

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de un Sistema de iluminación inteligente, caso de estudio:
estadio de ESPOL

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Presentado por:

Bryan Jonathan Contreras Pérez

Daniel Hernán Ponce Vera

GUAYAQUIL – ECUADOR

Junio de 2022

DEDICATORIA

DANIEL PONCE VERA

Esta Tesis está dedicada a Dios quien ha sido mi guía, fortaleza. A mis padres Hernán, Blanca y Milena quien con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

BRYAN CONTRERAS PÉREZ

Este trabajo va dedicada a mi familia: Blanca Pérez, Segundo Contreras y Víctor Contreras, gracias por su apoyo y cariño incondicional que me han brindado en cada etapa de mi vida y llegar hacer la persona que soy y alcanzar este nuevo logro en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

BRYAN CONTRERAS PÉREZ

Brindar mi más sincero agradecimiento a mis amigos y compañeros que he coincidido en el transcurso de la carrera. Agradecer a la universidad ESPOL y a cada uno de sus colaboradores: profesores, personal administrativo y personal de servicios auxiliares que me brindaron su ayuda. Finalmente, un agradecimiento especial a personas que marcaron mi vida en ESPOL: MSC. Jorge Medina (+), Cap. Mancheno (+), Ing. Héctor Plaza, Emily Camba, Bryan Chipantiza y Gabriel Limones.

DANIEL PONCE VERA

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al tutor de esta tesis, Ing. Héctor Plaza, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegué a esta facultad.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

DECLARACIÓN EXPRESA

Los derechos de titularidad y exploración, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Bryan Contreras Pérez y Daniel Ponce Vera damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.



Bryan Contreras Pérez



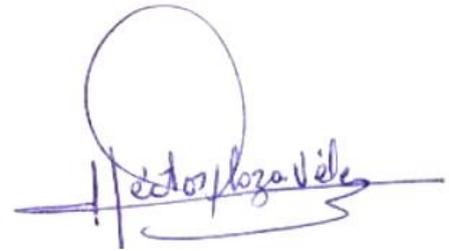
Daniel Ponce Vera

EVALUADORES

ANGEL
ANDRES
RECALDE LINO

Digitally signed by
ANGEL ANDRES
RECALDE LINO
Date: 2022.10.24
18:42:23 -05'00'

Ángel Recalde Lino
PROFESOR DE LA MATERIA



Héctor Plaza Vélez
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se orienta a elaborar el diseño y presupuesto de un sistema de iluminación artificial inteligente para el estadio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral campus Prosperina. Se realizó un estudio técnico con dos escenarios de iluminación con el software DIALux 4.13 tomando en cuenta la infraestructura física y dirigiendo los proyectores led a lugares estratégicos del campo de fútbol y la pista de atletismo con el objetivo de cumplir las especificaciones técnica de la norma UNE-EN 12193 y la normativa de alumbrado público de escenarios deportivos del directorio del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Este proyecto tiene la finalidad mejorar las instalaciones deportivas y a su vez aprovechar su funcionamiento en horario nocturno para el beneficio de la comunidad politécnica como entrenamientos o eventos. Además, se puede colocar a disposición de la federación y equipos de fútbol del cantón. La metodología aplicada a este trabajo contiene los estudios de carga, estudio de protecciones, tableros eléctricos, planos eléctricos, cálculos de bancos de transformadores con la normativa INEN 1-154, NEC 11 y presupuesto del proyecto. Este trabajo se divide en 4 capítulos. El capítulo 1 contiene los objetivos del trabajo de titulación, problemática y alcance del trabajo. El capítulo 2 describe la metodología empleada para el diseño del sistema de iluminación artificial. El capítulo 3 muestra las simulaciones realizadas y los procesos descritos en la aproximación metodológica. Por último, en el capítulo 4 se realiza las conclusiones del diseño y presupuesto elaborado. Además, recomendaciones con mejoras a futuro. Si ESPOL decide acoger el proyecto, esta tesis recoge toda la información económica y técnica necesaria para que se pueda implementar.

Palabras Clave: iluminación inteligente, diseño, presupuesto, estadio, beneficio comunidad politécnica

ABSTRACT

This degree work is oriented to elaborate the design and budget of an intelligent artificial lighting system for the stadium of the Escuela Superior Politécnica del Litoral campus Prosperina. A technical study of the lighting was carried out with the DIALux 4.13 software considering the physical infrastructure and directing the LED projectors to strategic locations of the soccer field and the athletics track to meet the technical specifications of the UNE-EN 12193 standard and the regulations of public lighting of sports scenarios of the directory of the national electricity council (CONELEC). The purpose of this project is to improve the sports facilities and at the same time take advantage of their operation at night for the benefit of the polytechnic community, such as training sessions or events. In addition, it can be placed at the disposal of the federation and soccer teams of the canton. The methodology applied to this work contains load studies, protection studies, electrical panel room, electrical plans, transformer bank calculations according to INEN 1-154, NEC 11 and project budget. This work is divided into 4 chapters. Chapter 1 contains the objectives of the degree work, problems, and scope of the work. Chapter 2 describes the methodology used for the design of the artificial lighting system. Chapter 3 shows the simulations performed and the processes described in the methodological approach. Finally, Chapter 4 presents the conclusions of the design and budget and the recommendations established. If the project is ever implemented.

Keywords: intelligent lighting, design, budget, stadium, benefit, polytechnic community

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ABREVIATURAS.....	vi
SIMBOLOGÍA	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUCCION.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL	3
1.3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	3
1.4 ALCANCE	4
1.5 ESTADO DEL ARTE	4
1.5.1 PRINCIPALES MAGNITUDES LUMÍNICAS.....	4
1.5.2 TIPOS DE FUENTE DE LUZ	5
1.5.3 TIPOS DE LUMINARIAS	7
1.5.4 ILUMINACIÓN INTELIGENTE	8
1.5.5 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	10
1.5.6 PLIEGO TARIFARIO	11
1.5.7 ASPECTO IMPORTANTES DE LA ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS.....	11
1.5.8 NORMATIVA ACERCA DE LA ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES	

DEPORTIVAS	16
1.5.9 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DIALUX	18
CAPÍTULO 2.....	20
2 METODOLOGÍA.....	20
2.1 TIPOS DE FUENTE LUMÍNICA	20
2.2 LEVANTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS LUMÍNICAS DEL ESTADIO DE ESPOL.....	20
2.2.1 DISEÑO DE ILUMINACIÓN DEL ESTADIO DE ESPOL	21
2.3 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE EVALUACIÓN.....	22
2.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	23
CAPÍTULO 3.....	24
3 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	24
3.1 RESULTADOS DE ESCENARIOS DEL CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE ILUMINACIÓN	24
3.1.1 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 1	26
3.1.2 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 2.....	29
3.2 RESULTADOS DE ESCENARIOS DEL CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS.....	31
3.2.1 PROTECCIONES Y EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 1	32
3.2.2 PROTECCIONES Y EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 2	34
3.3 RESULTADOS DE ESCENARIOS DEL CASO DE ESTUDIO: PRESUPUESTO ECONÓMICO	35
3.3.1 PRESUPUESTO ECONÓMICO BASE	36
3.3.2 DIFERENCIA DE PRESUPUESTO EN LOS ESCENARIOS DE ILUMINACIÓN.....	38
3.3.3 PRESUPUESTO TOTAL DE LOS ESCENARIOS DE ILUMINACIÓN.....	40
3.4 SUMARIO Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	

OBTENIDOS.....	41
CAPÍTULO 4.....	44
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
4.1 CONCLUSIONES.....	44
4.2 RECOMENDACIONES	45
ANEXOS.....	47
ANEXO A. CATEGORIZACIÓN DE CLIENTES Y TARIFAS SEGÚN LA ARCERNNR	47
ANEXO B. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROYECTO y MEDICION EN MEDIA TENSIÓN.....	49
ANEXO C. DIAGRAMA DE TABLERO DE CONTROL	51
.....	52
ANEXO D. DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA SISTEMA ELÉCTRICO DE FUERZA	53
ANEXO E. CONEXIÓN PLC.....	54
ANEXO F. LUMINARIAS UTILIZADAS PARA LOS ESCENARIOS DE EVALUACIÓN	55
ANEXO G. UBICACIÓN DE TORRES EN ESCENARIOS DE ILUMINACIÓN DEPORTIVA.....	56
ANEXO H. LOGICA DE PROGRAMACION PLC PARA SECUENCIAS PROGRAMADAS	57
BIBLIOGRAFIA.....	58

ABREVIATURAS

ARCERNNR:	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables
ARCONEL:	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
CONELEC:	Consejo Nacional de Electricidad
ESPOL:	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FEPOL:	Federación de Estudiantes Politécnicos del Litoral
FIFA:	Federación Internacional de Fútbol Asociado
INEN:	Servicio Ecuatoriano de Normalización
LED:	Ligth Emitting Diode
NATSIM:	Normas de Acometidas Cuartos de Transformadores y Sistemas de Medición para el suministro de Electricidad
NEC:	National Electrical Code
SI:	Sistema Internacional de unidades
UNE-EN:	Normalización Española
TGD:	Tablero General de Distribución

SIMBOLOGÍA

E_{hor} :	Iluminación horizontal
E_{prom} :	Iluminación promedio
E_{ver} :	Iluminación vertical
U_1 :	Uniformidad mínima a máxima
U_2 :	Uniformidad mínima a media
E:	Irradiación e iluminancia
I:	Intensidad
J:	Joules
kVA:	Kilovoltioamperio
kW:	Kilovatio
L:	Radiancia y luminancia
nm:	Nanómetros
Q:	Energía
U:	Densidad de energía
Φ :	Flux
λ :	Longitud de onda

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Espectro electromagnético y sus longitudes de onda [13].....	4
Figura 1.2 Evolución de las eficiencia lumínicas de las fuentes de luz [17].....	6
Figura 1.3 Tipos de luminarias [24].....	7
Figura 1.4 Conjunto de luminarias inteligentes controladas por un celular [31]	9
Figura 1.5 Altura de montaje de las iluminarias [38]	12
Figura 1.6 Tipos de proyecciones [43].....	14
Figura 1.7 Ejemplos de disposición de las torres en cancha de futbol [43].....	14
Figura 1.8 Medidas referenciales de un campo de futbol [44].....	15
Figura 3.1 Modelado de la cancha de fútbol y la pista de atletismo y renderizado de la simulación.....	26
Figura 3.2 Colores falsos sobre la simulación del escenario de evaluación 1	27
Figura 3.3 Parámetros de iluminación de la cancha de fútbol.....	27
Figura 3.4 Parámetros de iluminación de la pista de atletismo	28
Figura 3.5 Renderizado del espacio deportivo para el escenario de evaluación 2	29
Figura 3.6 Colores falsos sobre la simulación del escenario de evaluación 2	30
Figura 3.7 Parámetros de iluminación de la cancha de fútbol para el escenario de evaluación 2	30
Figura 3.8 Parámetros de iluminación de la pista de atletismo para el escenario de evaluación 2	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Magnitudes, símbolos y unidades radiométricas y fotométricas[13]	5
Tabla 1.2 Tipo de luminarias y su vida útil promedio en horas [25]	8
Tabla 1.3 Categorías de competiciones [45].....	15
Tabla 1.4 Parámetros para eventos televisados [49].....	17
Tabla 1.5 Parámetros para eventos no televisados [45]	17
Tabla 3.1 Características ambientales en el Campus Gustavo Galindo Velasco.....	25
Tabla 3.2 Características eléctricas en el espacio deportivo del Campus Gustavo Galindo Velasco	25
Tabla 3.3 Resumen de luminarias utilizadas para escenario 1	26
Tabla 3.4 Requerimientos lumínicos para escenario de evaluación 1	26
Tabla 3.5 Resumen de luminarias utilizadas para escenario 2.....	29
Tabla 3.6 Requerimientos lumínicos para escenario de evaluación 2	29
Tabla 3.7 Base del presupuesto de los escenarios de evaluación, parte 1.....	36
Tabla 3.8 Base del presupuesto de los escenarios de evaluación, parte 2.....	37
Tabla 3.9 Equipos, protecciones y materiales del escenario de iluminación 1	38
Tabla 3.10 Equipos, protecciones y materiales del escenario de iluminación 2.....	39
Tabla 3.11 Cuadro comparativo del presupuesto de los escenarios de iluminación	41
Tabla 3.12 Comparación de escenarios de evaluación	41
Tabla 3.13 Contraste del presupuesto de los escenarios de evaluación, sin presupuesto base.....	43

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCION

La iluminación tiene una vital importancia en las actividades que realizan los seres humanos ya que permite el desarrollo de la tareas cotidianas, pero también puede afectar la manera en la que se desarrolla determinado trabajo o la forma en la que la persona se desenvuelve en el entorno, es decir, una adecuada iluminación tanto en zonas interiores como en exteriores pueden afectar el desempeño humano como un factor positivo o negativo [1], [2]. Estudios como [3]–[6] destacan la estrecha relación que existe entre la iluminación y las emociones humanas, sugiriendo así que los diseños de iluminación no solo deben basarse en la parte funcional, económica o estética, sino también en un diseño emocional.

En lo que respecta a la iluminación deportiva esta es de gran importancia, ya que durante los horarios nocturnos o en los que la iluminación es deficiente permiten la disponibilidad de los escenarios deportivos, es por esta razón que estos deben contar con una adecuada uniformidad en la iluminación, así como una eficacia en los consumos de sus equipos y con un diseño que permita tener tanto al espectador como a los deportistas el dramatismo, la emoción y mejor comodidad visual posible ante un evento deportivo. Un adecuado diseño de la iluminación de los complejos deportivos se realiza bajo determinados requerimientos técnicos los cuales establecen los parámetros de iluminación dentro de los campos de juego, estos los brindan normas internacionales como la UNE-EN 12193 o la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA), en el caso de esta última es particularmente dirigida a los estadios de fútbol [7]–[10].

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) cuenta con un complejo deportivo, el cual ha sido destinado para realizar diversas actividades deportivas y eventos, aunque actualmente cuenta con una infraestructura de iluminación improvisado, con el presente trabajo de titulación se pretende modernizar el sistema tradicional de iluminación existente a uno inteligente, realizando el diseño y simulación del mismo para asegurar que la propuesta cumpla con los requerimientos técnicos de escenarios deportivos establecidos por los estándares internacionales.

Debido a lo expuesto, el presente capítulo analiza la problemática que existe actualmente en el complejo deportivo de ESPOL, la justificación, el objetivo y el alcance del presente trabajo, proponiendo el diseño de luminarias inteligentes que contribuyan a la eficiencia energética y cumplan con los estándares de iluminación internacionales.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Un estadio deportivo, puede representar nacional e internacionalmente una ciudad, universidad o equipos de futbol. Porque son instalaciones que pueden albergar espectáculos masivos, partidos del futbol u otros eventos. La planificación de cualquier tipo de actividad se la realiza en horarios que puedan asistir la mayor cantidad de invitados y personas interesadas. Por lo general, son horarios nocturnos entre semana y fines de semana [2]. Sin embargo, se necesita una iluminación artificial en los escenarios para que puedan desarrollarse las actividades con un alto rendimiento. Uno de los problemas son que las iluminarias antiguas son deficientes en comparación con las actuales. La tecnología empleada en iluminación artificial ha avanzado en materiales de construcción, diseños y eficiencia energética. La tecnología más usada es la LED por sus beneficios [11].

Desde la inauguración del campus Prosperina, el estadio ha carecido de una buena iluminación artificial por lo que no se puede hacer uso de las instalaciones en horario nocturno. El estadio aparte de tener la cancha de futbol tiene una pista atlética. Que por muchos años no se aprovechó para que la selección de atletismo de la ESPOL pueda entrenar en horario nocturno. Además, albergar entrenamientos, partidos de futbol de la selección de ESPOL, eventos organizados por la asociación de estudiantes (FEPOL), eventos oficiales de la universidad como la graduación colectiva, celebración de aniversario de la universidad u otros eventos de tal magnitud. Por lo tanto, es un problema que afecta a la universidad limitando la capacidad operativa del escenario.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los sistemas de iluminación en los complejos deportivos son de vital importancia para el desarrollo de las actividades de los atletas y deportistas, realizar sistemas de iluminación de forma empírica sin estudios previos puede causar que las edificaciones estructurales cuenten con una iluminación deficiente que afecten el

desarrollo de actividades nocturnas o cuando se cuente con poca iluminación natural [12]. Adicional a esto, la iluminación en los escenarios deportivos, así como en cualquier otro escenario, está relacionado de manera directa con la eficiencia energética, pues el encendido de las luminarias representa un consumo importante de energía eléctrica, por lo que un mal dimensionamiento del sistema de iluminación puede afectar económicamente a la institución en la que ha sido implementada [7].

Por lo antes descrito, se realizará el diseño de un sistema de iluminación inteligente que sea rentable para la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), pretendiendo brindar una solución de alumbrado que cumpla con los requerimientos técnicos internacionales para los espacios deportivos y que permita tener los máximos beneficios tanto funcionales como económicos para la institución, contribuyendo de esta forma a la eficiencia energética a la vez que se asegura el confort de los jugadores y espectadores.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Diseñar un sistema de iluminación inteligente para el estadio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral validando que cumplan los requerimientos técnicos para complejos deportivos mediante la herramienta computacional Dialux 4.13®.

1.3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Realizar un levantamiento de la infraestructura eléctrica lumínica instalada en el estadio de la ESPOL.
- Realizar el diseño del estadio de ESPOL utilizando luminaria inteligente del tipo LED considerando normas de iluminación internacionales.
- Evaluar al menos 2 escenarios de iluminación para el estadio mediante la herramienta computacional Dialux 4.13®.
- Seleccionar el escenario de iluminación más adecuado de desde el punto de vista técnico y económico para el estadio ESPOL.

1.4 ALCANCE

El producto final contiene todo lo que un cliente potencial y la empresa eléctrica necesita para aprobar y llevar a cabo un proyecto de tal magnitud, en el caso de las iluminarias del estadio de la ESPOL contiene lo siguiente: Estructuras y ubicación estratégica de las iluminarias inteligentes en el estadio de la ESPOL, diseño de tableros eléctricos, estudio de carga, estudio de protecciones eléctricas, estudio de iluminación, simulación de iluminación y presupuesto. Demostrando que es un proyecto viable para beneficio de la comunidad politécnica.

1.5 ESTADO DEL ARTE

En esta sección se realiza una revisión bibliográfica sobre aspectos varios de la iluminación, desde las definiciones de las magnitudes lumínicas hasta las normativas relacionadas a los complejos deportivos; esta investigación permitirá desarrollar la metodología correspondiente a aplicar en el estadio de ESPOL, la cual se trata con detalle en el Capítulo 2.

1.5.1 PRINCIPALES MAGNITUDES LUMÍNICAS

La luz es una pequeña parte del espectro electromagnético denominado espectro visible, encontrada entre la radiación ultravioleta y la infrarroja, el cual se extiende desde los 380 hasta los 780 nanómetros (nm) de longitud de onda tal como se muestra en la figura 1.1[13].

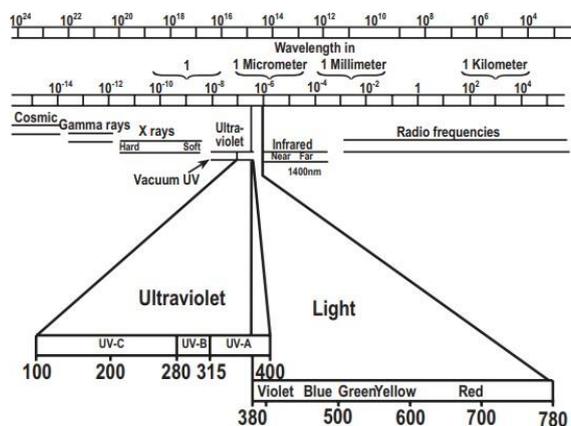


Figura 1.1 Espectro electromagnético y sus longitudes de onda [13].

Al ser una forma de energía sus unidades deberían medirse en Joules (J) en el Sistema Internacional de unidades (SI), sin embargo, debido a algunas consideraciones cuando se trabaja con luz fue necesario definir nuevas magnitudes fundamentales, las cuales se encuentran muy relacionadas con las unidades radiométricas. Las unidades fotométricas se encuentran detalladas en la tabla 1.1, teniendo como unidad principal el lumen (lm) en vez del watt (W), siendo 1 watt = 683 lúmenes[13]–[15].

Tabla 1.1 Magnitudes, símbolos y unidades radiométricas y fotométricas[13].

magnitud	Radiométricas		Fotométricas	
	Símbolo	Unidades	Símbolo	Unidades
Longitud de onda	λ	nanómetro [nm]	λ	nanómetro [nm]
Energía	Q	watts-segundos [W – s]	Q_v	lúmenes-segundos [lm – s]
Densidad de energía	U	watts-segundos/m ³ [W – s/m ³]	U_v	lúmenes-segundos/m ³ [lm – s/m ³]
Flux	Φ	watts [W]	Φ_v	lúmenes [lm]
Irradiancia e iluminancia	E	watts/m ² [W/m ²]	E_v	lux [lx o lm/m ²]
Radiancia y luminancia	L	watts/m ² /steradian [W/m ² /sr]	L_l	lúmenes/m ² /steradian [lm/m ² /sr]
Intensidad	I	watts/steradian [W/sr]	I_v	candela [cd o lm/sr]

1.5.2 TIPOS DE FUENTE DE LUZ

La forma que se produce la luz es un tipo de ciencia que el hombre siempre ha intentado dominar. Para ser exacto, no solo involucra una ciencia, sino que es un conjunto de ellas. Para obtenerla se desarrolló un conjunto de técnicas: pruebas al vacío, vidrios especiales, purificación de gases, refinado de materiales, sustancias fluorescentes. Todos son hazaña de la ingeniería que permitieron la fabricación y mejora de las iluminarias actuales [16]. Las primeras iluminarias de arco de carbono se usaban para iluminación teatral en el 1850. Después en el 1854 Einrich Goebel, desarrollo las primeras iluminarias incandescentes que fueron hecha de filamento de bambú carbonizado encerrado en un recipiente de perfume al vacío, donde iluminaban su tienda de reloj en la ciudad de New York. Una nueva forma de iluminación se desarrolló en el 1856 por el descubrimiento de Michael Faraday (Inglaterra) de las descargas luminiscentes eléctricas

en gases enrarecidos. Las investigaciones y experimentos previos realizados por notables científicos dieron paso a las nuevas formas de iluminación como se lo describe la siguiente figura 1.2 [17].

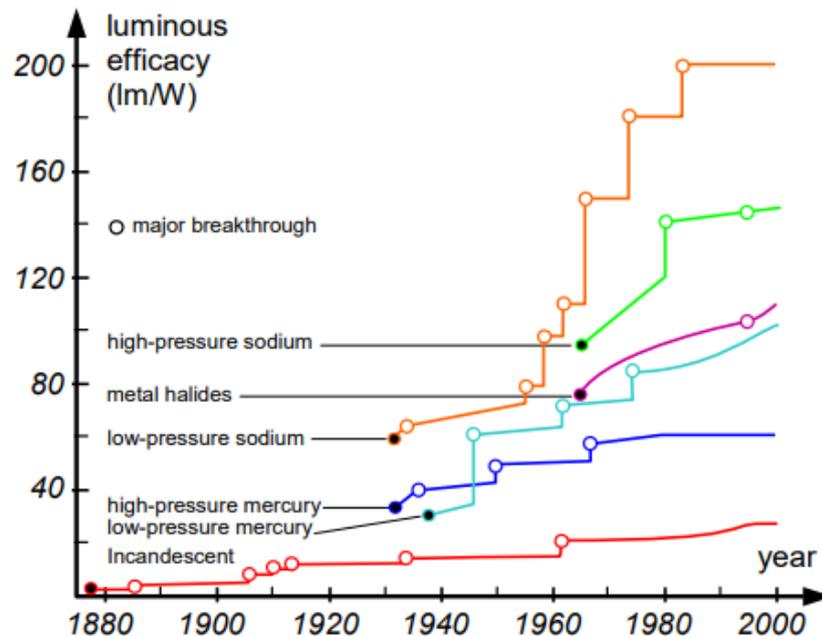


Figura 1.2 Evolución de las eficiencia lumínicas de las fuentes de luz [17].

Los sistemas modernos de iluminación más efectivo son los diodos emisores de luz (LED), tienen muchas ventajas como una vida de utilidad más larga, no contienen gases o sustancias peligrosas y se pueden utilizar lentes para distribuir la luz con los requerimientos del uso de la iluminaria [18]–[20]. Cada vez se está utilizando los LED en reemplazo de las bombillas incandescentes de alta y media potencia. Por eso muchos fabricantes de iluminarias tienen mucho interés en el estudio de las características fotométricas del LED de alta potencia para exteriores [21]. Una de características que se estudia es la temperatura del diodo, en la unión p-n, la cual tiene una gran influencia en las luces LED [22]. En varias obras/construcciones se han estudiado la influencia de la temperatura en la fotometría de los LED de diferentes tipos [23].

1.5.3 TIPOS DE LUMINARIAS

Las luminarias se componen de una fuente de luz, componentes eléctricos y una carcasa que también funciona como disipador de calor. En uso de escenario deportivos y exteriores, la carcasa debe contar con un sellado superior porque deben cumplir con las normas IP66 que es el grado de protección del dispositivo que corresponde a protección contra el polvo y el agua [23]. Estos dispositivos cuentan con elementos para modelar la distribución de luz. En la actualidad, hay una gran variedad de luminarias para diferentes aplicaciones como: hogar, oficinas, centro comerciales, industriales, escenarios deportivos, etc. Se puede observar en la figura 1.3 [24].



Figura 1.3 Tipos de luminarias [24]

La vida útil de las luminarias depende de muchos factores: el material de construcción, calidad de la energía eléctrica, tiempo de uso y la temperatura. Las luminarias de filamento producen lúmenes mediante el aumento de temperatura en el filamento, pero a su vez también crece la tasa de evaporación del material que está construido el filamento, ese efecto repercute en el oscurecimiento del bulbo con mayor tiempo de uso y por ello se reduce la cantidad de luminosidad del filamento. El desgaste del material de construcción del filamento se conoce como foto depreciación y esto puede llegar a romper el filamento. Los parámetros de medición de la vida útil de una luminaria es el promedio de la cantidad de horas de un lote de luminarias encendidas hasta que se dañe. Este resultado nos ayuda a

tener un ciclo de reemplazo de las luminarias [25]. A continuación, se presenta la tabla 1.2 con el tipo de luminarias y su vida promedio en horas.

Tabla 1.2 Tipo de luminarias y su vida útil promedio en horas [25].

Tipo de iluminaria	Vida útil promedio (Horas)
Incandescentes	1000
Halógenas	2000-4000
Fluorescentes	7500-1200
Mezcladores	9000
Mercurio a alta presión	25000
Haluros metálicos	11000
Sodio a baja presión	8000-12000
Sodio a alta presión	8000-12000
LED	>50000

1.5.4 ILUMINACIÓN INTELIGENTE

Un sistema de iluminación inteligente es uno de los sistemas de administración de energía y luminarias más avanzados que existe actualmente, está conformado por un conjunto de accesorios de iluminación que conectados a una red permiten el control automático de las luminarias para satisfacer las necesidades de los usuarios, monitoreando y reaccionando a la ocupación, niveles de luz configurados y a los cambios de luz ambiental en el lugar que ha sido instalada [26], [27].

Actualmente el uso de estas luminarias ha tenido un gran impacto no solo por la automatización que brindan al sistema debido a su gran flexibilidad para adaptarse a los cambios mientras cumple las normativas respectivas de las edificaciones en donde han sido instaladas, sino también porque permiten maximizar el ahorro energético, es decir son un sistema altamente eficiente e inteligente [27]. De hecho, muchas marcas que se dedican a la venta de luminarias inteligentes dependiendo del uso de las mismas, en lugares abiertos o cerrados, ofrecen entre un ahorro de energía que va al menos desde el 20% hasta el 80%, lo cual representa menos gastos en la factura eléctrica y mayor eficiencia energética [28]–[31].

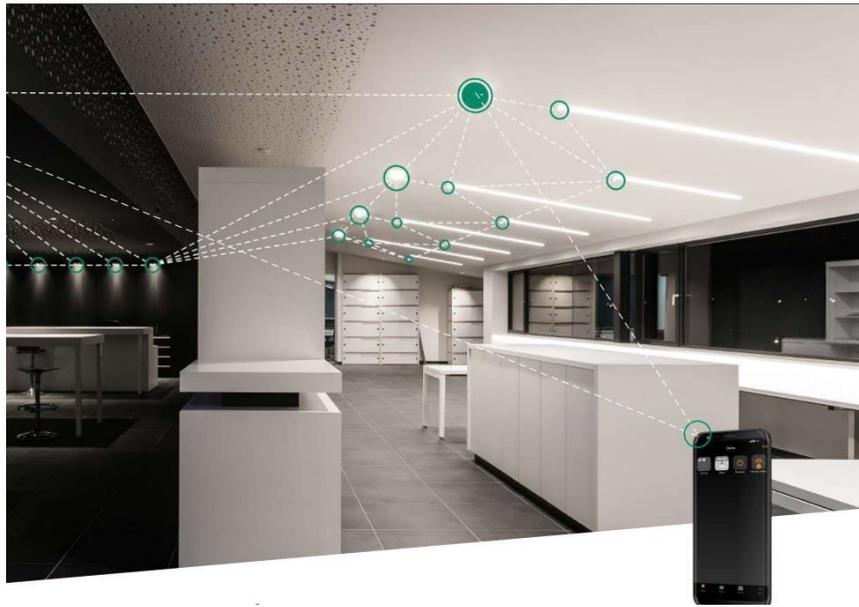


Figura 1.4 Conjunto de luminarias inteligentes controladas por un celular [31].

La clasificación de las luminarias inteligentes puede tener 3 tipos de control, dependiendo de las marcas recibe diversos nombres, pero de manera general se puede dividir en: 1) Sistema aislado (1 punto de luz), 2) Sistema automática (2 a 1000 puntos de luz), y 3) Sistema intergestionable (2 a 100.000 puntos de iluminación), cada uno de ellos es instalado según las necesidades de los usuarios y ofrecen más prestaciones debido al tamaño de la instalación [28], [29].

1.5.5 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Existen diversas definiciones para la contaminación lumínica, sin embargo [32] basándose en la Ley 34/2007 española de calidad de aire y protección de la atmósfera lo define como el brillo producido por la difusión y reflexión de la luz artificial en las partículas suspendidas en la atmósfera, dificultando la observación de los cuerpos celestes; en términos más sencillos, es la distorsión natural del medio nocturno debido a la emisión de luz artificial de las fuentes de luz. Las distorsiones en el ambiente que impide observar los cuerpos celestes no es el único el único problema de la contaminación lumínica, ya que el entorno en el que esto ocurre afecta las condiciones de vida nocturna y ciclos de día-noche de los seres vivos del entorno, especialmente el de los animales y las plantas, así como el de los ciudadanos.

Existe una clara relación entre el medio ambiente y la iluminación, pues la contaminación característica en el área urbana usualmente corresponde a un alumbrado excesivo o defectuoso, por lo que entre los otros perjuicios ocasionados por la contaminación lumínica se encuentran un mayor consumo energético y un mayor consumo de residuos, desprendiéndose de estos un exceso dióxido de carbono o residuos nucleares como subproductos de la generación de energía y el reciclaje de metales pesados presente en las luminarias [32], [33].

De acuerdo con [34] existen diferentes formas de contaminación lumínica, al menos se destacan 5: 1) *Luz intrusa (indeseada)* que es la provocada por el alumbrado público o comerciales, 2) *Luz difusa (no aprovechada)* la cual se presenta por la mala colocación de las luminarias, 3) *Halo luminoso* el cual es producto de dispersión de la luz, 4) *Deslumbramiento* que es creado por la luz horizontal, y 5) *Iluminación excesiva* producido por un mal dimensionamiento de las luminarias, lo cual causa un costo económico innecesario.

1.5.6 PLIEGO TARIFARIO

Los pliegos tarifarios determinan los valores que deben pagar los consumidores a la empresa distribuidora, en el caso de Ecuador la entidad que se encarga de regular esta tarifa es la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), anteriormente conocida como ARCONEL, la cual categoriza a los clientes según lo expuesto en el Anexo A [35].

En el caso de ESPOL al contar con una subestación de reducción y ser un cliente de alta tensión por ser una entidad pública, se cuenta con una tarifa de demanda horaria que se puede encontrar en el Anexo A. Tal como indica un boletín de prensa de la ARCERNNR en [36], los precios de la energía eléctrica no cambian del año 2021 al año 2022, por lo que lo expuesto en el Anexo A sirve para realizar una estimación del ahorro al implementar las luminarias inteligentes (*Compárese [35] con [37]*).

1.5.7 ASPECTO IMPORTANTES DE LA ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS

1.5.7.1 Altura de montaje de las iluminarias

La altura varía dependiendo de disposición de la iluminación, ya que pueden ser en torres o en el empotrada en las estructuras del techo. Lo más importante es la posición geométrica tiene que ser sobre los 25° y con un máximo de 45° para instalaciones exteriores [38]. Como se puede observar en la siguiente figura 1.6.

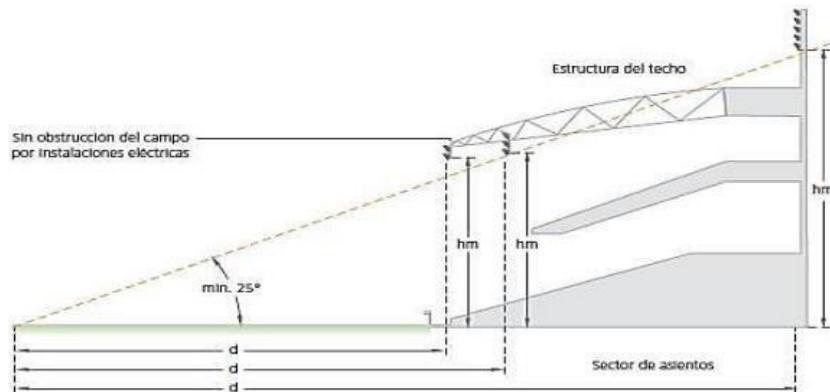


Figura 1.5 Altura de montaje de las iluminarias [38].

1.5.7.2 Iluminación horizontal (E_H)

Son medidas de iluminación en el plano horizontal que se registran en el escenario deportivo. Los que aporta la iluminación horizontal es el estado de adaptación de ojo del observador y constituye el fondo visual donde se realicen las actividades, se deben alcanzar un nivel de iluminación uniforme para obtener una óptima iluminación media (E_M). Para realizar mediciones de iluminación se traza una rejilla de 10m x 10m sobre el terreno y se va realizando mediciones distribuidas uniformemente para obtener la iluminación mínima/máxima/media del terreno de juego [39].

1.5.7.3 Iluminación vertical (E_V)

Es la medida de iluminación en el terreno de juego a un nivel de 1.5 m. Esta medida ayuda a mejorar los detalles en el primer plano de los jugadores (específicamente sus rostros) por lo tanto, este parámetro es importante en los escenarios deportivos donde se realizan transmisiones en TV. También influye en la visualización del balón de fútbol a diferentes niveles de altura en el terreno. La iluminación vertical se la considera solo cuando se tiene competiciones que serán transmitidas en medios de comunicación [39, p. 83].

1.5.7.4 Coeficiente de uniformidad (U)

En el terreno de juego debe tener una buena uniformidad de la disposición de iluminación tanto vertical como horizontal con el objetivo de que los espectadores y los medios de comunicación eviten realizar ajustes de imagen [40], [41]. La uniformidad se expresa como la relación entre el valor

de iluminación mínima y máxima (U_1) o la relación entre iluminación mínima y media (U_2). Las fórmulas son las siguientes:

$$U_1 = \frac{E_{mínima}}{E_{máxima}} \quad (1.1)$$

$$U_2 = \frac{E_{mínima}}{E_{media}} \quad (1.2)$$

1.5.7.5 Temperatura del color

Las cámaras digitales pueden manejar el contraste en rojo o azul con el objetivo variar la sensación visual, por ello los escenarios deportivos descubiertos deben de tener $\geq 4000K$. Cabe recalcar que la luz natural se encuentra en la escala de $6000K$, es decir que es mucho mejor utilizar luces con escala de temperatura de color cercana al valor de la luz natural en escenarios que se van a realizar competencias televisadas [42]. Las luces LED que vamos a emplear en el proyecto tienen una temperatura de color de $5700K$ y con un índice de reproducción cromática $Ra \geq 70$ así cumpliendo con creces la normativa.

1.5.7.6 Tipos de proyecciones

La proyección de la iluminación del terreno de juego depende de la disposición de las luminarias como pueden ser en torres o en las estructuras del techo de los graderíos o combinación de ambas. Cuando se utilizan torres se tienen dos formas de ubicarlas: en los laterales del terreno de juego o en las esquinas [43]. Cuando se tiene en los laterales se deben utilizar proyectores rectangulares que tengan una proyección sobre el terreno en forma trapezoidal obteniendo un buen modelado de los cuerpos. Como se puede observar en la siguiente figura 1.7.

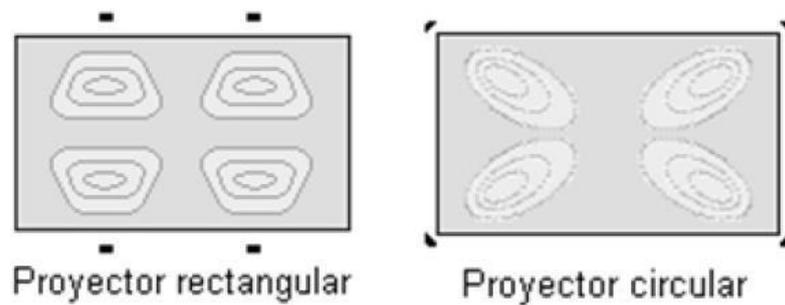


Figura 1.6 Tipos de proyecciones [43].

En la siguiente figura 1.8. Se puede observar ejemplos de disposición típicas de proyección en las instalaciones deportivas de fútbol. Donde los puntos de color gris afuera del terreno de juego representan las torres y las sombras blancas es la distribución de luz en el terreno. a

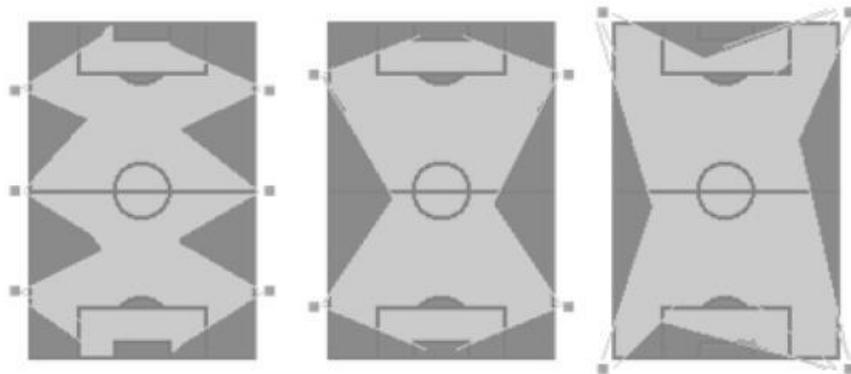


Figura 1.7 Ejemplos de disposición de las torres en cancha de futbol [43].

1.5.7.7 Medidas del terreno de juego

Las medias para un partido nacional son:

- Longitud: 90 metros – 120 metros
- Ancho: 45 metros – 90 metros

Las medidas para una competencia internacional son:

- Longitud: 100 metros – 110 metros
- Ancho: 64 metros – 75 metros

Medias complementarias del terreno de juego:

- La circunferencia en el centro del terreno con un radio de 9.15 metros [44].

- El área de portería debe tener una medida de 5.5 metros medida desde la base del arco y el área penal debe tener una medida de 16.5 metros medido desde la base del arco.
- El punto penal se encuentra a 11 metros de distancia de la línea central del arco [44].

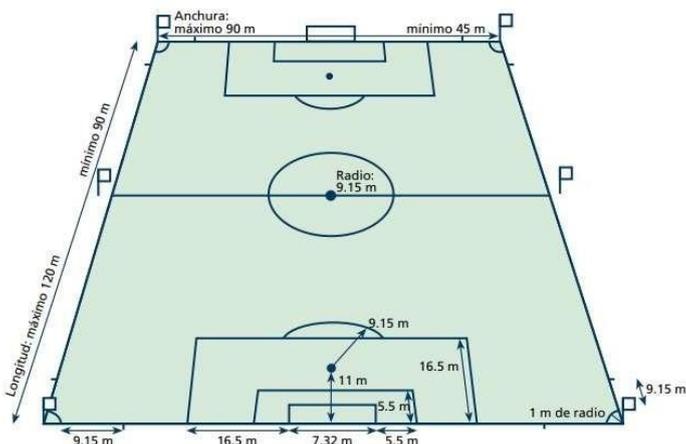


Figura 1.8 Medidas referenciales de un campo de fútbol [44].

1.5.7.8 Categorías de competiciones

Las competiciones se dividen en clases de sistemas de iluminación donde se clasifican en los diferentes requerimientos de calidad visual idónea para eventos con medios de comunicación o no [45]. La categoría se muestra en la siguiente tabla 1.3.

Tabla 1.3 Categorías de competiciones [45].

Clase V	Partidos internacionales televisados	Campos libre de sombras y deslumbramiento
Clase I	Partidos nacionales televisados	Campos libre de sombras y deslumbramiento
Clase II	Partidos nacionales no televisado	Campo libre de deslumbramiento, provisto de un mínimo de ocho postes (recomendado)
Clase III	Partidos de liga y/o clubes no televisados	Campo libre de deslumbramiento, provisto de un mínimo de ocho postes (recomendado)
Clase IV	Entrenamientos y juegos de recreo no televisados	Campo libre de deslumbramiento, provisto de un mínimo de cuatro postes

1.5.7.1 Mantenimiento

El uso continuo de las iluminarias va disminuyendo con el tiempo por ciertos motivos [46]:

- Degradación de la fuente de luz.
- Suciedad acumulada en las luminarias.
- Degradación de los componentes eléctricos de las luminarias.
- Degradación del grado de protección de la luminaria.

La planificación de las operaciones de mantenimiento es un aspecto importante que se debe de considerar para cumplir las expectativas de vida útil de las iluminarias [47]. Por ello, el intervalo de limpieza y reposición de iluminarias se debe considerar parte del diseño de la iluminación en un escenario deportivo. El factor de mantenimiento se debe establecer entre el proyectista y el cliente cuando se inicia el proyecto. Donde el proyectista debe otorgar un programa de mantenimiento planificado basado el factor de mantenimiento acordado.

1.5.7.2 Impacto ambiental

El impacto ambiental se genera por la contaminación lumínica de los escenarios deportivos. La intensidad de la iluminación crea un resplandor en los alrededores de estadio que puede ser invasiva en las carreteras cercanas, impidiendo una correcta visibilidad y crear accidentes. También la contaminación lumínica puede afectar a las aves. Si en la periferia del escenario deportivo se encuentran bosques o áreas protegidas. Todos los proyectos de iluminación deben tener un estudio de impacto ambiental [48].

1.5.8 NORMATIVA ACERCA DE LA ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS

Las normativas de iluminación que se consideran para este proyecto son las normativas FIFA, la asociación española de normalización (UNE) y la CONELEC que son las normativas que utilizan en los escenarios deportivos del país. A medida que va avanzando la tecnología las normativas del nivel promedio de iluminación va en aumento porque la calidad de imagen televisada mejora y requieren más iluminación. En el mundial de futbol de Alemania 2006 los estadios de futbol sede se

estableció un promedio de 2500 luxes, para el mundial de Sudáfrica subió de requerimiento a 3500 luxes [45]. Aunque la normativa se va ajustando a cada tipo de requerimiento ya sean eventos televisados y no televisados. En siguiente tabla 1.4, se observan los niveles requeridos de iluminación para transmisiones en HD, ya sea partidos internacionales y nacionales. Incluye los valores de iluminación vertical, horizontales, propiedad de las luminarias [49].

Tabla 1.4 Parámetros para eventos televisados [49].

Actividad		Iluminación Vertical			Iluminación Horizontal			Propiedades de la luminaria	
		Lux	U_1	U_2	Lux	U_1	U_2	Temperatura del color [$^{\circ}K$]	Rendimiento del color [R_0]
Internacional	Cámara fija	2400	0.50	0.70	3500	0.60	0.80	>4000	≥ 65
	Cámara a nivel campo	1800	0.40	0.65					
Nacional	Cámara fija	2000	0.50	0.65	2500	0.6	0.80	>4000	≥ 65
	Cámara a nivel campo	1400	0.35	0.60					

En la siguiente tabla 1.5, se tiene los valores de iluminación de eventos que no son televisados. Se tiene como parámetros la iluminación promedio, el coeficiente de uniformidad y las propiedades de la lampara [49]. Se observa que los valores de iluminación son más bajos, de acuerdo con las normas de la FIFA.

Tabla 1.5 Parámetros para eventos no televisados [45].

Actividad	Iluminación [lux]	Coeficiente de uniformidad		Propiedad de la luminaria	
	$E_{H\ media}$	U_1	U_2	Temperatura del color [$^{\circ}K$]	Rendimiento del color [R_0]
Nacionales	750	0.5	0.7	>4000	≥ 65
Ligas y clubes	500	0.4	0.6	>4000	≥ 65
Entrenamientos	200	0.3	0.5	>4000	≥ 65

La normativa incluye requerimientos generales que deben cumplir todos los escenarios deportivos:

- Todos los datos recogidos por las tablas se mantienen y se aplican al área de juego. Sus requerimientos de iluminación deben ser >75% y la uniformidad >75% de todas las áreas principales del deporte considerado.
- La uniformidad horizontal $U_{1\ hor}$ debe ser >50% $U_{2\ hor}$
- Es vital al momento de realizar un proyecto de iluminación seleccionar la clase de iluminación considerando la práctica del deporte y la visión del espectador.
- Alumbrado clase I: Son las competencias de máximo nivel, competiciones televisadas nacionales e internacionales donde implica gran número de espectadores. También se pueden considerar entrenamientos de alto nivel.

Alumbrado clase II: Son las competencias a nivel regionales o clubes locales, donde la capacidad del espectador es menor y distancia de visión media. En este tipo de alumbrado también se pueden desarrollar entrenamientos de alto nivel.

Alumbrado clase III: Son las competencias de ligas o clubes pequeños, donde no tiene espectadores. Este tipo de escenario y utiliza para entrenamientos generales, deportes escolares y actividad recreativas [50].

1.5.9 HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DIALUX

DIALux, es una herramienta paramétrica de modelado y cálculo luminotécnico, orientada a la obtención de resultados técnicos medibles de la luz, que nos permite crear entornos 3D, calcular y visualizar datos y resultados a través de una interfaz gráfica intuitiva [51]. Desarrollado por la empresa alemana DIAL, DIALux es uno de los programas más utilizados en el mundo, el software permite planificar la iluminación que utilizará en una habitación, una escena o un edificio. De tal manera, se podrá calcular y visualizar la luz natural, además de permitir planificar tus escenas de

iluminación, planificar el color y la intensidad de las luces que utiliza, posicionar en el proyecto el alumbrado de emergencia, con el número legal de luminarias, y muchos más.

DIALux puede preparar visualizaciones fotorrealistas de su planificación de iluminación y enviarlas por correo electrónico o cargarlas en un servidor. Para un mejor realismo, el programa puede usar diferentes texturas y muebles, y usa un módulo de trazado de rayos integrado. También puede guardar sus resultados en un archivo de formato .PDF o exportarlos a archivos .DWG y .DXF. Incluso puede importar archivos en esos formatos para aplicar la iluminación. Los muebles, las superficies y las luminarias se pueden colocar simplemente arrastrando y soltando elementos de las bibliotecas proporcionadas.

DIALux crea mundos virtuales de forma sencilla e intuitiva. Así mismo, documenta sus resultados en impresionantes visualizaciones fotorrealistas, deleitando con escenarios de luz diurna y artificial a través de los cuales pueden deslizarse con recorridos de cámara salvajes. Mientras se planifica de forma creativa, DIALux determina la energía que necesita su solución de iluminación y ayuda a cumplir las normativas nacionales e internacionales respectivas [51].

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

El presente capítulo detalla el procedimiento y las herramientas computacionales a utilizar para realizar el diseño de iluminación del estadio de ESPOL. Debido a que este proyecto requiere una evaluación técnica y económica se toma en cuenta estos dos aspectos en la formulación del problema, para esto se proponen dos escenarios de diseño los cuales permiten comparar dos clases de luminarias para espacios deportivos. La evaluación será llevada a cabo mediante el paquete computacional DIALux 4.13, el cual permitirá realizar un análisis de cada escenario propuesto en el capítulo 3 y posteriormente elegir el diseño más factible en el capítulo 4.

2.1 TIPOS DE FUENTE LUMÍNICA

La sección 1.5.3 detalla los diferentes tipos de tecnologías que existen como fuentes de radiación luminosa y tal como muestra la Tabla 1.2 la mejor alternativa respecto a vida útil son las luminarias LED, además de la reducción de otros impactos negativos en el medio ambiente con respecto al resto de fuentes, tal como pérdidas de energía por emisiones de calor y efectos de residuos radioactivos; por otro lado y no menos importante, también tiene una mejor relación costo/beneficio [52], [53].

Del mismo modo, la sección 1.5.8 detalla las clases de luminarias para espacios deportivos y sus especificaciones técnicas en las tablas 1.4 y 1.5. El presente proyecto usará el tipo de alumbrado clase II y clase III para las propuestas de diseño, es decir, los escenarios de evaluación que se describen en la sección 2.3.

2.2 LEVANTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS LUMÍNICAS DEL ESTADIO DE ESPOL

Actualmente, el estadio de ESPOL no cuenta con un sistema de iluminación inteligente por lo que el presente diseño pretende solucionar este problema. Dado a que en este espacio se da lugar a entrenamientos y competencias de diferentes disciplinas deportivas, se categoriza con una iluminación de clase II; sin embargo, debido a que el presente proyecto desea plantear un proyecto

factible tanto desde el punto de vista técnico como el económico, se pretende realizar un estudio también con una iluminación de clase III para poder tener un abanico de elecciones y seleccionar la mejor alternativa.

A continuación, en esta sección y en la siguiente se detalla el diseño de iluminación para el espacio deportivo, así como los escenarios que se evaluarán con la ayuda de la herramienta computacional para estudios lumínicos DIALux.

2.2.1 DISEÑO DE ILUMINACIÓN DEL ESTADIO DE ESPOL

El diseño que se propuso para la iluminación del estado de la ESPOL consta de 4 torres de 18 metros de altura en disposición esquinera (cada torre en una esquina del estadio). Cada torre tiene su tablero de control en la parte inferior. Todo el cableado eléctrico será de forma soterrada siguiendo la guía de construcción de sistemas de distribución de redes subterráneas. El diseño contiene un detalle del cuarto de transformador, tableros eléctricos, diagrama unifilar, protecciones eléctricas seleccionadas, y diagrama de control para la iluminación inteligente.

La ejecución de la iluminación inteligente estará dada por un PLC, el cual tendrá un módulo de conexión Ethernet que permitirá al programador lógico interactuar con la red de internet y comunicarse con otros dispositivos tal como una computadora por medio de servidores remotos, lo cual facilitará su monitoreo y control.

Respecto al diseño de las protecciones de los equipos y/o dispositivos eléctricos, estos serán tomados a partir de la siguiente ecuación 2.1, la cual permite el cálculo de la corriente nominal con un factor de protección del 25%, en donde P representa la potencia activa en vatios (W), V_{LL} el voltaje línea a línea y f_p el factor de potencia de la distribuidora eléctrica.

$$I_{Disyuntor} = \frac{P * 1.25}{V_{LL} * f_p} [A] \quad (2.1)$$

El diseño del centro de transformación, independientemente de que sea un sistema monofásico o trifásico, se calculará a partir de la potencia de las

luminarias totales, ya que este solo alimentará el sistema de iluminación y dado a que las luminarias son cargas del tipo resistivas el factor de potencia es 1 pero se utilizara 0.92, ya que es el valor mínimo permitido por CNEL. Los equipos de medición de parámetros y los conductores desde el cuarto de transformación hasta el Tablero General de Distribución (TGD) y las cargas deben ser seleccionados en base a los resultados de la ecuación 2.1.

Finalmente, el diseño de la tira fusible dependerá de la potencia instalada en el centro de transformación, debido a que esta se encuentra ubicada en la red eléctrica de media tensión su cálculo se realiza empleando la fórmula 2.2, en donde f_p representa el factor de potencia de la distribuidora eléctrica y P la potencia total en vatios (W) del centro de transformación, si es un sistema monofásico la potencia nominal de su transformador o si es un sistema trifásico la suma de sus transformadores.

$$I_{Tira\ Fusible} = \frac{P}{13.200 \cdot f_p} [A] \quad (2.2)$$

2.3 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

Se evaluarán dos escenarios que fueron desarrollado en la herramienta computacional DIALux. El primer escenario por evaluar es el diseño de iluminación de clase III para eventos no televisados en la sección de entrenamientos, juegos recreativos y clubes pequeños, eso quiere decir que el valor de iluminación promedio debe ser mínimo 200 lux, coeficiente de uniformidad del 0.50 y la iluminación horizontal se puede reducir hasta 50 lux, para el terreno de futbol. La pista atlética se fijará una iluminación de clase II que tiene una iluminación de promedio mínima 200 lux y un coeficiente uniformidad del 0.50.

El segundo escenario por evaluar es el diseño de iluminación de clase II para eventos no televisados en la sección de ligas y clubes regionales, donde existe un espectador con un nivel medio de visión, también se puede llevar a realizar

entrenamientos de alto nivel. El valor de iluminación promedio debe ser mínimo 500 lux y un coeficiente de uniformidad del 0.60, para el terreno de fútbol. La pista atlética se fijará una iluminación de clase II que tiene una iluminación de promedio mínima 200 lux y un coeficiente uniformidad del 0.50.

2.4 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

En base a lo propuesto a lo largo del presente trabajo de titulación, acorde con los objetivos del proyecto, se utilizarán los siguientes parámetros para evaluar el rendimiento de los escenarios y posteriormente permitan la elección de la mejor alternativa:

- Uniformidad óptima y cumplimiento de iluminancia mínima: Este parámetro sirve de criterio para elegir la mejor alternativa desde el punto de vista técnico, pues asegura que la distribución de la radiación lumínica sea la adecuada, además de cumplir con los luxes requeridos por el espacio deportivo.
- Minimizar costo: Este parámetro pretende evaluar la inversión a realizar para montar la infraestructura de iluminación inteligente, asegurando que se cuiden los recursos monetarios de la institución y se empleen de manera óptima.

CAPÍTULO 3

3 SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A lo largo de esta sección se pretende presentar los resultados de los escenarios propuestos y la evaluación de los parámetros expuestos en el Capítulo 2. El paquete computacional de diseño de iluminación profesional DIALux 4.13™ es en el cual se desarrollarán las propuestas.

Los escenarios de evaluación son dos, los cuales se desarrollan sobre la cancha de fútbol y la pista de atletismo. Ambos escenarios comparten las mismas características de iluminación sobre la pista de atletismo, la cual se ha fijado como iluminación del tipo clase II de eventos deportivos; lo que causa la diferencia de ambos escenarios es los requerimientos sobre la cancha de fútbol: El primer escenario evalúa los requerimientos lumínicos que se necesitan para la iluminación deportiva clase II, la cual se contrasta con los requerimientos solicitados por la iluminación deportiva clase III en el segundo escenario. La simulación de los escenarios se realiza en un ordenador con un procesador de núcleo Intel® Core™ i5-4200H, frecuencia de 2.50 GHz y memoria RAM de 10 GB.

En la sección 3.1 se presentan los resultados que se obtuvieron en los cálculos realizados por el programa DIALux 4.13 para cada escenario, mientras que en la sección 3.2 se discute la evaluación de los resultados en base a los parámetros definidos en el Capítulo 2.

3.1 RESULTADOS DE ESCENARIOS DEL CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Los escenarios de iluminación han sido modelados en la herramienta computacional de diseño lumínico DIALux 4.13, a través del cual se obtendrán los reportes que permitirán determinar si cada uno cumple con los requerimientos lumínicos especificados para cada clase de iluminación deportiva tal como se expresa en la Tabla 1.5, los parámetros que se pueden obtener de las simulaciones principalmente son: 1) La cantidad total de luminarias requeridas y sus características técnicas, 2) Los luxes sobre las superficies de

análisis (cancha de fútbol y pista de atletismo), y 3) La uniformidad que proveen las luminarias sobre el espacio deportivo.

El Anexo F muestra las luminarias utilizadas para cada escenario de evaluación; mientras que la tabla 3.1 y 3.2 muestran las características ambientales¹ y eléctricas, respectivamente, a las que serán sometidas las luminarias.

Tabla 3.1 Características ambientales en el Campus Gustavo Galindo Velasco.

Característica Ambiental	Medida
Temperatura máxima, promedio anual	41.08°C
Temperatura media anual	29.25°C
Humedad relativa máxima, promedio anual	65.67%
Altura sobre el nivel del mar	0-2 msnm
Nivel de contaminación	Moderado

Tabla 3.2 Características eléctricas en el espacio deportivo del Campus Gustavo Galindo Velasco.

Característica eléctrica	Rango/Medida
Tensión nominal, 3 fases – 4 hilos [V.ac]	208 / 120
Margen de tensión [%]	90 - 110
Frecuencia nominal [Hz]	60

¹ Las características ambientales son obtenidas de [54], la cual es la base de datos de la NASA.

3.1.1 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 1

La tabla 3.3 muestra las luminarias necesarias para este escenario de evaluación, en el cual tanto la pista de atletismo como la cancha de fútbol deben cumplir con los requerimientos de iluminación deportiva clase II, que son los que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.3 Resumen de luminarias utilizadas para escenario 1

Tipo de luminaria	Rendimiento lumínico	Área	Cantidad por poste	Total
LED (1000 W)	113.02 lm/W	Perímetro de la pista de atletismo	16	64

Tabla 3.4 Requerimientos lumínicos para escenario de evaluación 1

Actividad	Iluminación [lux]	Coeficiente de uniformidad		Propiedad de la luminaria	
	E_H media	U_1	U_2	Temperatura del color [$^{\circ}K$]	Rendimiento del color [R_0]
Entrenamientos	200	0.3	0.5	>4000	≥ 65

La figura 3.1 muestra la simulación obtenida para este caso de estudio, en la cual se puede observar la iluminación que tendrá la pista de atletismo y la cancha de fútbol. La evaluación de los luxes mínimos requeridos se muestra a través de los colores falsos que permite colocar el paquete computacional, obteniendo lo mostrado en la figura 3.2.

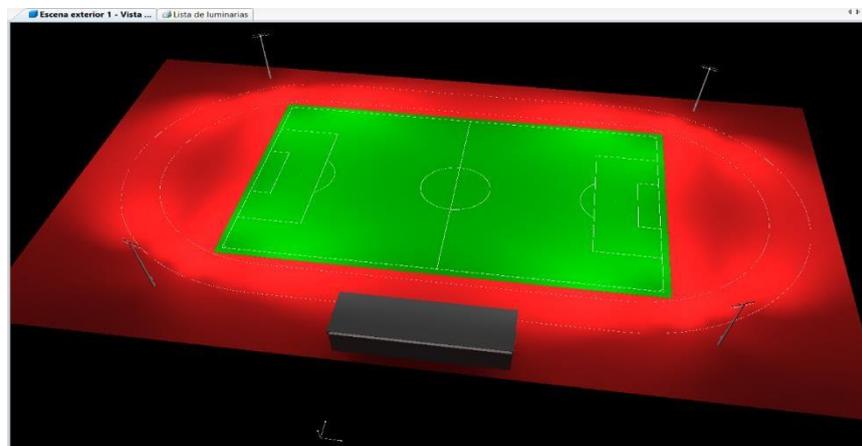


Figura 3.1 Modelado de la cancha de fútbol y la pista de atletismo y renderizado de la simulación.

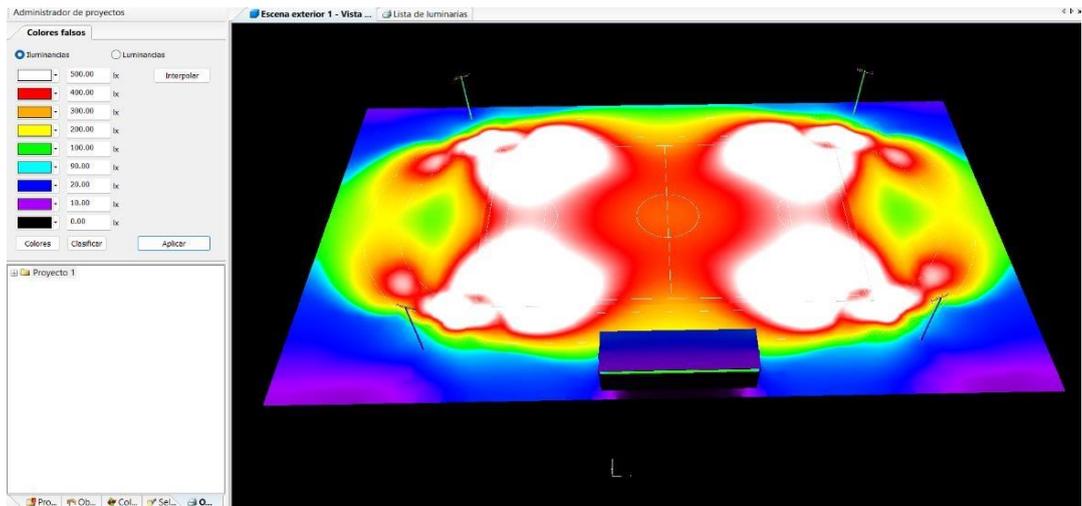


Figura 3.2 Colores falsos sobre la simulación del escenario de evaluación 1.

La figura 3.2 muestra que, al ubicar 16 luminarias por poste, en los cuatro extremos de la pista, de manera general se puede lograr que en el espacio deportivo haya el mínimo de luxes requeridos que es 200, el cual se encuentra presente en aproximadamente toda la cancha de fútbol y en la pista de atletismo.

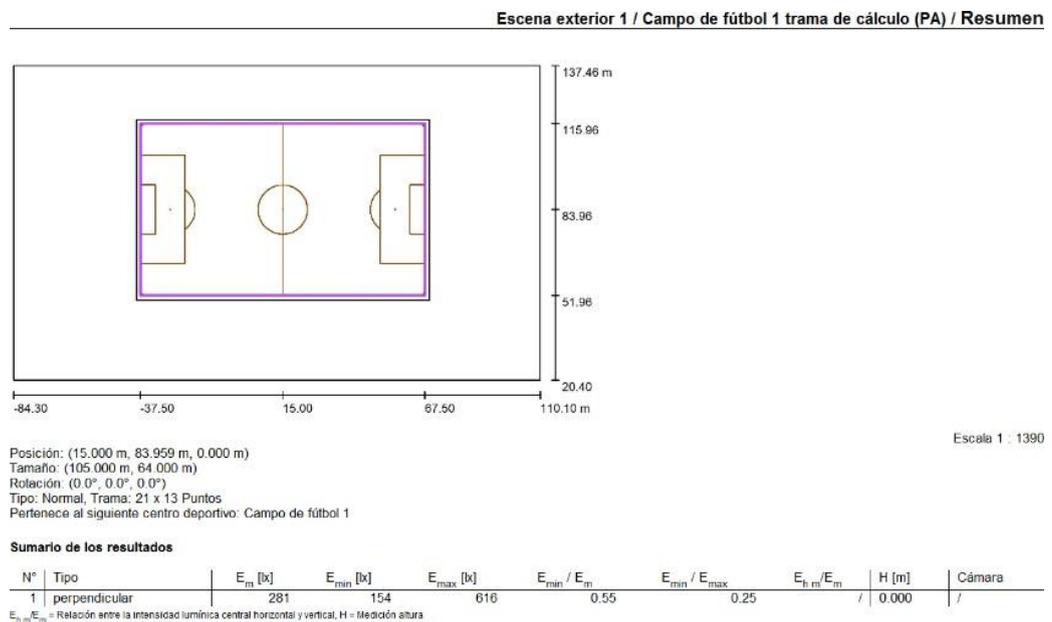
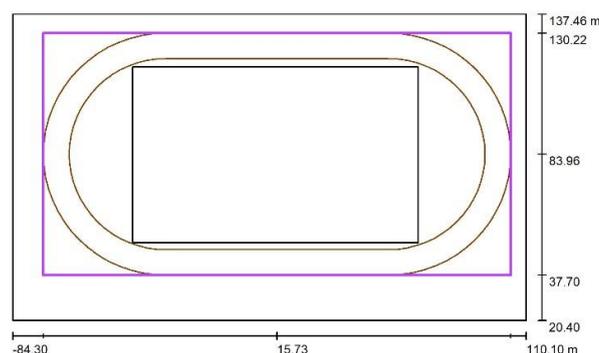


Figura 3.3 Parámetros de iluminación de la cancha de fútbol

De forma específica la figura 3.3 permite analizar los parámetros de iluminación de la cancha de fútbol, en los cuales se pueden examinar la intensidad lumínica mínima, media y máxima, así como sus relaciones que

dan lugar a los coeficientes de uniformidad. El coeficiente de uniformidad media que es el de principal interés se encuentra con un valor de 281 lx y un coeficiente de uniformidad U_2 con un valor de 0.55, los cuales son mayores a lo solicitado en la tabla 3.4; sin embargo, en este escenario el coeficiente de uniformidad U_1 tiene un valor menor al solicitado el cual es de 0.25 y debe ser menor o igual a 0.30.



Escala 1 : 1475

Posición: (15.728 m, 83.960 m, 0.000 m)
 Tamaño: (176.907 m, 92.518 m)
 Rotación: (0.0°, 0.0°, 0.0°)
 Tipo: Definido por el usuario, Cantidad Puntos: 19
 Pertenecer al siguiente centro deportivo: Pista 1

Sumario de los resultados

Nº	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}	E_{Hm} / E_m	H [m]	Cámara
1	perpendicular	342	135	536	0.39	0.25	/	0.000	/

E_{Hm} / E_m = Relación entre la intensidad luminica central horizontal y vertical, H = Medición altura

Figura 3.4 Parámetros de iluminación de la pista de atletismo.

Del mismo modo, la figura 3.4 permite analizar los parámetros de iluminación de la pista de atletismo en donde se puede observar que la intensidad lumínica media corresponde a 342 lx, parámetro que está por encima de lo requerido en la tabla 3.4; sin embargo, en este escenario se tiene que ninguno de los coeficientes de uniformidad se encuentra por encima del valor de referencia solicitado.

En base a lo examinado para cada superficie del espacio deportivo el usuario deberá tener en cuenta otros aspectos, como el económico o técnicos como la infraestructura eléctrica, ya que, desde un punto de vista técnico de iluminación el presente escenario cumple parcialmente lo requerido para la iluminación deportiva clase II.

3.1.2 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 2

El presente escenario tiene como objeto evaluar la iluminación deportiva clase III para la cancha de fútbol y la clase II para la pista de atletismo, la tabla 3.5 muestra las luminarias necesarias para cumplir con los requerimientos; mientras que, la tabla 3.6 detalla los parámetros de iluminación a los que se tiene que ajustar el espacio deportivo.

Tabla 3.5 Resumen de luminarias utilizadas para escenario 2

Tipo de luminaria	Rendimiento lumínico	Área	Cantidad por poste	Total
LED (1000 W)	113.02 lm/W	Perímetro de la pista de atletismo	24	96

Tabla 3.6 Requerimientos lumínicos para escenario de evaluación 2

Actividad	Iluminación [lux]	Coeficiente de uniformidad		Propiedad de la luminaria	
	$E_{H\ media}$	U_1	U_2	Temperatura del color [$^{\circ}K$]	Rendimiento del color [R_0]
Ligas y clubes	500	0.4	0.6	>4000	≥ 65

En la figura 3.5 se puede observar el renderizado del escenario 2, en el cual se puede observar que las luminarias fueron colocadas en los mismos postes que fueron implementados para el escenario de evaluación 1.

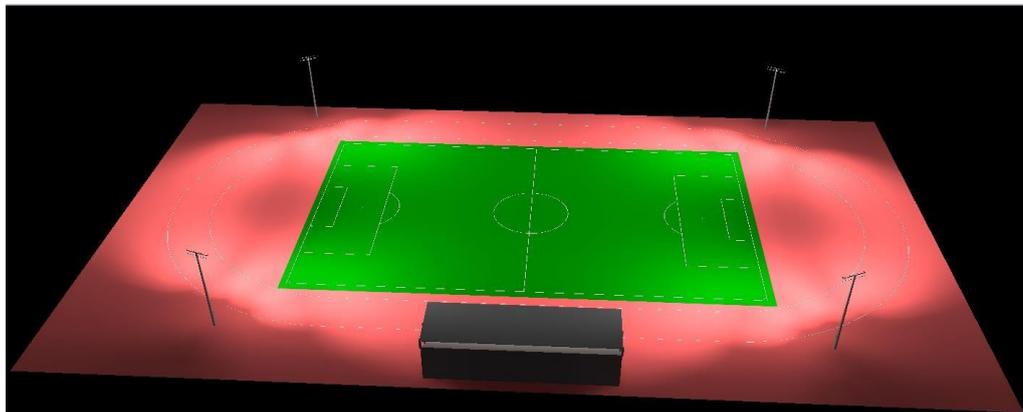


Figura 3.5 Renderizado del espacio deportivo para el escenario de evaluación 2.

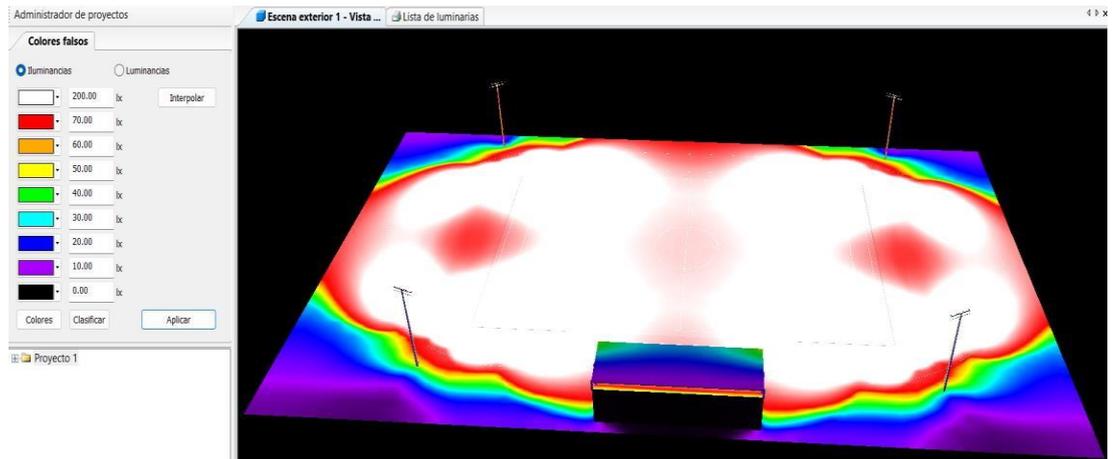


Figura 3.6 Colores falsos sobre la simulación del escenario de evaluación 2.

En la figura 3.6 muestra un aspecto general de la intensidad luminosa sobre el espacio deportivo, el cual cuenta con una intensidad superior o igual a 400 lx en lo que respecta a la cancha deportiva y alrededor de 200 lx en la pista de atletismo.

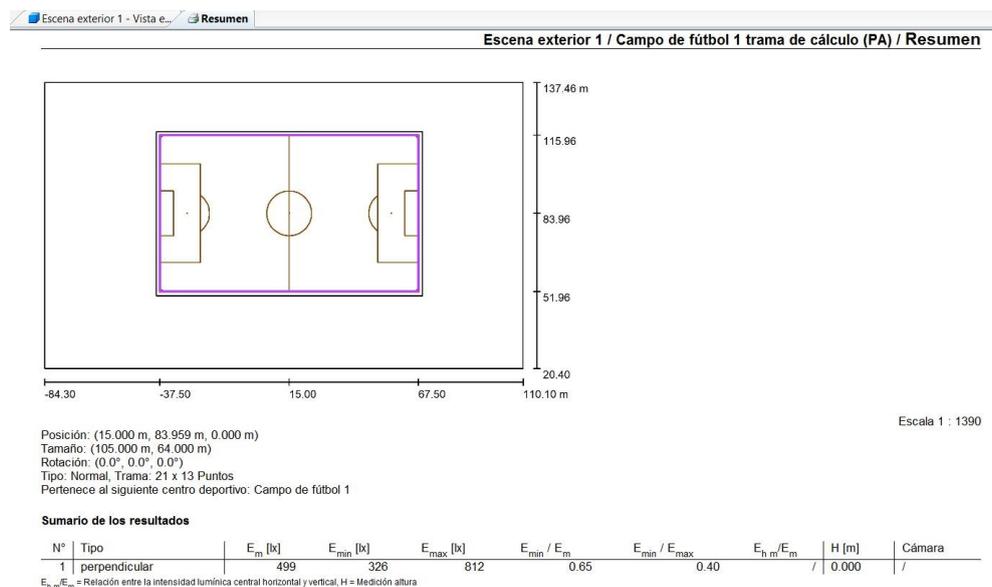


Figura 3.7 Parámetros de iluminación de la cancha de fútbol para el escenario de evaluación 2.

En la figura 3.7 muestra los parámetros de iluminación para la cancha de fútbol, en la cual se puede observar que la intensidad lumínica media tiene un valor de 499 lx, así como un coeficiente de uniformidad U_1 de 0.40 y U_2 de 0.65; estos valores cumplen con los requerimientos solicitados en la tabla 3.6, con la excepción de la intensidad luminosa que debe ser igual a

500 lx, pero contiene una pequeña desviación en la práctica que es aceptable.

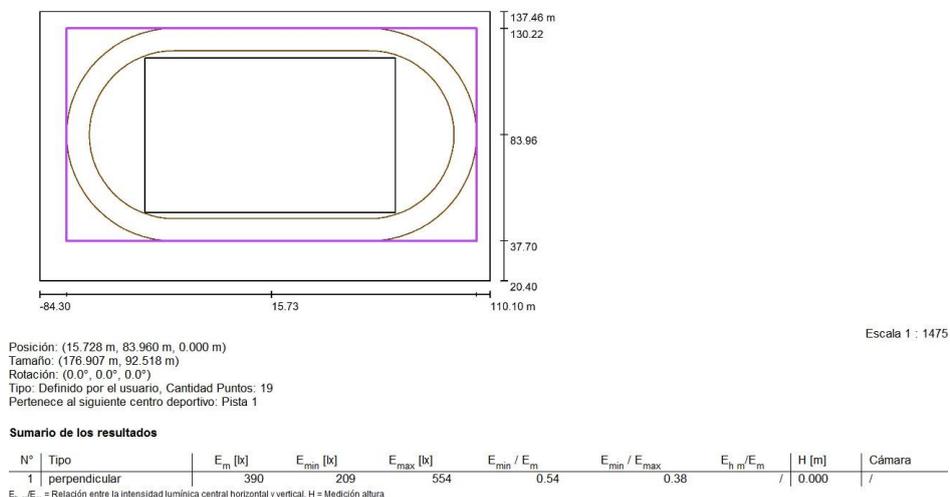


Figura 3.8 Parámetros de iluminación de la pista de atletismo para el escenario de evaluación 2.

Por otro lado, la figura 3.8 muestra los parámetros lumínicos de la pista de atletismo, los cuales deben cumplir los requerimientos de la iluminación deportiva clase II mostrados en la tabla 3.4. La pista en este escenario cuenta con una intensidad lumínica media de 390 lx, un coeficiente de uniformidad U_1 de 0.38 y un coeficiente U_2 de 0.54; valores que son mayores a los requeridos y por lo tanto adecuados para la iluminación deportiva clase II.

En base a lo expuesto en este escenario cumple con lo esperado para cada superficie deportiva, es decir, la iluminación deportiva clase III para la cancha de fútbol y la clase II para la pista de atletismo. Sin embargo, al igual que el escenario anterior se debe tener en cuenta aspectos como el económico y la infraestructura eléctrica implementada en el sitio o que debe implementarse para cumplir con estos requerimientos.

3.2 RESULTADOS DE ESCENARIOS DEL CASO DE ESTUDIO: DISEÑO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Las protecciones y equipos necesarios para construir los sistemas de iluminación se dimensionan a partir de lo requerido por el diseño lumínico y tal como se expuso en la sección 2.2.1 este requiere un cuarto de transformador, tablero

eléctrico, conductores soterrados y protecciones eléctricas, pero se debe tener en cuenta que a pesar de que ambos escenarios son idénticos, como el número de luminarias cambia esto sugiere una variación en el cálculo de las protecciones, conductores y cuarto de transformación que requiere cada escenario.

Acorde con lo explicado en el párrafo anterior, se deben analizar los cálculos teóricos que diferencian a cada escenario y esto se muestra en las secciones 3.2.1 y 3.2.2.

3.2.1 PROTECCIONES Y EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 1

Cuarto de transformación

En este escenario la cantidad de luminarias requeridas son 64 unidades en total, lo cual sugiere que al menos se requiere una potencia de 64 kW para poder suplir la demanda de las luminarias conectadas, pero como se considera un factor de sobrecarga de hasta el 25% y el factor de potencia de 0.92, se tiene que la potencia del centro de transformación debe ser de 86.95 kVA. Debido a que no existe un transformador de 86.95 kVA según la norma NATSIM se debe colocar un transformador monofásico de 100 kVA o en su defecto un para un sistema trifásico con bancos de transformadores de 37.5 kVA cada uno.

Protecciones de Tablero General de Distribución (TGD)

Con un consumo de 80 kW el TGD debe contar con una protección de al menos 418A como se muestra en la siguiente ecuación 3.1, pero debido a que no existe un disyuntor de esa capacidad se puede colocar un breaker caja moldeada regulable de 440-630 amperios.

$$I_{Disyuntor} = \frac{80 \text{ kW}}{208 * 0.92} = 418.06 \text{ [A]} \quad (3.1)$$

A su vez, cada torre debe contar con una protección para sus luminarias, como son 4 torres esto equivale a una potencia de 20 kW por torre lo cual

sugiera una protección de 104 A tal como sugiere la ecuación 3.2, por lo que su selección es un disyuntor de 100 A para cada torre, así como contactores para el sistema de control de la misma capacidad.

$$I_{Disyuntor} = \frac{20 \text{ kW}}{208 * 0.92} = 104.52 \text{ [A]} \quad (3.2)$$

Conductores y medidores de parámetros

El tendido de conductores desde el centro de transformación hasta el TGD debe tener la siguiente configuración: F# 3/0 THHN + N# 2/0 THHN +T #4 THHN. Las fases deben ser un sistema conectado en paralelo con 3 conductores, para poder completar la capacidad que requiere el TGD es decir, cada fase debe tener 3 conductores y el número de fases dependerá de la conexión del sistema si es trifásica serán 3 fases o si es monofásica serán 2 fases, correspondiendo a un total de 9 y 6 conductores, según corresponda el sistema.

Ahora bien, los conductores requeridos desde la TGD hasta las cajas de conexiones o tableros de distribución para cada torre deben ser con la configuración: F# 1/0 THHN N# 2 THHN Y T# 4 THHN, si el sistema es monofásico se requieren dos fases y 3 en su defecto si es trifásico.

Por otro lado, conductores requeridos para cada luminaria desde el tablero eléctrico de distribución de cada torre deben tener la configuración de 2F# 12 THHN + T#14 THHN en base a lo mostrado en la ecuación 3.3, esta debe implementarse independientemente de que el sistema sea trifásico o monofásico puesto a que las luminarias funcionan con dos fases a un nivel de tensión de 208 V.

$$I_{LuzLed} = \frac{1000 * 1.25}{208 * 0.92} = 6.53 \text{ [A]} \quad (3.3)$$

Finalmente, los equipos requeridos para la medición de parámetros debe ser un TC con una característica de 500:5 amperios.

3.2.2 PROTECCIONES Y EQUIPOS ELÉCTRICOS DEL ESCENARIO DE EVALUACIÓN 2

Cuarto de transformación

El escenario 2 cuenta con 96 unidades en total, es decir que la potencia nominal requerida por un centro de transformación debe ser de al menos 96 kW, pero considerando un factor de protección de sobrecarga del 25% y el factor de potencia de 0.92 se tiene una potencia de 120 kW. Dado a que esta potencia no puede ser suplida por un sistema monofásico debido a que supera los 100 kVA², por lo que el diseño del centro de transformación estará dado por tres transformadores monofásicos de 50 kVA, teniendo, así como resultado un sistema trifásico de 150 kVA.

Protecciones de Tablero General de Distribución (TGD)

El consumo total del sistema con el factor de protección por sobrecarga del 25% es de 120 kW, lo cual requiere una protección con una corriente de al menos 784 A como se indica en la ecuación 3.4, por lo que la protección principal seleccionada es de 800 A.

$$I_{Disyuntor} = \frac{120 \text{ kW}}{208 * 0.92} = 783.86 \text{ [A]} \quad (3.4)$$

El dimensionamiento de la protección de cada torre debe realizarse con el valor de potencia de cada torre, el cual corresponde a 30 kW. La ecuación 3.5 muestra que se requiere una protección de 196 A, por lo que la

² El folleto NATSIM estipula que un sistema eléctrico solo puede suministrar el servicio monofásico con una carga de hasta 100 kVA, más allá de ello debe utilizar un servicio trifásico.

selecciona para cada torre es de 200 A con un contactor de esta misma capacidad.

$$I_{Disyuntor} = \frac{30 \text{ kW}}{208 * 0.92} = 195.97 \text{ [A]} \quad (3.5)$$

Conductores y medidores de parámetros

El conductor requerido desde el centro de transformación hasta el TGD es debe tener las siguientes características: 4x(3F#4/0 THHN + N# 3/0 THHN) + T#2/0 THHN. Debido a que el sistema es trifásico debe contar con 3 fases, pero con cuatro conductores en paralelo para poder alimentar la demanda de 120 kW.

Del mismo modo, el tendido de los conductores desde el TGD hasta los tableros de distribución de cada torre debe tener la capacidad de 3F# 4/0 THHN + N#3/0 THHN + T#1/0 THHN. El sistema debe ser trifásico y debido a que las luminarias requieren 2 fases no se requiere de un conductor de neutro, sino de tierra.

Por otro lado, los conductores para las luminarias son los mismos descritos para el escenario 1, por lo que no es necesario realizar un nuevo cálculo. Finalmente, el medidor de parámetros para este escenario de evaluación debe ser de 800:5 A.

3.3 RESULTADOS DE ESCENARIOS DEL CASO DE ESTUDIO: PRESUPUESTO ECONÓMICO

El presupuesto económico se realiza a partir de lo requerido para construir el sistema de iluminación tanto en la parte civil como en la parte eléctrica. Un factor importante que se debe tener en cuenta es que ambos escenarios son idénticos, como el número de luminarias cambia esto sugiere una variación en el presupuesto necesario para ejecutar el proyecto por lo que determinar estos cambios son de vital importancia, pues permiten contrastar qué rubros tienen un mayor impacto en la implementación del proyecto, así como posteriormente realizar una elección del mejor escenario

La siguiente sección realiza una comparación económica de los rubros necesarios para la ejecución del proyecto dividiéndolo al menos en tres secciones importantes: 1) Cuarto de transformadores, 2) Tablero Eléctrico y 3) Torres de iluminación. Primero se realizará un presupuesto base que permite identificar las similitudes entre cada escenario, después se identificarán las diferencias para posteriormente realizar el presupuesto final incluyendo la mano de obra.

3.3.1 PRESUPUESTO ECONÓMICO BASE

Debido a que los escenarios muestran similitud entre sí, existen ciertos rubros que son un base del presupuesto debido a que no cambian con la modificación de las luminarias. Las tablas 3.7 y 3.8 muestra un detalle de estos rubros que sirven como base del presupuesto.

Tabla 3.7 Base del presupuesto de los escenarios de evaluación, parte 1.

N°	DESCRIPCIÓN	UNID	CANTID	PRECIO UNIT.	VALOR
					TOTAL
	Materiales: Cuarto de transformadores				
1	Suministro de materiales para instalación de puesta a tierra	GLB	1	\$ 404.42	\$ 404.42
2	Suministro de accesorios de conexión para transformadores. Incluye kit de puesta a tierra y kit para conexión de acometida	GLB	1	\$ 500.00	\$ 500.00
3	Suministro de materiales para la construcción del cuarto de transformadores	M2	7.5	\$ 266.00	\$ 1,995.00
Subtotal 1					\$ 2,899.42
	Materiales: Tablero Eléctrico				
4	Suministro de tablero eléctrico de 700x500x250 cm	UNIDAD	1	\$ 1,325.00	\$ 1,325.00
5	Suministro de disyunto de 2P 2A para riel DIM	UNIDAD	1	\$ 30.08	\$ 30.08
6	Suministro de indicadores luminosos	UNIDAD	4	\$ 30.73	\$ 122.92
7	Suministro de pulsadores, contacto NO	UNIDAD	4	\$ 20.31	\$ 81.24
8	Suministro de contactores de contactor, AC1 215A con bobina a 220 VAC, 1NA+1NC	UNIDAD	4	\$ 1,004.38	\$ 4,017.52

9	Suministro de cable para sistema eléctrico de control #18 AWG	METROS	100	\$ 0.93	\$ 93.00
10	Provisión para la organización del cableado y marquillado de tablero. Incluye canaleta ranurada, riel dim, marquillas y punteras 18 AWG	GLB	1	\$ 75.00	\$ 75.00
Subtotal 2					\$ 5,744.76

Tabla 3.8 Base del presupuesto de los escenarios de evaluación, parte 2.

Materiales: Torres de iluminación					
11	Suministro de torre de poste de iluminación de mástil alto de 18m	UNIDAD	4	\$ 14,000.00	\$ 56,000.00
12	Suministro de materiales para canalización soterrada desde TGD en cuarto eléctrico hasta las torres	GLB	1	\$ 1,400.00	\$ 1,400.00
Subtotal 3					\$ 57,400.00
Total en materiales (Subtotal 1, 2 y 3)					\$ 66,044.18

Tal como muestran las tablas 3.7 y 3.8, los rubros relacionados a la base del presupuesto son los que tienen que ver con el cuarto de transformación, el tablero eléctrico de fuerza/control y las torres de iluminación. Respecto al cuarto de transformación los aspectos que son fijos son los relacionados los materiales de construcción de este, los materiales del sistema de puesta a tierra y los accesorios de conexión de los transformadores. De la misma manera, existen equipos que conforman el tablero eléctrico que no cambian con los escenarios como lo es el mismo tablero galvanizado, los equipos relacionados al sistema de control e indicadores. Finalmente, las torres de iluminación y los materiales relacionados a la canalización soterrada son los mismos para cada escenario por lo que estas también forman la base del presupuesto.

La sección 3.3.2 detalla las diferencias de cada escenario considerando la instalación de un sistema trifásico para cada sistema de iluminación.

3.3.2 DIFERENCIA DE PRESUPUESTO EN LOS ESCENARIOS DE ILUMINACIÓN

Como ya se ha mencionado hasta ahora la principal diferencia entre los escenarios radica en el número de luminarias a instalar para cumplir con los requerimientos de la iluminación propuestos para cada uno. Respecto al escenario de iluminación 1 la tabla 3.9 muestra con detalle una estimación de las protecciones, equipos y materiales que diferencian a este del escenario de iluminación 2, el cual se detalla en la tabla 3.10.

Tabla 3.9 Equipos, protecciones y materiales del escenario de iluminación 1.

N°	DESCRIPCIÓN	UNID	CANTID.	PRECIO UNIT.	VALOR
					TOTAL
	Materiales: Cuarto de transformador				
1	Suministro de transformadores de 37.5 kVA	UNIDAD	3	\$ 1,586.85	\$ 4,760.55
2	Suministro de conductor #3/0 THHN	METROS	54	\$ 17.43	\$ 941.22
3	Suministro de conductor #2/0 THHN	METROS	6	\$ 13.69	\$ 82.15
4	Suministro de conductor #4 THHN	METROS	6	\$ 4.45	\$ 26.71
5	Suministro de medidor de parámetros 500:5	UNIDAD	9	\$ 8.04	\$ 72.34
Subtotal 1					\$ 5,882.97
	Materiales: Tablero Eléctrico				
6	Suministro de breaker principal regulable, 440-630A	UNIDAD	1	\$ 794.20	\$ 794.20
7	Suministro de disyuntor para torre de iluminación de 100 A	UNIDAD	4	\$ 125.85	\$ 503.40
8	Suministro de contactores de contactor, AC1 120A con bobina a 220 VAC, 1NA+1NC	UNIDAD	4	\$ 427.18	\$ 1,708.72
9	Suministro de barra de cobre de 1" x 3/8"	METROS	20	\$ 56.49	\$ 1,129.80
10	Provisión de aisladores de 40 mmm	UNIDAD	16	\$ 2.75	\$ 44.00
11	Provisión de pernos cadmeados, incluye perno, anillo y tuerca	UNIDAD	12	\$ 1.00	\$ 12.00
12	Provisión de terminales de compresión para cable #3/0 THHN, #2/0 THHN, #1/0 THHN y #4 THHN	GLB	1	\$ 80.00	\$ 80.00
13	Suministro de conductor #1/0 THHN	METROS	1489.5	\$ 11.12	\$ 16,563.24
14	Suministro de conductor #4 THHN	METROS	496.5	\$ 4.45	\$ 2,210.42
Subtotal 2					\$ 23,045.78
	Materiales: Torres de iluminación				

15	Suministro de luminaria de 1000 W	UNIDAD	64	\$ 875.00	\$ 56,000.00
16	Suministro de tablero de control 120x150x40 cm. Incluye accesorios y equipos para la conexión de las luminarias	GLB	1	\$ 862.50	\$ 862.50
17	Suministro de conductor #12 THHN	METROS	5632	\$ 1.40	\$ 7,884.80
18	Suministro de conductor #14 THHN	METROS	2816	\$ 1.23	\$ 3,463.68
Subtotal 3					\$ 68,210.98
Total en materiales (Subtotal 1, 2 y 3)					\$ 97,139.73

Tabla 3.10 Equipos, protecciones y materiales del escenario de iluminación 2.

N°	DESCRIPCIÓN	UNID	CANTID.	PRECIO UNIT.	VALOR
					TOTAL
Materiales: Cuarto de transformador					
1	Suministro de transformadores de 50 kVA	UNIDAD	3	\$ 1,852.85	\$ 5,558.55
2	Suministro de conductor #4/0 THHN	METROS	54	\$ 21.39	\$ 1,155.06
3	Suministro de conductor #3/0 THHN	METROS	6	\$ 17.43	\$ 104.58
4	Suministro de conductor #4 THHN	METROS	6	\$ 4.45	\$ 26.71
5	Suministro de medidor de parámetros 800:5	UNIDAD	9	\$ 164.36	\$ 1,479.24
Subtotal 1					\$ 8,324.14
Materiales: Tablero Eléctrico					
6	Suministro de breaker principal de 800 Amp	UNIDAD	1	\$ 1,750.00	\$ 1,750.00
7	Suministro de disyuntor para torre de iluminación de 200 A	UNIDAD	4	\$ 370.98	\$ 1,483.92
8	Suministro de CPU 1212C AC/DC/RELE S7 1200 6ES7212-1BE40-0XB0	UNIDAD	1	\$ 566.93	\$ 566.93
10	Suministro de barra de cobre de 3/8" x 2"	METROS	20	\$ 113.33	\$ 2,266.60
11	Provisión de aisladores de 40 mmm	UNIDAD	16	\$ 2.75	\$ 44.00
12	Provisión de pernos cadmeados, incluye perno, anillo y tuerca	UNIDAD	12	\$ 1.00	\$ 12.00
13	Provisión de terminales de compresión para cable #4/0 THHN, #3/0 THHN y #4 THHN	GLB	1	\$ 100.00	\$ 100.00
14	Suministro de conductor #3/0 THHN	METROS	1489.5	\$ 17.43	\$ 25,961.99
15	Suministro de conductor #4 THHN	METROS	496.5	\$ 4.45	\$ 2,210.42
Subtotal 2					\$ 34,395.85

Materiales: Torres de iluminación					
16	Suministro de luminaria de 1000 W	UNIDAD	96	\$ 875.00	\$ 84,000.00
17	Suministro de tablero de control 120x150x40 cm. Incluye accesorios y equipos para la conexión de las luminarias	GLB	1	\$ 1,293.75	\$ 1,293.75
18	Suministro de conductor #12 THHN	METROS	8448	\$ 1.40	\$ 11,827.20
18	Suministro de conductor #14 THHN	METROS	2112	\$ 1.23	\$ 2,597.76
Subtotal 3					\$ 99,718.71
Total en materiales (Subtotal 1, 2 y 3)					\$142,438.71

Las tablas 3.9 y 3.10 permiten observar la diferencia de cada escenario para cada subtotal ya definido, que corresponden a los precios del cuarto de transformadores, tablero eléctrico y torres de iluminación; la estimación de esta diferencia sin mano de obra corresponde a un valor de \$45,298.98, el cual debe ser analizado al momento de seleccionar la mejor alternativa de iluminación.

3.3.3 PRESUPUESTO TOTAL DE LOS ESCENARIOS DE ILUMINACIÓN

Las secciones 3.3.1 y 3.3.2 describen una estimación de lo requerido en materiales, equipos y protecciones eléctricas para la implementación de los escenarios de evaluación, sin embargo, para que la estimación del presupuesto sea completa se debe añadir el valor de mano de obra. Este rubro se ha considerado tomando en cuenta los límites que algunas instituciones estipulan para la mano de obra, por lo que se ha considerado el 30% de todos los materiales, dando como resultado lo que se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Cuadro comparativo del presupuesto de los escenarios de iluminación.

Rubro	Escenario 1	Escenario 2
Presupuesto base	\$ 66,044.18	\$ 66,044.18
Cuarto de transformadores	\$ 5,882.97	\$ 8,324.14
Tablero Eléctrico	\$ 23,045.78	\$ 34,395.85
Torres de iluminación	\$ 68,210.98	\$ 99,718.71
Subtotal sin mando de obra	\$ 163,183.91	\$ 208,482.89
Mano de obra	\$ 48,955.17	\$ 62,544.87
Total	\$ 212,139.08	\$ 271,027.76

3.4 SUMARIO Y DISCUSIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En los dos escenarios analizados para la iluminación del espacio deportivo se pudo observar que la cantidad de luminarias tiene un efecto directo en el cumplimiento de los parámetros de iluminación requeridos para la clase II y III descritos en el marco teórico. La tabla 3.12 realiza un contraste entre los escenarios y los requerimientos que debe cumplir cada uno.

Tabla 3.12 Comparación de escenarios de evaluación

Escena	Área	Tipo de iluminación	¿Cumple luxes?	¿Cumple uniformidad 1?	¿Cumple uniformidad 2?
Escenario 1	Cancha de fútbol	Tipo III	Sí	No	Sí
	Pista de atletismo	Tipo II	Sí	No	No
Escenario 2	Cancha de fútbol	Tipo II	Sí	Sí	Sí
	Pista de atletismo		Sí	Sí	Sí

Los parámetros de evaluación técnicos son importantes para la elección de la mejor alternativa, tal como se puede observar en la tabla ambos escenarios cumplen con los luxes mínimos requeridos para cada clase, por lo que en ese aspecto cualquier escenario podría ser una buena elección; sin embargo, los coeficientes de uniformidad causan una diferencia entre los escenarios, pues el único escenario en los que se cumplen es en el escenario 2 haciendo que este cumpla con todos los parámetros.

La uniformidad al igual que los luxes es necesario, pues una baja uniformidad crea espacios oscuros en el escenario deportivo y lo que se conoce como el efecto cebra, pues no todo el espacio deportivo quedaría iluminado por los espacios oscuros. Este parámetro es tan importante que [55] menciona que está directamente relacionado al ahorro de energía y a la reducción de la contaminación lumínica, además de dar una percepción de mayor seguridad a medida que se aumenta el color de la luminaria; aunque este parámetro fue evaluado en es por esto que este parámetro adquiere una mayor relevancia.

Dicho de otra manera, tanto la uniformidad como la intensidad lumínica están agarradas de la mano para poder tener un correcto diseño lumínico desde el punto de vista técnico, además de tener un impacto positivo en otros aspectos como la sensación de seguridad, la reducción del impacto ambiental, además de contribuir al ahorro de energía. Tomando en cuenta lo expuesto hasta ahora, técnicamente el escenario 2 es el más adecuado por cumplir con todos los requerimientos de los parámetros lumínicos a evaluar.

En cuanto al aspecto económico la tabla 3.13 realiza una comparativa de los escenarios de iluminación, la cual permite observar la diferencia para cada sección de rubros. Uno de los rubros que tiene mayor impacto es el del tablero eléctrico, esto ocurre debido a que los conductores y protecciones aumentan su dimensionamiento, de ahí que el escenario de iluminación 2 represente un aumento del 49% en su presupuesto respecto al del escenario 1. Otro que tiene un impacto equivalente es el de las torres de iluminación, este era de esperarse pues al aumentar el número de luminarias aumenta la cantidad de metros de los conductores y por ende el presupuesto. Todos los rubros del escenario 2, con la

excepción de la mano de obra, requieren al menos un 41% adicional del presupuesto del escenario 1.

Tabla 3.13 Contraste del presupuesto de los escenarios de evaluación, sin presupuesto base.

Rubro	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia (E2-E1), \$	Aumento de E2 respecto a E1, %
Cuarto de transformadores	\$ 5,882.97	\$ 8,324.14	\$ 2,441.17	41.00%
Tablero Eléctrico	\$ 23,045.78	\$ 34,395.85	\$ 11,350.08	49.00%
Torres de iluminación	\$ 68,210.98	\$ 99,718.71	\$ 31,507.73	46.00%
Mano de obra	\$ 48,955.17	\$ 62,544.87	\$ 13,589.70	28.00%
Total	\$ 146,094.90	\$ 204,983.58	\$ 58,888.68	40.00%

Si se contrasta el valor total de los escenarios se tiene una diferencia de \$58,888.68 del escenario de iluminación 2 con respecto al 1; en otras palabras, la implementación del escenario 2 requiere un 40% más del presupuesto del escenario 1, lo cual desde el punto de vista económico causa que el escenario 1 sea una mejor alternativa en comparación al escenario 2.

Los aspectos mencionados hasta ahora en esta sección deberían permitir la elección del mejor escenario desde una perspectiva más amplia, pues se ha realizado la comparación de los escenarios desde el punto de vista técnico y económico, los cuales son los principales parámetros por evaluar durante este proyecto. Hay que mencionar, además que para la elección de la mejor alternativa sería recomendable tomar en cuenta también otros parámetros como la seguridad, el ahorro de energía y el impacto ambiental que se pueden obtener al implementar los escenarios, de este modo se asegura la ejecución de un proyecto de iluminación completamente viable.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La evaluación de los parámetros establecidos, técnico y económico, para los escenarios de iluminación propuestos permiten inferir que la mejor propuesta es el escenario 2, pues a pesar de ser 40% más costosa en presupuesto que el escenario 1 permite obtener una mayor uniformidad, aspecto técnico que como se ha analizado está relacionado con el ahorro energético, brindar una mayor sensación de seguridad para las personas que se encuentran en el espacio deportivo y una reducción en la contaminación lumínica, lo cual causa que sea la mejor alternativa. Los anexos B a D detallan los planos eléctricos asociados a este diseño.

Los 2 escenarios de iluminación propuestos fueron evaluados en base a lo que estipulan las normas de iluminación para espacios deportivos mediante el software DIALux 4.13, el cual fue una herramienta indispensable para poder determinar la cantidad de luminarias necesarias para alcanzar el nivel adecuado de luxes tanto en la cancha de fútbol como en la pista de atletismo, así como evaluar un parámetro técnico de suma importancia como lo es la uniformidad en la iluminación, parámetro que fue el determinante en la elección de la mejor alternativa de iluminación por los beneficios que reporta.

El sistema inteligente implementado para los 2 escenarios de iluminación, que se detalla en anexo E, es el más adecuado pues al estar dado por un PLC con conexión Ethernet, permite que su conexión remota desde otros dispositivos como computadoras o tabletas a través de servidores en internet, pudiendo así monitorear las luminarias, además de ejecutar maniobras de operación en las torres de iluminación tales como el encendido de todas ellas (secuencia 1), el testeado de cada una (secuencia 2) y encendido-tipo flash para eventos deportivos (loop 3), secuencias de operación que pueden ser realizadas sin la necesidad un operador lo cual causa que sea mejor que los sistemas de iluminación convencionales.

4.2 RECOMENDACIONES

El presente estudio sirve como base para estudios más complejos como la implementación de luminarias con controles inteligentes que ajusten su iluminación en el espacio deportivo según las necesidades de este, es decir, que puedan controlar si entregan su potencia máxima, intermedia o mínima en base al deporte que se esté practicando o alguna actividad en específico. El realizar un estudio de este tipo permitirá un mayor ahorro energético, ya no solo relacionado de forma indirecta con la uniformidad de la iluminación como se ha expuesto en el presente trabajo de titulación, ahora estaría directamente relacionado con el consumo de potencia de las luminarias respecto a las necesidades para las que sean ajustadas.

Una manera de mejorar la estimación del presupuesto económico podría ser considerar el mantenimiento de los equipos, el agregar este valor permitirá determinar realmente qué escenario de operación es el más costoso.

Al presente diseño eléctrico también se pueden añadir las luminarias adyacentes al estadio, tal como lo son las luminarias del parqueadero, cancha de tenis de campo, gimnasio y de la piscina, permitiendo de esta forma también un control inteligente sobre las mismas. Esto implica modificar el diseño eléctrico y aumentar las secuencias de programación de las luminarias dependiendo de área del complejo deportivo, pero esto permitirá una solución inteligente a todo un sector de la ESPOL.

Por último, este proyecto se puede incluir como parte de una iniciativa de modernización del alumbrado de la ESPOL. Ya que, se ha evidencia que representa una gran parte del consumo total de la ESPOL, a pesar de que el proyecto puede ser una inversión fuerte pero los beneficios sociales/reducción de emisiones por cada kWh ahorrados. Le puede permitir a la universidad llegar a obtener la certificación ISO 50001. Porque, la futura normativa de ley orgánica de eficiencia energética planificada para el 2025 se espera que los grandes consumidores obtengan la certificación ISO 50001 y ESPOL al ser catalogado parte de este grupo, a futuro se debe plantear un proyecto de modernización.

ANEXOS

ANEXO A. CATEGORIZACIÓN DE CLIENTES Y TARIFAS SEGÚN LA ARCERNNR

Categoría	Nivel de Voltaje - NV	Grupo de Consumo	Registro de Demanda
Residencial	Bajo Voltaje – BV <i>NV < 600 V</i>	Residencial	Sin demanda
General		Comercial	Sin demanda
			Con demanda
		Industrial	Con demanda horaria
			Sin demanda
			Con demanda
		Otros(*)	Con demanda horaria
			Sin demanda
			Con demanda
			Con demanda horaria
	Con demanda horaria diferenciada		
	Medio Voltaje – MV <i>600 V ≤ NV ≤ 40 kV</i>	Comercial	Con demanda
		Industrial	
		Otros(*)	
		Comercial	Con demanda horaria
		Otros(*)	
		Industrial	
Alto Voltaje – AV <i>AV1: 40 kV ≤ NV ≤ 138 kV</i>	Comercial	Con demanda horaria	
	Otros(*)	Con demanda horaria diferenciada	
	Industrial		
AV2: NV > 138 kV	Industrial		

PERIODO:

ENERO - DICIEMBRE



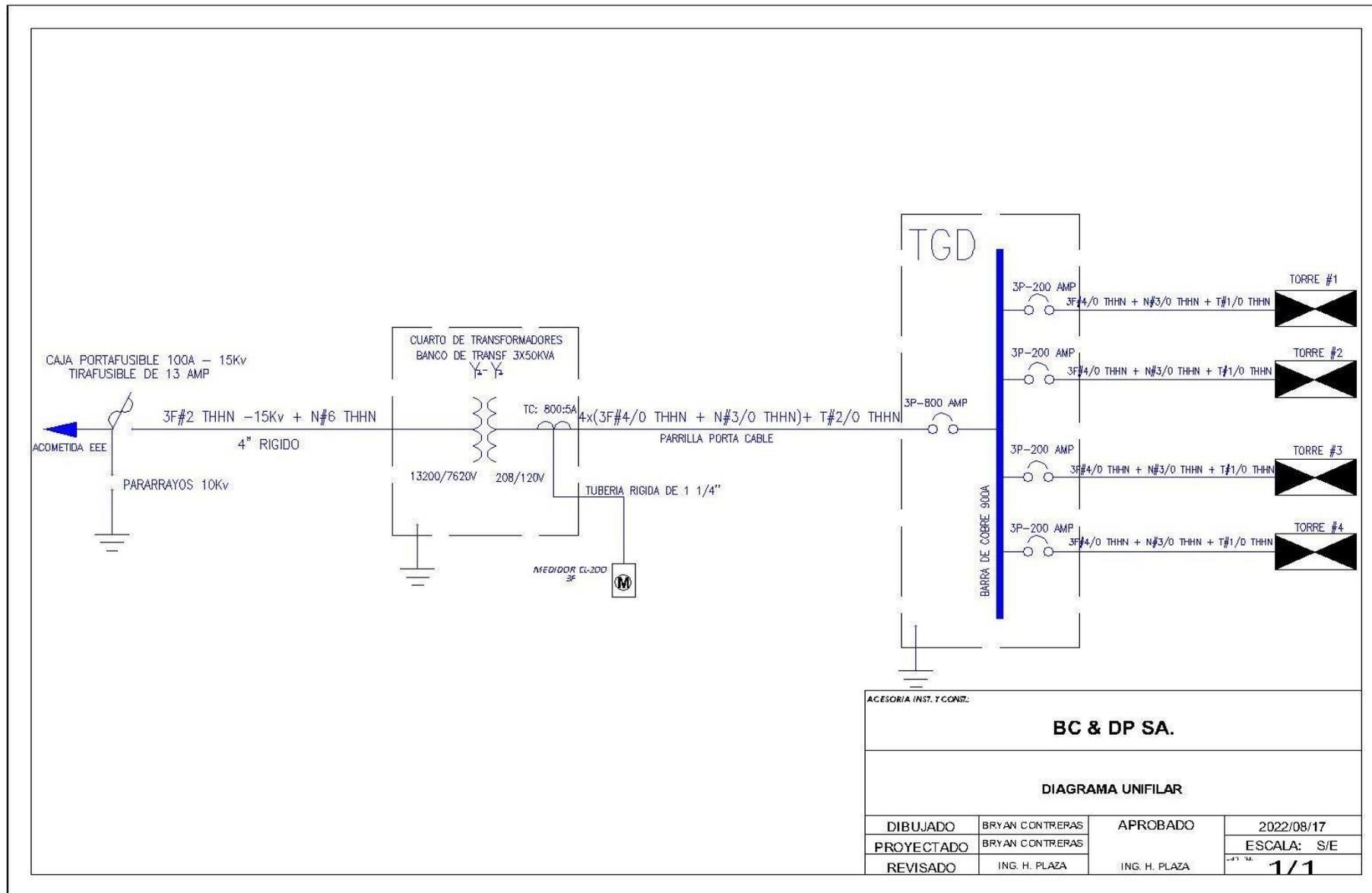
CNEL UN GUAYAQUIL

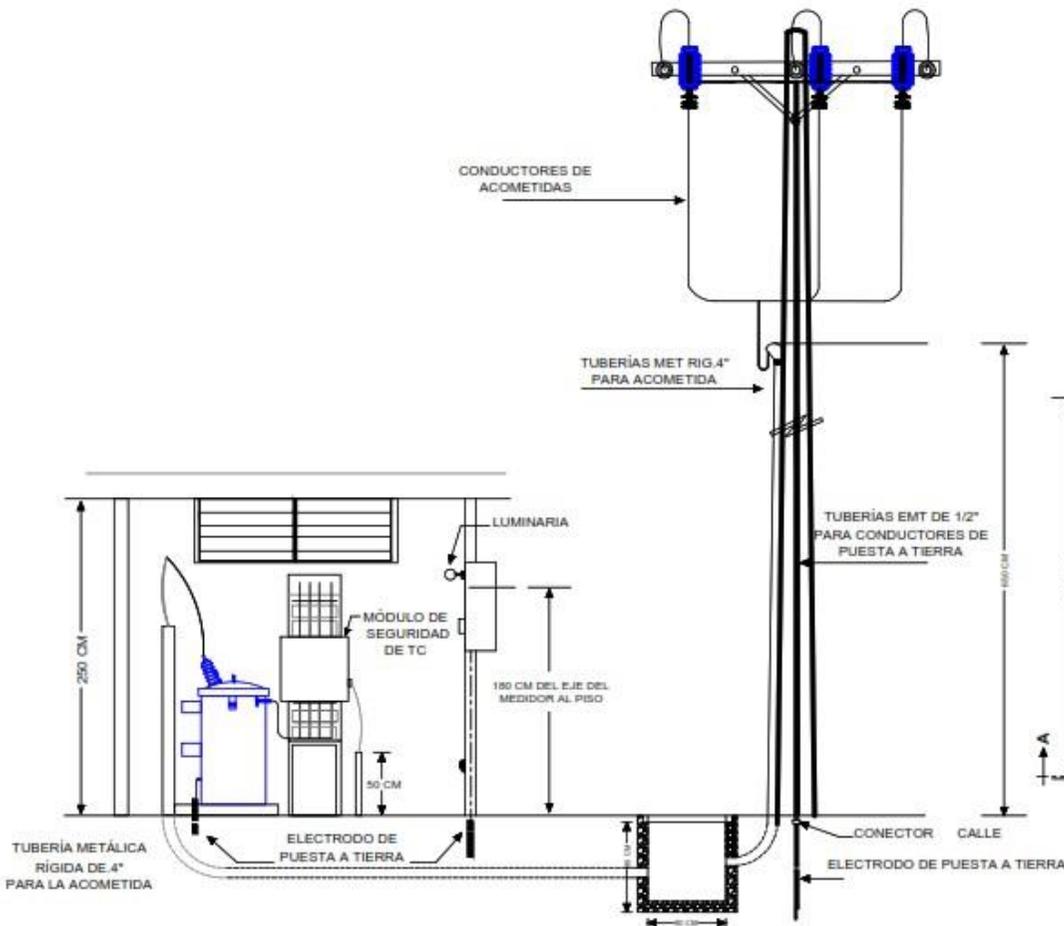
CARGOS TARIFARIOS

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
NIVEL VOLTAJE	ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA		
	COMERCIALES		CONSUMOS kWh-mes: 0-300: 1,414 301-500: 2,826 501-1000: 4,240 > 1000: 7,066
08:00 hasta 22:00 horas	3,930	0,084	
22:00 hasta 08:00 horas		0,075	
	E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES		
08:00 hasta 22:00 horas	3,930	0,056	
22:00 hasta 08:00 horas		0,051	
	BOMBEO AGUA		
08:00 hasta 22:00 horas	3,930	0,046	
22:00 hasta 08:00 horas		0,041	
	ASISTENCIA SOCIAL Y BENEFICIO PÚBLICO CON DEMANDA HORARIA		
08:00 hasta 22:00 horas	2,622	0,060	
22:00 hasta 08:00 horas		0,050	
NIVEL VOLTAJE	ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA		
	BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE		1,414
L-V 08h00 hasta 18h00	2,100	0,039	
L-V 18h00 hasta 22h00		0,065	
L-V 22h00 hasta 08h00*		0,031	
S,D 18h00 hasta 22h00		0,039	
	ESTACIÓN DE CARGA RÁPIDA		
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069	
L-D: 18:00 hasta 22:00 horas		0,086	
L-D: 22:00 hasta 08:00 horas		0,043	
SyD: 08:00 hasta 18:00 horas			
	INDUSTRIALES		CONSUMOS kWh-mes: 0-300: 1,414 301-500: 2,826 501-1000: 4,240 > 1000: 7,066
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	3,930	0,0755	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0865	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0446	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0755	
NIVEL VOLTAJE	ALTO VOLTAJE CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA (Grupo - AV2)		
	INDUSTRIALES		7,066
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	3,940	0,0678	
L-V 18:00 hasta 22:00 horas		0,0814	
L-V 22:00 hasta 08:00 horas*		0,0543	
S,D,F 18:00 hasta 22:00 horas		0,0678	

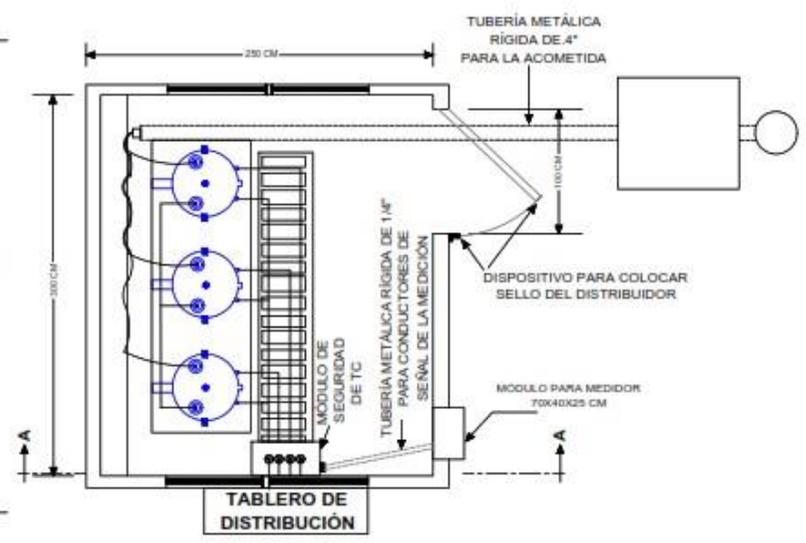
* El valor de este cargo tarifario se aplica para el periodo complementario de los días S,D,F.

ANEXO B. DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROYECTO Y MEDICION EN MEDIA TENSION





PLANTA



CORTE A - A

NOTA:
 EL CONSUMIDOR SUMINISTRARA E INSTALARA TODOS LOS MATERIALES Y EQUIPOS EXCEPTO EL MEDIDOR, LOS CONDUCTORES DE SEÑAL Y LOS DE ACOMETIDAS. LOS MISMOS QUE SERÁN SUMINISTRADO E INSTALADOR POR EL DISTRIBUIDOR.

LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, MÓDULO DE SEGURIDAD DE LOS TC SERÁN SUMINISTRADO POR EL DISTRIBUIDOR E INSTALADOS POR EL CONSUMIDOR.

EL CONSUMIDOR SUMINISTRARA COMO PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE TRES CAJAS FUSIBLES DE 100A-15KV Y COMO PROTECCIÓN DE SOBRETENSION TRES PARARRAYOS 10KV.

TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EXPRESADAS EN CENTÍMETROS Y PULGADAS.

ACESORIA INST. Y CONST.:			
BC & DP SA.			
ACOMETIDA SUBTERRÁNEA EN MEDIA TENSIÓN CON MEDICIÓN EN BAJA TENSIÓN			
DIBUJADO	BRYAN CONTRERAS	APROBADO	2022/08/17
PROYECTADO	BRYAN CONTRERAS		ESCALA: S/E
REVISADO	ING. H. PLAZA	ING. H. PLAZA	LAPSO: 1/1

ANEXO C. DIAGRAMA DE TABLERO DE CONTROL

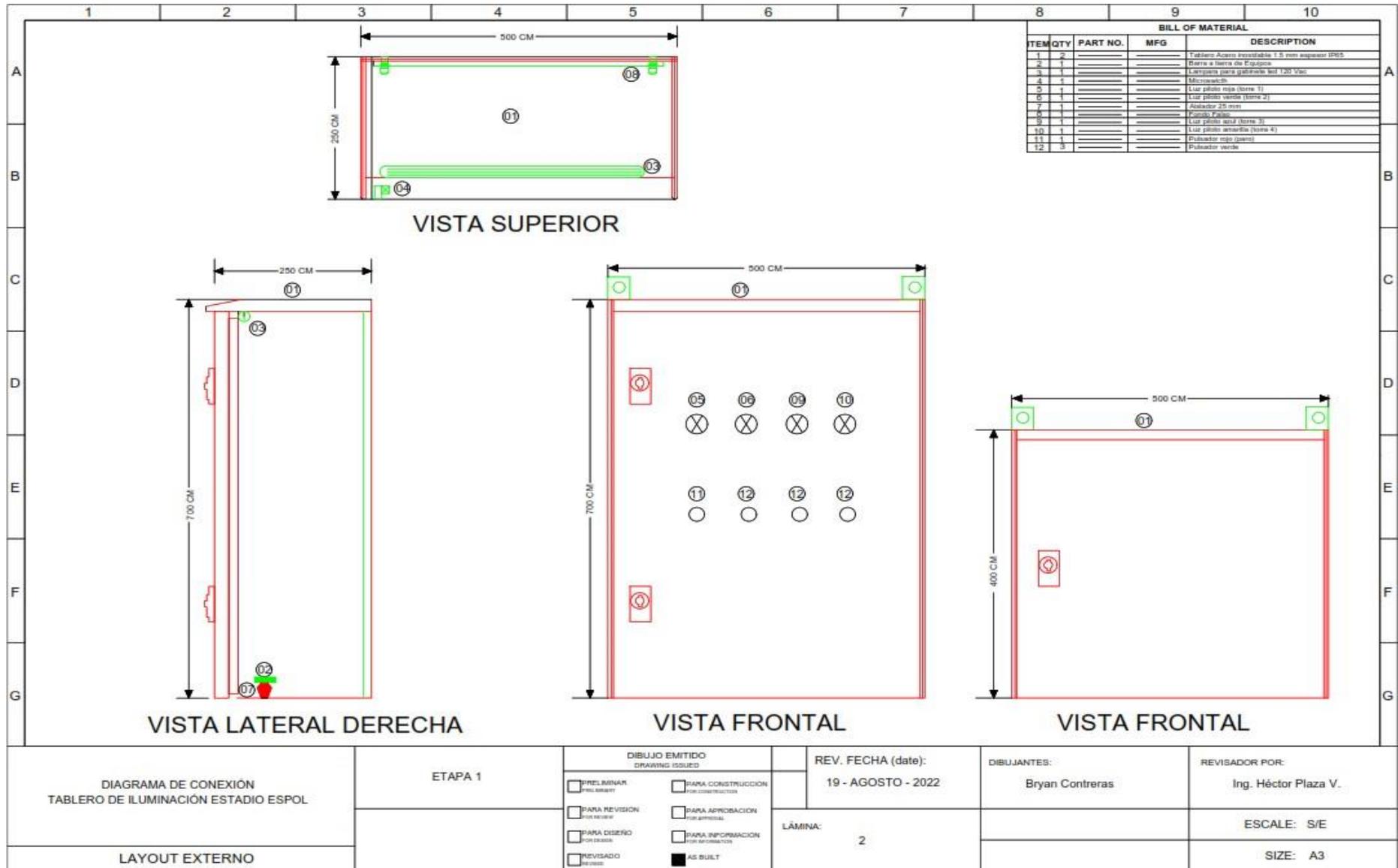


DIAGRAMA DE CONEXIÓN
 TABLERO DE ILUMINACIÓN ESTADIO ESPOL

ETAPA 1

DIBUJO EMITIDO
 DRAWING ISSUED

- PRELIMINAR (PRELIMINARY)
- PARA REVISIÓN (FOR REVIEW)
- PARA DISEÑO (FOR DESIGN)
- REVISADO (REVISED)
- PARA CONSTRUCCIÓN (FOR CONSTRUCTION)
- PARA APROBACION (FOR APPROVAL)
- PARA INFORMACION (FOR INFORMATION)
- AS BUILT

REV. FECHA (date):
 19 - AGOSTO - 2022

DIBUJANTES:
 Bryan Contreras

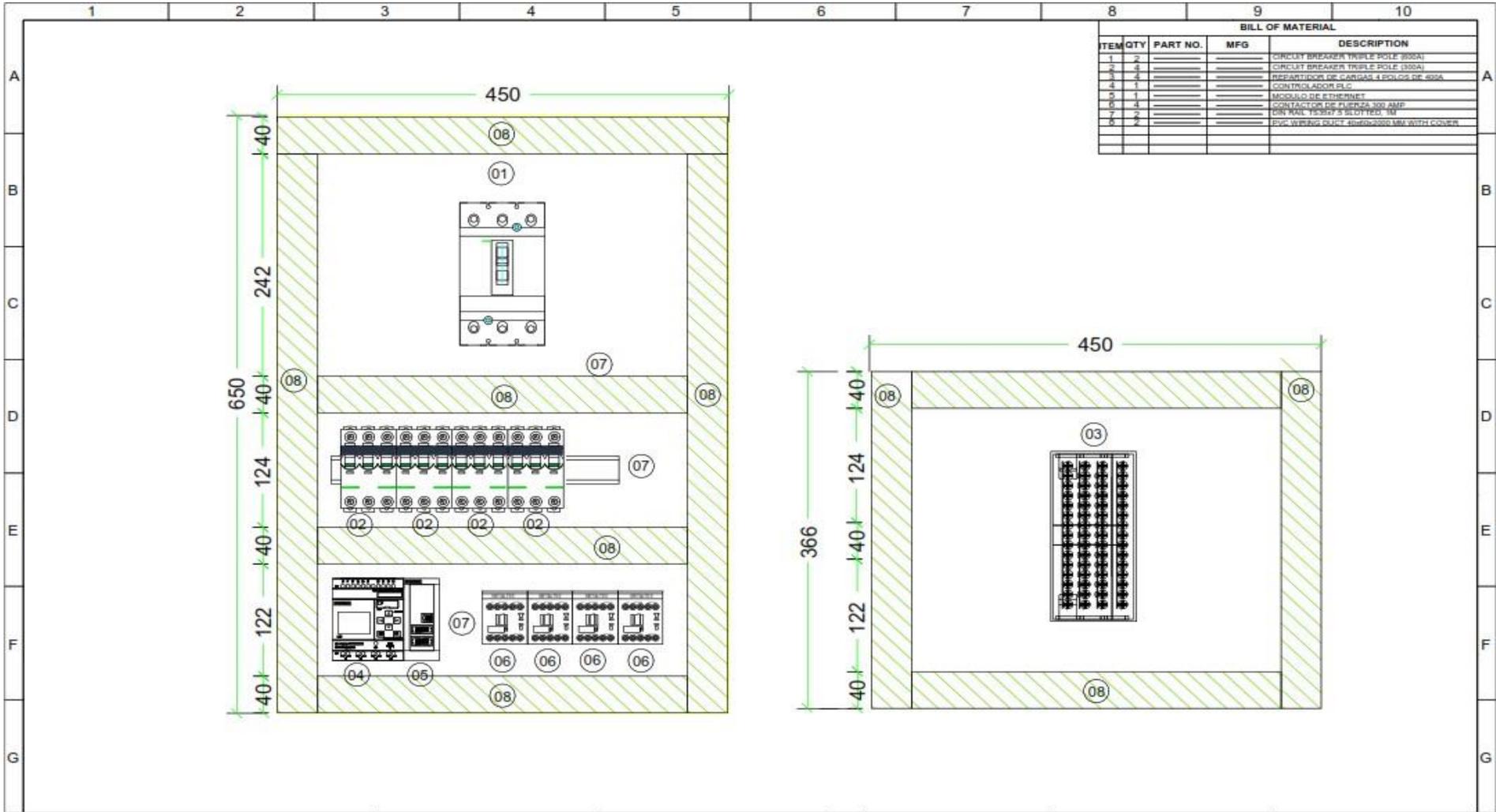
REVISADOR POR:
 Ing. Héctor Plaza V.

LÁMINA:
 2

ESCALE: S/E

SIZE: A3

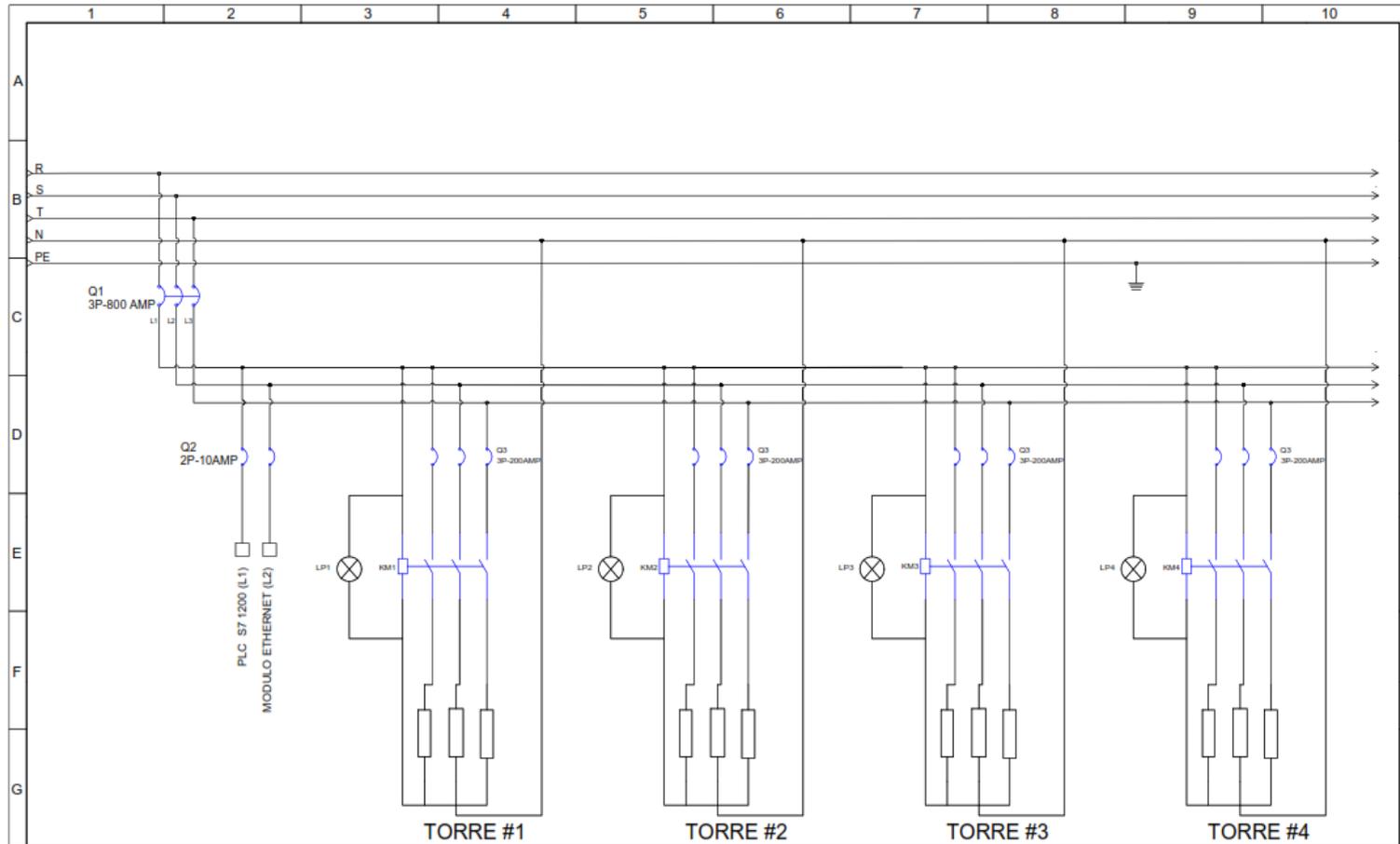
LAYOUT EXTERNO



BILL OF MATERIAL				
ITEM	QTY	PART NO.	MFG	DESCRIPTION
1	2			CIRCUIT BREAKER TRIPLE POLE 200A
2	2			CIRCUIT BREAKER TRIPLE POLE 100A
3	1			REPARTIDOR DE CARGAS 4 POLOS DE 400A
4	1			CONTROLADOR PLC
5	1			MODULO DE ETHERNET
6	4			CONTACTOR DE FUERZA 300 AMP
7	2			CON TUBO 1/2X2X5 SLOTTED 30
8	2			PVC WIRING RIGID 30x40X2000 MM WITH COVER

DIAGRAMA DE CONEXION TABLERO DE ILUMINACION ESTADIO ESPOL LAYOUT EXTERNO	ETAPA 1	DIBUJO EMITIDO DRAWING ISSUED <input type="checkbox"/> PRELIMINAR <small>PRELIMINARY</small> <input type="checkbox"/> PARA REVISION <small>FOR REVIEW</small> <input type="checkbox"/> PARA DISEÑO <small>FOR DESIGN</small> <input type="checkbox"/> REVISADO <small>REVISED</small>	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION <small>FOR CONSTRUCTION</small> <input type="checkbox"/> PARA APROBACION <small>FOR APPROVAL</small> <input type="checkbox"/> PARA INFORMACION <small>FOR INFORMATION</small> <input checked="" type="checkbox"/> AS BUILT	REV. FECHA (date): 19 - AGOSTO - 2022 LÁMINA: 3	DIBUJANTES: Bryan Contreras	REVISADOR POR: Ing. Héctor Plaza V. ESCALE: S/E SIZE: A3

ANEXO D. DIAGRAMA DE CONEXIÓN PARA SISTEMA ELÉCTRICO DE FUERZA



LEGEND

-  CONTACTOR
-  BREAKER 3 POLOS
-  RESISTENCIA (ILUMINACIÓN)
- R →
S →
T →
N →
PE →
ALIMENTACIÓN AC
-  LUZ PILOTO

DIAGRAMA DE CONEXIÓN TABLERO DE ILUMINACIÓN ESTADIO ESPOL	ETAPA 1	DIBUJO EMITIDO DRAWING ISSUED		REV. FECHA (date): 19 - AGOSTO - 2022	DIBUJANTES: Bryan Contreras	REVISADOR POR: Ing. Héctor Plaza V.
	DISTRIBUCIÓN AC	<input type="checkbox"/> PRELIMINAR FOR PRELIMINARY <input type="checkbox"/> PARA REVISIÓN FOR REVIEW <input type="checkbox"/> PARA DISEÑO FOR DESIGN <input type="checkbox"/> REVISADO APPROVED	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCIÓN FOR CONSTRUCTION <input type="checkbox"/> PARA APROBACIÓN FOR APPROVAL <input type="checkbox"/> PARA INFORMACIÓN FOR INFORMATION <input checked="" type="checkbox"/> AS BUILT	LÁMINA: 5		ESCALE: S/E SIZE: A3

ANEXO E. CONEXIÓN PLC

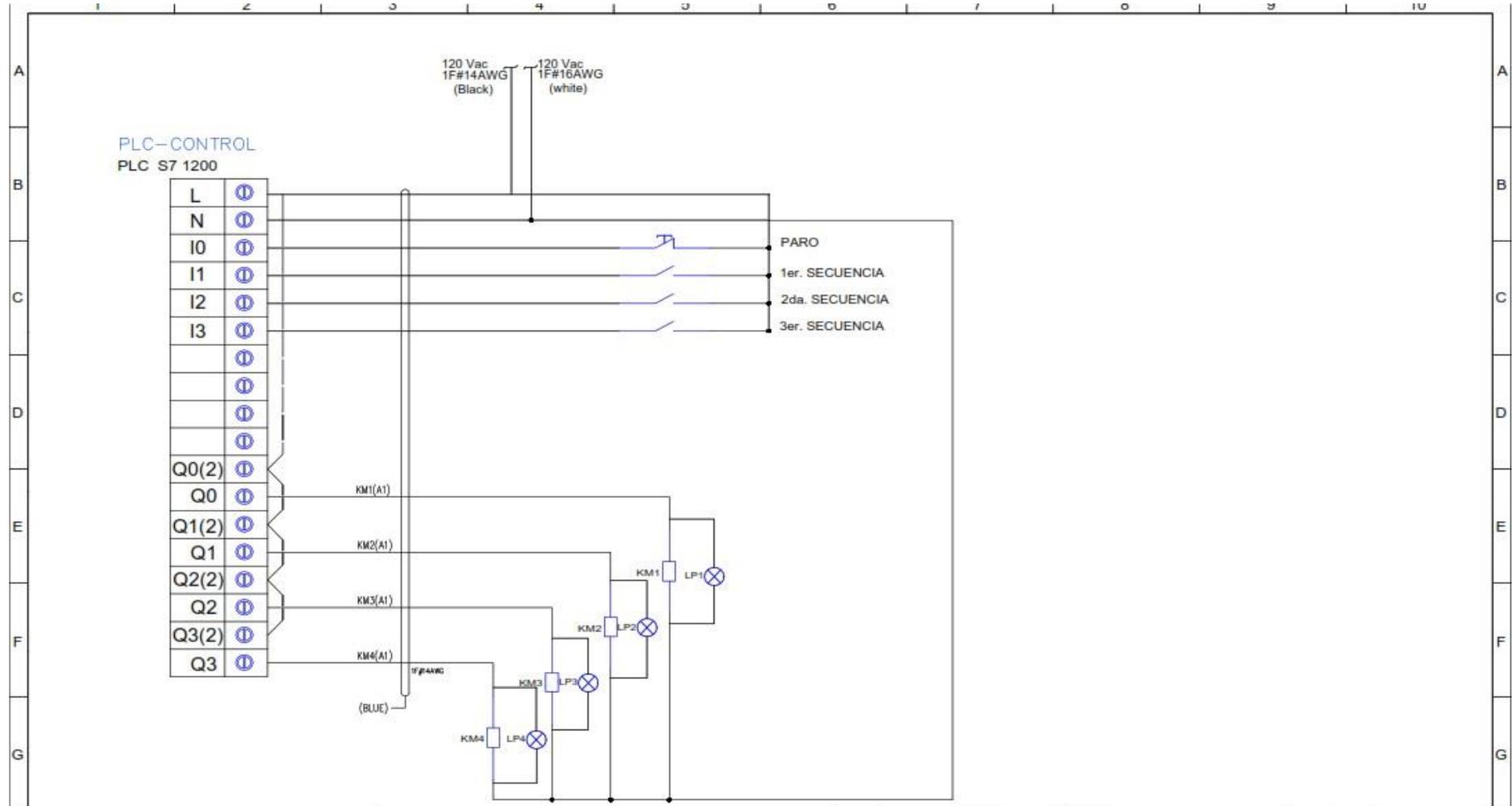


DIAGRAMA DE CONEXIÓN TABLERO DE ILUMINACIÓN ESTADIO ESPOL	ETAPA 1	DIBUJO EMITIDO DRAWING ISSUED		REV. FECHA (date): 19 - AGOSTO - 2022	DIBUJANTES: Bryan Contreras	REVISADOR POR: Ing. Héctor Plaza V.
		<input type="checkbox"/> PRELIMINAR <small>PRELIMINARY</small>	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCIÓN <small>FOR CONSTRUCTION</small>	LÁMINA: 6		
CONTROLADO PLC		<input type="checkbox"/> PARA REVISIÓN <small>FOR REVIEW</small>	<input type="checkbox"/> PARA APROBACIÓN <small>FOR APPROVAL</small>			ESCALE: S/E
		<input type="checkbox"/> PARA DISEÑO <small>FOR DESIGN</small>	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACIÓN <small>FOR INFORMATION</small>			SIZE: A3
		<input type="checkbox"/> REVISADO <small>REVISED</small>	<input checked="" type="checkbox"/> AS BUILT			

ANEXO F. LUMINARIAS UTILIZADAS PARA LOS ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

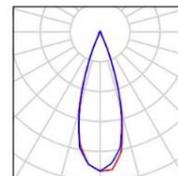
LUMINARIAS CON REQUISITOS DE ALUMBRADO CLASE II – ESCENARIO 1

Escenario 1 / Lista de luminarias

64 Pieza

LMT HD-HL-1000W 30°
Nº de artículo: 2018.11.12
Flujo luminoso (Luminaria): 113017 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 113017 lm
Potencia de las luminarias: 980.5 W
Clasificación luminarias según CIE: 99
Código CIE Flux: 95 98 100 99 101
Lámpara: 1 x 36 W (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



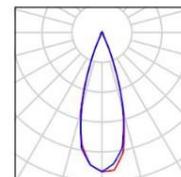
LUMINARIAS CON REQUISITOS DE ALUMBRADO CLASE III (CANCHA) Y CLASE II (PISTA DE ATLETISMO) – ESCENARIO 2

Escenario 2 / Lista de luminarias

96 Pieza

LMT HD-HL-1000W 30°
Nº de artículo: 2018.11.12
Flujo luminoso (Luminaria): 113017 lm
Flujo luminoso (Lámparas): 113017 lm
Potencia de las luminarias: 980.5 W
Clasificación luminarias según CIE: 99
Código CIE Flux: 95 98 100 99 101
Lámpara: 1 x 36 W (Factor de corrección 1.000).

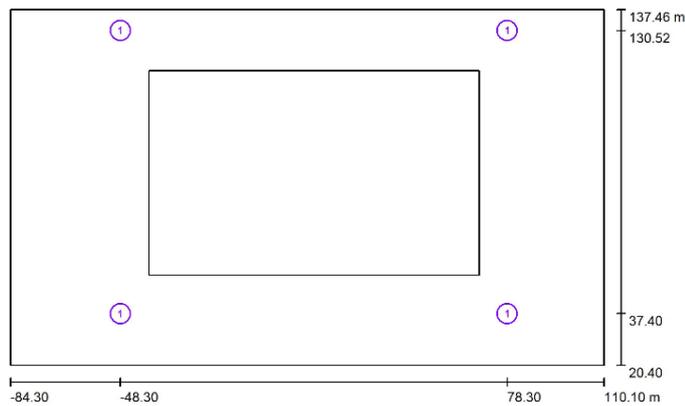
Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



ANEXO G. UBICACIÓN DE TORRES EN ESCENARIOS DE ILUMINACIÓN DEPORTIVA

LUMINARIAS CON REQUISITOS DE ALUMBRADO CLASE II – ESCENARIO 1

Escena exterior 1 / Luminarias (ubicación)



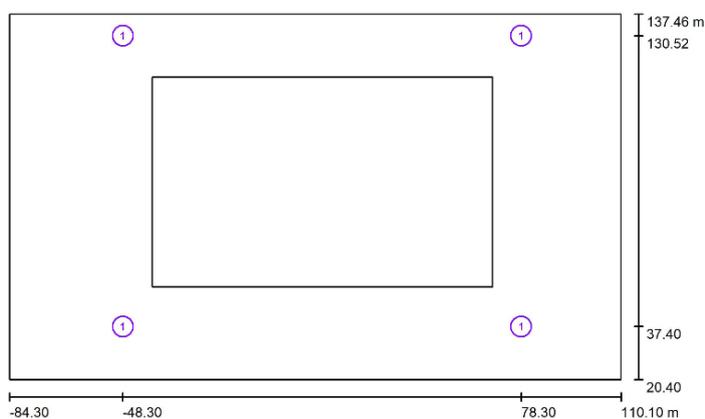
Escala 1 : 1390

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación
1	64	LMT HD-HL-1000W 30°E 2018.11.12

LUMINARIAS CON REQUISITOS DE ALUMBRADO CLASE III (CANCHA) Y CLASE II (PISTA DE ATLETISMO) – ESCENARIO 2

Escena exterior 2 / Luminarias (ubicación)

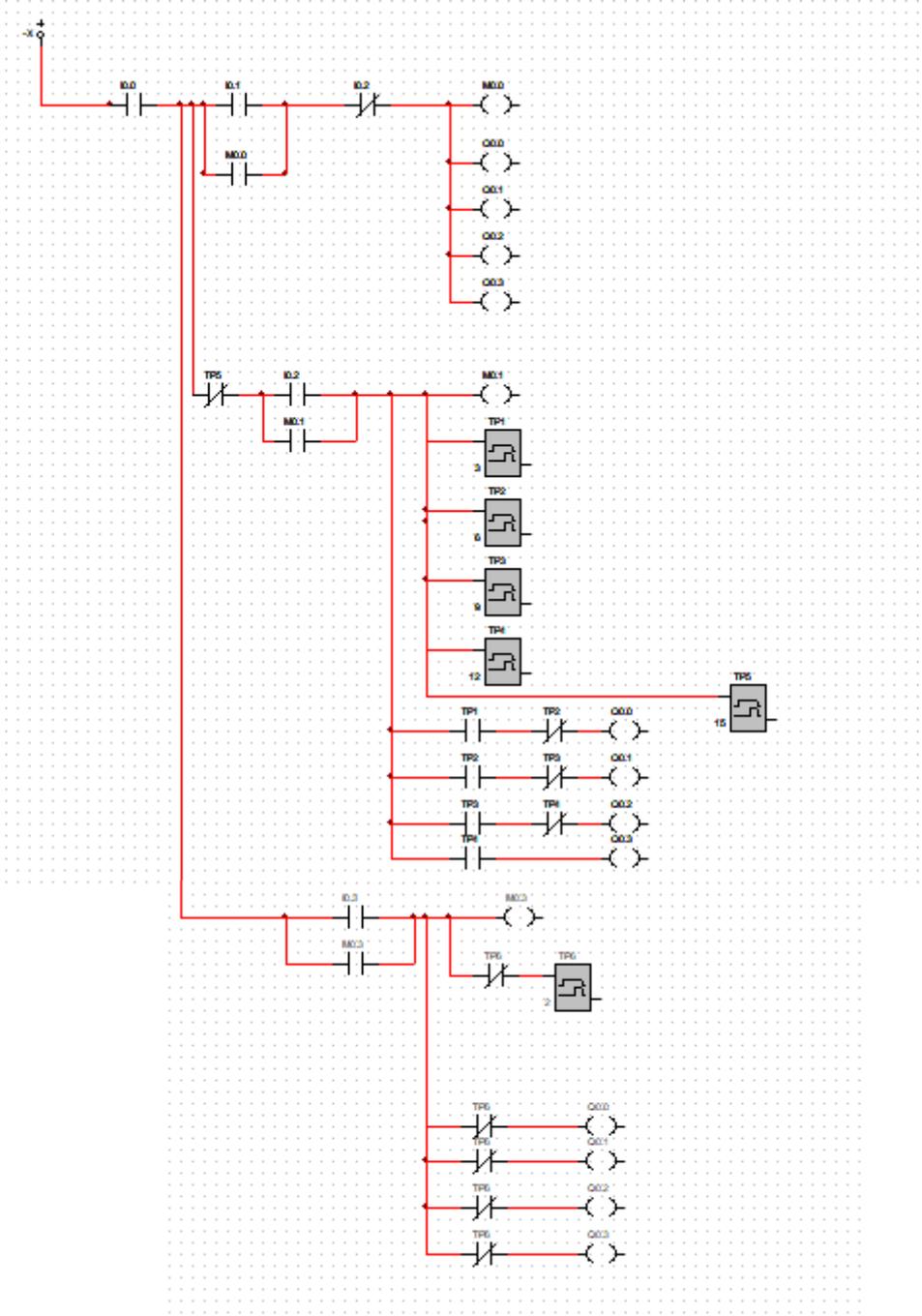


Escala 1 : 1390

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación
1	96	LMT HD-HL-1000W 30°E 2018.11.12

ANEXO H. LÓGICA DE PROGRAMACIÓN PLC PARA SECUENCIAS PROGRAMADAS



BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Colombo, B. ODonell, y C. Kirschbaum, “Manual de Iluminación Eficiente. Capítulo 3: Iluminación Eficaz, Calidad y Factores Humanos”, *Editor. Univ. Tecnológica Nac. UTN - Argent.*, pp. 1–24, 2006.
- [2] A. I. Gancino Bonilla y R. F. Pullutaxi Guaman, “DISEÑO Y ESTUDIO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI CAMPUS SALACHE”, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7853/1/PI-001672.pdf>
- [3] A. B. Calvillo Cortés, “Luz y Emociones: Estudio sobre la influencia de la iluminación urbana en las emociones; tomando como base el diseño emocional”, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2010. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6138/TABCC1de1.pdf>
- [4] C. J. Ramón Pujols, “La iluminación artificial del espacio interior: Parámetros para un diseño emocional”, Tesis de Máster, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2016. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/132529565.pdf>
- [5] M. J. Muñoz A., “Objetos Lumínicos con Efectos visuales”, Tesis previo a la obtención del Título de Diseñador de Objetos, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2010. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/243/1/08558.pdf>
- [6] S. M. Peláez Becerra, P. Gómez Gómez, y M. A. Becerra, “Emociones cromáticas: análisis de la percepción de color basado en emociones y su relación con el consumo de moda”, *Anagramas*, vol. 14, núm. 28, pp. 83–96, 2016.
- [7] Luxlite, “Iluminación deportiva”. 2019. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://ecoluxlite.com/home/phocadownloadpap/especializados/deportivo_reducido.pdf
- [8] M. Revilla y B. Stiven, “Diseño de un sistema de iluminación para el estadio Valeriano Gavinelli Bovio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca utilizando tecnología led y sistemas fotovoltaicos”, Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2021. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21219/1/UPS-CT009328.pdf>
- [9] B. R. Carpio González, “Diseño lumínico para el estadio de la Universidad Nacional de Loja”, Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2019. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22540/1/Carpio%20Gonzalez%20%2CByron%20Rafael.pdf>
- [10] C. Mazzeo, “La luz: protagonista en los estadios deportivos”, *Revista de acuerdo*, núm. 2. Consultado: el 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.revistadeacuerdo.org/wp-content/uploads/2017/05/La-luz_protagonista-en-los-estadios-deportivos_De-acuerdo_Edicio%cc%81n-2_Fu%cc%81bol.pdf
- [11] M. Wendt y J. Andriessse, “LEDs in Real Lighting Applications: from Niche Markets to General Lighting”, en *Conference Record of the 2006 IEEE Industry*

- Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting*, oct. 2006, vol. 5, pp.2601–2603. doi: 10.1109/IAS.2006.256905.
- [12] A. I. Bonilla Gancino y R. F. Pullutaxi Guamán, “Diseño y estudio de un sistema de iluminación para el estadio de la Universidad Técnica de Cotopaxi campus Salache”, Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas de Potencia, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, 2021. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7853/1/PI-001672.pdf>
- [13] A. E. F. Taylor, J. Bailey, J. Gross, y S. J. Sechrist, *Illumination Fundamentals*, Optical Research Associates. Troya, New York: Harcourt, Inc., 2000. Consultado: el 18 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.lrc.rpi.edu/resources/publications/pdf/illuminationfund.pdf>
- [14] V. Blance Giménez, N. Castilla Cabanes, A. Martínez Antón, y R. M. Pastor Villa, “Luminotecnia: Magnitudes Fotométricas básicas. Unidades de medida.” Universidad Politécnica de Valencia, 2011. Consultado: el 18 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1#:~:text=Las%20magnitudes%20fundamentales%20de%20la%20Luminotecnia%20son%20las%20siguientes%3A,es%20el%20lux%20\(lx\)](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1#:~:text=Las%20magnitudes%20fundamentales%20de%20la%20Luminotecnia%20son%20las%20siguientes%3A,es%20el%20lux%20(lx)).
- [15] F. O. Nicolalde Nicolalde, “Estudio de factibilidad de un laboratorio de contrastación de luminarias de alumbrado público, para la Escuela Politécnica Nacional”, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 1999. Consultado: el 18 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8969/3/T1489.pdf>
- [16] M. F. Gendre, “Two Centuries of Electric Light Source Innovations”, p. 12.
- [17] G. G.W, “History of lights and lighting”, en *Philips Lighting B.V.*, Netherlands, 1988, p. 46.
- [18] X. Zhang, Q. Zhang, L. Guo, Y. Xu, y Z. Zhang, “Design and simulation of optical system for novel LED solar simulato”, *J. Appl. Opt.*, vol. 40, núm. 5, pp. 882–886, sep. 2019.
- [19] S. Liang *et al.*, “Design of high power LED uniform illumination system based on near-focus aspheric lens”, *High Power Laser Part. Beams*, vol. 31, núm. 9, sep. 2019.
- [20] C.-S. Wu, K.-Y. Chen, T.-H. Yang, y Y.-W. Yu, “Design of an LED spot light system with a projection distance of 10 km”, *Crystals*, vol. 9, núm. 10, oct. 2019.
- [21] F. E. Schubert, “Light-Emitting Diodes”, *E Fred Schubert*, 2018.
- [22] G. dos S. Oliveira, E. P. de Oliveira, y da S. A. P, “Power quality of LED lamps”, Belo Horizonte, Brazil, 2016, pp. 575–580.
- [23] M. B. Yurtseven, S. Onaygil, y S. Mete, “The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs”, *Light. Res. Technol.*, vol. 48, núm. 8, pp. 943–965, 2015.
- [24] M. B. Ordóñez Alvarado, “Estimación y análisis de efectos derivados de la aplicación de dispositivos de estado sólido en los sistemas de iluminación residenciales como parte del proyecto de sustitución masiva de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas”, Guayaquil 2015.
- [25] L. I. Ruiz Villalobos, “Diseño del sistema de iluminación Led del campo deportivo Coliseo Multiusos en el Complejo Qhapac Ñan-Cajamarca”, Lambayeque, 2019.

- [26] Natural Institutes of Health, “Intelligent Lighting Control”, *Office of Research Facilities (ORF)*, núm. 21, p. 1, octubre de 2013.
- [27] EATON, “Intelligent Lighting System (BUS)”. 2018. Consultado: el 12 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/lighting-and-controls/mains-lighting/intelligent-lighting-system/english/eaton-lighting-solutions-9.-lighting-controls-Is2018-intelligent-lighting-system-\(bus\).pdf](https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/lighting-and-controls/mains-lighting/intelligent-lighting-system/english/eaton-lighting-solutions-9.-lighting-controls-Is2018-intelligent-lighting-system-(bus).pdf)
- [28] Bticino, “Control de iluminación”. 2012. Consultado: el 17 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bticino.com.mx/uploads/IUcSOyFVjzhlwBCky73CzFYcdcR45KXRYTcl2KFC.pdf>
- [29] Schröder, “Control Inteligente para una iluminación eficiente”. 2016. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-12-24_09-41-06138635.pdf
- [30] Philips, “Soluciones para oficinas inteligentes”. 2017. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Peru/ODLI20171215_001-PDF-es_PE-Dynalite%20oficinas.pdf
- [31] Sylvania, “Smarter lighting. Smart choice.” 2018. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.sylvania-lighting.com/media/4969/sylsmart_brochure_2018-08_espanol.pdf
- [32] C. Moreno García y A. Martín Moreno, “La contaminación lumínica. Aproximación al problema en el barrio de Sants (Barcelona)”, *Observatorio Medioambiental*, vol. 09, p. 31, 2016.
- [33] N. de J. Zapata Giraldo, “Impacto ambiental de los sistemas de iluminación”, Trabajo de titulación en especialista en Gerencia de Proyectos, Empresas Públicas de Medellín, Medellín, Colombia, 2008. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.grupo-epm.com/site/Portals/1/biblioteca_epm_virtual/tesis/impacto_ambiental_de_los_sistemas_de_iluminacion_luminica.pdf
- [34] S. R. Maldonado Victoria, “Contaminación lumínica: Aspectos legales en los negocios”, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Durango, México, 2015. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.acacia.org.mx/busqueda/pdf/CONTAMINACION_LUMINICA.pdf
- [35] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), “Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica. Periodo: Enero - Diciembre 2021.”, Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Ecuador, Informe Institucional GGPGE.GPSCCC.02.FO.01, nov. 2020. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/Anexo_1_pliego_tarifario_spee_2021.pdf
- [36] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), “Las tarifas de energía eléctrica no se incrementarán en el 2022 – Ministerio de Energía y Minas”, el 10 de mayo de 2022. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/> (consultado el 15 de julio de 2022).
- [37] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), “Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica. Periodo: Enero - Diciembre 2022.”, Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Ecuador, Informe Institucional

- GGPGE.GPSCCC.02.FO.01, abr. 2022. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Elctrica_-Ano-2022.pdf
- [38] J. Tamayo, “Manual de construcción del sistema de distribución eléctrica de redes subterráneas”. el 8 de enero de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7853/1/PI-001672.pdf>
- [39] CIE 67, *Guide for the photometric specification and measurement of sports lighting installations.*, 2a ed. 1989.
- [40] “Lighting for football”, presentado en CIE 57, 1983.
- [41] “Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters”, presentado en ISO/CIE 19476, 2014.
- [42] “Proceedings of the CIE seminar ’92 on ’computer programs for light and lighting”, presentado en CIE X005, 1992.
- [43] “Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Part 1: Specifications, Module M9”, presentado en CEN/TR 15193-2, 2017.
- [44] M. S. Gutiérrez Cunalata, “Estudio comparativo de las metodologías de diseño de redes de distribución subterráneas”. Latacunga, 2020.
- [45] FIFA, “Estadio de fútbol”, presentado en FIFA, 2011.
- [46] “The maintenance of outdoor lighting systems”, presentado en CIE 154, 2003.
- [47] “Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems”, presentado en CIE 97, 2005.
- [48] P. Hurtado Granados, “Diseño de iluminación de espacios deportivos”, Costa Rica, 2016.
- [49] “Practical design guidelines for the lighting of sport events for colour television and filming”, presentado en CIE 169, 2005.
- [50] *Iluminación de instalaciones deportivas*. Madrid: Asociación Española de Normalización, 2020.
- [51] DIAL GmbH, *DIALux Versión 4.13 El estándar de software para el cálculo de iluminación*, 2011a ed. Australia.
- [52] M. A. Sabogal Cruz, “Análisis de costo/beneficio en la implementación de sistemas de iluminación LED en la construcción de vivienda multifamiliar de estrato 4 en la ciudad de Bogotá”, Trabajo de titulación previo a la obtención de la especialización en Gerencia Integral de Proyectos, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2015. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7858/Articulo%20Tecnologia%20LEDs.pdf?sequence=1>
- [53] I. Martínez de la Cruz, “Estudio del desempeño, calidad y costo de fuentes de iluminación LED”, Trabajo de titulación previo a la obtención del grado en Maestro en Optomecatrónica, Centro de Investigaciones en Óptica A.C., Guanajuato, México, 2017. Consultado: el 14 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/205/1/17098.pdf>
- [54] P. Stackhouse, A. J. Barnett, B. Macpherson, T. Zhang, y C. Mikovitz, “Nasa Prediction of Worldwide Energy Resources (NASA POWER)”. National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, EE. UU., el 2 de agosto de 2022. Consultado: el 25 de julio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [55] J. E. Álvarez, “Nueva investigación señala la importancia de la uniformidad en el diseño de la iluminación de aparcamientos exteriores”, *Smart Lighting | A Journal on*

Ligthing Technologies, abril de 2020. <https://smart-lighting.es/importancia-uniformidad-diseno-iluminacion-aparcamientos-exteriores/> (consultado el 25 de agosto de 2022).