



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

PROYECTO FINAL DE GRADO

**ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA LUMÍNICO
PRINCIPAL DEL CAMPO DE JUEGO DEL ESTADIO PARQUE DEL GUAIRA,
UBICADO EN LA CIUDAD DE VILLARRICA, DPTO DEL GUAIRÁ**

Especialidad: Ingeniería en Electricidad

Autor: Santiago Daniel Cadogan Cardozo

Firma autor:

AÑO 2022

ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA LUMÍNICO PRINCIPAL DEL CAMPO DE JUEGO DEL ESTADIO PARQUE DEL GUAIRA, UBICADO EN LA CIUDAD DE VILLARRICA, DPTO DEL GUAIRÁ

Elaborado por

SANTIAGO DANIEL CADOGAN CARDOZO

Tutor

Ing. Alfredo Moreno

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y
Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú,
como requisito para la obtención del título de Ingeniero en
Electricidad

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2022**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Dedicado a:

A Dios por sobre todas las cosas.

*A mis hijos **Samuel, Alejandro y María Paz**, quienes son mi motivación en esta vida.*

*A mi querida Esposa **Maribel Garcete**, por su acompañamiento constante.*

*A mi madre **María Estela** por el apoyo incondicional.*

Agradecimientos:

Gracias a Dios por todo darme la hermosa familia que tengo.

*A mi Madre **María Estela**, por forjar en mí, los valores, y el deseo de superación, por brindarme las herramientas necesarias para ser una profesional a pesar de todas las adversidades. Lo único que me resta decir es Gracias Mamá por todo.*

A mi padre Charly que desde el cielo guía mis pasos.

A mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mis profesores, por la dedicación.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el diseño lumínico de la cancha de fútbol profesional del Estadio Parque del Guairá ubicada en la ciudad de Villarrica del Espíritu Santo, el área del campo de juego es de 7.207,1 m². En dicho estadio se lleva a cabo encuentros deportivos Nacionales televisados, partidos de entrenamientos, competencias amateur y eventos como conciertos entre otros.

El diseño del sistema de iluminación se realiza con el criterio de satisfacer a todos los usuarios del estadio como jugadores, árbitros, público en general y satisfacer los requerimientos de la televisación. Se tiene en cuenta los tipos de eventos y encuentros de competencia nacional y amateur por lo cual se opta por establecer tres niveles de iluminación en virtud a las normativas de la Federación Internacional de Fútbol Asociado (FIFA).

Los niveles de iluminación se clasifican eventos televisados o de clase IV – partidos nacionales televisados donde se requiere 2.500 lux, eventos no televisados clase III – partidos nacionales no televisados con un requerimiento de nivel de iluminancia 750 lux y por último clase I – entrenamiento, juegos de recreo, y eventos en general con un requerimiento de 200 lux. Se realiza el diseño del sistema de iluminación cuidando también los demás requerimientos como la uniformidad vertical y horizontal del campo de juego, el deslumbramiento molesto para todos los usuarios dentro y fuera del estadio, la contaminación lumínica entre otros.

Se prevé la instalación de torres de iluminación en las esquinas, las alturas de las torres son de 60 m y fueron dimensionadas teniendo en cuenta las restricciones de deslumbramiento, iluminación invasiva y la cantidad de proyectores a instalar.

Atendiendo la normativa de la FIFA en el proyecto se prevé la instalación de un generador para mayor confiabilidad y seguridad de los usuarios del campo de juego, evitando interrupciones del suministro de energía. Además, se realizó el estudio de valuación económica para su implementación donde se ha tenido en cuenta los costos tarifarios de contratación de potencia, costos de mantenimientos, frecuencia de partidos, compra de equipo entre otros.

Palabras claves: Consumo de energía eléctrica, alternativa tecnológica, iluminación

ABSTRACT

In the present work, the lighting design of the professional soccer field of the Parque del Guairá Stadium located in the city of Villarrica del Espíritu Santo is carried out, the playing field area is 7,207.1 m². In this stadium, national televised sporting events, training matches, amateur competitions and events such as concerts, among others, are held.

The design of the lighting system is carried out with the criteria of satisfying all users of the stadium such as players, referees, the general public and satisfying the requirements of television. The types of events and matches of national and amateur competition are taken into account, which is why it is decided to establish three lighting levels in accordance with the regulations of the International Federation of Associated Football (FIFA).

Lighting levels are classified as televised or class IV events – televised national matches where 2,500 lux is required, non-televised events class III – non-televised national matches with a 750 lux illuminance level requirement and finally class I – training, games recreational, and events in general with a requirement of 200 lux. The design of the lighting system is carried out, also taking care of the other requirements such as the vertical and horizontal uniformity of the playing field, the annoying glare for all users inside and outside the stadium, light pollution, among others.

The installation of lighting towers in the corners is planned, the heights of the towers are 60 m and they were dimensioned taking into account the restrictions of glare, invasive lighting and the number of projectors to be installed.

In accordance with FIFA regulations, the project provides for the installation of a generator for greater reliability and safety of the users of the playing field, avoiding interruptions in the energy supply. In addition, the economic valuation study was carried out for its implementation, taking into account the tariff costs of power contracting, maintenance costs, frequency of matches, purchase of equipment, among others.

Key Words: Consumption of electrical energy, technological alternative, lighting

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE APROBACIÓN	I
<i>Dedicado a:</i>	II
<i>Agradecimientos:</i>	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
Capítulo 1	1
Introducción	1
Capítulo 2	2
Conceptos Generales de Iluminación	2
2.1. Flujo luminoso	2
2.1.1. Rendimiento luminoso o coeficiente de eficacia luminosa	2
2.1.3. Cantidad de luz	2
2.1.4. Intensidad luminosa	3
2.1.5. Distribución luminosa. Curva fotométrica.....	3
2.1.6. Nivel de iluminación o iluminancia	4
2.1.7. Luminancia	5
2.1.8. Uniformidad	6
2.1.9. Coeficiente de variación (CV)	6
2.1.10. Deslumbramiento.....	7
2.1.11. Temperatura de color (Tc)	7
2.1.12. Índice de reproducción de color	7
2.1.13. El índice de reproducción cromática y la temperatura de color	7
2.2. Iluminación Deportiva	8
2.2.1. Indicadores	8

2.2.2. Consideraciones de diseño	9
2.2.2.1. Luminarias	9
2.2.2.2. Tipos de luminarias	9
2.3. Diseño de Iluminación	12
2.3.1. Orientación y ubicación del proyector	12
2.3.2. Matriz de cálculo	13
2.3.3. Sistemas de iluminación por proyección	14
2.3.4. Sistema de iluminación lateral.....	14
2.3.5. Sombras de las gradas	18
2.3.6. Pérdidas por absorción atmosférica	19
2.4. Recomendaciones técnicas y requisitos de la FIFA para estadios de fútbol	20
2.4.1. Iluminación y suministro de energía.....	23
2.4.1.1. Suministro de energía	23
2.5. Categorías de competiciones.....	24
2.5.1. Altura de montaje de los aparatos de alumbrado - clase IV y clase V	24
2.5.2. Posibles vistas de las cámaras	24
2.5.3. Ángulos visuales de los jugadores y de la transmisión	26
2.5.4. Control de sombras (direccionamiento multizona)	27
2.5.5. Planificación de las instalaciones (eventos no televisados)	27
2.6. Especificaciones y tecnología para el diseño de iluminación	30
2.6.1. Uniformidad Horizontal.....	30
2.6.2. Vertical de la cámara de campo.....	31
2.6.3. Vertical de la cámara fija.....	31
2.6.3.1. Sumario de especificaciones para la iluminación de eventos no televisados.....	34
2.7. Impacto Medioambiental.....	35

2.8. Puesta en servicio de la instalación	36
2.8.1. Inspección y equipo	36
Resumen Ejecutivo	44
3.1. Descripción del trabajo.....	44
3.1.1. Métodos y técnicas a utilizar	44
3.1.1.1. Tipo de Investigación	44
3.1.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de Datos	45
3.2. Justificación	46
3.3. Finalidad del proyecto	46
3.4. Metas	46
3.5. Objetivos	47
3.5.1. Objetivos Generales.....	47
3.5.2. Objetivos Específicos.....	47
3.6. Beneficiarios.....	47
3.7. Producto.....	47
3.8. Localización física y cobertura espacial	48
3.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas	48
3.10. Recursos necesarios	49
3.10.1. Recursos humanos	49
3.10.2. Recursos materiales	49
3.10.3. Recursos Financieros	50
3.11. Factibilidad técnica	50
3.12. Factibilidad económica.....	50
3.12.1. Costos.....	51
Costo de Cables.....	51
Costo de Contactares	51

Costo de Luminaria	51
Costo de Torres	52
Costos asociados a la Generación.....	52
Presupuesto total en Guaraníes IVA incluido.....	52
3.13. Evaluación Económica	53
Parte III	1
Ingeniería de Diseño	1
Capítulo 4	56
Memoria de cálculo del sistema de iluminación.....	56
4.1. Torres de iluminación	56
4.1.1. Espacio limitado para aplicar la disposición lateral	56
4.2. Contaminación Lumínica.....	57
4.3. Ubicación y cálculo de la altura de las torres	58
4.4. Elección del tipo de proyectores a utilizar	61
4.5. Ubicación de las cámaras según recomendaciones de la FIFA.....	65
4.6. Posiciones de las cámaras de televisión.....	66
4.7. Diseño del sistema de iluminación	66
4.8. Circuitos de encendidos de lámparas para los tres niveles de iluminación..	67
4.8.1. Clase I – Entrenamiento y juegos de recreo	67
4.8.2. Encendido de lámparas para evento – clase I	68
4.8.3. Clase III – Partidos Nacionales no televisados	68
4.8.4. Encendido de lámparas para evento clase III	69
4.8.5. Clase IV– Partidos Nacionales televisados	69
4.8.6. Encendido de lámparas para evento – clase IV	70
4.8.7. Circuito de proyectores para cada torre	70
4.9. Resultado de las simulaciones.....	71

4.10. Evaluación económica y análisis de conveniencia para la implementación de un generador para el estadio Parque del Guairá.	72
4.11. Dimensionamiento del transformador.	74
4.11.1. Cálculo de Protecciones.....	75
4.11.2. Alimentador principal (Puesto de distribución)	75
4.11.3. Corriente máxima de cortocircuito del conductor	76
4.11.4. Corriente de cortocircuito de la instalación.....	77
4.12. Barras del tablero principal	82
4.12.1. Dimensionamiento del Generador.....	82
4.12.2. Instalación eléctrica.....	83
4.12.3. Esquema unifilar y circuitos.....	83
4.12.4. Cálculos eléctricos del Generador	83
4.12.5. Cálculo de Protecciones.....	84
4.12.6. Alimentación principal del generador	84
4.12.7. Barras eléctricas	86
4.13. Dimensionamientos por circuitos	86
4.14. Cálculo de puesta a tierra	91
Capítulo 5	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	96

Capítulo 1

Introducción

Actualmente el estadio Parque del Guaira, ubicado en el acceso norte de la ciudad de Villarrica, sobre la Ruta 8 "Blas Garay", cuenta con un sistema de iluminación no acorde para un evento deportivo Nacional televisado según lo requiere las exigencias de la FIFA. Además, provoca un impacto ambiental negativo ya que provoca deslumbramiento al campo visual normal de los peatones, automovilistas fuera del estadio. Cabe también mencionar que el estadio no dispone con un servicio de respaldo de suministro de energía eléctrica a fin de asegurar el abastecimiento de emergencia y el soporte de potencia en caso de producirse una interrupción del suministro de energía eléctrica principal proveído por la ANDE.

Por lo tanto, se requiere una reingeniería del sistema de iluminación del campo de juego, como también el diseño de un sistema de fuente de energía de respaldo a fin de asegurar el abastecimiento de energía del estadio.

El valor de este trabajo radica en que se podrá dotar al club Parque del Guaira de la ciudad de Villarrica de mejorar el sistema de sistema de iluminación principal, acorde a normas que rigen la materia, con un sistema de energía eléctrica de respaldo que posibilitará atender casos de contingencia por falla del sistema de alimentación principal.

Los principales beneficiarios serán el club, por adecuar su instalación lumínica a los estándares vigentes y los aficionados que asisten al estadio debido a que participarán de un mejor espectáculo.

Parte 1

Revisión Bibliográfica

Capítulo 2

Conceptos Generales de Iluminación

2.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso es la cantidad de energía radiante emitida en el espacio por una fuente luminosa en la unidad de tiempo, percibida y evaluada en términos de respuesta visual según el valor fijado internacionalmente para la sensibilidad del ojo humano. Su medida es el lumen (lm), que se representa mediante la letra griega Φ , y es una característica propia de cada punto luminoso [1].

La fórmula que expresa la iluminancia es:

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad (2.1)$$

Φ = Flujo luminoso en lúmenes (lm); Q = Cantidad de luz emitida en lúmenes por segundo (lm.s); t = Tiempo de duración de la emisión en segundos;

2.1.1. Rendimiento luminoso o coeficiente de eficacia luminosa

La eficacia luminosa describe el grado de acción de un iluminante, que se representa mediante la letra griega ρ y expresa la relación del flujo luminoso (Φ) dado en lumen y la potencia (P) empleada en vatios, siendo lumen por watio (lm/w) su unidad de medida. La fórmula que expresa el rendimiento luminoso es:

$$\rho = \frac{\Phi}{P} \quad (2.2)$$

ρ = Eficacia luminosa; Φ = Flujo luminoso en lúmenes; P = Potencia en vatios;

2.1.3. Cantidad de luz

La cantidad de luz registra la energía lumínica dada en un espacio de tiempo.

Por regla general, esta cantidad de luz se indica en klm.h.

$$Q = \Phi \cdot t \quad (2.3)$$

Q = Cantidad de luz; Φ = Flujo luminoso en kilolúmenes; t = Tiempo en horas.

2.1.4. Intensidad luminosa

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes. La intensidad luminosa se representa por la letra (I), siendo su unidad de medida la candela (cd).

La fórmula que expresa la intensidad luminosa es:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2.4)$$

I = Intensidad luminosa en candelas; Φ = Flujo luminoso en lúmenes;

Ω = Angulo sólido en estereorradianes;

2.1.5. Distribución luminosa. Curva fotométrica

El conjunto de toda la intensidad luminosa de una fuente de luz distribuido en todas las direcciones da lugar a una distribución luminosa. Para medir una distribución luminosa se utiliza un eje vertical que pasa por el punto de luz y los vectores de la intensidad luminosa que se pueden orientar en las infinitas direcciones del espacio, obtendríamos un cuerpo llamado "sólido fotométrico".

Haciendo pasar un plano por el eje de simetría del cuerpo luminoso se obtiene por intersección con el "sólido fotométrico" una curva de sección que se denomina "curva de distribución luminosa" o "curva fotométrica" [2].

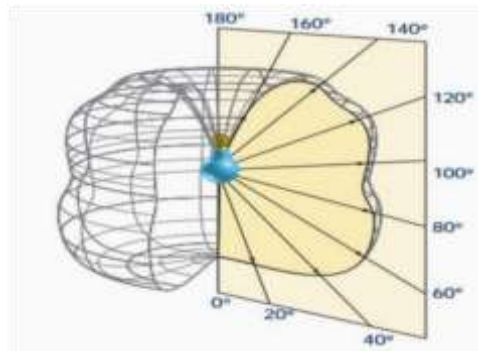


Figura 2.1. Sólido fotométrico de una lámpara incandescente.

Fuente: [3].

Mediante la curva fotométrica de una fuente de luz es posible determinar con precisión el valor de la intensidad luminosa en cualquier dirección del plano. Estos valores de la intensidad son necesarios para efectuar cálculos de iluminación y cada lámpara o luminaria tiene una curva de distribución en particular, lo cual permite elegir la más adecuada para una aplicación determinada.

Las curvas fotométricas se dan referidas a un flujo luminoso de 1.000 lúmenes y, como el caso más general es que la fuente emita de luz emita un flujo superior, los valores de la intensidad luminosa correspondiente se determina mediante una simple relación matemática.

2.1.6. Nivel de iluminación o iluminancia

La iluminancia es una medida para la densidad del flujo luminoso. Se ha definido como la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de la misma. La Iluminancia se representa generalmente por la letra E , siendo su unidad de medida el lux. La fórmula que expresa la iluminancia es:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.5)$$

E = Iluminancia en Lux; Φ = Flujo luminoso que incide sobre la superficie en lúmenes (lm); S = Superficie afectada por el flujo en m^2 ;

Otra expresión de la iluminancia pero en función de la intensidad luminosa y la

distancia sería: $E = \frac{I}{D^2}$ (2.6)

El lux, unidad de iluminancia, se define como la iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe uniformemente repartido un flujo luminoso de un lumen:

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}.$$

Medida de la iluminancia

La medida de la iluminancia se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro calibrado directamente en lux.

Iluminancia promedio (E_{med})

Se define como la relación entre la sumatoria de las iluminancias calculadas en cada punto considerado entre el número de dichos puntos.

$$E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{np} E_{pi}}{np} \quad (2.7)$$

E_{med} = Iluminación media; **E_{pi}**= Iluminancia en el punto i-ésimo; **np**= Número de puntos considerados;

2.1.7. Luminancia

La luminancia de una superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente (superficie vista por el observador situado en la misma dirección).

La luminancia se representa por la letra L, siendo su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m²) llamada nit (nt).

La fórmula que expresa la luminancia es:

$$L = \frac{I}{S \times \cos \alpha} \quad (2.8)$$

L = Luminancia en candelas por metro cuadrado; $S \times \cos \alpha$ = Superficie aparente; I = Intensidad luminosa en candelas; α = Angulo comprendido entre el ojo del observador y la recta normal a la fuente.

La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancia. La luminancia tiene gran importancia en el fenómeno deslumbramiento.

2.1.8. Uniformidad

La iluminancia proporcionada en una superficie determinada nunca será totalmente uniforme. Esto se debe a que siempre habrá diferencias de valores de iluminancia dentro del escenario visual iluminado. Para definir la uniformidad de los niveles de iluminación en un área, es necesario definir los factores que determinan las variaciones de iluminancia [4].

2.1.9. Coeficiente de variación (CV)

Unidad empleada para medir la uniformidad de iluminación. Se define como la relación entre la desviación normal de todos los valores y el valor promedio [3].

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (2.9) \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_L - \bar{X})^2}{n}} \quad (2.10)$$

σ = Desviación estándar

\bar{X} = Valor medio de todos los puntos

X_L = Valor horizontal en cada punto

n = Número total de puntos

2.1.10. Deslumbramiento

El deslumbramiento es la sensación visual producida cuando existe exceso de luminancia (brillo) en el campo de visión, lo cual altera la sensibilidad del ojo, causando molestias y reduciendo la visibilidad [4].

Los efectos de deslumbramiento se pueden dividir en dos grupos: deslumbramiento perturbador y deslumbramiento molesto. El primero es aquel que reduce la capacidad de visualizar objetos, pero no necesariamente causa molestias y el segundo es aquel que sí causa molestias en la visualización, pero no necesariamente dificulta la observación de los objetos.

2.1.11. Temperatura de color (Tc)

La temperatura de color de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática y está basada en el principio según el cual, todos los objetos cuando aumentan su temperatura. El color de esa luz cambia dependiendo del incremento de la temperatura, expresada en grados Kelvin (K).

2.1.12. Índice de reproducción de color

Grado en el cual una fuente específica de luz reproduce una gama de colores referenciales en comparación con los mismos colores bajo condiciones de luz natural. Cuanto mayor sea dicho índice, mejor será la calidad del color, dicho índice se mide en una escala de Ra0 a Ra100 [3].

2.1.13. El índice de reproducción cromática y la temperatura de color

Los conceptos de temperatura de color e índice de reproducción cromática son independientes entre sí, aunque ambos tienen una importancia capital a la hora de elegir una lámpara u otra. El índice de reproducción cromática (IRC o Ra) es un sistema internacional que mide la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores fielmente. La medición se realiza con la luz del día como referencia. Es decir, el IRC de la luz del día es de 100: toda la gama de colores se reproduce perfectamente.

Si se quiere comparar dos lámparas distintas, para comprobar cuál de ellas reproduce los colores con mayor calidad, es indispensable que ambas lámparas tengan una temperatura de color similar, ya que algunas lámparas pueden resaltar tonalidades en función de la temperatura de color de la luz que emitan. El color de un objeto iluminado por dos lámparas con el mismo IRC variará si cada una de las lámparas tiene una temperatura de color diferente.

2.2. Iluminación Deportiva

Cuando se realiza un proyecto de iluminación de una instalación deportiva, hay que tener muy en cuenta el programa de necesidades de dicha instalación. Por lo general en las instalaciones deportivas podemos considerar los siguientes agentes: jugadores, equipos técnicos (árbitros, jueces, entrenadores, etc.), espectadores, medios audiovisuales (Radio, TV, prensa, etc.), servicios [5].

2.2.1. Indicadores

Cuando se diseña el alumbrado de una instalación deportiva hay que tener en cuenta el área a calcular y los valores que en dicho cálculo adoptan los indicadores de EH, EV, U1, U2, el GR. Ra, etc. En el área de cálculo se organiza una retícula que se distribuye regular y simétricamente sobre la totalidad del campo de juego. El número de puntos de la retícula, deben ser al menos de 14 x 21, para campos de dimensiones mínimas (65 x 105 m), o de un máximo de 15 x 22 para campos de dimensiones máximas (75 x 110 m).

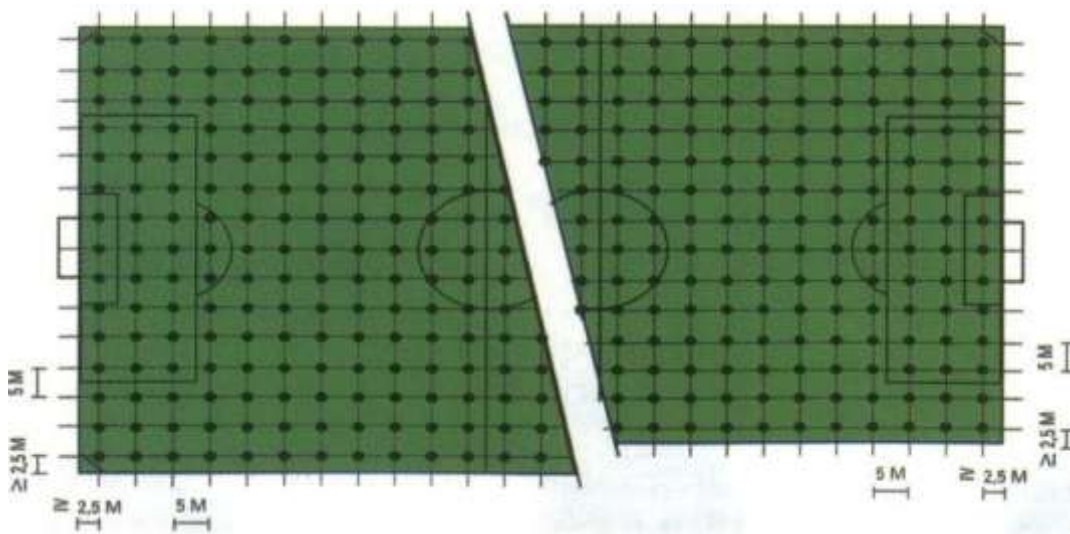


Figura 3.1. Dimensiones de la retícula para el diseño de alumbrado en un campo de fútbol. **Fuente:** [5].

2.2.2. Consideraciones de diseño

2.2.2.1. Luminarias

Según la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), la definición de luminarias son aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que contienen todos los accesorios necesarios para fijarlas, protegerlas y conectarlas al circuito de alimentación [4].

Una luminaria debe proveer los siguientes requisitos básicos para su funcionalidad:

- Protección de las fuentes de luz.
- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
- Aprovechar la mayor cantidad de flujo luminoso emitido por las fuentes de luz.
- Satisfacer las necesidades estéticas según el ambiente donde estén destinadas. Evitar las molestias provocadas por el brillo excesivo (deslumbramiento).

2.2.2.2. Tipos de luminarias

Los proyectores se clasifican de acuerdo a su distribución de luz:

Proyectores circulares (Fig. 3.3.)

- Con un haz simétrico en forma cónica. Pueden tener un haz estrecho o un haz ancho.
- Con un haz levemente asimétrico en el plano vertical. Pueden tener un haz estrecho, mediano, ancho y muy ancho.

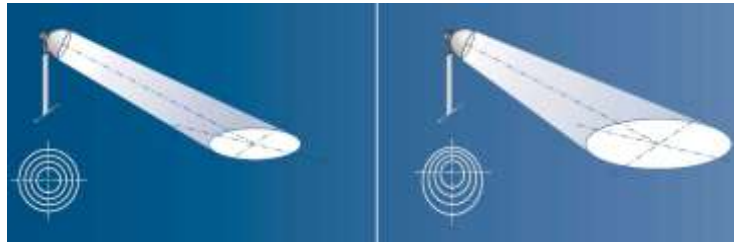


Figura 3.3. Haz de luz de proyectores circulares.

Proyectores rectangulares

- Con distribución de luz simétrica en los planos horizontales y verticales. En el plano horizontal el haz es ancho, mientras que en el plano vertical puede ser ancho o estrecho.
- Con distribución de luz simétrica en el plano horizontal y distribución de luz asimétrica en el plano vertical. El haz horizontal es ancho.



Figura 3.4. Haz de luz de proyectores rectangulares.

Los proyectores circulares requieren el uso de una fuente de luz más o menos concentrada, tal como un tubo de descarga corto de una lámpara de descarga de alta intensidad. Cuando no se enfoca verticalmente hacia abajo, el haz cónico emite un modelado de luz elíptica o casi elíptica sobre el campo. Los proyectores rectangulares se utilizan junto con fuentes lineales tales como lámparas de descargas tubulares y halógenas.

El haz con forma de abanico produce sobre el área donde se practica la actividad deportiva un modelo de luz muy trapezoidal.

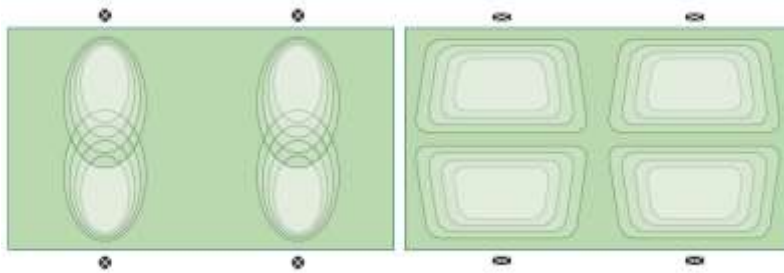


Figura 3.5. Disposición lateral de proyectores. **Fuente:** [6].

Cuando los proyectores rectangulares se montan en forma no muy separada sobre los lados de un área deportiva (disposición normal para un área pequeña) ofrecen dos ventajas sobre la unidad circular: la distribución de luz es más uniforme y el desperdicio de luz es menor. El proyector circular, sin embargo, es más eficiente que la unidad rectangular cuando se utiliza en las cuatro esquinas, disposición diagonal, siempre y cuando se utilicen varias unidades por columna.

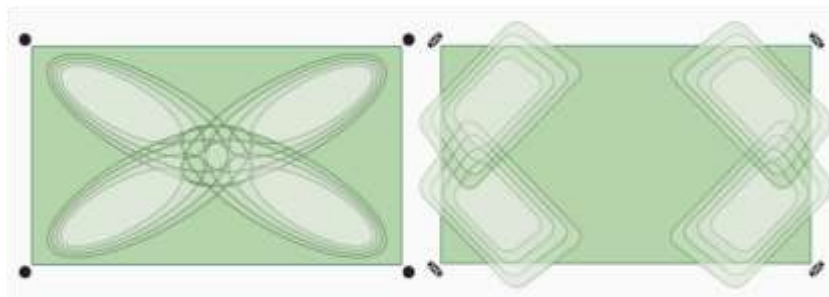


Figura 3.6. Disposición diagonal de proyectores.

Para todos los tipos de proyectores rectangulares simétricos se puede utilizar un dispositivo de apantallamiento especial, siempre que el proyector esté enfocado en una dirección que produzca deslumbramiento. Dichos proyectores están diseñados de manera tal que la intensidad máxima no está en el centro del haz, sino que se desplaza hacia un lado. La disminución de la intensidad luminosa en cada lado del eje del haz está dispuesta de manera tal que cuando enfoca en un punto determinado sobre la superficie, produce una iluminancia horizontal más o menos uniforme. Para limitar el deslumbramiento, las intensidades disminuyen rápidamente

desde cierto ángulo de incidencia de luz, haciendo que la distribución de luz sea todavía más asimétrica.

Cuando el deslumbramiento pueda producir una molestia importante a las personas que se encuentran fuera del área donde se practica la actividad deportiva, las intensidades luminosas fuera del haz actual deben ser lo más bajas posibles. Para esta aplicación se recomienda un proyector que pueda distribuir la luz totalmente debajo del plano horizontal.

2.3. Diseño de Iluminación

2.3.1. Orientación y ubicación del proyector

Los cálculos realizados por el ordenador suponen que pequeños grupos de proyectores en una red están ubicados en un solo punto, es decir, en el centro del grupo. Dichos cálculos son generalmente lo suficientemente exactos para aplicaciones generales. Sin embargo, cuando existen grandes grupos de proyectores y el espaciado entre las unidades exteriores es considerable, tal presunción puede resultar inexacta en el enfoque. En dichos casos, se determina para cada pequeño grupo de proyectores un punto de referencia.

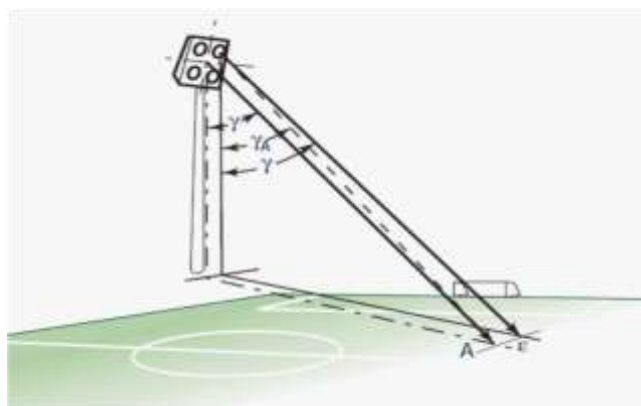


Figura 3.7. Error en el enfoque del proyector cuando se utiliza el mismo ángulo de enfoque para proyectores muy espaciados.

2.3.2. Matriz de cálculo

Como la distancia entre los puntos de la matriz es relativamente pequeña, el valor que se muestra en cada punto representa el área que rodea dicho punto

Los tamaños de matriz comúnmente empleados son:

- de 1 a 2 m: Para pequeñas áreas de juego.

- de 5 m: Para fútbol, hockey o rugby.

Para especificar las iluminancias horizontales, la matriz debe estar a nivel del suelo, mientras que para especificar las iluminancias verticales generalmente está a 1,5 m. sobre dicho nivel.

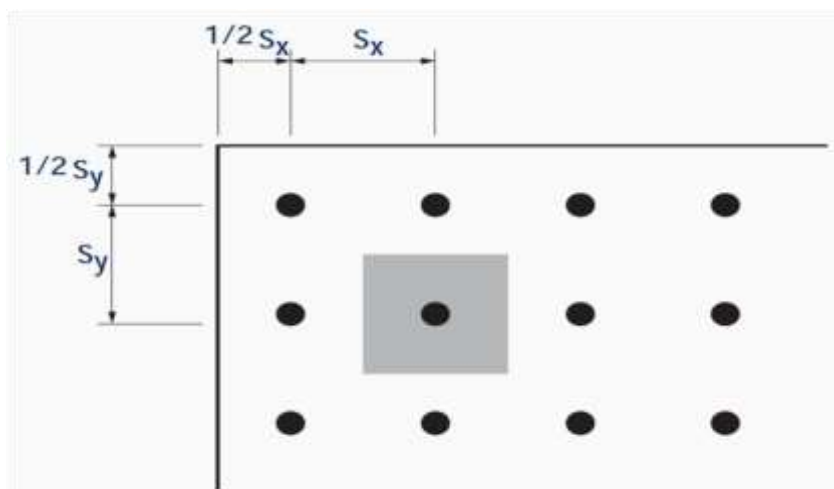


Figura 3.8. Posiciones del observador patrón y las direcciones de observación para realizar los cálculos de deslumbramientos.

Posiciones de la cámara

Se deben conocer las posiciones de la cámara para asegurar que la iluminación en dichas direcciones sea adecuada. Las mismas están especificadas como puntos de referencia en el programa de ordenador y generalmente se realizan cálculos separados para un número de puntos.

2.3.3. Sistemas de iluminación por proyección

Las siguientes descripciones de sistemas de alumbrado por proyección reflejan en gran medida las condiciones que son necesarias para el fútbol o juegos similares, pero generalmente serán satisfactorias cuando otros acontecimientos tengan lugar en el estadio.

2.3.4. Sistema de iluminación lateral

Un sistema de iluminación lateral usando 4 grupos de proyectores en cada lado del campo se observa en la mitad superior de la (Fig. 5.10.). La mitad inferior muestra el diseño para 3 grupos de proyectores.

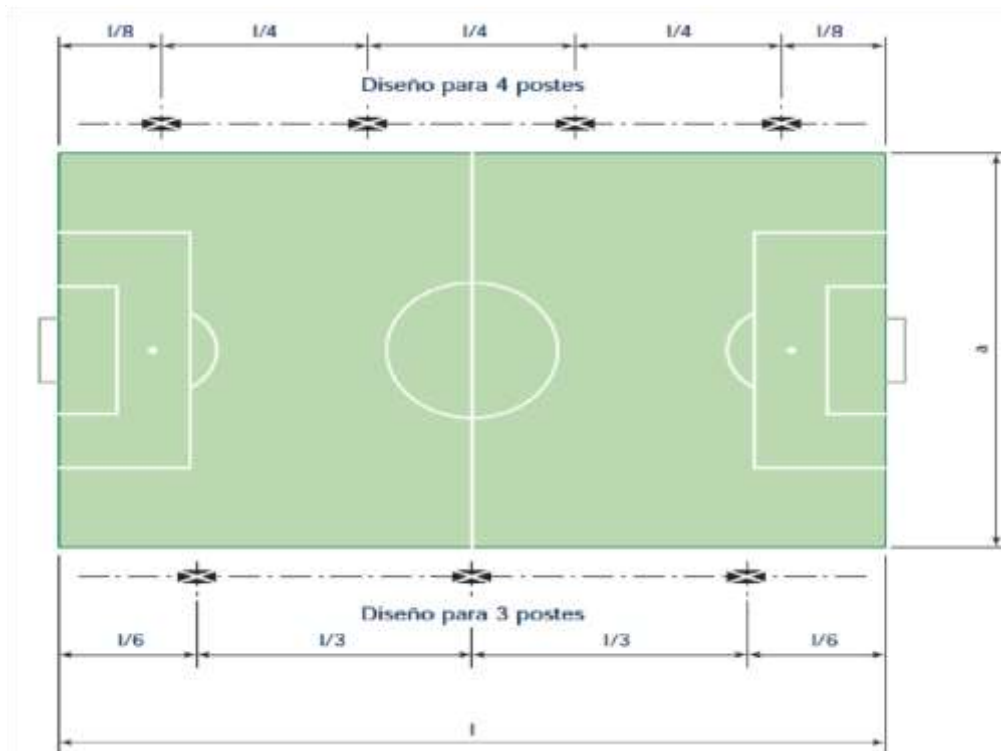


Figura 3.9. Sistema de iluminación lateral.

Los pequeños campos de entrenamiento pueden iluminarse desde menos posiciones y algunas veces desde sólo un lado.

Los proyectores rectangulares simétricos o asimétricos (que dan un haz en forma de abanico) se usan para la mayoría de los proyectos de iluminación lateral. La altura de montaje recomendada se deduce de la (Fig.5.9.), siendo medidos los ángulos característicos desde la línea longitudinal del centro del campo y la línea de banda.

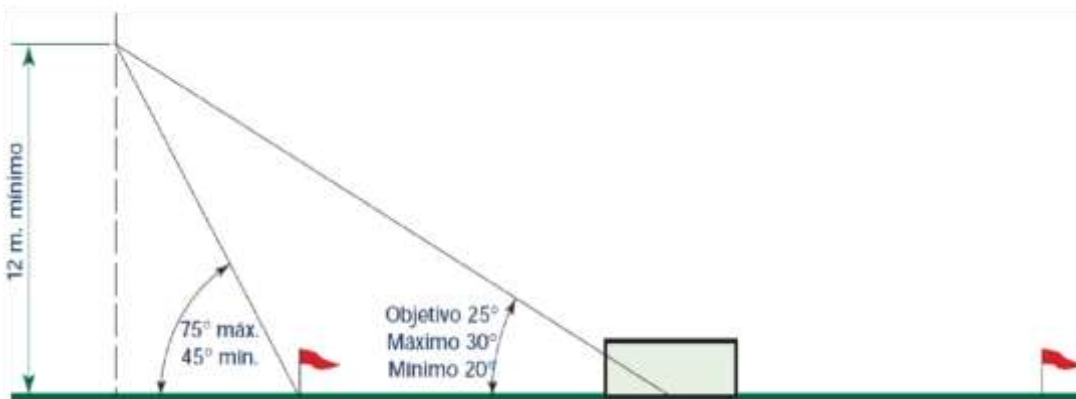


Figura 3.10. Parámetros para una altura de montaje adecuada.

Cuando se usan tres grupos de proyectores, éstos deben ser apuntados para obtener una aceptable uniformidad de iluminancia a lo largo de la línea de banda cercana. Eligiendo un número apropiado de proyectores para cada torre, las iluminancias que pueden ser proporcionadas van desde los valores bajos adecuados para campos de entrenamiento, hasta valores altos, necesarios para la retransmisión por T.V. color. La iluminancia en planos verticales sobre el área de juego es aproximadamente igual que la de los planos horizontales. El modelado es relativamente insignificante, y pueden verse claramente múltiples sombras. Es necesario un apuntamiento cuidadoso para evitar un deslumbramiento inadecuado.

La (Fig. 3.10) muestra el diseño de un sistema de proyectores laterales donde los proyectores están montados en líneas únicas bajo cada lado del campo y proporcionan la alta iluminancia necesaria para la T.V. color. Las alturas de montaje de los proyectores están definidas por los ángulos dados en la (Fig. 3.10). La línea de proyectores debería extenderse preferentemente más allá de las líneas de gol

para mantener una uniformidad de iluminancia razonable, especialmente en las áreas, y proporcionar luz sobre los jugadores para que sean vistos desde detrás de las porterías. Sin embargo, en la práctica esta extensión puede que no sea posible. Entonces, el amortiguamiento en iluminancia hacia las líneas de las porterías debería ser restringido por reducción del espacio de los proyectores hacia el final de las líneas o por el apuntamiento de los proyectores finales hacia fuera. Como con otros sistemas de iluminación lateral, la iluminancia media en los planos verticales sobre la zona de juego es aproximadamente igual a la de los horizontales y es necesario un apuntamiento cuidadoso para evitar excesivo deslumbramiento. Donde los proyectores son montados en los techos (viseras) de las gradas, la distancia de compensación puede que no sea suficientemente grande para proporcionar adecuada iluminancia vertical en la línea de banda más cercana. Entonces se necesitarán proyectores extra y deberían ser montados bajo el techo (visera) a la distancia de compensación necesaria.

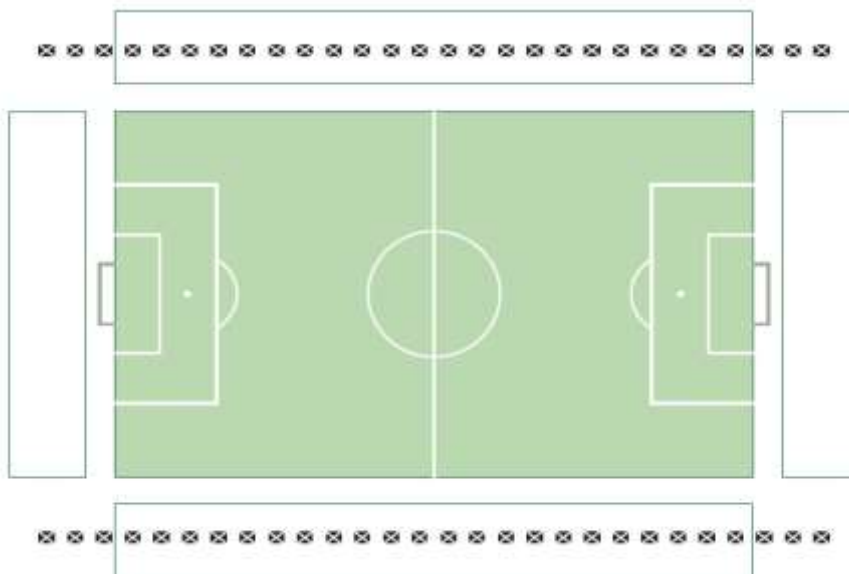


Figura 3.11. Sistema de proyectores laterales montados en línea única.

Sistema de torres en las esquinas

El diseño usado para 4 torres en las esquinas; las alturas recomendadas para la torre. Normalmente son usados proyectores tipo circular simétrico que dan un haz

simétrico. Los haces individuales pueden unirse para llenar lo que, desde la estructura superior, es visto como un área de juego de forma no rectangular y así permite un diseño de iluminancia adecuado para ser aumentado sobre el campo. Las compensaciones angulares de 5° y 15° respectivamente desde el centro de la línea de banda y la boca de gol proporcionan adecuadas ubicaciones para las torres. En la práctica, la ubicación de la torre es mandada más a menudo por la disposición del lugar que por los requisitos de la iluminación ideal.

Los grandes estadios, y especialmente aquellos con pistas fuera del campo de juego, son difíciles de iluminar suficientemente desde las 4 esquinas. Serían necesarias torres muy altas para cumplir con los requisitos angulares y el deslumbramiento desde los proyectores de largo alcance que serían necesarios, probablemente serían excesivo. Por estas razones, se prefiere el sistema de 6 torres. La altura de la torre está definida desde el centro de la mitad del campo y aproximadamente 2 veces tantos proyectores agrupados en las torres centrales como en la de las esquinas. Los ángulos de apuntamiento son agudos y el deslumbramiento puede controlarse con bastante facilidad. La relación de iluminancia entre planos verticales y planos horizontales es aproximadamente 0,7.

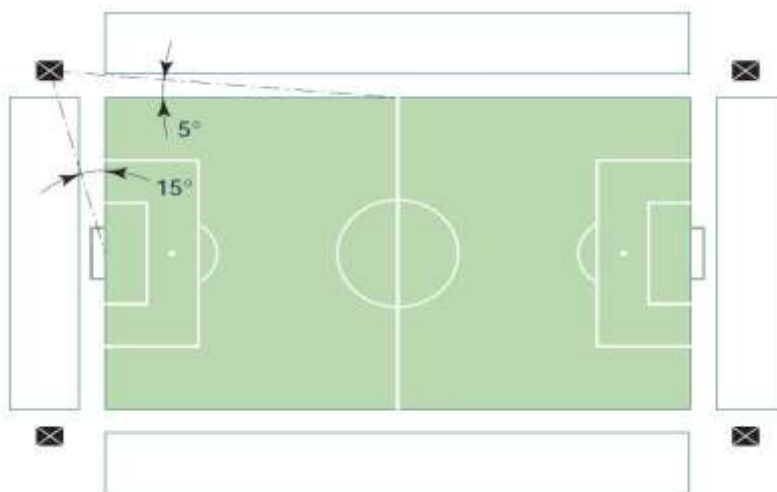


Figura 3.11. Sistema de proyectores montados en las esquinas.

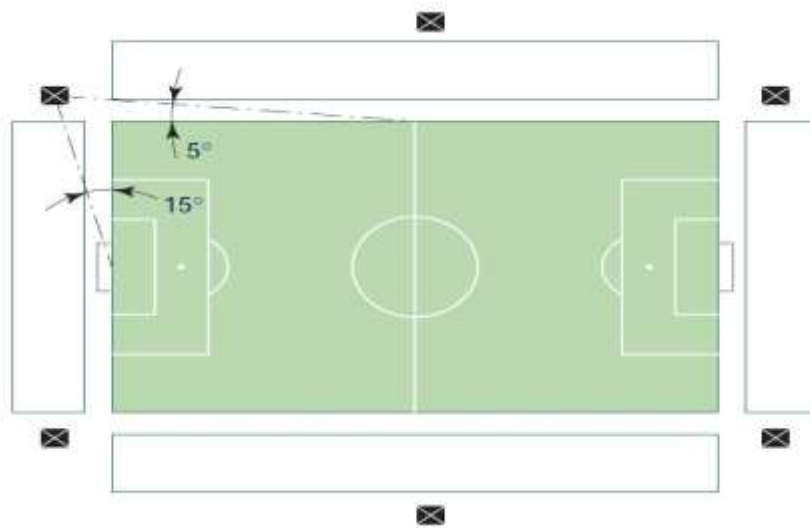


Figura 3.12. Sistema de proyectores montados en las esquinas y en los laterales.

2.3.5. Sombras de las gradas

Las posiciones de las sombras proyectadas en el campo por los techos de las gradas y otros obstáculos pueden ser obtenidas de la construcción vista en la (Fig.5.14). De ser posible, la altura y colocación de la torre debería elegirse para que no caigan sombras sobre el terreno de juego. Donde esto no sea posible, deberían montarse proyectores adicionales bajo el techo de las gradas y dirigirlos hacia las áreas sombreadas con el mismo ángulo medio de los proyectores principales.

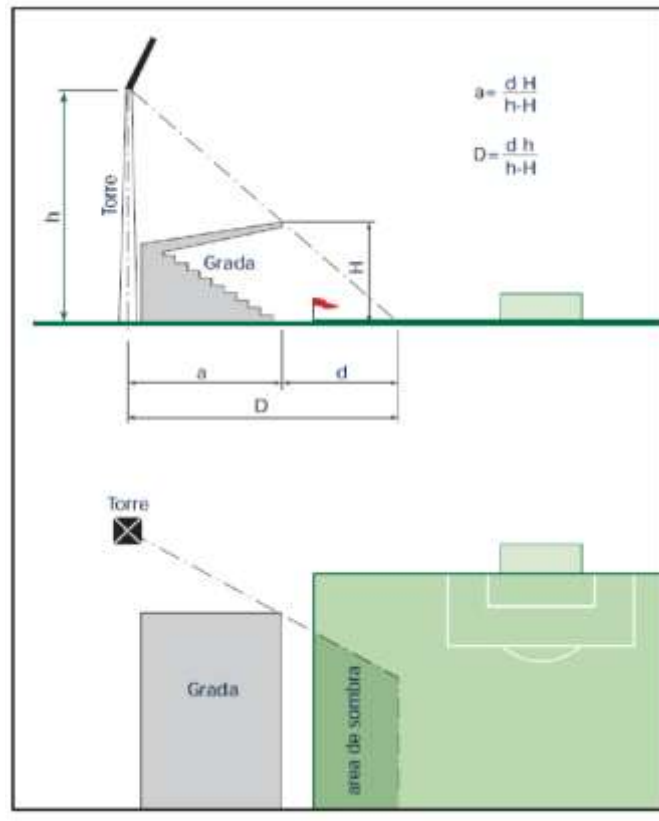


Figura 3.13. Posición de las sombras proyectadas en el campo por los techos de las gradas.

$$a = \frac{D \cdot h}{h - H} \quad (3.10) \quad D = \frac{d \cdot h}{h - H} \quad (3.11)$$

2.3.6. Pérdidas por absorción atmosférica

El polvo y la humedad en el aire producen que la luz sea perdida por absorción y dispersión, dependiendo la cantidad pérdida, de la localización del estadio, la longitud de proyección de los proyectores y de las condiciones atmosféricas al mismo tiempo. CIE recomiendan que debiera hacerse en los cálculos un descuento de un 30% de luz perdida. La dispersión de luz causada por niebla, bruma o lluvia produce deslumbramiento de velo con la consecuente reducción de visibilidad. Muy poco se puede hacer sobre esto, pero hay una evidencia y es que el efecto es menor con el sistema de torres en las esquinas que con el sistema de iluminación lateral.

2.4. Recomendaciones técnicas y requisitos de la FIFA para estadios de fútbol

Tabla 4.1. Características del servicio de suministro de energía eléctrica.

Servicio de suministro de energía eléctrica	Fiabilidad
Acometida aérea	(-)
Equipo de transformación de tensión alta a baja por servicio de suministro de energía	(0)
Acometida subterránea	(+)
Equipo de transformación de tensión alta a baja por cliente	(+)
Interrupción del servicio de suministro eléctrico en menos de 10 ocasiones por año	(0)
Interrupción del servicio de suministro eléctrico en más de 10 ocasiones por año	(-)
Mayor parte de interrupciones del suministro eléctrico debidas a mantenimiento	(-)
Mayor parte de interrupciones del suministro eléctrico debidas a las condiciones meteorológicas	(0)
Red de energía eléctrica con bucle desde 2 o más fuentes	(+)
Red de energía eléctrica en línea de alimentación radial específica	(0)
Red de energía eléctrica en línea de alimentación radial compartida	(-)

Fuente: Recomendaciones técnicas y requisitos de la FIFA para estadios de futbol, capítulo 9: iluminación y suministro de energía. Año 2011.

Clasificación de la fiabilidad:

(+) Para un diseño o modalidad preferente.

(0) Estándar o habitual.

(-) A evitarse de ser posible; requerirá la mayor cantidad de equipo de reserva.

El servicio público de energía eléctrica podrá conectarse a un esquema preferido/ alternativo o como fuentes de uso simultáneo para gestionar las diferentes cargas

de la instalación mediante interruptores de barra electrógeno de emergencia instalado en el estadio debería arrancar de inmediato, pero se producirá una demora.

Consecuentemente, este equipo de emergencia deberá disponer de un sistema de soporte de potencia mientras las instalaciones electrógenas arranquen, ya que la iluminación del campo, realizada habitualmente con lámparas de descarga de alta intensidad (HID), se apagará y requerirá varios minutos para volver a iniciarse, lo cual interrumpirá la transmisión del evento. El soporte de potencia puede obtenerse por distintas vías, que incluyen generadores especiales y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS/SAI). Los equipos electrógenos de emergencia deberán poder operar un mínimo de tres horas durante un corte de red.

El grado de fiabilidad de un sistema puede expresarse como un porcentaje de la disponibilidad, con el 100% como condición ideal. El grado máximo habitual se denomina 'los cinco nueves' o 99.999, lo cual implica un tiempo fuera de servicio de solo 5 minutos. En el curso de un año, un estadio experimentará un tiempo fuera de servicio considerablemente mayor a los 5 minutos debido a labores de reparación y mantenimiento. No obstante, el tiempo de indisponibilidad de ciertos equipos de suministro eléctrico durante un evento tiene que ser igual a 0. Esto significa que se necesita contar con un sistema de alimentación ininterrumpida. otros equipos podrían prolongar su funcionamiento durante el tiempo que un generador necesita para arrancar (menos de 10 segundos), mientras que ciertos sistemas del estadio podrían continuar operando por un periodo aún más prolongado. Deberá tomarse en cuenta la clasificación de los tipos de carga a fin de determinar el volumen de la capacidad redundante y las dimensiones de los generadores de emergencia y equipos UPS/SAI.

Cada separación de cargas supone diferentes esquemas de transferencia, equipo de cableado y distribución. El equipo UPS/SAI, que puede ser estático o rotativo, requerirá adicionalmente alimentación de emergencia del generador o bien cuatro horas de operación con batería. La designación generador-generador indica un esquema N+1 en el que se facilita un generador de reserva en caso de que una de las unidades en uso no funcione o no esté disponible. Si el servicio público de

energía eléctrica se considera de muy baja fiabilidad, podrían necesitarse esquemas 2N o completamente redundantes para los equipos UPS/SAI y los generadores.

Se deberá realizar un análisis exhaustivo del servicio de suministro eléctrico, de las cargas en el interior del estadio y del tiempo de disponibilidad requerido, a fin de disponer de un sistema de energía eléctrica que permita la correcta celebración del evento.

Se diseñan e instalan dos acometidas, ambas de la potencia requerida, utilizándose regularmente solo una de ellas. La interrupción de la línea principal en uso conllevaría un cierto retraso hasta conectar la línea alternativa.

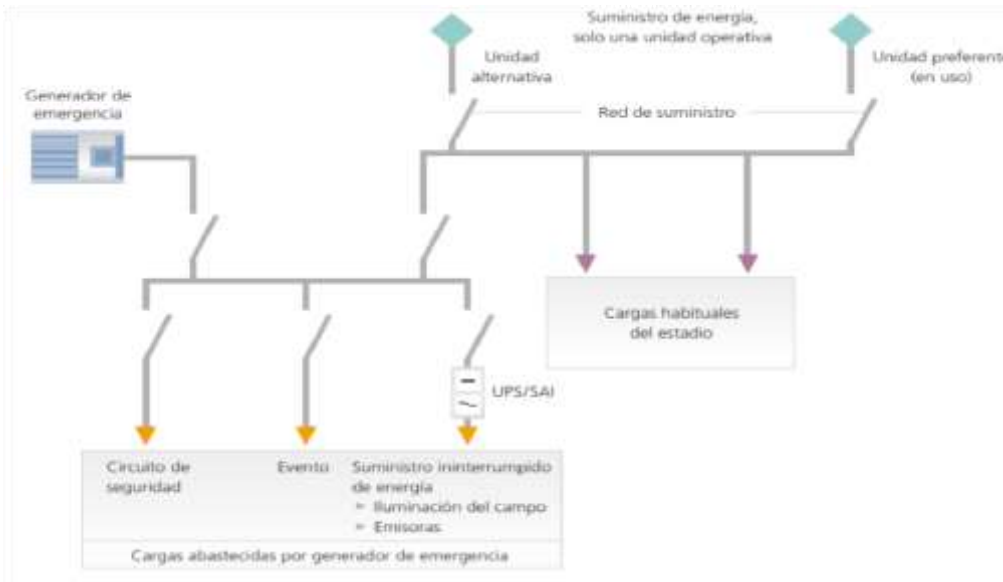


Figura 3.14. Diagrama de opción de potencia 1.

Se diseñan e instalan dos acometidas, utilizándose ambas simultáneamente. La interrupción de cualquiera de ellas ocasiona tan solo una caída parcial del servicio hasta cerrarse la barra de conexión.

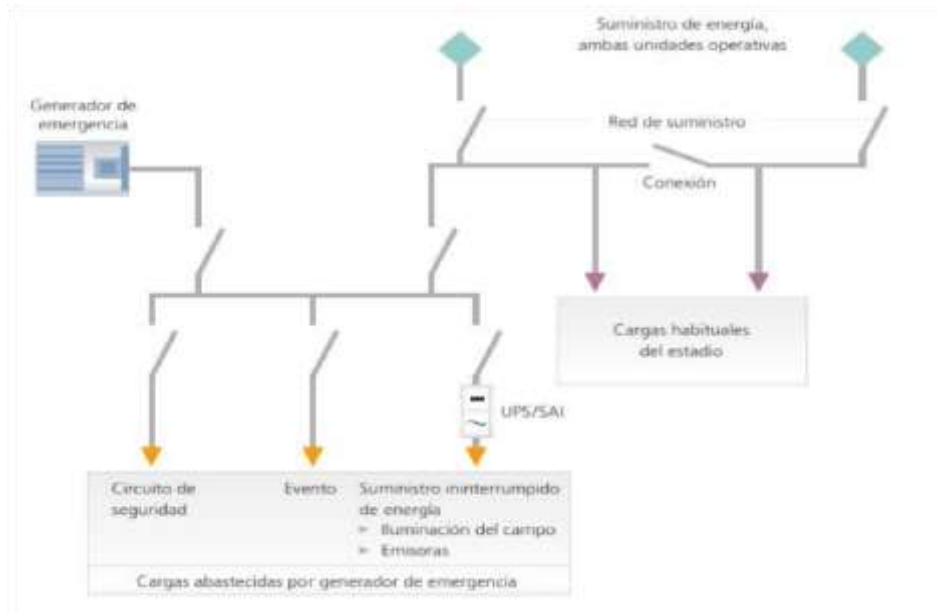


Figura 3.15. Diagrama de opción de potencia 2.

2.4.1. Iluminación y suministro de energía

Se deberá instalar un sistema de iluminación que cumpla los requisitos de los medios de comunicación, de los espectadores, de los jugadores y de los oficiales, todo ello sin contaminar lumínicamente el entorno y sin causar molestias al municipio.

2.4.1.1. Suministro de energía

Es inaceptable que se retrase o cancele un evento a causa de un fallo en el suministro eléctrico. Es sumamente importante evaluar con cuidado el servicio público de energía eléctrica. Igualmente, se requiere disponer de servicios redundantes y de equipos electrógenos en el estadio mismo a fin de asegurar el abastecimiento de emergencia y el soporte de potencia en caso de producirse una interrupción del suministro de energía eléctrica.

La evaluación de la fiabilidad del servicio público de energía eléctrica ayudará a determinar el número, la capacidad y las dimensiones de los equipos de emergencia necesarios.

2.5. Categorías de competencias

Se han definido cinco clases de sistemas de iluminación (I a V).

Tabla 5.1. Clases de sistemas de iluminación.

Clase V Partido internacional televisado	Campo sin sombras
Clase IV Partido nacional televisado	Campo sin sombras
Clase III Partido nacional no televisado	Campo iluminado con un mínimo de 8 postes
Clase II Partido de liga y/o clubes no Televisado	Campo iluminado con un mínimo de 6 postes (recomendado)
Clase I Entrenamientos y juegos de recreo no televisado	Campo iluminado con un mínimo de 6 postes (recomendado)

2.5.1. Altura de montaje de los aparatos de alumbrado - clase IV y clase V

La altura de montaje de los aparatos de alumbrado es crucial para la eficacia del sistema de iluminación deportiva. La geometría de la altura de montaje para los bastidores de focos laterales y postes es de 25 grados hacia la base de la fuente luminosa más baja sobre el horizonte, medidos desde el centro del campo y mirando hacia las tribunas. Los bastidores de los focos y la estructura de alumbrado podrán exceder esta recomendación mínima de 25 grados, pero no superar los 45 grados. Los ángulos de rotación de las luminarias no podrán exceder los 70 grados desde el nadir (directamente abajo) hasta el centro del haz.

2.5.2. Posibles vistas de las cámaras

Existen muchas posiciones posibles para cámaras que pueden usarse para crear la calidad televisiva. Las posiciones de cámara de la ilustración corresponden a las que se utilizan con mayor frecuencia. Las especificaciones de iluminación deberán considerar las posiciones que ocuparán las cámaras, con el fin de asegurar que cada cámara reciba suficiente luz para la producción de una señal de vídeo de

buena calidad. Si fuese necesario, se solicitará el asesoramiento adicional de una cadena de televisión apropiada o de un consorcio regional televisivo.

El objetivo principal del sistema de iluminación es asegurar un alumbrado simétrico, tanto para las líneas de banda como las de meta. Se deberá poder agregar cámaras de campo fijas y móviles, sin que ello afecte la calidad digital del vídeo.

● Cámara fija

● Cámaras de campo

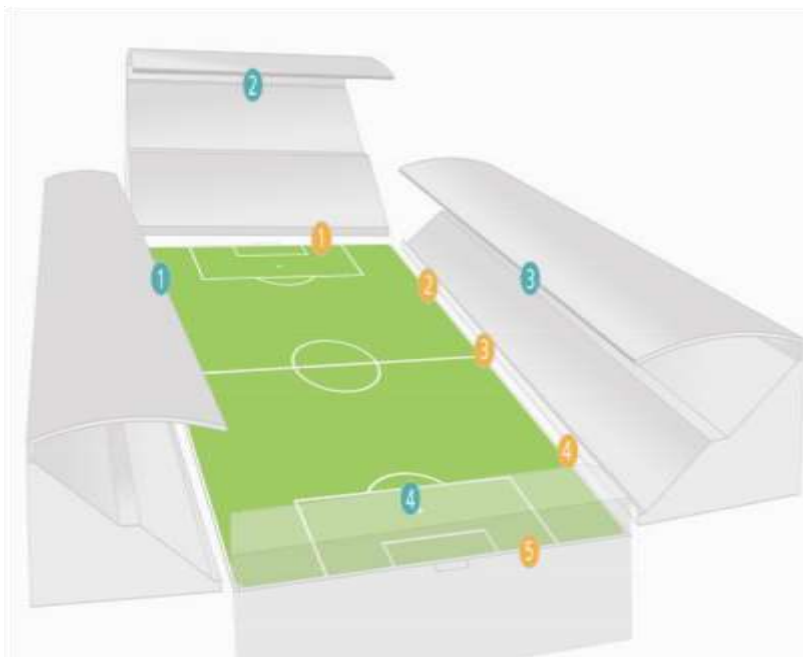


Figura 3.16. Posiciones estándar de cámaras. - Altura de montaje $\geq 25^\circ$ $hm = d \cdot \tan(25^\circ)$ - Ángulo de rotación = máximo 70°

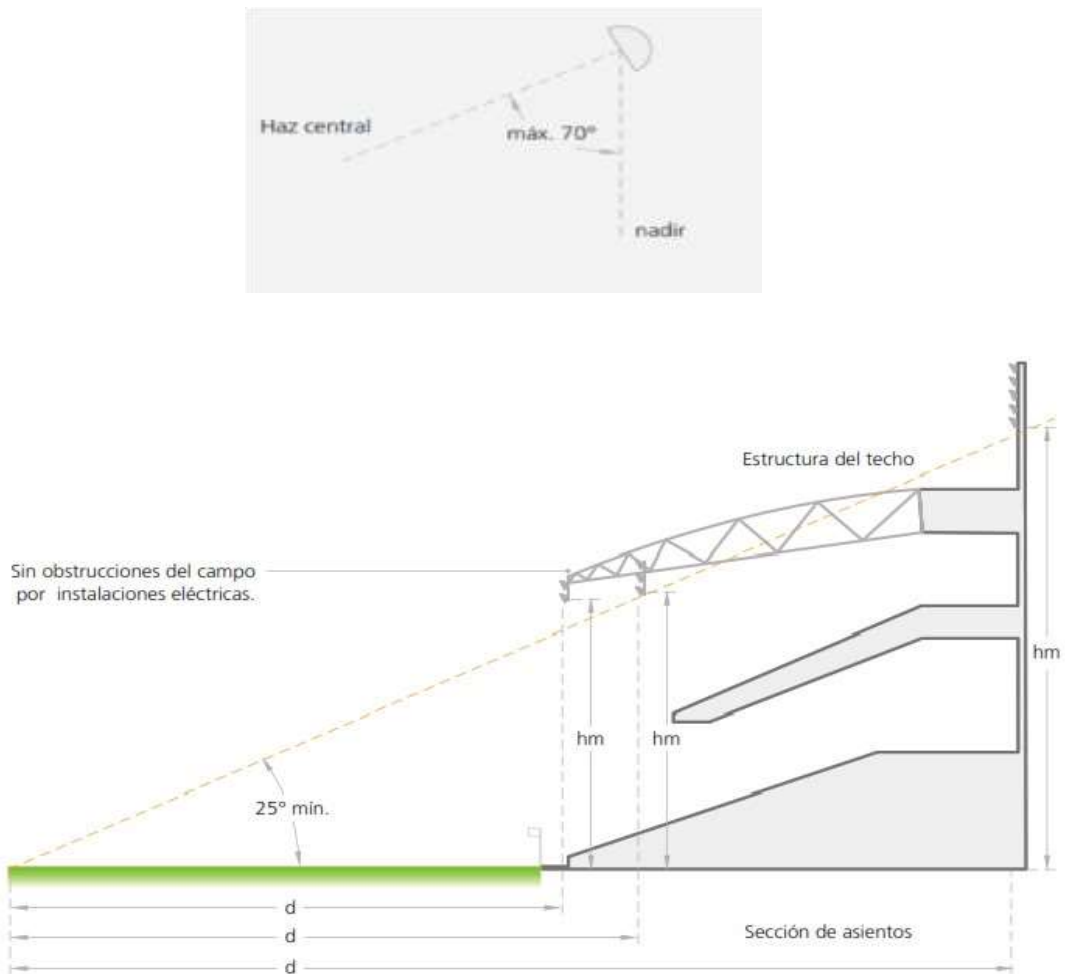


Figura 3.17. Altura de montaje de los aparatos de alumbrado.

2.5.3. Ángulos visuales de los jugadores y de la transmisión

El requisito más importante del diseño es que nada deslumbe a jugadores, árbitros y medios informativos. Las siguientes dos áreas se definen como “zonas sin iluminación artificial” para la totalidad de las cinco clases de competiciones:

Detrás de la línea de meta: A fin de mantener adecuadas condiciones visuales para los jugadores atacantes frente a la meta, así como para los medios de vídeo en el lado opuesto del campo, no se colocará iluminación por debajo de los 25 grados sobre el punto central del campo de juego ni por debajo de los 75 grados sobre la horizontal del área de la meta.

Zona de las esquinas de la línea de meta: A fin de mantener adecuadas condiciones visuales para el portero y los jugadores atacantes en los saques de esquina, no se colocará iluminación dentro de los 10 grados a ambos lados de la línea de meta.

2.5.4. Control de sombras (direccionamiento multizona)

La limitación de las sombras de contornos duros sobre el campo se está convirtiendo en uno de los mayores problemas a los que se enfrentan los medios que usan vídeos de calidad digital de alta resolución. El direccionamiento multizona es el enfoque repetido desde diferentes ubicaciones de aparatos de alumbrado a ubicaciones idénticas en el campo de juego. El enfoque repetido desde ubicaciones diferentes limita la formación de sombras de contornos duros creadas por los jugadores.

El campo en tres zonas; la zona 1 representa las zonas de ambos extremos y la zona 2, el centro del campo. El direccionamiento para cada zona deberá tener un mínimo de cuatro dispositivos de iluminación superpuestos por cada lado para el caso de eventos internacionales televisados y de 3 dispositivos para el caso de eventos nacionales televisados.

Se logra el resultado deseado cuando un jugador en acción está rodeado de iluminación desde diferentes ubicaciones, creándose un ambiente de iluminación equilibrada. Se obtendrá un ambiente sin sombras cuando no existan sombras de contornos duros sobre el campo de juego.

2.5.5. Planificación de las instalaciones (eventos no televisados)

Para encuentros internacionales y nacionales televisados, los aparatos de iluminación se posicionan en el estadio para crear una iluminación correspondiente a los vídeos de calidad digital. No se requiere un direccionamiento multizona para un campo no televisado. En el caso de partidos nacionales, de liga y de entrenamiento no televisados, se aplicarán las siguientes directrices estándar para el diseño de la iluminación.

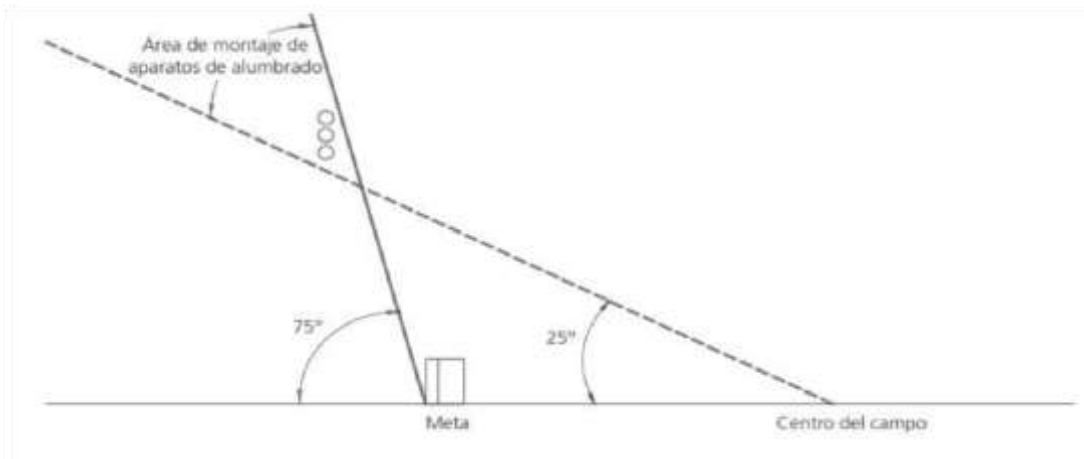


Figura 3.18. Área de montaje de aparatos de alumbrado.

■ Ningún foco en esta área Zona ■ Sin iluminación artificial

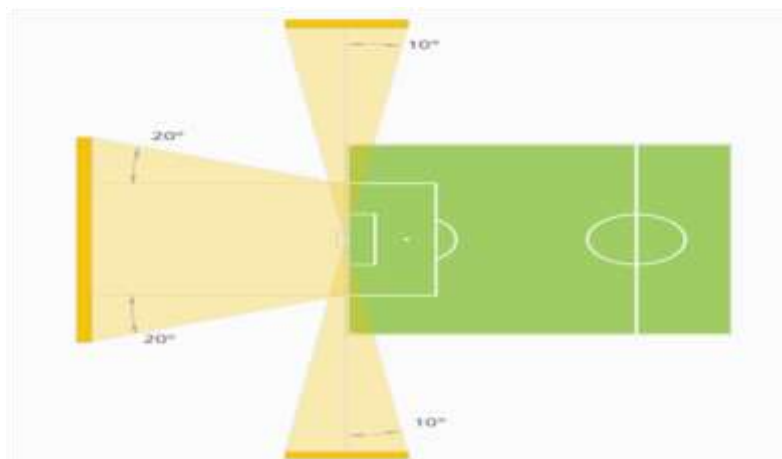


Figura 3.19. Deslumbramiento por la iluminación artificial.

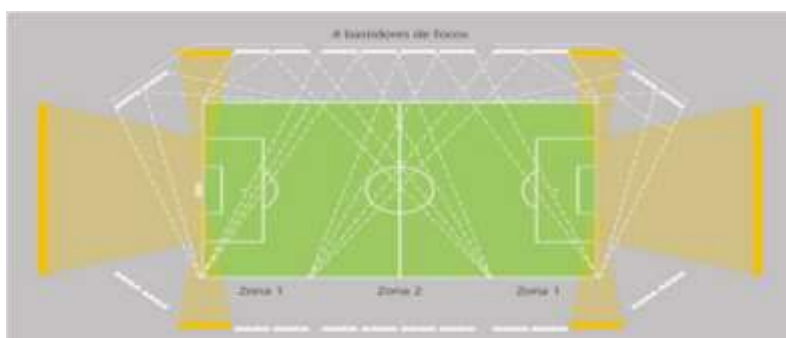


Figura 3.20. Clase V: Direccionamiento de la luz en eventos internacionales.



Figura 3.21. Clase IV: Direccionamiento de la luz en eventos nacionales.

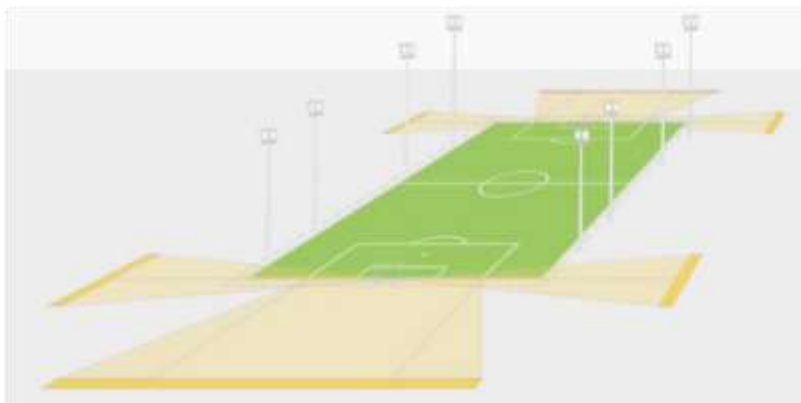


Figura 3.22. Planificación de la instalación (eventos no televisados) Clase III: Partidos nacionales.



Figura 3.23. Planificación de la instalación (eventos no televisados) Clase II: Partidos de liga y/o clubes.



Figura: 3.24. Planificación de la instalación (eventos no televisados) Clase I: Entrenamiento y recreo.

2.6. Especificaciones y tecnología para el diseño de iluminación

2.6.1. Uniformidad Horizontal

Illuminancia horizontal: La iluminancia horizontal constituye una medida de la luz que alcanza un plano horizontal, a un metro de altura sobre la superficie de juego. Se emplea una rejilla de 10 m x 10 m en toda la extensión del campo de juego como base para recopilar estas mediciones y calcular la iluminación máxima/mínima/media del campo de juego.

Variación: El fútbol es un deporte de gran velocidad, así que mantener una iluminación uniforme en toda la extensión del campo de juego mejorará el rendimiento del jugador y contribuirá a crear vídeos de alta resolución de excelente calidad. Los métodos para calcular la uniformidad se explican a continuación y se puede emplear para ello cualquiera de los métodos CV o UG.

Tabla 4.1. Valores de coeficiente de variación y gradiente de uniformidad según eventos televisados y no televisados.

	Eventos televisados	Eventos no televisados
Coefficiente de variación (CV)	CV \leq 0.13 - 0.15	CV \leq 0.3 - 0.4
Gradiente de uniformidad	UG = 1.5 – 2	UG = 2 - 2.5

2.6.2. Vertical de la cámara de campo

La iluminación vertical a nivel de campo es la cantidad de iluminación que recibe la superficie vertical de los jugadores. Esta iluminación ayuda a presentar detalles de primer plano de los jugadores –particularmente de sus rostros– en momentos críticos de los partidos. Tales imágenes son capturadas por cámaras de campo, tanto manuales, como motorizadas. Las variaciones de la iluminación vertical producirán imágenes de vídeo digital de baja calidad. El responsable del diseño ha de considerar un equilibrio de la iluminación a fin de reducir las áreas sobre/subexpuestas durante la operación de las cámaras de campo.

2.6.3. Vertical de la cámara fija

La luz vertical sobre el campo, capturada por las cámaras superiores de la línea de banda y la línea de meta, se denomina iluminación vertical de cámara fija. Estas cámaras que enfocan todo el terreno deberán capturar el juego entero durante el evento. Las variaciones de iluminación producirán vídeos digitales de baja calidad.

El responsable del diseño ha de considerar un equilibrio de la iluminación a fin de reducir las áreas sobre/subexpuestas durante la operación de las cámaras fijas.

Temperatura del color

La tecnología actual de cámaras digitales permite alterar los vídeos producidos por los medios a fin de ganar color y contraste, de acuerdo con la calidad de color deseada. La temperatura de color aceptable para estadios al aire libre, para toda clase de competiciones, es $T_k \geq 4,000$.

Índice de reproducción de color (rendering)

Cuanto mayor sea dicho índice, mejor será la calidad del color. Un color de buena calidad producido por un sistema de iluminación artificial deberá tener un índice $R_a \geq 65$, tanto para eventos televisados como no televisados.

Sumario de especificaciones para iluminación de eventos televisados

El siguiente cuadro muestra un resumen de los criterios a considerar para eventos televisados. Expone las recomendaciones para la iluminancia vertical y horizontal, la uniformidad, y las propiedades de color de las lámparas para cada clase de actividad.

Tabla 4.2.: Especificaciones de iluminación para eventos televisados.

		Iluminancia vertical		
		Ev media de las cámaras	Uniformidad	
Clase	Cálculo hacia	Lux	U1	U2
Clase V Internacional	Cámara fija	> 2.000	0,6	0,7
	Cámara de campo (al nivel del campo)	1.800	0,4	0,65
Clase IV Nacional	Cámara fija	2.000	0,5	0,65
	Cámara de campo (al nivel del campo)	1.400	0,35	0,6

Fuente: [3].

Tabla 4.3.: Especificaciones de iluminación para eventos televisados.

		Iluminancia horizontal		
		Eh media	Uniformidad	
Clase	Cálculo hacia	Lux	U1	U2
Clase V Internacional	Cámara fija	3.500	0,6	0,8
	Cámara de campo (al nivel del campo)			
Clase IV Nacional	Cámara fija			
	Cámara de campo (al nivel del campo)	2.500	0,6	0,8

Fuente: [3].

Tabla 4.4. Especificaciones de iluminación para eventos televisados.

		Propiedades de las lámparas	
		Temperatura del color	Reproducción del color
Clase	Cálculo hacia	Tk	Ra
Clase V Internacional	Cámara fija	> 4.000	≥ 65
	Cámara de campo (al nivel del campo)		
Clase IV Nacional	Cámara fija	> 4.000	≥ 65
	Cámara de campo (al nivel del campo)		

Fuente: [3].

Notas:

- La iluminancia vertical se refiere a la iluminancia hacia una posición de cámara fija, o de campo.
- La uniformidad de la iluminancia vertical para cámaras de campo puede ser evaluada en cada cámara, considerándose la variación de este estándar.
- Todos los valores de iluminancia indicados representan valores constantes. Se recomienda un factor constante de 0.7; por tanto, los valores iniciales serán aproximadamente 1.4 veces el valor de los antes indicados.
- En todas las clases, el índice de deslumbramiento será de $GR \leq 50$ para los jugadores en el campo, dentro del ángulo visual primario del jugador. Tal índice de deslumbramiento se cumple si se cumplen los ángulos visuales del jugador.

- Se acepta y recomienda el empleo de la tecnología de lámparas de iluminación constante.

2.6.3.1. Sumario de especificaciones para la iluminación de eventos no televisados

La siguiente tabla muestra un resumen de los criterios a considerar para eventos no televisados. Expone las recomendaciones para la iluminancia horizontal, la uniformidad, y las propiedades de las lámparas para cada clase de actividad.

Tabla 4.5. Especificaciones de iluminación para eventos no televisados.

Nivel de actividad	Iluminancia horizontal	Uniformidad	Temperatura del color de la lámpara	Reproducción del color de la lámpara
Clase	Eh ave (lux)	U2	Tk	Ra
Clase III Partidos nacionales	750	0,7	> 4.000	≥ 65
Clase II Partido de liga y/o clubes	500	0,6	> 4.000	≥ 65
Clase I Entrenamientos y juegos de recreo	200	0,5	> 4.000	≥ 65

Fuente: [3].

Notas:

- Todos los valores de iluminancia indicados representan valores constantes.
- Se recomienda un factor constante de 0,70; por tanto, los valores iniciales serán aproximadamente 1,4 veces el valor de los antes indicados.

- La uniformidad de iluminancia no deberá exceder el 30% cada 10 metros.
- Los ángulos visuales primarios del jugador han de estar libres de deslumbramiento directo. Tal índice de deslumbramiento se cumple si se cumplen los ángulos visuales del jugador.

2.7. Impacto Medioambiental

La contaminación lumínica y la proyección lumínica involuntaria se dividen en dos categorías: la iluminación invasiva, que es la luz mensurable que traspasa el perímetro del estadio; y el resplandor, que es brillantez excesiva que afecta al campo visual normal de los peatones y automovilistas fuera del estadio. Este impacto sobre la comunidad local es crítico para la seguridad, la oscuridad normal del cielo durante la noche y el bienestar de países y ciudades a cuyo servicio se hallan los estadios. Debe realizarse todo esfuerzo para limitar la iluminación excesiva y el resplandor, tanto dentro como fuera del estadio. Las nuevas especificaciones del diseño deberán incluir reflectores “cut off” al igual que reflectores de alta eficiencia para eventos televisados.

La iluminación invasiva proveniente del estadio se puede calcular y medir. Estos factores se expresan en términos de iluminancia horizontal y de iluminancia vertical máxima. En ausencia de directrices locales.

Tabla 4.6. Iluminancia según distancias de la iluminación invasiva.

Ángulo de iluminación	Distancia desde el perímetro del estadio	
Invasión horizontal	50 m desde el perímetro del estadio	25 lux
Invasión horizontal	200 m más allá	10 lux
Máximo vertical	50 m desde el perímetro del estadio	40 lux
Máximo vertical	200 m desde el perímetro del estadio	20 lux

Fuente: [3].

- 25 lux horizontal - 40 lux máx. en vertical
- 10 lux horizontal - 20 lux máx. en vertical

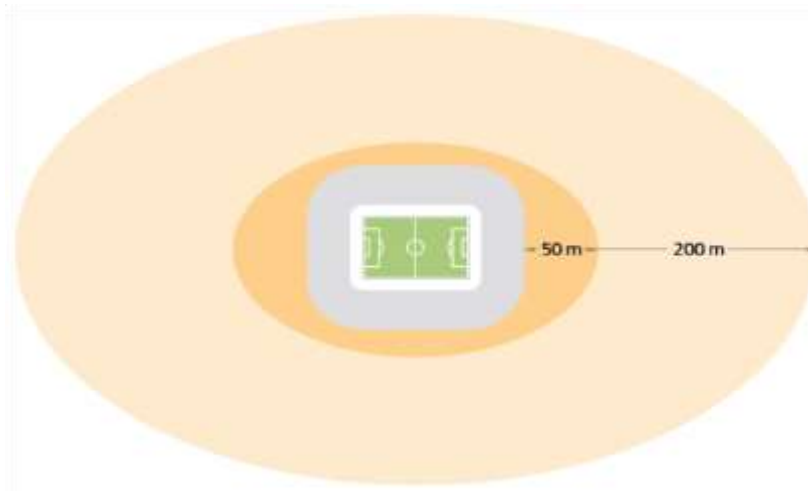


Figura 4.1. Impacto ambiental. Fuente: [3].

2.8. Puesta en servicio de la instalación

2.8.1. Inspección y equipo

Se deberá medir la iluminación real antes del inicio del juego, a fin de comprobar que el sistema funciona correctamente. Se sugieren las siguientes especificaciones como directrices estándar:

Tabla 4.7. Símbolos de magnitudes luminosas a medir.

Especificaciones	Símbolo
Iluminación horizontal media	Eh media
Iluminación media de cámara fija	Ev media (cámara fija)
Iluminación media de cámara de campo	Ev media (cámara de campo)
Uniformidad (iluminación mín. /máx.)	U1
Uniformidad (iluminación mín./media)	U2

Fuente: [3].

Se aceptan fotómetros tanto digitales como analógicos. La calibración de los aparatos se deberá efectuar anualmente; la fecha de calibración y el número de serie del fotómetro se anotará en los formularios de este documento. Se deberá prestar especial cuidado al registrar las lecturas de los valores a fin de limitar la sombra creada por el propio personal encargado de las mediciones. El fotómetro ha de montarse sobre un trípode, ajustándolo al nivel de la cancha y a un metro sobre el terreno de juego.

Las mediciones televisadas deberán incluir tres clases de lecturas: horizontal, de cámara fija, y de cámara de campo.

Parte II

Resumen Ejecutivo

Capítulo 3

Resumen Ejecutivo

3.1. Descripción del trabajo

El proyecto final de grado consiste en la Elaboración del Proyecto de Adecuación del sistema lumínico principal del campo de juego del Estadio Parque del Guaira, ubicado en la Ciudad de Villarrica, Dpto. del Guairá, durante el proceso de elaboración se realizaron visitas al campo de juego, de la misma manera se concretaron reuniones con profesionales del área técnica conversando sobre la propuesta y viabilidad del proyecto, buscado un presupuesto que se adapte a las necesidades para la elaboración del proyecto. La intención se basó en la iluminación del estadio en consideración de la iluminación del Tipo Clase IV para eventos televisados en Alta Definición con una distribución de 4 torres y 240 luminarias del tipo arenavision, consideradas de mayor efectividad.

Con las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado se optaron por los productos cuyos proveedores facilitaron los costos de los mismos para la realización del presupuesto de los equipos de iluminación. Una vez obtenido los datos correspondientes sobre las especificaciones técnicas, la adecuación del sistema lumínico principal del campo de juego y la de selección de la mejor alternativa tecnológica, se comprobó la viabilidad de este proyecto.

3.1.1. Métodos y técnicas a utilizar

3.1.1.1. Tipo de Investigación

La investigación tendrá un alcance descriptivo porque se buscará especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro

fenómeno que sea sometido a análisis. Para este caso será sometida la adecuación lumínica del estadio Parque del Guaira.

Se trata de una investigación de campo porque se basa sobre hechos reales, para lo cual será necesario llevar a cabo una estrategia que permita analizar la situación directamente en el lugar donde acontecen, es decir, en el propio estadio Parque del Guaira.

“Se entiende por investigación de campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo.

Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales” [2].

3.1.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de Datos

La técnica a utilizar para la recolección de datos serán las mediciones del campo de juego, para tal efecto se utilizarán instrumentos que permitirán medir la iluminación real, las ubicaciones y alturas de las torres y también las dimensiones campo de juego principal.

También se requerirá el plano del estadio a encargados de los mismos, posterior a ello se tabularán los datos en fichas y cuadros realizados en planillas de cálculos electrónicas como Excel utilizando el ordenador.

3.2. Justificación

La iluminación en los estadios deportivos presenta requerimientos específicos que difieren de los de la industria, hogares y alumbrado público. A su vez, esas exigencias varían dentro de la misma cancha, teniendo en cuenta si el evento es televisado o no, y dentro de ese rango, si es de alcance nacional o internacional.

El valor de este trabajo radica en que se podrá dotar al club Parque del Guaira de la ciudad de Villarrica de mejorar el sistema de sistema de iluminación principal, acorde a normas que rigen la materia, con un sistema de energía eléctrica de respaldo que posibilitará atender casos de contingencia por falla del sistema de alimentación principal.

Los principales beneficiarios serán el club, por adecuar su instalación lumínica a los estándares vigentes y los aficionados que asisten al estadio debido a que participarán de un mejor espectáculo.

Por último, la investigación es viable, pues se dispone de los recursos necesarios para llevarla a cabo. Como ser los recursos económicos, materiales y humanos, todo lo referente a logística y acceso de base de datos que requiera el proyectista.

3.3. Finalidad del proyecto

Con la elaboración este Proyecto Final de Grado se pretende, mejorar la calidad del sistema de iluminación del campo de juego del estadio Parque del Guaira, para ofrecer mejor servicio al público en general, tanto dentro y fuera del estadio.

3.4. Metas

Elaborar el proyecto de adecuación del sistema lumínico principal del campo de juego del estadio Parque del Guaira, como así también un sistema de respaldo con grupo electrógeno, la cual se podrá implementar una vez aceptado el proyecto y presupuesto por las autoridades competentes.

3.5. Objetivos

3.5.1. Objetivos Generales

Elaborar el proyecto de adecuación del sistema lumínico principal del campo de juego del estadio Parque del Guaira, ubicado en la ciudad de Villarrica.

3.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar los datos técnicos de la instalación lumínica actual del Club Guaireña Futbol Club (GFC).
- Revisar normas y reglamentaciones vigentes de la FIFA para sistemas de iluminación de estadios deportivos.
- Definir criterios técnicos para sistema de iluminación de estadios y sistema de respaldo de suministro de energía eléctrica para el estadio.
- Elaborar diseño de adecuación del sistema de iluminación de área deportiva aplicando tecnología moderna de alta eficiencia.
- Diseñar sistema de energía eléctrica de respaldo de equipos electrógenos.
- Evaluar económicamente los diseños de los sistemas de iluminación y del suministro de energía eléctrica de respaldo elaborado.

3.6. Beneficiarios

Los principales beneficiarios serán el club, por adecuar su instalación lumínica a los estándares vigentes y los aficionados que asisten al estadio debido a que participarán de un mejor espectáculo.

3.7. Producto

El principal producto es la elaboración de la adecuación del sistema lumínico principal del campo de juego del estadio Parque del Guaira, ubicado en la ciudad de Villarrica, cuya disposición de 4 torres serán que serán ubicadas en las esquinas del

estadio, con un total de 60 luminarias cada uno, con la mejor alternativa tecnológica del sistema de iluminación.

3.8. Localización física y cobertura espacial

El proyecto final de grado está orientado a presentar una propuesta técnica y económica para la elaboración del proyecto de adecuación del sistema lumínico principal del campo de juego del Estadio Parque del Guaira, ubicado en la ciudad de Villarrica, Dpto. del Guairá.

En el Anexo se expone mapas e imágenes correspondientes.

3.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

El proyecto de fin de grado dio inicio con una revisión bibliográfica acerca las teorías básicas sobre iluminación, diseños de sistemas de iluminación externa, específicamente a cerca de iluminación del campo de juego, métodos de selección de alternativa y métodos para el estudio económico.

Para la recolección de datos se visitó el campo de juego, buscado un presupuesto que se adapte a las necesidades para la elaboración del proyecto. Luego se realizó una recolección de datos en el estadio, tomando datos y mediciones del sistema actual de la iluminación.

Se realizó una revisión normativa sobre iluminación descriptas por la FIFA y en base a los datos actuales de la instalación se seleccionaron normas que mejor aplican a instalaciones actuales y futuras.

Se establecieron criterios técnicos y económicos según la cuales se van realizando comparaciones entre las alternativas seleccionadas en cuanto a especificaciones técnicas y datos económicos.

Se realizó una evaluación y selección de alternativa con un método multicriterio llamado proceso analítico jerárquico usando como herramienta un software libre que resuelve dicho proceso.

En el proyecto de reemplazo se utilizó un método de diseño de sistema iluminación de campo de juego llamado el método de las luminancias y cuyo diseño se realiza en un software libre cumpliendo las normas establecidas.

Una vez culminado el proyecto en su aspecto técnico, se realizó un análisis económico que permite resumir de manera anticipada el resultado global del proyecto desde el punto de vista económico. En el proyecto se empleó el método del VPN, el flujo de caja proyectada, TIR y el PRI como modelo para realización del análisis económico.

3.10. Recursos necesarios

3.10.1. Recursos humanos

Este proyecto final de grado será elaborado por el alumno proyectista de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA carrera de Ingeniería en Electricidad, con el apoyo del Asistente de proyecto final de grado, Ingeniero tutor y personales técnicos correspondientes al área de estudio.

3.10.2. Recursos materiales

Los recursos materiales que se necesitaran son:

- Computadora y calculadora (Propio)
- Bloc de notas y agenda
- Software de diseño y simulación (Propio)
- Luxómetro (Prestado sin costo)
- Herramientas utilizadas en taller y montaje de equipos (Prestado sin costo)
- Medios de transporte.

3.10.3. Recursos Financieros

Presupuesto para recursos materiales en Gs.				
Materiales	Total Meses	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Computadora y calculadora	5	1	NA	NA
Bloc de notas y agenda	5	2	30.000	60.000
Software de diseño y simulación	2	2	NA	NA
Luxómetro	2	1	NA	NA
Herramientas	1	10	NA	NA
Medios de transporte	5	10	50.000	500.000
Viático	5	10	30.000	300.000
Subtotal				860.000
Imprevisto 10%				86.000
Total General				946.000

Observación: NA (no aplica) son materiales propios o prestados sin costo

3.11. Factibilidad técnica

Principales resultados técnicos logrados. Esta parte se elabora volcando a modo de resumen ejecutivo los resultados de las soluciones técnicas factibles que se encontraron en el Capítulo 6 correspondiente a Ingeniería de Diseño.

3.12. Factibilidad económica

Esta parte se la Evaluación económica de las soluciones técnicas factibles que se encontraron en el Capítulo 6 correspondiente a Ingeniería de Diseño. De corresponder, se realiza las comparaciones pertinentes entre las alternativas.

3.12.1. Costos

Costo de Cables

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Cable INPÁVINIL FLEX XV 120 mm ²	120	100.563	12.067.560
Cable INPÁVINIL FLEX XV 35 mm ²	10	43.142	431.420
Cable INPÁVINIL FLEX XV 150 mm ²	80	119.560	9.564.800
Cable INPÁVINIL FLEX XV 50 mm ²	10	41.174	411.740
Cable INPÁVINIL FLEX XV 70 mm ²	120	57.769	6.932.280
Cable INPÁVINIL FLEX XV 25 mm ²	40	21.293	851.720
Cable MULTIFILAR 2,5 mm ²	29.100	1.816	52.845.600
Cable MULTIFILAR 4 mm ²	900	2.728	2.455.200
Cable MULTIFILAR 2 mm ²	4.200	1.483	6.228.600
TOTAL FINAL IVA incl.			91.788.920

Costo de Contactares

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CONTACTOR 32 AMP 15 KW 220 VCA 1NA	3	115.500	346.500
CONTACTOR 50 AMP 22 KW 1NA 1NC	7	197.400,57	1.381.804
CONTACTOR 40 AMP 18,5 KW 220 1NA 1NC	4	177.400,25	709.601
TOTAL FINAL IVA incl.			2.437.905

Costo de Luminaria

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Philips Flood Light Arena Visión MVF403 2000 W Sports lighting	240	1.500 USD	360.000 USD
Montaje	4	2.141,32USD	8.565,31USD
Cotización (11/10/2020)	7.005 G/USD		
TOTAL FINAL EN G			312.180.000 G

Costo de Torres

DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Estructuras -MV- Unid.	4	59,566.35 USD	262,091.94 USD
Accesorios (bulonería galvanizadas de alta resistencia, Fabricación y provisión de insertos metálicos, para anclaje de torres, Tuercas).	-	-	19.968,96USD
Montaje de Torre	4	7.137,76	28.551,03 UDS
Total USD IVA incl.			310.611,93 USD
Cotización (11/10/2020)			7.005 G/USD
Total Guaraníes			2.175.836.569,65 G

Costos asociados a la Generación

Descripción	Costo
1) Generador 650 kVA y Tablero de Transferencia	107.800 USD
2) Instalación	2.500 USD
3) Obras Civiles	1.000 USD
Total USD	111.300 USD
Cotización (11/10/2020)	7.005 G/USD
Total Guaraníes	779.600.850G

Presupuesto total en Guaraníes IVA incluido

Descripción	Costo
Cables	91.788.920
Contactores	2.437.905
Luminaria	312.180.000
Torres	779.600.850
Generador	2.175.836.569,65
Total	3.361.844.245

3.13. Evaluación Económica

En esta sección se desarrolla los costos detallados de todos los materiales a ser utilizado en la implementación del nuevo sistema de iluminación. En la siguiente tabla1, se muestran los detalles.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Lámparas	240	10.125.000	2.430.000.000

Tabla 1: Detalles de los costos de materiales.

TERMINACIÓN DE LA MANO DE OBRA

En este apartado se evalúa los costos de mano de obras requeridas para la realización del proyecto.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	Montaje de lámparas de iluminación	40.000.000
2	Instalación y montaje de Generador (con tablero de transferencia)	751.950.000
3	Montaje de Torres de iluminación	200.000.000
COSTO TOTAL EN Gs.		991.950.000

Tabla 2: Costos de manos de obras

DETERMINACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL

Los mantenimientos preventivos se realizarán de forma anual, termografía infrarroja en todos los equipos (tableros, conductores, generador, transformador, etc.), reaprietes de las protecciones.

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO
1	Mantenimiento Preventivo Anual	150.000.000

Tabla 3: Costos de mantenimiento preventivo anual.

Evaluación económica

- Determinación del flujo de caja proyectada

En la tabla siguiente se observa el informe financiero que presenta un detalle de los flujos de ingresos y egresos de dinero que tiene Guaireña Futbol Club en un periodo de 5 años.

HORIZONTE DEL PROYECTO		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INVERSION FIJA	5.278.905.000						
TOTAL DE INGRESO		2.300.000.000	2.300.000.000	2.300.000.000	2.300.000.000	2.300.000.000	2.300.000.000
TOTAL DE GASTOS		3.421.950.000	150.000.000	150.000.001	150.000.002	150.000.003	150.000.004
COSTO DE MATERIALES - Lámparas		2.430.000.000					
MANO DE OBRA - Montaje de Torres		200.000.000					
MANO DE OBRA - Montaje de Torres		40.000.000					
GENERADOR (MANO DE OBRA INSTALACION Y MONTAJE - MANTENIMIENTO)		751.950.000	150.000.000	150.000.001	150.000.002	150.000.003	150.000.004
UTILIDADES ANTES DEL IMPUESTO		1.121.950.000	2.150.000.000	2.149.999.999	2.149.999.998	2.149.999.997	2.149.999.996
IMPUESTOS		112.195.000	215.000.000	215.000.000	215.000.000	215.000.000	215.000.000
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS	5.278.905.000	1.009.755.000	1.935.000.000	1.934.999.999	1.934.999.998	1.934.999.997	1.934.999.996

- **Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR)**

Una vez realizado y obtenido los valores del flujo de caja proyectada, se determina la Tasa Interna de Retorno de la inversión

TIR	12%
------------	------------

- **Determinación del Valor Presente Neto (VPN)**

Aplicando la fórmula del VPN con una proyección de 5 años se obtuvo un resultado de:

VPN	5.750.379.448
------------	----------------------

Como el VPN > 0 se concluye que el proyecto es rentable.

- **Determinación del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)**

Tabla - Periodo de recuperación

Año	Flujo	Acumulado
0	(5.278.905.000)	0
1	1.935.000.000	1.935.000.000
2	1.935.000.000	3.870.000.000
3	1.935.000.000	5.805.000.000
4	1.935.000.000	7.740.000.000
5	1.935.000.000	9.675.000.000

PRI	2,73
Año	2 años 8 meses y 22 días
2,0	0,7
Meses	8,74
8,0	0,74
Días	22

Parte III
Ingeniería de Diseño

Capítulo 4

Memoria de cálculo del sistema de iluminación

4.1. Torres de iluminación

La ubicación de las torres de iluminación se prevé de manera tal que no afecte la visibilidad de ninguno de los usuarios del campo de juego. En el relevamiento realizado a las instalaciones del estadio se puede concluir que la mejor opción consiste en utilizar la disposición en las esquinas por los siguientes motivos:

4.1.1. Espacio limitado para aplicar la disposición lateral



- Con la ampliación de las graderías, éstas ocupan un gran espacio de la zona donde se ubicarían las torres de iluminación.
- Con la disposición lateral, las torres estarían muy próximas a las líneas de la ANDE de 23.000 VOLTIOS, lo cual se imposibilitaría su instalación sin considerar una adecuación de los alimentadores de la ANDE.

4.2. Contaminación Lumínica

Los valores permitidos de contaminación lumínica son:

Valores requeridos por la FIFA		
Ángulo de iluminación	Distancia desde el perímetro del estadio	Nivel de iluminación
Invasión horizontal	50 m desde el perímetro del estadio	25 lux
Invasión horizontal	200 m más allá	10 lux
Invasión vertical	50 m desde el perímetro del estadio	40 lux
Invasión vertical	200 m desde el perímetro del estadio	20 lux
Valores obtenidos en la simulación		
Ángulo de iluminación	Distancia desde el perímetro del estadio	Nivel de iluminación
Invasión horizontal	50 m desde el perímetro del estadio	21,5 lux
Invasión horizontal	200 m más allá	3,72 lux
Invasión vertical	50 m desde el perímetro del estadio	5,02 lux
Invasión vertical	200 m desde el perímetro del estadio	0,66 lux

La actual disposición (lateral) produce deslumbramiento molesto a los usuarios de la Ruta Nacional N°8 – Blas Garay en parte por la disposición y también por la deficiente altura de montaje de los proyectores lo cual podría ocasionar accidentes de tránsito y también ocasionar molestias a los vecinos del estadio. Tampoco es un hecho menor la construcción del nuevo hospital de IPS frente al estadio Parque del Guairá lo cual restringe aún más la contaminación lumínica.



Grave problema de deslumbramiento molesto y contaminación lumínica.

4.3. Ubicación y cálculo de la altura de las torres

Se realiza la georreferencia del campo de juego y de las posibles ubicaciones de las torres de iluminación teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de la FIFA que proporcionan adecuadas ubicaciones para las torres atendiendo a criterios de deslumbramiento molesto a jugadores y árbitros.

Torre N°1

x: 300194°15'5"S y: 11463°15'30"

Torre N°2

x: 30026°40'30"S y: 11454°6'14"

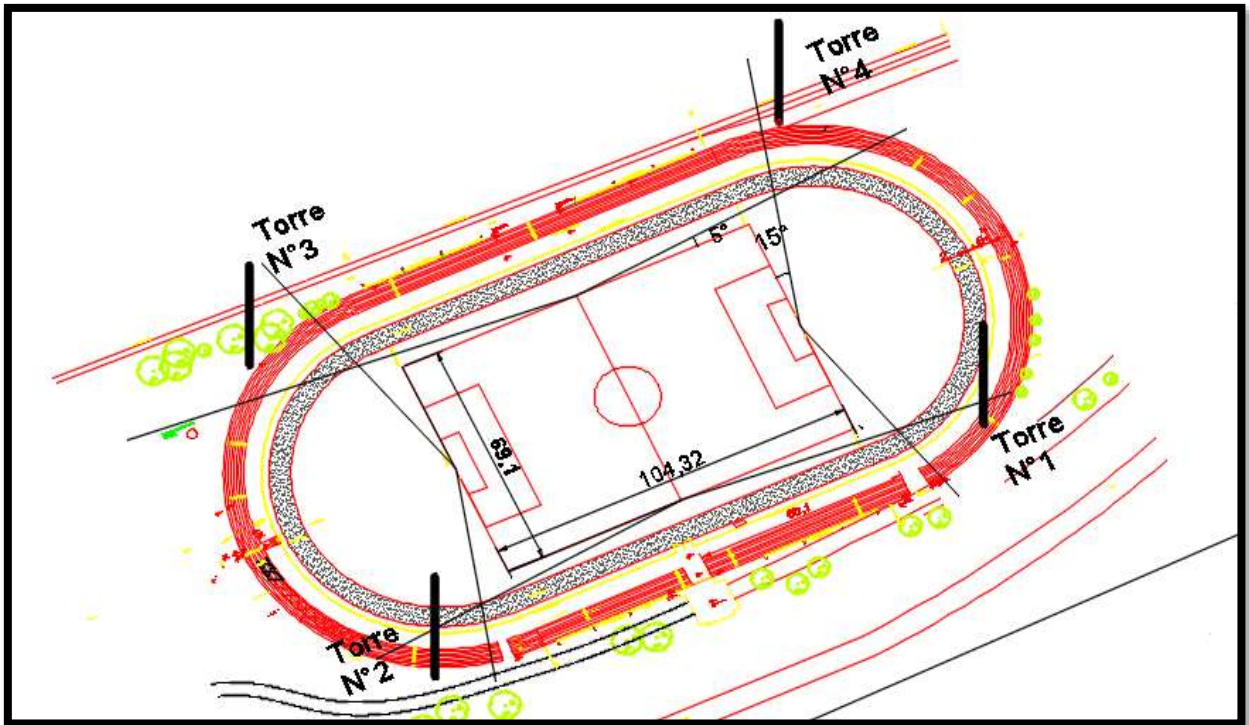
Torre N°3

x: 30019°4'28"S y: 11562°5'49"

Torre N°4

x: 30180°41'39"S

y: 11571°13'39"



Teniendo en cuenta las dimensiones del campo de juego se verifica las ubicaciones de las torres en función a los ángulos que se observan en la imagen. Estos ángulos delimitan la zona donde se pueden instalar iluminación artificial, la zona permitida se define a partir de la intersección de las rectas definidas por los ángulos.

Así obtenemos las coordenadas x e y para definir la zona de postación y la distancia del centro de la cancha al punto de intersección de las rectas (d)

$$x' = b/2 \cdot \text{tg}15^\circ = 9,25\text{m}$$

$$y' = L/2 \cdot \text{tg}5^\circ = 4,56\text{m}$$

Donde b y L representan las dimensiones de la cancha

$$x'' = y' \cdot \text{tg}15^\circ + x' \cdot \text{tg}5^\circ \cdot \text{tg}15^\circ - \text{tg}5^\circ \cdot \text{tg}15^\circ = 1,47 \text{ m}$$

$$y'' = y' \cdot \text{tg}5^\circ + y' \cdot \text{tg}5^\circ \cdot \text{tg}15^\circ - \text{tg}5^\circ \cdot \text{tg}15^\circ = 0,51 \text{ m}$$

$$x = 104,322 + 9,25 + 1,47 = 62,88 \text{ m}$$

$$y = 69,12 + 4,56 + 0,51 = 39,62 \text{ m}$$

$$d = (104,322 + 9,25 + 1,47) + (69,12 + 4,56 + 0,51) = 74,32\text{m}$$

Realizando la medición desde el centro del campo de juego hasta la base de las torres en las ubicaciones verificadas en el relevamiento, tenemos:

D1= 98 m; distancia desde el centro del campo de juego a la torre N°1

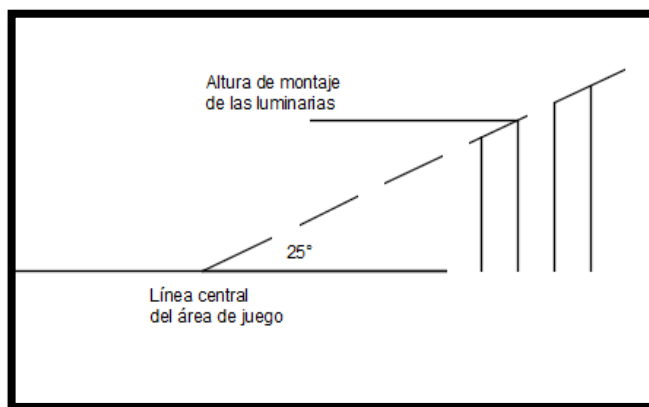
D2= 100 m; distancia desde el centro del campo de juego a la torre N°2

D3= 103 m; distancia desde el centro del campo de juego a la torre N°3

D4= 93 m; distancia desde el centro del campo de juego a la torre N°4

Se puede verificar de esta forma que la ubicación propuesta en el relevamiento cumple con la normativa de la FIFA puesto que D1, D2, D3 y D4 > d.

Empleando el ángulo de restricción de deslumbramiento molesto como mínimo 25° entre el plano horizontal del campo de juego y la línea trazada desde el centro de la cancha y la parte superior del poste donde se instalará la línea de proyectores de nivel inferior.



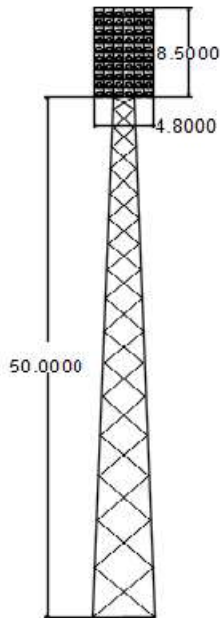
$$H = D \cdot \tan(25^\circ)$$

Empleando D = 103 m, tenemos que la altura mínima de montaje de luminaria debe ser de:

$$H = 48 \text{ m}$$

Las torres que se prevé utilizar son estructuras galvanizadas reticuladas de 60 m, preparadas para sesenta luminarias de 2kW y sus correspondientes circuitos de alimentación. Las torres incluyen la escalera marinera con guardacuerpo. En cuanto a la seguridad se prevé la instalación de balizas solares, las mismas aportan una ventaja en su utilización ya que no se conectan eléctricamente con ningún equipo de la torre y sistema de protección contra descarga atmosférica.

También se prevé el diseño del sistema de puesta a tierra que garantiza las condiciones de seguridad de las personas y equipos.



Diseño de la torre de iluminación,
principales cotas.

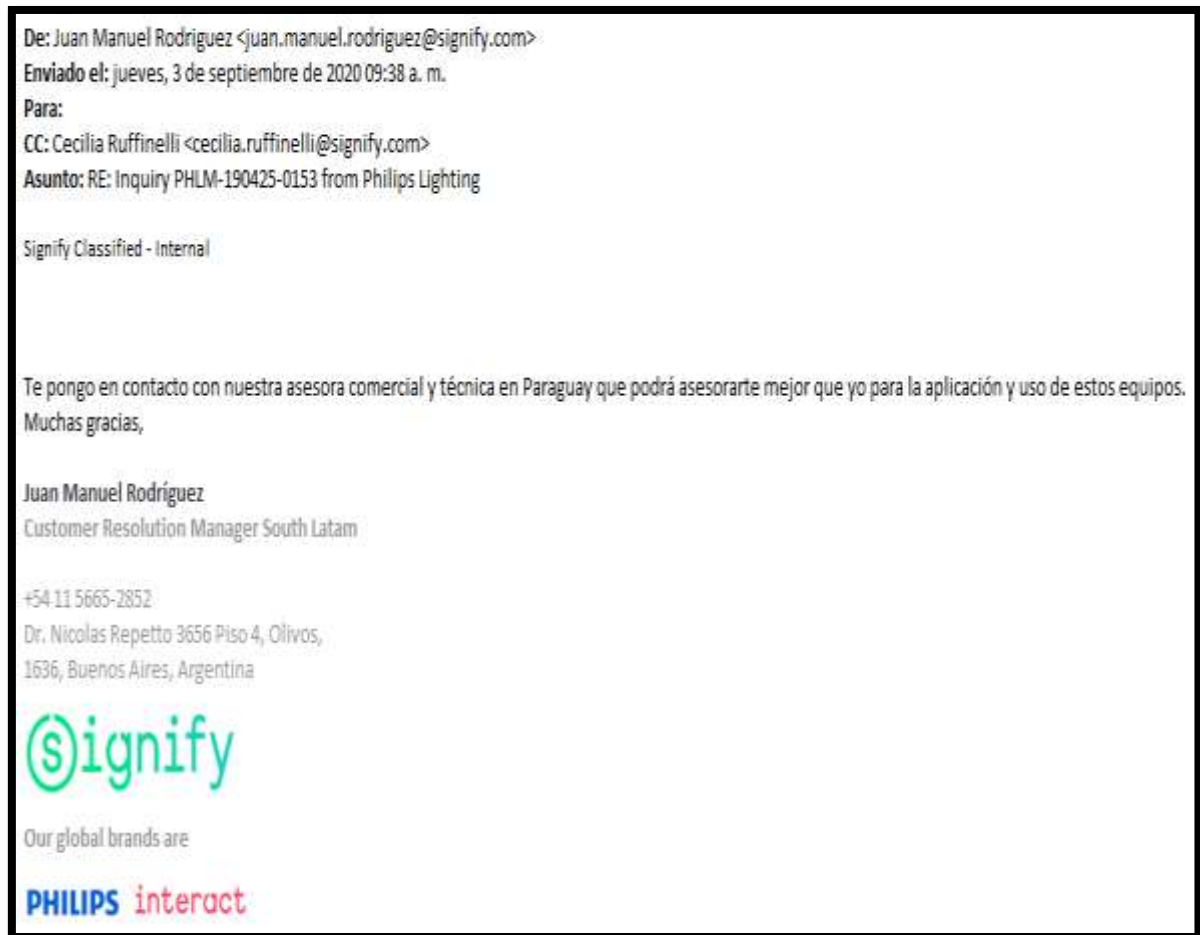
4.4. Elección del tipo de proyectores a utilizar

Se consideran dos tipos de proyectores para el diseño del sistema de iluminación para el estadio Parque del Guairá: Proyector tipo 1 con lámparas de descarga tipo Halogenuros Metálicos de 2,175 kW y Proyector tipo 2 con lámpara LED de 1,58 kW. Se realiza la revisión de especificaciones técnicas de cada luminaria de manera a seleccionar la luminaria más adecuada para satisfacer los requisitos de la FIFA.

MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS DE LA LUMINARIA TIPO 1 Y TIPO 2		
LÁMPARAS	HALOGENURO METÁLICO – TIPO 1 Arenavision MVF403	LED - Arenavision gen3- TIPO 2
Flujo Luminoso	226.000 lm	180.000 lm
Consumo (W)	2.000 W	1.580 W
Rendimiento	65-85%	85-90%
Vida Útil	15.000 Hs	50.000 Hs
Índice de reproducción cromática	90	>85
Temperatura de color	5.600 k	5.700 K
Disponibilidad de datos fotométricos para la simulación	Si	No

La principal dificultad encontrada con la luminaria tipo 2 – LED Arena Visión consiste en la no disponibilidad de datos fotométricos para la simulación. Fueron contactadas varios proveedores y todas ellas presentaron su negativa a facilitar dichos datos fotométricos (archivo de simulación) alegando que por una cuestión de política de la empresa la misma se mantiene de forma confidencial. Es claramente una cuestión de intereses comerciales de monopolio del producto.

Se adjunta la respuesta del representante de la PHILIPS en Argentina y Paraguay.



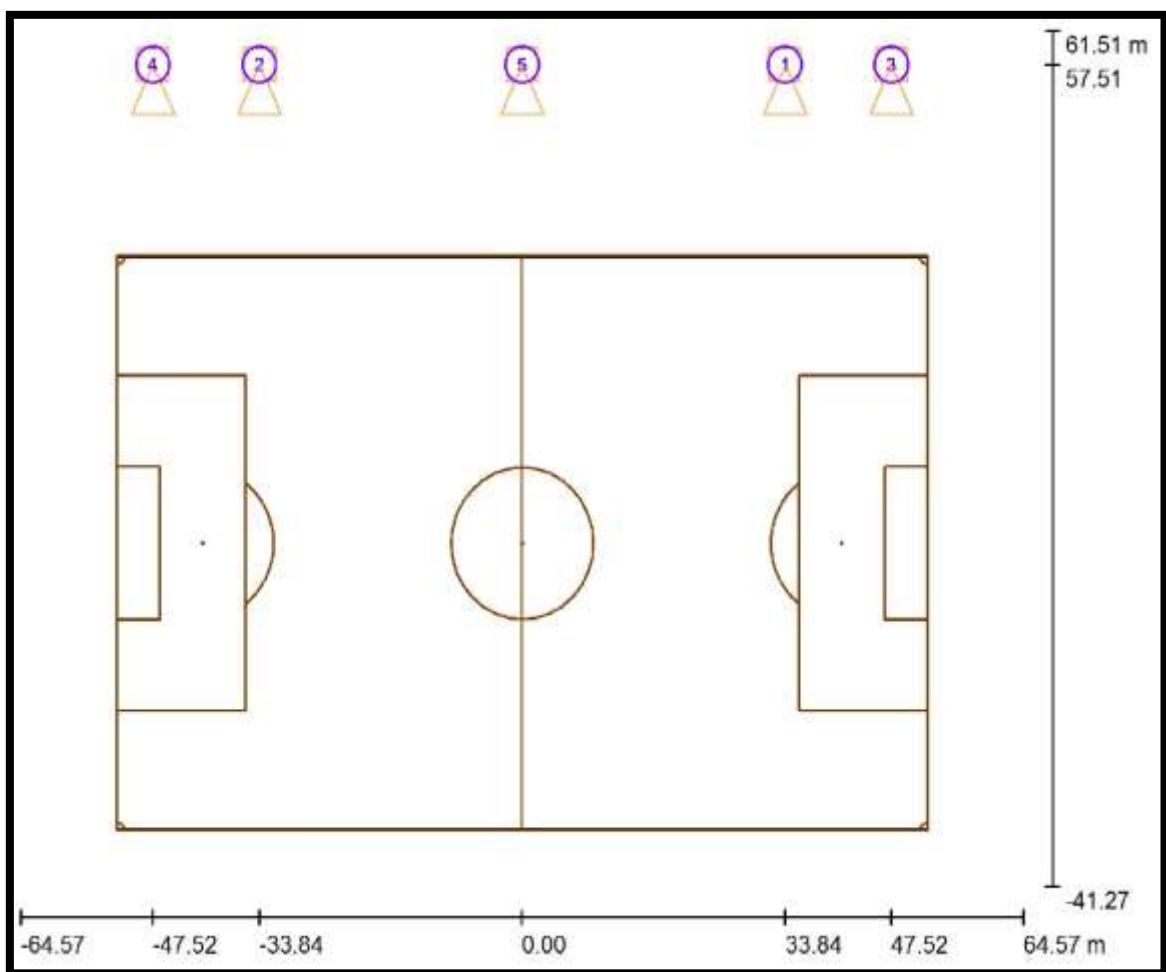


Por otro lado, la luminaria tipo 1 con lámparas bifásicas 400V / 2000W tipo Halogenuros Metálicos, son lámparas standard, económicas y de fácil provisión lo cual lo hace más compatible con el proyecto en cuestión. Esta lámpara otorga un excelente flujo luminoso de 226.000 lúmenes mientras que la luminaria tipo 2 – es de 180.000 lúmenes, posee una reproducción cromática igual a 90, incluso mayor a la luminaria tipo 2 (led).

Por estas razones se concluye que la mejor alternativa es la luminaria tipo 1 – Proyectores circulares Arena Visión con lámparas de halogenuros metálicos bifásicos 400V / 2000W.

4.5. Ubicación de las cámaras según recomendaciones de la FIFA

La ubicación de las cámaras es de suma importancia dado que los valores de iluminancia recomendados por la FIFA están dados en base a estos y los resultados en la simulación son obtenidos con relación a las posiciones de estas cámaras para asegurar que cada cámara reciba suficiente luz.



4.6. Posiciones de las cámaras de televisión

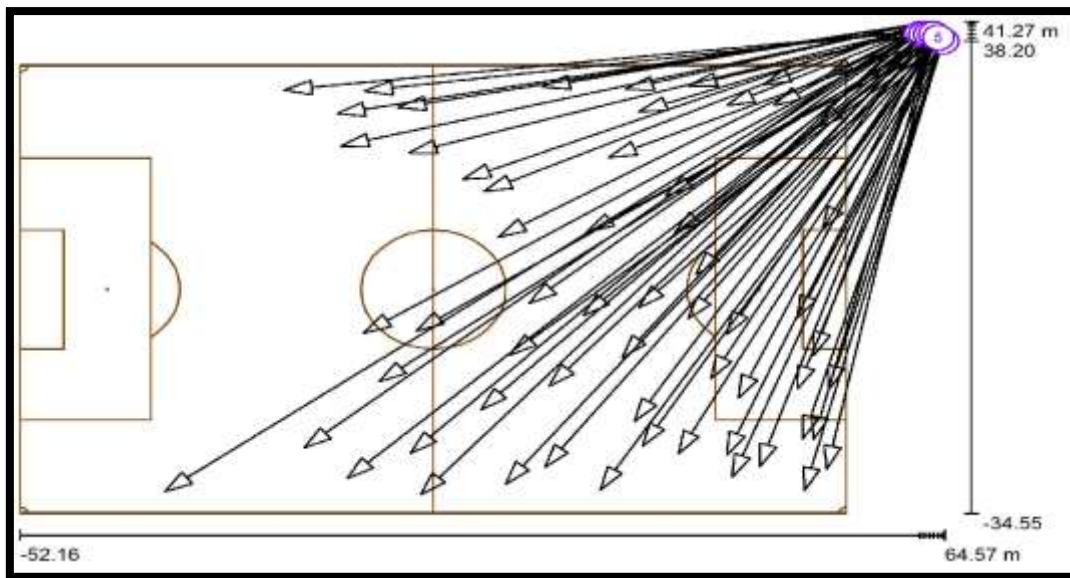
N°	Designación	Posición X	Posición Y	Posición Z
1	Cámara de televisión 1	33.840	57.510	18.000
2	Cámara de televisión 2	-33.840	57.510	18.000
3	Cámara de televisión 3	47.520	57.510	18.000
4	Cámara de televisión 4	-47.520	57.510	18.000
5	Cámara de televisión 5	0.000	57.510	18.000

4.7. Diseño del sistema de iluminación

Los cálculos del sistema de iluminación se realizan con el software DIALux.

La orientación de los proyectores es de gran importancia ya que su correcto posicionamiento permitirá una buena uniformidad sobre el campo de juego como así también un nivel de iluminación satisfactorio como establece la normativa FIFA.

De modo a tener un panorama general de la distribución de luminarias, en el siguiente gráfico se muestra esquemáticamente la ubicación de cada una de las luminarias con sus respectivas orientaciones y puntos de irradiación en el campo de juego. Las coordenadas de ubicación de las luminarias y respectivos puntos de incidencia se detallan en el Anexo.



Fuente: DIALux.

4.8. Circuitos de encendidos de lámparas para los tres niveles de iluminación

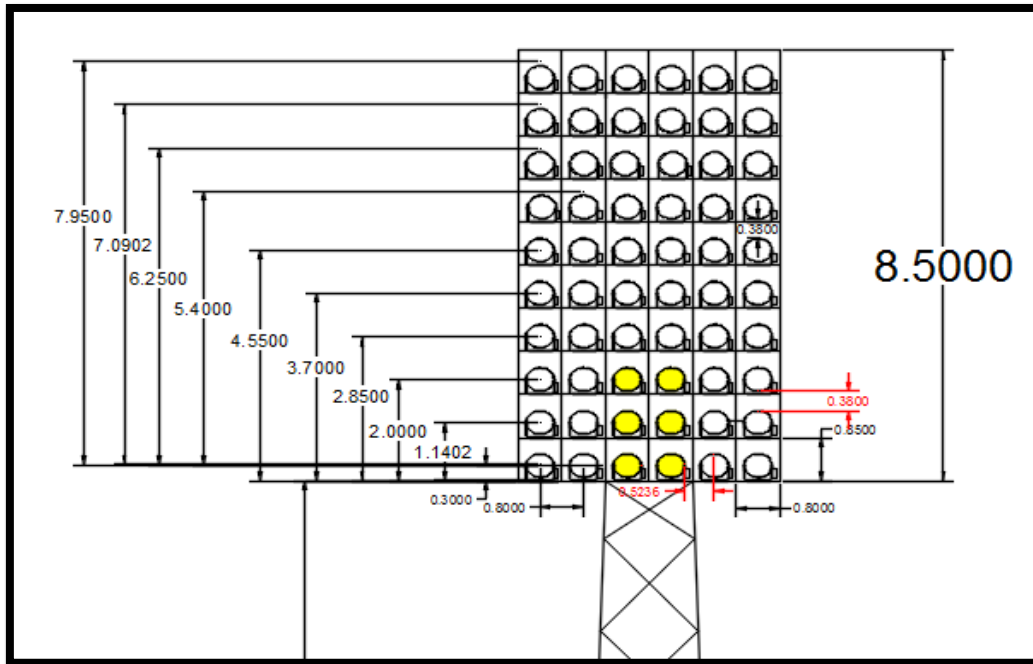
Como se ha mencionado más arriba el sistema de iluminación se adecua a tres clases de eventos, clase I, clase III y clase IV para lo mismo se procedió a un agrupamiento de equipos de proyectores para cumplir con los niveles que requieren cada clase de evento, se detalla a continuación.

4.8.1. Clase I – Entrenamiento y juegos de recreo

Esta Clase de evento requiere un nivel de iluminación de 200 Lux, se procedió a la simulación del mismo para lo cual se requiere de 24 proyectores para satisfacer el nivel de iluminación requerido.

Estos 24 proyectores están distribuidos en 6 proyectores en cuatro torres.

4.8.2. Encendido de lámparas para evento – clase I



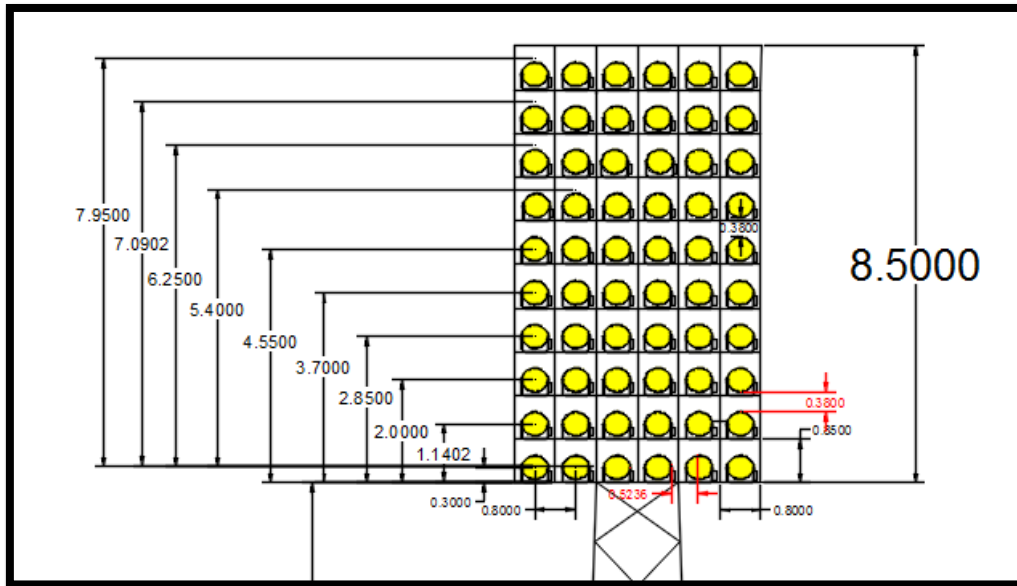
4.8.3. Clase III – Partidos Nacionales no televisados

Esta clase de evento requiere un nivel de iluminación de 750 lux, por medio de la simulación para dicho evento se demuestra la necesidad de utilizar un total de 64 proyectores para obtener el nivel de iluminación mencionado.

Por lo que se adicionan un total de 40 proyectores más a las ya utilizadas para el nivel de iluminación anterior.

Estos proyectores incorporados están distribuidos en 10 unidades de proyectores por cada torre.

4.8.6. Encendido de lámparas para evento – clase IV



4.8.7. Circuito de proyectores para cada torre

Circuito N°	Cantidad de lámparas	Potencia de cada proyector (W)	Carga en (W)	Nivel de iluminación (lux)		
				200 lux	750 lux	2500 lux
1	3	2175	6525	200 lux	750 lux	2500 lux
2	3	2175	6525			
3	5	2175	10875			
4	5	2175	10875			
5	5	2175	10875			
6	5	2175	10875			
7	5	2175	10875			
8	5	2175	10875			
9	5	2175	10875			
10	3	2175	6525			
11	4	2175	8700			
12	4	2175	8700			
13	4	2175	8700			
14	4	2175	8700			

4.9. Resultado de las simulaciones

Todos los valores de iluminancia (lux) indicados representan valores constantes. Las especificaciones técnicas de la FIFA recomiendan un factor constante de 0,7 por tanto, los valores iniciales serán aproximadamente 1,4 veces el valor de los antes indicados.

- **Eventos televisados**

Valores requeridos por FIFA							
Clase	Cálculo hacia	Iluminancia vertical			Iluminancia Horizontal		
Clase IV Nacional	Cámara Fija	Ev media de las cámaras	Uniformidad		Eh media	Uniformidad	
		Lux	U1	U2	Lux	U1	U2
		2.000	0,5	0,65	2.500	0,6	0,8
Resultados obtenidos en la Simulación							
Clase	Cálculo hacia	Iluminancia vertical			Iluminancia Horizontal		
Clase IV Nacional	Cámara Fija	Ev media de las cámaras	Uniformidad		Eh media	Uniformidad	
		Lux	U1	U2	Lux	U1	U2
		2.155	0,65	0,81	3.188	0,66	0,8

- **Eventos no televisados**

Valores requeridos por FIFA		
Nivel de actividad	Iluminancia Horizontal	Uniformidad
Clase	Eh (lux)	U2
Clase III Partidos nacionales	750	0,7
Clase I Entrenamientos y juegos de recreo	200	0,5
Valores Obtenidos en la Simulación		
Nivel de actividad	Iluminancia Horizontal	Uniformidad
Clase	Eh (lux)	U2
Clase III Partidos nacionales	844	0,66
Clase I Entrenamientos y juegos de recreo	324	0,50

4.10. Evaluación económica y análisis de conveniencia para la implementación de un generador para el estadio Parque del Guairá.

En el presente trabajo se realiza la evaluación económica y análisis de factibilidad de generar energía eléctrica para los eventos deportivos clase I; III y IV. Más abajo en el apartado número 8 se presenta el dimensionamiento del generador.

La principal componente de costo consiste en la inversión inicial de la compra del generador y su instalación, además se tiene los costos de generación (consumo de combustible), costos de mantenimiento. En contrapartida, sin la generación, tenemos los costos tarifarios pliego de tarifas N° 21 – Tarifa nacional vigente, grupo de consumo Otros, Categoría 412 – Binómica en Media Tensión Línea.

TARIFAS BINÓMICAS EN MEDIA TENSIÓN - LÍNEA	
CATEGORÍA: 412	
Instalación de Entrega	: Línea de Media Tensión
Tensión de Abastecimiento	: 23.000 Voltios
Potencia Reservada Máxima	: 3.000 kilovatios
Potencia Reservada Mínima	: 40,1 kilovatios

Concepto	Unidad	Tarifas
Potencia Reservada	G/kW-mes	41.126
Exceso Potencia Reservada	G/kW-mes	87.533
Energía en Punta	G/kWh	331,93
Energía Fuera de Punta	G/kWh	144,83

a) Costos asociados a la Generación		
Descripción	Costo	
1) Generador 650 kVA y Tablero de Transferencia	107.800	USD
2) Instalación	2.500	USD
3) Obras Civiles	1.000	USD
Total USD	111.300	USD
Cotización (11/10/2020)	7.005	G/USD
Total Guaraníes	779.600.850	G
4) Consumo (100% de las 4 Torres + Iluminación Gral.)	116,7	Litros x hora
5) Costo del Diesel común (11/10/2020)	5.450	G
6) Consumo (100% de las 4 Torres + Iluminación Gral.) para 3 horas de uso en 2 fechas	3.816.090	G
7) costo de mantenimiento	100	USD/mes
	700.000	G/Mes

b) Costos asociados al suministro sin generación (pliego tarifario N° 21 / Grupo de consumo Otros / Categoría 412)		
Potencia Reservada	41126	G/kW
Exceso de potencia	87533	G/kW
Energía PC	331,93	G/kWh
Energía FPC	144,83	G/kWh

Potencia: 650 kW

Consumo: 1950 kWh

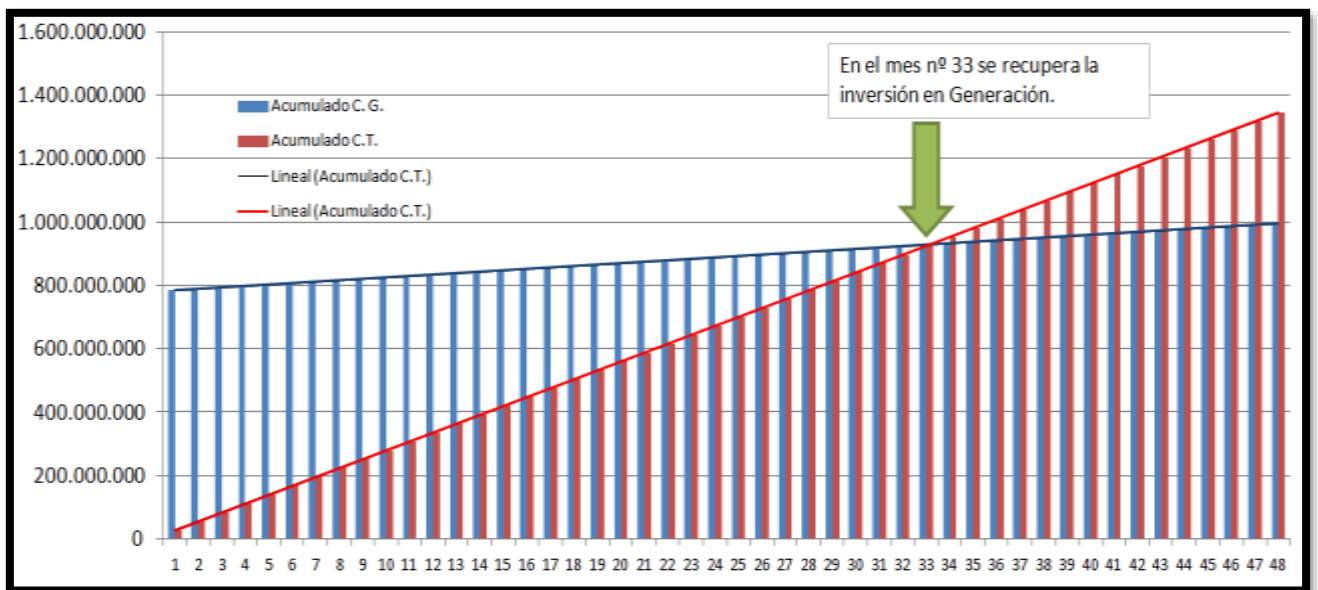
- **Considerando 100% del consumo en Punta de Carga**
Costos tarifarios mensuales

Potencia Reservada: 26.731.900 G

Consumo para 3 hs y dos fechas al mes en Punta de Carga: 1.294.527 G

c) Comparación de costos Generador vs Concesionaria local

- Análisis a cuatro años: En la gráfica de abajo se puede apreciar los costos acumulados de generación (azul) y los costos asociados a la tarifa en pliego n°21 (rojo)



Se observa en la gráfica que los costos de implementación de un generador se recuperarían en el mes N° 33, lo cual hace factible su implementación.

4.11. Dimensionamiento del transformador.

Se prevé la instalación de un transformador para las dependencias descritas en la tabla de abajo con su correspondiente reserva de carga.

Circuitos	Reserva de Carga
Cabina de prensa 1	7,04 kW
Cabina de prensa 2	7,04 kW
Cabina de prensa 3	7,04 kW
Cabina de prensa 4	7,04 kW

Vestuario	21,12 kW
Iluminación Gral.	21,12 kW
Estacionamiento entre otros	21,12 kW

Potencia Total Instalada = **91,5 kW**

Se requiere un transformador de **100 kVA**

Actualmente el estadio Parque del Guairá cuenta con transformador nuevo de 500 kVA, este transformador a la fecha no ha sido instalado y en este trabajo se prevé su utilización. En el anexo N°..... se encuentra el diseño de montaje del transformador.

4.11.1. Cálculo de Protecciones

La corriente nominal del transformador:

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

(I_N) de: 759,67 A

La corriente nominal del transformador es de 759,67 A. Se opta por un Interruptor termomagnético en Caja Moldeada con regulación 630 A a 800 A

4.11.2. Alimentador principal (Puesto de distribución)

Los conductores son dimensionados teniendo en cuenta los criterios de Ampacidad, caída de tensión y corto circuito. Realizando las correcciones por agrupamiento y temperatura ambiente.

Ampacidad: dimensionando los conductores teniendo en cuenta la corriente nominal del transformador de 500kVA, tenemos que con dos venas de cable 150 mm² por fase ($2 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)$) se obtiene así una capacidad de conducción de corriente (Ampacidad) de 844 amperios.

Se trata de un tramo muy corto entre el Puesto de distribución y el gabinete de aproximadamente 10 m, los cables deben ir instalados en bandejas perforadas dispuestas de forma separadas una de otra a una distancia mayor al doble de su diámetro externo.

Caída de tensión:

$$e\% = \frac{K \times P \times L}{\rho \times V^2 \times S}$$

Donde:

K= Constante que depende directamente del tipo de instalación (Monofásica o Trifásica). Para una red monofásica $k=200$ y para una red trifásica $k=100$.

P= Potencia activa de la carga a dimensionar.

L= Longitud del conductor

ρ = Conductividad del material, en nuestro caso cobre, 58 Ohm/metro.

V= Tensión de la Instalación.

S= Sección del conductor en mm^2 .

- Se obtiene una caída de tensión de **0.17%**

4.11.3. Corriente máxima de cortocircuito del conductor

La I_{cc} de un conductor viene determinada por la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{0,34 \times S}{\sqrt{t}} \sqrt{\log \frac{234 + Tf}{234 + Ti}}$$

Dónde:

I_{cc} : máxima corriente de cortocircuito del conductor

K: constante que depende de la naturaleza del conductor (143 para conductores XLPE)

S: sección del conductor (mm^2)

t: tiempo de duración del cortocircuito o tiempo de desconexión (segundos)

- La corriente máxima de cortocircuito del conductor es **19,04 kA**

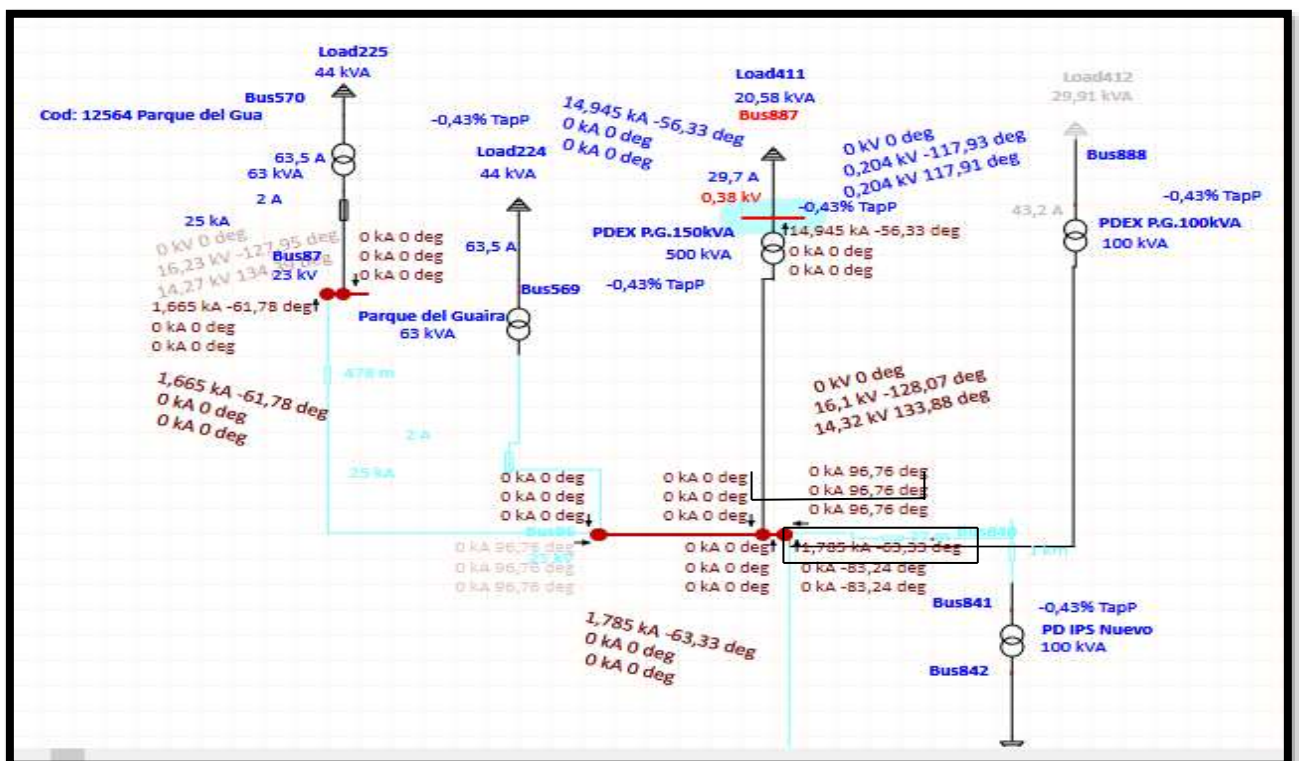
4.11.4. Corriente de cortocircuito de la instalación

La Z_{total} del circuito, está compuesta de la impedancia del sistema (Z_{us}), la del transformador alimentador (Z_{ut}), la impedancia de los conductores alimentadores del tablero general (Z_{uc1}), la de las barras del TG (Z_{bc1})

Impedancia del sistema:

Para obtener el valor de la corriente de cortocircuito se utilizó el Software ETAP, donde se realiza el modelado el sistema, lo cual fue proveído por la concesionaria local.

Para un transformador de 500 kVA, en la siguiente imagen extraída de dicho Software se observa la corriente máxima de cortocircuito del sistema igual a: 1,785 kA.



A partir de este dato se calcula la Potencia de cortocircuito del sistema, dada por la siguiente fórmula.

$$P_{cc} = \sqrt{3} \times I_{cc} \times V_{np}$$

P_{cc} : Potencia de cortocircuito, en kVA.

I_{cc} : Corriente de cortocircuito simétrica, en A.

V_{np} : Tensión nominal primaria, en kV.

Entonces:

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot I_{cc} \cdot V_{np} = 1174,85 \text{ kVA}$$

Tomando como base la potencia del transformador tenemos que:

$$P_b = 500 \text{ KVA}$$

$$V_b = 380 \text{ KV}$$

Por lo tanto:

$$X_{us} = \frac{P_b}{P_{cc}} = 0,425 \text{ pu}$$

$$R_{us} \approx 0$$

y

$$Z_{us} = R_{us} + jX_{us}$$

Donde:

R_{us} y X_{us} : son la resistencia y reactancia en por unidad.

Z_{us} : Impedancia reducida del sistema, en pu

Finalmente, la impedancia de cortocircuito del transformador es

$$Z_{us} = R_{us} + jX_{us} = 0,425 \angle 90^\circ \text{ pu}$$

Impedancia del transformador:

La impedancia de cortocircuito, según la Norma 89 IEC 76-3, de un transformador de 500 kVA en por unidad (pu), es

$$Z_t = 4,5\% \Rightarrow Z_t \text{ pu} = 0,045 \text{ pu}$$

Pero esta impedancia es un número complejo, compuesto por una parte resistiva y una parte reactiva.

$$Z_{ut} = R_{ut} + jX_{ut}$$

Donde:

$$R_{pt}: \frac{P_{cu}}{1000 \times P_{nt}} \text{ en pu, resistencia responsable de las pérdidas en el cobre}$$

P_{nt} : Potencia nominal del transformador, en kVA

V_{nt} : Tensión nominal del transformador, en kVA

P_{cu} : Pérdidas en el cobre, en W

Entonces la componente reactiva se calcula mediante la ecuación:

$$X_{ut} = \sqrt{Z_{ut}^2 - R_{ut}^2}$$

Las pérdidas en el cobre, para el transformador de 500 kVA es de 5950 W.

Entonces, empleando las ecuaciones anteriores, con los datos obtenidos, se tiene:

$$R_{pt} = \frac{5950 \text{ W}}{1000 \times 500 \text{ kW}} = 0,0119 \text{ pu}$$

$$R_{ut} = 0,0119 \times \frac{500}{500} \times \left(\frac{380}{380}\right)^2 = 0,0119 \text{ pu}$$

$$X_{ut} = \sqrt{0,045^2 - 0,0119^2} = 0,0433 \text{ pu}$$

Finalmente, la impedancia de cortocircuito del transformador es

$$Z_{ut} = 0,0119 + j0,04339 = 0,045 \angle 74,66^\circ \text{ pu}$$

Impedancia del tramo Transformador – Tablero General:

El conductor de alimentación al TG es de 150 mm², con una longitud de 10 m, por lo tanto, la impedancia de secuencia positiva por unidad de longitud de este

Conductor es de $R_{uc} = 0,16 \text{ m}\Omega/\text{m}$ y $X_u = 0,137 \text{ m}\Omega/\text{m}$.

Entonces: $R_{C1} = 0,8 \times 10^{-3} \Omega$

$$X_{C1} = 6,85 \times 10^{-4} \Omega$$

Se obtiene:

$$R_{uc1} = 2,77 \times 10^{-9} \text{ pu}$$

$$X_{uc1} = 2,37 \times 10^{-9} \text{ pu}$$

Por lo tanto, la impedancia de estos conductores es:

$$Z_{uc1} = (2,77 \times 10^{-9} + j2,37 \times 10^{-9}) = 3,65 \times 10^{-9} \angle 40,55^\circ \text{ pu}$$

Impedancia en la barra del Tablero General:

La máxima corriente prevista es 759,57 A entonces la barra a utilizar tiene las siguientes dimensiones: 50x10x500mm, la cual admite una corriente máxima de 920 A.

La Impedancia de Z_{bc1} barras por fase, de resistencia R_u y reactancia X_u por unidad de longitud, y L_b de longitud se calcula a partir de las ecuaciones:

$$Z_{bc1} = R_{ub1} + jX_{ub1}$$

Donde:

$$R_{ub1} = \frac{R_{b1} \times Pb}{1000 \times Vb^2} \quad ; \quad X_{ub1} = \frac{X_{ub1} \times Pb}{1000 \times Vb^2}$$

y

$$R_{b1} = R_u \times L_b \quad ; \quad X_{b1} = \frac{X_{b1} \times Pb}{1000 \times Vb^2}$$

Donde:

Z_{bcl} : La impedancia de cortocircuito de las barras, en pu.

R_u y X_u : son la resistencia y reactancia por unidad de longitud, según la sección de las barras.

L_b : longitud de la barra, 0,5 metros

La barra de cobre tiene una impedancia por unidad de longitud de $R_u = 0,04 \text{ m}\Omega/\text{m}$ y $X_u = 0,151 \text{ m}\Omega/\text{m}$

Entonces:

$$R_{bl} = 20 \times 10^{-6} \Omega$$

$$X_{bl} = 7,55 \times 10^{-5} \Omega$$

Se obtiene:

$$R_{ubl} = 69,252 \times 10^{-12} \text{ pu}$$

$$X_{ubl} = 2,614 \times 10^{-10} \text{ pu}$$

Por lo tanto, la impedancia de la barra es:

$$Z_{bcI} = (69,252 \times 10^{-12} + 2,614 \times 10^{-10}) \text{ pu} = 2,7 \times 10^{-10} \angle 75,16^\circ \text{ pu}$$

La impedancia total (Z_{total}) es:

$$Z_{total} = Z_{us} + Z_{ut} + Z_{uc1} + Z_{bcl}$$

$$Z_{total} = 0,4685 \angle 88,544^\circ \text{ pu}$$

La corriente de cortocircuito simétrico se calcula a partir de la expresión:

$$I_{cc} = \frac{I_b}{1000 \times Z_{total}} \text{ [kA]}$$

$$I_{cc} = \frac{759,671 \text{ A}}{1000 \times 0,4685} = 1,624 \text{ kA}$$

La corriente de cortocircuito de la instalación, se debe cumplir con el siguiente criterio:

$$I_{cc} \text{ del conductor} > I_{cc} \text{ de la instalación}$$

Donde:

Icc del conductor = 19,04 kA

Icc de la instalación = 1,624 kA

Corrección por Agrupamiento: Respetando la distancia de separación entre conductores, de dos veces su diámetro externo, no será requerido ningún factor de reducción.

Corrección por temperatura ambiente: se realiza la corrección para 45°C, la capacidad de conducción de dos venas de cable de 150mm² será de 810 A.

Se verifica que el conductor de 150 mm² con aislamiento XLPE satisface los criterios de dimensionamiento y correcciones

Por lo tanto, la sección del conductor principal para las 3 fases será $(2 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2)) + 1$ conductor para el neutro de $(2 \times (1 \times 150 \text{ mm}^2))$.

4.12. Barras del tablero principal

Se prevé la instalación de barras de cobre desnudas con las siguientes dimensiones:

- Sección : 500 mm².
- Dimensiones : 50 mm x10 mm.
- Corriente Admisible: 920A.

4.12.1. Dimensionamiento del Generador

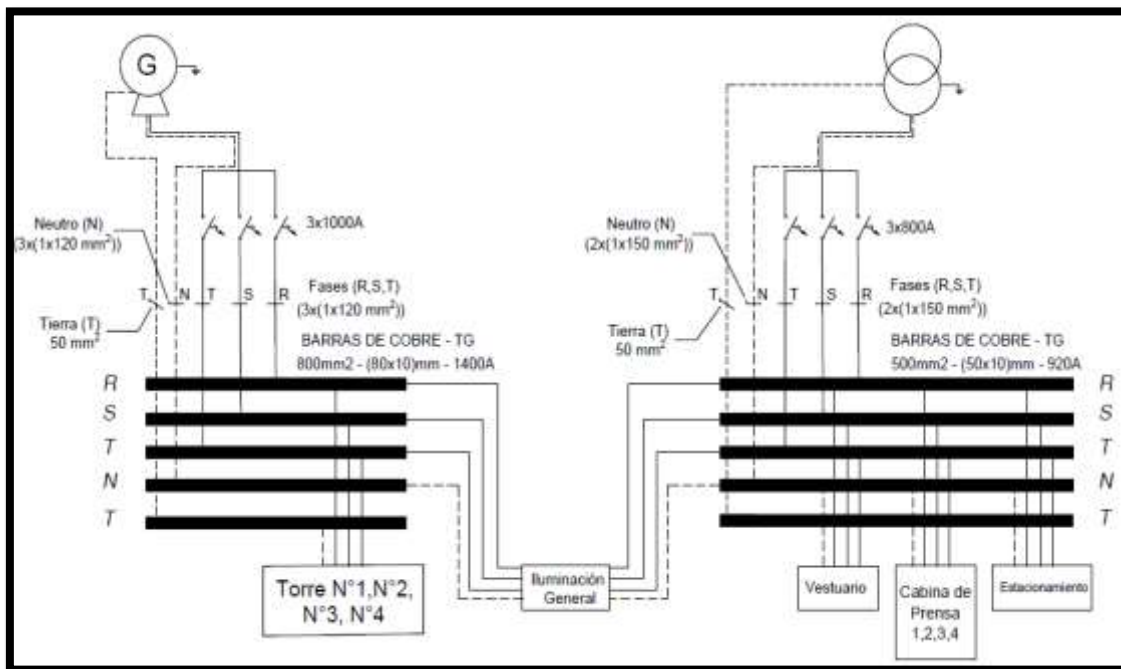
Circuitos	Potencia
Torre de iluminación 1	130,5 kW
Torre de iluminación 2	130,5 kW
Torre de iluminación 3	130,5 kW
Torre de iluminación 4	130,5 kW
Iluminación Gral. Del estadio	21,12 kW

Potencia Total = **543,12 kW**

4.12.2. Instalación eléctrica

Dimensionamiento de conductores y protecciones para el suministro de energía eléctrica a 240 proyectores Halogenuros metálicos, circuito de iluminación general del estadio, y demás circuitos que componen el sistema eléctrico.

4.12.3. Esquema unifilar y circuitos



Se adiciona enclavamientos para la alimentación del circuito N°5 – Iluminación general, se prevé que pueda alimentarse desde el generador o desde el transformador indistintamente. El circuito N°5 – Iluminación general no puede ser alimentado desde el generador y desde el transformador al mismo tiempo.

4.12.4. Cálculos eléctricos del Generador

La Potencia requerida en generación queda definida por las cargas de los circuitos que serán alimentados desde el generador.

$$S = \frac{P}{\cos\phi} = \frac{543,12kW}{0,85} = 638,9 kVA$$

La capacidad requerida en generación es de 650 kVA.

4.12.5. Cálculo de Protecciones

Corriente Nominal (I_N) del generador

$$I_N = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

La corriente nominal del generador es de 987,5 A. Se opta por un Interruptor Termomagnético en Caja Moldeada 800 A -1000 A

4.12.6. Alimentación principal del generador

Los conductores son dimensionados teniendo en cuenta los criterios de Ampacidad, caída de tensión y corto circuito. Realizando las correcciones por agrupamiento y temperatura ambiente.

Ampacidad: dimensionando los conductores teniendo en cuenta la corriente nominal del generador de 650 kVA, tenemos que con tres venas de cable 120 mm² ($3 \times (1 \times 120 \text{ mm}^2)$) la capacidad nominal de conducción es de **1092 A**.

Se trata de un tramo muy corto entre el Generador y el gabinete de aproximadamente 10 m, los cables deben ir instalados en bandejas perforadas dispuestas de forma separadas una de otra a una distancia mayor al doble de su diámetro externo.

Caída de tensión:

$$e\% = \frac{K \times P \times L}{\rho \times V^2 \times S}$$

Donde:

K= Constante que depende directamente del tipo de instalación (Monofásica o Trifásica). Para una red monofásica k=200 y para una red trifásica k=100.

P= Potencia activa de la carga a dimensionar.

L= Longitud del conductor

p = Conductividad del material, en nuestro caso cobre, 56 Ohm/metro.

V= Tensión de la Instalación.

Se obtiene una caída de tensión de 0,22 %

Corriente máxima de cortocircuito del conductor

La I_{cc} de un conductor viene determinada por la siguiente fórmula:

$$I_{cc} = \frac{0,34 \times S}{\sqrt{t}} \sqrt{\log \frac{234 + T_f}{234 + T_i}}$$

Dónde:

I_{cc} : máxima corriente de cortocircuito (Ka)

S: sección del conductor (mm^2)

t: tiempo de duración del cortocircuito o tiempo de desconexión (segundos)

T_f : máxima temperatura admisible en el conductor durante el régimen del cortocircuito ($^{\circ}C$)

T_i : máxima temperatura admisible en el conductor en operación normal ($^{\circ}C$)

- La corriente máxima de cortocircuito del conductor es **22,85 kA**

Corrección por Agrupamiento: Respetando la distancia de separación entre conductores, de dos veces su diámetro externo, no será requerido ningún factor de reducción.

Corrección por temperatura ambiente: se realiza la corrección para $45^{\circ}C$, la capacidad de conducción de tres venas de cable de $120mm^2$ será de 1048,3 A.

La sección del conductor adoptada cumple con los criterios, por lo tanto, el conductor principal para las 3 fases será de $(3 \times (1 \times 120 mm^2)) + 1$ conductor para el neutro de $(3 \times (1 \times 120 mm^2))$.

4.12.7. Barras eléctricas

- Sección: 800 mm².
- Dimensiones: 80X10 mm.
- Corriente Admisible: 1400A.

4.13. Dimensionamientos por circuitos

Circuito N°	Descripción	Potencia	Corriente	TM	Barra	Sección de conductores a utilizar
1	Torre 1	130,5 kW	198,2 A	3x200 A	60mm 20x3 (220 A)	70mm ² para cada fase (R,S,T) + un conductor de 25mm ² (tierra)
2	Torre 2	130,5 KW	198,2 A	3x200 A	60mm 20x3 (220 A)	70mm ² para cada fase (R,S,T) + un conductor de 25mm ² (tierra)
3	Torre 3	130,5 KW	198,2 A	3x200 A	60mm 20x3 (220 A)	70mm ² para cada fase (R,S,T) + un conductor de 25mm ² (tierra)
4	Torre 4	130,5 KW	198,2 A	3x200 A	60mm 20x3 (220 A)	70mm ² para cada fase (R,S,T) + un conductor de 25mm ² (tierra)

Circuito N°5 – Iluminación Gral.

Potencia Total en el circuito: 21,12 kW

Corriente: 32,0 A

Protección: Llave termomagnética 3x32 A

Sección de conductores (mm²): conductor de 6 mm² para cada fase (R,S,T), un conductor de 6 mm² (neutro)

Circuito N°6 – Vestuario

Potencia Total en el circuito: 21,12 kW

Corriente: 32,0 A

Protección: Llave termomagnética 3x32 A

Sección de conductores (mm²): conductor de 6 mm² para cada fase (R,S,T), un conductor de 6 mm² (neutro)

Circuito N°7, 8, 9 y 10 que corresponden a las Cabinas de prensa 1, 2, 3 y 4

Potencia Total en el circuito: 7,04 kW

Corriente: 32 A

Protección: Llave termomagnética 32 A

Sección de conductores (mm²): conductores de 6 mm² (Fase), un conductor de 6 mm² (neutro)

Circuito N°11 – Estacionamiento

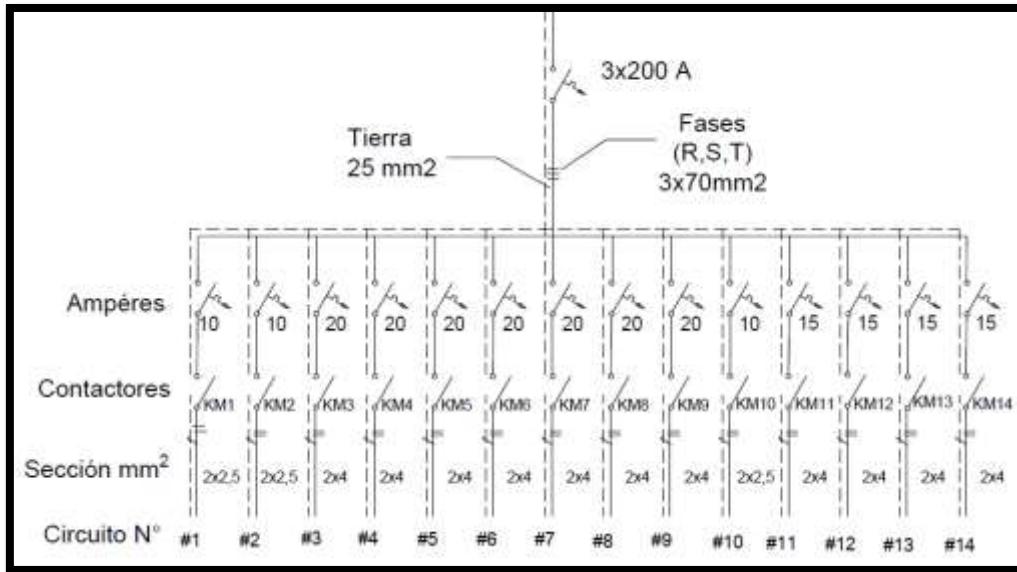
Potencia Total en el circuito: 21,12 kW

Corriente: 32,0 A

Protección: Llave termomagnética 3x32 A

-Sección de conductores (mm²): conductor de 6 mm² para cada fase (R, S, T), un conductor de 6 mm² (neutro)

Esquema unifilar para cada torre:



En la siguiente tabla se indica el número de circuito que cada contactor alimenta y el número de proyectores que enciende.

Circuito N°	Contactador	Cantidad de lámparas que encienden
1	KM1	3
2	KM2	3
3	KM3	5
4	KM4	5
5	KM5	5
6	KM6	5
7	KM7	5
8	KM8	5
9	KM9	5
10	KM10	3
11	KM11	4
12	KM12	4
13	KM13	4
14	KM14	4

10. Agrupamiento de proyectores – Torre 1, 2, 3, 4

Circuito N°1 y N°2

Potencia de lámpara: 2,175 kW

Cantidad de lámparas por circuito: 3

Potencia Total por circuito: 6.525 kW

Corriente: 9,9 A

Llave termomagnética: 2 x 15 A (llave bifásica)

Sección de conductores (mm²): 2 conductores de 2,5 mm² (fase, fase), un conductor de 2 mm² (tierra)

Circuito N°3 al N°9

Potencia de lámpara: 2,175 kW

Cantidad de lámparas por circuito: 5

Potencia Total por circuito: 10,875 kW

Corriente: 16,5 A

Llave termomagnética: 2x20 A (llave bifásica)

Sección de conductores (mm²): 2 conductores de 4 mm² (fase, fase), un conductor de 2 mm² (tierra)

Circuito N° 10

Potencia de lámpara: 2,175 kW

Cantidad de lámparas por circuito: 3

Potencia Total por circuito: 6,525 kW

Corriente: 9,9 A

Llave termomagnética: 10 A

Sección de conductores (mm²): 2 conductores de 2,5 mm² (fase, fase), un conductor de 2 mm² (tierra)

Circuito N°11 al N°14

Potencia de lámpara: 2,175 kW

Cantidad de lámparas por circuito: 4

Potencia Total por circuito: 8,7 kW

Corriente: 13,2 A

Llave termomagnética: 15 A

Sección de conductores (mm²): 2 conductores de 4 mm² (fase, fase), un conductor de 2 mm² (tierra)

4.13.1. Dimensionamiento de conductor para Alimentación de Lámparas

Cabe mencionar que los reactores pertenecientes al equipo de proyectores serán instalados abajo, como así también los tableros seccionales correspondientes a cada torre de iluminación

Por lo tanto, son dimensionados los conductores que subirán hasta la altura dónde se encuentren las lámparas, dicho conductores son para la alimentación de las mismas.

Entonces:

Potencia de lámpara: 2000 W

Corriente: 3,5 A

Sección de conductor a utilizar: 2,5 mm² (fase-fase), un conductor de 2 mm² (tierra)

4.14. Cálculo de puesta a tierra

Medición de Resistividad de suelo – Método Wenner

El equipo empleado para la medición es MTD20KWe – Telurómetro digital

Medición de Resistividad del Suelo Parque del Guaira	
Fecha:	07/10/2020
Ciudad:	Villarrica del Espíritu Santo
Clima:	Soleado, sin lluvias en 10 días previos
Método de medición:	Wenner

Uso de la puesta a tierra: Pararrayos Punto GPS

Separación	Resistencia			Resistividad
metros	Zona 1	Zona 2	Zona 3	2.A.π.R
1	93,9			589,99
2	30,8			387,04
3	10,4			196,04
				391,02

Para el cálculo de la puesta a tierra se hace uso de la siguiente ecuación.

$$R: \frac{\rho}{n} \times 0,404 + \frac{0,16}{s} \times (\ln 0,655 \times n)$$

Donde:

R: Resistividad [Ω m]

n: número de jabalinas

S: separación [m]

Datos:

Separación: 5 m

Nº de jabalinas: 3 un

Resistividad: 391,02 Ω m.

Entonces:

$$R: \frac{391,02}{3} \times 0,404 + \frac{0,16}{5} \times (\ln 0,655 \times 3) = 55,4 \Omega$$

Empleando el uso de suelo artificial a fin de mejorar la resistividad de suelo y reducir la resistencia hasta un 10% de su valor tenemos:

$$R = 5,5 \Omega$$

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se realizó el relevamiento de datos técnicos del sistema de iluminación Actual del estadio Parque del Guairá, para evaluar parámetros en base a las recomendaciones y requisitos de la FIFA para iluminación de estadios para competición profesional. Los datos relevantes, tipo de disposición empleada, altura de montaje de luminarias, cantidad de luminarias por torres, posiciones de cámaras, y el nivel de deslumbramiento que ocasiona en el tránsito debido la mala disposición de las luminarias

Se ha estudiado las características luminotécnicas de la luminaria de halogenuro metálico para su aplicación en la iluminación del campo de fútbol, de manera a obtener condiciones óptimas de visualidad para el buen desarrollo de los eventos deportivos, en base a las recomendaciones y requisitos de la FIFA, cuyos valores son:

Clase IV – Partidos Nacionales Televisados

- Iluminancia horizontal: 2500 lux
 - Uniformidad (U1): 0,6
 - Uniformidad (U2): 0,8
- Iluminancia vertical: 2000 lux
 - Uniformidad (U1): 0,5
 - Uniformidad (U2): 0,65
- Temperatura color: >4000

Clase III – Partidos Nacionales no Televisados

- Iluminancia horizontal: 750 lux
- Uniformidad: 0,7
- Temperatura color: >4000

Clase I – Entrenamiento, juegos de recreo y eventos en general

- Iluminancia horizontal: 200 lux
- Uniformidad: 0,5
- Temperatura color: >4000

Luego de estudiar y analizar catálogos técnicos de diferentes fabricantes y distribuidores de luminarias de alta potencia disponible en el mercado, se optó por la luminaria halogenuro metálico mejores características funcionales como rendimiento luminoso, temperatura color e índice de reproducción cromática para utilizarlos en la simulación en el software DIALux.

Resultados de Simulación

Clase IV – Partidos Nacionales Televisados

- Iluminancia horizontal: 3180 lux
 - Uniformidad (U1): 0,66
 - Uniformidad (U2): 0,80
- Iluminancia vertical: 2155 lux
 - Uniformidad (U1): 0,8
 - Uniformidad (U2): 0,65
- Temperatura color: >4000

Clase III – Partidos Nacionales no Televisados

- Iluminancia horizontal: 844 lux
- Uniformidad: 0,66
- Temperatura color: >4000

Clase I – Entrenamiento, juegos de recreo y eventos en general

- Iluminancia horizontal: 324 lux
- Uniformidad: 0,50
- Temperatura color: >4000

Con estos resultados se logró cumplir con las especificaciones técnicas de la FIFA. Este proyecto es equivalente a mejorar más de 3 veces la iluminación horizontal actual.

Recomendaciones

Dado la existencia de un proyecto de remodelación del Estadio Parque del Guairá que consiste en la ampliación de graderías y readecuación del sistema de iluminación se recomienda el proyecto de realizado, (con 240 luminarias halogenuro metálico), este proyecto se alcanzan los valores de iluminación, recomendados por la FIFA para eventos televisados nacional, partidos no televisados y otros tipos de eventos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «GRLUM,» [En línea]. Available: <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/index2.php>. [Último acceso: 2.018 junio 20].
- [2] J. Taboada, «Manual de Luminotecnia,» Ed. Dossat, S.A. (4ta edición). , s.f..
- [3] R. G. y. H. Hofmann, «Manual de luminotecnia,» de *Como planificar con luz*, ERCO Edition, Editorial Vieweg, 1992.
- [4] «Iluminación y suministro de energía,» *Recomendaciones técnicas y requisitos de la FIFA para estadios de futbol,*, vol. capítulo 9, 2011.
- [5] « Indalux Iluminación Técnica S. L.,» *Iluminación por proyección*, vol. Catálogo 11 , p. 23, 2002.
- [6] C. M. R. Roustaiyan, «Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y de áreas deportivas. Tomo 1».
- [7] «Philips,» [En línea]. Available: www.lighting.philips.com. [Último acceso: 20/08/2020].
- [8] «Inpaco,» [En línea]. Available: www.inpaco.com.py. [Último acceso: 20 agosto 2020].
- [9] «Dialux,» [En línea]. Available: www.dialux.com. [Último acceso: 22 agosto 2020].
- [10] «Metalurgica Vera,» [En línea]. Available: www.metalurgicavera.com.py. [Último acceso: 22 setiembre 2020].

- [11] «KOHLER SDMO,» [En línea]. Available: www.kohler-sdmo.com/ES. [Último acceso: 20 setiembre 2020].
- [12] «TECNO ELECTRIC S.A.,» [En línea]. Available: www.tecnoelectric.com. [Último acceso: agosto 19 2020].