

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

## Carrera de Tecnología Superior en Electricidad Industrial

### DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PARA LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIDAD EDUCATIVA SALESIANA CRISTOBAL COLON

Previo la obtención del Título de:

## **Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial**

Autores:

Allan Steven Villalta Velásquez

Gilmar Alexander Murillo Burgos

Tutor:

Ing. Luis Alberto Pesantes Ocampo, Msc.

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Allan Steven Villalta Velásquez con documento de identificación N° 0926878034 y Gilmar Alexander Murillo Burgos con documento de identificación N°; 0953191210 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, agosto del año 2025

Atentamente,



---

Allan Villalta Velásquez  
C.I. 0926878034



---

Gilmar Murillo Burgos  
C.I. 0953191210

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Allan Steven Villalta Velásquez con documento de identificación N° 0926878034 y Gilmar Alexander Murillo Burgos con documento de identificación N° 0953191210, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de un sistema de alumbrado para la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Tecnólogo Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento cuando entregamos el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, agosto del año 2025

Atentamente,



---

Allan Villalta Velásquez  
C.I. 0926878034



---

Gilmar Murillo Burgos  
C.I. 0953191210

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Luis Alberto Pesantes Ocampo con documento de identificación N° 0202250049 y docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“Diseño de un sistema de alumbrado para la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon”**, realizado por Allan Steven Villalta Velásquez con documento de identificación N° 0926878034 y Gilmar Alexander Murillo Burgos con documento de identificación N° 0953191210, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, del año 2025

Atentamente,



---

Ing. Luis Alberto Pesantes Ocampo, Msc.

C.I: 0911477776

## DEDICATORIA

Dedicado especialmente a mis padres Yesenia Velásquez mi querida madre y a mi querido papa Ulises Villalta por haberme apoyado y aconsejando día a día que siga que no me rinda que me esfuerzo que en un futuro se darán los frutos de tu disciplina y perseverancia mis abuelitos los quiero mucho esto va para ustedes y me llenaría de mucha felicidad compartir este logro con ustedes, gracias Dios por haberme dado salud y sabiduría para poder culminar mis estudios exitosamente.

**Allan Steven Villalta Velásquez**

Dedicándole gracias a Dios que me permitió tener salud, sabiduría y a mis padres que me inculcaron que me siga preparando porque el conocimiento es la mejor herramienta que mediante el estudio todas las puertas se pueden abrir a mi hermano mayor que siempre me enseñó que si perseveras alcanzas a mis primos que siempre me enseñaron los conocimientos que tienen como objetivo poder culminar mis estudios exitosamente.

**Gilmar Alexander Murillo Burgos.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios primeramente por haber culminado esta etapa tan importante para mi vida, también agradezco a mi familia, amigos y compañeros de trabajo que confiaron en mi progreso y cada día me alentaban para seguir con el propósito que me dije desde el primer día que entré a la carrera. A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme desarrollar mis capacidades que dan fruto a el proyecto de titulación y al tutor presente el Ing. Luis Pesantez por todo el apoyo durante este proceso y por compartir sus conocimientos y lo más importante de su valioso tiempo.

**Allan Steven Villalta Velásquez**

Agradezco a Dios por permitirnos estar en estos momentos con salud y culminando esta etapa tan importante para mí desarrollo profesional, también agradezco a mi familia, amigos y compañeros que me motivaron a seguir y cada día me alentaban a cumplir mis propósitos que me propuse terminar desde el primer día que entré a clases. Al Ing. Cesar Caseres gestor de la carrera que gracias a su incansable labor logro incorporar las carreras tecnológicas en la Universidad Politécnica Salesiana algo que parecía improbable en su momento ahora nos permite estar a un paso de ser futuros tecnólogos al tutor presente el Ing. Luis Pesantez por todo el inculcado durante este proceso sus conocimientos y por guiarnos y aconsejarnos brindándonos lo más importante que es tiempo.

**Gilmar Alexander Murillo Burgos.**

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un sistema de alumbrado eficiente para la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colón, garantizando condiciones lumínicas adecuadas y reduciendo el consumo energético. El diagnóstico inicial mostró que el sistema existente, basado en diez lámparas de halogenuro metálico de 1000 W, presentaba un elevado consumo eléctrico, bajo factor de potencia y una distribución de la iluminancia poco uniforme, afectando la práctica deportiva nocturna.

La metodología incluyó el levantamiento arquitectónico y lumínico, la evaluación de la demanda energética, cálculos luminotécnicos mediante los métodos de lúmenes y punto por punto, así como simulaciones en DIALux para validar el diseño. También se elaboraron planos eléctricos y el diagrama unifilar para garantizar la viabilidad de la propuesta.

Los resultados evidenciaron que el nuevo sistema, compuesto por 12 proyectores LED de 200 W instalados en postes de 10 m y 12 m, alcanza niveles de iluminancia de 300–500 lux, cumpliendo con los estándares deportivos. La potencia instalada se redujo de 10 kW a 2,4 kW, con un factor de potencia de 0,95 y un ahorro de aproximadamente 82 USD mensuales en energía. La inversión inicial se estimó en 4 228 USD, con un periodo de recuperación simple de 4,3 años, que podría reducirse a 2,3 años si no se requiere instalación de nuevos postes.

En conclusión, la propuesta LED representa una solución integral que combina eficiencia energética, sostenibilidad económica y mejora en la calidad de iluminación, siendo replicable en otros escenarios deportivos.

**Palabras Clave:** Iluminación deportiva, eficiencia energética, proyectores LED, DIALux.

## ***ABSTRACT***

The objective of this study was to design an efficient lighting system for the synthetic field of Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colón, ensuring adequate lighting conditions while reducing energy consumption. The initial assessment showed that the existing system, based on ten 1000 W metal halide lamps, presented high electricity consumption, a low power factor, and an uneven distribution of illuminance, which negatively affected nighttime sports activities.

The methodology included an architectural and lighting survey of the field, evaluation of energy demand, lighting calculations using the lumen and point-by-point methods, as well as simulations in DIALux to validate the design. Electrical installation plans and the single-line diagram were also developed to ensure the feasibility of the proposal.

The results showed that the new system, consisting of 12 LED projectors of 200 W installed on 10 m and 12 m poles, achieves illuminance levels between 300 and 500 lux, complying with sports lighting standards. The installed power was reduced from 10 kW to 2.4 kW, with a power factor of 0.95 and an estimated energy saving of approximately 82 USD per month. The initial investment was estimated at 4,228 USD, with a simple payback period of 4.3 years, which could be reduced to 2.3 years if new poles are not required.

In conclusion, the LED proposal represents a comprehensive solution that combines energy efficiency, economic sustainability, and improved lighting quality, making it replicable in other sports facilities.

**Keywords:** sports lighting, energy efficiency, LED projectors, DIALux.

# ÍNDICE GENERAL

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación .....	2
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana .....	3
Certificado de dirección de trabajo de titulación .....	4
DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	6
RESUMEN.....	7
<i>ABSTRACT</i> .....	8
ÍNDICE GENERAL .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE ANEXOS .....	12
CAPÍTULO 1.....	13
1.    Introducción .....	13
1.1    Descripción del problema .....	13
1.2    Justificación del problema .....	14
1.3    Objetivos .....	15
1.3.1    Objetivo General .....	15
1.3.2    Objetivos Específicos.....	15
1.4    Luminotecnia .....	16
1.4.1    Conceptos básicos.....	16
1.4.2    Unidades de medida y magnitudes.....	16
1.4.3    Fuentes de Luz .....	17
1.5    Luminarias.....	17
1.5.1    Tipos .....	17
1.5.2    Funciones lumínicas .....	18

1.5.3	Características de las luminarias .....	18
1.6	Diseños de iluminación.....	19
1.6.1	Niveles de iluminación .....	19
1.6.2	Factores a considerar .....	19
1.6.3	Niveles de iluminación (Norma UNE-A 12193: 2009). .....	20
1.6.4	Métodos de cálculo .....	21
1.7	DIALux como herramienta de diseño de iluminación .....	22
1.7.1	Aplicaciones en el diseño deportivo .....	23
1.7.2	Ventajas del uso de DIALux .....	23
CAPÍTULO 2.....		24
2.	Metodología .....	24
2.1	Levantamiento de información .....	25
2.2	Levantamiento arquitectónico.....	25
2.3	Demanda energética .....	26
2.4	Cálculos lumínicos.....	26
2.5	Diseño del sistema de iluminación .....	29
2.5.1	Plano instalación eléctrica .....	29
2.5.2	Diagrama unifilar.....	29
2.6	Simulación del sistema de alumbrado en DIALux .....	30
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados Y ANÁLISIS .....	31
3.1	Características de las luminarias seleccionadas .....	31
3.2	Línea base de características arquitectónicas.....	33
3.3	Cálculos luminotécnicos .....	34
3.4	Cálculos eléctricos.....	35
3.5	Plano Arquitectónico.....	36
3.6	Plano instalación eléctrica .....	36

3.7	Diagrama unifilar .....	38
3.8	Simulación en DIALux .....	39
3.9	Análisis de costos y presupuesto .....	43
CAPÍTULO 4.....		45
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	45
4.1	Conclusiones.....	45
4.2	Recomendaciones.....	46
5.	CRONOGRAMA .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....		50
Anexo .....		52

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1.	Unidades y magnitudes utilizadas en luminotecnia [5] .....	17
Figura 1.2	Tipos de luminarias cónicas [7]. .....	18
Figura 1.3	Temperaturas del color de la iluminación[10]. .....	19
Figura 1.4	Representación iluminación según la norma[12]. .....	20
Figura 1.5	Ejemplo software para diseño de iluminación [15].....	22
Figura 2.1	Diagrama de flujo de la metodología propuesta. ....	24
Figura 2.2	Pantalla de inicio de AutoCAD Electrical. ....	29
Figura 2.3	Pantalla de inicio en DIALux EVO para el uso del proyecto .....	30
Figura 3.1	Luminarias propuestas para el nuevo sistema de eliminación. ....	33
Figura 3.2	Plano arquitectónico de la cancha sintética.....	34
Figura 3.3	Vista Isométrica de la cancha sintética implementada en AUTOCAD.....	36
Figura 3.4	Instalación Eléctrica propuesta para la cancha. ....	37
Figura 3.5	Diseño propuesto para los postes con los reflectores. ....	38
Figura 3.6	Diagrama unifilar del sistema propuesto. ....	38
Figura 3.7	Ingreso y colocación de las luminarias en arreglo de 3 por poste. ....	39
Figura 3.8	Ajuste del ángulo de las luminarias. ....	40
Figura 3.9	Resultados de los cálculos de la distribución lumínica. ....	40

Figura 3.10 Vista superior de la cancha con la simulación ejecutada. ....	41
Figura 3.11 Vista isométrica de los resultados lumínicos. ....	41
Figura 3.12 Resultados implementación sistema lumínico en DIALUX. ....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos Técnicos del transformador .....	25
Tabla 2.2 Demanda energética del sistema actual .....	26
Tabla 3.1 Comparación de tecnologías de iluminación para canchas deportivas. Fuente: Adaptado de IESNA (2011), Philips Lighting (2020), Gonzáles (2017). ....	32
Tabla 3.2 Tabla resumen de valores principales eléctricos .....	36
Tabla 3.3 Tabla resumen de estimaciones económicas. ....	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 5.1</b> Características técnicas de las luminarias utilizadas .....	52
--	----

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la actividad física, los deportes recreativos y de competencia, así como el uso de áreas multifuncionales, han comenzado un progreso significativo con la infraestructura deportiva moderna. En este escenario, las canchas sintéticas se han visto como alternativas efectivas en ciudades y zonas rurales. Uno de los aspectos más importantes para mejorar su funcionalidad de iluminación, y especialmente de uso generalizado es en la tarde y noche. Un diseño de sistema de luz apropiado no solo proporciona seguridad y claridad a las personas presentes y los espectadores, sino que también mejora directamente el rendimiento deportivo y la percepción de la calidad del medio ambiente. Por lo tanto, el desarrollo del sistema de iluminación debe considerarse no solo para adiciones estéticas o funcionales, sino también un componente importante de la planificación técnica y operativa del proyecto. Este proyecto ha elegido la tecnología LED debido a sus características y beneficios y además que ofrece una durabilidad que varía entre los 50.000 mil a 100,000 mil horas a comparación de los reflectores de sodio y halogenuros metálicos ya en uso, así que se puede promover en los nuevos diseños de iluminación y a la vez cumplir con todas las condiciones necesarias establecidas por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN.

La Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon desde la perspectiva eléctrica, al diseñar un sistema de iluminación para campos sintéticos, es necesario incluir diagramas unifilares, esquemas eléctricos y cálculos de carga que aseguren el correcto funcionamiento del sistema. Herramientas como Dialux o SolidWorks Electrical que facilitan la creación de los circuitos de suministro de energía, la selección de conductores apropiados según su grosor, la instalación de protecciones eléctricas como interruptores y disyuntores, así como el establecimiento del sistema de conexión a tierra.

### 1.1 Descripción del problema

La Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon actualmente tiene un sistema de iluminación de reflectores halogenuros de 1000W por la cual están alimentadas desde la red interna de la unidad educativa, se refleja una carencia de una

adecuada distribución de iluminación para los eventos deportivos y eventos a futuros.

En Ecuador, el diseño implementación de sistemas de alumbrado en espacios deportivos debe cumplir con los lineamientos establecidos por el Reglamento de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN, además de considerar los criterios técnicos de organismos internacionales como la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) e Illuminating Engineering Society (IES). Estas normativas establecen los niveles mínimos de iluminancia, uniformidad, temperatura de color y control del deslumbramiento requeridos para garantizar condiciones óptimas de visibilidad, seguridad y confort visual durante la práctica deportiva, tanto en actividades recreativas como competitivas. La ausencia de un sistema de alumbrado adecuado en la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon limita el uso del espacio en horarios nocturnos y compromete el bienestar de los usuarios, lo que justifica la necesidad de un diseño técnico que cumpla con estas exigencias normativas.

Por lo cual se establece que el proyecto de iluminación tenga optima distribución de iluminación que cumpla con los requisitos técnicos para canchas deportivas, garantizando una uniformidad lumínica, eficiencia energética y seguridad operativa. La importancia de la propuesta de iluminación establecida en este proyecto es crear un claro y optimo diseño que permita considerar factores como la altura de los postes, la ubicación de las luminarias y su resistencia a condiciones climáticas adversas y así mejorar la situación actual de la iluminación en la cancha del Cristóbal Colon y su alimentación eléctrica.

## **1.2 Justificación del problema**

La cancha de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon visualmente carece de una iluminación adecuada de sus áreas exteriores e interiores, no brinda seguridad, comodidad y confianza para realizar actividades físicas o de recreación dicho sistema no cumple con la calidad de luminosidad necesaria, debido a problemas como deterioro de vida útil de los reflectores, luminarias antiguas comparado con las actuales que son las LED y baja eficiencia energética del sistema actual, lo cual dificulta el uso de sus instalaciones en horarios nocturnos y la realización de eventos que impliquen el uso de iluminación. La cancha sintética tiene sistemas de iluminación independientes para cada una, pero al no existir un

tablero de control principal los operadores deben desplazarse a cada locación para realizar el encendido de estas. Con el fin de brindar a todos los estudiantes un buen nivel de confort y seguridad al momento de realizar actividades físicas en lugares abiertos como son canchas deportivas, parques, polideportivos, avenidas, etc. Se hace necesario mejorar la iluminación en los exteriores para proporcionar un servicio adecuado a los usuarios, además de unas instalaciones eléctricas seguras y confiables que permitan el control de los sistemas de iluminación de una manera centralizada y accesible.

Con la finalidad de optimizar los niveles de iluminación y el consumo de energía, se plantea un nuevo dimensionamiento del sistema de iluminación, considerando que la tecnología a utilizar sea LED de la más alta eficiencia posible, además que la ubicación del sistema de torres y las luminarias sea la correcta, logrando un mejor aprovechamiento de los puntos de irradiación de las luminarias, Es importante que el proyecto cumpla con normas estandarizadas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de iluminación para la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon utilizando luminarias led para mejorar las condiciones de iluminación y mejorar la eficiencia energética.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un levantamiento lumínico de las instalaciones de la cancha determinando la necesidad de ajuste a la distribución de luminarias.
- Realizar un diseño de iluminación de la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon con tecnología led considerando la norma técnica ecuatoriana NTE INEN.
- Evaluar los perfiles de consumo de las luminarias existente estableciendo un historial y mejorando las condiciones de costos generados por consumo eléctrico.
- Analizar diferentes modelos y propuestas con simulaciones en el software DiaLux realizando cálculos de iluminancia, índice de confort y eficiencia energética.

## 1.4 Luminotecnia

La luminotecnia es la disciplina de la ingeniería encargada de estudiar la producción, control y aplicación de la luz artificial con fines prácticos, estéticos y de seguridad. Su propósito es proporcionar niveles adecuados de visibilidad, confort visual y eficiencia energética en los distintos espacios de aplicación [1]. En instalaciones deportivas, como canchas sintéticas, la luminotecnia resulta esencial, ya que el diseño de iluminación influye directamente en la calidad del juego[2], la seguridad de los usuarios y el cumplimiento de normas internacionales como la UNE-EN 12193, 2020, que regula la iluminación de instalaciones deportivas.

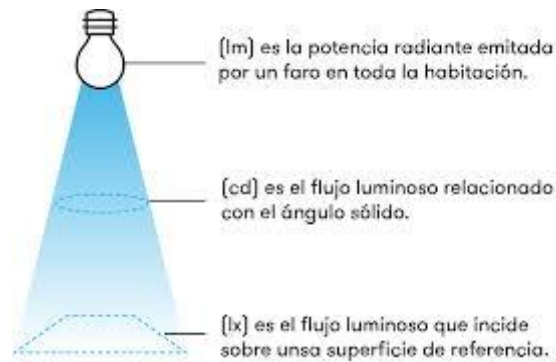
### 1.4.1 Conceptos básicos

La luz es radiación electromagnética perceptible por el ojo humano en el rango de 380 a 780 nm de longitud de onda [3]. Entre los principales conceptos de luminotecnia se destacan:

- Flujo luminoso ( $\Phi$ ): cantidad de luz emitida por una fuente, medida en lúmenes (lm).
- Iluminancia (E): flujo luminoso que incide sobre una superficie, expresado en lux (lx).
- Luminancia (L): cantidad de luz percibida desde una dirección específica, medida en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .
- Eficacia luminosa ( $\eta$ ): relación entre el flujo luminoso emitido y la potencia consumida (lm/W).

### 1.4.2 Unidades de medida y magnitudes

En luminotecnia se emplea el Sistema Internacional de Unidades para cuantificar fenómenos relacionados con la luz. El lumen (lm) mide el flujo luminoso emitido por una fuente, mientras que el lux (lx) expresa la iluminancia sobre una superficie. La candela (cd) representa la intensidad luminosa en una dirección concreta. La Figura 1.1 presenta una representación gráfica de estas magnitudes. Otras magnitudes relevantes incluyen la temperatura de color (K), que describe el tono cromático de la fuente de luz, y el índice de reproducción cromática (IRC), que evalúa la fidelidad con la que los colores son percibidos bajo una determinada iluminación[4].



**Figura 1.1.** Unidades y magnitudes utilizadas en luminotecnia [5]

### 1.4.3 Fuentes de Luz

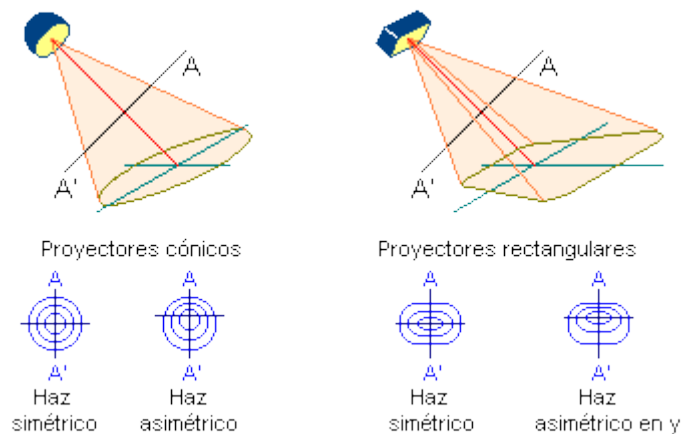
Las fuentes de luz han evolucionado notablemente en las últimas décadas. Tradicionalmente se utilizaron lámparas incandescentes y de descarga (fluorescentes, de sodio y de mercurio). Sin embargo, la tendencia actual se orienta hacia la tecnología LED, la cual ofrece alta eficiencia energética, larga vida útil y flexibilidad en el diseño. Para instalaciones deportivas, los LED permiten un control preciso del haz luminoso, reducen costos de mantenimiento y cumplen con los requisitos de uniformidad establecidos por normas internacionales como la UNE-EN 12193 para iluminación de instalaciones deportivas [6].

## 1.5 Luminarias

Las luminarias son dispositivos que integran y sostienen las fuentes de luz, a la vez que dirigen y distribuyen el flujo luminoso de manera controlada. Constituyen un elemento esencial en cualquier sistema de alumbrado, ya que determinan la eficiencia global y la calidad del ambiente luminoso generado.

### 1.5.1 Tipos

Existen diversos tipos de luminarias clasificadas según su aplicación y forma constructiva: de proyección, empotradas, de superficie, suspendidas y de exterior. En el caso de las canchas sintéticas, se emplean mayoritariamente luminarias de proyección con ópticas como las mostradas en la Figura 1.2 diseñadas para concentrar la luz en el área de juego y minimizar la dispersión hacia el entorno.



**Figura 1.2** Tipos de luminarias cónicas [7].

### 1.5.2 Funciones lumínicas

La función primordial de la luminaria es proporcionar un nivel adecuado de iluminación en la superficie deseada. Adicionalmente, debe cumplir con otras funciones como el control del deslumbramiento, la uniformidad de la luz, la protección de la fuente frente a agentes externos y la optimización de la eficiencia energética. En instalaciones deportivas, el diseño de la luminaria contribuye a evitar sombras pronunciadas que podrían interferir en el desarrollo del juego.

### 1.5.3 Características de las luminarias

Las características de una luminaria incluyen la potencia máxima admisible, la eficiencia óptica, el grado de protección IP contra el ingreso de polvo y agua, y el índice IK que evalúa la resistencia a impactos mecánicos. En ambientes exteriores es fundamental considerar luminarias con un IP65 o superior, así como materiales resistentes a la corrosión. El diseño óptico y la reflectancia de los materiales internos determinan la calidad del haz proyectado [8].

Una luminaria deportiva debe contar con:

- Alta eficiencia óptica (>85%).
- Grado de protección IP65–IP67.
- Resistencia mecánica IK08 o superior.
- Ópticas asimétricas para reducir contaminación lumínica hacia zonas externas.

## 1.6 Diseños de iluminación

El diseño de un sistema de iluminación debe responder a criterios técnicos, normativos y de seguridad. En el caso de espacios deportivos, el diseño debe garantizar visibilidad adecuada para jugadores, árbitros y espectadores, además de minimizar el consumo energético y la contaminación lumínica.

### 1.6.1 Niveles de iluminación

Los niveles de iluminación varían según la actividad deportiva y el tipo de uso de la instalación. Normativas internacionales recomiendan valores mínimos de iluminancia que oscilan entre 200 y 500 lux para entrenamientos y hasta 750 lux o más para competiciones oficiales con transmisión televisiva. Así también se trata de estudiar la temperatura de estas luminarias, valores que varía según su uso y se muestran en la Figura 1.3. Estos valores deben mantenerse de forma uniforme en toda la superficie de juego para garantizar condiciones homogéneas [9].

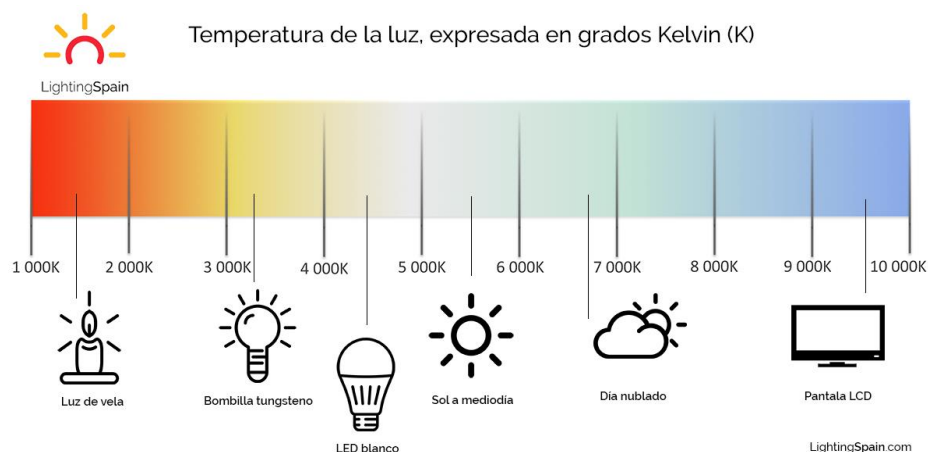


Figura 1.3 Temperaturas del color de la iluminación[10].

### 1.6.2 Factores a considerar

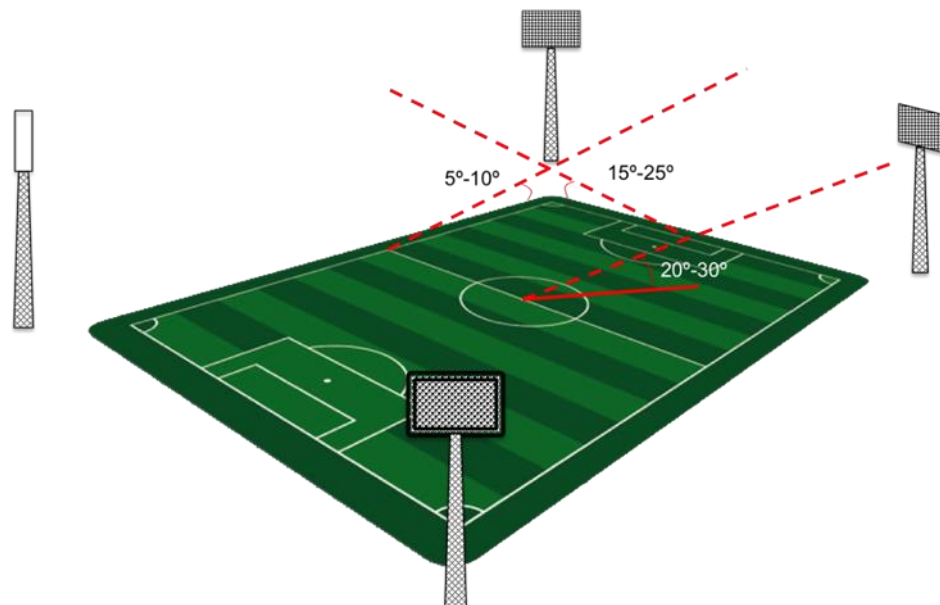
Entre los principales factores de diseño destacan: la altitud de montaje de las luminarias, la distribución espacial, la uniformidad de la luz, la temperatura de color, el control del deslumbramiento, y los requerimientos energéticos. También es importante contemplar aspectos ambientales, como la reducción de la contaminación lumínica y el impacto visual en zonas residenciales cercanas.

### 1.6.3 Niveles de iluminación (Norma UNE-A 12193: 2009).

La iluminación en los campos de fútbol debe ser uniforme para que la visión del jugador, el árbitro o la audiencia sea visible. El objetivo es garantizar una buena visibilidad en todo el campo de fútbol[11].

El nivel de iluminación específicos para los centros deportivos y criterios, por ejemplo:

- Área de escenario deportivo total.
- Escenario deportivo para cualquier tipo de deporte. UNE 12193: 2009 - S estándar se refiere al nivel de iluminación de equipos deportivos en función del uso, clasificación de iluminación de tres maneras basadas en el nivel de competencia con 4 iluminarias led dando un alumbramiento directo a la cancha como se nota en la Figura 1.
- Iluminación de clase I: competencia al más alto nivel, competiciones nacionales e internacionales.
- Iluminación de clase II: competencia de nivel medio, fiestas de competencia regionales y local.
- Iluminación de clase III: educación general, educación física y actividades recreativas.



**Figura 1.4** Representación iluminación según la norma[12].

#### 1.6.4 Métodos de cálculo

El cálculo de la iluminación es una fase crítica en el diseño de sistemas de alumbrado, ya que permite estimar con precisión los niveles de iluminancia, luminancia y uniformidad que se alcanzarán en el área de estudio. La correcta aplicación de los métodos asegura que el proyecto cumpla con las exigencias normativas y brinde confort visual a los usuarios [13]. Existen varios métodos empleados en luminotecnia, entre los cuales destacan: el método de los lúmenes, el método punto por punto y las herramientas de simulación computacional.

##### **Método de los lúmenes**

Este método es ampliamente utilizado en interiores de geometría regular (oficinas, aulas, bodegas), debido a su simplicidad y efectividad en espacios donde se requiere un nivel de iluminación uniforme. Su fundamento es la relación entre el flujo luminoso total emitido por las luminarias y la superficie a iluminar, considerando factores de utilización y mantenimiento.

La ecuación general es:

$$E_m = N \cdot \Phi \cdot UF \cdot \frac{MF}{A}$$

Donde

$E_m$  = iluminancia media (lx)

$N$  = número de luminarias instaladas

$\Phi$  = flujo luminoso por luminaria (lm)

$UF$  = factor de utilización (0,5–0,8)

$MF$  = factor de mantenimiento ( $\approx 0,8$ )

$A$  = área a iluminar ( $m^2$ )

##### **Método punto por punto**

El método punto por punto se emplea principalmente en exteriores y áreas deportivas, donde la uniformidad y el control del deslumbramiento son críticos. Permite calcular la iluminancia en posiciones específicas del área de juego considerando la geometría de la instalación, la altura de montaje y el ángulo de incidencia de cada luminaria.

La ecuación de este método es como sigue:

$$E = \frac{I(\theta)}{d^2} \cos^3 \theta$$

Donde:

$E$  Iluminancia en el punto (lx)

$I(\theta)$  Intensidad luminosa de la luminaria a la dirección  $\theta$

$d$  distancia entre la fuente de luz y el punto (m)

$\theta$  ángulo entre el eje normal al plano de la superficie y la dirección de la luz.

## 1.7 DIALux como herramienta de diseño de iluminación

El diseño de sistemas de alumbrado deportivo requiere precisión en la estimación de niveles de iluminancia, uniformidad, deslumbramiento y consumo energético. En este contexto, el software DIALux se ha consolidado como una de las herramientas más utilizadas a nivel internacional para el cálculo y la simulación luminotécnica

DIALux es un programa gratuito desarrollado por la compañía alemana DIAL GmbH, destinado al diseño, cálculo y visualización de proyectos de iluminación tanto en interiores como en exteriores. El software permite trabajar con planos 2D y modelos tridimensionales de los espacios, lo que facilita la representación realista de la distribución de la luz [14].

Su principal ventaja es la compatibilidad con los archivos IES y LDT, que contienen las curvas fotométricas de luminarias proporcionadas por los fabricantes. De este modo, el diseñador puede modelar con exactitud el comportamiento lumínico de equipos específicos, garantizando que el proyecto cumpla con las normas técnicas vigentes.

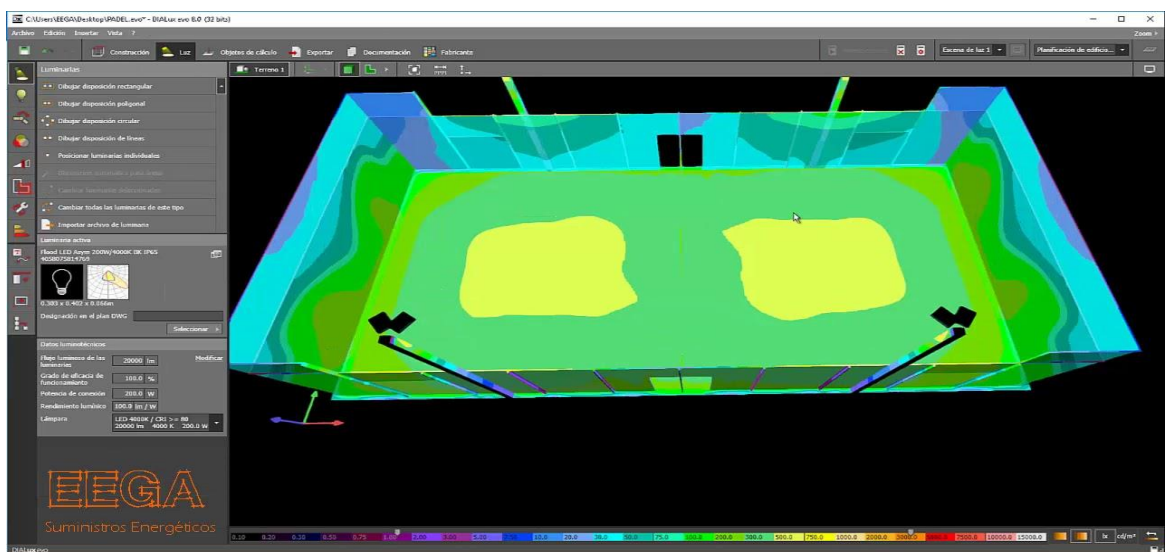


Figura 1.5 Ejemplo software para diseño de iluminación [15].

### **1.7.1 Aplicaciones en el diseño deportivo**

En instalaciones deportivas, como canchas sintéticas o estadios, DIALux se emplea para:

- Calcular la iluminancia media ( $E_m$ ) en toda el área de juego.
- Verificar la uniformidad ( $U_0 = E_{min} / E_{med}$ ) requerida por normas como la UNE-EN 12193:2020.
- Estimar el índice de deslumbramiento, fundamental para evitar molestias visuales a jugadores y espectadores.
- Simular condiciones específicas de competición, incluyendo niveles de 200 lx para entrenamientos o 500–1000 lx para torneos de mayor nivel.
- Optimizar el número, potencia y ubicación de las luminarias para reducir costos operativos y consumo energético.

### **1.7.2 Ventajas del uso de DIALux**

El empleo de DIALux en proyectos de iluminación presenta múltiples beneficios:

- Precisión técnica: permite cálculos detallados punto por punto en superficies irregulares.
- Normativa integrada: incluye estándares internacionales (CIE, IES, UNE) para validar automáticamente los diseños.
- Optimización energética: facilita la comparación entre distintas tecnologías de luminarias (LED, sodio, halógenos metálicos).
- Visualización realista: genera renderizados 3D del espacio iluminado, útiles para la presentación de proyectos.
- Accesibilidad: es un software gratuito y ampliamente difundido, con soporte de una extensa base de datos de fabricantes.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología propuesta para el proyecto de titulación y el desarrollo del diseño del sistema de alumbrado de la cancha sintética de la Unidad Educativa Salesiana Cristóbal Colon, se aplicó una metodología de tipo práctica y analítica mostrada en la Figura 2.1, que permitió obtener información técnica precisa del entorno, evaluando el estado actual de la iluminación y propuso una solución eficiente y normativa basada en tecnología LED. Se detallan a continuación los procedimientos implementados para diseñar el sistema de iluminación.

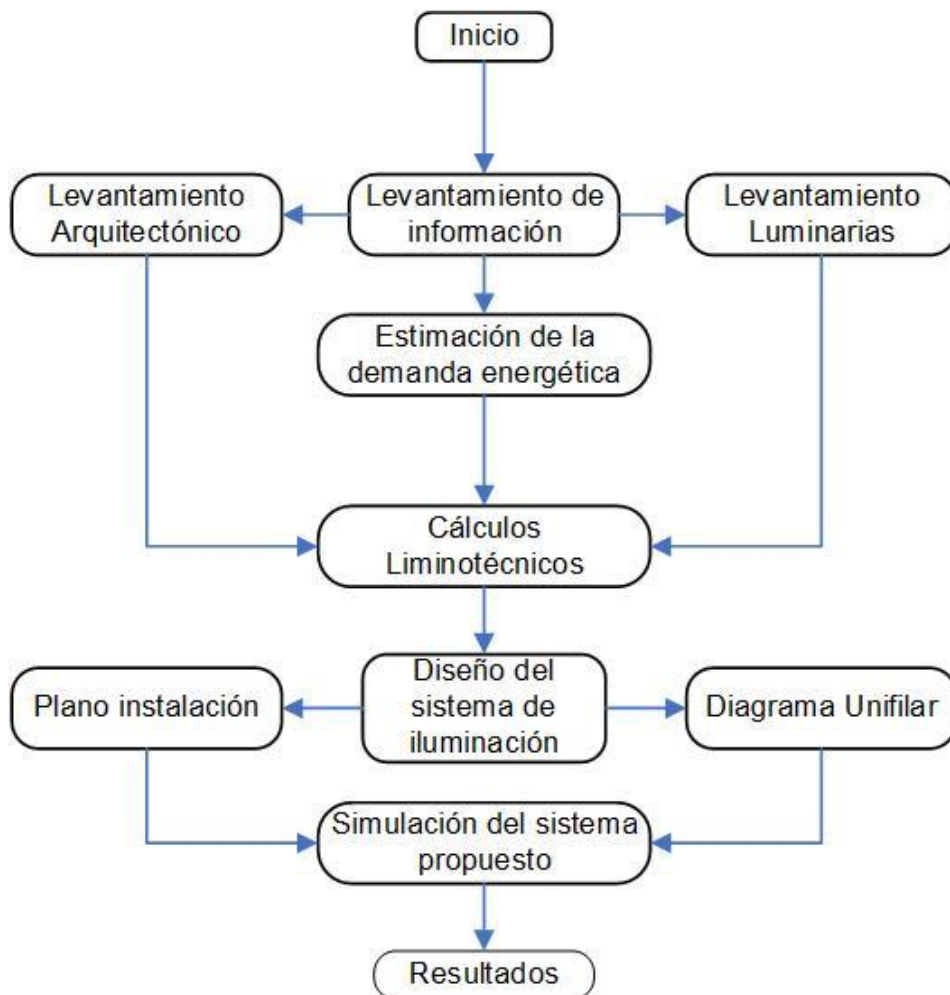


Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología propuesta.

## 2.1 Levantamiento de información

En esta etapa se identificaron y evaluaron las condiciones lumínicas actuales de la cancha, determinando la ausencia, deficiencia o necesidad de un nuevo sistema de alumbrado. En primera instancia, se obtiene información del transformador que alimenta el sistema de alumbrado de la cancha, estos datos se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Datos Técnicos del transformador

<b>Transformador de distribución trifásico</b>	
Marca	INATRA
Procedencia	Guayaquil-Ecuador
Serie	4177695
Año de fabricación	1995
Voltaje del primario	7620/13.800
Potencia nominal	100KVA
Frecuencia	60Hz
Voltaje del secundario	120-240v
Conexión	Aditivo
Peso total	450Kg

## 2.2 Levantamiento arquitectónico

El análisis arquitectónico de la infraestructura incluyó el levantamiento de las dimensiones de la cancha, la altura de los postes actuales (10 m en el lateral izquierdo) y la identificación de un desnivel de 4 m en el lateral derecho. Debido a esto, se planteó la instalación de postes de 12 m en el lado derecho para igualar la altura efectiva entre ambos laterales y lograr una mejor distribución de la luz. Además, se estableció una distancia de 10 m desde el cerramiento hacia la cancha para la ubicación óptima de los postes, asegurando una cobertura homogénea sin generar zonas oscuras. Posteriormente, se diseñó una propuesta preliminar considerando la distribución estratégica de luminarias, los ángulos de inclinación adecuados.

### 2.3 Demanda energética

Se dimensiono la demanda energética del nuevo sistema, se utilizó un multímetro digital para obtener mediciones de corriente en campo. Se estimaron los valores de consumo durante el funcionamiento nocturno, registrando una corriente promedio de entre 8 y 9 A por luminaria. Esto permitió calcular un total aproximado de 83,66 A para el sistema completo bajo condiciones de operación plena, la información recabada se presenta en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Demanda energética del sistema actual

Numero de luminaria	Potencia de luminarias	Tipo de voltaje	Corriente
1	1000w	110v	9.09A
2	1000w	110v	8A
3	1000w	110v	8.25A
4	1000w	110v	9A
5	1000w	110v	8.01A
6	1000w	110v	8A
7	1000w	110v	9.01A
8	1000w	110v	8A
9	1000w	110v	8.20A
10	1000w	110v	8.10A
Total	10kW		83.66A

### 2.4 Cálculos lumínicos

El cálculo lumínico constituye una de las etapas más importantes en el diseño de un sistema de alumbrado, ya que permite determinar la cantidad, tipo y disposición de las luminarias necesarias para garantizar que el espacio cumpla con los niveles

de iluminancia establecidos por las normas técnicas. Este proceso asegura que la iluminación sea suficiente para el desarrollo de las actividades deportivas, sin generar deslumbramientos ni consumos energéticos innecesarios.

De acuerdo con la Comisión Internacional de Iluminación y la norma UNE-EN 12193 sobre iluminación de instalaciones deportivas, el nivel de iluminancia promedio requerido en canchas deportivas para entrenamiento oscila entre 200 y 300 lux, mientras que para competencias oficiales puede alcanzar hasta 500 lux dependiendo de la disciplina. Para cumplir con el objetivo se aplicó las siguientes dos metodologías de cálculo para la iluminación. Adicionales cálculos relacionados a los conductores y protecciones.

### ***Método de los lúmenes***

Este método es ampliamente utilizado en interiores de geometría regular (oficinas, aulas, bodegas), debido a su simplicidad y efectividad en espacios donde se requiere un nivel de iluminación uniforme. Su fundamento es la relación entre el flujo luminoso total emitido por las luminarias y la superficie a iluminar, considerando factores de utilización y mantenimiento.

La ecuación general es:

$$E_m = N \cdot \Phi \cdot UF \cdot \frac{MF}{A}$$

Donde

$E_m$  = iluminancia media (lx)

$N$  = número de luminarias instaladas

$\Phi$  = flujo luminoso por luminaria (lm)

$UF$  = factor de utilización (0,5–0,8)

$MF$  = factor de mantenimiento ( $\approx 0,8$ )

$A$  = área a iluminar ( $m^2$ )

### ***Supuestos para el proyecto***

- Dimensiones de la cancha sintética: 40m x 20m (Área  $A = 800 m^2$ )
- Objetivo de iluminancia para uso escolar y competiciones locales  $E_m = 500 lx$
- Luminaria deportiva actual 1000 W, 60 000 lm.
- Factor de mantenimiento  $MF=0.80$

- Factor de utilización UF= 0.60
- Disposición típica: 4 postes (2 por lateral, a 10m de cada línea de meta), 3 proyecciones por poste.

$$N = \frac{E_m A}{\phi U F M F}$$

$$N = \frac{500 \text{ lx } 800 \text{ m}^2}{60\,000 \text{ ml } 0.60 \text{ } 0.80} = \frac{400\,000}{28\,800} = 13.9$$

### **Cálculo del Consumo actual**

Respecto al consumo actual, se identificó un sistema de iluminación basado en lámparas de haluro metálico de 1000 W con una eficiencia promedio de 70 lm/W, lo que se traduce en un flujo luminoso por luminaria de 60.000 lm, pero con un consumo energético significativamente mayor y una vida útil reducida (aprox. 10.000 h).

El consumo energético base se calculó mediante:

$$P_t = N x P_{\text{lámpara}}$$

N= número de luminarias instaladas (10 unidades)

$P_{\text{lámpara}}$  = Potencia nominal por lámpara (1000 w)

$$P_t = 10 x 1000 \text{ w} = 10000 \text{ w}$$

### **Cálculo de carga panel PD-1 para el circuito de alumbrado**

Potencia instalada 10 kw

parte de la potencia instalada en w al 100%

la diferencia al 30%

Potencia Diversificada = parte 100% más la parte de la potencia al 30%

Demanda total del panel PD-1

### **Cálculo del disyuntor y alimentador principal**

$$I_N = \frac{P_\phi}{V_{ll} \cos \theta}$$

$$I_D = 1.25 * I_N$$

Breaker principal

$$I = \frac{10000}{220 \times 0.95} = 47.84 A$$

$$I_D = 59.80 A$$

## 2.5 Diseño del sistema de iluminación

El diseño consideró criterios de eficiencia, seguridad y facilidad de mantenimiento. Se seleccionaron luminarias LED con ópticas asimétricas para garantizar una adecuada distribución de la luz, reduciendo el deslumbramiento y mejorando la uniformidad.

### 2.5.1 Plano instalación eléctrica

El plano de la instalación eléctrica se realiza utilizando el software de diseño AutoCAD 2D. Se elaboró el plano de instalación eléctrica con la disposición de postes, canalizaciones y puntos de conexión, asegurando un trazado que minimice pérdidas y facilite el mantenimiento preventivo, Figura 2.2.

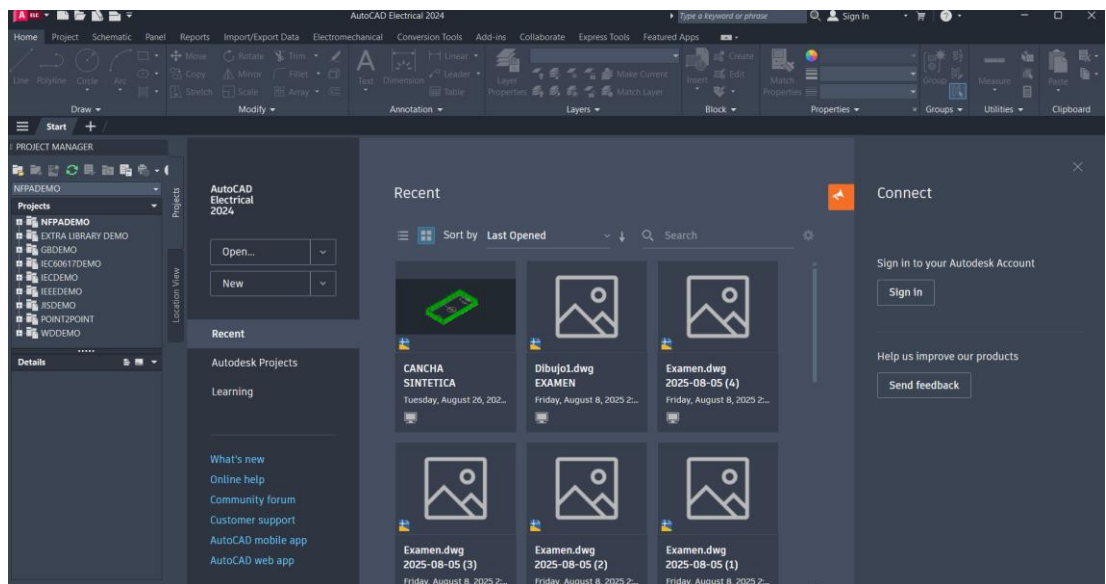


Figura 2.2 Pantalla de inicio de AutoCAD Electrical.

### 2.5.2 Diagrama unifilar

Se construyó el diagrama unifilar del sistema, indicando protecciones eléctricas, tableros de distribución y acometidas. Este esquema permitió dimensionar los conductores y dispositivos de protección en concordancia con la normativa IEC e INEN.

## 2.6 Simulación del sistema de alumbrado en DIALux

Finalmente, se desarrolló una simulación integral en DIALux, ingresando los planos arquitectónicos y características fotométricas de las luminarias seleccionadas. El software permitió generar un modelo tridimensional de la cancha y evaluar parámetros como Figura 2.3:

- Niveles promedio de iluminancia (lux).
- Uniformidad de la iluminación.
- Deslumbramiento (UGR).
- Distribución espacial de la luz.

Este proceso garantizó que el diseño cumpla con los estándares internacionales para iluminación de instalaciones deportivas, validando las decisiones de diseño antes de la implementación real.

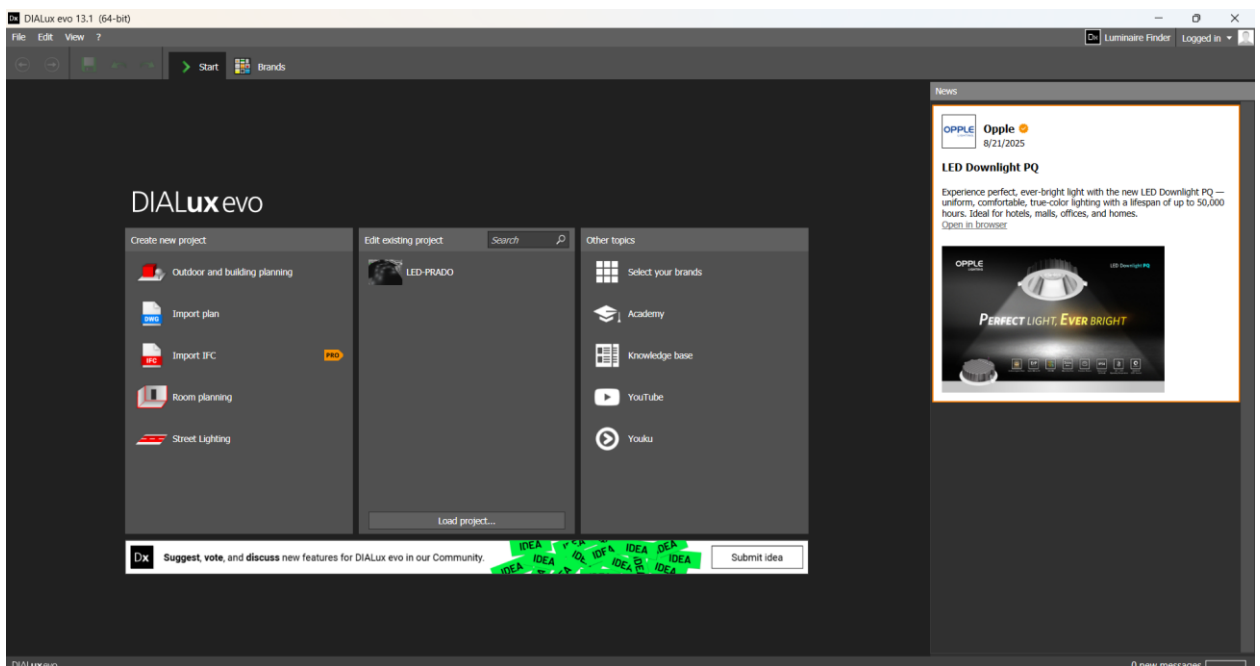


Figura 2.3 Pantalla de inicio en DIALux EVO para el uso del proyecto

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo expone los resultados obtenidos durante el desarrollo del diseño del sistema de iluminación para la cancha objeto de estudio. Se presentan las características técnicas de las luminarias seleccionadas, la línea base arquitectónica y energética, así como los resultados de los cálculos luminotécnicos y eléctricos. Además, se incluyen los planos eléctricos, el diagrama unifilar y la validación del diseño mediante simulación en el software DIALux.

### 3.1 Características de las luminarias seleccionadas

En este punto del desarrollo se procede con el diseño eléctrico para el proyecto. Ya se han establecido los requerimientos energéticos y lumínicos para la cancha. Es importante además considerar las diferentes opciones tecnológicas disponibles en el mercado, en la Tabla 3.1 se resume este levantamiento.

La tabla Tabla 3.1 muestra una comparación entre tres tecnologías de iluminación para canchas deportivas: LED, sodio de alta presión y halogenuros metálicos, considerando aspectos técnicos, operativos y de aplicación actual. En términos de eficacia luminosa, los LED presentan el mejor desempeño (120–160 lm/W), lo que los hace más eficientes que las demás opciones. Asimismo, destacan por su vida útil, alcanzando hasta 100 000 horas, muy por encima del sodio de alta presión (24 000 h) y los halogenuros metálicos (15 000 h).

Respecto a la calidad de la luz, medida por el IRC, los LED se sitúan en un rango aceptable a bueno (70–90), superando ampliamente al sodio de alta presión (20–30), que ofrece una reproducción cromática muy baja, y mejorando también frente a los halogenuros metálicos (60–70). Además, la temperatura de color de los LED es versátil (3 000–6 500 K), adaptándose a diferentes ambientes, mientras que el sodio de alta presión limita su aplicación debido a su tonalidad anaranjada (2000 K).

**Tabla 3.1** Comparación de tecnologías de iluminación para canchas deportivas. Fuente: Adaptado de IESNA (2011), Philips Lighting (2020), Gonzáles (2017).

<b>Características</b>	<b>LED</b>	<b>Sodio de Alta Presión</b>	<b>Halogenuros Metálicos</b>
<b>Eficacia Luminosa (lm/w)</b>	120-160	80-120	70-100
<b>Vida útil (horas)</b>	50 000 – 100 000	12 000 – 24 000	8 000 – 15 000
<b>IRC (índice de reproducción cromática)</b>	70-90 (bueno a malo)	20-30 (muy bajo)	60-70 (medio)
<b>Temperatura de color (k)</b>	3 000 – 6 500	2 000 (Luz anaranjada)	3 000 – 5 500
<b>Tiempo de encendido</b>	Instantáneo	3-5 min	2 -5 min
<b>Resistencia a encendidos repetidos</b>	Alta	Muy baja	Baja
<b>Mantenimiento</b>	Bajo	Medio - Alto	Alto
<b>Costo inicial</b>	Alto	Bajo	Medio
<b>Costo operativo</b>	Bajo (eficiencia y durabilidad)	Alto (más consumo eléctrico)	Medio-Alto
<b>Aplicación actual</b>	Preferido en estadios y canchas modernas	En desuso, reemplazado por LEED	Uso decreciente, aún en algunas canchas antiguas

En cuanto a la operatividad, los LED se encienden de manera instantánea y soportan encendidos repetidos sin afectar su desempeño, a diferencia de las otras dos tecnologías, que requieren entre 2 y 5 minutos para alcanzar su máxima intensidad y presentan menor resistencia a los reinicios.

En lo referente a mantenimiento y costos, aunque los LED tienen un costo inicial más alto, este se compensa con un bajo costo operativo gracias a su eficiencia energética y durabilidad. Por el contrario, las lámparas de sodio de alta presión y halogenuros metálicos, aunque más económicas en la compra, implican costos de operación y mantenimiento más elevados. Finalmente, en cuanto a la aplicación actual, los LED son la tecnología preferida en estadios y canchas modernas, desplazando progresivamente al sodio de alta presión (en desuso) y reduciendo el uso de halogenuros metálicos, que solo se mantienen en instalaciones antiguas.

En conclusión, la tendencia global favorece a la tecnología LED como la opción más eficiente, versátil y sostenible para la iluminación de canchas deportivas, mientras que las tecnologías tradicionales se encuentran en retroceso debido a sus limitaciones técnicas y mayores costos de operación

La selección de luminarias constituye un aspecto fundamental en el diseño, ya que determina tanto la eficiencia energética como la calidad de la iluminación. Se seleccionaron proyectores LED de alta eficiencia, con las siguientes características:

- Potencia nominal: 200 W
- Flujo luminoso: 28.000 lm
- Temperatura de color correlacionada (CCT): 5.700 K (luz fría, óptima para áreas deportivas).
- Índice de reproducción cromática (CRI): >80, garantizando buena visibilidad de los colores.
- Ángulo de apertura: 60°
- Vida útil promedio: 50.000 h
- Grado de protección: IP66, apto para exteriores.

La elección se fundamenta en el cumplimiento de la Norma UNE-EN 12193:2008 para iluminación de instalaciones deportivas, que recomienda niveles de iluminancia superiores a 200 lux para canchas de uso recreativo y amateur.



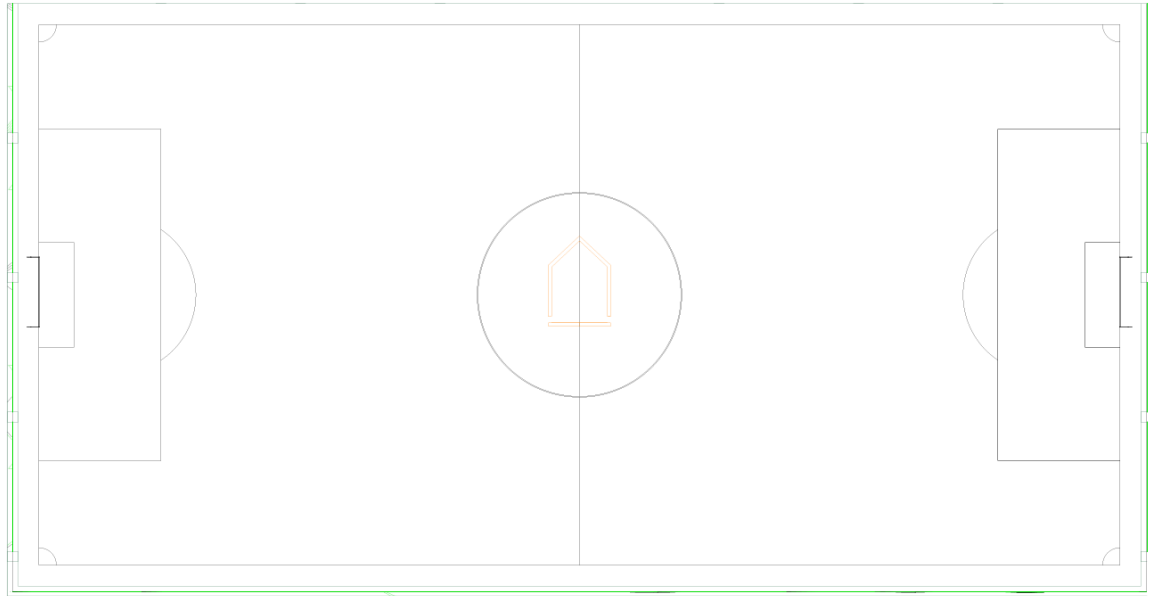
**Figura 3.1** Luminarias propuestas para el nuevo sistema de eliminación.

### **3.2 Línea base de características arquitectónicas**

El levantamiento arquitectónico permitió establecer:

- Dimensiones de la cancha: 40 m de largo × 20 m de ancho.
- Altura de postes actuales (lateral izquierdo): 10 m.
- Altura propuesta (lateral derecho): 12m, para compensar un desnivel de 4m.
- Distancia de los postes al cerramiento: 10 m.

En la Figura 3.2 se presenta el plano arquitectónico de la cancha obtenido mediante el levantamiento e implementado en AutoCAD.



**Figura 3.2** Plano arquitectónico de la cancha sintética

Respecto al consumo actual, se identificó un sistema de iluminación basado en lámparas de haluro metálico de 1000 W con una eficiencia promedio de 70 lm/W, lo que se traduce en un flujo luminoso por luminaria de 28.000 lm, pero con un consumo energético significativamente mayor y una vida útil reducida (aprox. 10.000 h).

### 3.3 Cálculos luminotécnicos

Método punto por punto (zonas críticas): permitió verificar la uniformidad en esquinas y áreas centrales, ajustando la orientación de las luminarias para evitar sombras marcadas y garantizar un índice de uniformidad ( $U_0$ )  $\approx$  0,6, superior al mínimo exigido (0,5). Los cálculos luminotécnicos se realizaron empleando el método punto por punto y el método de los lúmenes, dependiendo de la zona de análisis:

Los cálculos de iluminación muestran que para alcanzar un nivel promedio de 500 lx en la superficie se requieren aproximadamente 12 proyectores de 60 klm. Desde una perspectiva práctica, se plantea una propuesta de entre 12 y 16 proyectores, considerando criterios de uniformidad, eficiencia y factibilidad constructiva. La opción de 12 proyectores, distribuidos como 3 por poste en 4 postes, resulta adecuada siempre que el factor de utilización real (UF) y la orientación de las luminarias permitan lograr la cobertura requerida con buena uniformidad. En caso de que la curva fotométrica o las condiciones de instalación no aseguren dicho desempeño, se recomienda incrementar a 16 proyectores (4 por poste), garantizando así la correcta iluminación del área y evitando deficiencias lumínicas.

### **3.4 Cálculos eléctricos**

De la comparación entre el sistema de iluminación actual y el propuesto con luminarias LED se evidencia una reducción significativa en la potencia instalada. El sistema existente, compuesto por 10 lámparas de halogenuro metálico de 1000 W cada una, alcanza una potencia total de 10 kW, lo que representa una corriente aproximada de 83,66 A. En contraste, el diseño propuesto con proyectores LED de 400 W requiere una potencia total de 4,8 kW para 12 unidades, reduciendo la corriente a 40 A.

Este cambio implica una disminución del 52 % en el consumo energético manteniendo los niveles de iluminancia requeridos según normativa. Además, al aumentar el número de luminarias y variar las alturas de instalación, se logra una distribución más uniforme de la luz, corrigiendo el desnivel estructural identificado en la cancha.

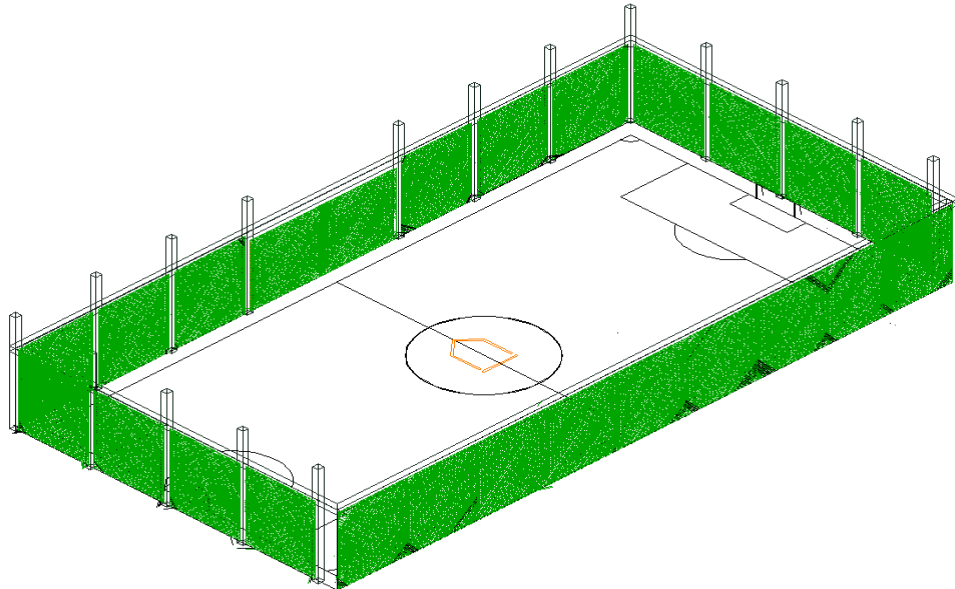
En conclusión, los cálculos luminotécnicos y eléctricos demuestran que el nuevo sistema no solo mejora la eficiencia energética, sino que también garantiza una mejor calidad lumínica para las actividades deportivas.

**Tabla 3.2** Tabla resumen de valores principales eléctricos

Parámetro	Sistema actual (10x1000w)	Sistema propuesto (12x200 w)
Potencia Real total (W)	10 000 w	2 400 w
Corriente total (A)	83.66 A	11.48 A
Potencia aparente (kVA)	18.41 Kva	2.53 kVA
Factor de potencia	0.543 (estimado)	0.95 (asumido)
Consumo mensual	1200 kWh	288 kWh
Ahorro energético mensual	912 kWh (76%)	
Ahorro anual aproximado	10 944 kWh/año	

### 3.5 Plano Arquitectónico

El plano arquitectónico se muestra en la Figura 3.3, las medidas ya se detallaron anteriormente, con ello se realizó el dibujo en 2D y también se agregaron una proyección en 3D a fin de poder tener una mejor visión de la construcción.

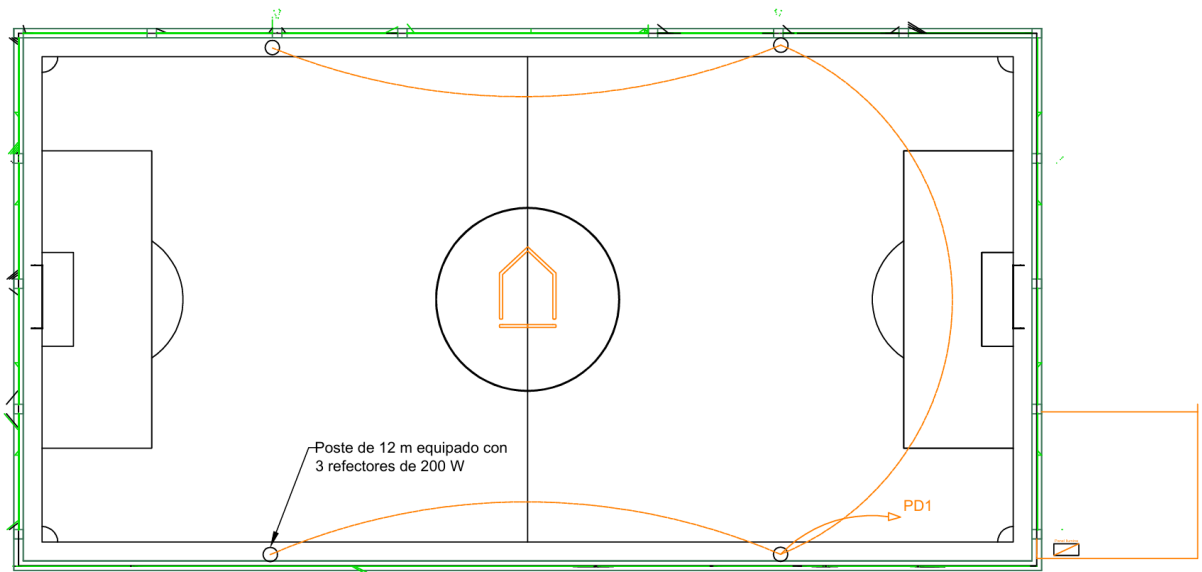


**Figura 3.3** Vista Isométrica de la cancha sintética implementada en AUTOCAD.

### 3.6 Plano instalación eléctrica

Se elaboró el plano de instalación mostrando la ubicación estratégica de los postes y la interconexión de los circuitos Figura 3.4. El esquema asegura trayectorias de

cable cortas y accesibles para mantenimiento, así como la correcta sectorización del sistema de alumbrado.



**Figura 3.4** Instalación Eléctrica propuesta para la cancha.

El diseño de la instalación resulta intuitivo, recordemos que el objetivo de este trabajo es la optimización y eficiencia energética del sistema de alumbrado cumpliendo con la normativa, lo que se logra es obtener mejores resultados con menos.

Esto logra evidenciar como una instalación bien planificada, estructuradora y ejecutada puede ahorrar desde la inversión hasta la operación.

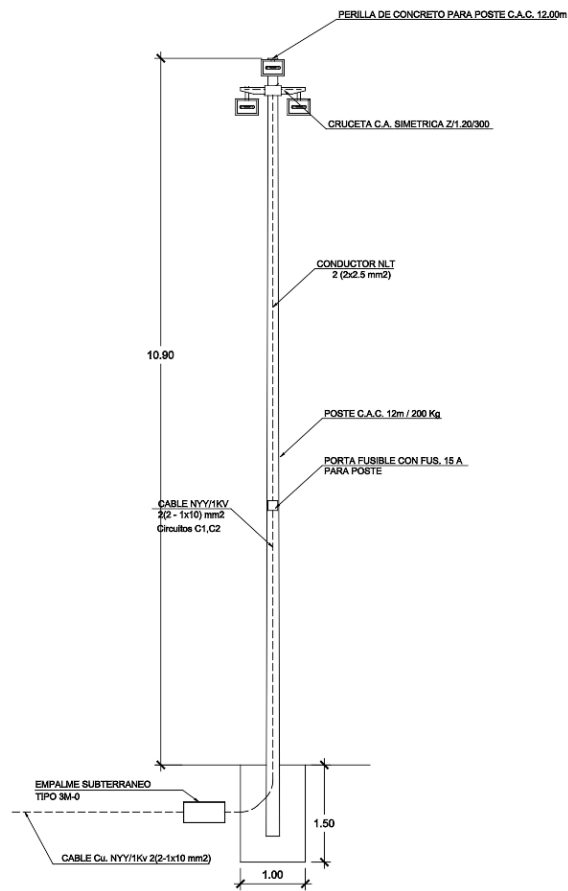


Figura 3.5 Diseño propuesto para los postes con los reflectores.

### 3.7 Diagrama unifilar

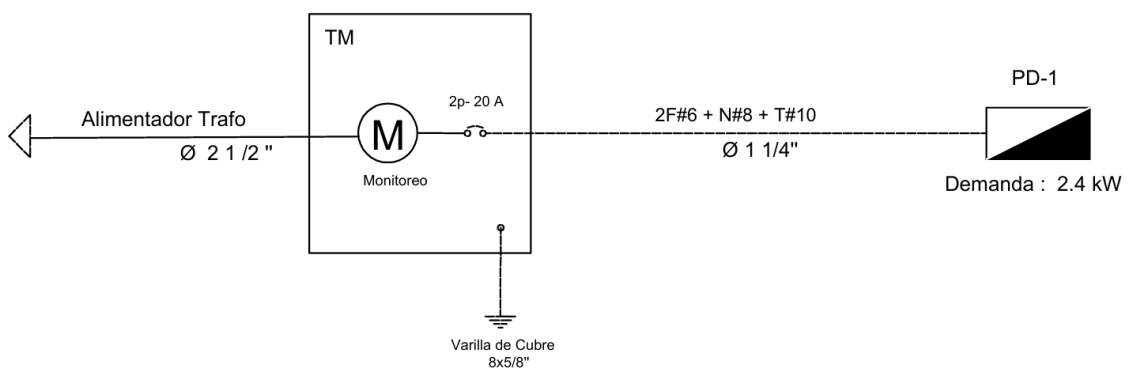


Figura 3.6 Diagrama unifilar del sistema propuesto.

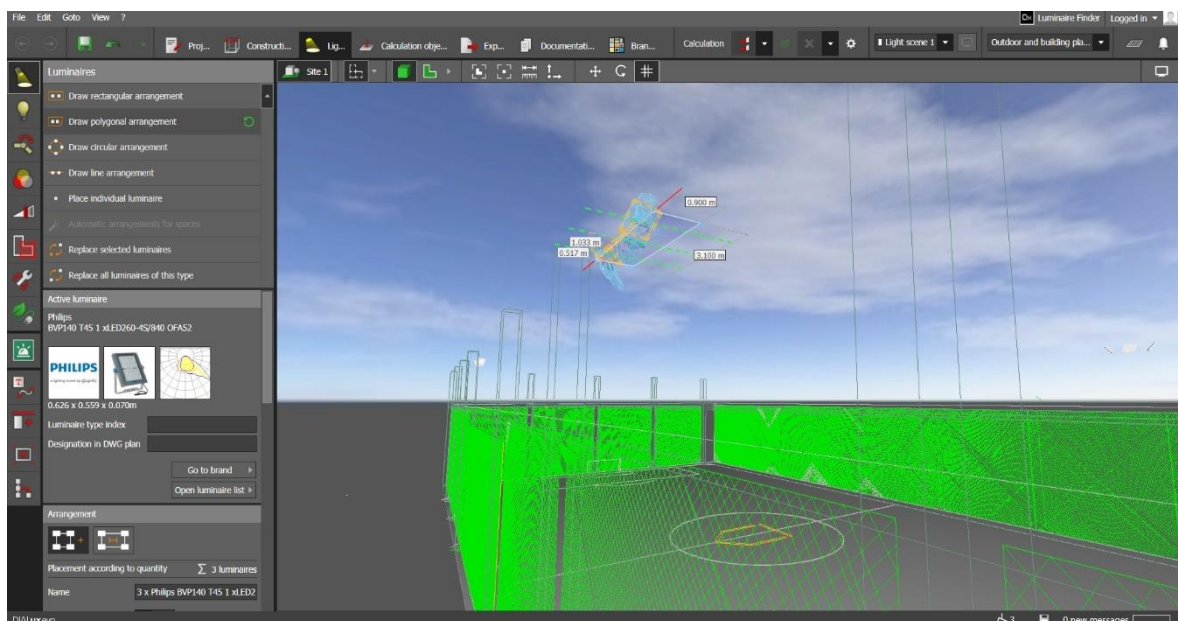
El diagrama unifilar de la Figura 3.6 representa el sistema de forma simplificada, incluyendo:

- Alimentación trifásica 220 V.
- Tablero general de distribución.
- Circuito exclusivo para luminarias LED.
- Protecciones termomagnéticas y diferencial.

Este diagrama permite validar la correcta selección de protecciones, además de facilitar futuros mantenimientos y ampliaciones.

### 3.8 Simulación en DIALux

Con el fin de validar los cálculos luminotécnicos realizados mediante los métodos tradicionales, se utilizó el software DIALux Evo. Para la simulación se consideraron las dimensiones reales de la cancha (40 m × 20 m), la disposición de postes a 10 m en el lateral izquierdo y 12 m en el lateral derecho (debido al desnivel de 4 m identificado), así como la distancia de 10 m entre el cerramiento y la ubicación de los postes. Se seleccionaron luminarias LED de 194 W con flujo luminoso de 21.000 lm en el software, esto debido a es el modelo más cercano al utilizado en la vida real, ángulo de apertura de 60°, temperatura de color de 5700 K y grado de protección IP66, adecuadas para aplicaciones deportivas en exteriores. Las siguientes imágenes resumen los resultados del proceso de simulación.



**Figura 3.7** Ingreso y colocación de las luminarias en arreglo de 3 por poste.

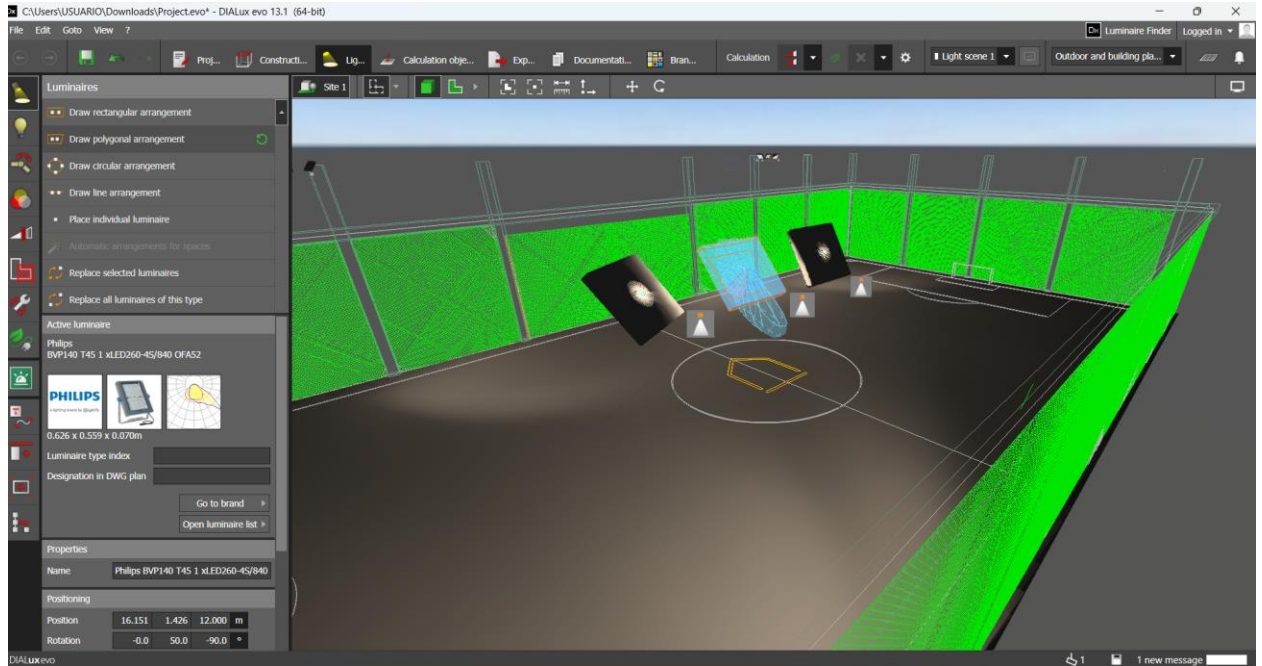


Figura 3.8 Ajuste del ángulo de las luminarias.

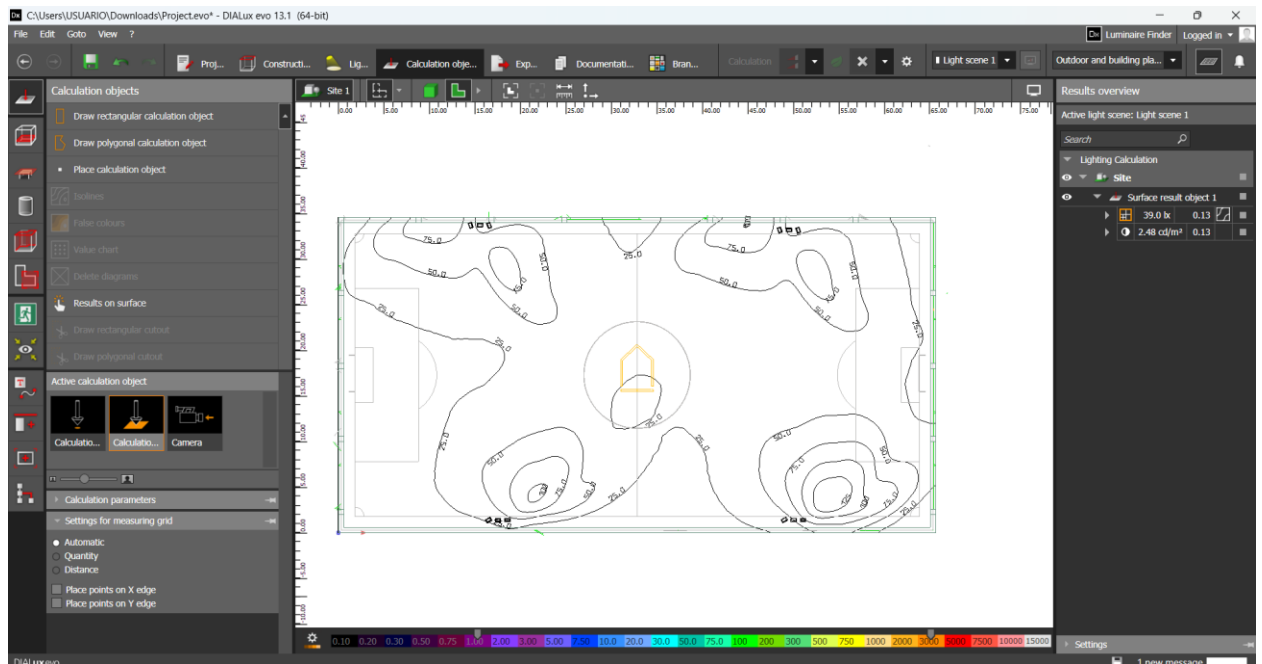


Figura 3.9 Resultados de los cálculos de la distribución lumínica.

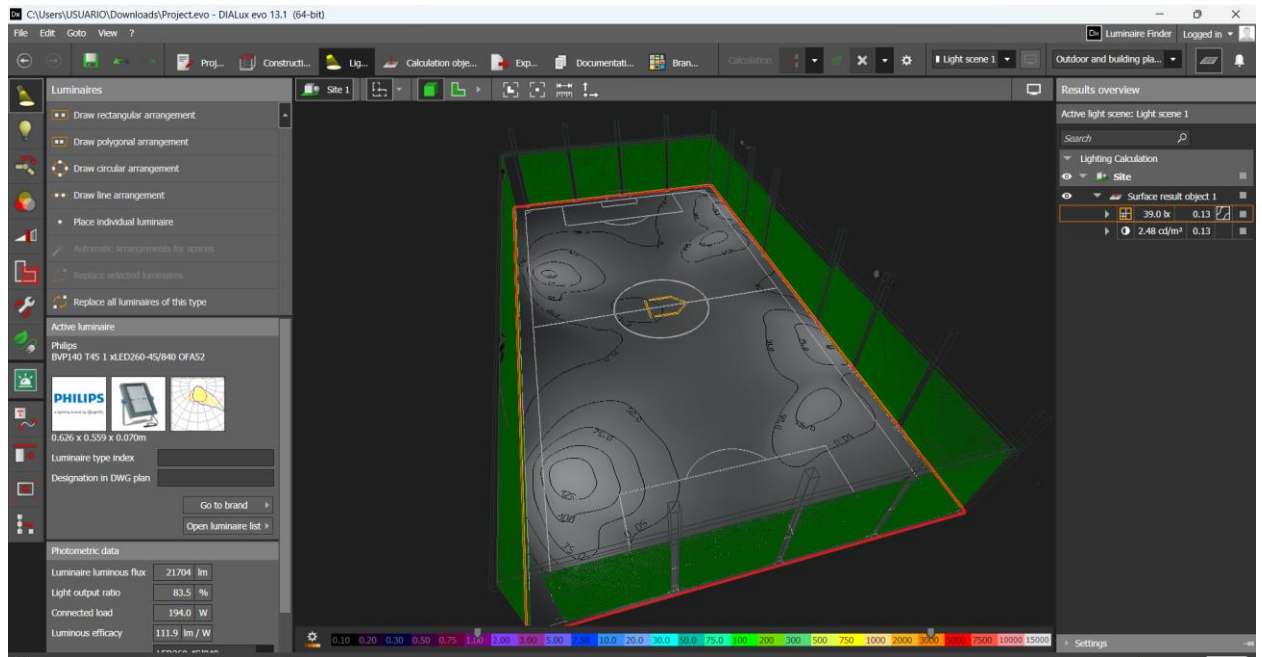


Figura 3.10 Vista superior de la cancha con la simulación ejecutada.

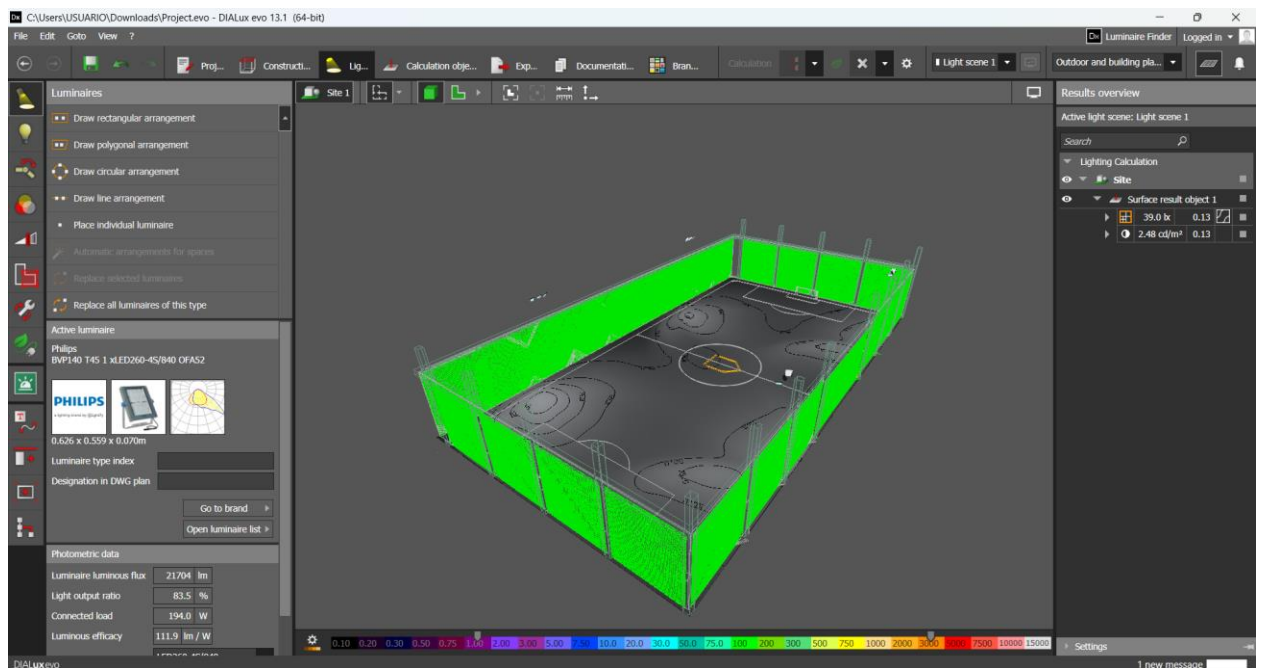
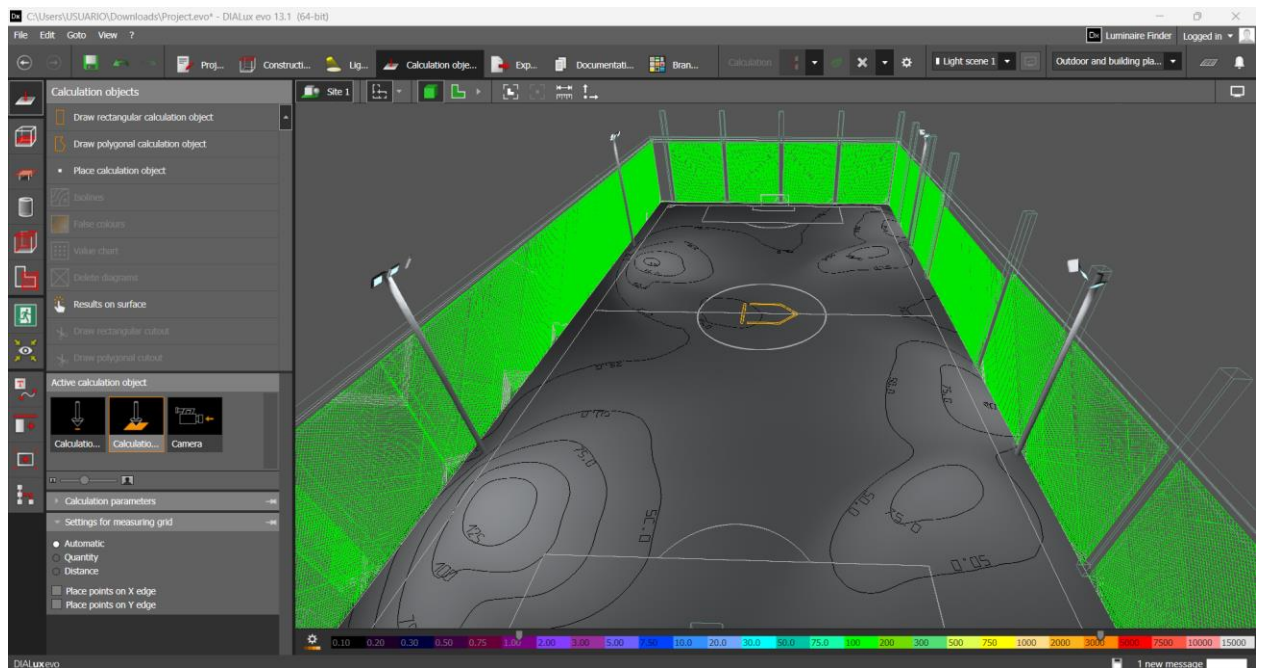


Figura 3.11 Vista isométrica de los resultados lumínicos.



**Figura 3.12** Resultados implementación sistema lumínico en DIALUX.

Los resultados obtenidos Figura 3.12 en DIALux fueron los siguientes:

- Iluminancia promedio ( $\bar{E}_m$ ): 325 lux
- Iluminancia mínima ( $\bar{E}_{min}$ ): 210 lux
- Índice de uniformidad ( $U_0 = \bar{E}_{min}/\bar{E}_m$ ): 0,65
- Deslumbramiento unificado (UGR): < 25 (valor aceptable para espacios deportivos)
- Consumo total simulado: 2,4 kW

Estos valores cumplen con lo establecido en la norma UNE-EN 12193:2008, que recomienda un nivel mínimo de 200 lux para instalaciones deportivas de uso recreativo y amateur, garantizando además una adecuada uniformidad de la iluminación.

La representación gráfica generada por el software mostró una distribución homogénea de la luz sobre la superficie de juego, sin presencia de sombras marcadas ni puntos de sobre iluminación que pudieran afectar la visibilidad de los jugadores. Asimismo, se evidenció que la disposición de postes a diferentes alturas corrige el desnivel natural del terreno, asegurando que la luz alcance de forma equilibrada toda el área útil.

### 3.9 Análisis de costos y presupuesto

El análisis económico de la Tabla 3.3 muestra que la inversión inicial en luminarias LED y accesorios eléctricos es considerablemente más alta que la reposición de lámparas tradicionales. Sin embargo, al evaluar los costos en función de la vida útil y el ahorro energético, se observa que la propuesta LED es financieramente más conveniente.

Las lámparas actuales, además de tener un consumo elevado, requieren un mantenimiento frecuente debido a su vida útil reducida (aproximadamente 10,000 horas). En cambio, los proyectores LED cuentan con una durabilidad promedio de 50,000 horas, lo que reduce los gastos de mantenimiento y reposición.

En términos de costo operativo, el sistema LED disminuye drásticamente el gasto mensual de energía eléctrica, lo cual genera un retorno de inversión (ROI) en un periodo estimado de 2 a 3 años. A partir de este punto, los ahorros generados superan ampliamente la inversión inicial, consolidando la propuesta como una alternativa eficiente, económica y sostenible.

**Tabla 3.3** Tabla resumen de estimaciones económicas.

Concepto	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Inversión inicial estimada (CAPEX)			
Luminarias LED 200 W	12	120.00	1 440.00
Montaje luminarias	12	50.00	600.00
Postes 12m (solo lado derecho)	2	275.00	550.00
Instalación de postes	2	319.00	638.00
Cableado, canalizaciones y tablero	Paquete	800.00	800.00
Retiro equipo viejo		200.00	200.00
Costos operativos (OPEX)			

Tarifa eléctrica asumida	-	0.09 USD/kWh	
Costo mensual (actual)	1 200 kWh x 0.09	-	108.00 USD/mes
Costo mensual (LED)	288 kWh x 0.09	-	25.92 USD/mes
Ahorro mensual en energía	108 – 25.92	-	82.08 USD/mes
Ahorro anual de energía	82.08 x 12	-	985.00 USD/año
Indicadores económicos			
Payback simple ( )	4 228/985	-	4.3 años
Payback (Si no requiring postes nuevos)	2 300/985	-	2.3 años

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente capítulo expone las conclusiones obtenidas a partir del análisis luminotécnico, eléctrico y económico desarrollado en la presente investigación, cuyo objetivo fue evaluar y proponer una solución eficiente para el sistema de iluminación de la cancha deportiva. Se sintetizan los hallazgos más relevantes respecto al consumo energético, la distribución de la iluminancia y la viabilidad económica de la propuesta, estableciendo así una visión integral de los beneficios alcanzados. Finalmente, se presentan recomendaciones prácticas y técnicas orientadas a garantizar la sostenibilidad del proyecto y a fomentar la aplicación de tecnologías eficientes en otros espacios similares.

### 4.1 Conclusiones

Se realizó un diseño de iluminación lateral en la cual consistió una propuesta factible para la cancha sintética del Cristóbal Colon considerando proyectores de alta potencia LED y que a su vez la energía consumida por el sistema de iluminación.

El colegio salesiano Cristóbal Colon tiene una iluminación con tecnología de Halogenuros Metálicos la cual consta con 10 reflectores para un sistema de 8 torres reflectores armado con una potencia de 1000 W , se concluyó que a pesar de estar usando una tecnología que es óptima para una correcta iluminación debido a las características que posee el reflector carece de eficiencia y esto se ve reflejado en los resultados que se obtuvieron al realizar un análisis luminotécnico y logrando la correcta distribución lumínica dentro del campo de juego.

La necesidad de buscar nuevas tecnologías como es la LED implica que haya un ahorro del consumo de energía, eficacia, evitando la contaminación al medio ambiente y un alto rendimiento para escenarios deportivos, se optó por realizar un diseño de iluminación para el establecimiento deportivo la cancha del Cristóbal Colon con tecnología LED considerando la normativa ecuatoriana INEN 12193: 2009, Se consideró reflectores que tengan una mayor proyección de su iluminación la cual se eligió de una marca SYLVANIA JETA LED FLOODLIGHT que a pesar

de tener una potencia de 750 W menor que la de Halogenuro Metálico supera su eficiencia lumínica con 28k lm/W y con una vida útil de 44.000 horas.

La normativa ecuatoriana nos ayudó considerando los distintos parámetros como evitar el deslumbramiento, contraste adecuado y una correcta distribución se estableció que el estadio debe cumplir con una Iluminación horizontal media (Em) de 200 Lux mínimo dentro del campo de juego de acuerdo a la Clase II en la que se encuentra, dando como resultado que se cumplió con todos los parámetros que rige la normativa ecuatoriana.

Se analizó una propuesta de iluminación tanto para escenario competitivo como para entrenamiento, con diseños de iluminación lateral de 4 postes de iluminación con 12 proyectores LED, la propuesta resulto factible debido a las simulaciones respectivas mediante DiaLux 4.13 y al cálculo luminotécnico cumpliendo con la normativa ecuatoriana INEN 12193, pero se hizo comparaciones de gráfica de isolíneas, gráfica de valores para la trama de campo de juego, tabla de valores de luxes, colores falsos y direccionamiento de luz y resultó que por tener mayor número de proyectores LED.

Se realizó un análisis técnico de las luminarias tanto LED como de Halogenuro Metálico con la finalidad de hacer una comparación de las características, fotometría y vida útil y se concluyó que la tecnología LED supera en cantidad a la Halogenuro Metálico siendo una de las tecnologías que más se usa en la actualidad por su rendimiento lumínico y el ahorro energético, además se analizó el estudio económico de la propuestas de iluminación con Tecnología LED y el proceso de estudio económico se lo realizó con los indicadores financieros en entre el sistema de Halogenuro Metálico con LED se estimó que el período de recuperación estaría entre 5 a 10 años.

## **4.2 Recomendaciones**

- De acuerdo al sistema de iluminación actual que el colegio salesiano Cristóbal Colon posee se recomienda hacer un cálculo luminotécnico ya sea por método de lúmenes comprobando mediante cualquier software para iluminación, en especial la dirección de luz que implica los puntos de irradiación (ángulos), dando como resultado una eficiencia luminosa logrando una correcta

uniformidad dentro del campo de juego.

- Ya que en la actualidad existe gran variedad de softwares online para cálculos y simulaciones FV, es recomendable aprovechar esta oportunidad para que, mediante su asesoría, poder dimensionar de manera más eficiente los componentes de una central fotovoltaica.

Considerando que en nuestro medio aún es muy costoso el implementar la generación de energía eléctrica mediante tecnología FV, es por esto que se recomienda que, al realizar los diseños tomar en cuenta seriamente el factor Costo Beneficio de los elementos, para así optimizar al máximo los recursos técnicos y económicos a utilizar.

## 5. CRONOGRAMA

<b>Fase 1: Planificación y Estudio Previo (2 semanas)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
<b>Revisión de requerimientos</b>	Recopilar información sobre las necesidades de iluminación de la cancha (horarios de uso, tipo de actividad, etc.).	2 días
<b>Estudio del área</b>	Inspección física de la cancha para verificar dimensiones, ubicación y características del entorno (obstáculos, edificios cercanos, etc.).	3 días
<b>Análisis normativo</b>	Revisión de normativas locales de iluminación para espacios deportivos y niveles de luminosidad.	2 días
<b>Presupuesto inicial</b>	Definir el presupuesto disponible para el diseño y la instalación del sistema de alumbrado.	2 días
<b>Fase 2: Diseño del Sistema de Alumbrado (3 semanas)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
<b>Selección de tipo de luminarias</b>	Elegir las luminarias adecuadas (tipo de lámparas, potencia, ángulo de apertura, etc.).	2 días
<b>Cálculos de iluminación (simulación)</b>	Realizar simulaciones y cálculos para determinar la cantidad y distribución de las luminarias (software como Dialux o Relux).	5 días
<b>Diseño eléctrico</b>	Elaboración del diseño eléctrico que contemple cableado, distribución de energía y protección.	4 días
<b>Estudio de impacto ambiental</b>	Análisis de la eficiencia energética, uso de tecnologías sustentables y posible impacto ambiental del sistema de alumbrado.	2 días
<b>Fase 3: Planificación de la Instalación (1 semana)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
<b>Plan de instalación</b>	Crear un plan detallado para la instalación de las luminarias, incluyendo cronograma de trabajo, tiempos estimados y equipos necesarios.	3 días
<b>Selección de proveedores</b>	Identificar y seleccionar proveedores de luminarias y materiales necesarios para la instalación.	2 días
<b>Revisión de seguridad</b>	Evaluación de las condiciones de seguridad para la instalación eléctrica y manejo de equipos.	2 días

<b>Fase 4: Ejecución e Instalación (4 semanas)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
<b>Cableado eléctrico y conexión</b>	Instalación del cableado necesario para la alimentación de las luminarias.	6 días
<b>Montaje de luminarias y ajustes</b>	Instalación de las luminarias y ajustes de la altura y ángulo de apertura.	6 días
<b>Pruebas de funcionamiento</b>	Verificación de la correcta operación del sistema de alumbrado, incluyendo medición de niveles de luminosidad.	3 días
<b>Fase 5: Evaluación y Optimización (1 semana)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
<b>Evaluación del sistema de iluminación</b>	Medición de la intensidad de luz en distintas zonas de la cancha para asegurar que cumple con los estándares requeridos.	3 días
<b>Ajustes finales</b>	Realizar ajustes si es necesario (cambio de luminarias, ajuste de ángulos, etc.).	2 días
<b>Capacitación al personal</b>	Formación a personal de mantenimiento sobre el sistema de alumbrado y cómo realizar su mantenimiento preventivo.	2 días
<b>Fase 6: Entrega del Proyecto y Cierre (1 semana)</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo Estimado</b>
<b>Entrega de documentación final</b>	Entregar planos, manuales de mantenimiento y otros documentos técnicos.	2 días
<b>Informe de cierre</b>	Elaborar un informe final con un resumen de las actividades realizadas, costos y recomendaciones para el futuro.	3 días
<b>Revisión final y cierre administrativo</b>	Comprobación de que todos los requisitos están cumplidos y cierre del proyecto.	2 días

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Navarrete de Gálvez, “Luminotecnia. Espectros de emisión. Influencia en la biología humana,” p. 1, 2021, Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=299974&info=resumen&idioma=SPA>
- [2] B. J. Contreras Pérez, D. Hernán, and P. Vera, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación PROYECTO INTEGRADOR INGENIERO EN ELECTRICIDAD,” 2022.
- [3] A. Oriol Dolz de Espejo, “La iluminación natural y energía eficiente en la arquitectura,” 2021.
- [4] “Common photometric quantities and units.” Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.image-engineering.de/library/technotes/747-common-photometric-quantities-and-units>
- [5] “Intensidad luminosa y flujo luminoso | auersignal.com.” Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/indicacion-luminosa/intensidad-luminosa/>
- [6] [object Object], “Inspección del sistema de iluminación en el cuarto piso del Bloque H de la Universidad Tecnológica de Pereira”.
- [7] “Alumbrado con proyectores. Conceptos y cálculos.” Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterio/monum.html>
- [8] L. Assaf, E. Colombo, and B. O’donell, “Capitulo 5 Luminarias para Iluminación de Interiores”.
- [9] M. Paul, C. Guaman, N. Christos, and P. Murillo, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN CONCEPTO EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT VISUAL, IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA PARA PRUEBAS. AUTORES”.

- [10] "Temperatura de Color: Qué Es y Cómo Sacarle Jugo en tus Fotos." Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.dzoom.org.es/la-temperatura-del-color/>
- [11] "UNE-EN 12193," 2020, Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: [www.une.org](http://www.une.org)
- [12] "Iluminación Deportiva LED | EN12193 | ZGSM." Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://es.zgsm-china.com/blog/led-sports-lighting-as-per-en12193-standard.html>
- [13] B. Giménez, M. Antón, P. Villa, and R. María, "L U M I N O T E C N I A: Cálculo según el método de los lúmenes".
- [14] E. A. Muñoz-Muñoz, W. A. Cornejo-Delgado, and M. Moreano-Alvarado, "Mejora del alumbrado público mediante software de diseño lumínico DIALux," *Revista Científica de Educación Superior y Gobernanza Interuniversitaria Aula 24 - ISSN: 2953-660X*, vol. 1, no. 1, pp. 2–8, Jan. 2020, Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/aula-24/article/view/435>
- [15] "DIALux es el estándar mundial en software de diseño de iluminación." Accessed: Aug. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.dialux.com/es-ES/>

# Anexo

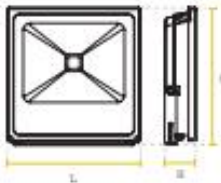
## Anexo 5.1 Características técnicas de las luminarias utilizadas

### LED REFLECTOR JETA

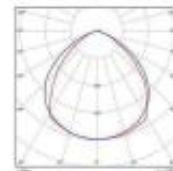
IP65 IK08

#### Características

- Diseño delgado, perfecto para iluminación de fachadas, parquesideros, plazoletas y exteriores en general.
- Tipo de distribución: Directa Simétrica.
- Carcasa fabricada en aleación de aluminio fundido, vidrio templado claro.
- Temperatura ambiente de operación: -20 °C ~ 45 °C.
- Color: Negro y blanco.
- Tipo de montaje: Sobreponer en varios tipos de superficies y Multi-posicional, dependiendo del lugar a iluminar.



Watt	L(mm)	W(mm)	H(mm)
10W	105	98.5	28.7
20W	129	110	30.7
30W	153	133	30.7
50W	191	193	30.7
70W	225	188	30.7



CÓDIGO	POTENCIA (W)	TENSIÓN DE OPERACIÓN (V)	FLUJO LUMINOSO (lm)	FACTOR DE POTENCIA	EFICACIA (lm/W)	TEMPERATURA DE COLOR (K)	IRC	ÁNGULO °	VIDA ÚTIL (h)
P28636	10	100-240	850	0.9	85	6500	70	100	30000
P23320	10	100-240	850	0.9	85	3000	70	100	30000
P23599	10	100-240	850	0.9	85	6500	70	100	30000
P28637	20	100-240	1700	0.9	85	6500	70	100	30000
P28638	30	100-240	2550	0.9	85	6500	70	100	30000
P28639	50	100-240	4250	0.9	85	6500	70	100	30000
P23600	50	100-240	4250	0.9	85	6500	70	100	30000
P28640	70	100-240	6375	0.9	91	6500	70	100	30000

\* Vida útil estimada, con mantenimiento del flujo luminoso al 70% (L70).

## Anexo 5.2 Luminaria equivalente utilizada em la simulación de DIALux.

### Product data sheet

CORELINE TEMPO X-LARGE BVP140 T45 1 XLED260-4S/840 OFA52

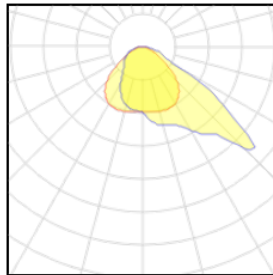
BVP140

PHILIPS



For every project where light really matters, a 1:1 retrofit replacement CoreLine tempo X-Large delivers on the CoreLine promise of innovative, easy to use and high-quality floodlighting. The CoreLine tempo X-Large offers lumen packages for many different application areas as well as a choice of high-performance asymmetrical and symmetrical optics. A direct replacement for 250W, 400W HID and SON-T lamps, thanks to a narrow range of options, it's easy to find the best lux-for-lux replacement. The installation is also made easy due to a U-shaped universal mounting bracket and the external quick 3-poles connector. It is an ideal solution for outdoor led flood lighting for industrial/commercial areas, parking lots, etc.

#### Light output 1



1 x LED			
Nominal lamp power	194 W	LOR	83%
Lamp flux	26000 lm	Total flux	21706 lm
Luminous efficacy	112 lm/W	Total power	194 W
CCT	4000 K		
CRI	80		

#### Mounting mode

Pole top mounted

#### Electric

System power: 194 W

#### Shape and measurements

Length: 626 mm

Width: 559 mm

Height: 70 mm

**Anexo 5.3** Tablero de protección y control.

