

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**Diseño del sistema de iluminación con
tecnología Led de la cancha de futbol FIEC y del
coliseo viejo del campus ESPOL.**

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electricidad

Presentado por:

Manuel Alejandro Naranjo Fernández

Javier Andrés Vera Pincay

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestras queridas familias, quienes nos han apoyado en toda nuestra trayectoria universitaria. También a nuestros amigos por recorrer este camino junto a nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos salud y bienestar en estos tiempos tan difíciles de pandemia, a toda nuestra familia por ser nuestro motor y apoyarnos siempre en todo. También a nuestros tutores, Sixifo Zambrano y Héctor Plaza, por guiarnos y aportar con sus conocimientos para el desarrollo de nuestro proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Manuel Alejandro Naranjo Fernández y Javier Andrés Vera Pincay 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"



Javier Andrés
Vera Pincay



Manuel Alejandro
Naranjo Fernández

EVALUADORES



PhD. Xavier Zambrano
PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Sixifo Zambrano
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio acerca de la iluminación del coliseo de mecánica y la cancha de fútbol de la FIEC de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral. Se ejecutó una visita técnica donde se pudo identificar un alto consumo de energía eléctrica y una iluminación deficiente. Se planteó como solución el cambio de tecnología antigua a tecnología LED. Dentro de la tecnología LED se evaluaron distintos tipos de luminarias, los criterios de selección para la lámpara más optima fueron los siguientes: potencia, flujo luminoso, eficiencia, vida útil promedio y costos. A través del software DIALux, se realizó un análisis técnico que permitió obtener los resultados en cuanto a iluminación, donde ambas edificaciones cumplían con los requerimientos de la norma española UNE-EN 12193. Además, se elaboró un análisis económico para la determinación del tiempo de recuperación del proyecto y el ahorro anual en comparación con las dos tecnologías. Finalmente se entrega el diseño lumínico de ambas áreas, con sus respectivos planos en AutoCAD y DIALux, cumpliendo con todos los parámetros establecidos.

Palabras claves: Tecnología LED, iluminación, eficiencia.

ABSTRACT

In the present work, a study was carried out on the lighting of the mechanical coliseum and the soccer field of the FIEC of the Escuela Superior Politécnica Del Litoral. A technical visit was carried out where a high consumption of electrical energy and poor lighting could be identified. The change from old technology to LED technology was proposed as a solution. Within LED technology, different types of luminaires were evaluated, the selection criteria for the most optimal lamp were the following: power, luminous flux, efficiency, average useful life and costs. Through the DIALux software, a technical analysis was carried out that will obtain the results in terms of lighting, where both buildings met the requirements of the Spanish standard UNE-EN 12193. In addition, an economic analysis was prepared to determine the time recovery of the project and annual savings compared to the two technologies. Finally, the lighting design of both areas is delivered, with their planes selected in AutoCAD and DIALux, complying with all the established parameters.

Keywords: *LED technology, lighting, efficiency.*

INDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Justificación del problema	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. General	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Marco teórico	3
CAPÍTULO 2	13
2. METODOLOGÍA.	13
2.1. Levantamiento eléctrico y características del sistema antiguo del coliseo	13
2.2. Levantamiento eléctrico y características del sistema actual de la cancha de futbol	15
2.3. Cálculo de la potencia individual de cada lámpara del coliseo	15
2.4. Determinación de la iluminación para el coliseo de mecánica y la cancha de futbol	17
2.4.1. Norma Utilizada	17
2.4.2. Especificaciones del coliseo antiguo	18
Características de las luminarias a evaluar	21
Luminaria LEDVANCE High Bay generación 2 en el coliseo antiguo.	21
Luminaria SCHRÉDER Indu Bay generación 3 en el coliseo antiguo.	23
Luminaria Soled High Bay UFO 09 en el coliseo antiguo.	25
2.4.3. Especificaciones de la cancha de futbol	26
Características de la luminaria a evaluar	28
Luminaria Soled He Flood Light de la cancha de fútbol.	28
2.5. Estudios lumínicos de cada lámpara	29
2.5.1. Luminaria LEDVANCE High bay generación 2.	29
Baloncesto área principal, resultados lumínicos	31
Ping-pong área principal, resultados lumínicos.	33
2.5.2. Luminaria Soled High Bay UFO 09.	35
Baloncesto área principal, resultados lumínicos	37
Ping-pong área principal, resultados lumínicos.	39
2.5.3. Luminaria Shréder Indu bay generación 3	42
Baloncesto área principal, resultados lumínicos	44
Ping-pong área principal, resultados lumínicos.	46
2.6. Selección de la luminaria	48
2.7. Determinación del consumo de energía y costos.	48
CAPÍTULO 3	50

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	50
Ahorro económico con el cambio de tecnología en el coliseo de ESPOL	50
Inversión del proyecto del coliseo	51
Tiempo de retorno de la inversión del coliseo	52
Problemática que se presentó en el proyecto de la cancha de futbol	54
Diseño en AutoCad de los circuitos de alumbrado del coliseo	56
<i>CAPÍTULO 4</i>	58
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
<i>Bibliografía</i>	60

ABREVIATURAS

AV	Alto Voltaje
FP	Factor de potencia
IRC	Índice de rendimiento del color
LED	Diodo Emisor de Luz
TIR	Tasa de retorno de la inversión
THD	Distorsión total de armónicos
2P	Dos polos

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Celsius
E_v	Iluminancia
Φ_v, F	Flujo luminoso
h	Hora
Hz	Hercio
I	Corriente
I_v	Intensidad Luminosa
kHz	Kilo hercio
kW	Kilo vatio
kVA	Kilo Voltio-Amperio
kVAR	Kilo Voltio-Amperio reactivo
K	Kelvin
lm	lumen
lx	Lux
lm/W	Lumen sobre vatio
L_v	Luminancia
m ²	Metros cuadrados
min	Minuto
P	Potencia activa
Q	Potencia reactiva
S	Potencia aparente
s	Segundo
V	Voltaje
VA	Voltio-Amperio
VAR	Voltio-Amperio reactivo
W	Watt
Wh	Vatio hora
Al	Aluminio
In	Indio
Ga	Galio

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Elementos principales de la lámpara halógena. Fuente: OSRAM	3
Figura 1.2. Ciclo del Halógeno. Fuente: OSRAM	4
Figura 1.3. Elementos principales de la lámpara de inducción. Fuente: Catálogo de información de Shanghai Hongyuan Lighting & Electric Co., Ltd.	5
Figura 1.4 Mantenimiento típico de luminancia (%lm). Fuente: GIL	6
Figura 1.5. Polarización del diodo LED en directa y el proceso de electroluminiscencia. Fuente: "Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos" [6]	9
Figura 1.6. Lámpara LED de alta intensidad, utilizada para aplicaciones industriales, comerciales y deportivas. Fuente: tomada de la página oficial de Phillips.	10
Figura 2.1. Dimensiones totales del coliseo antiguo de ESPOL. Las figuras geométricas con números representan los objetos y obstáculos dentro de la instalación.	20
Figura 2.2. Vista 3D del coliseo antiguo de ESPOL. En la figura se pueden observar las escaleras y el área de duchas.	20
Figura 2.3. Ubicación de los centros deportivos dentro del coliseo antiguo de ESPOL.	21
Figura 2.4. Luminaria LEDVANCE de 200W-27000lm. Imagen obtenida de DIALux en la hoja de datos de la luminaria.	22
Figura 2.5. Fotometría de la lámpara LEDVANCE de 200W. Imagen obtenida del software DIALux.	23
Figura 2.6 Luminaria Schröder Indu Bay de 185W - 31104lm. Imagen obtenida de DIALux en la hoja de datos de la luminaria.	24
Figura 2.7 Fotometría de la lámpara Schröder de 185W. Imagen obtenida del software DIALux.	24
Figura 2.8 Soled High Bay UFO 09 – 25.500 lm. Imagen obtenida del catálogo de Soled.	25
Figura 2.9 Fotometría de la lámpara Soled de 150W. Imagen obtenida del Catálogo de Soled.	26
Figura 2.10. Ubicación de la cancha de fútbol con las dimensiones y la ubicación de los postes para las luminarias.	27
Figura 2.11. Vista 3D de la cancha de fútbol de ESPOL.	27
Figura 2.12. Dimensiones de la cancha de fútbol ubicada en ESPOL.	28
Figura 2.13. Soled He Flood Light – 54.000 lm. Imagen obtenida del catálogo de Soled.	29
Figura 2.14. Fotometría de la lámpara Soled de 300 W. Imagen obtenida del Catálogo de Soled.	29
Figura 2.15. Distribución de las luminarias dentro del área que ocupan los centros deportivos de basquetbol y ping-pong.	30
Figura 2.16. Distribución de la luz sobre toda la superficie del coliseo.	30
Figura 2.17. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de la cancha de basquetbol.	32
Figura 2.18. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de baloncesto.	32
Figura 2.19. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de la cancha de basquetbol.	33
Figura 2.20. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de pingpong.	34
Figura 2.21. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.	34
Figura 2.22. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.	35
Figura 2.23 Distribución de la luz sobre toda la superficie del coliseo.	36
Figura 2.24 Distribución de las luminarias dentro del área que ocupan los centros deportivos de basquetbol y pingpong.	37
Figura 2.25 Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de la cancha de basquetbol.	38
Figura 2.26 Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de baloncesto.	38
Figura 2.27 Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de la cancha de basquetbol.	39
Figura 2.28 Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de pingpong.	40
Figura 2.29 Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.	41
Figura 2.30 Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.	42

Figura 2.31 Distribución de la luz sobre toda la superficie del coliseo.	42
Figura 2.32. Distribución de las lámparas en el coliseo utilizando la luminaria Shréder.	43
Figura 2.33. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de la cancha de basquetbol.	44
Figura 2.34. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de baloncesto.	45
Figura 2.35. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de la cancha de basquetbol.	45
Figura 2.36. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de pingpong.	46
Figura 2.37. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.	47
Figura 2.38. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características de la lámpara halógena.	4
Tabla 1.2. Materiales usados para la construcción de diodos emisores de luz. Fuente: “Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos” [6]	8
Tabla 1.3. Materiales usados para la construcción de diodos emisores de luz. Fuente: “Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos” [5]	11
Tabla 2.1. Circuitos de alumbrado con su respectivo disyuntor, instalados actualmente en el coliseo.	13
Tabla 2.2. Circuito 1 luminarias de ping-pong. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.	14
Tabla 2.3. Circuito 2 luminarias de ping-pong. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.	14
Tabla 2.4. Circuito 3 luminarias de basquetbol. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.	14
Tabla 2.5. Circuito 4 luminarias de basquetbol. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.	14
Tabla 2.6. Mediciones totales, encendiendo todas las lámparas instaladas en el coliseo.	15
Tabla 2.7. Circuitos utilizados en la cancha de futbol, se muestran los disyuntores con su respectiva capacidad y el calibre de conductores.	15
Tabla 2.8. Dimensiones de la cancha de basquetbol dentro del coliseo y propiedades del suelo.	18
Tabla 2.9. Dimensiones de la cancha de basquetbol y propiedades del suelo.	18
Tabla 2.10. Características de la Luminaria High Bay generación 2.	22
Tabla 2.11. Características de la lámpara Shreder Indu Bay.	23
Tabla 2.12. Características de la luminaria Soled High Bay UFO.	25
Tabla 2.13. Dimensiones de la cancha de futbol y características del suelo.	26
Tabla 2.14. Características de la luminaria Soled He Flood Light	28
Tabla 2.15. Tabla de resultados lumínicos de la superficie general del coliseo.	31
Tabla 2.16. Número de lámparas a utilizar y potencia total instalada.	31
Tabla 2.17. Resultados de iluminancia y uniformidad de la superficie para el área de basquetbol.	31
Tabla 2.18. Resultados de iluminancia y uniformidad para el área de ping-pong.	33
Tabla 2.19. Resultados de iluminancia media de la superficie general del coliseo.	36
Tabla 2.20. Cantidad de lámparas a utilizar y potencia instalada.	36
Tabla 2.21. Resultados de iluminancia media y uniformidad en el área de basquetbol.	37
Tabla 2.22. Resultados de iluminancia del área de ping-pong.	39
Tabla 2.23. Resultados de iluminancia sobre la superficie general del coliseo.	43
Tabla 2.24. Cantidad de lámparas a utilizar y potencia instalada.	43
Tabla 2.25. Resultados de iluminancia y uniformidad sobre el área de basquetbol.	44
Tabla 2.26. Resultados de iluminancia y uniformidad sobre el área de ping-pong.	46
Tabla 2.27. Parámetros de selección para la luminaria del coliseo.	48
Tabla 3.1. Consumos de energía, consumo en dólares y consumo total de las luminarias de inducción.	50
Tabla 3.2. Consumos de energía, consumo en dólares y consumo total de las luminarias LED.	51
Tabla 3.3. Flujo de caja para el cambio de luminarias en el coliseo de ESPOL.	53
Tabla 3.4. Flujo de caja para la cancha de fútbol de ESPOL.	55

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) cuenta con instalaciones de iluminación antiguas en el coliseo principal de mecánica y la cancha reglamentaria de fútbol de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC). Las luminarias que se utilizan en estas instalaciones emplean el principio de inducción para su funcionamiento, la cual es una tecnología obsoleta e ineficiente, en comparación con los sistemas de iluminación modernos. Estas lámparas consumen mayor energía eléctrica y representan un mayor costo monetario para la institución [1].

Este tipo de sistema de iluminación se ha utilizado durante muchos años y actualmente se sigue utilizando en lugares tales como: calles, estadios, centros recreativos y escuelas. Las lámparas de inducción tienen un consumo de electricidad más elevado en comparación con las nuevas tecnologías. Desde el punto de vista macro, esto se ve reflejado en una mayor contaminación ambiental al momento de tener que generar más energía eléctrica para suplir la demanda de dichas cargas, a diferencia de tener un sistema más ahorativo.

Con el paso del tiempo se ha hecho notable la reducción de la iluminación en las lámparas de inducción utilizadas en las instalaciones del coliseo, la cual no es capaz de abastecer con eficiencia el lugar cuando las condiciones alrededor del coliseo son de poca luz natural. La falta de iluminación provoca inconformidad al momento de realizarse eventos nocturnos tales como: fiestas, encuentros deportivos (básquetbol, voleibol, etc.) y demás eventos sociales.

1.2. Justificación del problema

Hoy en día es de gran importancia la mejora continua de los sistemas eléctricos, ya que se requiere que la calidad de la energía entregada a los consumidores finales cumpla con todas las necesidades y alcance altos estándares. Gracias a los avances tecnológicos se puede mejorar y optimizar los sistemas eléctricos. Se lograron detallar los siguientes problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica y la iluminación:

- Sistema de alumbrado obsoleto que genera poca iluminación la cual no es suficiente para cubrir la demanda de las instalaciones del coliseo y la cancha.
- Alto consumo de energía y por ende un elevado gasto económico por iluminación.

Debido a la problemática, el proyecto se encargará de diseñar un sistema de alumbrado con tecnología LED, una tecnología más moderna a la actualmente instalada. De esta forma se reducirá el consumo de energía eléctrica y gastos monetarios a la institución. Es evidente que el proyecto conlleva a una inversión inicial para el cambio de tecnología, la cual será mostrado en un análisis económico para analizar la factibilidad del proyecto, obteniendo una fecha aproximada de la recuperación de lo invertido.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Diseñar un sistema de iluminación para el coliseo principal de Mecánica y la cancha reglamentaria de futbol de la FIEC, para reducir el consumo de energía eléctrica y mejorar la iluminación de ambas edificaciones a través de un cambio de tecnología un sistema tipo LED.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis económico comparativo entre el consumo del sistema antiguo con el sistema de iluminación moderno (LED).
- Analizar el comportamiento de los armónicos, el consumo de energía, iluminación y factor de potencia del sistema antiguo en comparación con el sistema de iluminación LED.
- Recopilar información de las instalaciones eléctricas del coliseo y la cancha de futbol a través de una visita técnica y un levantamiento eléctrico de ambos lugares.
- Elaborar el diseño lumínico de ambas áreas, junto con el diseño eléctrico para su respectiva implementación a través de los softwares DIALux y AutoCad.

1.4. Marco teórico

Lámpara Halógena.

Las lámparas halógenas tienen muchas similitudes con las incandescentes, son una mejora de aquella tecnología. Se reemplazó el gas inerte Argón por un gas halógeno en pequeña cantidad (ya sea el Iodo o el Bromo) y modificar la bombilla por el cristal cuarzo. [1]

Elementos principales de las lámparas halógenas.



Figura 1.1. Elementos principales de la lámpara halógena. Fuente: OSRAM

Funcionamiento de la lámpara halógena.

El funcionamiento es similar al de una lámpara incandescente, consiste en el paso de la corriente por el filamento de tungsteno el cual provoca la excitación de sus átomos produciendo de esta forma luz visible. [1]

Al estar encendida la lámpara, dentro del bulbo ocurre un proceso llamado “ciclo del halógeno”, el mismo que no se interrumpe mientras esté encendida la luminaria. Dicho proceso se muestra a continuación con la Figura. 1.2. [1]



Figura 1.2. Ciclo del Halógeno. Fuente: OSRAM

En el recuadro A de la Figura 1.2, una vez encendida la lámpara, se aprecia la excitación de los átomos, una vez que la misma alcance su temperatura máxima de 1.400°C , el filamento de tungsteno empieza a evaporarse y los átomos se transforman en estado gaseoso, viajando hasta las paredes del bulbo. Cuando la temperatura llega a los 800°C , el gas halógeno contenido en la lámpara reacciona con los átomos de tungsteno, produciendo halogenuro de tungsteno, tal como se aprecia en el recuadro B de la Figura 1.2. Finalmente, en el recuadro C, el gas de halogenuro de tungsteno regresa al centro del bulbo, se descompone nuevamente en tungsteno metálico debido a la elevada temperatura y se adhiere al filamento reconstruyéndolo. [1]

Características principales de la lámpara halógena.

Una lámpara halógena con una potencia de 100 vatios produce una temperatura de color aproximada a los 3.000K, tiene una eficiencia luminosa de 75 lm/W. La vida útil se encuentra en un rango de 6.000 a 20.000 horas de funcionamiento. El tiempo que tardan las lámparas halógenas en encender está entre 1 a 5 minutos y su costo de adquisición es medio-bajo. En la tabla 1.1 se resume las características más importantes: [1]

Tabla 1.1. Características de la lámpara halógena.

Tipo de Lámpara	Halógena Reflectora
Potencia (W)	100
Temperatura de Color	Alrededor de los 3.000K (color cálido más claro)
Eficiencia Luminosa (lm/W)	75
IRC	Cercano al 100
Vida Útil (horas)	Entre los 6.000 a 20.000
Tiempo de Encendido (min)	1 - 5
Costo	Medio - Bajo

Aplicaciones	Generalmente en iluminación del hogar, tiendas comerciales, faros delanteros de los autos, recepciones, canchas deportivas.
--------------	---

Lámpara de Inducción electromagnética.

Las lámparas de inducción fueron descubiertas por el científico inglés Michael Faraday en el año 1831. Emiten luz visible debido a un gas contenido dentro de las lámparas al igual que las fluorescentes. Su principal característica es carecer de electrodo para inducir la corriente eléctrica en el interior del bulbo, lo cual las vuelve muy populares en el mercado y han sido utilizadas por muchos años. Su principio es basado en la inducción magnética, con el fin de generar un campo magnético alrededor del bulbo, lo cual permite transmitir la energía eléctrica. La vida útil de las lámparas de inducción es más elevada en comparación con las de electrodo, es una tecnología más eficiente en comparación con las fluorescentes. [1]

Elementos principales de la lámpara de Inducción electromagnética.

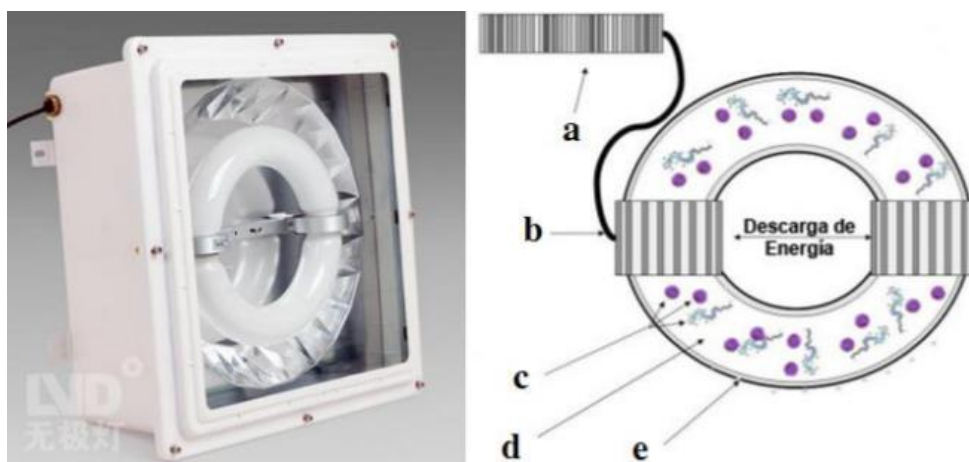


Figura 1.3. Elementos principales de la lámpara de inducción. Fuente: Catálogo de información de Shanghai Hongyuan Lighting & Electric Co., Ltd.

- a) Generador de Alta Frecuencia
- b) Bobina de Inducción sin Electrodo (La bobina además tiene en su estructura el soporte de la antena, un cable coaxial y unos anillos magnéticos que son termoconductores)
- c) Electrones, Ion Plasma y Gas Inerte
- d) Capa de Trifósforo
- e) Luz Visible [1]

Funcionamiento de la lámpara de Inducción electromagnética.

Las lámparas de inducción se alimentan a un voltaje de 110 V o 220 V, la energía llega hasta un generador de alta frecuencia, también conocido como balasto, el cual se encarga de enviar un voltaje constante de relativa alta frecuencia (2.5 kHz) hacia los dos anillos metálicos que conforman los electroimanes. Dichos anillos producirán el campo magnético alrededor del bulbo sobre la superficie del cristal, al existir una ruta cerrada debido a la geometría del mismo, los electrones libres se aceleran y chocan con los átomos de mercurio permitiendo una reacción e ionización del gas inerte que se encuentra dentro del bulbo, produciendo finalmente un plasma. Una vez reaccionado los átomos de plasma, se generan ondas de 253.7 nm debido a la energía obtenida de la reacción anterior, lo cual corresponde a una radiación imperceptible al ojo humano y que está dentro del rango del espectro ultravioleta, esta radiación choca con la capa de Trifósforo adherida a las paredes del bulbo logrando emitir luz visible. [2]

Principales características de las lámparas de inducción magnética.

Las lámparas de inducción trabajan a una temperatura promedio de 80°C. Su factor de potencia es de 0,95. Registran una vida útil de 100.000 horas, debido a que el filamento o electrodo es la principal causa de la disminución en la vida útil, al no contar con el mismo, su vida útil se incrementa en comparación con las otras lámparas. El costo de las lámparas de inducción es elevado, pero justificado por su larga duración. [3] . En la figura 1.4 se puede apreciar la vida útil de las lámparas de inducción en comparación con otras, podemos notar como la degradación de la luminosidad se produce después de las 60.000 horas. [4]

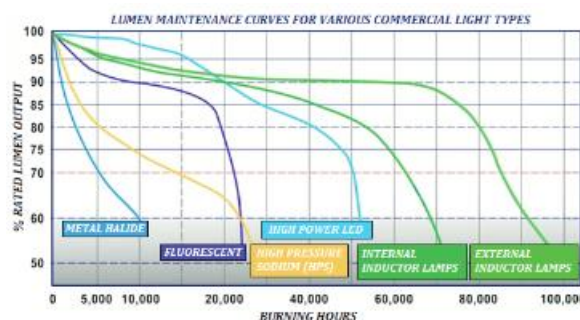


Figura 1.4 Mantenimiento típico de luminancia (%lm). Fuente: GIL

El tiempo de encendido y reencendido de las lámparas de inducción es instantáneo. Tomando en cuenta que la luz del sol es la luz más blanca conocida, con una temperatura del color de 5500°K, la lámpara de inducción tiene una temperatura del color alrededor de los 5000°K. Su eficiencia luminosa tiene un valor promedio de 80 lm/W. El IRC también conocido como índice de rendimiento del color está en un valor de 90, dicho índice es la capacidad de las lámparas de producir los colores de los objetos que iluminan. El contenido de mercurio que se encuentra dentro de las lámparas de inducción es menor a 5 miligramos, el cual se encuentra en estado sólido, es decir, evita que se volatilice con el aire y sea perjudicial para las personas. [3]

Las lámparas de inducción soportan variaciones de voltajes del $\pm 10\%$, trabajan a un voltaje nominal entre 120 y 277 V. Los balastos soportan transitorios de 1560 V en 1 minuto y 2500 V en 1 microsegundo. Por medio del balasto o también conocido como generador de alta frecuencia, las lámparas trabajan a una frecuencia de 2,5kHz, lo cual proporciona una baja sensibilidad de estas al efecto parpadeo, también conocido como flicker. La distorsión de armónicos en las lámparas de inducción es menor al 10%, si bien es cierto el balasto genera armónicos, los mismos son eliminados por medio de filtros incorporados en el propio equipo. [3]

Tecnología LED.

Definición de LED (Light-emitting diode).

La palabra LED proviene de la abreviatura en inglés de Light-Emitting Diode, que significa diodo emisor de luz, es un dispositivo semiconductor capaz de emitir luz policromática, lo cual indica, que puede hacerlo con diferentes longitudes de onda. [5] En la actualidad las lámparas LED han ganado espacio en el alumbrado público, residencial, comercial e industrial, desplazando las tecnologías ya usadas debido su bajo consumo de energía eléctrica y a la disminución de costos en las planillas o facturas eléctricas. Esta tecnología innovadora posee grandes ventajas con respecto a los otros dispositivos utilizados para iluminación, transforman más del 90% de la energía eléctrica que reciben en luz, generan menos calor y su durabilidad es alta.

Principio de funcionamiento del LED

“Tal como indica su nombre, el diodo emisor de luz es un tipo de dispositivo semiconductor que emite luz visible o invisible cuando una corriente eléctrica circula a

través de él. Los semiconductores son uniones de dos tipos de materiales, el material “p” y el material “n”, que cuando se polariza dentro de dicha estructura y cerca de la unión ocurre una reorganización de huecos y electrones. Para que se produzca esta recombinación es necesario una transferencia de energía, así los electrones en estado libre se transforman en otro estado. En general todas las uniones tipo p-n semiconductoras liberan energía en forma de calor o en forma de fotones”. [6]

“No todos los materiales usados para la construcción de diodos LED pueden emitir luz visible. Si se utiliza silicio y germanio un alto porcentaje de la energía transformada en el proceso de la recombinación en la unión se disipa en forma de calor y produce una cantidad de luz insignificante. También existen diodos contruidos de Gas (galio-arsénico), los cuales emiten luz infrarroja, es decir, invisible. A través de otras combinaciones de materiales se puede obtener luz visible para los diodos tipo LED”. [6]

La tabla 1.2 tomada del libro “Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos” muestra la combinación de distintos elementos, el color de la luz que producen y su voltaje de polarización”.

Tabla 1.2. Materiales usados para la construcción de diodos emisores de luz. Fuente: “Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos” [6]

Color	Materiales de construcción	Voltaje de polarización [V]
Ámbar	AlInGaP	2.1
Azul	GaN	5.0
Verde	GaP	2.2
Naranja	GaAsP	2.0
Rojo	GaAsP	1.8
Blanco	GaN	4.1
Amarillo	AlInGaP	21

Características constructivas del LED.

Un LED está construido en base a los materiales antes mencionados, pero también posee superficies de metal y una capa de aislamiento o lente óptico. La superficie metálica que se encuentra en el lado del material tipo “p” es de un tamaño reducido en comparación con la parte metálica ubicada en el material “n”, esto permite que la salida de fotones de energía luminosa sea la máxima cuando el diodo se polariza en directa. [6]. En la figura 1.5 se puede observar que ocurre cuando se polariza el LED en directa y su efecto luminoso.

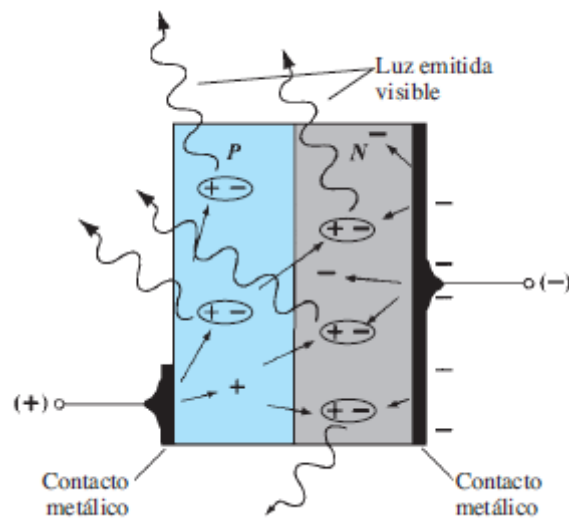


Figura 1.5. Polarización del diodo LED en directa y el proceso de electroluminiscencia.
Fuente: “Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos” [6]

El efecto de luminiscencia es representado por las ondas de luz que emite el diodo LED cuando este se polariza en directo. Ocurre la interacción en la unión de los materiales, los electrones y los huecos empiezan a viajar a través de ambos materiales y se produce la liberación de energía en forma de luz. El contacto metálico en el material tipo “p” es de menor superficie para liberar la mayor cantidad de luz posible. Si las superficies en ambos lados fueran de igual dimensión no sería posible obtener gran cantidad de fotones puesto que estos chocarían en las superficies metálicas, evitando su liberación en el medio.

Lámparas LED.

Hoy en día la utilización de lámparas LED ha llegado con fuerza en el mercado de la iluminación exterior e interior. Cada vez son más los lugares que optan por cambiar a iluminación tipo LED, debido a diferentes factores, entre los cuales se puede destacar: menor consumo de energía eléctrica, menor sensación de calor en una área cerrada y mayor tiempo de vida a la luminaria.

Existen diferentes modelos de lámparas de acuerdo a las necesidades y la situación del lugar en el que se vayan a instalar. En lo que se trata de la iluminación doméstica o del hogar, estas lámparas son muy parecidas físicamente a las lámparas convencionales, con la ventaja de que su carcasa está construida de un polímero especial que las vuelve más resistente. En la iluminación externa se utilizan matrices de diodos tipo LED que contribuyen a un mayor flujo luminoso, debido a las necesidades del lugar.



Figura 1.6. Lámpara LED de alta intensidad, utilizada para aplicaciones industriales, comerciales y deportivas. Fuente: tomada de la página oficial de Phillips.

Una de las características de las lámparas LED es que su flujo luminoso se puede direccionar sobre el área o lugar a iluminar. Esto vuelve a la tecnología tipo LED mejor que las lámparas convencionales, tales como: vapor sodio (alta y baja presión), fluorescentes, halógenas, lámparas de inducción. Debido a la direccionalidad de su flujo luminoso es posible iluminar un espacio sin la necesidad de utilizar un número elevado de luminarias [7].

Cada tipo de lámpara posee características únicas de acuerdo a su construcción y su principio de funcionamiento. Todas poseen diferentes tiempos de vida útil, la cantidad de luminiscencia varía de en cada tipo de luminario y su eficiencia energética cambia de acuerdo al tipo de tecnología. A continuación, se definen cada una de las características que poseen los sistemas de iluminación.

- **Luminancia:** La luminancia es la luz que logra percibir el ojo humano procedente de alguna fuente luminosa o de algún objeto que la refleja.
- **Iluminancia:** La iluminancia tiene cierta semejanza con la luminancia, la diferencia que se establece entre ambos términos es que la iluminancia se refiere a la cantidad de luz que se proyecta sobre un objeto, la cual logra extenderse sobre el área de una superficie. Posee una unidad de medida la cual es el lux(lx) que sería la relación entre el flujo luminoso y el área sobre la que se propaga este flujo. [8]
- **Intensidad luminosa:** El flujo que emite una fuente de luz puede ser medido a lo largo de toda la superficie que posee dicha fuente. Pero si nos enfocamos en una dirección y área superficial específica es posible cuantificar la cantidad de flujo

luminoso que se concentra en un punto dado. Esto es lo que se conoce como intensidad luminosa, la cual tiene como símbolo la letra “I” y su unidad de medida es la candela. [9]

- Flujo luminoso: El flujo luminoso se puede definir como la potencia que es emitida por una fuente luminosa en forma de radiación a la cual el ojo humano se vuelve sensible. Es característica importante de las lámparas de hoy en día ya que nos indicará que cantidad de luz se puede obtener dada la potencia de una lámpara. Lo que hoy en día se busca es que las luminarias proyecten una cantidad de luz utilizando la potencia más baja. El flujo luminoso se mide en Lumen (lm). [8]
- Eficacia luminosa: “La eficacia luminosa es la eficiencia con la que se convierte la energía eléctrica en luz. Se expresa en lúmenes por vatios, una eficacia luminosa alta indicará que gran parte de la energía que llega a la lámpara se transformará en luz”. [10]
- Índice de rendimiento de color: Este índice indica la capacidad de una fuente luminosa artificial para reproducir los colores de la luz proveniente del sol. Se mide en porcentaje, tomando al 100% de la luz solar como referencia.

Comparación entre lámparas tipo LED y de inducción.

Cada sistema de iluminación que se utiliza posee características por las cuales son seleccionados para utilizarse en alguna infraestructura. Entre las lámparas de inducción y las luminarias tipo LED se pueden resaltar ciertas ventajas que poseen estas últimas sobre las antiguas luminarias de inducción. Aunque hay que recalcar que no todo son ventajas puesto que esto dependerá del lugar en el que se vayan a utilizar las lámparas. En la tabla 1.3 se presenta la comparación de las características que poseen estos dos tipos de sistemas.

Tabla 1.3. Materiales usados para la construcción de diodos emisores de luz. Fuente: “Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos” [5]

	LED (Light-emitting diode)	Lámparas de inducción.
Eficacia (lm/W)	90 - 120	80
Tiempo de vida (h)	>50000	60000-100000
Temperatura de color (K)	Blanco puro: 5000 – 7000, Blanco cálido: 3000 - 4000	5000
Contenido de mercurio (mg)	0	<5
Eficiencia	>85%	<40%
Factor de potencia	>0,95	0,9
Índice de distorsión armónica total (THD)	<10%	<10%
Temperatura de operación	30°C - 50°C	80°C

Costo	Elevado, pero su inversión justifica con su larga vida útil y eficiencia	Elevado y solo se justifica por su larga vida útil
Índice de rendimiento de color (IRC)	75	90

Tal y como se puede observar las lámparas que utilizan tecnología tipo LED poseen ciertas ventajas sobre las luminarias de inducción. Entre las que destacan su eficacia, la cual indica que se tendrá mayor cantidad de luz por cada vatio de consumo. Poseen una mayor variedad en cuanto a la temperatura de color, es decir, que el lugar que iluminen proyectará distintos tonos de calidez. Dos aspectos importantes a recalcar son la temperatura de operación y la eficiencia, puesto que las lámparas de inducción trabajan a una mayor temperatura consumirán una mayor cantidad de energía eléctrica que las luminarias tipo LED. La eficiencia también nos indica que cantidad de energía se transforma en luz, y es un indicador que va de la mano con la temperatura, una mayor eficiencia evitará que la energía que viaja hacia las lámparas se transforme en calor.

En cuanto a los costos de los dos sistemas de iluminación presente, podemos observar que ambos presentan costos elevados. Para el sistema tipo LED su alto costo está justificado por su larga vida útil y su eficiencia, puesto que consumen menos energía eléctrica. Mientras que el sistema con lámparas de inducción solo justifica su costo por su larga vida útil, con el pasar del tiempo estas luminarias se vuelven menos eficientes.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA.

En el presente capítulo se detalla la metodología a utilizar para resolver el problema que se planteó en el anterior capítulo. Para implementar el nuevo sistema se utilizará el software DIALux en iluminación, también se hará uso de AutoCAD para el diseño eléctrico que utilizará el sistema de luminarias LED. Para tener una idea de cómo cambiará la red eléctrica, se presentará el levantamiento eléctrico de las instalaciones del coliseo, que se compararan con el nuevo diseño. Para el caso de la cancha de fútbol ubicada frente a FIEC se realizará un estudio lumínico, mientras que para el coliseo viejo se realizará el estudio lumínico además de un análisis económico.

2.1. Levantamiento eléctrico y características del sistema antiguo del coliseo

Durante la recolección de información se pudo obtener datos sobre el número de lámparas que están instaladas en el coliseo. En cuanto a los problemas que se presentan en la iluminación fue posible obtener información a través del personal de trabajo del coliseo. Los problemas con los que cuenta el coliseo son los siguientes:

- Lámparas de muy poca intensidad.
- Tres luminarias quemadas en el lado de la cancha de básquetbol y una en el lado de ping-pong, además una luminaria faltante en el lado de básquetbol y cinco lámparas con poca intensidad.
- El sistema posee más de 21 años de antigüedad.
- Generan gran cantidad de calor, lo que incrementa la temperatura del lugar fatigando a los visitantes.
- Se tiene un total de cuarenta lámparas, con cinco luminarias por cada hilera o viga.

Tabla 2.1. Circuitos de alumbrado con su respectivo disyuntor, instalados actualmente en el coliseo.

Circuitos	Disyuntor
Luminarias de la cancha de básquetbol: 15 lámparas de inducción	Disyuntor de 2 polos, 60 Amperios.
Luminarias de la cancha de básquetbol: 15 lámparas de inducción	Disyuntor de 2 polos, 60 Amperios.
Luminarias de la cancha de voleibol: 5 lámparas de inducción	Disyuntor de 2 polos 40 Amperios
Luminarias de la cancha de voleibol: 5 lámparas de inducción	Disyuntor de 2 polos 40 amperios.

Tabla 2.2. Circuito 1 luminarias de ping-pong. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.

	Línea A	Línea B	Línea C
Potencia Activa (P)	504 W	546 W	-
Potencia Reactiva (Q)	327,1 VAR	277 VAR	-
Potencia Aparente (S)	601.2 VA	613.1 VA	-
Corriente (I)	4.7 A	4.8 A	-
THD de Voltaje	1.5%	1.5%	1.3%
THD de corriente	5.9%	5.6%	-
Factor de Potencia (FP)	0.83	0.89	-

Tabla 2.3. Circuito 2 luminarias de ping-pong. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.

	Línea A	Línea B	Línea C
Potencia Activa (P)	242W	294.2 W	-
Potencia Reactiva (Q)	190.8 VAR	154.5VAR	-
Potencia Aparente (S)	356.5 VA	370.1 VA	-
Corriente (I)	3.3 A	3.4 A	-
THD de Voltaje	0.8%	0.7%	0.9%
THD de corriente	6.3%	6%	-
Factor de Potencia (FP)	0.83	0.89	-

Tabla 2.4. Circuito 3 luminarias de basquetbol. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.

	Línea A	Línea B	Línea C
Potencia Activa (P)	1135 W	-	1055 W
Potencia Reactiva (Q)	0.592 kVAR	-	0.714 kVAR
Potencia Aparente (S)	1298 kVA	-	1.189 kVA
Corriente (I)	9.3 A	-	9.4A
THD de Voltaje	0.9%	0.8%	1%
THD de corriente	5.9%	-	5.8%
Factor de Potencia (FP)	0.88	-	0.83

Tabla 2.5. Circuito 4 luminarias de basquetbol. Se muestran los datos de las mediciones realizadas.

	Línea A	Línea B	Línea C
Potencia Activa (P)	-	0.877 kW	0.968 kW
Potencia Reactiva (Q)	-	0.632 kVAR	0.466 kVAR
Potencia Aparente (S)	-	1.116 kVA	1.108 kVA
Corriente (I)	-	9.3 A	9.3 A
THD de Voltaje	1.3%	1.4%	1.3%
THD de corriente	-	5.7%	5.7%
Factor de Potencia (FP)	-	0.81	0.90

Tabla 2.6. Mediciones totales, encendiendo todas las lámparas instaladas en el coliseo.

	Línea A	Línea B	Línea C
Potencia Activa (P)	2.046 kW	1.957 kW	2.198 kW
Potencia Reactiva (Q)	0.069 kVAR	0.244 kVAR	0.225 kVAR
Potencia Aparente (S)	2.072 kVA	1.973 kVA	2.239kVA
Corriente (I)	16.8 A	15.6 A	18.3 A
THD de Voltaje	1.5%	1.5%	1.3%
THD de corriente	2%	1.9%	1.9%
Factor de Potencia (FP)	0.99	0.99	0.99

2.2. Levantamiento eléctrico y características del sistema actual de la cancha de futbol

La cancha de futbol cuenta con iluminación proveniente de reflectores metal halógeno. Los reflectores están colocados en postes de hormigón a una altura de 14 metros. En cada poste existen grupos de 3 lámparas, obteniendo un total de 12 luminarias en toda la cancha, las mismas tienen una potencia de 1.500 W conectadas a un voltaje de 220 V. Cada poste tiene una separación de 33 metros desde el banderín de córner hasta su ubicación visto de forma horizontal y tienen 2 metros de separación con respecto al borde de la cancha. La potencia total instalada del sistema de iluminación es de 18.000 W. Las luminarias están conectadas a un transformador monofásico de 50 KVA con voltajes de referencia 13800/7620-120/240 voltios. Los bornes de baja tensión del transformador están conectados a un disyuntor principal de 2P-250 A, que a su vez se conectan con el tablero de distribución general de la cancha (TD-D1/D4). El tablero cuenta con 4 disyuntores de 40A-2P, un breaker para cada poste de hormigón que sujeta las luminarias por medio de una cruceta, y 4 contactores de 32[A] a 240[V] cada uno.

Tabla 2.7. Circuitos utilizados en la cancha de futbol, se muestran los disyuntores con su respectiva capacidad y el calibre de conductores.

Circuitos	Disyuntor
Luminarias del poste 1	Disyuntor de 40A-2polos 240V, Calibre del conductor: #8 aislamiento tipo TW
Luminarias del poste 2	Disyuntor de 40A-2polos 240V, Calibre del conductor: #8 aislamiento tipo TW
Luminarias del poste 3	Disyuntor de 40A-2polos 240V, Calibre del conductor: #8 aislamiento tipo TW
Luminarias del poste 4	Disyuntor de 40A-2polos 240V, Calibre del conductor: #8 aislamiento tipo TW

2.3. Cálculo de la potencia individual de cada lámpara del coliseo

Las lámparas instaladas en el coliseo de mecánica utilizan el principio de inducción electromagnética para su funcionamiento. Están integradas por un balastro, la campana

y el tubo de inducción. Pueden operar a dos niveles de voltaje, 120V o 240V, en cada nivel la lámpara consumirá más o menos corriente. En el caso del coliseo estas luminarias se encuentran operando a un voltaje de 240V, y su potencia nominal es de 200W, la cual es la misma puesto que no es una lámpara del tipo regulable. Para determinar la potencia que consume cada una, utilizaremos los datos de las mediciones realizadas en el coliseo.

Sabemos la potencia que se encuentra conectada a cada circuito y que lámparas están conectadas a cada disyuntor, entonces dividiremos la potencia total para el número de lámparas. Utilizaremos las mediciones de potencia a plena carga, y la cantidad de luminarias que en este caso son 35 puesto que 5 se encuentran dañadas.

- Potencia individual a plena carga:

$$P_{individual} = \frac{\text{Potencia total a plena carga}}{\# \text{ de lamparas}} = \frac{6201 \text{ W}}{35} = 177.17 \text{ W/lámpara}$$

- Potencia individual con el circuito de la cancha de pingpong que utiliza 5 luminarias:

$$P_{individual} = \frac{P_{total} \text{ Ping pong 5 lamparas}}{\# \text{ de lamparas}} = \frac{750 \text{ W}}{5} = 150 \text{ W/lámpara}$$

- Potencia individual con el circuito de la cancha de pingpong que utiliza 4 luminarias:

$$P_{individual} = \frac{P_{total} \text{ Ping pong 4 lamparas}}{\# \text{ de lamparas}} = \frac{536.2 \text{ W}}{4} = 134.05 \text{ W/lámpara}$$

- Potencia individual con el circuito de la cancha de basquetbol que utiliza 13 luminarias:

$$P_{individual} = \frac{P_{total} \text{ Basket 13 lamparas}}{\# \text{ de lamparas}} = \frac{2190 \text{ W}}{13} = 168.46 \text{ W/lámpara}$$

- Potencia individual con el circuito de la cancha de basquetbol que utiliza 13 luminarias:

$$P_{individual} = \frac{P_{total} \text{ Basket 13 lamparas}}{\# \text{ de lamparas}} = \frac{1845 \text{ W}}{13} = 141.92 \text{ W/lámpara}$$

Con los cálculos obtenidos de la potencia individual de cada lámpara se procede a ejecutar un promedio para determinar una aproximación de la potencia a la que está operando cada lámpara.

$$P_{individual} = \frac{\sum P_{individuales}}{\# \text{ de potencias}} = \frac{177.17 + 150 + 134.5 + 168.46 + 141.92}{5} = 154.41 \frac{\text{W}}{\text{lámpara}}$$

2.4. Determinación de la iluminación para el coliseo de mecánica y la cancha de fútbol

Para poder determinar la iluminación necesaria de cada instalación se utilizará el software DIALux, el cual permite ingresar las características del coliseo y de la cancha para ejecutar un modelo de iluminación. Dentro de este programa es posible modelar el tipo de paredes y suelo que posee cada ambiente, el tipo de iluminación que puede ser interior o exterior, los obstáculos y objetos que afecten al flujo luminoso, seleccionar las lámparas, además de ofrecer un resumen detallado de los resultados lumínicos junto con una visión 3D de los ambientes.

2.4.1. Norma Utilizada

Para realizar un estudio de iluminación, existen requisitos mínimos a cumplirse dependiendo de la actividad o evento a desempeñarse. Para ello existen dos normas muy conocidas, la norma americana y la europea (norma española UNE-EN 12193, abril 2020). En el presente estudio se utilizará la norma europea, la cual cuenta con 3 diferentes clases dependiendo la exigencia visual requerida, a continuación, se las describe.

- Clase I: “Competición del más alto nivel. Competiciones nacionales e internacionales. Normalmente acude un gran número de espectadores y los recintos son grandes con distancias de visión potencialmente largas. Capacidad para jugar partidos televisivos.” [11]
- Clase II: “Competición de nivel medio, tal como competición regional o de club local que implica generalmente capacidades de tamaño medio de espectadores con distancias de visión medias. El entrenamiento de alto nivel se puede incluir también en esta clase.” [11]
- Clase III: “Competición de bajo nivel tal como competición local o de un club pequeño que generalmente no implica espectadores. El entrenamiento general, la educación física (deportes de colegios) y actividades recreativas están también en esta categoría.” [11]

Los requerimientos de la ESPOL encasillan el estudio luminoso en la clase II, tanto para la cancha de baloncesto y fútbol, en cambio la cancha de ping-pong requiere la clase III. Los valores mínimos requeridos quedan de la siguiente manera:

- La cancha de baloncesto localizada en el interior del coliseo debe tener una como mínimo una iluminancia horizontal promedio de 500 lx y un coeficiente de uniformidad horizontal medio de 0.5
- La cancha de ping-pong localizada en el interior del coliseo, debe tener una iluminación horizontal promedio de 300 lx y un coeficiente de uniformidad horizontal medio de 0.5
- La cancha de futbol localizada al frente de la FIEC, debe tener una iluminación horizontal promedio de 200 lx y un coeficiente de uniformidad horizontal medio de 0.6

2.4.2. **Especificaciones del coliseo antiguo**

El coliseo de ESPOL ubicado al frente de la facultad de mecánica posee dentro de sus instalaciones la cancha de baloncesto, utilizada para entrenamientos, competencias locales y regionales. Para poder determinar la iluminación correcta del coliseo es necesario conocer las características del mismo, para ello se debe establecer el color de las paredes y su textura, el color del suelo y el piso, y el tipo de instalación. Actualmente el coliseo se encuentra dividido en dos partes, la cancha principal donde se practica basquetbol y voleibol. La parte secundaria se utiliza para entrenamientos y enseñanza de pingpong. En las tablas 2.8 y 2.9 se especifican las características del coliseo dividido en las áreas de ping-pong y basquetbol.

Tabla 2.8. Dimensiones de la cancha de basquetbol dentro del coliseo y propiedades del suelo.

Dimensiones	L=32[m]; A=19[m]; h=12[m]
Tipo de suelo	Suelo de plástico, con predominancia de color celeste
Tipo de techo	Techo metálico, colores grises y marrón.
Tipo de paredes	Paredes de concreto, colores celeste y blanco.

Tabla 2.9. Dimensiones de la cancha de basquetbol y propiedades del suelo.

Dimensiones	L=22[m]; A=17[m]; h=12[m]
Tipo de suelo	Suelo de plástico, color marrón
Tipo de techo	Techo metálico, colores grises y marrón.
Tipo de paredes	Paredes de concreto, con colores beige.

La cancha de basquetbol junto con el área utilizada para practicar ping-pong se modelará como un solo estudio. Para ello es necesario saber los requerimientos antes

mencionados, la cancha de basquetbol tendrá una iluminancia media de 500 lx, mientras que la de ping-pong tendrá una iluminancia media de 300 lx. Esto es debido al tipo de competencia que se desarrolla en cada deporte dentro de la universidad. En cada estudio se utilizó un tipo de lampara diferente para determinar que luminaria cumple con los requerimientos necesarios. Las lámparas utilizadas fueron:

- Luminaria LEDVANCE High bay generación 2.
- Luminaria Soled High Bay UFO 09.
- Luminaria Shreder Indu bay generación 3

Para cada luminaria utilizada en el estudio se obtuvieron distintos resultados de iluminación que cumplen con los estándares impuestos por la norma UNE-EN12193. La luminaria que presente mejores resultados tanto técnicos como económicos será la mejor opción a instalar en el coliseo antiguo de ESPOL.

Para poder simular el estudio debemos crear un nuevo local en el software DIALux con las características del coliseo antiguo, esto incluye el tipo de local, textura y color de las paredes y suelo, dimensiones del lugar, objetos en el área de trabajo principal y ubicación de las lámparas. Con respecto a la ubicación de las luminarias se ha preferido utilizar los mismos parantes en los que se encuentran instaladas las lámparas actualmente utilizadas. La distancia entre cada lampara si será modificada de acuerdo al número de lámparas que se empleen. En la figura 2.1 se muestra el coliseo con las dimensiones y objetos que posee en el campo de juego.

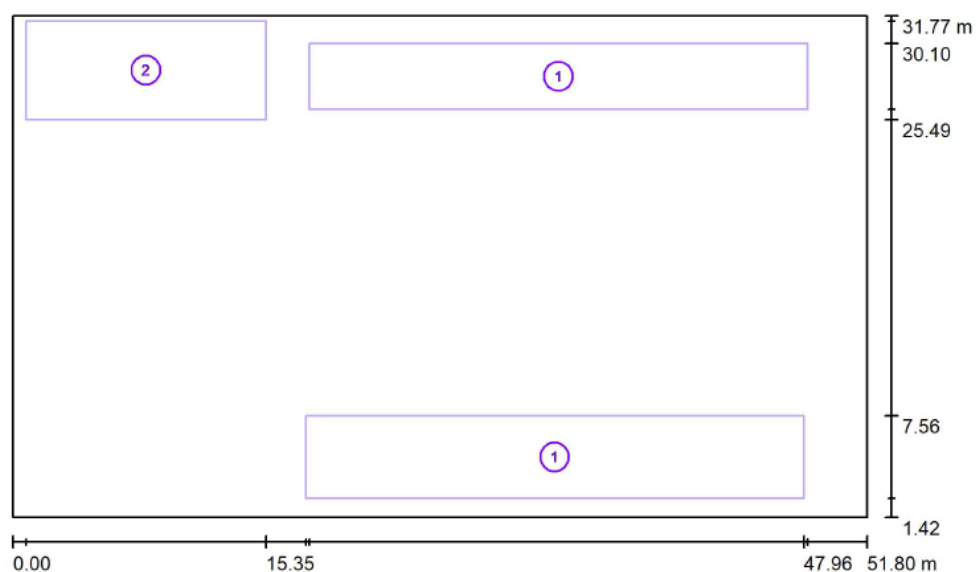


Figura 2.1. Dimensiones totales del coliseo antiguo de ESPOL. Las figuras geométricas con números representan los objetos y obstáculos dentro de la instalación.

En la figura 2.1 podemos observar las dimensiones totales del coliseo antiguo de Espol. En las áreas vacías que se ubican en el centro es donde están los espacios deportivos de basquetbol y ping-pong. Las figuras rectangulares con números representan los objetos que posee el coliseo en su interior. Las que poseen el numero 1 son las gradas para los espectadores y público general. El objeto con el numero 2 representa las duchas para los jugadores y entrenadores. En la figura 2.2 se presenta una visión 3D del coliseo para entender mejor su estructura.

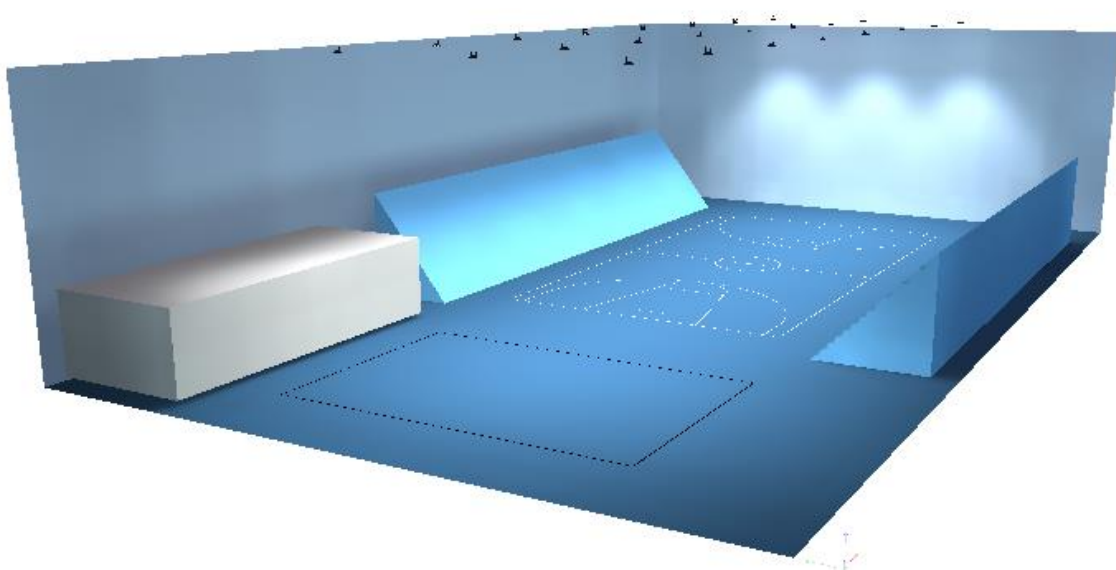


Figura 2.2. Vista 3D del coliseo antiguo de ESPOL. En la figura se pueden observar las escaleras y el área de duchas.

Los centros deportivos de ping-pong y basquetbol para el coliseo se ubican en la parte central del mismo. Para las áreas de deporte se deben cumplir los estándares antes mencionados y es ahí donde se realizará el respectivo estudio. Cada espacio deportivo posee sus dimensiones reglamentarias las cuales se especifican en la figura 2.3.

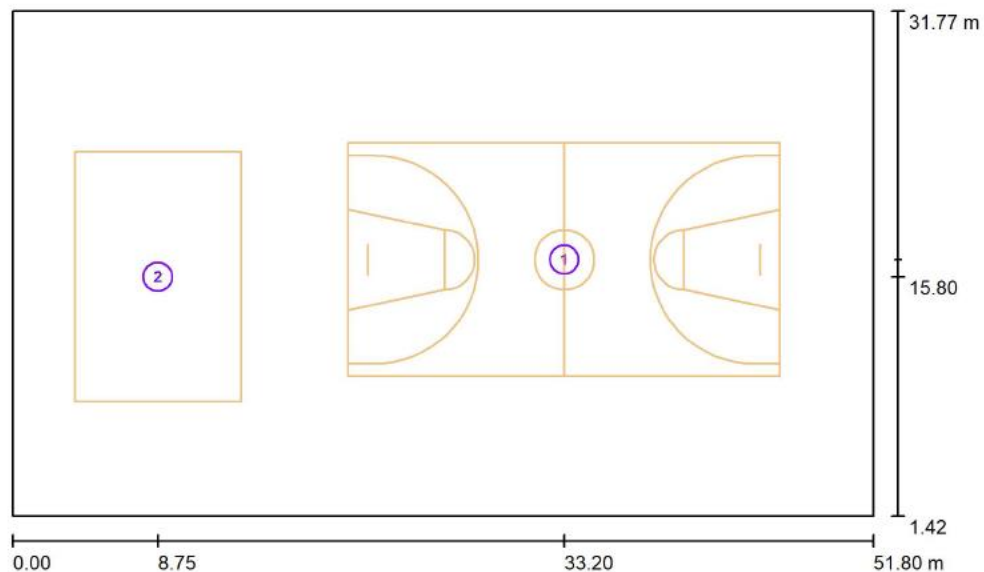


Figura 2.3. Ubicación de los centros deportivos dentro del coliseo antiguo de ESPOL.

En la figura 2.3 podemos observar la ubicación de los centros deportivos dentro del coliseo antiguo. La cancha de basquetbol es la que mayor área ocupa dentro del coliseo y deberá tener una iluminancia media de 500 lx, mientras que el área de ping-pong ubicada en la parte izquierda del coliseo deberá cumplir con una iluminancia media de 300 lx.

Características de las luminarias a evaluar

Luminaria LEDVANCE High Bay generación 2 en el coliseo antiguo.

La lampara High Bay generación 2 es fabricada por LEDVANCE y posee un flujo luminoso de 27.000 lm, se puede instalar para alturas entre los 8[m] a 16[m] y cumple con los protocolos de hermeticidad y resistencia. La lampara High Bay generación 2 es fabricada por LEDVANCE y posee un flujo luminoso de 27.000 lm, se puede instalar para alturas entre los 8[m] a 16[m] y cumple con los protocolos de hermeticidad y resistencia a golpes. En la tabla 2.10 se especifican las características de la luminaria LEDVANCE.

Tabla 2.10. Características de la Luminaria High Bay generación 2.

Potencia	200W
Flujo luminoso	27.000lm
Eficiencia luminosa	135lm/W
Temperatura de color	4000K
Angulo de apertura	110°
THD	<20%
Nivel de voltaje	240[V]

La altura a la que se instalará la luminaria será de 11,6[m], se dejará un espacio de 40[cm] entre el techo y la lámpara como zona de seguridad.



Figura 2.4. Luminaria LEDVANCE de 200W-27000lm. Imagen obtenida de DIALux en la hoja de datos de la luminaria.

La fotometría de la lámpara es extensiva y circular con un ángulo de apertura de 110°. Esto permitirá tener una mayor cantidad de luz en el área principal de los centros deportivos, puesto que la luz podrá distribuirse de mejor manera. La fotometría de la lámpara se muestra en la figura 10.

Emisión de luz 1:

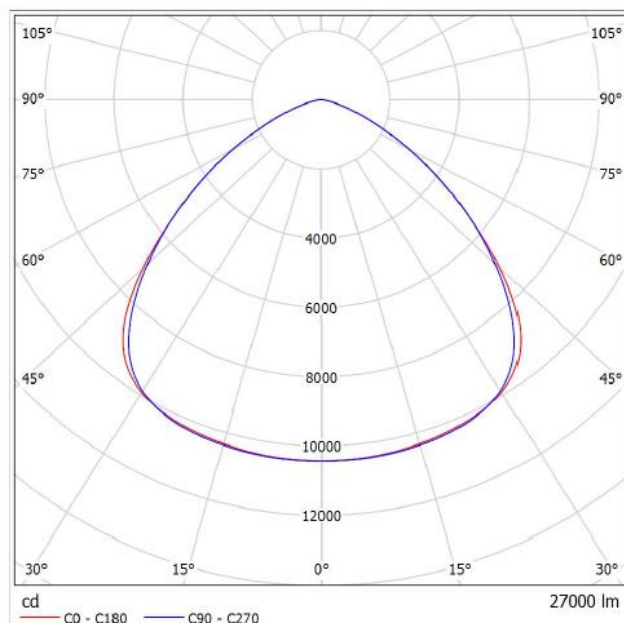


Figura 2.5. Fotometría de la lámpara LEDVANCE de 200W. Imagen obtenida del software DIALux.

Luminaria SCHRÉDER Indu Bay generación 3 en el coliseo antiguo.

La lámpara Indu Bay gen 3 de la marca Schröder tiene un flujo luminoso de 31.104 lm, con una potencia de 185 W. Su tiempo de vida útil promedio es de 75.000 horas. Está diseñada para iluminar alturas entre los 10 a 16 metros. En la tabla 2.11 se especifican las características más importantes.

Tabla 2.11. Características de la lámpara Shreder Indu Bay.

Potencia	185 W
Flujo Luminoso	31.104 lm
Voltaje nominal	220 – 240 V
Temperatura de color	4000 K
Dimensiones	Diámetro 400mm y Altura : 135mm
Peso	6.8 kg
Frecuencia	60Hz
Corriente nominal	104 mA
Resistencia de impactos	IK08
Hermeticidad conjunto óptico y eléctrico	IP66
Eficacia Luminosa	168 lm/W
Factor de Potencia	$0.92 \leq FP \leq 1$
THD	$\leq 16.4\%$

La altura a la que se instalará la luminaria será de 11,6[m], se dejará un espacio de 40[cm] entre el techo y la lampará como zona de seguridad.



Figura 2.6 Luminaria Schröder Indu Bay de 185W - 31104lm. Imagen obtenida de DIALux en la hoja de datos de la luminaria.

La fotometría de la lámpara es circular asimétrica, cada lámpara cuenta con 576 focos LEDs. En la figura 2.7 se muestra la distribución de la fotometría.

Emisión de luz 1:

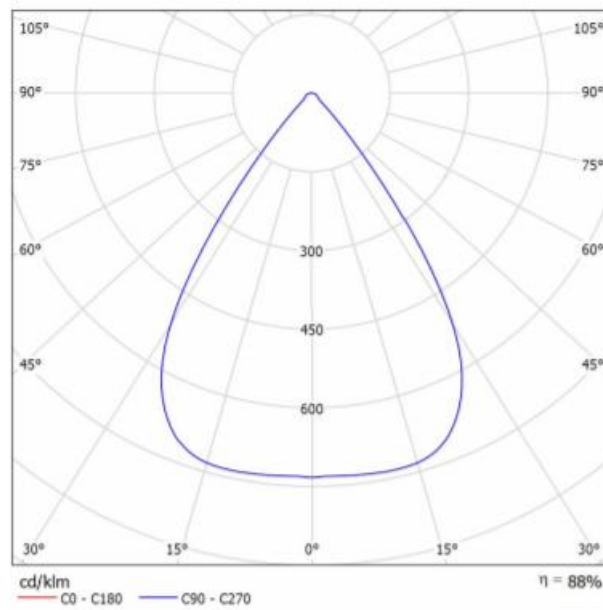


Figura 2.7 Fotometría de la lámpara Schröder de 185W. Imagen obtenida del software DIALux.

Luminaria Soled High Bay UFO 09 en el coliseo antiguo.

Cada lámpara Soled High Bay UFO 09 tiene una potencia de 150 W, trabaja a un voltaje de 220-240V y tiene un flujo luminoso de 25.500 lm. Su vida útil promedio es de 50.000 horas. En la tabla 2.12 se detallan las características principales de la lámpara Soled.

Tabla 2.12. Características de la luminaria Soled High Bay UFO.

Potencia	150 W
Flujo Luminoso	25.500 lm
Voltaje nominal	220 – 240 V
Temperatura de color	5000 K
Dimensiones	Diámetro 320mm y Altura : 190mm
Peso	4.8 kg
Frecuencia	60Hz
Resistencia de impactos	IK07
Hermeticidad conjunto óptico y eléctrico	IP65
Eficacia Luminosa	170 lm/W
Factor de Potencia	$0.95 \leq FP \leq 1$

El diseño constructivo se lo presenta en la figura 2.8 y la distribución de la fotometría en la figura 2.9. La altura a la que se instalará la luminaria será de 11,6[m], se dejará un espacio de 40[cm] entre el techo y la lámpara como zona de seguridad.



Figura 2.8 Soled High Bay UFO 09 – 25.500 lm. Imagen obtenida del catálogo de Soled.

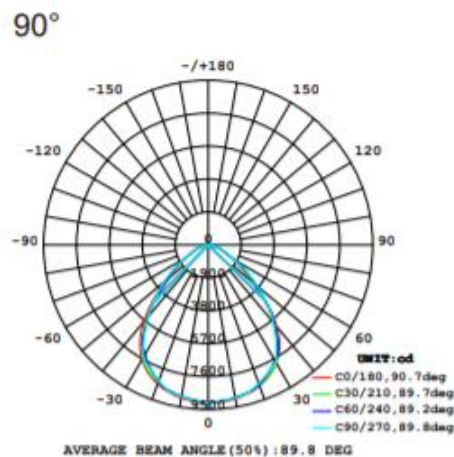


Figura 2.9 Fotometría de la lámpara Soled de 150W. Imagen obtenida del Catálogo de Soled.

2.4.3. Especificaciones de la cancha de futbol

La cancha de futbol de ESPOL se encuentra ubicada frente a FIEC, se utiliza para competencias de tipo local y regional. Es una cancha que cumple con las dimensiones reglamentarias en la cual pueden jugar 11 jugadores de cada equipo. Posee césped natural con una baja capacidad para reflejar la luz que incide sobre el suelo, menor al 10%. Para poder determinar la iluminación correcta de la cancha de futbol es necesario conocer las características de la misma, para ello se debe establecer el color del suelo, el área principal y el área total, además seguir los estándares de la norma europea para iluminación exterior. En la tabla 2.13 se especifican las características de la cancha de futbol.

Tabla 2.13. Dimensiones de la cancha de futbol y características del suelo.

Dimensiones del área principal	L=101.5[m]; A=54.81[m]
Dimensiones del área total	L=108[m]; 61.53[m]
Tipo de suelo	Suelo de césped natural
Postes con puntos de luz	Postes de hormigón, con una altura de 14[m]

En la figura 2.10 se puede observar las dimensiones de la cancha de futbol junto la ubicación de cada uno de los postes instalados en la cancha con su respectivo espaciamiento.

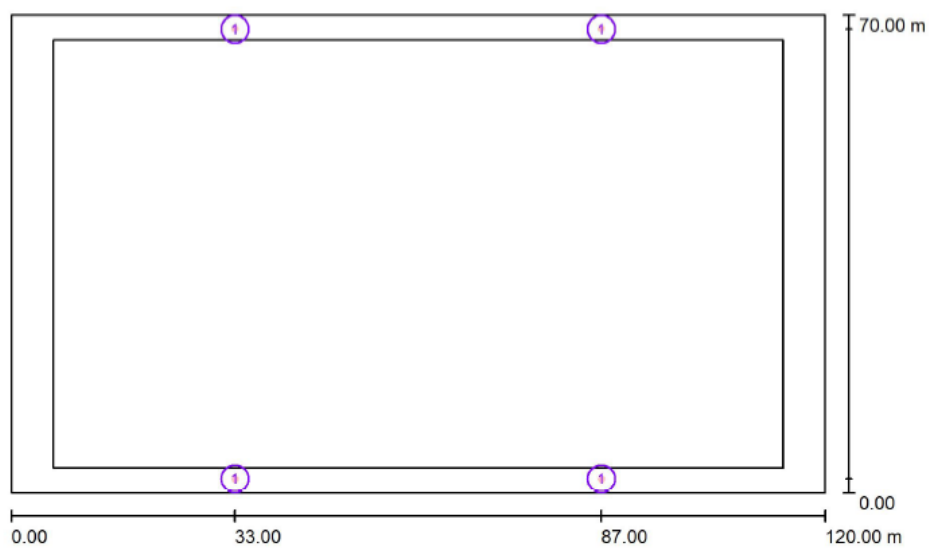


Figura 2.10. Ubicación de la cancha de fútbol con las dimensiones y la ubicación de los postes para las luminarias.

En la figura 2.10 se observa el área total que ocupa la cancha de fútbol de ESPOL. Dentro de esta área se ubicará el centro deportivo, los postes respetan la distancia de seguridad mínima con respecto a la cancha, esta distancia es de 2[m]. El poste de hormigón tiene una altura de 14[m] pero las lámparas no se ubicarán a una altura de 14[m]. Se tendrán dos grupos de luminarias, a diferentes alturas cada grupo para conseguir la distribución lumínica necesaria para la cancha.

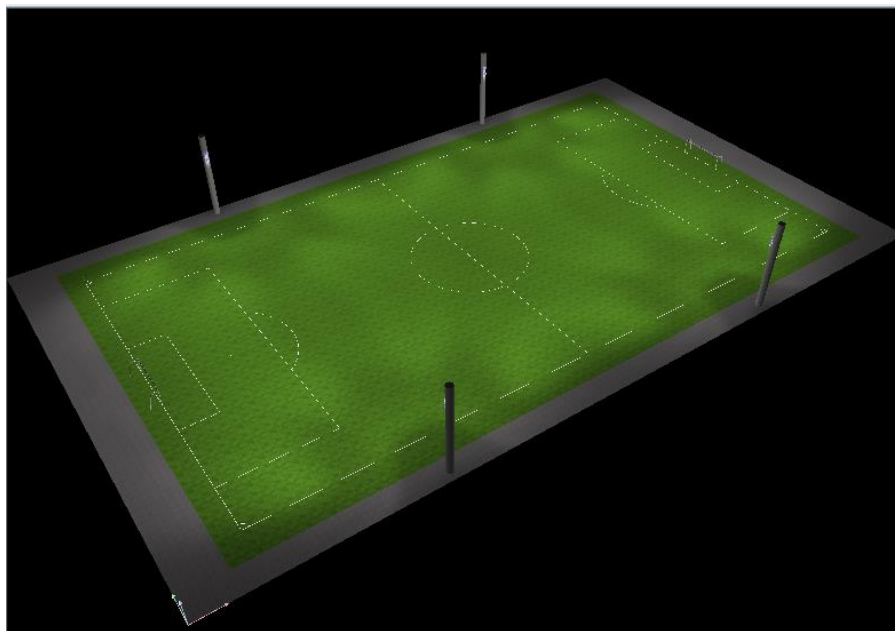


Figura 2.11. Vista 3D de la cancha de fútbol de ESPOL.

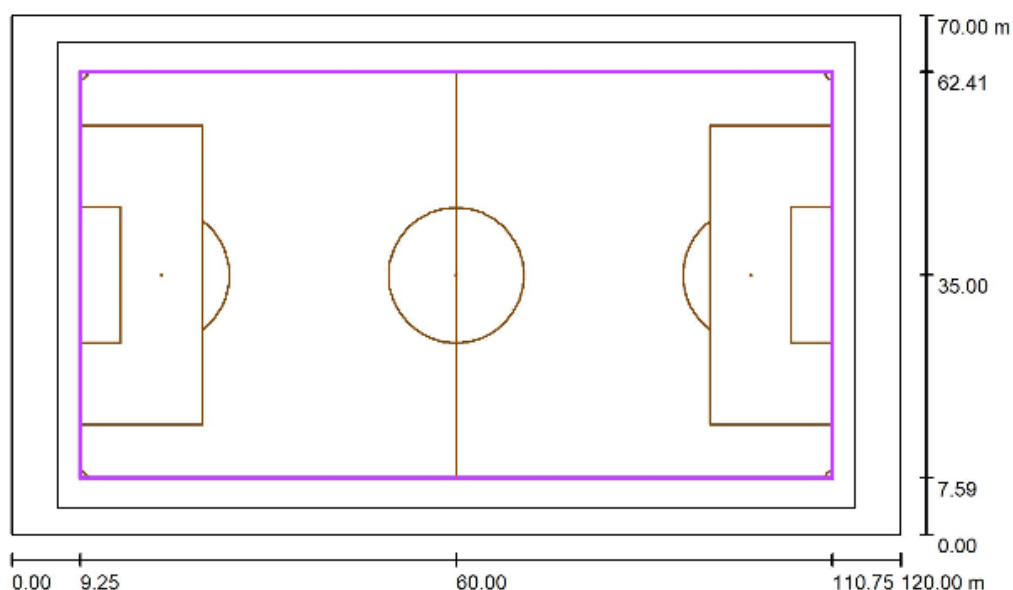


Figura 2.12. Dimensiones de la cancha de fútbol ubicada en ESPOL.

La figura 2.11 presenta una vista 3D de la cancha de fútbol que se encuentra en ESPOL, posee cuatro postes de hormigón ubicados a lo largo del terreno. La figura 2.12 presenta las dimensiones del área principal que tendrá que cumplir con los luxes necesarios una vez instaladas las luminarias.

Características de la luminaria a evaluar

Luminaria Soled He Flood Light de la cancha de fútbol.

El reflector Soled es de 300 W, con un flujo luminoso de 54.000 lm, trabaja a un voltaje de 220V y tiene un tiempo de vida promedio de 50.000 horas. Cumple con dos normas de protección para golpes y de hermeticidad, el grado es de IK08 e IP67 respectivamente. La eficiencia es de 180 lm/W con una distribución óptica de 30 grados. En la tabla 2.14 se presentan las características más importantes.

Tabla 2.14. Características de la luminaria Soled He Flood Light

Potencia	300 W
Flujo Luminoso	54.000 lm
Voltaje nominal	220 – 240 V
Temperatura de color	5000 K
Dimensiones	Diámetro 481mm y Altura : 372mm
Peso	4.8 kg
Frecuencia	60Hz
Resistencia de impactos	IK08
Hermeticidad conjunto óptico y eléctrico	IP67
Eficacia Luminosa	180 lm/W
Factor de Potencia	$0.95 \leq FP \leq 1$



Figura 2.13. Soled He Flood Light – 54.000 lm. Imagen obtenida del catálogo de Soled.

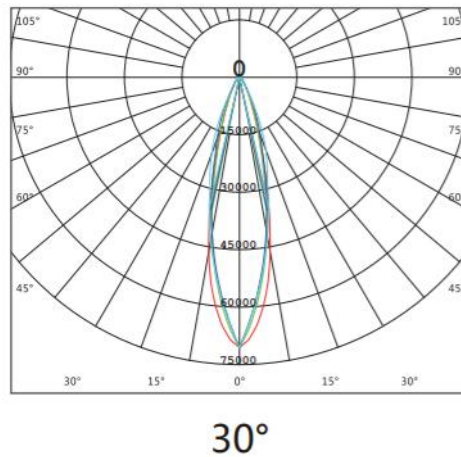


Figura 2.14. Fotometría de la lámpara Soled de 300 W. Imagen obtenida del Catálogo de Soled.

2.5. Estudios lumínicos de cada lámpara

Para la realización del estudio lumínico se emplea el software DIALux, donde se obtendrán los valores de uniformidad, iluminancia media y flujo luminoso necesarios para cada instalación. A continuación, se presentarán los estudios realizados con cada luminaria.

2.5.1. Luminaria LEDVANCE High bay generación 2.

Para obtener una distribución uniforme las lámparas poseen una separación de 6 [m] a lo largo y de 4 [m] a lo ancho. De tal forma ocupan las áreas centrales de los espacios deportivos designados para pingpong y basquetbol. En la figura 2.15 se puede observar

esta separación entre cada punto de luz, donde se indican los espacios de separación en el plano de trabajo.

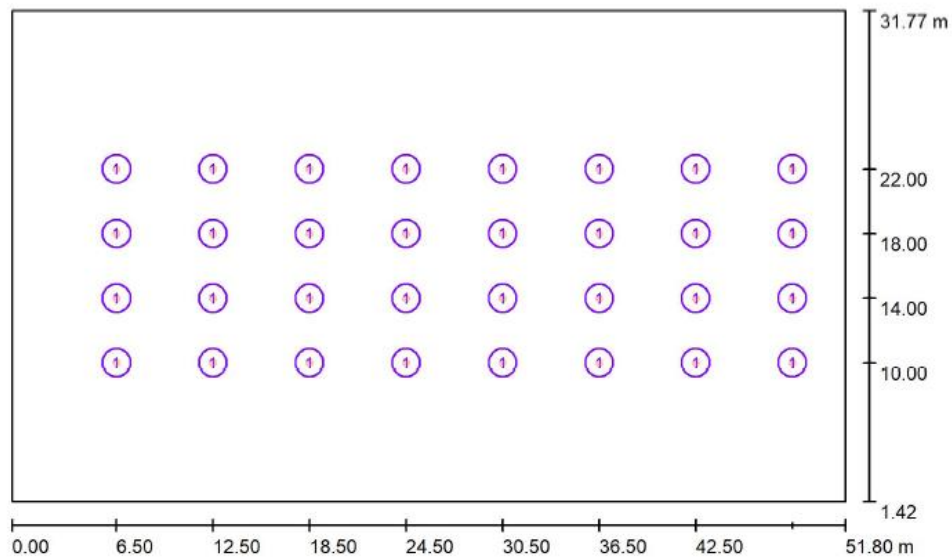


Figura 2.15. Distribución de las luminarias dentro del área que ocupan los centros deportivos de basketbol y ping-pong.

Al realizarse el estudio luminoso con las lámparas Ledvance High bay gen 2 se logró llegar a una iluminancia media de 402 lx en el plano útil (piso del coliseo). En la figura 2.16 se muestra la distribución lumínica alrededor del área de la misma. Podemos notar en la tabla 2.15 la iluminancia media, máxima, mínima, factor de reflexión y el coeficiente de uniformidad horizontal para cada superficie del coliseo.

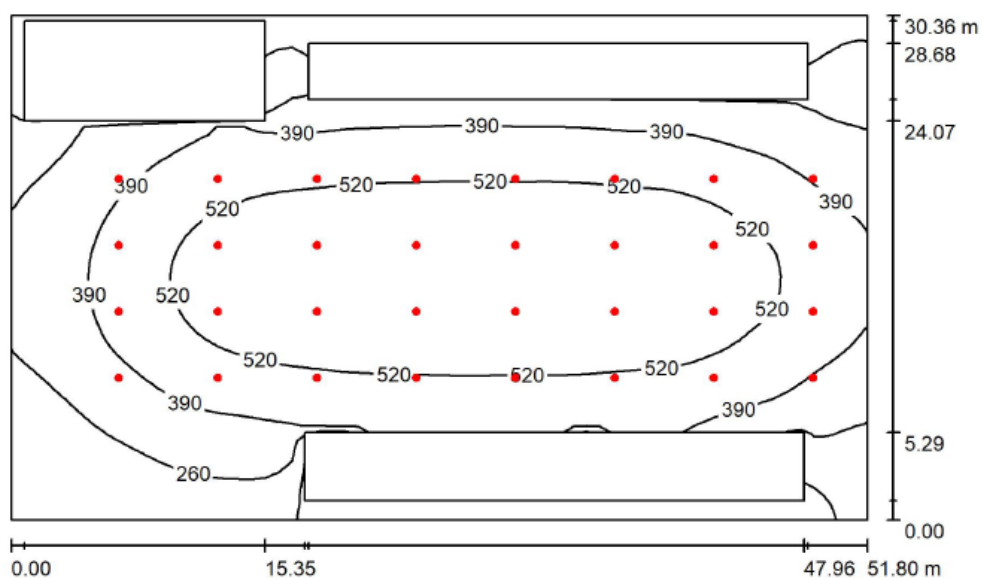


Figura 2.16. Distribución de la luz sobre toda la superficie del coliseo.

Tabla 2.15. Tabla de resultados lumínicos de la superficie general del coliseo.

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
Plano util	/	402	17	635	0,043
Suelo	31	367	5,52	607	0,015
Techo	7	112	55	145	0,494
Paredes (4)	61	117	13	391	/

Para lograr cumplir con los parámetros estipulados en la norma, se ha requerido colocar un total de 32 luminarias de 27.000 lm cada una, teniendo así un total de 864.000 lm de flujo luminoso. En la tabla 2.16 se lo detalla de mejor manera.

Tabla 2.16. Número de lámparas a utilizar y potencia total instalada.

N°	Pieza	Designación	Φ (luminaria)[lm]	Φ (lámpara)[lm]	Potencia [W]
1	32	LEDVANCE 4058075074385 HIGH BAY GEN 2 200 W 4000 K 110DEG IP65 BK (1.000)	27000	27000	200
		Total	864000	864000	6400

Baloncesto área principal, resultados lumínicos

Tomando en cuenta solo el área de la cancha de baloncesto, el software DIALux calculó los valores de iluminancia según se muestran en la tabla 2.17. Podemos apreciar que los valores cumplen con la norma establecida anteriormente.

Tabla 2.17. Resultados de iluminancia y uniformidad de la superficie para el área de basquetbol.

N°	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
1	Horizontal	539	402	603	0,75

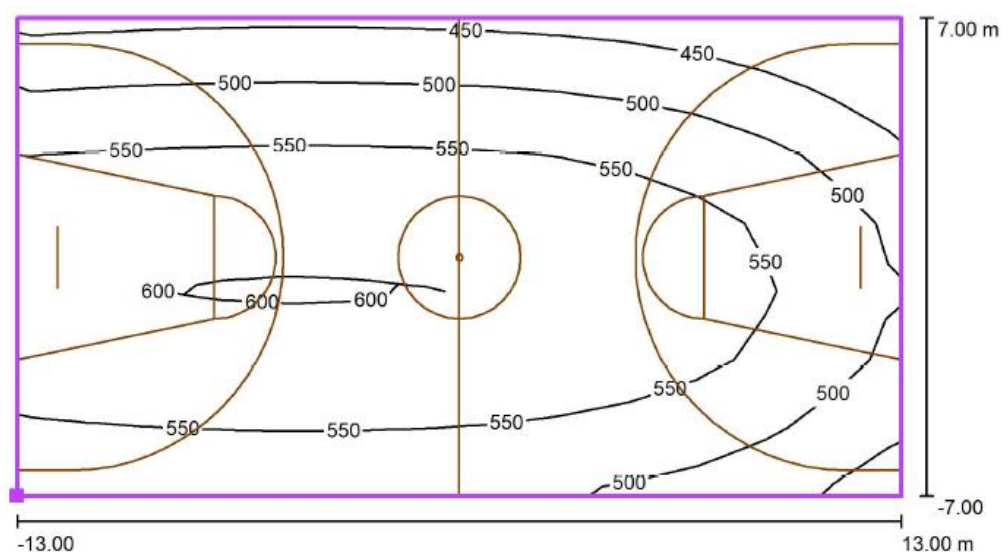


Figura 2.17. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de la cancha de basquetbol.

En la figura 2.17 se representan los valores de la iluminancia horizontal distribuidas a lo largo de la cancha, podemos notar que la mayoría de los valores supera los 500 lx, aproximándose al borde de la cancha disminuye un poco su valor, siendo el más bajo de 402 lx. En la figura 2.19 se aprecia algo similar, esta vez en escala de grises.

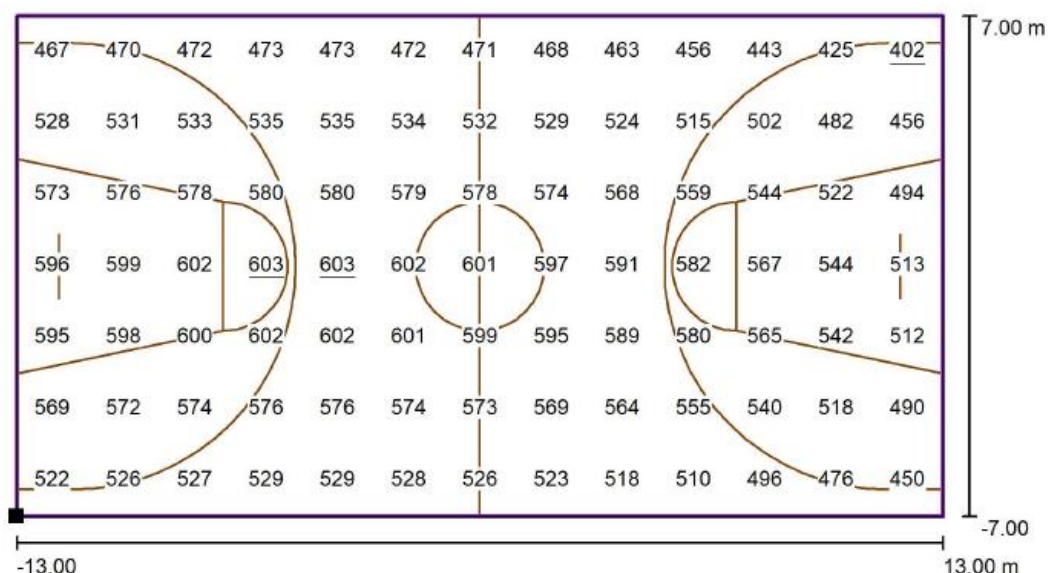


Figura 2.18. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de baloncesto.

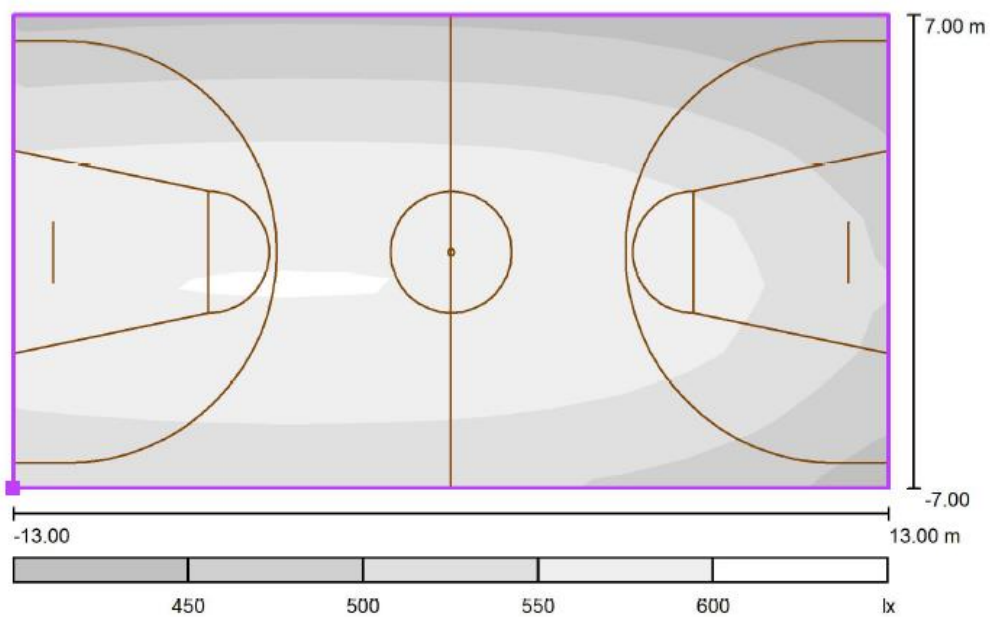


Figura 2.19. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de la cancha de basquetbol.

Ping-pong área principal, resultados lumínicos.

Realizamos el mismo análisis solo para la cancha de ping-pong, se logró obtener un valor de 427 lx de iluminancia promedio, mucho mayor al de la norma, tal como se muestra en la tabla 2.18.

Tabla 2.18. Resultados de iluminancia y uniformidad para el área de ping-pong.

N°	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
1	Horizontal	427	289	548	0,68

En las figuras 2.20, 2.21 y 2.22 se aprecia la iluminancia distribuida a lo largo de toda el área de la misma. Podemos notar que alrededor de la cancha siempre se mantuvo valores mayores a los 300 lx, inclusive en las esquinas de la cancha; también se muestra la distribución con la escala de grises del área.

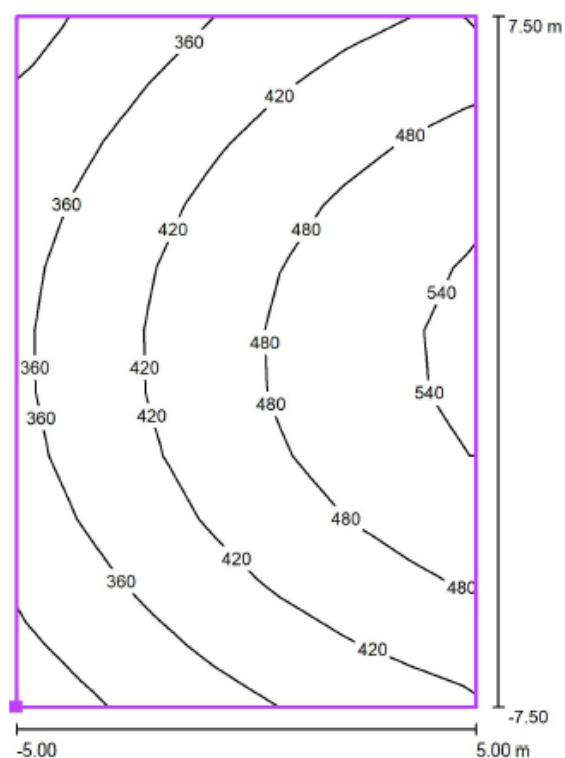


Figura 2.20. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de pingpong.

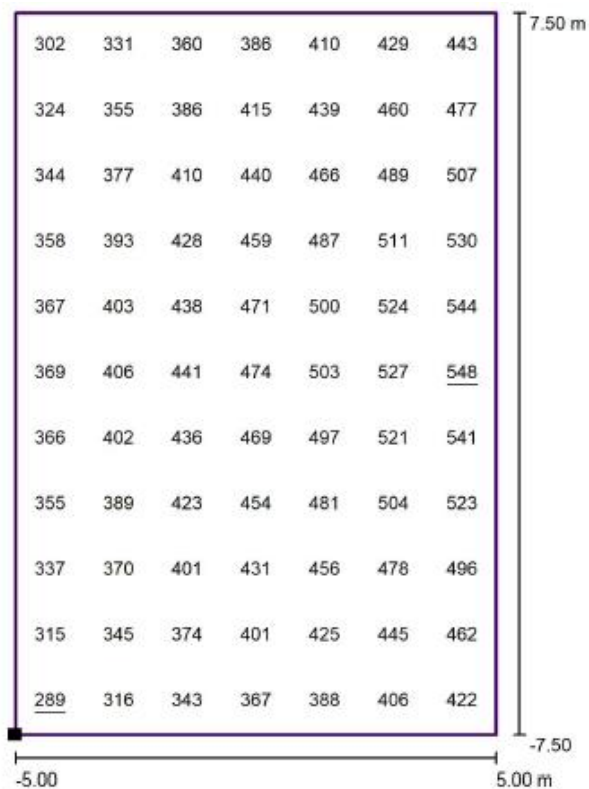


Figura 2.21. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.

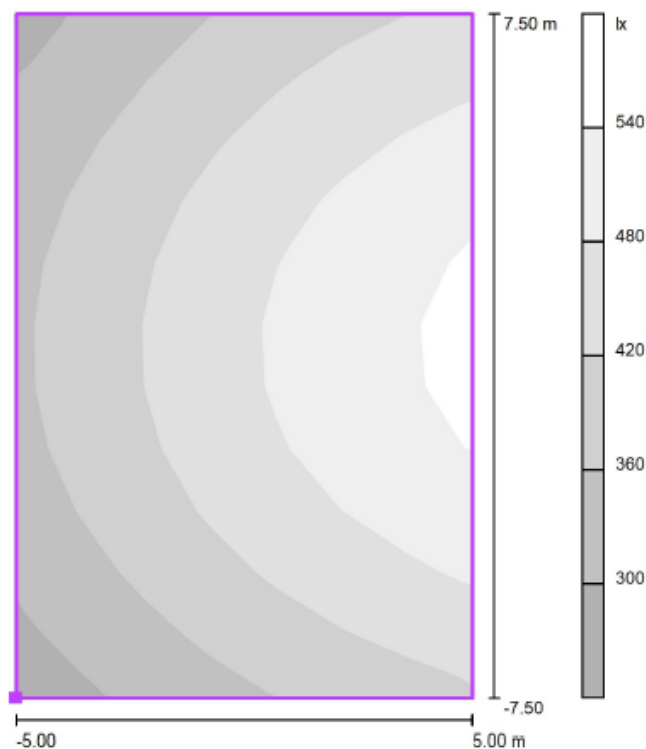


Figura 2.22. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.

2.5.2. Luminaria Soled High Bay UFO 09.

En la figura 2.23 se muestra la distribución lumínica de la luz sobre el coliseo de ESPOL, con los objetos que se encuentran dentro del establecimiento. La distribución se muestra a través de curvas de nivel que indican los luxes que posee esa superficie a la misma altura. La luz no es capaz de cubrir de manera perfecta las esquinas del coliseo, pero eso no sería un problema puesto que lo importante es que las áreas deportivas, ubicadas en el centro del coliseo cumplan con el nivel de luxes reglamentarios.

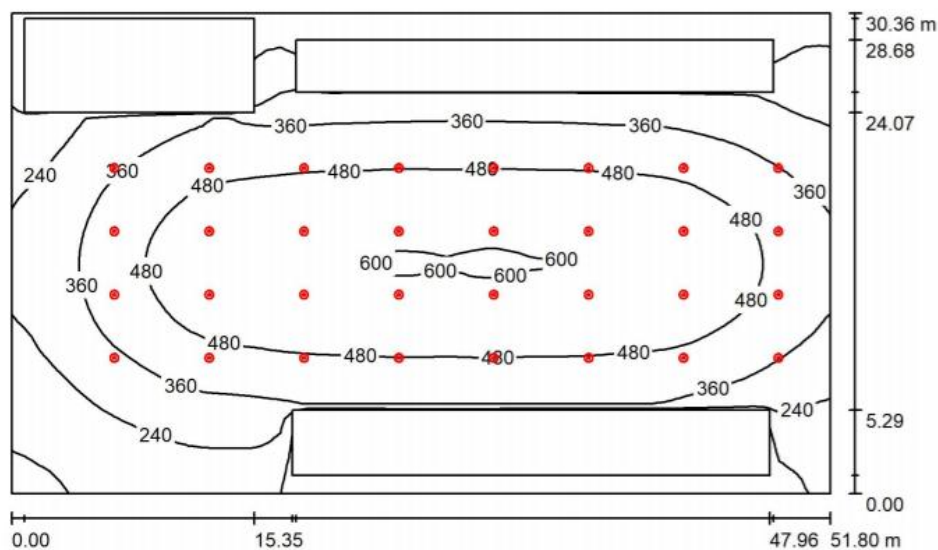


Figura 2.23 Distribución de la luz sobre toda la superficie del coliseo.

Tabla 2.19. Resultados de iluminancia media de la superficie general del coliseo.

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
Plano útil	/	377	15	605	0,039
Suelo	31	345	4,87	579	0,014
Techo	7	102	52	151	0,510
Paredes (4)	61	108	12	336	/

Tabla 2.20. Cantidad de lámparas a utilizar y potencia instalada.

N°	Pieza	Designación	Φ (luminaria)[lm]	Φ (lámpara)[lm]	Potencia [W]
1	32	Soled HB-UFO-09-150 150 W 5000 K IP65 BK (1.000)	27000	27000	150
		Total	864000	864000	4800

En las tablas 2.19 y 2.20 se tiene las características generales del coliseo con la instalación de la luminaria Soled UFO 09. El factor de reflexión (ρ) será mismo para todos los casos, independientemente del uso de cualquier lámpara. En este caso los valores de iluminancia media son bajos debido a que los cálculos efectuados se realizaron para todo el local. Se presenta también la potencia instaladas de estas lámparas y el flujo luminoso individual y total.

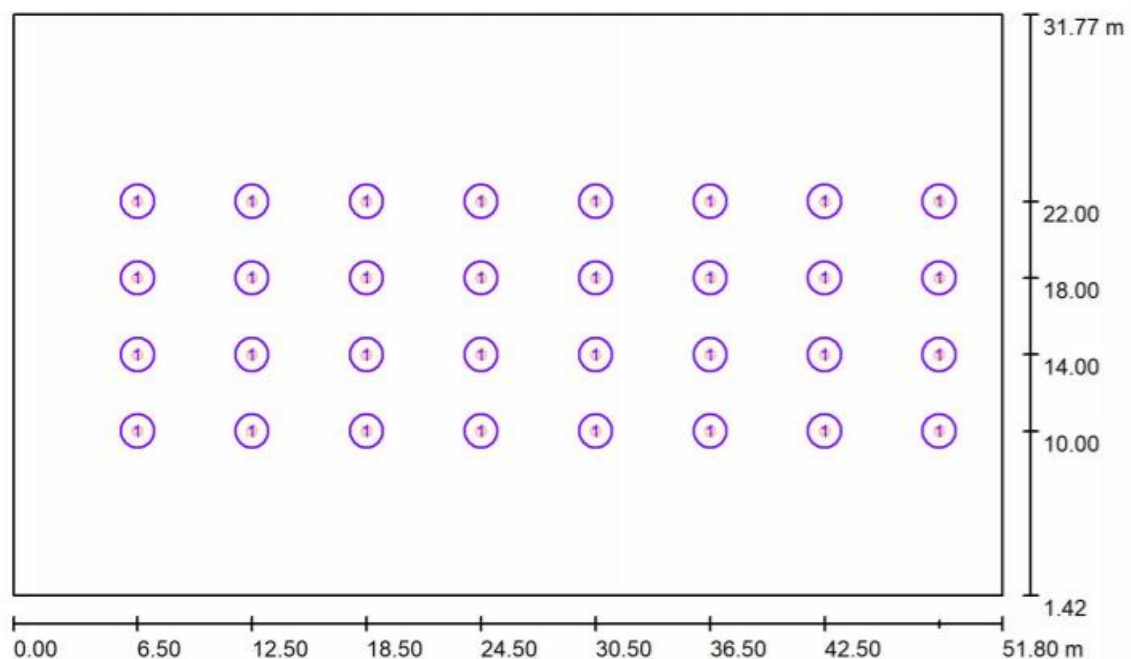


Figura 2.24 Distribución de las luminarias dentro del área que ocupan los centros deportivos de basquetbol y pingpong.

La distribución geométrica y espacial de las luminarias se observa en la figura 2.24. Para propósitos prácticos se prefiere utilizar el espaciado horizontal que existe entre cada parante o viga que posee el coliseo. Mientras que de manera vertical cada luminaria se ubica a 4 [m] una de la otra.

Baloncesto área principal, resultados lumínicos

Tabla 2.21. Resultados de iluminancia media y uniformidad en el área de basquetbol.

N°	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
1	Horizontal	513	380	576	0,74

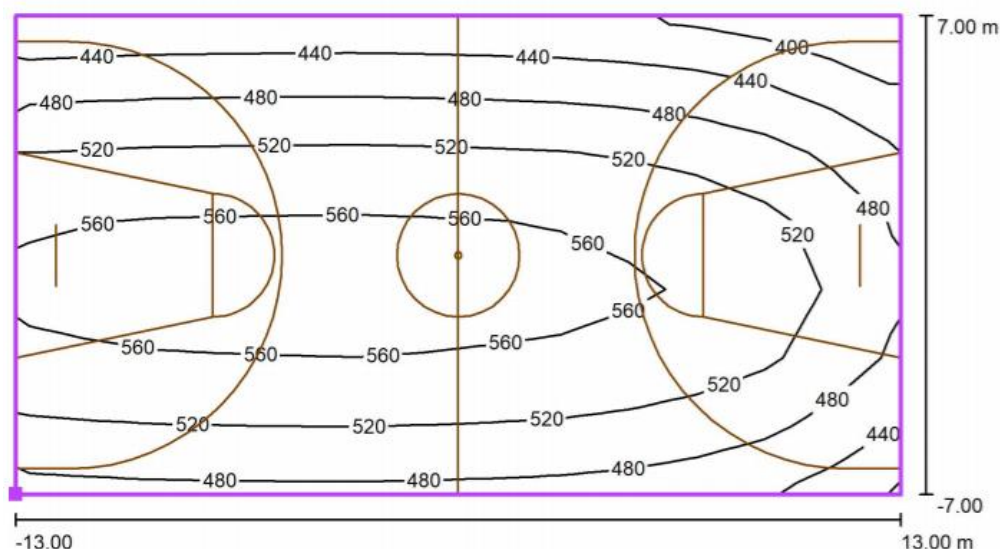


Figura 2.25 Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de la cancha de basquetbol.

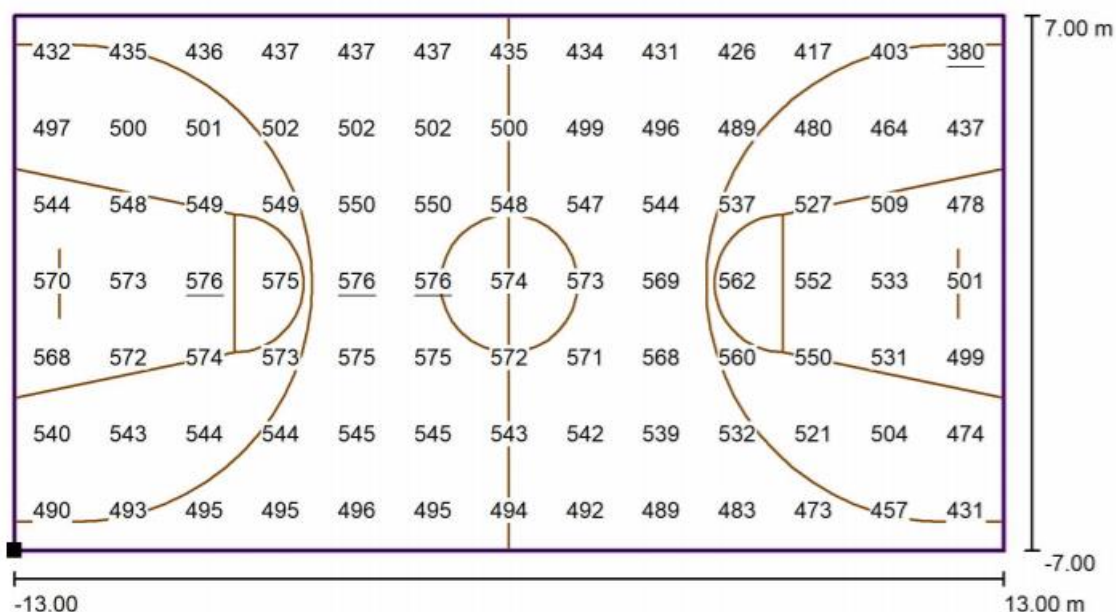


Figura 2.26 Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de baloncesto.

La tabla 2.21 presenta los valores de iluminancia media, mínima, máxima y uniformidad del área principal de la cancha de basquetbol. Lo importante para este centro deportivo es cumplir con los luxes indicados por la norma. En la figura 2.26 se muestran los valores puntuales de iluminancia que posee la cancha, están ordenados en forma de matriz y DIALux nos indica en que puntos se tiene los menores y mayores valores. La figura 2.27 muestra un modelo del área de juego a escalas de grises donde es posible observar los

puntos en donde se tendrá menor iluminancia de acuerdo a la escala indicada en la figura.

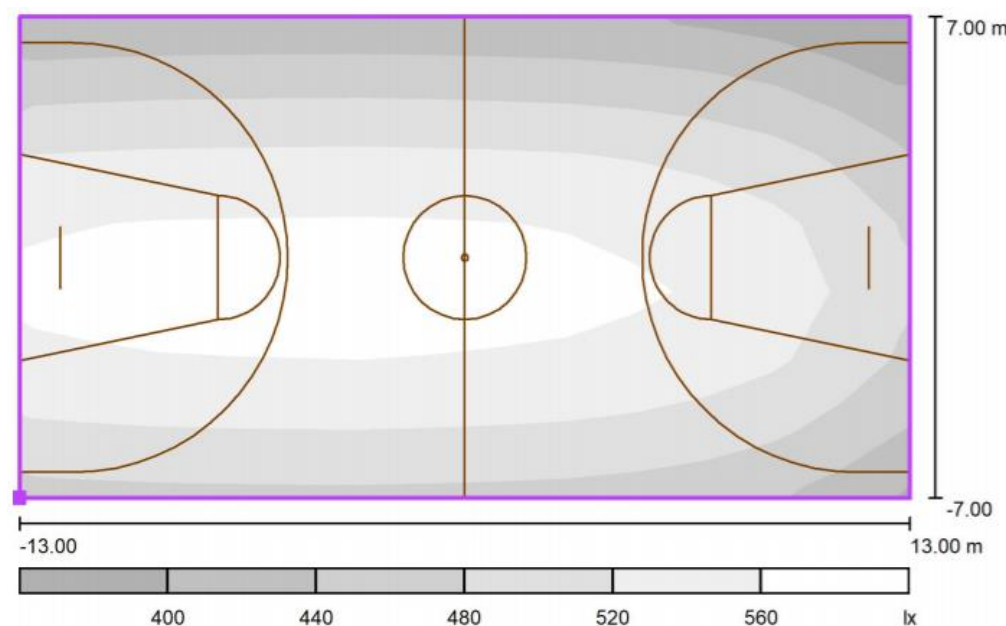


Figura 2.27 Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de la cancha de basquetbol.

Ping-pong área principal, resultados lumínicos.

Tabla 2.22. Resultados de iluminancia del área de ping-pong.

N°	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
1	Horizontal	411	268	537	0,65

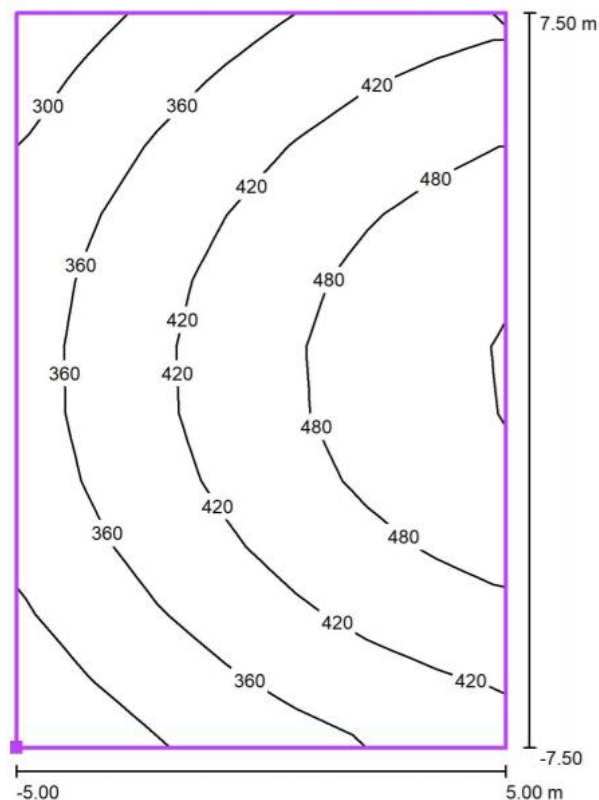


Figura 2.28 Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de pingpong.

En la tabla 2.22 se presentan los valores de iluminancia media, máxima, mínima y uniformidad que posee el área deportiva utilizada para pingpong. En la figura 2.28 se muestran las curvas de niveles de iluminancia sobre la superficie del terreno de juego. En la figura 2.29 se tienen los valores de iluminancia en cada punto de cálculo sobre el área deportiva. Al ser un lugar con menor área y al ejecutarse el deporte sobre mesas la iluminancia media ya no será tan elevada como el caso de la cancha de fútbol, esto también depende del nivel de competición.

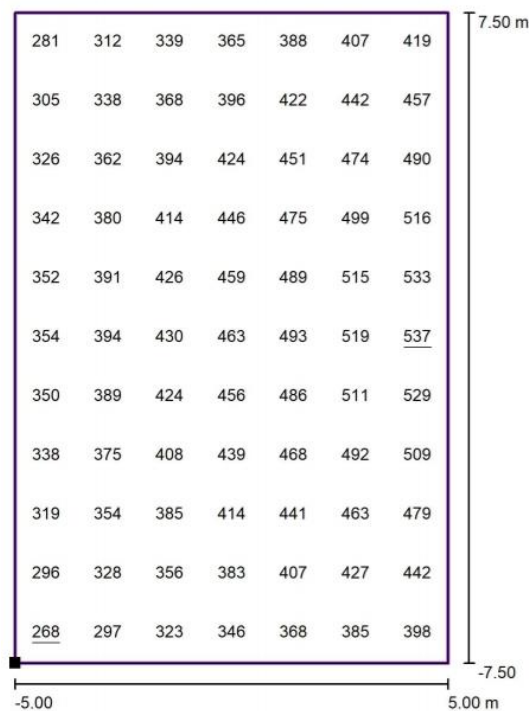


Figura 2.29 Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.

La escala de grises para el área de pingpong se muestra en la figura 2.30. Es un gráfico que aporta al mejor entendimiento sobre la dispersión de la luz en el área deportiva. Se puede determinar que los lugares con tonos más grises serán los más oscuros y viceversa para los lugares con tonos más claros.

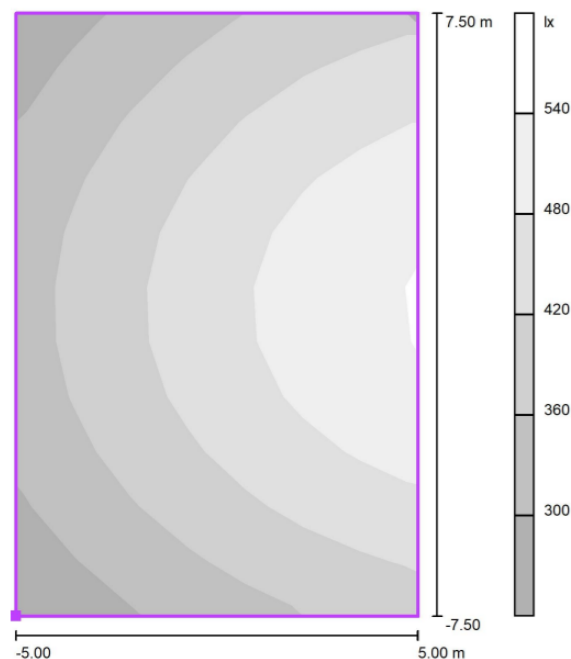


Figura 2.30 Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.

2.5.3. Luminaria Shröder Indu bay generación 3

La luminaria Shröder indu bay gen 3 nos permitió tener solo 24 lámparas a diferencia de las otras marcas que se requería 32 luminarias para cumplir con los valores mínimos de la norma. Podemos apreciar en la figura 2.31 como se distribuye la luz a lo largo de todo el coliseo.

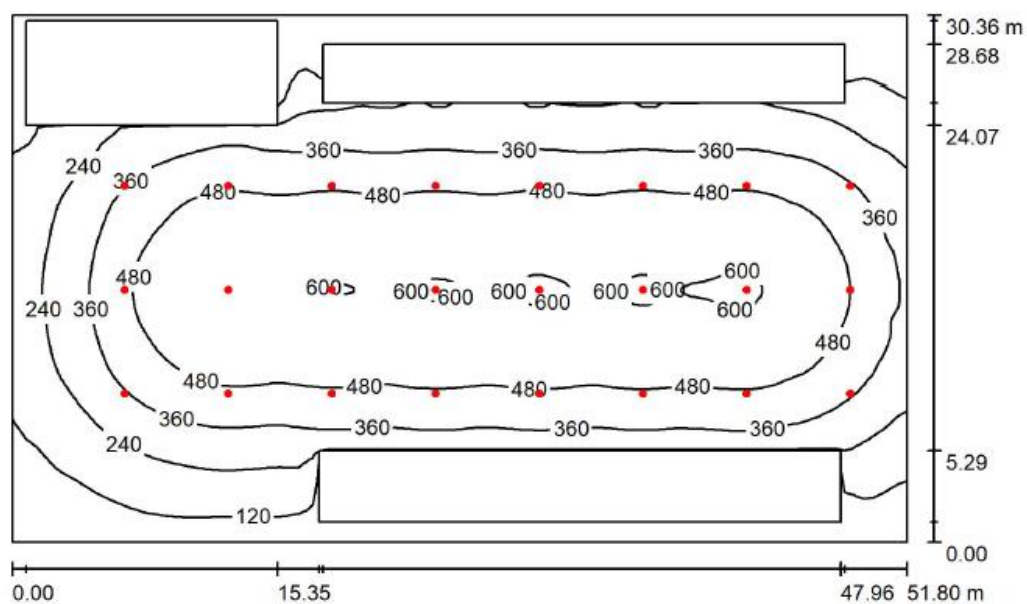


Figura 2.31 Distribución de la luz sobre toda la superficie del coliseo.

En la Tabla 2.23 se añadieron los datos obtenidos de la simulación en DIALux, con 24 lámparas de 27.384 lm cada una se obtuvo una iluminancia media de 366 lx en el plano útil del coliseo. La potencia total que se requirió para iluminar y cumplir la norma es de 4440 W la cual genera el menor consumo entre las otras lámparas comparadas.

Tabla 2.23. Resultados de iluminancia sobre la superficie general del coliseo.

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
Plano útil	/	366	8,46	606	0,023
Suelo	31	340	4,14	600	0,012
Techo	7	80	38	112	0,473
Paredes (4)	61	55	11	236	/

Tabla 2.24. Cantidad de lámparas a utilizar y potencia instalada.

N°	Pieza	Designación	Φ (luminaria)[lm]	Φ (lámpara)[lm]	Potencia [W]
1	24	SCHREDER INDU BAY GEN3 2 / 6399 / 576 LEDs 104mA CW 857 185W / Circular / 418312 (1.000)	27384	31104	185
		Total	657211	746496	4440

En la figura 2.32 se muestra la distancia entre cada lámpara, con su respectiva medida en metros, tanto para el plano horizontal como vertical.

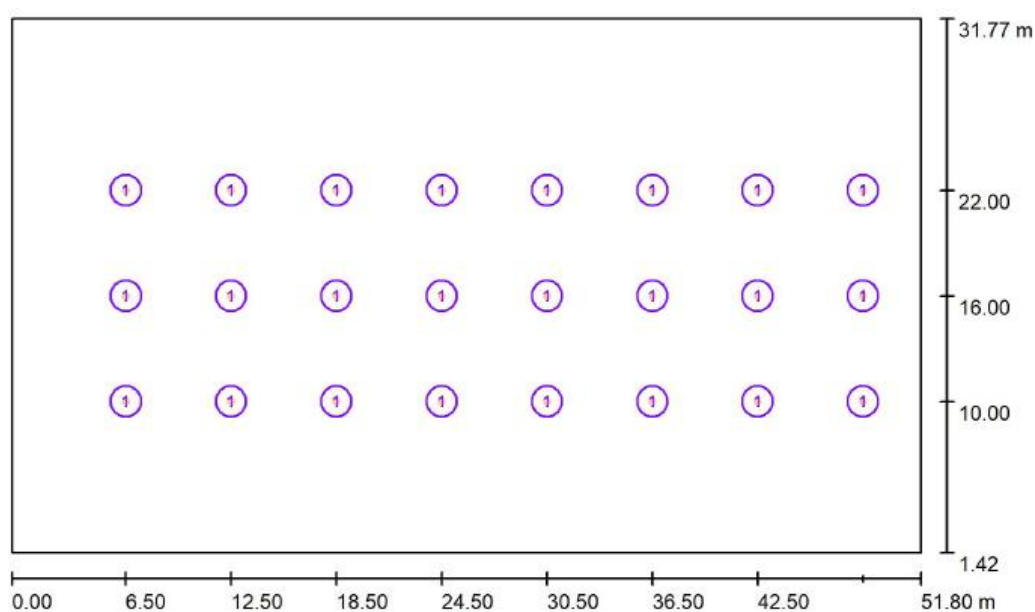


Figura 2.32. Distribución de las lámparas en el coliseo utilizando la luminaria Shröder.

Baloncesto área principal, resultados lumínicos

La simulación correspondiente solo al área de la cancha de baloncesto se la representó en la tabla 2.25, se obtuvo una iluminancia media de 523 lx.

Tabla 2.25. Resultados de iluminancia y uniformidad sobre el área de basquetbol.

N°	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
1	Horizontal	523	395	596	0,75

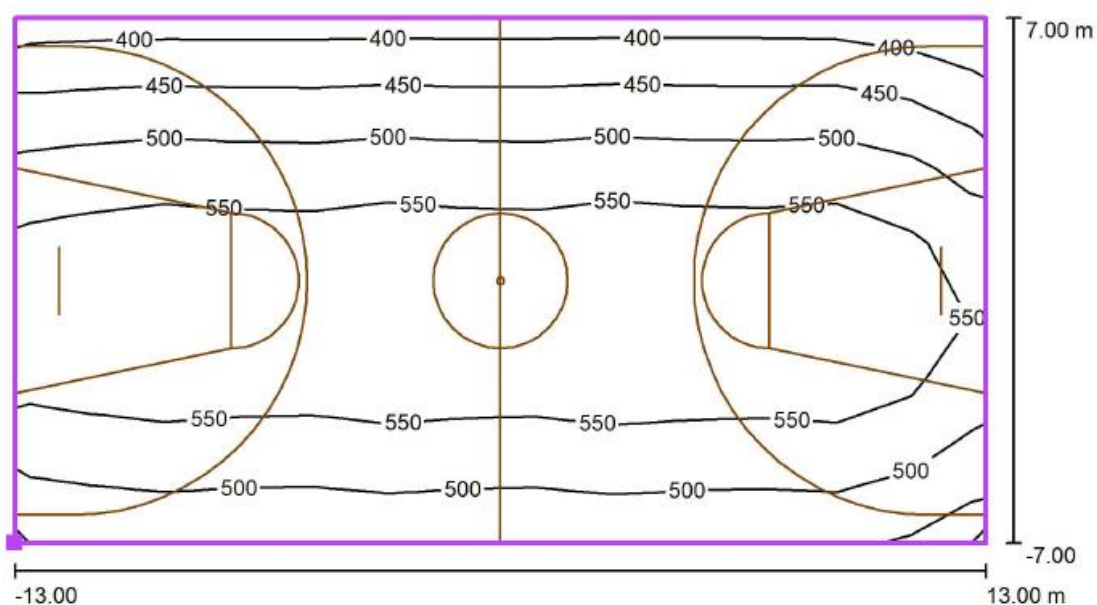


Figura 2.33. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de la cancha de basquetbol.

En las figuras 2.33, 2.34 y 2.35 se aprecia de una forma más específica la distribución de la iluminancia en toda el área de la cancha de baloncesto, también contamos con la escala de grises con el tono según sea la intensidad de la iluminancia.

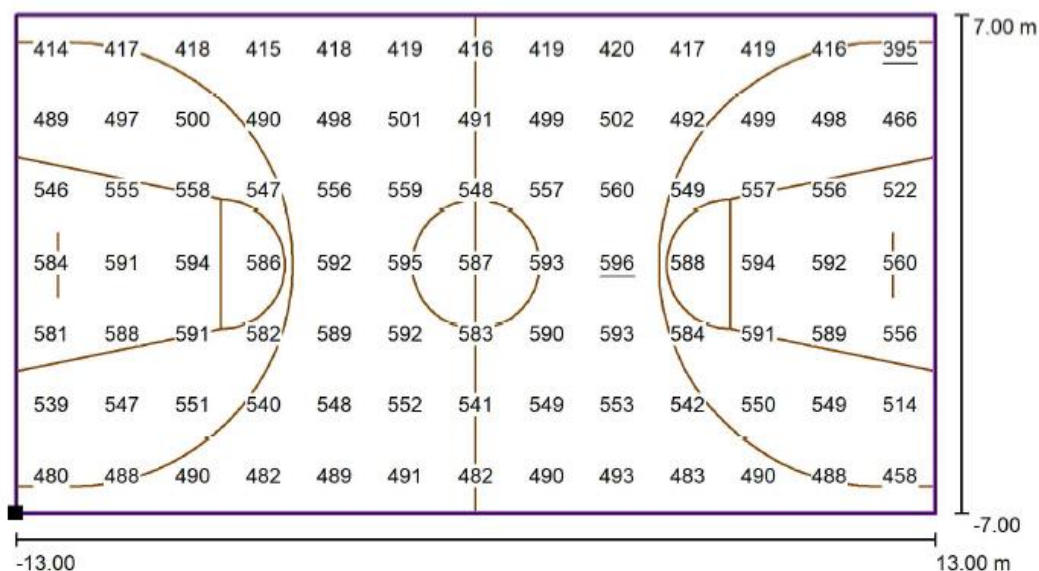


Figura 2.34. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de baloncesto.

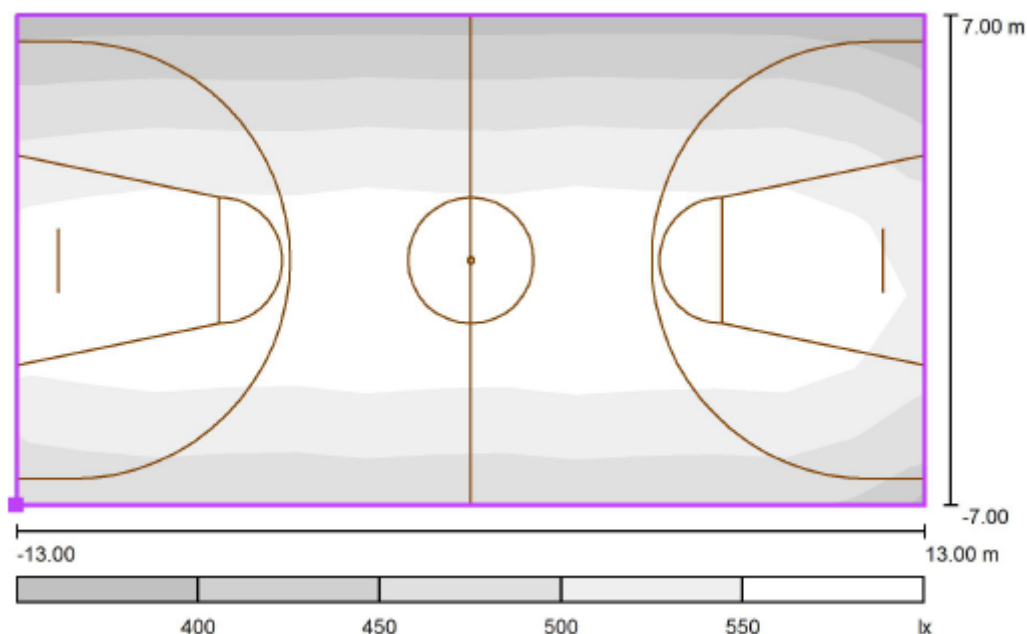


Figura 2.35. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de la cancha de basquetbol.

Ping-pong área principal, resultados lumínicos.

Tabla 2.26. Resultados de iluminancia y uniformidad sobre el área de ping-pong.

N°	Tipo	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m
1	Horizontal	438	248	592	0,57

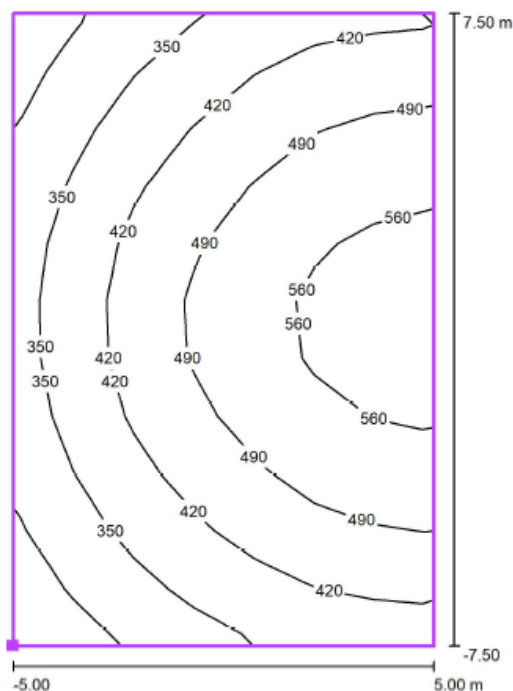


Figura 2.36. Distribución de la iluminancia sobre la superficie principal de pingpong.

En la tabla 2.26 se muestran los valores simulados en el software DIALux de la cancha de ping-pong, se pudo obtener una iluminancia media de 438 lx, la cual cumple con la norma, al igual que el coeficiente de uniformidad. En la figura 2.36 apreciamos las diferentes curvas de nivel de la iluminancia en la cancha, podemos notar que no existe curva con un valor menor a 300 lx. Con mayor detalle se lo muestra en la figura 2.37.

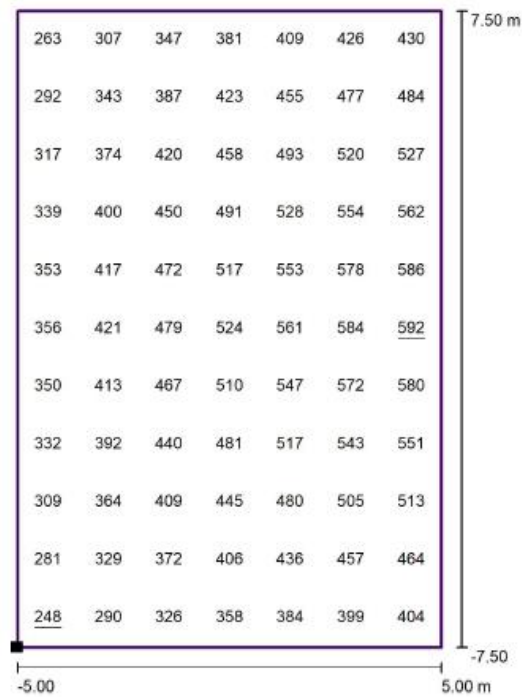


Figura 2.37. Gráfico de valores de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.

En la figura 2.38 se detalla la escala de grises de la iluminancia, siendo los colores más grises donde existe menor iluminación y viceversa.

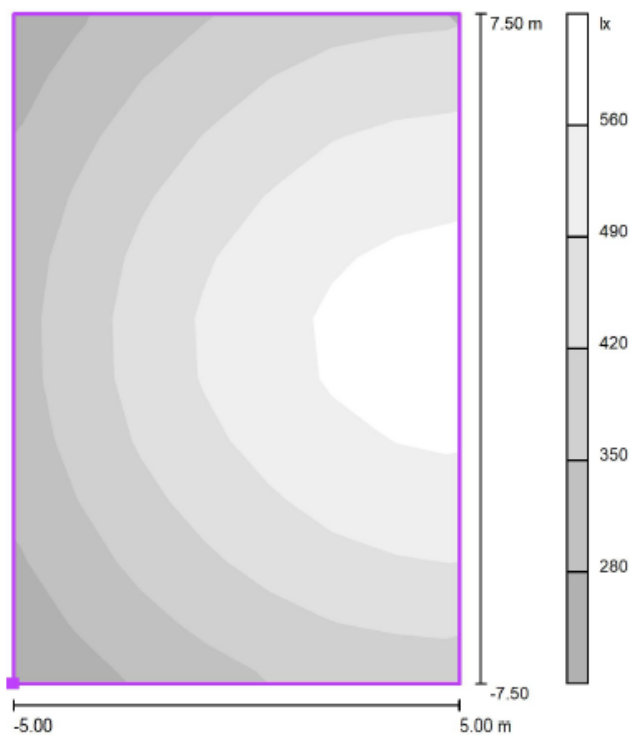


Figura 2.38. Gama de grises de la iluminancia horizontal sobre el área principal de pingpong.

2.6. Selección de la luminaria

Para la selección de la lámpara se deben tener en cuenta cinco aspectos: la eficiencia lumínica, la potencia, el flujo luminoso, vida útil promedio y precio. No se toma en consideración la iluminancia media puesto que todas las luminarias evaluadas cumplieron con los requerimientos de la norma. En la tabla 2.27 se muestran las luminarias evaluadas con los respectivos parámetros de selección.

Tabla 2.27. Parámetros de selección para la luminaria del coliseo.

Parámetros	Shréder	LEDVANCE	Soled UFO
Eficiencia lumínica	168 lm/W	135 lm/W	170 lm/W
Potencia	185 W	200 W	150 W
Flujo luminoso	31104 lm	27000 lm	27000 lm
Vida útil	75000 horas	50000 horas	50000
Precio	\$840	\$148,50	\$109,6

La lámpara que mejores condiciones presenta para elaborar el proyecto es la luminaria LED Soled UFO. Es la de mayor eficiencia lumínica, menor potencia de operación y la más económica en cuanto a su precio de venta. No posee un flujo luminoso tan alto como la lámpara de Shréder, pero de acuerdo al estudio lumínico cumple con los requisitos de iluminación para las instalaciones del coliseo. Cabe recalcar que todas cumplieron los requerimientos, pero se escogerá la lámpara Soled debido a los parámetros antes indicados.

2.7. Determinación del consumo de energía y costos.

La Escuela Superior Politécnica del Litoral está dentro de la categoría general en la sección de entidades de beneficio público, se encuentra en el rango de alto voltaje grupo 1 (Grupo 1-AV1). El nivel de voltaje según el pliego tarifario para la universidad es entre 40kV y 138kV. Dispone de un registrador de demanda horaria.

De acuerdo a la categoría en la que se encuentra la universidad, el costo de la energía cambia en los dos intervalos de tiempo establecidos por la unidad de negocios. Los periodos son de 08:00 horas hasta las 22:00 horas, el segundo período empieza desde las 22:00 horas hasta las 08:00 horas del día siguiente. La unidad de negocios a la que pertenece la universidad es la unidad de negocios guayaquil, en el pliego tarifario obtenido de la página oficial de CNEL-EP se indican los costos de la energía. En este caso la demanda se registrará entre las 08:00 horas y las 22:00 horas, por lo tanto, el costo de la energía será de 0,060 \$/kWh. Adicional se le cobra un cargo por kW al mes que posee la instalación, en dólares este valor es de 2,622 \$/kW-mes.

Para determinar los costos del proyecto se deberá obtener el precio de las lámparas a instalar, la mano de obra y los materiales a utilizar. Antes de ejecutar el análisis económico se escogerá la lámpara con las mejores especificaciones técnicas. Se utilizarán el VAN y el TIR para establecer la viabilidad del proyecto.

Pasos:

- Determinar la capacidad instalada de las luminarias para cada área deportiva (cancha y coliseo).
- Cálculo de la energía consumida anualmente por las lámparas.
- Costos de las lámparas, mano de obra y materiales.
- Cálculo del tiempo de recuperación de la inversión, VAN y TIR.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

En este capítulo se presentan los resultados más relevantes de la investigación realizada sobre el estudio lumínico de la cancha y el coliseo de ESPOL.

Ahorro económico con el cambio de tecnología en el coliseo de ESPOL

Se realizó una aproximación del consumo de las luminarias actuales en el coliseo de ESPOL, tomando en cuenta la cantidad de días y horas que se utilizan en el año. Obtuvimos que al año consumen un aproximado de 17.120 kWh, en la tabla 3.1 se especifican los consumos aproximados de cada mes, además del cargo por demanda de cada kW.

Tabla 3.1. Consumos de energía, consumo en dólares y consumo total de las luminarias de inducción.

	Consumo en kWh	Consumo en \$	Cargo por demanda	Consumo mensual
enero	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
febrero	800,00	\$ 48,00	\$ 20,98	\$ 68,98
marzo	400,00	\$ 24,00	\$ 20,98	\$ 44,98
abril	400,00	\$ 24,00	\$ 20,98	\$ 44,98
mayo	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
junio	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
julio	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
agosto	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
septiembre	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
octubre	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
noviembre	1760,00	\$ 105,60	\$ 20,98	\$ 126,58
diciembre	1440,00	\$ 86,40	\$ 20,98	\$ 107,38
Consumo total en \$ al año				\$ 1.278,91

También se realizó una aproximación similar para la nueva lampara tipo LED como propuesta para el cambio. En la tabla 3.2 se muestran los consumos específicos de cada mes, además del cargo por demanda.

Tabla 3.2. Consumos de energía, consumo en dólares y consumo total de las luminarias LED.

	Consumo en kWh	Consumo en \$	Cargo por demanda	Consumo mensual
enero	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
febrero	480,00	\$ 28,80	\$ 12,59	\$ 41,39
marzo	240,00	\$ 14,40	\$ 12,59	\$ 26,99
abril	240,00	\$ 14,40	\$ 12,59	\$ 26,99
mayo	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
junio	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
julio	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
agosto	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
septiembre	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
octubre	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
noviembre	1.056,00	\$ 63,36	\$ 12,59	\$ 75,95
diciembre	864,00	\$ 51,84	\$ 12,59	\$ 64,43
Consumo total en \$				\$ 767,35

Es notable que la nueva tecnología representa un ahorro anual de energía eléctrica y de costos por iluminación. De acuerdo a los valores mostrados en las tablas se logró tener un ahorro del 40% por gastos en iluminación para el área del coliseo. Por cada mes se distribuyó el consumo en base a la utilización de esta edificación. Los meses con menores consumos fueron entre febrero y marzo debido a la poca actividad deportiva en la universidad por el periodo vacacional. Dentro de cada mes se estableció el número de horas que se utilizó, obteniendo información de las clases y actividades que se realizan, además de los eventos deportivos. En los meses de mayor actividad se establecieron 22 días de utilización del coliseo, mientras que para los meses de marzo y abril el número de actividad fue de 5 días.

Inversión del proyecto del coliseo

Según lo mostrado en el capítulo 2 en la sección 2.6 la lámpara seleccionada fue la High Bay UFO de la marca Soled, la misma que tiene un costo de \$122,75 incluido el IVA por cada una. Para el proyecto se necesitan 32 luminarias, por lo cual el costo de adquisición de las lámparas es de \$3.928,06. Además, se tuvo en cuenta los costos de instalación de las luminarias, el mismo fue de \$1.500 incluido el IVA por los 32 puntos de luz, cabe indicar que este precio de instalación incluye equipos y andamios de hasta 14m de altura. Por lo tanto, la inversión del proyecto es de \$5.428,06.

Tiempo de retorno de la inversión del coliseo

Las luminarias tienen una vida útil de 20 años aproximadamente, por lo cual se determinó un flujo de caja que incluye los costos e ingresos (en este caso ahorro anual) del proyecto. En el flujo se determinó durante que periodo se recuperaría la inversión del proyecto. En la tabla 3.3 se especifican todos los valores encontrados. Para poder realizar la comparación entre ambos sistemas, se tuvo que mejorar la tecnología actualmente utilizada para iluminación en el coliseo. Esto represento un costo que amortigua la inversión para la instalación de las nuevas luminarias, el valor es de \$1.200 por mejora de las lámparas de inducción. Por ello el análisis del flujo de caja se lo realizó restando dicha cantidad con la inversión inicial, obteniendo un valor de \$4.228,06. La tasa que se utilizó en el flujo de caja fue la estipulada por el Banco Central del Ecuador, cuyo valor es del 6,18% que corresponde a la clase educativo-social.

Tabla 3.3. Flujo de caja para el cambio de luminarias en el coliseo de ESPOL.

			Tasa	6,18%		
Periodo	Ingresos	egresos	Neto	Acumulado sin tasa de interés	Valores en VP	Acumulado con tasa de interés
0		\$ 4.228,06	\$ -4.228,06	\$ -4.228,06	\$ -4.228,06	\$ -4.228,06
1	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -3.716,50	\$ 481,79	\$ -3.746,27
2	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -3.204,93	\$ 453,75	\$ -3.292,52
3	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -2.693,37	\$ 427,34	\$ -2.865,18
4	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -2.181,80	\$ 402,47	\$ -2.462,72
5	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -1.670,24	\$ 379,04	\$ -2.083,67
6	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -1.158,67	\$ 356,98	\$ -1.726,69
7	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -647,11	\$ 336,20	\$ -1.390,49
8	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ -135,54	\$ 316,63	\$ -1.073,86
9	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 376,02	\$ 298,21	\$ -775,65
10	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 887,59	\$ 280,85	\$ -494,80
11	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 1.399,15	\$ 264,50	\$ -230,30
12	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 1.910,72	\$ 249,11	\$ 18,81
13	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 2.422,28	\$ 234,61	\$ 253,42
14	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 2.933,85	\$ 220,95	\$ 474,37
15	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 3.445,41	\$ 208,09	\$ 682,47
16	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 3.956,98	\$ 195,98	\$ 878,45
17	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 4.468,54	\$ 184,58	\$ 1.063,03
18	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 4.980,11	\$ 173,83	\$ 1.236,86
19	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 5.491,67	\$ 163,72	\$ 1.400,57
20	\$ 511,56		\$ 511,56	\$ 6.003,24	\$ 154,19	\$ 1.554,76
		VPN	\$1.554,76			
		TIR	10%			
		TIRM	8%			
		Recuperación	11,924	11 años 11 meses		

En base a los valores del VAN y TIR obtenidos en el flujo de caja, el proyecto es viable puesto que el valor actual neto es mayor que cero y la tasa de retorno de la inversión es mayor a la tasa de interés utilizada en el flujo de caja. El proyecto se recuperará en 11 años con 11 meses aproximadamente, sin superar el tiempo de vida útil promedio de las lámparas. El tiempo de recuperación se alarga debido a la tarifa eléctrica que paga la universidad por el consumo, la cual es de 6 centavos el kWh. Otros clientes tienen una tarifa de 9 centavos el kWh, de esta manera el tiempo de recuperación de la inversión es más corto.

Problemática que se presentó en el proyecto de la cancha de futbol

El caso de la cancha de futbol presento un problema con respecto a su implementación, debido a que el tiempo de recuperación del proyecto sobrepasaba la vida útil de las luminarias a utilizar. El tiempo de vida útil del reflector Flood Light de la marca Soled es de aproximadamente 20 años, al calcular el valor actual neto para el periodo final se obtuvo un valor negativo. Un valor de VAN menor a cero indica que el proyecto nunca recuperará la inversión dentro del tiempo establecido (vida útil del reflector). Otro indicador fue la tasa interna de retorno que es menor a la tasa de interés, 2%, haciendo de este un proyecto no viable.

Es por este motivo que para el caso de la cancha de fútbol el sistema de iluminación se cambiará si es que se requiere. Ya sea que este se encuentre en mal estado, o no cumpla con la iluminación requerida para esta área. En la tabla 3.3 se muestran los resultados del flujo de caja.

Tabla 3.4. Flujo de caja para la cancha de fútbol de ESPOL.

periodo	Ingresos	Egresos	Neto	Acumulado sin tasa de interés	Valores en VP	Acumulado con tasa de interés
0		\$ 12.000,00	\$-12.000,00	\$-12.000,00	\$-12.000,00	\$-12.000,00
1	\$ 496,94		\$ 496,94	\$-11.503,06	\$468,02	\$-11.531,98
2	\$ 496,94		\$ 496,94	\$-11.006,11	\$440,78	\$-11.091,20
3	\$ 496,94		\$ 496,94	\$-10.509,17	\$415,13	\$-10.676,07
4	\$ 496,94		\$ 496,94	\$-10.012,22	\$390,96	\$-10.285,11
5	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -9.515,28	\$368,21	\$ -9.916,90
6	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -9.018,34	\$346,78	\$ -9.570,12
7	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -8.521,39	\$326,59	\$ -9.243,53
8	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -8.024,45	\$307,59	\$ -8.935,94
9	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -7.527,50	\$289,68	\$ -8.646,26
10	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -7.030,56	\$272,82	\$ -8.373,44
11	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -6.533,62	\$256,94	\$ -8.116,50
12	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -6.036,67	\$241,99	\$ -7.874,51
13	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -5.539,73	\$227,90	\$ -7.646,60
14	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -5.042,78	\$214,64	\$ -7.431,96
15	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -4.545,84	\$202,15	\$ -7.229,82
16	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -4.048,90	\$190,38	\$ -7.039,44
17	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -3.551,95	\$179,30	\$ -6.860,14
18	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -3.055,01	\$168,86	\$ -6.691,27
19	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -2.558,06	\$159,04	\$ -6.532,23
20	\$ 496,94		\$ 496,94	\$ -2.061,12	\$149,78	\$ -6.382,46
		VPN	\$-6.382,46			
Tasa	6,18%	TIR	-2%			
		TIRM	2%			

Diseño en AutoCad de los circuitos de alumbrado del coliseo

Para las instalaciones eléctricas del coliseo se procedió a realizar los circuitos de alumbrado utilizando el software AutoCad. En la figura 3.1 se puede observar cada uno de los circuitos implementados, se encuentran divididos en secciones mostrando 2 circuitos de alumbrado para cada área en particular. Los colores ayudan a identificar cuales puntos de luz se encuentran interconectados y las flechas al finalizar cada circuito indican en que panel se encuentra su alimentación. La separación de las lámparas fue la misma que se usó en los emplazamientos para el diseño de iluminación en Dialux, seis metros de manera horizontal y cuatro metros de manera vertical.

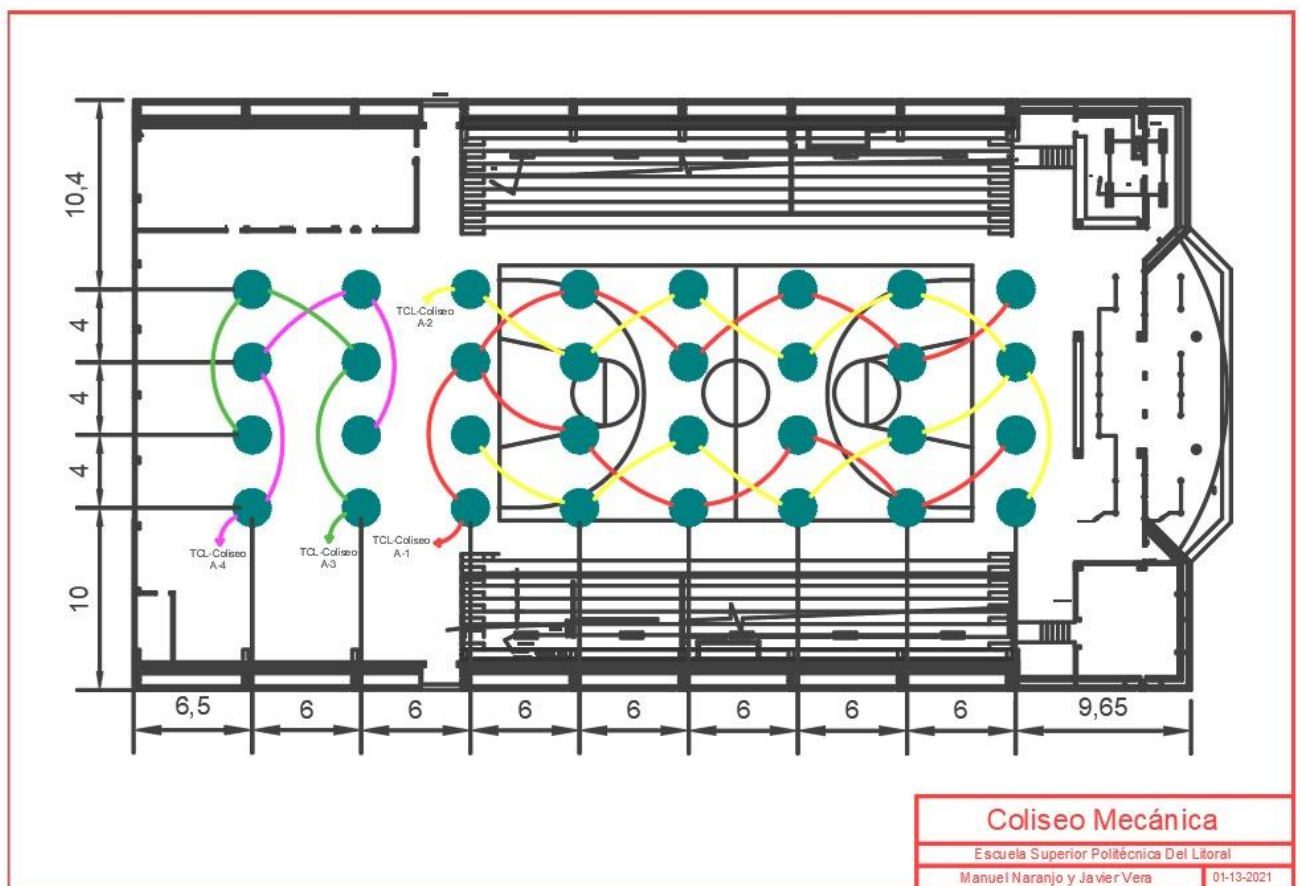


Figura 3.1. Diseño de los circuitos de alumbrados en el coliseo de ESPOL utilizando el software AutoCad.

El diagrama unifilar se lo encuentra especificado en la Figura 3.2, la misma que cuenta con un tablero principal llamado “TCL-Coliseo”. Dentro de este panel se encuentran conectados los 4 circuitos de iluminación a cada breaker correspondiente. Se tiene dos disyuntores de 40A y dos de 60A, los mismos que son de dos polos cada uno. El sistema

es encendido por medio de botoneras que energizan los contactores de cada circuito, permitiendo así el encendido de las luminarias. No existe algún tipo de control de control automático, todo el sistema es manual.

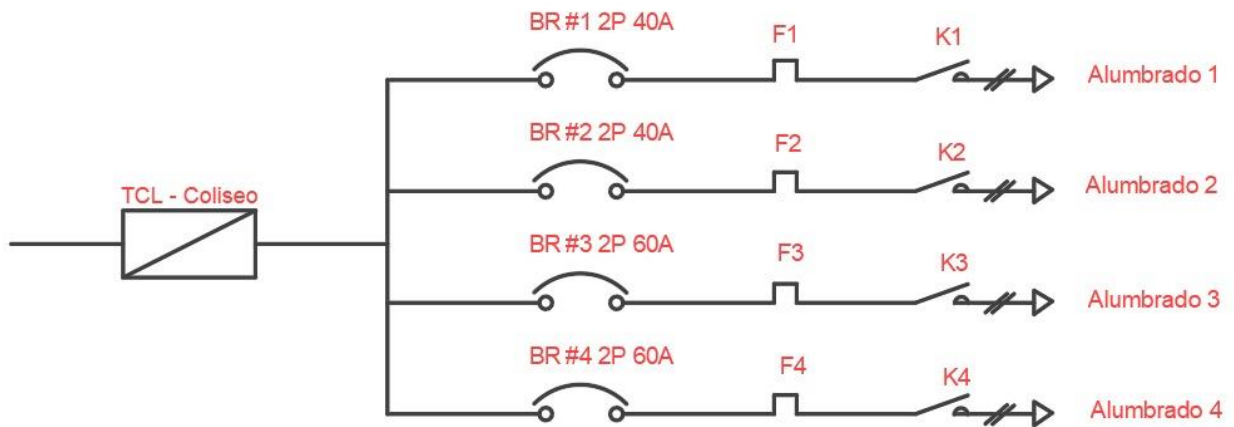


Figura 3.2. Diseño del diagrama unifilar de los circuitos de alumbrado del coliseo, se muestran las protecciones y los contactores a utilizar.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

Con la finalidad de mejorar la eficiencia energética, la calidad de la energía y poder reducir costos por consumo de electricidad, en este proyecto se realizó un nuevo diseño del sistema de iluminación del coliseo y la cancha FIEC con lámparas de tecnología LED, se concluye lo siguiente del trabajo de investigación:

- El sistema de iluminación antiguo era ineficiente, de acuerdo con los datos que se mostraron en este documento, las luminarias no están trabajando al 100% de su capacidad. Esto indica que la energía eléctrica consumida por las lámparas no se transformaba en su totalidad en flujo luminoso, demostrando pérdidas en este sistema. Esto se reflejaba no solo en las mediciones obtenidas, sino también en la baja intensidad luminosa que poseía esta instalación.
- Mediante el software DIALux se simuló el estudio luminoso de ambas áreas, demostrando que a través de un nuevo diseño con tecnología LED, se pudo obtener la cantidad de iluminación necesaria, cumpliendo con los parámetros de la norma española UNE-EN 12193. Además, se utilizó un menor número de luminarias con una potencia más baja, alta eficacia, un flujo luminoso elevado, con la menor contaminación a la red eléctrica y cumpliendo los niveles de factor de potencia establecidos por CNEL-EP.
- Una vez realizado el análisis técnico para el coliseo, se evaluaron tres opciones de luminarias, entre las cuales se escogió la lámpara marca Soled High Bay UFO. El criterio de selección estuvo basado en los siguientes parámetros: potencia, flujo luminoso, vida útil, factor de potencia y eficiencia. En el análisis económico se pudo obtener mensualmente un ahorro en la planilla eléctrica, esto garantiza la recuperación de la inversión del proyecto sin sobrepasar el tiempo de vida útil de la luminaria.
- La ESPOL está dentro de la tarifa AV-1 (beneficio social), conocida como alto voltaje, en la cual se le cobra seis centavos el kWh, esto retarda el retorno de la inversión debido al subsidio que tiene. Si la tarifa cambiara a nueve centavos, como se cobra a los clientes normales, la recuperación de la inversión sería más rápida.

- Para el área de la cancha de futbol solo se realizó el diseño lumínico, es decir la parte técnica, en la cual se demostró que el sistema actual no cumple con los requerimientos de iluminación y presenta un elevado consumo de energía eléctrica. Debido a la baja utilización, el retorno de la inversión sobrepasa el tiempo de vida útil de las luminarias, por ende, el cambio de tecnología no es viable desde el punto de vista económico. Por otra parte, el cambio de sistema podría realizarse desde el punto de vista técnico-lumínico, para obtener una mejor iluminación.

RECOMENDACIONES

- En la cancha de futbol, a pesar de que económicamente el proyecto no es viable, si se llegara a realizar el cambio, se mejoraría la intensidad luminosa de la cancha para poder cumplir los requerimientos de la norma española UNE-EN 12193.
- Con el fin de mejorar la eficiencia y la cantidad de iluminación, se propone utilizar traga luces en el galpón del coliseo, para poder aprovechar la luz natural proveniente del exterior. Con esto se reduciría la utilización de las lámparas y el consumo de energía sería menor.
- Con el nuevo diseño para el sistema de iluminación del coliseo, los emplazamientos entre lámparas cambiaron y se deberá mover el punto de luz instalado anteriormente. Se recomienda que al reducir el número de luminarias se cambien las capacidades de las protecciones utilizadas para cada circuito de alumbrado.
- Al utilizar luminarias tipo LED que poseen dispositivos electrónicos, tales como generadores de frecuencia y el diodo semiconductor, que se clasifican como cargas no lineales. Se recomienda que el THD individual de cada lámpara a instalar sea menor al 15%, puesto que podría generar problemas de contaminación a la red eléctrica del coliseo y dañar equipos utilizados en esta instalación.

Bibliografía

- [1] B. M. C. P. y. S. Y. G. Benjamín, «Análisis Técnico y Económico del Uso de Luminarias de Inducción Electromagnética de Baja Frecuencia.,» Escuela Politécnica Nacional , Quito, 2016.
- [2] A. M. y. A. Paola, «Análisis comparativo de las tecnologías de iluminación tipo Inducción y tipo Led para la eficiencia energética en la Compañía Celco en la ciudad de Quito,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2014.
- [3] M. y. Z. E. Rivadeneira, «Plan de Mejoramiento del Alumbrado Público de las Principales Avenidas de la Ciudad de Quito Mediante la Sustitución por Lámparas de Inducción,» Revista Técnica “energía”. No 11, Pp. 108-115. , Quito, 2015.
- [4] G. A. A. Y. J. D. SALAZAR, «MONOGRAFÍA LÁMPARAS DE INDUCCIÓN,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, PEREIRA, 2012.
- [5] J. Rodrigo Hurtado, «“Análisis técnico-económico para la optimización del sistema de iluminación de la Av. Mártires 4 de noviembre aplicando luminarias con tecnología LED”,» Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2017.
- [6] R. L. Boylestad y L. Nashelsky, Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, vol. 10, Naucalpan de Juárez: PEARSON, 2009.
- [7] C. H. Dorremocha, J. M. O. Martorell y F. J. & Sora, «La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica.,» *Revista de Astronomía*, vol. II, nº 144, pp. 36-42, 2011.
- [8] A. R. Freire Guevara, «Análisis de factibilidad técnica y económica para alumbrado público basado en la tecnología LED en la autopista km. 4 vía Milagro-El Deseo,» Universidad Católica Santiago de Guayaquil., Guayaquil, 2018.
- [9] J. Fernandez García, «Recursos UPC,» [En línea]. Available: https://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/magnitud.html#Flujo_lum. [Último acceso: 14 Noviembre 2020].
- [10] R. S. Gil, L. Iannelli y S. Gil, «Ahorro de 1, 5 GW en los picos de consumo eléctrico-Iluminación LED.,» *Petrotecnia*, vol. 1, nº 5, pp. 84-96, 2015.
- [11] C. T. C. 7. i. y. c. -. ANFALUM, «Norma Española UNE-EN 12193, Iluminación de instalaciones deportivas,» 01 Abril 2020. [En línea]. Available: <http://lumsport.com/uploads/normatives/UNE12193-2020.PDF>. [Último acceso: 20 12 2020].