ubicación de los postes incide de manera importante en su altura libre para el montaje de los proyectores. La figura 16 ilustra esta relación: para calcular la

¹¹ Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP

altura de montaje h_m se proyecta en el diseño el haz de luz desde la cima del poste y se dirige en un ángulo de 30° bajo la horizontal, justo al frente. El haz debe llegar al plano de la cancha de juego a $1/3$ de su ancho.

Figura 16. Separación de campo y altura



Fuente: RETILAP.

Otra forma es calcular la altura de montaje mediante la siguiente ecuación:

$$h_m = \left[\frac{W}{3} + Sep \right] * \tan (30^\circ)$$

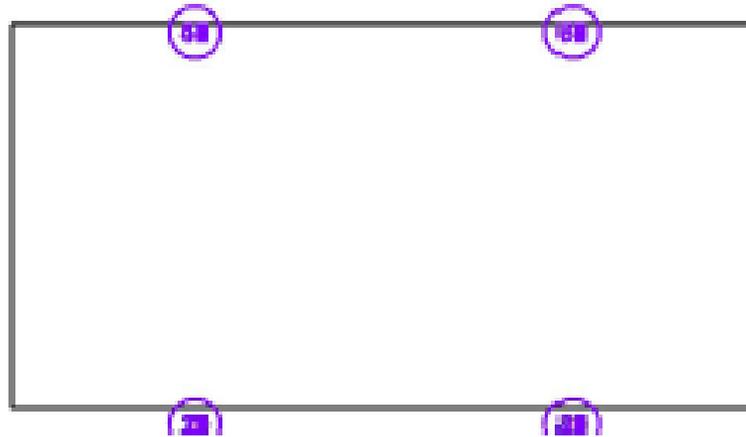
Dónde: h_m = Altura de montaje mínima de los proyectores

W = Ancho del campo deportivo

$Sep.$ = Separación entre el campo deportivo y la base de los postes

Esto garantiza un bajo nivel de deslumbramiento a los jugadores. a) Cancha sencilla. El esquema de iluminación más frecuente en estas canchas, cuando están solas, es usar cuatro (4) postes dispuestos dos a cada lado del campo tal y como lo sugiere la Figura 17.

Figura 17. Cancha sencilla

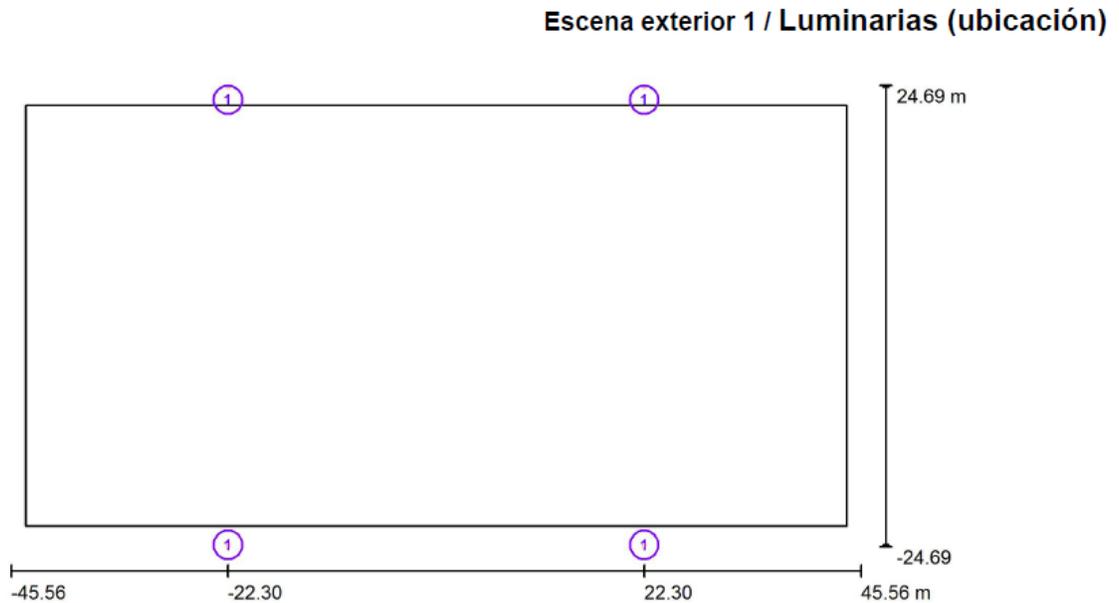


Fuente: Simulación software Dialux.

4.2.3 Sistema de iluminación con tecnología LED. Para realizar el desarrollo del sistema de iluminación para la cancha de fútbol del Corregimiento de Cornejo, se utiliza la información tomada en el proceso de levantamiento topográfico; con esta información se logra adquirir las dimensiones de la cancha con las cuales se realiza la proyección en el programa DIALux. Este software es para diseño de iluminación profesional disponible de forma gratuita en 25 idiomas, el cual nos permite planificar, calcular y visualizar las áreas de cobertura de la luz para áreas interiores y exteriores desde edificios completos y habitaciones individuales, hasta espacios de estacionamiento o alumbrado público; en este caso se desarrolló para la cancha de fútbol del municipio de Cornejo Norte de Santander a partir de la información recopilada.

Tomando en cuenta las características de la cancha y las especificaciones que tiene el RETILAP para áreas deportivas se determina el número de torres que proporcionarían la iluminación para la cancha en un total de 4 torres equidistantes.

Figura 18. Distribución de las torres de iluminación



Fuente: Simulación software Dialux.

Teniendo los lugares donde será el punto de incidencia, utilizamos lo aprendido sobre tecnología led para escoger el tipo de iluminación de acuerdo a los parámetros estipulados por el RETILAP cumpliendo las características de:

Flujo luminoso: considerando que el flujo radiante es la potencia transmitida en forma de radiación, el flujo luminoso emitido por un reflector de tecnología led.

Intensidad luminosa: ya que determina el nivel de concentración a dispersión de la luz producida por la lámpara, un haz ancho facilita la obtención de una iluminación general de un área delimitada.

Eficacia luminosa: es el indicador de cuan eficaz es la fuente de luz de cociente entre el flujo de iluminación de una fuente de luz y la potencia consumida en vatios; la eficiencia luminosa indica la calidad de una fuente de luz en cuanto a lúmenes generados por cada vatio consumido.

Parámetros colorimétricos: Respecto a las prestaciones cromáticas de los LED

se consideró la temperatura de color (Tc) y la reproducción cromática (Ra), los colores del espectro visible, así como todos los que resultan de las mezclas de distintos colores, se pueden representar por medio de coordenadas (X, Y, Z) los colores están ordenados respecto a los valores de ese tipo de coordenadas.

La temperatura de color: expresa el aspecto o tonalidad de luz que tiene la fuente luminosa (luz más cálida o más fría). Este parámetro únicamente es válido para fuentes emisoras de luz blanca. Los LED blancos se clasifican según su temperatura de color correlacionado (Tcp) en:

Blanco cálido 2.700 a 3.300 K
 Blanco neutro 3.300 a 5.300 K
 Blanco frío > 5.300 K

Rendimiento de color: Es el efecto que una fuente de luz produce sobre el espectro cromático de los objetos que ilumina, por comparación con el aspecto que éstos tendrían con una iluminante de referencia, es decir, es la capacidad que tiene la fuente de luz de volver la realidad de los colores que ilumina.

Según estos parámetros el tipo de reflector LED que se seleccionó para la iluminación de la cancha fue:

Cuadro 3. Especificaciones técnicas del reflector

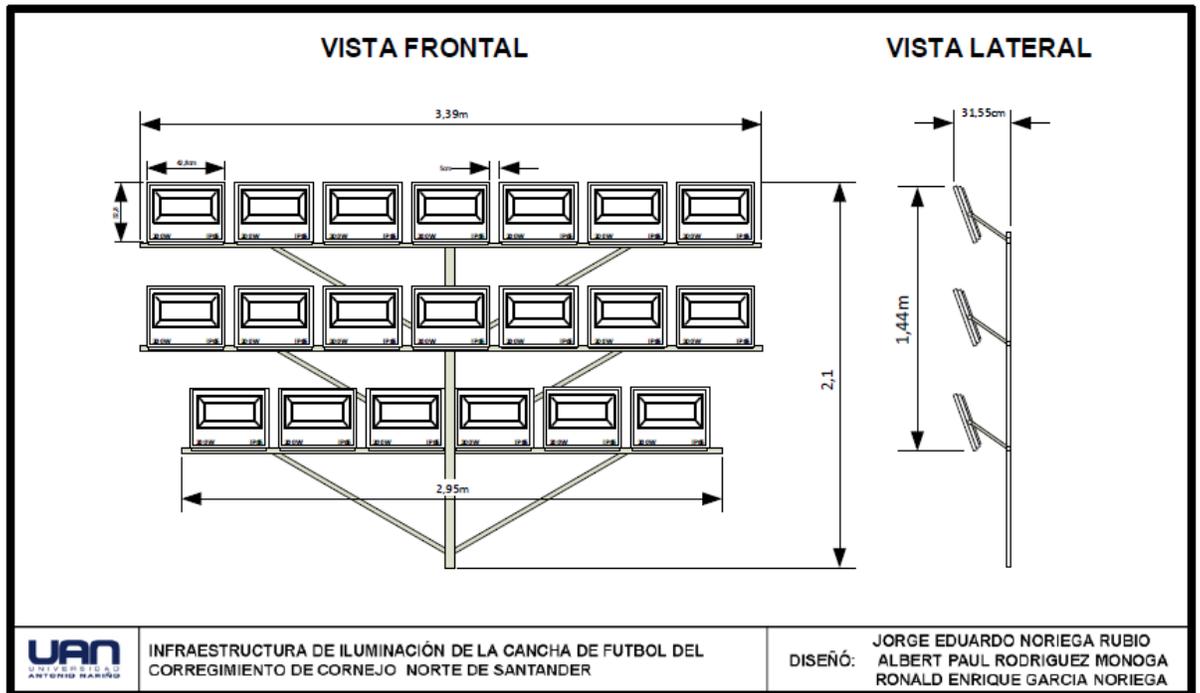
MODELO	POTENCIA	FLUJO LUMINOSO	GRADO IP	ANGULO DE APERTURA	IRC	VOLTAJE Y FRECUENCIA	FACTOR DE POTENCIA	GRADO DE PROTECCION	TEMPERATURA DE COLOR
2A4P0POL 0E	200W	24010Lm	IP65	120°	75Ra	100-240 Vac 50-60 Hz	FP-09	IK08	6500 k

Fuente: Autor.

4.2.4 Aplicación resultados del estudio en la proyección. De acuerdo al estudio fotométrico se seleccionó la lámpara de 200w especificada en el cuadro 2; el estudio proyectó un total de 80 lámparas y teniendo en cuenta la recomendaciones del RETILAP se proyectan las estructuras para soportar las 20 lámparas en cada torre, la cual está conformada por un poste de 12 metros de alto

y 25 centímetros de diámetro.

Figura 19. Estructura para la instalación de las lámparas



Fuente: Autor

La distribución de las Lámparas se realiza de acuerdo a las coordenadas de cada una entregadas por el software en el estudio realizado. (Véase el Anexo A).

4.3 ETAPA 3

Desarrollar los planos de la proyección del sistema de alumbrado con tecnología LED para la iluminación de la cancha de fútbol en el Corregimiento de Cornejo Norte de Santander.

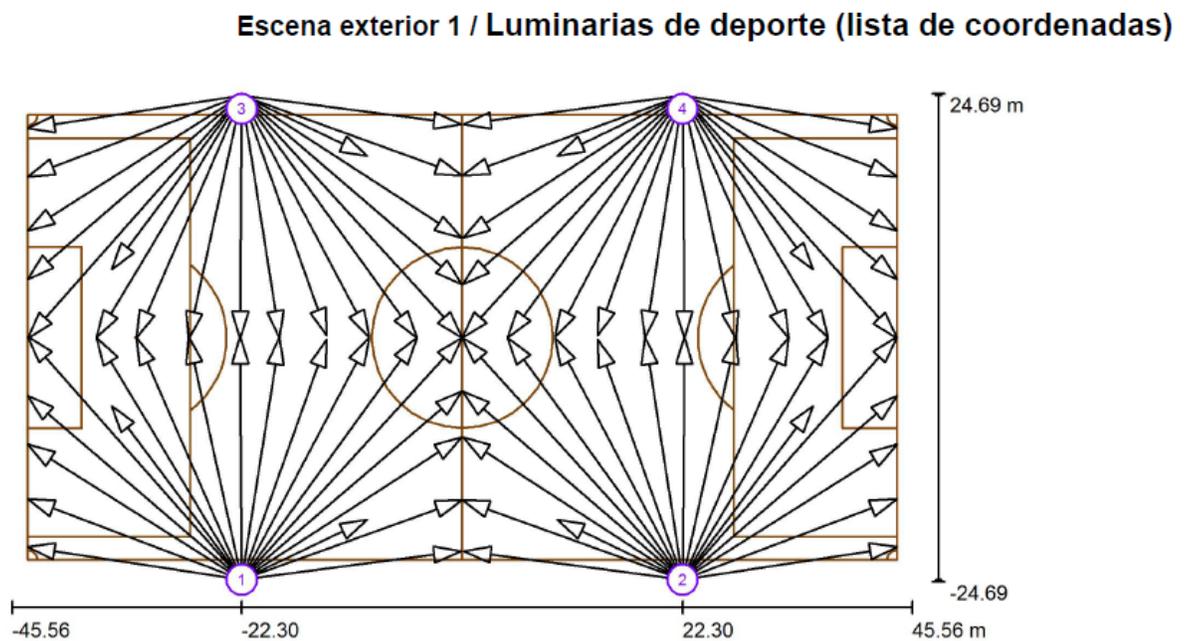
Actividades propuestas:

Dibujar los planos del sistema de iluminación con tecnología LED de acuerdo a la proyección establecida.

4.3.1 planos del sistema de iluminación con tecnología LED. Para este desarrollo se toma la información de las características y normativas desarrolladas en los objetivos anteriores y se elabora la proyección en la herramienta DIALux; el programa entrega los planos de acuerdo a la proyección.

Se instalan 20 luminarias por cada torre, las cuales se distribuyen uniformemente en la cancha como se puede observar en la figura.

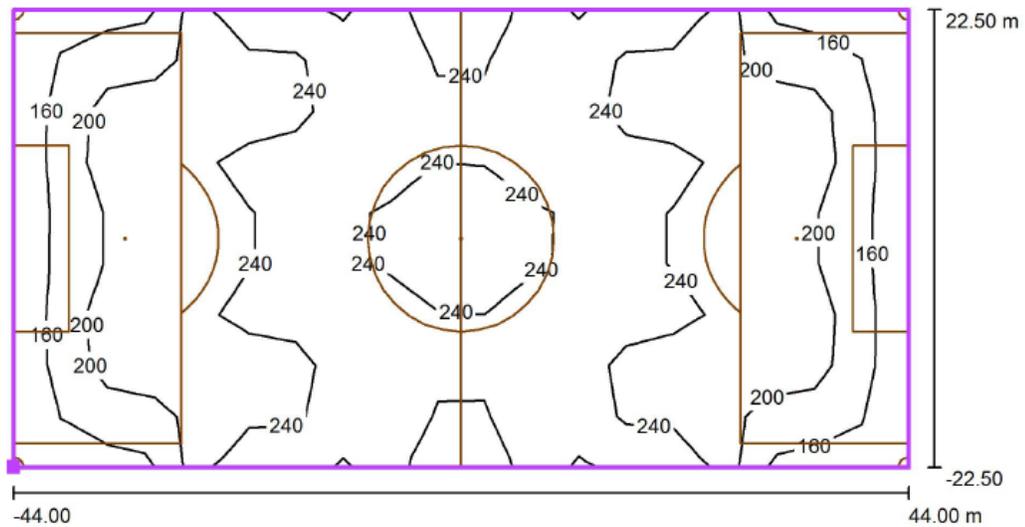
Figura 20. Distribución de luminarias



Fuente: Autor

Este proceso permite obtener la información de las coordenadas X, Y, Z en las que se debe instalar cada una de las luminarias de las 4 torres. Luego se procedió a tomar el cálculo de la fotometría alrededor del campo para garantizar la distribución uniforme de iluminación.

Figura 21. Distribución fotométrica del campo



Fuente: Autor

El programa DIALux entrega el estudio fotométrico completo con las coordenadas de posicionamiento de las luminarias el cual se puede observar en el Anexo A.

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

(Véase el Cuadro 4).

Cuadro 4. Presupuesto global del proyecto

PRESUPUESTO	
MATERIA PRIMA (MP)	
DESCRIPCION	VALOR
Levantamiento topográfico	\$ 1.500.000
Planos	\$ 1.000.000
TOTAL	\$ 2.500.000
MANO DE OBRA (MO)	
DESCRIPCION	VALOR
DESARROLLO DE DISEÑO	\$ 3.000.000
TOTAL	\$ 3.000.000
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF)	
DESCRIPCION	VALOR
LABORATORIOS UAN, BIBLIOTECA VIRUTAL	\$300.000
ACCESO A INTERNET	\$ 200.000
BIBLIOGRAFIA, CAPACITACION Y COSTOS DE IMPRESIÓN LIBROS Y DOCUMENTOS	\$1.500.000
TOTAL	\$2.000.000
TOTAL PRESUPUESTO	
DESCRIPCION	VALOR
MATERIA PRIMA (MP)	\$ 2.500.000
MANO DE OBRA (MO)	\$ 3.000.000
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION (CIF)	\$ 2.000.000
TOTAL	\$ 7.500.000

Fuente: Autor del proyecto

4.5 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

Para analizar el impacto ambiental del uso de las fuentes de energía no convencionales, se debe conocer que existen muchos tipos que aprovechan diferentes fuentes como la solar térmica o fotovoltaica, biomasa, geotérmica, eólica y mareomotriz.

Se analiza en los sistemas solares fotovoltaicos para nuestro caso particular la disposición de los paneles solares los cuales abarcarán parte del tejado de las graderías de la cancha, sin causar esta disposición un impacto ambiental significativo, ya que no se invaden terrenos ajenos al campo deportivo, por lo contrario prestan un servicio de sombra para los asistentes.

Con la energía solar fotovoltaica no se genera ningún tipo de contaminación por emisiones de CO₂ u otros gases invernaderos que perjudiquen al medio ambiente, solo queda analizar a futuro cuando estos elementos cumplan su vida útil cuál será su disposición final dentro de algunos años, para que impacte lo menor posible el ecosistema.

4.6 GLOSARIO

ANGULO DE INCIDENCIA: es el ángulo entre la radiación directa del sol y la posición normal del plano a incidencia.

CELDA SOLAR: Elemento que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

EFICACIA LUMINOSA: es el indicador de cuan eficaz es la fuente de luz

FLUJO LUMINOSO: es la potencia transmitida en forma de radiación lumínica.

FOTOMETRIA: es la ciencia encargada de medir la luz, la cual define el brillo de los colores percibidos por el ojo humano.

INTENSIDAD LUMINOSA: flujo luminoso emitido por una fase de luz en una dirección.

GENERADOR FOTOVOLTAICO: conjunto de ramas fotovoltaicas interconectadas.

MÓDULO O PANEL FOTOVOLTAICO: conjunto de celdas solares interconectadas y encapsuladas entre materiales que las protegen de golpes, lluvias, etc.

POTENCIA PICO: Potencia máxima de trabajo del panel fotovoltaico.

RADIACIÓN SOLAR: energía irradiada del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

RAMA FOTOVOLTAICA: Conjunto de módulos interconectados en serie o en paralelo, con mismo voltaje del generador.

RENDIMIENTO DE COLOR: es el efecto que una luz tiene sobre los objetos que ilumina

SISTEMA FOTOVOLTAICO: un sistema fotovoltaico es un grupo de elementos conectados que sirven como fuente de energía y usan como fuente primaria el sol.

5. CONCLUSIONES

En el desarrollo de este trabajo de grado integral me correspondió el estudio y manejo del software de diseño Dialux, para mí fue una buena experiencia, ya que no había manejado software de diseño a nivel de un proyecto real.

El poder tener la opción de mirar el estudio en 3D y manejar la distribución lumínica como se desea, me permitió entregar una distribución en exactitud del 98% como se puede ver en el Anexo A, Resultados del estudio; no se logró el 100% por la falta de experiencia en estudios de fotometría.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo con mis compañeros de trabajo, que el proyecto se lleve a la realidad sería una buena experiencia laboral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB “Inversor PRO-33.0-TL-OUTD”, 15-August-2017. [En línea]. Disponible en: <http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/string/three-phase/pro-33-0kw>.

Adajusa “Contactores Diferenciales Tripolares,”2016. [En línea]. Disponible en: <https://adajusa.es/diferenciales-tripolares/diferencial-4-polos-40-a-300-ma.html>.

Atlas IDEAM. Distribución de brillo solar medio diario. 10-August-2012. [En línea]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

Barco Jiménez, Jhon. (2014). Estudio del diseño e implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico como estrategia alternativa y sostenible de energización en el municipio de Santacruz del departamento de Nariño. Nariño: Plan de Energización Rural del Departamento de Nariño.

Blogger. Motores Eléctricos. Electricidad Práctica, 15-Febrero-2013. [En línea]. Disponible en: <http://autodesarrollo-electricidadpractica.blogspot.com.co/2011/07/motores-electricos.html>.

Cadena Díaz, José David, Becerra Gaona, Álvaro Camilo y Cortés González, Mauricio. (2016). Prefactibilidad de la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en empresas de la zona industrial de puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Bogotá, 59 p. Trabajo de Grado (Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería.

Cantos, J. (2016). Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo, S.A.

Castejón, A. y Santamaría, G. (2014). Instalaciones solares fotovoltaicas. Editex.

Martínez, I. C. (2015). Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, cuba solar. [En línea]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/energia40/html/articulo05.htm>.

Meetthings “Comparaciones convencionales LED”, 30-August-2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.meetthings.com>.

MICRO INVERSOR KD-WVC600-120VAC/230VAC. [En línea]. Disponible en: <https://www.ensolar.com/Product/pdf/Inverter/53fff8bed9878.pdf>.

Rodríguez Murcia, Humberto. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. En: Revista de Ingeniería, N° 17. (Jan-2009).

Schneiders Electric. Control y Automatización, 2005. [En línea]. Disponible en: http://www.schneider-electric.co.cr/sites/costa-rica/es/productos-servicios/automatizacion-control/oferta-de-productos/presentacion-de-rango.page?c_filepath=/templatedata/Offer_Presentation/3_Range_Datasheet/data/es/local/automation_and_control/tesys_gs.xml.

ANEXOS

ANEXO A. Estudio de fotometría y proyección del sistema de iluminación

ILUMINACIÓN DE LA CANCHA DE FUTBOL DEL CORRE

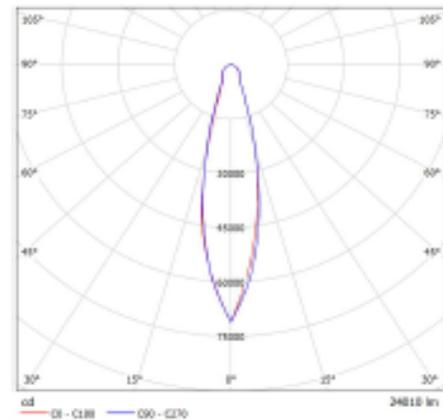
DIALux
04.06.2020

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
CUCUTA- NORTE DE SANTANDER

Proyecto elaborado por: RONALD ENRIQUE GARCIA NORIEGA
Teléfono: 316-2968558
Fax:
e-Mail: gancianoriega@2020@gmail.com

APPLETON I/AMLHL1CG3 AREAMASTER LED 24000 LUMENS NEMA 3X 3 CLEAR GLASS 5000 K CCT / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
Código CIE Flux: 74 91 99 100 101

Areamaster LED Gen2 HL Flood light Series
Pole Mount
24000 LUMENS, 5000 K CCT
Yoke Mount
BU-120-277 Vac, 50/60Hz,
BH-347-480 Vac, 50/60Hz
3/4" NPT Hub
NO OPTICS
CLEAR GLASS

Class I, Division 2, Groups A, B, C, D
Class I, Zone 2 GROUP IIC
TYPE SR, 4, 4X
IP66/67
Suitable for Use in Wet Locations
Marine Outside (Salt Water)

Refer to catalog for additional options

Class I, Division 2, Groups A, B, C, D
Class I, Zone 2 GROUP IIC
TYPE SR, 4, 4X
IP66/67
Suitable for Use in Wet Locations
Marine Outside (Salt Water)

Refer to catalog for additional options

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.