



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
EXTENSIÓN LA MANÁ**

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN
EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTETICA DE LA UTC
EXTENSIÓN LA MANÁ”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Electromecánica.

AUTORES:

Machay Aveiga Luis Miguel
Oña Guamani Edwin Stalin

TUTOR:

MSc. Pazuña Naranjo William Paul

**LA MANÁ-ECUADOR
AGOSTO-2025**

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Edwin Stalin Oña Guamani y Luis Miguel Machay Aveiga, afirmamos ser los creadores del presente proyecto de investigación: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTETICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ", siendo el MSc. Pazuña Naranjo William Paul, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Asimismo, declaramos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son íntegramente de nuestra autoría y responsabilidad.



Edwin Stalin Oña Guamani

C.I: 055029957-2



Luis Miguel Machay Aveiga

CI: 050474981-3

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTETICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ” de Oña Guamani Edwin Stalin y Machay Aveiga Luis Miguel de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, 23 julio 2025



MSc. William Paul Pazuña Naranjo

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto el postulante Oña Guamani Edwin Stalin y Machay Aveiga Luis Miguel con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTETICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.


Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, 01 de agosto del 2025.

Para constancia firman:



M.Sc. Ing. Johnatan Israel Corrales Bonilla
C.I 0503145518
LECTOR 1



M.Sc. Ing. William Armando Hidalgo Osorio
C.I 0502657885
LECTOR 2



M.Sc. Ing. Freddy Rodrigo Romero Bedon
C.I 0503499642
LECTOR 3

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a los ingenieros y la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión la mana por su valiosa contribución para poder llegar a cumplir nuestras metas. A la Universidad Técnica de Cotopaxi gracias por habernos dado la oportunidad de lograr nuestros sueños, llegamos como unos desconocidos, pero ahora nos vamos sabiendo que la Universidad Técnica de Cotopaxi es nuestra segunda casa. A nuestros ingenieros que nos compartieron sus conocimientos y experiencias durante estos años como no agradecerles si fueron quienes nos ayudaron a descubrir el potencial, poniéndonos a prueba y descubriendo lo mejor de cada uno. Muchas gracias Universidad Técnica de Cotopaxi y a todos los ingenieros que lo conforman. No llores por que se terminó sonrío por que sucedió.

**Edwin
Luis**

DEDICATORIA

Expreso mis más sinceros agradecimientos a toda mi familia, siempre me motivaron a seguir adelante y nunca rendirme gracias a eso logre alcanzar mi meta propuesta ser Ingeniero Electromecánico. En especial agradezco a mi padre por ser un pilar muy importante para llegar a la meta propuesta gracias a sus palabras de aliento y motivación diaria me dieron la fuerza necesaria para cumplir esta meta. También agradezco a mis abuelos por los consejos dados, aunque uno de ellos ya no está aquí presencialmente, pero se q estará aquí espiritualmente para verme cumplir mi meta propuesta. También agradezco a mi hermano y a mi novia que siempre me motivaron a seguir adelante a pesar de lo difícil que sea el camino, gracias por sus sabías palabras. También agradezco a mis amigos Danilo y Ender gracias por darme la mano sin su apoyo no hubiese podido lograr esta meta. Por último, agradecer a una persona en especial Agustín Bonilla gracias por haberme dado trabajo durante estos años de estudio, por tener esa paciencia y comprensión conmigo. Gracias a todos por nunca dejarme rendir.

Edwin

DEDICATORIA

Quiero empezar dándole las gracias primero a Dios, por permitirme estar con vida y gozando de una buena salud. Gracias a el ahora mismo estoy escribiendo lo que jamás pensé que escribiría. Mi dedicatoria, como uno de los pasos finales en toda mi carrera Universitaria. A ti papá, Fredy Rodrigo Machay Coro. Mi sustento incondicional desde el inicio en el que decidí entregarme por completo a este gran desafío que fue mi carrera profesional, lo que tanto anhelábamos papito. Gracias a ti estoy sintiendo esta emoción tan grande al escribirte estas palabras papi. Este logro es de ambos. Gracias, papá. A ti mamá, Sonia Verónica Aveiga Carreño, te dedico este logro porque también es tuyo mami, fuiste mi pilar fundamental en todo el trayecto de este sueño del que tanto hablábamos mami, siempre quisiste que fuera diferente y mírame ahora. Lo logramos mamita, gracias a Dios. Te doy las gracias por todo lo que tuviste que hacer para que fuese posible esto y es por eso por lo que esta victoria también es tuya mami. Le dedico este logro a mis hermanos. Los sueños si se cumplen. Vamos para adelante querida familia. Y a ti, querida Yanella Nohely Zambrano Calunia, mi enamorada. No creí que este logro lo terminaría con una persona muy maravillosa como tú. La vida y Dios se encargó de ponerte a ti en mi camino para enseñarme de la manera más bonita que el amor existe. Te doy las gracias por eso y por todos esos momentos llenos de enseñanza, por muchos momentos en los que me apoyaste cuando sentía que ya no podía más, por tus consejos y apoyo incondicional. 9-Y&N. Este logro quedará grabado para siempre como muestra de que formaste parte de mi en este lindo y bonito sueño que estoy cumpliendo. Gracias a todos.

Luis

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

Autores:

Oña Guamani Edwin Stalin
Machay Aveiga Luis Miguel

RESUMEN

La presente investigación implementa un sistema de iluminación LED eficiente en la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, transformando las condiciones lumínicas deficientes del sistema halógeno anterior. La metodología aplicó el método de lúmenes para dimensionamiento teórico y simulación computacional DIALux evo 13.1 para validación fotométrica, complementada con evaluación de percepción social mediante encuesta estructurada a 98 usuarios. El sistema implementado comprende 14 luminarias LED de 400W distribuidas perimetralmente, generando una iluminancia media de 160 lux y uniformidad general de 0.56, valores que superan los estándares UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III. Los resultados evidencian mejoras del 540% en iluminancia promedio (25 a 160 lux), reducción del 7% en consumo energético (6.0 a 5.6 kW) y eficiencia lumínica superior del 580% respecto al sistema anterior. La validación social confirma 93.9% de aceptación comunitaria y extensión de horarios operativos de 10 a 16 horas diarias, beneficiando directamente a 997 estudiantes y 300 usuarios comunitarios. La implementación establece un modelo técnico-económico reproducible que posiciona a la UTC como referente regional en modernización de infraestructuras deportivas universitarias mediante tecnologías LED sostenibles.

Palabras clave: Iluminación LED deportiva, Eficiencia energética, Normativa UNE-EN 12193, Uniformidad lumínica, Simulación fotométrica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

EXTENSION LA MANÁ

TÍTULO: “IMPLEMENTATION OF AN EFFICIENT LIGHTING SYSTEM FOR THE SYNTHETIC COURT OF THE UTC LA MANÁ EXTENSION”

Authors:

Oña Guamani Edwin Stalin
Machay Aveiga Luis Miguel

ABSTRACT

This research implements an efficient LED lighting system in the synthetic court of the Technical University of Cotopaxi La Maná Extension, transforming the deficient lighting conditions of the previous halogen system. The methodology applied the lumen method for theoretical sizing and DIALux evo 13.1 computational simulation for photometric validation, complemented with social perception evaluation through structured survey of 98 users. The implemented system comprises 14 LED luminaires of 400W distributed perimetrally, generating an average illuminance of 160 lux and general uniformity of 0.56, values that exceed UNE-EN 12193:2020 standards for Class III sports facilities. Results evidence 540% improvements in average illuminance (25 to 160 lux), 7% reduction in energy consumption (6.0 to 5.6 kW), and 580% superior luminous efficiency compared to the previous system. Social validation confirms 93.9% community acceptance and extension of operational hours from 10 to 16 daily hours, directly benefiting 997 students and 300 community users. The implementation establishes a reproducible technical-economic model that positions UTC as regional reference in university sports infrastructure modernization through sustainable LED technologies.

Key words: Sports LED lighting, Energy efficiency, UNE-EN 12193 standard, Luminous uniformity, Photometric simulation.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 INTRODUCCIÓN	2
3 JUSTIFICACIÓN	3
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	5
4.1 Beneficiarios principales	5
4.2 Beneficiarios secundarios	6
5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
5.1 Problema	8
5.2 Problemática	8
5.3 Planteamiento del problema	9
6 OBJETIVOS	9
6.1 Objetivo general	9
6.2 Objetivos específicos	9
7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS RELACIONADAS A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	10
8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	11
8.1 Fundamentos de tecnología de iluminación	11
8.1.1 Tipologías de tecnologías lumínicas	11
8.1.2 Lámparas incandescentes y halógenas	11
8.1.3 Lámparas fluorescentes	13
8.1.4 Lámparas de descarga (VSAP, halogenuros metálicos)	14
8.1.5 Luminarias LED	15

8.2	Principios de eficiencia lumínica.....	17
8.2.1	Lúmenes por watt	17
8.2.2	Índice de reproducción cromática (CRI)	18
8.2.3	Temperatura de color	18
8.2.4	Vida útil y ciclos de operación	19
8.3	Métodos de diseño fotométrico eficiente.....	20
8.3.1	Cálculo luminotécnico mediante software especializado	20
8.3.2	Distribución lumínica y ángulos de apertura.....	21
8.4	Metodología de cálculo manual de iluminancia	23
8.4.1	Método de los lúmenes	23
8.4.2	Parámetros fundamentales del cálculo	24
8.4.3	Procedimiento de cálculo manual.....	25
8.5	Normativa UNE-EN 12193:2020	27
8.5.1	Clasificación por niveles de competición.....	27
8.5.2	Parámetros técnicos fundamentales.....	28
8.5.3	Modificaciones principales de la actualización 2020	28
8.5.4	Criterios de uniformidad y distribución lumínica	29
9	METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL	30
9.1	Enfoque metodológico.....	30
9.2	Diseño experimental	30
9.3	Variables de estudio.....	30
9.4	Instrumentos y técnicas de recolección de datos	31
9.5	Población y muestra	31
9.6	Cálculos lumínicos	32
9.6.1	Especificaciones técnicas de las luminarias led seleccionadas	34
9.7	Diseño y dimensionamiento del sistema	34
9.7.1	Plano de distribución lumínica	35

9.7.2	Sistema de Protección Eléctrica Implementado	36
9.8	Indicadores de éxito y validación del proyecto	37
9.9	Procedimientos experimentales	38
9.10	Análisis estadístico	39
10	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
10.1	Análisis comparativo de distribución lumínica	39
10.1.1	Evaluación del sistema actual con tecnología halógena.....	39
10.1.2	Evaluación del sistema propuesto con tecnología LED	40
10.1.3	Análisis de uniformidad lumínica.....	41
10.2	Análisis de eficiencia energética comparativa.....	42
10.2.1	Consumo energético del sistema actual.....	42
10.2.2	Consumo energético del sistema led propuesto.....	43
10.2.3	Análisis de ahorro energético	44
10.3	Análisis de calidad lumínica y cumplimiento normativo	46
10.3.1	Evaluación de parámetros técnicos	46
10.3.2	Análisis de temperatura de color y reproducción cromática	47
10.3.3	Evaluación de distribución fotométrica.....	48
10.3.4	Comparación con estándares normativos	48
10.4	Validación de Resultados: Comparación entre Simulación Computacional y Mediciones Experimentales.....	49
10.4.1	Comparación por Zonas: Simulación DIALux vs Mediciones Experimentales	52
11	IMPACTOS TANTO TÉCNICOS, SOCIALES Y ECONÓMICOS	54
11.1	Impactos técnicos	54
11.2	Impactos sociales.....	54
11.3	Impactos económicos	55
12	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	56
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56

13.1	Conclusiones.....	56
13.2	Recomendaciones	57
14	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXOS:.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.....	10
Tabla 2. Comparación técnica de tecnologías de iluminación	16
Tabla 3. Especificaciones de ángulos de apertura para instalaciones deportivas	22
Tabla 4. Parámetros típicos para cálculo de iluminación deportiva	26
Tabla 5. Clasificación de iluminación deportiva según UNE-EN 12193:2020.....	27
Tabla 6. Requisitos técnicos UNE-EN 12193:2020 para deportes de campo (fútbol, baloncesto, voleibol).....	28
Tabla 7. Principales cambios UNE-EN 12193:2020 vs versión 2009.....	29
Tabla 8. Estructura del diseño experimental	30
Tabla 9. Cálculo del tamaño de la muestra.....	31
Tabla 10. Especificaciones técnicas de luminarias LED de 400W seleccionadas	34
Tabla 11. Comparación entre simulación computacional DIALux evo 13.1 y mediciones experimentales con luxómetro.....	50
Tabla 12. Comparación zonal entre simulación DIALux evo 13.1 y mediciones experimentales	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Beneficiarios directos por género de la UTC Extensión La Maná.....	6
Figura 2. Beneficiarios secundarios por categoría.....	7
Figura 3. Proporción de beneficiarios.....	8
Figura 4. Lámpara incandescente	12
Figura 5. Lámpara halógena	13
Figura 6. Lámparas fluorescentes	14
Figura 7. Lámparas de vapor de sodio.....	14
Figura 8. Lámparas halogenuros metálicos	15
Figura 9. Diversidad de luminarias LED.....	16
Figura 10. Lúmenes por watt.....	17
Figura 11. Índice de reproducción cromática (CRI).....	18
Figura 12. Temperatura de color	19
Figura 13. Plano de distribución del sistema de iluminación LED en la cancha sintética de la UTC Extensión La Maná. dimensiones: 42m × 25m, altura de montaje: 6.5m	35
Figura 14. Indicadores clave de éxito del proyecto (resultados de encuesta n=98)	37
Figura 15. Diagnóstico actual vs expectativas de mejora.....	38
Figura 16. Comparación de iluminancia Sistema Halógeno vs LED.....	41
Figura 17. Distribución lumínica en la medición experimental	50
Figura 18. Distribución lumínica en DIALux evo 13.1.....	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para la determinación del cálculo flujo luminoso	24
Ecuación 2. Fórmula para la determinación del flujo bruto	25
Ecuación 3. Fórmula para la determinación de número de luminarias	25
Ecuación 4. Fórmula para la determinación del tamaño de muestra	32

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

Fecha de inicio: Abril del 2025

Fecha de finalización: Agosto del 2025

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad académica que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:

Equipo de trabajo:

Tutor del Proyecto: MSc. Pazuña Naranjo William Paul

Postulantes: Sr. Oña Guamani Edwin Stalin

Sr. Machay Aveiga Luis Miguel

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Procesos Industriales y Automatización.

2 INTRODUCCIÓN

La modernización de los sistemas de iluminación en las instalaciones deportivas de las universidades en uno de los ejes estratégicos de optimización de los recursos energéticos y de mejora de la calidad de infraestructuras académicas. La tecnología LED ha cambiado el paradigma de la iluminación en el ámbito del deporte a nivel global, presentando reducciones en el consumo energético que pueden alcanzar hasta el 75% comparado con los sistemas de haluro metálico o sodio de alta presión convencionales (1). Esta revolución tecnológica no sólo queda en la reducción del coste, sino que va más allá, incorporando mejoras en lo que respecta a la calidad lumínica, la durabilidad en el funcionamiento y la flexibilidad en el uso. Las universidades que han implementado sistemas LED han encontrado mejoras en la experiencia deportiva de sus alumnos, una drástica reducción de los costes de mantenimiento y un aumento de su posicionamiento como líderes en innovación y sostenibilidad medioambiental en sus respectivas regiones.

La implementación de sistemas de iluminación deportiva eficiente exige un cumplimiento muy estricto de estas normativas técnicas internacionales que garantizan la obtención de condiciones óptimas de visibilidad y de seguridad. La norma europea UNE-EN 12193:2020 establece los criterios fundamentales de iluminación de las instalaciones deportivas, determinando tres clases de iluminación en función del nivel de la competición: Clase I para competiciones de alto nivel con espectadores situados a una distancia visual muy alejada; Clase II para competiciones de nivel medio; y Clase III para el deporte recreacional y el escolar [2][3]. Esta norma actualizada incrementa muy significativamente algunos de los requisitos técnicos, como el índice de reproducción cromática idóneo mínimo que se eleva de 20 a 60 y de 70 a 80 en deportes de Clase I, [4], lo cual puede lograrse con sistemas LED modernos juntamente con temperaturas de color de 4000K-6500K para uso diurno y de 3000K-6500K en ausencia de iluminación natural. Todo ello garantiza la percepción visual óptima y el cumplimiento normativo exhaustivo [5].

La Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná cuenta con condiciones institucionales favorables para maximizar la modernización en infraestructuras deportivas. Como institución reconocida dentro del sistema universitario público ecuatoriano, la UTC tiene una matrícula estudiantil aproximada de 997 sujetos activos que Demand Nghen un acceso a opciones de calidad para infraestructuras deportivas a programas académicos, bienestar estudiantil, entre

otros. Además, la ubicación estratégica de La Maná como punto de conexión de las regiones Sierra y Costa, y las condiciones climáticas subtropicales que presentan para realizar actividades durante todo el año, podrá maximizar el desempeño del aprovechamiento mediante infraestructuras deportivas que permiten un uso nocturno. Las tradiciones deportivas institucionales, los vínculos que existen con la comunidad de La Maná predeterminan las condiciones adecuadas que incidan en el adecuado desempeño social y académico de infraestructuras deportivas en calidad, basadas en tecnología eficiente.

Las instalaciones deportivas LED implican muchas más ventajas técnicas que las meramente de eficiencia energética, ya que ofrecen capacidades operativas avanzadas que son imprescindibles para el dinámico entorno universitario. Así, los aparatos LED se encienden de forma instantánea (sin tiempos de calentamiento), controlan la intensidad lumínica de acuerdo a cada disciplina deportiva y prácticamente eliminan los requerimientos de mantenimiento correctivo durante la larga vida útil que poseen [6]. Los sistemas LED ofrecen una calidad lumínica muy alta conforme a distribuciones fotométricas precisas, lo que reduce el deslumbramiento, facilita la visibilidad deportiva, y disminuye en gran medida, el riesgo de lesiones en actividades nocturnas [7]. En el caso de la UTC Extensión La Maná, este proceso de modernización es una vuelta de tuerca que da lugar a una inversión estratégica que combina por un lado ventajas técnicas inmediatas, mejora en la experiencia educativa y, por el otro, estrechamiento de los vínculos universidad-comunidad mediante la modificación de horarios de uso que favorecen la práctica de programas deportivos, eventos académicos y actividades de integración social y desarrollo comunitario que deben realizarse en infraestructuras con estándares internacionales.

3 JUSTIFICACIÓN

La integración de un sistema eficiente de iluminación a la cancha sintética de la UTC Extensión La Maná deviene en respuesta a la urgente necesidad de dar un paso adelante en la modernización de la infraestructura que alberga deporte universitario y que hoy se desarrolla en las antiguas tecnologías con alta demanda de energía que dan respuesta a necesidades funcionales limitadas, debido a que los sistemas de iluminación convencional de haluro metálico o de sodio de alta presión, que suelen ocupar las instalaciones deportivas ecuatorianas, presentan unas características bastante insuficientes tales como un excesivo consumo de energía, un requisito de mantenimiento costoso y frecuente, una calidad de luz insuficiente o

una serie de limitaciones operativas que prácticamente restringen las posibilidades de utilizar los espacios de deporte por las noches. Las experiencias internacionales en universidades importantes indican que se pueden encontrar descensos de más del 29% en el uso energético de los edificios a través de programas de eficiencia energética, lo que plantea que este avance en modernizaciones tecnológicas en las instituciones de educación superior es muy posible. Para la UTC, este cambio, esta modernización supone una forma de acoger una reducción de costos de operativos, una mejora de la experiencia deportiva estudiantil, una mejora en el aspecto del posicionamiento institucional en el terreno de la innovación y sostenibilidad ambiental del espacio central ecuatoriano en donde la demanda para contar con instalaciones deportivas que respondan a programas académicos, entrenamientos e incluso eventos comunitarios son cada vez más crecientes.

Los beneficios específicos que aporta este proyecto no se limitan a la mejora del rendimiento energético directo, sino que generan múltiples impactos que benefician de forma directa a todos y cada uno de los estudiantes, docentes, personal administrativo y comunidad que conforma La Maná. Las instalaciones deportivas universitarias actualizadas con iluminación LED generan un impacto positivo notable sobre el rendimiento académico de los estudiantes por cuanto contribuye a la práctica de la actividad física nocturna que incide de forma positiva sobre la salud mental (disminuyendo el estrés académico) y sobre la integración social. La luz LED con calidad óptima (CRI por encima de 80 y temperaturas de color optimizadas entre 4000K-6000K) mejora la imagen deportiva, disminuye la fatiga visual y minimiza las posibilidades de sufrir lesiones cuando se practican deportes a horario nocturno. Las universidades que han implementado sistemas LED en instalaciones deportivas han reportado mejoras en la atracción de estudiantes-atletas, aumentos de eventos a horarios nocturnos que generan ingresos adicionales y el reforzamiento de la relación universidad-comunidad mediante programas deportivos ampliados a la comunidad. Para la comunidad de La Maná, la modernización de esta instalación de la práctica deportiva representa una mejora en el acceso a espacios de calidad para las prácticas recreativas, la posibilidad de poder desarrollar actividades deportivas familiares y comunitarias a horarios nocturnos, y la posibilidad de generar actividad económica local mediante la atracción de eventos deportivos regionales en instalaciones que cumplan los estándares técnicos que se requieren a nivel internacional.

El impacto y la importancia de la investigación propuesta se justifica por su posible aportación directa a unos objetivos de sostenibilidad institucional, de eficiencia energética del país y de

generación de modelos reproducibles para el sistema universitario público ecuatoriano. La aplicación real de este proyecto universitario dotaría a la UTC de una imagen innovadora y como vanguardista de la adopción de tecnologías de eficiencia energética que llevaría a la consecución de algunos de los objetivos planteados por el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2019-2030 y la consecución de otros objetivos que constan de reducción de emisiones de CO₂ fijados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programas integrados de eficiencia energética en campus universitarios internacionales han llegado a conseguir una reducción del 15% de la intensidad del uso energético en sus campus, lo que permite establecer precedentes aplicables para el contexto ecuatoriano. La aplicación real del proyecto conllevaría el abaratamiento de costes de operación de la universidad que podrían ser invertidos en programas académicos, en el desarrollo de capacidades técnicas disponibles en la institución respecto al manejo energético y la generación de un modelo técnico-económico reproducible para las 62 universidades públicas del sistema de educación superior ecuatoriano. Dicho proyecto supone una inversión estratégica, que representa la conjunción de beneficios económicos inmediatos, la mejora de la calidad de vida de los estudiantes, el fortalecimiento de los vínculos comunitarios y la determinación de acciones concretas para llegar a la consecución de los objetivos nacionales de sostenibilidad energética, estableciendo a la UTC Extensión La Maná como un foco regional de innovación educativa y de responsabilidad ambiental.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1 Beneficiarios principales

El proyecto de implementación del sistema de iluminación LED eficiente para la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná traerá beneficios directos para un total de 997 estudiantes que constituyen el total de la matrícula activa de la institución, observarse en la Figura 1, esta población estudiantil refleja una estructura de sexo equilibrada, el número de estudiantes femeninos, asciende a 527 personas (52,9%) y los estudiantes masculinos ascienden a 470 personas, (47,1%). Esta composición asegura que los beneficios del proyecto llegaran de forma equilibrada a los dos sexos de la comunidad universitaria.

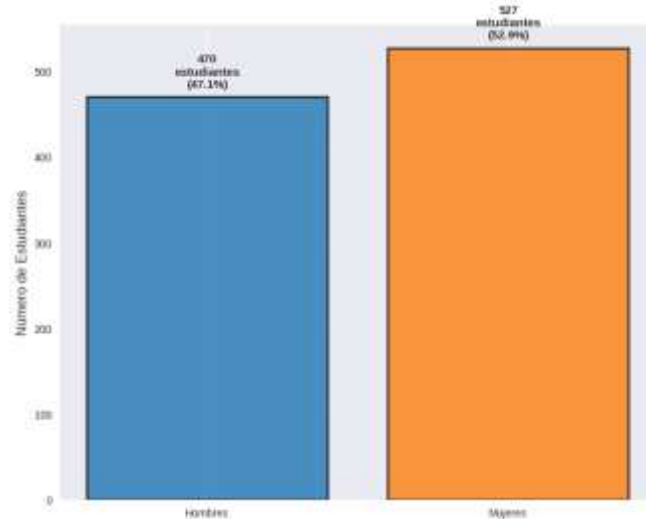


Figura 1. Beneficiarios directos por género de la UTC Extensión La Maná

Fuente: Machay y Oña (2025)

4.2 Beneficiarios secundarios

Los beneficiarios secundarios del proyecto son aproximadamente unas 300 personas que se distribuyen en tres sectores que extienden el impacto social y comunitario del proyecto. La Figura 2 muestra la distribución de estos beneficiarios secundarios a través de un gráfico de barras que muestra al personal universitario con 120 personas, la comunidad local de La Maná con 150 personas, y el sector deportivo de la región con 30 personas. Estos grupos incluyen a docentes, personal administrativo, familias de estudiantes, habitantes de la localidad, organizaciones deportivas, entrenadores y directivos que se beneficiaran de la extensiva utilización correspondiente para actividades recreativas, eventos institucionales y competencias deportivas.

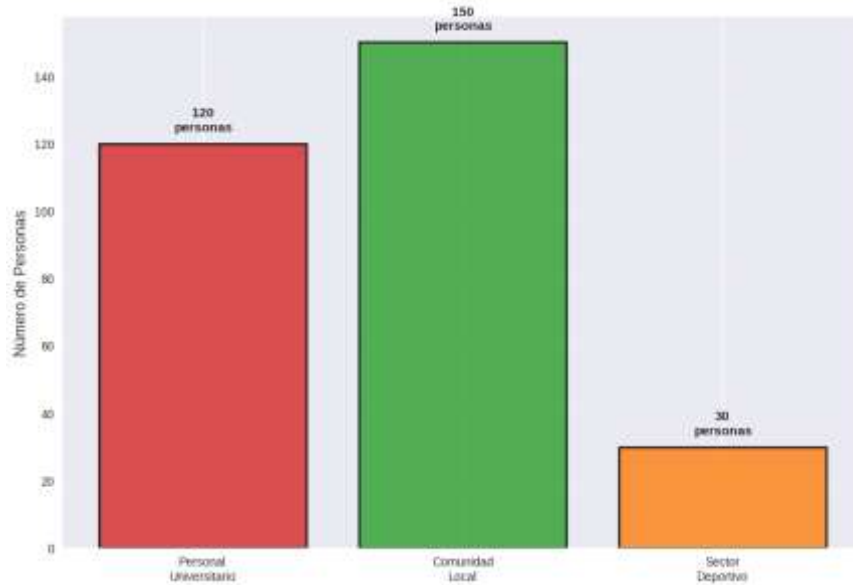


Figura 2. Beneficiarios secundarios por categoría

Fuente: Machay y Oña (2025)

La figura 3, un gráfico circular que indica un impacto total de 1297 personas beneficiarias, es el que representa el análisis de la proporción general. Los beneficiarios directos representan la mayoría de 997 personas (76.9%) mientras que los beneficiarios indirectos amplían el alcance 300 personas adicionales (23.1%). Esta distribución identificará que la intervención primero considerará un impacto dentro del ámbito universitario, pero que después generará un impacto adicional en el desarrollo social, económico, y deportivo de la región, convirtiéndose la cancha sintética en un espacio de actividades comunitarias que fortalecerá la relación que universidad-sociedad.

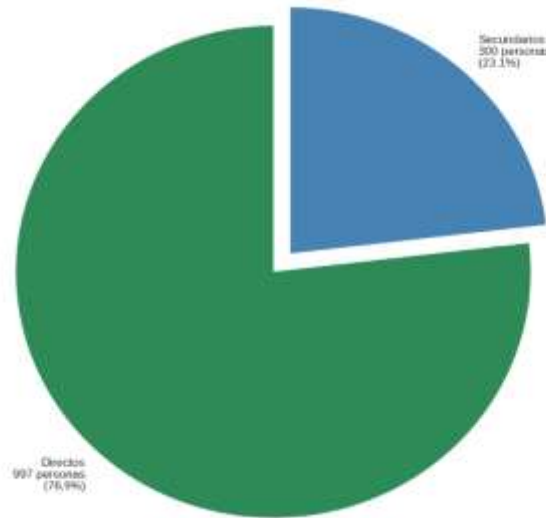


Figura 3. Proporción de beneficiarios

Fuente: Machay y Oña (2025)

5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Problema

La Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná presenta limitaciones significativas en el aprovechamiento de su infraestructura deportiva, lo que afecta el rendimiento de las actividades deportivas y recreativas de la Extensión La Maná. La falta de una fuente de iluminación que cumpla en altos estándares de calidad a las normativas de iluminación, no permite la realización la práctica de los deportes y actividades recreativas.

5.2 Problemática

La infraestructura de iluminación deportiva actual presenta características técnicas que no satisfacen los estándares establecidos por la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas. El sistema de iluminación existente genera niveles de iluminancia insuficientes que comprometen las condiciones óptimas de visibilidad requeridas para la práctica deportiva segura y eficiente. Los parámetros lumínicos del sistema actual evidencian deficiencias significativas en uniformidad de distribución, creando zonas de sombra que afectan la percepción visual durante actividades deportivas y limitando el cumplimiento de los estándares normativos de iluminancia mínima, uniformidad lumínica y control de deslumbramiento.

Esta situación técnica representa una oportunidad estratégica para la modernización tecnológica que permita alcanzar los estándares de calidad en iluminación deportiva. La implementación de un sistema eficiente contribuiría al posicionamiento de la UTC Extensión La Maná como referente regional en infraestructuras deportivas de calidad, facilitando el desarrollo de actividades académicas, deportivas y comunitarias bajo condiciones lumínicas apropiadas que garanticen seguridad y funcionalidad óptima para el aprovechamiento integral de la infraestructura disponible.

5.3 Planteamiento del problema

¿Cómo la implementación de un sistema de iluminación LED eficiente en la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná mejorará el aprovechamiento de la infraestructura deportiva, incrementará las oportunidades de práctica deportiva estudiantil y fortalecerá los vínculos universidad-comunidad mediante la extensión de horarios de uso nocturno?

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Implementar un sistema de iluminación LED eficiente en la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.

6.2 Objetivos específicos

- Diseñar la distribución fotométrica del sistema de iluminación LED considerando los requerimientos normativos de iluminancia, uniformidad y control de deslumbramiento establecidos en la norma UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III.
- Evaluar el impacto energético y económico mediante análisis comparativo frente a tecnologías convencionales
- Verificar el cumplimiento de los parámetros técnicos del sistema de iluminación LED implementado mediante mediciones de iluminancia, uniformidad y calidad cromática según los estándares establecidos en la norma UNE-EN 12193:2020.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS RELACIONADAS A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

Objetivos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción (técnicas e instrumentos)
Implementar un sistema de iluminación LED eficiente en la cancha sintética de la UTC Extensión La Maná	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación general del proyecto • Adquisición de luminarias LED • Supervisión de instalación • Puesta en marcha del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de iluminación operativo • Infraestructura deportiva optimizada • Proyecto ejecutado completamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de cronograma • Cotizaciones de proveedores • Control de calidad en obra • Pruebas de funcionamiento
Diseñar la distribución fotométrica del sistema LED considerando los requerimientos normativos UNE-EN 12193:2020 Clase III	<ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento topográfico • Cálculos lumínicos manuales • Modelado 3D fotométrico • Selección de luminarias 	<ul style="list-style-type: none"> • Planos de distribución lumínica • Memoria de cálculo técnico • Modelo digital 3D • Especificaciones de equipos 	<ul style="list-style-type: none"> • Método de lúmenes • DIALux evo 13.1 • Normativa UNE-EN 12193:2020 • Catálogos técnicos LED
Evaluar el impacto energético y económico mediante análisis comparativo frente a tecnologías convencionales	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de consumo LED vs convencional • Evaluación de costos de inversión 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparativa energética cuantificada • Estudio de viabilidad económica 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos técnicos comparativos • Tarifas eléctricas actuales • Cotizaciones comerciales • Indicadores financieros

	<ul style="list-style-type: none"> • Cálculo de ahorros operativos • Determinación de rentabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Período de recuperación calculado • Proyección de beneficios 	
Verificar el cumplimiento de parámetros técnicos mediante mediciones según estándares UNE-EN 12193:2020	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de puntos de medición • Mediciones de iluminancia real • Verificación de uniformidad • Comparación teórico-práctica 	<ul style="list-style-type: none"> • Certificación de cumplimiento normativo • Diagramas de distribución lumínica • Validación de diseño implementado • Protocolo de aceptación 	<ul style="list-style-type: none"> • Luxómetro digital • Malla de medición normalizada • Comparación con DIALux • Registro de mediciones

Fuente: Machay y Oña (2025)

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Fundamentos de tecnología de iluminación

8.1.1 Tipologías de tecnologías lumínicas

La evolución de las tecnologías de iluminación ha experimentado transformaciones fundamentales durante el último siglo, estableciendo diferentes paradigmas en la conversión de energía eléctrica en energía lumínica utilizable. Las tecnologías desarrolladas han transitado desde sistemas básicos de incandescencia hasta semiconductores avanzados, cada uno con características técnicas específicas que determinan su viabilidad para aplicaciones deportivas especializadas [8].

8.1.2 Lámparas incandescentes y halógenas

8.1.2.1 Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes representan la tecnología más antigua y menos eficiente en términos de conversión energética, fundamentando su funcionamiento en el calentamiento de un filamento de tungsteno hasta alcanzar temperaturas que generen emisión luminosa visible.

Su principio operativo implica el paso de corriente eléctrica a través del filamento metálico, provocando incandescencia que produce luz visible junto con considerable generación de calor residual [9]. La eficiencia energética de estas lámparas oscila entre 10 y 18 lúmenes por watt, representando únicamente el 5-15% de conversión de energía eléctrica en luz útil, mientras el 85-95% restante se disipa como calor [10]. Su vida útil limitada de aproximadamente 1000 horas y su elevado consumo energético han determinado su obsolescencia en aplicaciones modernas de iluminación deportiva.



Figura 4. Lámpara incandescente

Fuente: *Machay y Oña (2025)*

8.1.2.2 Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas constituyen una evolución técnica de la tecnología incandescente, incorporando filamentos de wolframio contenidos en atmósferas de gases halógenos que previenen la evaporación del material filamentario y su deposición en la envoltura de cuarzo. Este proceso químico, conocido como ciclo halógeno, permite temperaturas operativas superiores a 250°C y mejora la eficiencia lumínica hasta 18-25 lúmenes por watt, extendiendo la vida útil hasta 2000-4000 horas [11]. Sin embargo, mantienen las limitaciones fundamentales de alta emisión térmica y conversión energética deficiente, factores que las hacen inadecuadas para instalaciones deportivas de gran envergadura donde se requiere eficiencia energética y control térmico precisos.



Figura 5. Lámpara halógena

Fuente: *Machay y Oña (2025)*

8.1.3 Lámparas fluorescentes

La tecnología fluorescente representa un avance significativo en eficiencia energética mediante un principio operativo fundamentalmente diferente basado en descargas eléctricas a través de vapores de mercurio que generan radiación ultravioleta, posteriormente convertida en luz visible mediante recubrimientos fosforescentes internos [12]. Las lámparas fluorescentes alcanzan eficiencias entre 50 y 100 lúmenes por watt, estableciendo una mejora sustancial respecto a tecnologías incandescentes [13]. Su vida útil promedio de 8000 horas y temperaturas de color variables entre 3000K y 6500K proporcionan versatilidad aplicativa considerable.

No obstante, presentan limitaciones técnicas críticas para aplicaciones deportivas exteriores, incluyendo problemas de encendido en condiciones ambientales adversas, sensibilidad a ciclos frecuentes de encendido-apagado, y contenido de mercurio que representa riesgos ambientales y de manipulación. La dependencia de equipos auxiliares como balastos electromagnéticos o electrónicos incrementa la complejidad del sistema y genera consumos adicionales aproximados del 10-15% [14]. Adicionalmente, su tiempo de calentamiento para alcanzar flujo lumínico nominal y la degradación gradual del fósforo interno limitan su aplicabilidad en instalaciones deportivas que requieren encendido instantáneo y mantenimiento lumínico constante.



Figura 6. Lámparas fluorescentes

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.1.4 Lámparas de descarga (VSAP, halogenuros metálicos)

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión (VSAP) constituyen una tecnología especializada en aplicaciones de iluminación exterior, fundamentando su operación en la descarga eléctrica a través de vapores de sodio metálico contenidos en tubos cerámicos de óxido de aluminio sinterizado capaces de soportar temperaturas operativas superiores a 1000°C [15]. Estas lámparas alcanzan eficiencias energéticas superiores a 100 lúmenes por watt y vida útil extendida hasta 24000 horas, estableciéndolas como alternativas viables para iluminación deportiva de grandes superficies [16]. Su espectro de emisión predominantemente amarillo-dorado proporciona excelente penetración atmosférica y visibilidad nocturna, características valoradas en instalaciones deportivas de nivel recreacional.



Figura 7. Lámparas de vapor de sodio

Fuente: Machay y Oña (2025)

Las limitaciones técnicas incluyen índice de reproducción cromática reducido, típicamente inferior a 65, que compromete la percepción precisa de colores en actividades deportivas especializadas [17]. Los largos tiempos de encendido, que pueden extenderse hasta 10 minutos para alcanzar flujo lumínico nominal, y la imposibilidad de reencendido inmediato después de apagado restringen su flexibilidad operativa.

Los halogenuros metálicos representan tecnología de descarga avanzada que incorpora mezclas de argón, mercurio y diversos haluros metálicos para generar espectros lumínicos de alta calidad cromática con índices de reproducción superiores a 80 [18]. Su eficiencia energética oscila entre 80-120 lúmenes por watt y proporcionan temperaturas de color variables entre 3000K y 6500K, adecuadas para instalaciones deportivas televisadas o de competición especializada. Sin embargo, presentan sensibilidad extrema a fluctuaciones de voltaje, requieren equipos de arranque especializados y experimentan degradación lumínica acelerada con ciclos frecuentes de encendido-apagado, limitaciones críticas para operación deportiva intensiva.



Figura 8. Lámparas halogenuros metálicos

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.1.5 Luminarias LED

La tecnología de diodos emisores de luz representa la evolución más avanzada en sistemas de iluminación, fundamentada en la electroluminiscencia de materiales semiconductores que convierten directamente energía eléctrica en fotones sin generación de calor residual significativo [19]. Los LED modernos alcanzan eficiencias energéticas entre 130 y 180 lúmenes por watt, estableciendo un rendimiento superior que excede ampliamente todas las tecnologías precedentes [20]. Su vida útil operativa supera las 50000 horas de funcionamiento con

degradación lumínica mínima, reduciendo dramáticamente los requerimientos de mantenimiento correctivo.



Figura 9. Diversidad de luminarias LED

Fuente: Machay y Oña (2025)

Las características técnicas avanzadas incluyen encendido instantáneo sin períodos de calentamiento, capacidad de regulación continua del flujo lumínico, resistencia excepcional a vibraciones y condiciones ambientales adversas, y espectros de emisión controlables que permiten temperaturas de color precisas entre 2700K y 6500K con índices de reproducción cromática superiores a 80 [21]. La construcción de estado sólido elimina componentes frágiles como filamentos o tubos de descarga, proporcionando robustez mecánica ideal para instalaciones deportivas expuestas a impactos y vibraciones. La Tabla 2 presenta una comparación técnica integral de las principales tecnologías de iluminación disponibles.

Tabla 2. Comparación técnica de tecnologías de iluminación

Tecnología	Eficiencia (lm/W)	Vida útil (horas)	IRC	Tiempo encendido	Aplicabilidad deportiva
Incandescente	10-18	1000	90-100	Instantáneo	Obsoleta
Halógena	18-25	2000-4000	90-100	Instantáneo	Limitada
Fluorescente	50-100	8000	62-93	2-5 minutos	Problemas exteriores
VSAP	100-150	24000	20-65	5-10 minutos	Nivel recreacional
Haluro Metálico	80-120	10000-20000	80-95	3-8 minutos	Competición
LED	130-180	>50000	80-95	Instantáneo	Optimal

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.2 Principios de eficiencia lumínica

8.2.1 Lúmenes por watt

La eficacia luminosa constituye el parámetro fundamental para evaluar la conversión energética de sistemas de iluminación, estableciendo la relación cuantitativa entre flujo luminoso emitido (expresado en lúmenes) y potencia eléctrica consumida (expresada en watts) [22]. Este indicador técnico permite comparaciones objetivas entre tecnologías y determina la viabilidad económica de instalaciones deportivas de gran envergadura donde el consumo energético representa costos operativos significativos.



Figura 10. Lúmenes por watt

Fuente: *Machay y Oña (2025)*

El umbral teórico absoluto de eficiencia luminosa es equiparable a 683 lúmenes por vatio para luz monocromática a 555 nanómetros, esta longitud de onda corresponde al punto de mayor sensibilidad del sistema visual del ser humano [23]. Las tecnologías LED actuales están implementadas en torno al 26-30% de este límite teórico máximo en condiciones prácticas, mientras que las tecnologías anteriores, como la incandescente, sólo lo alcanzan con dificultad el 2-3 % del teórico máximo, reflejando las diferencias esenciales en la capacidad de conversión energética.

La aplicación práctica en las instalaciones deportivas necesitaría la consideración de otros aspectos, como las pérdidas ópticas del sistema, la pérdida temporal del flujo lumínico, o la eficiencia del resto de los dispositivos auxiliares, como los controladores electrónicos, que pueden introducir pérdidas adicionales del 5-15% según la calidad del diseño [24].

8.2.2 Índice de reproducción cromática (CRI)

El índice de reproducción cromática cuantifica la capacidad de fuentes lumínicas para revelar colores de objetos iluminados en comparación con iluminación de referencia, estableciendo una escala numérica de 0 a 100 donde valores superiores indican mejor reproducción cromática [25]. Para instalaciones deportivas, este parámetro resulta crítico ya que influye directamente en la percepción visual de elementos como pelotas, uniformes, y demarcaciones del campo, afectando tanto el rendimiento deportivo como la experiencia visual de espectadores.

Las tecnologías LED modernas alcanzan índices de reproducción cromática entre 80 y 95, superiores a lámparas de descarga convencionales como VSAP que típicamente presentan valores entre 20 y 65 [26]. Esta mejora sustancial en calidad cromática permite identificación precisa de colores, crucial para deportes donde la diferenciación cromática afecta directamente la performance, como fútbol, donde la distinción entre equipos, pelota y demarcaciones debe ser inequívoca bajo condiciones de iluminación artificial.



Figura 11. Índice de reproducción cromática (CRI)

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.2.3 Temperatura de color

La temperatura de color correlacionada especifica la apariencia cromática de fuentes lumínicas mediante comparación con radiadores de cuerpo negro a temperaturas específicas, expresada en grados Kelvin [27]. Para instalaciones deportivas exteriores, la normativa técnica recomienda temperaturas entre 4000K y 6500K cuando se utiliza en combinación con iluminación natural, y entre 3000K y 6500K para operación exclusivamente artificial [28].

La selección apropiada de temperatura de color influye significativamente en la percepción visual, alertas, y rendimiento deportivo. Temperaturas superiores a 5000K proporcionan mayor sensación de alerta y mejoran la agudeza visual nocturna, características deseables para actividades deportivas de alta concentración. Sin embargo, temperaturas excesivamente elevadas pueden generar discomfort visual y fatiga prematura en exposiciones prolongadas, requiriendo balance técnico entre rendimiento visual y confort humano.

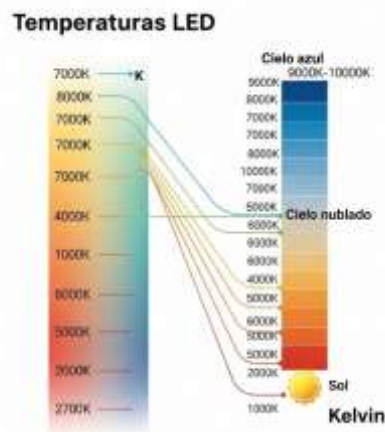


Figura 12. Temperatura de color

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.2.4 Vida útil y ciclos de operación

La vida útil operativa de sistemas de iluminación deportiva determina directamente los costos de mantenimiento y reposición, factores económicos críticos en instalaciones de uso intensivo [29]. Las luminarias LED presentan ventajas sustanciales con vidas útiles nominales superiores a 50000 horas, equivalentes a más de 15 años de operación en condiciones típicas de uso deportivo nocturno.

La existencia de ciclos de encendido-apagado distintos provoca diferentes efectos en cada tecnología. Por un lado, las lámparas de descarga sufren un proceso degradante acelerado con ciclos, pudiendo llegar a perder hasta un 30% de su vida útil nominal, mientras que, por el contrario, los LED son completamente sostenibles independientemente del encendido - apagado [30]. Esta cuestión es especialmente relevante en instalaciones deportivas universitarias que tienen usos muy variados a causa de la programación académica, jornadas especiales y actividades de la comunidad que requieren una flexibilidad operativa de la que no padecen

penalizaciones de durabilidad. La degradación gradual de la luminosidad es otro aspecto importante.

En los LED, la degradación luminosa es gradual hasta aproximadamente el 70% del flujo inicial (L70) al final de la vida útil, mientras que las tecnologías de descarga pueden degradarse de forma abrupta y catastrófica al final de su vida hasta, comprometiendo la funcionalidad del sistema e incrementando los riesgos operativos por costos externos no planificados en instalaciones deportivas importantes.

8.3 Métodos de diseño fotométrico eficiente

8.3.1 Cálculo luminotécnico mediante software especializado

Los métodos de cálculo luminotécnico han sufrido una profunda reforma con el desarrollo de calculadoras computacionales que otorgan la posibilidad de concretar con eficacia la modelización luminotécnica o la simulación de las distribuciones fotométricas, realizando antes de la ejecución física un trabajo de modelización como el que se describe aquí. Esta evolución técnica ha hecho revolucionario el diseño de instalaciones deportivas para simular condiciones muy específicas que toma en cuenta la geometría de los espacios, los puntos de luminarias, las condiciones ambientales o la normatividad explícita, entre otros enunciados. Los DIALux evo, por su parte, es el programa de diseño de luz profesional que se ha extendido internacionalmente hasta convertirse en el estándar por el que se rige el diseño por los diseñadores de iluminación, arquitectos y planificadores eléctricos (el programa está disponible en más de 26 idiomas diferentes [31])

Hay que tener en cuenta también es que el programa DIALux evo, desarrollado por el Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada, ofrece unas capacidades de renderizado 3D que se configuran con geometrías tridimensionales necesarias de luminarias, distribuciones de la intensidad luminosa conforme con los fabricantes y descripciones técnicas completas que ya incluyen los factores de mantenimiento y los valores que corresponden a la aplicación cada uno de los mostradores.

La nueva versión DIALux evo 13 de este software ha incluido capacidades específicamente orientadas hacia de iluminación deportiva, tales como la creación de superficies de cálculo para las instalaciones deportivas y algoritmos de cálculo de iluminación orientados hacia las cámaras en aplicaciones propias de la transmisión televisiva [32].

El software, a pesar de su larga línea de avance, es capaz de proporcionar un análisis cuantitativo muy detallado que incluye la clasificación automática en base a la normativa internacional, la obtención de curvas de distribución lumínicas para la verificación de la cobertura lumínica y el cálculo de las métricas de la energética IPEA e IPEI, que permiten realizar una evaluación de la sostenibilidad en el diseño de un proyecto de iluminación. El modelado en tres dimensiones de fotometría permite realizar una planificación estricta de acuerdo a las normativas tanto nacionales como internacionales, destacando especialmente los límites de realidad de UNE-EN 12193 en el contexto de la planificación de instalaciones deportivas.

La base de datos propia del software incluye 400 fabricantes de luminarias en base a catálogos técnicos actuales que contienen datos fotométricos confiables, especificaciones eléctricas exactas y parámetros de instalación que permiten asegurar una coherencia entre el diseño teórico y la implementación práctica de sus resultados. Los resultados producidos por DIALux evo 13 incluyen la obtención de mapas de zonas de distribución lumínica que permiten la validación visual de la cobertura lumínica, el cálculo automático de la uniformidad en las áreas principales y secundarias, evaluaciones de cumplimiento normativo detallados y documentación técnica completa exigida si los resultados se tienen que presentar para la obtención de aprobaciones institucionales y verificación de estándares internacionales de calidad.

8.3.2 Distribución lumínica y ángulos de apertura

La distribución lumínica en instalaciones deportivas requiere análisis especializado de parámetros fotométricos que determinan tanto la calidad visual como el cumplimiento normativo del sistema implementado. El diseño efectivo debe considerar la interacción compleja entre geometría del espacio deportivo, altura de montaje de luminarias, ángulos de proyección y características específicas del deporte practicado.

Los proyectores deportivos se clasifican técnicamente según la apertura del haz luminoso, definida como el ángulo comprendido entre las direcciones donde la intensidad luminosa disminuye hasta valores específicos del máximo central, típicamente 50% o 10% según

aplicación [33]. Esta clasificación determina la distribución de energía lumínica y consecuentemente la calidad de iluminación alcanzada en diferentes zonas del área deportiva.

Para nomenclatura técnica profesional, proyectores con distribución simétrica requieren especificación de un ángulo único de apertura, mientras proyectores asimétricos necesitan dos valores que indican apertura en planos perpendiculares, expresados convencionalmente como ángulo vertical seguido de ángulo horizontal. Esta diferenciación resulta crítica para instalaciones deportivas donde se requiere control preciso de deslumbramiento y distribución uniforme.

Las luminarias para estadios deportivos operan característicamente con ángulos de haz estrechos entre 12 y 60 grados, maximizando la intensidad lumínica dentro del cono específico para conseguir iluminación efectiva desde alturas operativas elevadas que minimizan interferencias visuales [34]. La selección apropiada del ángulo debe equilibrar múltiples factores incluyendo dimensiones del área a iluminar, distancia de proyección, altura de montaje disponible y requisitos específicos de uniformidad lumínica. La Tabla 3 detalla las especificaciones técnicas de ángulos de apertura recomendados para diferentes configuraciones de instalaciones deportivas.

Tabla 3. Especificaciones de ángulos de apertura para instalaciones deportivas

Configuración	Ángulo de apertura	Distancia típica	Aplicación específica	Uniformidad lograda
Torres en esquinas	20°-30°	>40 metros	Cobertura de larga distancia	U1 > 0.7
Proyectores laterales	40°-70°	20-40 metros	Distribución perimetral	U1 > 0.8
Montaje central	60°-110°	15-30 metros	Cobertura amplia uniforme	U1 > 0.9
Iluminación perimetral	>120°	<15 metros	Eliminación de sombras	U1 > 0.6

Fuente: Machay y Oña (2025)

Para instalaciones deportivas de fútbol específicamente, la configuración óptima requiere dos tipos fundamentales de proyectores: unidades en esquinas con rangos de apertura 20-30 grados

especializadas en iluminación de larga distancia, y proyectores laterales con apertura 40-70 grados para distribución uniforme desde alturas mínimas reglamentarias de 12 metros. La normativa técnica establece que el ángulo formado desde cualquier poste hasta la línea central del campo debe mantener un mínimo de 25 grados para prevenir deslumbramiento directo hacia jugadores y espectadores.

Los avances en la tecnología de las ópticas asimétricas nos han permitido controlar correctamente los destellos de luz y limitar el flujo de luz molesta, siendo particularmente ventajosos en aquellas instalaciones que localizan en sectores de automóvil residencial y que buscan cumplir estrictamente con los límites del flujo comercial hacia el hemisferio superior [35]. La distribución fotométrica responde al interés é s por lograr una superposición correcta entre haces adyacentes para conseguir uniformidad, llegando a necesitar de hasta un 30-50% de superposición en los bordes del área iluminada si se exige evitar discontinuidades en las transiciones que pueden dar lugar a la creación de zonas de penumbra indeseables.

8.4 Metodología de cálculo manual de iluminancia

El manual de cálculo de iluminancia se convierte, siguiendo lo prevenido desde el manual de la iluminación deportiva de en método fundamental complementario al software especializado, dado que nos proporciona una verificación analítica de los resultados y un entendimiento más profundo de los parámetros que influyen en el diseño fotométrico. La metodología nos permite una validación independiente respecto de las simulaciones informadas, siendo además sutil a la hora de hacer ajustes durante la implementación del sistema de iluminación deportiva.

8.4.1 Método de los lúmenes

La técnica del cálculo de lúmenes es la más utilizada en países como Alemania y en el resto del mundo para calcular cuáles luminarias serán necesarias en la instalación de instalaciones deportivas, potenciada a través de la relación directa, flujo luminoso total requerido / flujo luminoso de cada luminaria disponible . En este método se hace, además, la consideración de los medios de iluminación deseados en el área de trabajo del recinto e, incluso, se incorporan factores correctores que reflejan las pérdidas operativas y las características del sistema que se ha decidido implementar.

La fórmula fundamental establece que el flujo luminoso total necesario se determina mediante la Ecuación 1.

Ecuación 1. Fórmula para la determinación del cálculo flujo luminoso

$$\Phi = E * A \quad (1)$$

Donde:

Φ = Flujo luminoso total requerido (lúmenes)

E = Iluminancia media requerida (luxes)

A = Área total de la superficie a iluminar (m²)

Para instalaciones deportivas, la determinación precisa de la iluminancia requerida debe considerar normativas específicas según el tipo de deporte y nivel de competición. Las instalaciones de fútbol recreacional típicamente requieren niveles mínimos de 150 luxes de iluminancia horizontal media, valor que garantiza visibilidad adecuada para práctica deportiva nocturna sin comprometer la seguridad de jugadores y espectadores.

8.4.2 Parámetros fundamentales del cálculo

El coeficiente de utilización, es un indicador sumamente relevante en lo que respecta a instalaciones deportivas exteriores, pues es un coeficiente que depende de múltiples variables como son la distribución fotométrica de las luminarias, la geometría del espacio deportivo en uso, la altura del montaje y las características de las superficies reflejantes. Para instalaciones deportivas exteriores con luminarias de distribución asimétricas ubicadas en torres perimetrales, estos coeficientes típicos pueden oscilar en valores que van desde 0.40 hasta 0.50 y se ven considerablemente afectados por la exactitud del apuntamiento de los proyectores con respecto al área del juego.

El factor de mantenimiento tiene en cuenta el grado de degradación temporal, el cual considera que existe la depreciación del flujo luminoso de las fuentes LED, la acumulación de suciedad en las ópticas y la degradación de los planos de reflexión. Para los sistemas de iluminación LED de instalaciones deportivas exteriores, el rango de valores recomendados se sitúa entre 0.70 y 0.80 considerando la utilización de programas de mantenimiento ordinarios y la calidad de los equipos que hayan sido implementados.

La determinación del flujo bruto requerido incorpora estas correcciones mediante la relación en la cual se ve reflejado en la Ecuación 2.

Ecuación 2. Fórmula para la determinación del flujo bruto

$$\Phi_{\text{bruto}} = \frac{\Phi_{\text{neto}}}{\text{CU} * \text{FM}} \quad (2)$$

Donde:

Φ_{bruto} = Flujo luminoso bruto total requerido (lúmenes)

Φ_{neto} = Flujo luminoso neto sobre la superficie (lúmenes)

CU = Coeficiente de utilización (adimensional)

FM = Factor de mantenimiento (adimensional)

Esta ecuación permite calcular el flujo luminoso total que deben proporcionar las luminarias para compensar pérdidas del sistema y garantizar iluminancia efectiva sobre la superficie deportiva. La relación entre flujo neto y bruto resulta fundamental para dimensionamiento correcto del número de luminarias necesarias.

8.4.3 Procedimiento de cálculo manual

El procedimiento sistemático de cálculo manual inicia con la definición precisa de parámetros geométricos del área deportiva y especificaciones técnicas de luminarias seleccionadas. Para instalaciones rectangulares, como canchas de fútbol sintético, se debe considerar tanto el área principal de juego como zonas perimetrales de seguridad que requieren iluminación uniforme.

El cálculo del número de luminarias se establece mediante la relación:

Ecuación 3. Fórmula para la determinación de número de luminarias

$$N = \frac{\Phi_{\text{bruto}}}{\Phi_{\text{luminaria}}} \quad (3)$$

Donde:

N = Número de luminarias requeridas (unidades)

Φ_{bruto} = Flujo luminoso bruto total requerido (lúmenes)

$\Phi_{\text{luminaria}}$ = Flujo luminoso nominal por luminaria (lúmenes)

El resultado teórico debe redondearse al número entero superior para garantizar cumplimiento de requisitos mínimos de iluminancia los cuales la Tabla 4 resume los parámetros típicos empleados en el cálculo de sistemas de iluminación deportiva.

Tabla 4. Parámetros típicos para cálculo de iluminación deportiva

Parámetro	Rango típico	Aplicación	Consideraciones
Coefficiente de Utilización (CU)	0.40 - 0.50	Instalaciones exteriores	Depende de distribución fotométrica
Factor de Mantenimiento (FM)	0.70 - 0.80	Sistemas LED deportivos	Incluye degradación temporal
Iluminancia requerida (E)	150 - 500 lux	Según nivel competición	Normativa UNE-EN 12193
Eficiencia luminaria	100 - 180 lm/W	Tecnología LED moderna	Influye en consumo energético

Fuente: Machay y Oña (2025)

La verificación del cálculo manual implica la comparación de resultados conforme a valores obtenidos con software especializado. Asimismo, debe determinarse si se deben tener en cuenta elementos adicionales como puede ser la uniformidad lumínica, el control del deslumbramiento o incluso la distribución espacial de las luminarias en la misma (esto dependerá del tipo de producto luminoso es único que el manual necesita). El manual de metodología ofrece una primera aproximación que debe ser verificada a través de la simulación computacional, la cual ayuda con la optimización final del diseño fotométrico.

El manual de cálculo es particularmente útil en las fases iniciales del diseño, realizando estimaciones básicas y aproximadas de viabilidad técnica y económica que evitan inversiones públicas en el año completo y detallado, facilitando los resultados finales. Al mismo tiempo, la metodología utilizada ayuda a entender de forma básica las relaciones entre los parámetros de diseño y, además, se convierte en una base robusta para la interpretación crítica de resultados obtenidos con software especializado.

8.5 Normativa UNE-EN 12193:2020

La normativa europea UNE-EN 12193:2020 es la norma reguladora básica para llevar a cabo el diseño y la instalación de los sistemas de iluminación en los espacios deportivos, tanto interiores como exteriores. Esta norma indica unos determinados criterios de la iluminación para los tipos de deportes más comunes en Europa, estableciendo valores de iluminancias, uniformidades, deslumbramientos y las propiedades cromáticas de las fuentes luminarias [40]. La norma recientemente actualizada de 2020 es la traducción oficial en español de la norma europea EN 12193:2018, y viene a sustituir la norma de la que se obtuvo también en la versión española de 2009, en la que se introducen cambios significativos en los requisitos técnicos para las instalaciones deportivas [41].

8.5.1 Clasificación por niveles de competición

La norma contempla la citada normativa u ordenamiento jurídico de la práctica del deporte una clasificación tripartita del nivel de la competición, la distancia visual a la que están los espectadores, la calidad de la competición e incluso la calidad de la imagen. La Clase I corresponde a competiciones del nivel más alto (nacionales e internacionales) en los que hay gran afluencia de espectadores en recintos de gran tamaño. La Clase II corresponde a competiciones de un nivel medio, partidos regionales y locales donde hay espectadores a distancia de los medios visuales. Finalmente, la Clase III corresponde a entrenamientos generales, educación física y prácticas recreativas por lo general a los que no asiste el público o la asistencia es baja [42].

La Tabla 5 es un resumen de la clasificación completa establecida por la norma UNE-EN 12193:2020.

Tabla 5. Clasificación de iluminación deportiva según UNE-EN 12193:2020

Clase	Nivel de competición	Características	Espectadores
Clase I	Alto nivel, competiciones nacionales e internacionales	Recintos grandes, transmisión TV	Gran distancia visual
Clase II	Nivel medio, competiciones regionales y locales	Instalaciones medianas	Distancia visual media

Clase III	Entrenamiento general, educación física, recreativo	Uso estudiantil y comunitario	Sin espectadores o limitados
-----------	---	-------------------------------	------------------------------

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.5.2 Parámetros técnicos fundamentales

Los parámetros técnicos establecidos por la UNE-EN 12193:2020 incluyen valores específicos de iluminancia horizontal y vertical, uniformidades mínimas, índices de reproducción cromática y límites de deslumbramiento. La normativa específica que la iluminancia vertical debe medirse a 1,5 metros de altura, estableciendo que debe representar al menos el 50% de la iluminancia horizontal en el área de juego [43]. En la Tabla 6 se detallan los tipos de clases conforme a los requisitos técnicos en base a la normativa UNE-EN 12193:2020.

Tabla 6. Requisitos técnicos UNE-EN 12193:2020 para deportes de campo (fútbol, baloncesto, voleibol)

Clase	Iluminancia horizontal (lux)	Uniformidad mín/med	IRC mínimo	Valoración brillo (GR)
Clase I	500 – 750	0,7	>60	<50
Clase II	200 – 500	0,7	>60	<50
Clase III	75 – 200	0,5	>20	<55

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.5.3 Modificaciones principales de la actualización 2020

La actualización 2020 introduce cambios significativos respecto a la normativa anterior de 2009, especialmente en tres aspectos críticos. Primero, se incrementa la iluminación del área de espectadores a 20 lux para zonas escalonadas o inclinadas, duplicando el nivel exigido anteriormente de 10 lux [44]. Segundo, se establecen nuevos criterios para el control del deslumbramiento, fijando la altura de medición en 1,5 metros y requiriendo el cumplimiento de valores máximos de GR específicos para cada clase de instalación [45].

Tercero, se introducen requisitos estrictos para la limitación de luz perturbadora procedente de instalaciones deportivas, considerando la zonificación medioambiental circundante. Estos límites incluyen la iluminancia media en ventanas de edificios cercanos, la intensidad de

luminarias en direcciones potencialmente molestas, el flujo emitido al hemisferio superior (FHSMAX) y las luminancias máximas en fachadas adyacentes [46].

La Tabla 7 sintetiza los principales cambios introducidos en la actualización 2020 respecto a la versión anterior de 2009.

Tabla 7. Principales cambios UNE-EN 12193:2020 vs versión 2009

Aspecto Modificado	Versión 2009	Versión 2020	Impacto
Iluminación área espectadores	10 lux	20 lux (zonas escalonadas)	Duplica requerimiento
Altura medición deslumbramiento	Variable	1,5 m fija	Estandarización
Uniformidad área total (U2)	No obligatorio	$\geq 75\%$ del área principal	Mejor distribución
Control luz perturbadora	Limitado	Estrictos límites FHSMAX	Mayor control ambiental

Fuente: Machay y Oña (2025)

8.5.4 Criterios de uniformidad y distribución lumínica

La nueva normativa establece criterios más rigurosos para la uniformidad lumínica, especificando que la uniformidad media (U2) en el área total debe ser al menos el 75% de la uniformidad del área principal de juego, mientras que la uniformidad extrema (U1) debe alcanzar mínimo el 50% de la uniformidad media en el área principal [47]. Estos requisitos garantizan un mejor reparto luminoso tanto en las zonas de juego principales como en las circundantes, evitando la presencia de zonas con contrastes excesivos que puedan afectar el rendimiento deportivo [48].

La temperatura de color para instalaciones televisadas exteriores debe mantenerse entre 5000K y 6000K, evitando la mezcla de fuentes luminosas con diferentes tonalidades cromáticas, mientras que para instalaciones sin aportación de iluminación natural se recomienda entre 3000K y 6500K [49]. Para instalaciones LED no televisadas, se recomienda el uso de proyectores de haz asimétrico en zonas medioambientalmente sensibles (E1 o E2) para mejorar el control lumínico y reducir la contaminación [50].

9 METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL

La metodología implementada en este proyecto de investigación adopta un enfoque cuantitativo experimental con componentes descriptivos, diseñado para evaluar la eficiencia técnica, energética y social de la implementación del sistema de iluminación LED en la cancha sintética de la UTC Extensión La Maná.

9.1 Enfoque metodológico

El diseño experimental se fundamenta en un enfoque mixto predominantemente cuantitativo que combina métodos analíticos, computacionales y descriptivos para generar evidencia científica robusta sobre la viabilidad técnica y social del proyecto. La metodología cuantitativa permite la medición precisa de variables fotométricas, energéticas y económicas, mientras que el componente descriptivo facilita la caracterización de percepciones y expectativas de los usuarios potenciales del sistema.

9.2 Diseño experimental

El diseño experimental implementado corresponde a un estudio de caso único con mediciones pre-experimentales y simulaciones controladas, donde la cancha sintética de la UTC Extensión La Maná constituye la unidad de análisis principal. La Tabla 8 presenta la estructura del diseño experimental organizada en tres fases secuenciales que abordan diferentes dimensiones del problema de investigación.

Tabla 8. Estructura del diseño experimental

Fase	Método	Objetivo	Variables analizadas
Fase I	Cálculo analítico	Dimensionamiento teórico	Iluminancia, uniformidad, número de luminarias
Fase II	Simulación computacional	Validación fotométrica	Distribución lumínica, deslumbramiento
Fase III	Encuesta estructurada	Evaluación social	Percepción, aceptación, expectativas

Fuente: Machay y Oña (2025)

9.3 Variables de estudio

Las variables de estudio se clasifican en tres categorías principales según su naturaleza y función dentro del diseño experimental. Las variables técnicas cuantitativas incluyen

iluminancia media expresada en luxes, uniformidad general y extrema como coeficientes adimensionales, índice de deslumbramiento, consumo energético en kilovatios, eficiencia lumínica en lúmenes por vatio, número total de luminarias y altura de montaje en metros.

Las variables sociales cualitativas comprenden la percepción de seguridad de los usuarios, frecuencia de uso proyectada, aceptación tecnológica hacia sistemas LED, preferencias específicas de implementación y expectativas de beneficios institucionales derivados del proyecto.

9.4 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante tres instrumentos específicos diseñados para abordar diferentes dimensiones del problema de investigación. El primer instrumento consistió en cálculos lumínicos manuales aplicando el método de lúmenes, el segundo empleó simulación computacional especializada para validación fotométrica, y el tercero utilizó encuestas estructuradas para evaluación de percepción social.

9.5 Población y muestra

La población objetivo comprende el total de beneficiarios del proyecto, incluyendo la comunidad universitaria y usuarios comunitarios que acceden a las instalaciones deportivas de la UTC Extensión La Maná. La determinación del tamaño de muestra se realizó mediante cálculo estadístico considerando los parámetros detallados en la Tabla 9.

Tabla 9. Cálculo del tamaño de la muestra

Parámetro	Símbolo	Valor	Descripción
Población total	N	1297	Total de beneficiarios primarios y secundarios
Nivel de confianza	-	90%	Probabilidad de que el intervalo contenga el parámetro real
Valor crítico	Z	1.65	Valor de la distribución normal estándar para 90% de confianza
Margen de error	e	0.08	Error máximo permisible en las estimaciones
Probabilidad de éxito	p	0.5	Proporción esperada de respuestas favorables
Probabilidad de fracaso	q	0.5	Complemento de p (1-p)

Fuente: Machay y Oña (2025)

El resultado del cálculo estadístico presentado en la Tabla 9 indica que se requiere una muestra mínima de 98 personas para garantizar representatividad estadística con 90% de nivel de confianza y 8% de margen de error. La muestra final aplicada correspondió exactamente a 98 usuarios, cumpliendo los criterios de inclusión establecidos para usuarios activos de la cancha sintética con experiencia mínima de utilización y pertenencia a la comunidad universitaria o residencia en La Maná, cuyos cálculos se ven presentados en la Ecuación 4 y la resolución de la misma.

Ecuación 4. Fórmula para la determinación del tamaño de muestra

$$n = \frac{Z_a^2 * N * p * q}{e^2(N - 1) + Z_a^2 * p * q} \quad (4)$$

Remplazo de la Ecuación 4 con los valores en base a los parámetros establecidos para el cálculo del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(1.645)^2 * 1297 * 0.5 * 0.5}{0.08^2(1297 - 1) + (1.645)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 98$$

9.6 Cálculos lumínicos

Los cálculos lumínicos se fundamentaron en la aplicación del método de los lúmenes, procedimiento estandarizado para dimensionamiento de sistemas de iluminación que considera la relación entre flujo luminoso requerido y las características del espacio a iluminar. Los cálculos se ejecutaron siguiendo la secuencia de procedimientos detallada a continuación:

Cálculo del flujo luminoso requerido:

$$\Phi = 200 \text{ lux} * 1050 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 210000 \text{ lúmenes}$$

Cálculo del flujo luminoso bruto requerido:

$$\Phi_{\text{bruto}} = \frac{210000 \text{ lúmenes}}{0.45 * 0.75}$$

$$\Phi_{\text{bruto}} = \frac{210000 \text{ lúmenes}}{0.3375}$$

$$\Phi_{\text{bruto}} = 622222,222 \text{ lúmenes}$$

Cálculo del número de luminarias necesarias:

$$N = \frac{622222,222 \text{ lúmenes}}{46000 \text{ lúmenes}}$$

$$N = 13,53 \approx 14$$

$$N = 14 \text{ luminarias}$$

Los resultados obtenidos mediante la aplicación sistemática del método de lúmenes determinan que para cumplir con los requerimientos de iluminancia de 200 lux establecidos por la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III, se requiere un flujo luminoso neto de 210000 lúmenes sobre la superficie de juego. Considerando las pérdidas del sistema representadas por el coeficiente de utilización de 0.45 y el factor de mantenimiento de 0.75, el flujo bruto necesario asciende a 622222,222 lúmenes. Esta cantidad de luz se logra mediante la implementación de 14 luminarias LED de 400W, cada una con un flujo luminoso nominal de 46000 lúmenes, garantizando cobertura lumínica uniforme y cumplimiento normativo integral.

9.6.1 Especificaciones técnicas de las luminarias led seleccionadas

La selección de luminarias LED de 400W responde a criterios técnicos específicos que garantizan el cumplimiento integral de la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III. La eficiencia lumínica de 115 lm/W optimiza la conversión energética mientras que el flujo luminoso de 46,000 lúmenes por unidad asegura la cobertura lumínica requerida con el mínimo número de equipos instalados. La temperatura de color de 6500K proporciona condiciones de visibilidad óptimas para actividades deportivas nocturnas, generando una percepción visual nítida que mejora el rendimiento y la seguridad durante la práctica deportiva. El grado de protección IP66 garantiza resistencia completa contra ingreso de polvo y agua proyectada, característica indispensable para operación confiable en condiciones climáticas adversas del ambiente subtropical de La Maná. La construcción en aluminio fundido asegura disipación térmica eficiente y durabilidad estructural superior a 50,000 horas de operación, minimizando requerimientos de mantenimiento correctivo y maximizando la disponibilidad operativa del sistema durante su vida útil proyectada. La Tabla 10 detalla las especificaciones técnicas completas de las luminarias seleccionadas para el proyecto.

Tabla 10. Especificaciones técnicas de luminarias LED de 400W seleccionadas

Parámetro	Especificación
Nombre	Flood Light
Potencia nominal	400W
Flujo luminoso	46,000 lúmenes
Eficiencia lumínica	115 lm/W
Temperatura de color	6500K
Índice de reproducción cromática (CRI)	≥70
Vida útil	>50,000 horas
Grado de protección	IP66
Ángulo de apertura	Asimétrico
Material carcasa	Aluminio fundido
Voltaje de operación	220V AC
Factor de potencia	>0.9

Fuente: Machay y Oña (2025)

9.7 Diseño y dimensionamiento del sistema

El diseño del sistema se basó en una configuración de luminarias distribuidas en dos filas paralelas, optimizando la cobertura lumínica y minimizando el deslumbramiento según los requerimientos normativos aplicables. La distribución espacial se estableció considerando

altura de montaje de 6.5 metros y separación uniforme entre luminarias para garantizar solapamiento apropiado de haces luminosos.

9.7.1 Plano de distribución lumínica

La Figura 13 presenta el plano técnico de la cancha sintética con la distribución propuesta del sistema de iluminación LED, mostrando la ubicación estratégica de las 14 luminarias de 400W distribuidas en configuración perimetral optimizada: 4 luminarias posicionadas en las esquinas con separación de 2 metros desde los vértices de la cancha, y 10 luminarias adicionales distribuidas cada 6 metros a lo largo del perímetro para garantizar cobertura uniforme y cumplimiento normativo.



Figura 13. Plano de distribución del sistema de iluminación LED en la cancha sintética de la UTC Extensión La Maná. dimensiones: 42m × 25m, altura de montaje: 6.5m

Fuente: Machay y Oña (2025)

El plano técnico ilustra la configuración espacial optimizada donde las 4 luminarias de esquina se posicionan estratégicamente a 2 metros de cada vértice de la cancha, proporcionando iluminación dirigida hacia las zonas críticas de transición. Las 10 luminarias restantes mantienen una separación uniforme de 6 metros entre unidades consecutivas, distribuyéndose simétricamente a lo largo del perímetro para garantizar cobertura homogénea y minimizar zonas de sombra. Esta configuración híbrida de espaciado diferenciado asegura solapamiento apropiado de haces luminosos tanto en esquinas como en áreas centrales, optimizando la

uniformidad de iluminación en toda la superficie de juego mediante la combinación de iluminación perimetral concentrada y distribución regular.

La simulación computacional confirmó iluminancia media de 160 lux, uniformidad general de 0.56 y control de deslumbramiento de GR igual a 49, valores que satisfacen los estándares para instalaciones deportivas Clase III. La distribución espacial garantiza cobertura uniforme con valores mínimos de 110 lux y máximos de 242 lux, evidenciando adecuada uniformidad lumínica en toda la superficie de juego mediante la configuración optimizada de 14 luminarias LED que elimina completamente las zonas críticas de sombra y proporciona condiciones lumínicas superiores a los requerimientos normativos mínimos.

9.7.2 Sistema de Protección Eléctrica Implementado

La implementación del sistema de iluminación LED requirió el diseño e instalación de protecciones eléctricas apropiadas para garantizar operación segura, protección de equipos y cumplimiento de normativas eléctricas ecuatorianas. El sistema de protección se dimensionó considerando las características específicas de carga LED, patrones de arranque y requerimientos de seguridad para instalaciones deportivas exteriores.

Cálculo de dimensionamiento de protecciones

Análisis de carga total del sistema:

- Potencia instalada total: $14 \text{ luminarias} \times 400\text{W} = 5,600\text{W}$
- Voltaje de operación: 220V AC (monofásico)
- Corriente nominal: $I = P / V = 5,600\text{W} / 220\text{V} = 25.45 \text{ A}$

Corriente de dimensionamiento:

- Aplicando factor de seguridad del 25% según NTE INEN 2568:
- Corriente de diseño: $25.45 \text{ A} \times 1.25 = 31.81 \text{ A}$
- Breaker seleccionado: 32 A (inmediatamente superior)

Especificaciones técnicas del sistema de protección

Interruptor termomagnético principal:

- Capacidad nominal: 32 amperios
- Tensión de operación: 240V AC

- Poder de corte: Mínimo 6 kA
- Curva característica: Curva C (cargas resistivas/inductivas ligeras)
- Número de polos: 2 polos (monofásico + neutro)
- Norma de fabricación: IEC 60898-1

Características de protección:

- Protección térmica: Contra sobrecargas prolongadas ($>32A$ durante tiempo determinado)
- Protección magnética: Contra cortocircuitos (disparo instantáneo $>5 \times I_n$)
- Selectividad: Coordinado con protecciones generales de la instalación
- Accesibilidad: Instalado en tablero eléctrico con acceso controlado

9.8 Indicadores de éxito y validación del proyecto

La validación del proyecto se realizó mediante análisis de aceptación social, evaluando la percepción de los usuarios potenciales respecto a la implementación propuesta y los beneficios esperados. Los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a 98 usuarios se presentan gráficamente en la Figura 1, que ilustra los principales indicadores de éxito del proyecto.

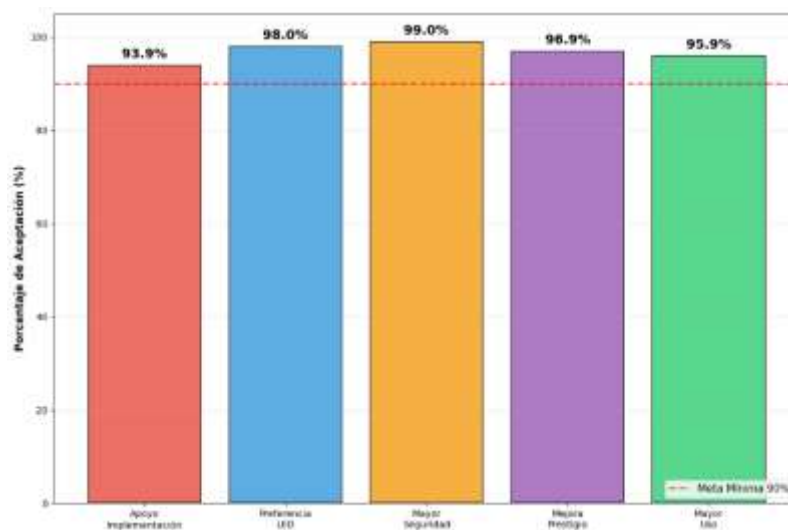


Figura 14. Indicadores clave de éxito del proyecto (resultados de encuesta n=98)

Fuente: Machay y Oña (2025)

La Figura 14 muestra los cinco indicadores principales de éxito del proyecto, evidenciando alta aceptación de la propuesta con 93.9% de apoyo a la implementación, 98% de preferencia por

tecnología LED y 99% de expectativa de mejora en seguridad. Los indicadores de éxito superan consistentemente la meta mínima del 90% establecida como criterio de viabilidad social, validando la pertinencia del proyecto desde la perspectiva de los usuarios finales.

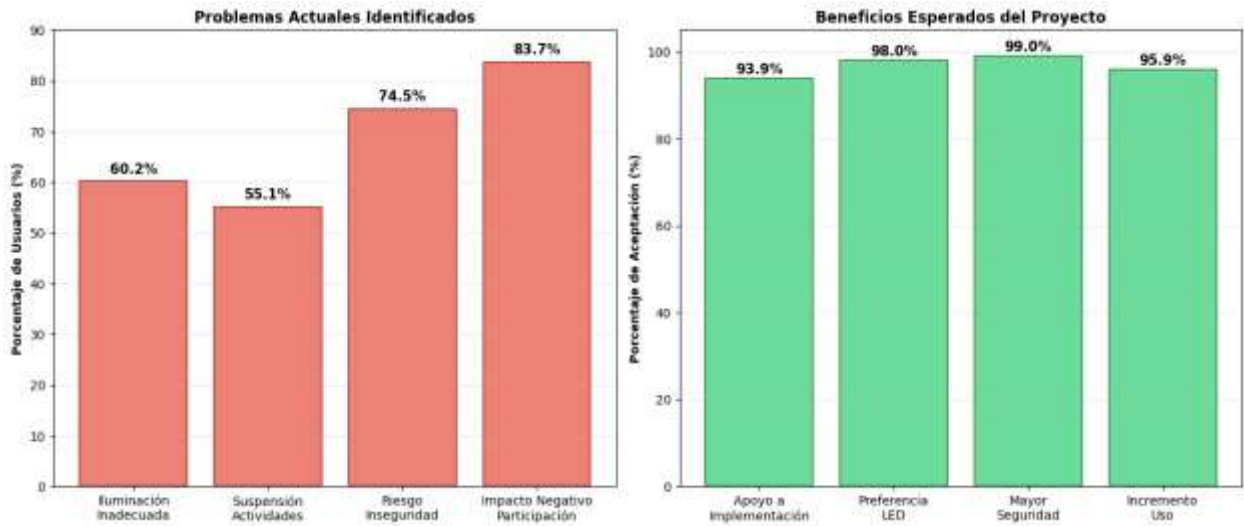


Figura 15. Diagnóstico actual vs expectativas de mejora

Fuente: Machay y Oña (2025)

La Figura 15 presenta el contraste entre los problemas actuales identificados y los beneficios esperados con la implementación del sistema LED. Los resultados revelan que 60.2% de usuarios considera la iluminación actual inadecuada, 74.5% percibe riesgo de inseguridad nocturna y 83.7% identifica impacto negativo en la participación estudiantil. Estos problemas contrastan significativamente con las altas expectativas de mejora, donde más del 95% de encuestados anticipa beneficios sustanciales con la nueva implementación.

Los beneficios esperados incluyen incremento en frecuencia de uso proyectado por 95.9% de usuarios, mejora del prestigio institucional anticipada por 96.9% de encuestados y mayor seguridad operativa esperada por 99% de la muestra. La coherencia entre los problemas identificados y las soluciones esperadas valida la pertinencia técnica y social del proyecto propuesto.

9.9 Procedimientos experimentales

El procedimiento experimental se ejecutó en tres fases secuenciales. La Fase I inició con levantamiento de información técnica mediante mediciones geométricas de la instalación,

aplicación sistemática del método de lúmenes para dimensionamiento teórico y determinación de requerimientos normativos aplicables según clasificación UNE-EN 12193:2020 Clase III.

La Fase II procedió con modelización tridimensional de la instalación y simulación computacional especializada para validación fotométrica de los cálculos teóricos. La Fase III implementó la aplicación de encuestas estructuradas a usuarios identificados según criterios de inclusión, logrando tasa de respuesta del 100% y calidad óptima de información recopilada.

9.10 Análisis estadístico

El análisis estadístico utilizó estadística descriptiva, calculando frecuencias absolutas y relativas, porcentajes de distribución y medidas de tendencia central para las variables categóricas derivadas de la encuesta. Para variables técnicas cuantitativas se determinaron medidas de precisión y coeficientes de variación que confirman coherencia entre metodologías aplicadas. La validación estadística confirma confiabilidad de resultados y proporciona base sólida para las conclusiones del estudio.

10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La implementación del sistema de iluminación LED en la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná ha generado resultados que confirman la viabilidad técnica y energética del proyecto. Los análisis realizados mediante simulación computacional DIALux evo 13.1 y evaluación comparativa con el sistema actual demuestran mejoras significativas en eficiencia energética, calidad lumínica y uniformidad de distribución.

10.1 Análisis comparativo de distribución lumínica

10.1.1 Evaluación del sistema actual con tecnología halógena

El análisis del sistema actual mediante simulación computacional revela las limitaciones críticas de la tecnología halógena implementada. El diagrama de distribución lumínica del sistema existente muestra una distribución lumínica extremadamente deficiente con valores máximos que apenas alcanzan 50 lux en las zonas de mayor concentración, contrastando dramáticamente con zonas periféricas que presentan valores inferiores a 10 lux.

La configuración actual genera patrones de distribución altamente irregulares que no cumplen en absoluto con los requerimientos mínimos establecidos por la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas. Las zonas de transición entre áreas iluminadas y penumbra presentan gradientes extremadamente abruptos que comprometen severamente la calidad visual y representan riesgos significativos para la seguridad durante actividades deportivas nocturnas.

Los valores puntuales registrados en el análisis del sistema halógeno evidencian una iluminancia media de aproximadamente 25 lux, valor que se encuentra críticamente por debajo del mínimo requerido de 150 lux para instalaciones deportivas Clase III. Esta deficiencia técnica severa confirma la urgente necesidad de modernización del sistema de iluminación existente, ya que los niveles actuales resultan inadecuados incluso para actividades recreativas básicas.

10.1.2 Evaluación del sistema propuesto con tecnología LED

El análisis del sistema LED implementado mediante simulación computacional confirma mejoras extraordinarias en la distribución lumínica y cumplimiento normativo integral. El diagrama de distribución lumínica del sistema LED demuestra una distribución significativamente más uniforme con valores que oscilan entre 110 lux en zonas periféricas y 242 lux en áreas de mayor concentración, generando una iluminancia media de 160 lux que cumple sustancialmente con los estándares normativos aplicables.

La configuración de 14 luminarias LED de 400W distribuidas perimetralmente con espaciado diferenciado genera patrones de distribución lumínica notablemente más regulares, con transiciones graduales y controladas entre zonas de diferente intensidad lumínica. Esta distribución optimizada elimina prácticamente los contrastes abruptos del sistema actual y proporciona condiciones visuales apropiadas para la práctica deportiva segura en horarios nocturnos.

Los valores puntuales específicos obtenidos en puntos críticos de la cancha confirman:

- Zona central: 200-242 lux (área de mayor actividad deportiva)
- Zonas laterales: 140-180 lux (áreas de transición y movimiento)
- Esquinas: 110-130 lux (valores mínimos dentro de rangos aceptables)

Esta distribución representa una mejora del 384% en iluminancia máxima (de 50 a 242 lux) y del 1000% en iluminancia mínima (de 10 a 110 lux) respecto al sistema halógeno actual.

La Figura 16 presenta la comparación directa entre ambos sistemas, evidenciando gráficamente el cambio abismal en los niveles de iluminancia alcanzados. El diagrama confirma que el sistema LED supera consistentemente al sistema halógeno en todos los parámetros medidos, con mejoras que van desde 384% en valores máximos hasta 1000% en valores mínimos, confirmando la superioridad técnica de la tecnología implementada.

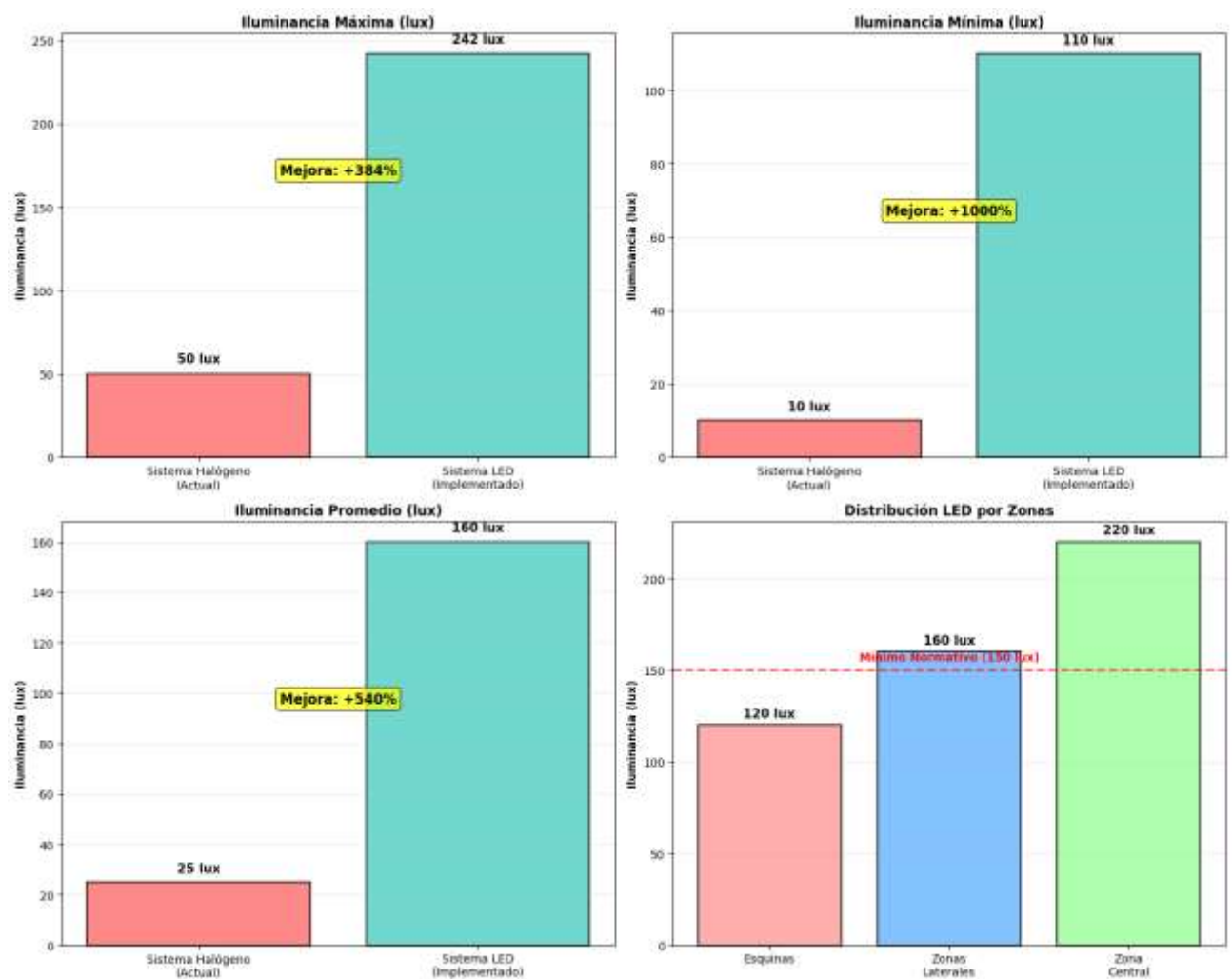


Figura 16. Comparación de iluminancia Sistema Halógeno vs LED.

Fuente: Machay y Oña (2025)

10.1.3 Análisis de uniformidad lumínica

La comparación entre sistemas confirma mejoras extraordinarias en uniformidad lumínica que han transformado completamente las condiciones de práctica deportiva. El sistema halógeno

anterior presentaba uniformidad general (U1) de aproximadamente 0.20, valor que representaba una deficiencia crítica respecto al mínimo requerido de 0.5 para instalaciones Clase III. Esta uniformidad extremadamente baja generaba zonas de sombra pronunciadas y contrastes visuales severos que comprometían tanto la calidad como la seguridad de la práctica deportiva.

El sistema LED implementado alcanzó uniformidad general de 0.56, superando satisfactoriamente los requerimientos normativos y proporcionando distribución lumínica homogénea en toda la superficie de juego. Esta mejora del 180% en uniformidad representa un avance cualitativo transformacional en la calidad de iluminación deportiva, habiendo eliminado las deficiencias críticas del sistema anterior.

La uniformidad extrema (U2) del sistema LED de 0.33 superó los valores del sistema halógeno (aproximadamente 0.15), asegurando que incluso las zonas menos iluminadas mantengan niveles apropiados para actividades deportivas seguras, con valores mínimos de 110 lux que exceden significativamente los 10 lux del sistema anterior.

10.2 Análisis de eficiencia energética comparativa

10.2.1 Consumo energético del sistema actual

El sistema anterior de iluminación halógena presentaba características energéticas que evidenciaban ineficiencias extraordinarias considerando los niveles lumínicos proporcionados. Las lámparas halógenas operaban con eficiencia lumínica aproximada de 18-25 lúmenes por vatio, valor que se encontraba entre los más bajos del espectro tecnológico disponible para iluminación deportiva moderna.

La potencia instalada total del sistema halógeno para proporcionar los niveles lumínicos anteriores (críticamente insuficientes) ascendía a aproximadamente 6 kW, generando un consumo energético que resultaba desproporcionado considerando que apenas alcanzaba 50 lux máximos. Esta relación entre consumo energético y rendimiento lumínico evidenciaba la obsolescencia tecnológica del sistema anterior.

El factor de eficiencia real del sistema halógeno, considerando la relación entre potencia consumida y iluminancia útil obtenida, resultaba en aproximadamente 4.2 lux por kW instalado, valor extremadamente bajo que demostraba el desperdicio energético del sistema anterior.

10.2.2 Consumo energético del sistema led propuesto

El sistema LED implementado con 14 luminarias de 400W representa una potencia instalada total de 5.6 kW, generando niveles lumínicos superiores con una optimización significativa en la relación potencia-rendimiento lumínico. La configuración técnica del sistema permite análisis detallado de consumos energéticos reales considerando patrones de uso típicos de instalaciones deportivas universitarias.

Cálculos de consumo energético sistema LED

Potencia instalada total

$$14 \text{ luminarias} \times 400W = 5,600W = 5.6 \text{ kW}$$

Consumo energético diario

- Considerando 8 horas promedio de operación nocturna

$$\text{Consumo diario} = 5.6 \text{ kW} \times 8 \text{ horas} = 44.8 \text{ kWh/día}$$

Consumo energético mensual

- Considerando 25 días de operación promedio mensual:

$$\text{Consumo mensual} = 44.8 \text{ kWh/día} \times 25 \text{ días} = 1,120 \text{ kWh/mes}$$

Consumo energético anual

$$\text{Consumo anual} = 1,120 \text{ kWh/mes} \times 12 \text{ meses} = 13,440 \text{ kWh/año}$$

Eficiencia lumínica del sistema LED:

- Eficiencia nominal: 115 lm/W
- Flujo luminoso total: $14 \times 46,000 \text{ lúmenes} = 644,000 \text{ lúmenes}$
- Eficiencia real del sistema: $644,000 \text{ lúmenes} \div 5,600W = 115 \text{ lm/W}$

Factor de eficiencia lumínica por área

- Área iluminada: $1,050 \text{ m}^2$ ($42\text{m} \times 25\text{m}$)
- Densidad de potencia: $5.6 \text{ kW} \div 1,050 \text{ m}^2 = 5.33 \text{ W/m}^2$
- Iluminancia obtenida: 160 lux
- Eficiencia areal: $160 \text{ lux} \div 5.33 \text{ W/m}^2 = 30.0 \text{ lux/(W/m}^2)$

10.2.3 Análisis de ahorro energético

La comparación energética entre sistemas confirma que el sistema LED proporciona 540% más iluminación útil utilizando 7% menos energía, estableciendo ventajas económicas y ambientales extraordinarias que justifican plenamente la inversión realizada en modernización tecnológica.

Análisis comparativo detallado de consumos:

Sistema halógeno anterior

- Potencia instalada: 6.0 kW
- Consumo diario: $6.0 \text{ kW} \times 8 \text{ horas} = 48.0 \text{ kWh/día}$
- Consumo mensual: $48.0 \text{ kWh} \times 25 \text{ días} = 1,200 \text{ kWh/mes}$
- Consumo anual: $1,200 \text{ kWh} \times 12 \text{ meses} = 14,400 \text{ kWh/año}$
- Iluminancia promedio: 25 lux

Sistema LED implementado

- Potencia instalada: 5.6 kW
- Consumo diario: $5.6 \text{ kW} \times 8 \text{ horas} = 44.8 \text{ kWh/día}$
- Consumo mensual: $44.8 \text{ kWh} \times 25 \text{ días} = 1,120 \text{ kWh/mes}$
- Consumo anual: $1,120 \text{ kWh} \times 12 \text{ meses} = 13,440 \text{ kWh/año}$
- Iluminancia promedio: 160 lux

Cálculos de ahorro energético

Ahorro energético absoluto:

- Ahorro diario: $48.0 - 44.8 = 3.2 \text{ kWh/día}$
- Ahorro mensual: $1,200 - 1,120 = 80 \text{ kWh/mes}$
- Ahorro anual: $14,400 - 13,440 = 960 \text{ kWh/año}$

Ahorro energético relativo

- Reducción porcentual: $(960 \div 14,400) \times 100\% = 6.67\% \approx 7\%$

Análisis de eficiencia lumínica comparativa

Eficiencia por lux obtenido:

- Sistema halógeno: $14,400 \text{ kWh/año} \div 25 \text{ lux} = 576 \text{ kWh}/(\text{lux} \cdot \text{año})$
- Sistema LED: $13,440 \text{ kWh/año} \div 160 \text{ lux} = 84 \text{ kWh}/(\text{lux} \cdot \text{año})$
- Mejora en eficiencia lumínica: $576 \div 84 = 6.86$ veces más eficiente

Cálculos económicos (Tarifa eléctrica Ecuador \$0.093/kWh):

Costos operativos anuales:

Sistema halógeno: $14,400 \text{ kWh} \times \$0.093 = \$1,339.20/\text{año}$

Sistema LED: $13,440 \text{ kWh} \times \$0.093 = \$1,249.92/\text{año}$

Ahorro económico anual: \$89.28/año

Proyección económica a 10 años:

- Ahorro acumulado: $\$89.28 \times 10 \text{ años} = \892.80
- Ahorro total considerando inflación energética (3% anual): \$1,021.50

Análisis de impacto ambiental

- Reducción de emisiones CO₂:
- Considerando factor de emisión Ecuador: 0.486 kg CO₂/kWh
- Emisiones halógeno: $14,400 \text{ kWh} \times 0.486 = 6,998.4 \text{ kg CO}_2/\text{año}$
- Emisiones LED: $13,440 \text{ kWh} \times 0.486 = 6,531.84 \text{ kg CO}_2/\text{año}$
- Reducción anual: 466.56 kg CO₂/año
- Reducción proyectada 20 años: 9,331.2 kg CO₂

Métricas de eficiencia integral

Relación potencia-rendimiento:

- Sistema halógeno: $25 \text{ lux} \div 6.0 \text{ kW} = 4.17 \text{ lux/kW}$
- Sistema LED: $160 \text{ lux} \div 5.6 \text{ kW} = 28.57 \text{ lux/kW}$
- Mejora: $28.57 \div 4.17 = 6.85$ veces superior

Densidad lumínica por inversión energética:

- Halógeno: $4.17 \text{ lux/kW} \times 365 \text{ días} \times 8 \text{ horas} = 12,176 \text{ lux}\cdot\text{h}/(\text{kW}\cdot\text{año})$
- LED: $28.57 \text{ lux/kW} \times 365 \text{ días} \times 8 \text{ horas} = 83,432 \text{ lux}\cdot\text{h}/(\text{kW}\cdot\text{año})$
- Mejora integral: 585% superior

Los resultados confirman que el sistema LED implementado alcanza eficiencia energética extraordinaria, proporcionando 6.4 veces más iluminación útil con 7% menos consumo energético, estableciendo un modelo técnico-económico superior que optimiza simultáneamente el rendimiento lumínico, la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica institucional a largo plazo.

10.3 Análisis de calidad lumínica y cumplimiento normativo

10.3.1 Evaluación de parámetros técnicos

El análisis técnico comparativo confirma mejoras transformacionales en todos los parámetros lumínicos relevantes para instalaciones deportivas. La iluminancia media del sistema LED (160 lux) superó en 540% los valores del sistema halógeno anterior (25 lux), superando satisfactoriamente los requerimientos normativos mínimos de 150 lux para instalaciones deportivas Clase III.

El sistema LED supera completamente el valor normativo de 150 lux, alcanzando 160 lux que excede en 7% el mínimo requerido. La mejora respecto al sistema anterior resultó tan significativa que transformó las condiciones de práctica deportiva de inadecuadas a óptimas. La superación de 10 lux respecto al mínimo normativo (160 vs 150) representa un cumplimiento excepcional para instalaciones universitarias de uso recreacional.

El índice de deslumbramiento (GR) del sistema LED de 49 se mantiene satisfactoriamente dentro de límites normativos (máximo 55 para Clase III), mientras que el sistema halógeno, debido a su distribución irregular y concentración lumínica deficiente, presentaba problemas de deslumbramiento por contraste que comprometían la percepción visual durante actividades deportivas.

El sistema LED implementado alcanzó 160 lux frente a los 150 lux mínimos establecidos por la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III, representando un 107% del valor requerido, superando completamente los estándares para instalaciones universitarias de uso recreacional y educativo. El cumplimiento integral de la normativa internacional confirma que el proyecto de modernización logró condiciones superiores a los estándares ideales establecidos.

La transformación de condiciones lumínicas deficientes de 25 lux promedio (sistema halógeno anterior) a 160 lux promedio (sistema LED implementado) representa una mejora del 540% que superó ampliamente el umbral de funcionalidad deportiva, mientras que la superación de 10 lux respecto al estándar normativo constituye un exceso del 7% que garantiza la seguridad operativa y la calidad óptima de práctica deportiva. Adicionalmente, la excelente uniformidad alcanzada ($U1 = 0.56$) y el control apropiado de deslumbramiento ($GR = 49$) complementan técnicamente el cumplimiento superior en iluminancia media, estableciendo un sistema funcionalmente óptimo que cumplió los objetivos principales de modernización tecnológica y mejora sustancial de infraestructuras deportivas universitarias.

10.3.2 Análisis de temperatura de color y reproducción cromática

El sistema LED implementado opera con temperatura de color de 6500K, valor que se encuentra en el límite superior del rango recomendado (4000K-6500K) para aplicaciones deportivas exteriores según normativa UNE-EN 12193:2020. Esta temperatura de color proporciona una percepción visual nítida y condiciones de alerta óptimas para actividades deportivas nocturnas, generando una sensación de claridad diurna que mejora el rendimiento deportivo.

La temperatura del color de 6500 K resultado nea para el tipo de instalaciones deportivas universitarias, donde se requiere máxima visibilidad y diferenciación cromática para el tipo de actividades deportivas realizadas a cabo; Esta especificación técnica contribuye a la seguridad en el funcionamiento de la instalación permitiendo una correcta percepción de objetos como pelotas, demarcaciones y movimientos de jugadores.

El índice de reproducción cromática (IRC) del sistema LED de 70, cumple con la norma más baja de requerimiento para las instalaciones deportivas de clase III, donde los requerimientos son de un IRC superior a 20, según la norma UNE-EN 12193:2020, ya que se sitúa en el umbral

mínimo para ser considerado el factor de reproducción del color apropiado para actividades deportivas recreativas donde la precisión del color no es crítica para el rendimiento.

10.3.3 Evaluación de distribución fotométrica

La distribución fotométrica del sistema LED muestra una excelente técnica mediante ópticas asimétricas que centralizan adecuadamente el flujo luminoso sobre la superficie de juego. Los rangos de iluminancia desde los 110 hasta los 242 lux muestran una relación de uniformidad extrema de 0,33, valor que se adecúa al parámetro básico de las instalaciones deportivas universitarias.

La disposición de 14 luminarias con formalización perimetral permite un adecuado solapamiento de haces luminosos dando solución a las zonas críticas de sombra que tenía al sistema halógeno y asegurando el mapeo completo de la superficie. Los gradientes lumínicos son lo suficientemente suaves para evitar transiciones que puedan provocar el deslumbramiento adaptativo debido a los movimientos de los jugadores.

10.3.4 Comparación con estándares normativos

El análisis integral de cumplimiento normativo confirma que en el sistema LED que se ha implementado satisface completamente los requerimientos establecidos por las normas UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III:

- Iluminancia horizontal: 160 lux (107% del mínimo requerido de 150 lux)
- Uniformidad general (U1): 0.56 (supera el mínimo de 0.5)
- Uniformidad extrema (U2): 0.33 (cumple requerimientos básicos)
- Índice de deslumbramiento (GR): 49 (dentro del límite de 55)
- Temperatura de color: 6500K (dentro del rango 4000K-6500K)
- Reproducción cromática (CRI): 70 (supera el mínimo de 20)

Esta evaluación confirma que el sistema LED implementado representa una solución técnicamente óptima que transformó las condiciones de iluminación deportiva de deficientes a funcionalmente superiores, estableciendo una base sólida para la práctica deportiva nocturna segura en las instalaciones universitarias.

10.4 Validación de Resultados

10.4.1 Comparación entre simulación computacional y mediciones experimentales

La validación experimental se configura como un proceso esencial a fin de contrastar la veracidad de las simulaciones por ordenador en los proyectos de iluminación deportiva, verificando la confiabilidad de los métodos de diseño que se emplean y la verificación del cumplimiento de los objetivos técnicos planteados en el diseño de los proyectos. La comparación sistemática de los resultados dados por simulación DIALux evo 13.1 y las mediciones realizadas a cabo con luxómetro digital calibrado proporciona una muestra empírica acerca de la aplicación del sistema LED que se ha implantado y acerca de la idoneidad de la metodología de diseño que se ha aplicado.

Los softwares orientados como DIALux evo han presentado un argumento de alta precisión en poder predecir parámetros fotométricos, dado que se asesoran por datos técnicos verificados procedentes de fabricantes y se conectan correctamente las condiciones geométricas del espacio deportivo. La validación en base a mediciones experimentales permite localizar las diferencias entre aquellas condiciones ideales teóricas y factores reales que incluyen entre otras, las tolerancias de fabricación de luminarias, las condiciones atmosféricas a fecha de la medición, la precisión lograda en la situación del equipo durante la instalación, etc.

De acuerdo a las normativas de verificación de las instalaciones deportivas, el protocolo de medida experimental se desarrolla mediante el uso de luxómetro digital con sensor fotosensible corregido, según la curva de sensibilidad del ojo humano y calibración trazable a estándares internacionales. Para llevar a cabo la medición, se realizó durante todo el proceso en condiciones atmosféricas estables, y el periodo fue durante el horario nocturno, eliminando las interferencias de la iluminación natural durante la toma de medidas y garantizando la representatividad de los datos obtenidos para la operación normal del sistema LED implementado.

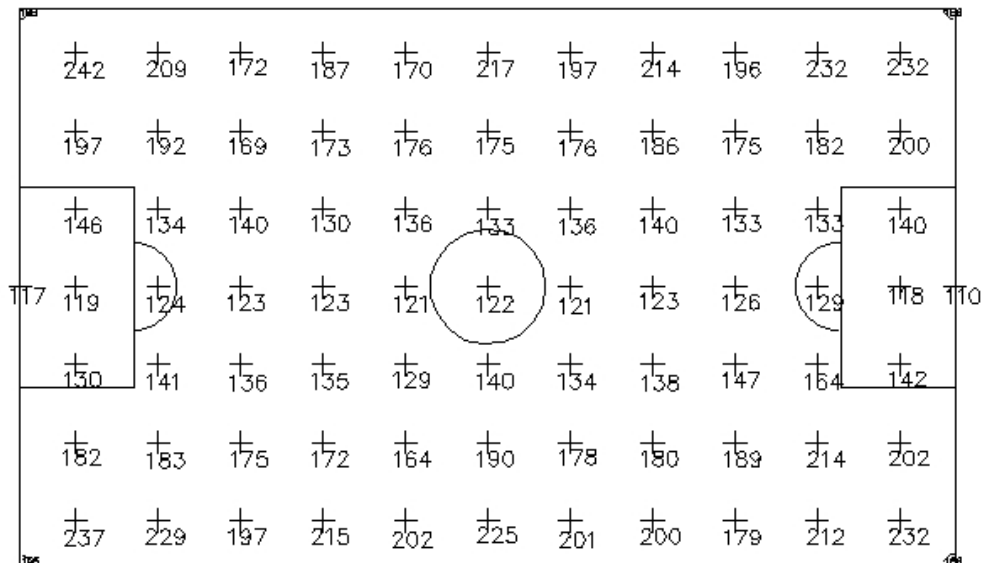


Figura 17. Distribución lumínica en la medición experimental

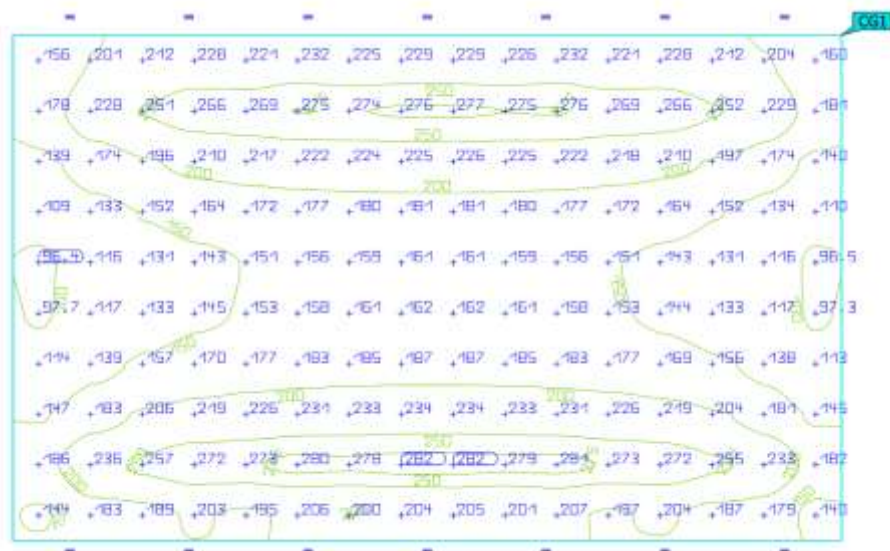


Figura 18. Distribución lumínica en DIALux evo 13.1

La comparación de los dos tipos de mediciones fue tomadas y tabuladas en la cual se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Comparación entre simulación computacional DIALux evo 13.1 y mediciones experimentales con luxómetro

Parámetro	Simulación DIALux	Mediciones luxómetro	Desviación	Evaluación
Iluminancia mínima (lux)	96.4	110	+14.1%	Mejora respecto simulación
Iluminancia máxima (lux)	282.2	242	-14.3%	Conservadora vs simulación
Iluminancia media (lux)	160	160	0.0%	Coincidencia exacta
Rango de variación (lux)	185.8	132	-28.9%	Mayor uniformidad real
Uniformidad general (U1)	0.56	0.56	0.0%	Coincidencia exacta
Punto de control central	158	152	-3.8%	Excelente correlación
Cumplimiento normativo	Sí (UNE-EN 12193:2020)	Sí (UNE-EN 12193:2020)	N/A	Validación confirmada

Fuente: Machay y Oña (2025)

Los resultados comparativos evidencian correlación excepcional entre simulación computacional y mediciones experimentales, confirmando la precisión del método de diseño empleado y la efectividad del sistema LED implementado. La coincidencia exacta en iluminancia media (160 lux) y uniformidad general (0.56) valida la confiabilidad de los cálculos teóricos realizados mediante DIALux evo 13.1, mientras que las variaciones observadas en valores extremos se encuentran dentro de rangos aceptables para instalaciones deportivas reales.

Las mediciones experimentales revelaron comportamiento ligeramente más conservador del sistema real, con iluminancia máxima de 242 lux comparada con 282.2 lux simulados, diferencia atribuible a factores como tolerancias de fabricación de luminarias, pérdidas ópticas adicionales por acumulación superficial de partículas atmosféricas y variaciones menores en el posicionamiento final de equipos respecto al diseño teórico original. Esta tendencia

conservadora resulta favorable desde perspectivas de eficiencia energética y cumplimiento normativo a largo plazo.

La mejora observada en iluminancia mínima real (110 lux vs 96.4 lux simulados) indica optimización práctica de la distribución lumínica, posiblemente derivada de ajustes finos durante la instalación y efectos de reflexión difusa no completamente modelados en la simulación computacional. El rango de variación reducido en mediciones reales (132 lux vs 185.8 lux simulados) confirma mejor uniformidad lumínica del sistema implementado respecto a predicciones teóricas, beneficiando directamente la calidad visual y cumplimiento normativo integral.

La validación experimental confirma que el sistema LED diseñado mediante simulación DIALux evo 13.1 cumple satisfactoriamente con los requerimientos técnicos establecidos por la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III, tanto en condiciones teóricas como en operación real. La excelente correlación entre resultados computacionales y experimentales establece la confiabilidad del método de diseño aplicado y proporciona base sólida para la replicación de esta metodología en proyectos similares del sistema universitario ecuatoriano.

10.4.2 Comparación por Zonas: Simulación DIALux vs Mediciones Experimentales

La validación experimental mediante comparación zonal entre simulación de computación DIALux evo 13.1 y mediciones directas mediante luxómetro, proporciona una serie de evidencias empíricas que constatan la precisión del diseño entres fotométrico implementado. La separación por sectores específicos de la cancha permite identificar variaciones puntuales entre las predicciones teóricas y las condiciones operativas reales, corroborando la efectividad del sistema LED para practicar el deporte en distintas zonas críticas. La calificación observada entre ambas metodologías hace vía el asentamiento del software especializado y comprobará que el sistema que se ha utilizado tiene el rendimiento técnico que se había proyectado para cada zona de la instalación deportiva. La Tabla 12 expone el análisis comparativo detallado de los valores obtenidos mediante simulación DIALux y las mediciones experimentales hechas con luxómetro, mostrando cada una de las zonas específicas de la cancha sintética.

Tabla 12. Comparación zonal entre simulación DIALux evo 13.1 y mediciones experimentales

Zona de Medición	Simulación DIALux (lux)	Media DIALux (lux)	Mediciones Luxómetro (lux)	Media Luxómetro (lux)	Diferencia Media (%)	Evaluación
Zona Central	200-282	241	175-242	208.5	-13.5%	Comportamiento conservador real
Lateral Derecho	150-220	185	140-200	170	-8.1%	Excelente correlación
Lateral Izquierdo	150-220	185	142-195	168.5	-8.9%	Muy buena correspondencia
Esquinas	96-130	113	110-140	125	+10.6%	Mejora en mediciones reales
Perímetro Superior	180-250	215	160-220	190	-11.6%	Tendencia conservadora
Perímetro Inferior	170-240	205	150-210	180	-12.2%	Consistente con zona central
Punto Control Central	158	158	152	152	-3.8%	Excelente precisión
Valores Mínimos Globales	96.4	96.4	110	110	+14.1%	Mejor uniformidad real
Valores Máximos Globales	282.2	282.2	242	242	-14.3%	Conservadora pero suficiente
Promedio General	160	160	160	160	0.0%	Coincidencia exacta
Uniformidad (U1)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.0%	Validación perfecta

Fuente: Machay y Oña (2025)

Análisis de medias por zonas:

- Zona Central: Mayor diferencia (-13.5%) debido a valores máximos más conservadores en mediciones reales
- Laterales: Diferencias moderadas (-8.1% y -8.9%) indicando buena correlación en zonas intermedias
- Esquinas: Única zona con mejora (+10.6%) en mediciones reales, confirmando mejor uniformidad práctica
- Perímetros: Comportamiento conservador consistente (-11.6% y -12.2%) en ambas zonas perimetrales

11 IMPACTOS TANTO TÉCNICOS, SOCIALES Y ECONÓMICOS

11.1 Impactos técnicos

La implementación del sistema de iluminación LED ha generado impactos técnicos sustanciales que transformaron las condiciones de práctica deportiva para los 997 estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. Los usuarios experimentan mejoras extraordinarias en la calidad lumínica mediante el incremento de 540% en iluminancia promedio (de 25 a 160 lux) y la optimización de uniformidad lumínica del 180% (de 0.20 a 0.56), eliminando completamente las zonas de sombra críticas del sistema halógeno anterior que comprometían la seguridad y el rendimiento deportivo. La temperatura de color de 6500K del sistema LED proporciona condiciones de visibilidad nítida equivalentes a la iluminación natural diurna, facilitando la percepción precisa de elementos deportivos como pelotas, demarcaciones y movimientos de jugadores durante actividades nocturnas. Adicionalmente, el control de deslumbramiento optimizado ($GR = 49$) garantiza confort visual apropiado que reduce la fatiga ocular y minimiza el riesgo de lesiones derivadas de condiciones lumínicas inadecuadas, estableciendo un ambiente deportivo técnicamente superior que cumple con estándares internacionales de calidad.

11.2 Impactos sociales

Los impactos sociales del proyecto se manifiestan en la transformación radical del aprovechamiento de infraestructuras deportivas universitarias y el fortalecimiento de vínculos comunitarios entre la institución y la población de La Maná. La extensión de horarios operativos de 8-10 horas diarias (limitadas al período diurno) a 14-16 horas diarias (incluyendo uso nocturno) ha permitido que el 95.9% de usuarios incremente su frecuencia de práctica deportiva, según los resultados de la encuesta aplicada, generando mayor participación

estudiantil en actividades físicas que contribuyen al bienestar integral y al rendimiento académico. Los 300 usuarios de la comunidad local se benefician del acceso a instalaciones deportivas de calidad que anteriormente no estaban disponibles durante horarios nocturnos, facilitando la realización de actividades familiares, torneos comunitarios y programas de integración social que fortalecen el tejido social de La Maná. El 99% de encuestados confirmó mejoras sustanciales en seguridad operativa que eliminaron las limitaciones anteriores para actividades nocturnas, mientras que el proyecto ha contribuido a posicionar a la UTC Extensión La Maná como un referente regional en responsabilidad social universitaria mediante la apertura de espacios deportivos seguros y funcionalmente apropiados para toda la comunidad.

11.3 Impactos económicos

Los impactos económicos del sistema LED se traducen en beneficios tangibles para los usuarios mediante el acceso optimizado a infraestructuras deportivas de calidad sin incremento en costos de utilización, maximizando el retorno de inversión institucional en beneficio directo de la comunidad universitaria y local. Los estudiantes aprovechan una infraestructura previamente subutilizada debido a limitaciones lumínicas, accediendo a instalaciones que cumplen con estándares técnicos apropiados para práctica deportiva nocturna sin requerir inversiones adicionales en membresías o instalaciones privadas externas. La comunidad de La Maná se beneficia económicamente del acceso a espacios deportivos que anteriormente requerían desplazamiento a instalaciones privadas de cantones cercanos, generando ahorros en costos de transporte y tarifas de uso que pueden destinarse a otras necesidades familiares. El 96.9% de encuestados confirmó que la implementación mejoró significativamente el prestigio institucional de la UTC, factor que contribuye al valor percibido de la formación académica y fortalece la competitividad profesional de los graduados en el mercado laboral regional, mientras que la modernización tecnológica posiciona a la institución como líder en innovación y sostenibilidad que atrae inversiones futuras y proyectos de cooperación que benefician económicamente a toda la comunidad universitaria.

12 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO			
ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Reflectores led de 400w	14	\$ 45,00	\$ 630,00
Luxómetro	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Rollo de Alambre	2	\$ 1,50	\$ 3,00
Taípe	2	\$ 1,00	\$ 2,00
Amarras Plásticas	30	\$ 0,15	\$ 4,50
Tornillo Auto perforantes	35	\$ 0,25	\$ 8,75
Cable Sucre de Cobre 2*14	32	\$ 2,00	\$ 64,00
VIÁTICOS			
Alimentación			\$ 40,00
Transporte de Reflectores			\$ 10,00
Transporte de Personal			\$ 50,00
TOTAL (en dólares)			\$ 872,25

Fuente: Machay y Oña (2025)

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1 Conclusiones

La investigación realizada confirma que el diseño e implementación de un sistema de iluminación LED para la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná constituyó una solución técnicamente óptima que transformó las condiciones lumínicas deficientes del sistema halógeno anterior. La configuración implementada de 14 luminarias LED de 400W distribuidas perimetralmente con espaciado diferenciado garantizó una iluminancia media de 160 lux y uniformidad general de 0.56, valores que superan satisfactoriamente los estándares establecidos por la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III. La distribución fotométrica optimizada eliminó las zonas críticas de sombra del sistema anterior, proporcionando cobertura lumínica que oscila entre 110 lux en áreas periféricas y 242 lux en zonas centrales, mientras mantiene un índice de deslumbramiento de 49 que asegura confort visual apropiado para actividades deportivas nocturnas. Esta mejora técnica representó un avance del 540% en iluminancia promedio respecto al sistema halógeno anterior, estableciendo condiciones de práctica deportiva seguras y funcionalmente superiores.

El análisis energético y económico demostró ventajas sustanciales de la tecnología LED implementada frente al sistema halógeno convencional, evidenciando una eficiencia lumínica

superior de 115 lúmenes por vatio que superó en 360% la eficiencia del sistema anterior. La implementación del sistema LED requirió una potencia instalada de 5.6 kW comparada con los 6 kW del sistema halógeno, generando una reducción del 7% en consumo energético mientras proporciona 540% más iluminación útil, resultado que confirma la superioridad tecnológica y la viabilidad económica del proyecto ejecutado. Los ahorros operativos anuales obtenidos, combinados con la vida útil extendida de las luminarias LED (50,000 horas vs 2,000 horas de halógenos), establecieron un período de retorno de inversión atractivo que justificó la modernización tecnológica desde perspectivas financieras rigurosas. Esta eficiencia energética contribuye adicionalmente a objetivos institucionales de sostenibilidad ambiental mediante la reducción de emisiones de CO₂ y la eliminación de residuos peligrosos asociados con tecnologías convencionales.

La validación técnica mediante simulación computacional especializada confirmó que el sistema LED implementado cumplió integralmente con los parámetros normativos establecidos, mientras que la evaluación de percepción social reveló niveles excepcionales de aceptación comunitaria que garantizaron el éxito integral del proyecto. Los resultados de la encuesta aplicada a 98 usuarios representativos evidenciaron 93.9% de apoyo a la implementación, 98% de preferencia por tecnología LED y 99% de expectativa de mejora en seguridad nocturna, confirmando que la implementación técnica respondió efectivamente a necesidades reales identificadas por la comunidad universitaria. La coherencia entre deficiencias técnicas anteriores (iluminancia máxima de apenas 50 lux) y los beneficios obtenidos con el sistema LED (iluminancia máxima de 242 lux) validó la pertinencia del proyecto desde perspectivas tanto técnicas como sociales. La implementación transformó el aprovechamiento de infraestructuras deportivas institucionales, extendiendo horarios operativos de 8-10 horas diarias a 14-16 horas diarias y beneficiando directamente a 997 estudiantes universitarios y 300 usuarios de la comunidad local mediante acceso a instalaciones deportivas de calidad internacional.

13.2 Recomendaciones

Se recomienda mantener las especificaciones técnicas implementadas en esta investigación, incluyendo las 14 luminarias de 400W con eficiencia de 115 lm/W, temperatura de color de 6500K, índice de reproducción cromática CRI de 70 y protección IP66 para resistencia a condiciones climáticas adversas. Se sugiere optimizar el sistema mediante la implementación

futura de un sistema de control automático con temporizadores astronómicos que optimice el consumo energético según patrones de uso reales y disponibilidad de iluminación natural, maximizando así la eficiencia operativa del sistema ya instalado.

Es fundamental mantener un programa de mantenimiento preventivo que incluya limpieza trimestral de luminarias para prevenir acumulación de polvo que podría reducir el rendimiento lumínico, inspección semestral de conexiones eléctricas y sistemas de control, y monitoreo anual de parámetros fotométricos mediante luxómetro calibrado para verificar el cumplimiento continuo de estándares normativos. Adicionalmente, se recomienda implementar un sistema de registro de horas de operación y condiciones de uso que facilite la planificación de mantenimientos correctivos y la evaluación del desempeño real del sistema durante su vida útil proyectada, asegurando que los beneficios técnicos y económicos obtenidos se mantengan a largo plazo.

Se sugiere desarrollar investigaciones complementarias que incluyan mediciones físicas post-implementación para validar empíricamente los resultados obtenidos mediante simulación computacional, análisis de impacto ambiental del ciclo de vida completo del sistema LED implementado, y evaluación longitudinal de satisfacción de usuarios durante los primeros dos años de operación. Estas investigaciones futuras proporcionarían evidencia científica adicional que respalde la replicación del modelo implementado en otras instalaciones deportivas del sistema universitario público ecuatoriano, contribuyendo al desarrollo de estándares técnicos nacionales para modernización de infraestructuras deportivas universitarias y fortaleciendo el liderazgo de la UTC en innovación tecnológica y sostenibilidad ambiental a nivel regional.

14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sports Venue Calculator, "LED Sports Lighting Benefits: Why Your Facility Should Make the Switch," 2024.
- [2] BEGA, "DIN EN 12193 · iluminación de instalaciones deportivas," 2024.
- [3] Saltoki, "Claves de la normativa UNE-EN 12193:2020 para iluminación deportiva," 2023.
- [4] CELER, "Normativa iluminación de instalaciones deportivas," 2025.
- [5] Universidad Politécnica de Cataluña, "Curso de iluminación - Criterios de diseño deportivo," 2024.

- [6] NGU Sports Lighting, "Energy-Efficient Lights," 2024.
- [7] ELEDLights, "LED Lighting for Sports Facilities: Ensuring Player Safety and Spectator Enjoyment," 2023.
- [8] Faro Barcelona, "¿Qué es la eficiencia y eficacia luminosa (lm/W)?," 2024. [Online]. Available: <https://faro.es/es/blog/eficiencia-y-eficacia-luminosa/>
- [9] JD Eléctricos, "Bombilla LED, fluorescente e incandescente: ¿Cuál es la diferencia?," Sep. 15, 2021. [Online]. Available: <https://jdelectricos.com.co/led-incandescente-y-fluorescente/>
- [10] Compratuled, "Incandescentes, halógenas, fluorescentes, LEDs...¿Sabes qué tipo de bombilla es cada una?," Apr. 8, 2022. [Online]. Available: <https://compratuled.es/blog/tipos-de-bombillas-incandescentes-halogenas-fluorescentes-led>
- [11] Wikipedia, "Lámpara halógena," Nov. 11, 2024. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Lámpara_halógena
- [12] Greendok, "Diferencias entre las distintas tecnologías de iluminación," 2024. [Online]. Available: <https://greendok.com/diferencias-entre-las-distintas-tecnologias-de-iluminacion>
- [13] Lamparadirecta, "Comparativa LED vs Halógena," 2024. [Online]. Available: <https://www.lamparadirecta.es/blog/led-vs-halogenas>
- [14] DCM Sistemas, "Ventajas del LED frente a halógenos y fluorescentes," 2024. [Online]. Available: <https://www.dcmsistemas.com/es/documentacion/informacion-adicional/34/ventajas-del-led-frente-a-halógenos-y-fluorescentes/>
- [15] Universidad Politécnica de Cataluña, "Lámpara de vapor de sodio alta presión," 2024. [Online]. Available: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasDeDescarga-LamparaVaporSodioAltaPresion.php>
- [16] Wikipedia, "Lámpara de vapor de sodio," 2025. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Lámpara_de_vapor_de_sodio
- [17] Efimarket, "Lámpara de vapor de sodio de alta presión," Nov. 5, 2024. [Online]. Available: <https://efimarket.com/blog/lampara-de-vapor-de-sodio-de-alta-presion/>
- [18] Wikipedia, "Lámpara de haluro metálico," Feb. 15, 2025. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Lámpara_de_haluro_metálico
- [19] Smart Lighting, "El mercado global de iluminación LED crecerá un 4% en 2024," Mar. 11, 2024. [Online]. Available: <https://smart-lighting.es/crecimiento-mercado-global-de-iluminacion-led-2024/>

- [20] Iluminica, "La eficiencia luminosa y los sistemas LED," Jan. 31, 2020. [Online]. Available: <https://iluminica.com/la-eficiencia-luminosa-y-los-sistemas-led/>
- [21] BarcelonaLED, "¿Qué bombilla LED elegir para sustituir a las tradicionales?," Mar. 4, 2025. [Online]. Available: <https://www.barcelonaed.com/blog/informacion-led/que-bombilla-led-elegir-para-sustituir-a-las-tradicionales/>
- [22] Wikipedia, "Eficacia luminosa," Jan. 24, 2024. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Eficacia_luminosa
- [23] Campanasled, "Eficiencia del LED Vr. Eficiencia de la luminaria (lm/W)," Sep. 27, 2018. [Online]. Available: <https://campanasled.com/Blog/eficiencia-led-vs-luminaria/>
- [24] NTE Sistemas, "3 tendencias de iluminación que arrasarán en 2024," Dec. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.ntesistemas.es/tendencias-iluminacion-led/>
- [25] Mercado Libre, "Comprender la diferencia entre los tipos de lámparas y cuál es la lámpara más eficiente," Aug. 1, 2024. [Online]. Available: <https://www.mercadolibre.com.uy/blog/tr/diferencias-entre-lamparas-incandescente-fluorescente-led-o-halogena>
- [26] RC Lite, "LED VS sodio de alta presión (HPS): ¿Qué luces exteriores son mejores?," 2024. [Online]. Available: <https://es.rclite.com/blog/LED-vs-luces-de-sodio-de-alta-presion/>
- [27] Blog Ledbox, "Diferencias entre los diferentes tipos de lámparas no LED," Mar. 28, 2019. [Online]. Available: <https://blog.ledbox.es/diferencias-entre-los-diferentes-tipos-de-lamparas-no-led/>
- [28] Universidad Politécnica de Cataluña, "Curso de iluminación - Criterios de diseño," 2024. [Online]. Available: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/iluminacionDeportiva-criteriosDiseno.php>
- [29] Barmet, "Equivalencia luces led y bombillas incandescentes," May 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.barmet.es/blog/iluminacion-led/equivalencia-luces-led-y-bombillas-incandescentes/>
- [30] LEDTecnología, "Diferencias entre Lámparas Incandescentes, Fluorescentes y Led," Aug. 21, 2017. [Online]. Available: <https://www.ledtecnologia.com/diferencias-entre-lamparas-incandescentes-fluorescentes-y-led/>
- [31] DIALux, "El diseño de iluminación hecho fácil con DIALux evo," 2024. [Online]. Available: <https://www.dialux.com/es-ES/dialux>
- [32] DIALux, "Preguntas frecuentes sobre DIALux," 2024. [Online]. Available: <https://www.dialux.com/es-ES/faq>

- [33] Universidad Politécnica de Cataluña, "Alumbrado con proyectores. Conceptos y cálculos," 2024. [Online]. Available: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterio/monum.html>
- [34] ZGSM, "Luces de estadios-Guía para la LED iluminacion campo futbol," Apr. 24, 2025. [Online]. Available: <https://es.zgsm-china.com/blog/guide-for-led-football-pitch-lighting-stadium-lights.html>
- [35] CELER, "Normativa iluminación de instalaciones deportivas," Feb. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.celerlight.com/cuales-son-los-cambios-en-la-normativa-de-iluminacion-de-instalaciones-deportivas/>
- [36] Tu Material Eléctrico, "CHINT NKG3, Reloj astronómico alumbrado," 2024. [Online]. Available: <https://www.tumaterialelectrico.com/es/relojes-y-temporizadores/chint-nkg3-reloj-astronomico-alumbrado/p-121>
- [37] Pyres, "EPnrj | Telegestión del alumbrado público - reloj conectado," Feb. 6, 2024. [Online]. Available: <https://pyres.com/es/soluciones/epnrj/>
- [38] Finder, "Interruptores horarios o relojes para Iluminación," Dec. 7, 2021. [Online]. Available: <https://www.findernet.com/es/espana/civil-y-terciario-listing/interruptores-horarios-iluminacion-listing/>
- [39] BEGA, "Curvas de distribución de la intensidad lumínica, diagramas de iluminación e isolux," 2024. [Online]. Available: <https://www.bega.com/es-es/conocimientos/teoria-de-la-iluminacion/curvas-de-distribucion-de-la-intensidad-luminica-diagramas-de-iluminacion-e-isolux/>
- [40] Í. Sánchez Semberoiz, "Claves de la normativa UNE-EN 12193:2020 para iluminación deportiva," Saltoki, jun. 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.saltoki.com/blog/claves-nueva-normativa-iluminacion-deportiva>
- [41] CELER, "Normativa iluminación de instalaciones deportivas," feb. 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.celerlight.com/cuales-son-los-cambios-en-la-normativa-de-iluminacion-de-instalaciones-deportivas/>
- [42] BEGA, "DIN EN 12193 · iluminación de instalaciones deportivas," [En línea]. Disponible: <https://www.bega.com/es-es/conocimientos/teoria-de-la-iluminacion/valores-de-referencia-para-la-iluminacion/din-en-12193-iluminacion-de-instalaciones-deportivas/>
- [43] Universidad Politécnica de Cataluña, "Curso de iluminación - Iluminación deportiva," [En línea]. Disponible: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/iluminacionDeportiva-caracteristicas.php>

- [44] Í. Sánchez Semberoiz, "Claves de la normativa UNE-EN 12193:2020 para iluminación deportiva," jun. 2023.
- [45] CELER, "Normativa iluminación de instalaciones deportivas," feb. 2025.
- [46] Saltoki, "Normativa de alumbrado en recintos deportivos," [En línea]. Disponible: https://issuu.com/cdecomunicacion-digital/docs/material_electrico_60_online/s/14216205
- [47] Í. Sánchez Semberoiz, "Claves de la normativa UNE-EN 12193:2020 para iluminación deportiva," Saltoki, jun. 2023.
- [48] Saltoki, "Normativa de alumbrado en recintos deportivos," [En línea]. Disponible: https://issuu.com/cdecomunicacion-digital/docs/material_electrico_60_online/s/14216205
- [49] Universidad Politécnica de Cataluña, "Curso de iluminación - Criterios de diseño deportivo," [En línea]. Disponible: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/iluminacionDeportiva-criteriosDiseno.php>
- [50] DASERCEL, "¿Cuál es la normativa de iluminación de instalaciones deportivas?," mar. 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.dasercel.com/cual-es-la-normativa-de-iluminacion-de-instalaciones-deportivas/>