

I

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título
de Ingeniero Eléctrico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE GENERAL:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO
VALERIANO GAVINELLI BOVIO DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA UTILIZANDO
TECNOLOGÍA LED Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”**

AUTORES:

BRYAN STIVEN MALAGÓN REVILLA
HENRY FERNANDO SÁNCHEZ TITUANA

TUTOR:

ING. HERNÁN PATRICIO GUILLÉN COELLO

CUENCA - ECUADOR


2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Bryan Stiven Malagón Revilla con documento de identificación N° 2100547260 y Henry Fernando Sánchez Tituana con documento de identificación N° 0705364461, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA UTILIZANDO TECNOLOGÍA LED Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en forma digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2021.



Bryan Stiven Malagón Revilla
C.I. 2100547260



Henry Fernando Sánchez Tituana
C.I. 0705364461

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA UTILIZANDO TECNOLOGÍA LED Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”**, realizado por Bryan Stiven Malagón Revilla y Henry Fernando Sánchez Tituana, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque general*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2021.



Ing. Hernán Patricio Guillén Coello

C.I. 0102063120

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Bryan Stiven Malagón Revilla con documento de identificación N° 2100547260 y Henry Fernando Sánchez Tituana con documento de identificación N° 0705364461, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA UTILIZANDO TECNOLOGÍA LED Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque general*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre de 2021.



Bryan Stiven Malagón Revilla
C.I. 2100547260



Henry Fernando Sánchez Tituana
C.I. 0705364461

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haber permitido que culminara una etapa más de mi vida. Agradezco a mis padres Blanca y Harrington por siempre creer en mí y estar presentes apoyándome en toda circunstancia. A mi abuelito Melecio quien ha sido, es y será como un padre para mí brindándome su cariño y apoyo incondicional. A mis tíos Víctor, Humberto y Mercedes quienes han sido, son y serán como mis hermanos, considerándolos como ejemplo de vida. Un agradecimiento especial a mi tía Magaly por ser un pilar fundamental en las decisiones tomadas para poder lograr mi estudio universitario. También mencionar a la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca por haberme permitido desarrollar el presente proyecto de titulación dentro de sus instalaciones.

Bryan Stiven Malagón Revilla

Agradezco en primer lugar a Dios por darme salud y permitirme alcanzar un objetivo importante en mi vida, agradezco a mis padres y toda mi familia en general por el apoyo incondicional y la motivación para no rendirme a pesar de las muchas adversidades que se presentaron a lo largo de esta etapa de mi vida, a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme desarrollar mis capacidades que dan fruto a el proyecto de titulación y al tutor presente el Ing. Hernán Guillén por todo el apoyo durante este proceso y por compartir sus conocimientos que nos fue de mucha ayuda.

Henry Fernando Sánchez Tituana

DEDICATORIAS

Dedicado principalmente a mis padres Blanca y Harrington quienes siempre han estado brindándome su amor y apoyo incondicional. Quiero dedicarlo de manera especial a mi abuelita Amada quién fue, es y será mi mamita del alma, yo sé que desde el cielo me cuida y que está muy feliz de este logro obtenido.

Bryan Stiven Malagón Revilla

El proyecto de titulación está dedicado a mis padres Vita Tituana y Leonel Sánchez y mis hermanos Andrés Sánchez, Kathia Sánchez que sin ellos esto no hubiera sido posible, a mi abuelo y padre Virgilio Sánchez a pesar de no estar presente en esta vida está orgulloso de mi y una persona importante en mi vida a mi futura esposa Andrea Mendieta que, gracias a su amor incondicional, a su apoyo en todo momento culminé con este proyecto.

Henry Fernando Sánchez Tituana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	18
ABSTRAC.....	19
INTRODUCCIÓN.....	20
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO	22
JUSTIFICACIÓN	23
OBJETIVOS	24
Objetivo General:.....	24
Objetivos Específicos:	24
CAPÍTULO I	25
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	26
1.1. PRINCIPALES MAGNITUDES LUMÍNICAS.	26
1.1.1. Flujo Luminoso.....	26
1.1.2. Intensidad Luminosa.....	26
1.1.3. Nivel de Iluminación.	26
1.1.4. Luminancia.	27
1.1.5. Contraste.....	28
1.2. NORMA DE ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS.	28
1.3. NIVELES DE ILUMINACIÓN (NORMA UNE-EN 12193:2009).	28
1.4. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS.	30
1.4.1. Iluminancia del plano horizontal.	31
1.4.2. Iluminancia del plano vertical.....	31
1.4.3. Uniformidad en la iluminación.	31
1.4.4. Restricción del alumbrado.....	32
1.4.4.1. <i>El deslumbramiento perturbador.</i>	32
1.4.4.2. <i>El deslumbramiento molesto.</i>	32
1.4.5. Reproducción del color.	32
1.4.6. Índice de reproducción cromática (CRI).	33
1.4.7. Impacto ambiental.....	33
1.5. TIPOS DE FUENTES DE LUZ.	33
1.5.1. Lámparas de descarga.	34
1.5.1.1. <i>Lámparas de vapor de sodio alta y baja presión.</i>	34
1.5.1.2. <i>Lámparas de vapor de mercurio de alta presión.</i>	35
1.5.1.3. <i>Halogenuros metálicos.</i>	35

1.5.2.	Lámparas LED.	36
1.6.	LUMINARIAS SEGÚN EL GRADO DE PROTECCIÓN.	36
1.7.	MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LUMINARIAS.	38
1.7.1.	Método de Punto por Punto.	38
1.7.2.	Método de Lúmenes.	38
1.7.2.1.	<i>Altura de las torres para instalaciones deportivas.</i>	39
1.7.2.2.	<i>Obtención del coeficiente de utilización del haz (CBU).</i>	39
1.7.2.3.	<i>Obtención del factor de mantenimiento (Fm).</i>	41
1.7.2.4.	<i>Obtención del número de proyectores (NP).</i>	41
1.7.2.5.	<i>Orientación y dirección de los proyectores.</i>	42
1.8.	SOFTWARE DIALUX.	42
1.8.1.	Características del DiaLux.	43
1.9.	RESEÑA HISTÓRICA Y EVOLUCIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO.	44
1.10.	REGULACIÓN ECUATORIANA ARCONEL 003/18 VIGENTE DENOMINADA COMO “GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA AUTOABASTECIMIENTO DE CONSUMIDORES FINALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.	45
1.11.	RADIACIÓN SOLAR.	45
1.11.1.	Radiación directa.	46
1.11.2.	Radiación difusa.	46
1.11.3.	Radiación de albedo o reflejada.	46
1.12.	EFECTO FOTOVOLTAICO.	46
1.13.	SISTEMA FOTOVOLTAICO.	47
1.13.1.	Módulos fotovoltaicos.	48
1.13.2.	Inversor.	48
1.13.3.	Regulador de carga.	48
1.13.4.	Sistema de acumulación.	48
1.13.5.	Estructuras de soporte.	48
1.13.6.	Contador de energía bidireccional.	49
1.14.	SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.	49
1.15.	SISTEMA FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A RED.	49
1.15.1.	Sistema FV con conexión a red y con sistema de acumulación.	50
1.15.2.	Arreglos fotovoltaicos serie – paralelo.	50
1.16.	SMA SOLAR TECHNOLOGY AG.	51
1.17.	INDICADORES FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO.	51

1.17.1.	El Valor Presente Neto (VPN).....	51
1.17.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	52
1.17.3.	La Relación Beneficio Costo (B/C).....	52
1.17.4.	El Índice de Rentabilidad (IR).....	53
1.17.5.	El Periodo de Recuperación de la Inversión.....	53
CAPÍTULO II		54
2. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA ILUMINACIÓN DEL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO Y SISTEMAS FOTOVOLTAICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.		55
2.1.	ESTADO ACTUAL DEL DISEÑO LUMÍNICO DEL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO.....	55
2.2.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE ILUMINACIÓN.....	57
2.2.1.	Tipos de investigación.....	57
2.2.2.	Métodos.....	57
2.3.	LEVANTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS LUMÍNICAS.....	57
2.4.	ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.....	59
2.5.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A RED Y CON SISTEMAS DE ACUMULACIÓN.....	60
2.5.1.	Tipos de investigación.....	60
2.5.2.	Métodos.....	60
CAPÍTULO III		61
3. PROPUESTAS PARA EL DISEÑO DE ILUMINACIÓN DEL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A RED Y SISTEMA DE ACUMULACIÓN.		62
3.1.	Diseño del sistema de iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio.....	62
3.1.1.	Consideraciones para las propuestas de iluminación.....	62
3.1.1.1.	Elección del sistema de iluminación para actividades deportivas.....	62
3.1.2.	Cálculos luminotécnicos para las dos propuestas de iluminación LED y para Halogenuro Metálico.....	63
3.1.2.1.	Cálculo luminotécnico para la primera propuesta de iluminación con 8 postes para el estadio Valeriano Gavinelli Bovio.....	63
3.1.2.2.	Diseño detallado Propuesta 1 LED escenario competitivo.....	63
3.1.2.2.1.	<i>Datos obtenidos del campo de juego.</i>	63
3.1.2.2.2.	<i>Elección de la fuente luminosa.</i>	63
3.1.2.2.3.	<i>Elección de la lámpara - luminaria.</i>	64
3.1.2.2.4.	<i>Establecer la altura del montaje para el establecimiento deportivo.</i>	64
3.1.2.2.5.	<i>Distancia de Proyección de las luminarias.</i>	65

3.1.2.2.6.	<i>Obtención del número de proyectores (NP).</i>	65
3.1.2.2.7.	<i>Orientación y dirección de los proyectores para 8 postes.</i>	67
3.1.2.2.8.	<i>Tabla de resumen de la propuesta 1 LED competencias.</i>	68
3.1.2.3.	Diseño detallado Propuesta 1 LED escenario entrenamiento.	68
3.1.2.3.1.	<i>Tabla de resumen de la propuesta 1 LED entrenamiento.</i>	69
3.1.3.	Cálculo luminotécnico para la segunda propuesta de iluminación LED con 6 postes para el estadio Valeriano Gavinelli Bovio.	69
3.1.3.1.	Diseño detallado Propuesta 2 LED escenario competitivo.	70
3.1.3.1.1.	<i>Datos obtenidos del campo de juego.</i>	70
3.1.3.1.2.	<i>Obtención del número de proyectores (NP).</i>	70
3.1.3.1.3.	<i>Orientación y dirección de los proyectores para 6 postes.</i>	71
3.1.3.1.4.	<i>Tabla de resumen de la propuesta 2 LED competencia.</i>	72
3.1.3.2.	Diseño detallado Propuesta 2 LED escenario entrenamiento.	72
3.1.3.2.1.	<i>Tabla de resumen de la propuesta 2 LED entrenamiento.</i>	73
3.1.4.	Cálculo Luminotécnico para la iluminación con Halogénuros Metálicos.	73
3.1.5.	Simulación con DiaLux 4,13 de los diseños de iluminación propuesta 1-2 y para Halogenuro Metálico.	74
3.1.5.1.	Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 1 LED competencia.	74
3.1.5.2.	Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 1 LED entrenamiento.	79
3.1.5.3.	Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 2 LED competencia.	83
3.1.5.4.	Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 2 LED entrenamiento.	87
3.1.5.5.	Resultados de la simulación del diseño de iluminación para Halogenuro Metálico.	90
3.2.	Diseño del sistema de generación FV para alimentar la iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio.	94
3.2.1.	Posibles ubicaciones del sistema de módulos FV:	94
3.2.1.1.	Ubicación idónea.	95
3.2.2.	Dimensionamiento de la central FV con conexión a red y con sistema de acumulación.	95
3.2.2.1.	Considerando la potencia instalada para la propuesta 1.	96
3.2.2.1.1.	<i>Dimensionamiento de los módulos FV en Sunny Design Pro para la propuesta 1.</i>	96
3.2.2.1.2.	<i>Dimensionamiento de los inversores en Sunny Design Pro para la propuesta 1.</i>	98

3.2.2.1.3. Arreglo de conexión serie para los módulos fotovoltaicos BSM500M-96 (02/2019) respecto al inversor SB5.0-1AV-41 de 5 kW.....	100
3.2.2.1.3.1. Para el caso de tensiones.....	100
3.2.2.1.3.2. Para el caso de corrientes.....	101
3.2.2.1.4. Dimensionamiento del sistema de acumulación para la propuesta 1.....	101
3.2.2.1.5. Área necesaria (largo y ancho) y orden para instalación en la ubicación idónea de los módulos FV de la propuesta 1.....	103
3.2.2.1.6. Diagrama de bloques de la central fotovoltaica considerando la potencia instalada para la propuesta 1.....	106
3.2.2.2. Considerando la potencia instalada para la propuesta 2.....	106
3.2.2.2.1. Dimensionamiento de los módulos FV en Sunny Design Pro para la propuesta 2:	106
3.2.2.2.2. Dimensionamiento de los inversores en Sunny Design Pro para la propuesta 2.	107
3.2.2.2.3. Dimensionamiento del sistema de acumulación para la propuesta 2.....	108
3.2.2.2.4. Área necesaria (largo y ancho) y orden para instalación en la ubicación idónea de los módulos FV de la propuesta 2.....	110
3.2.2.2.5. Diagrama de bloques de la central fotovoltaica considerando la potencia instalada para la propuesta 2.....	111
CAPÍTULO IV	112
4. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LOS DISEÑOS DE ILUMINACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED Y SISTEMA DE ACUMULACIÓN.....	113
4.1. Análisis Técnico Económico para los sistemas de iluminación.....	113
4.1.1. Análisis Técnico.....	113
4.1.1.1. Comparación de las características técnicas de las luminarias utilizadas.	113
4.1.1.2. Datos Fotométricos.....	115
4.1.1.3. Vida útil.....	116
4.1.2. Análisis Económico.....	117
4.1.2.1. Costos de los sistemas de iluminación evaluados.....	117
4.1.2.2. Costo del consumo eléctrico.....	118
4.1.2.3. Costo de mantenimiento y operación.....	119
4.2. Análisis Económico para la central FV con conexión a red y con sistema de acumulación.....	119
4.2.1. Costos de la central FV para las 2 propuestas de iluminación.....	119
4.2.2. Costos de operación y mantenimiento.....	121
4.3. Cálculo del valor actual neto (VAN) de las propuestas LED con y sin central fotovoltaica.....	122

4.3.1.	Cálculo del valor actual neto de las propuestas LED sin central Fotovoltaica.	
	123	
4.3.2.	Cálculo del valor actual neto de las propuestas LED con central Fotovoltaica.....	124
4.4.	Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) de las propuestas LED con y sin central fotovoltaica.....	126
4.4.1.	Cálculo del TIR de las propuestas LEDs con central fotovoltaica.....	127
CAPÍTULO V.....		129
5.	CONCLUSIONES.....	130
6.	RECOMENDACIONES.....	133
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	134
ANEXOS		138
ANEXO 1.		139
CARACTERÍSTICAS DE LA LUMINARIA LED. [32]		139
ANEXO 2.		141
POSICIÓN Y ROTACIÓN DE LA LUMINARIA LED PARA LA PROPUESTA 1 Y 2 CON ESCENARIOS PARA COMPETENCIA Y ENTRENAMIENTO.....		141
ANEXO 3.		145
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA PARA LA PROPUESTA 1 Y 2.....		145
ANEXO 4.		151
CÁLCULOS ECONÓMICOS PARA LAS DOS PROPUESTAS LED.....		151
ANEXO 5.		155
TABLAS DE CÁLCULOS PARA COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL.....		155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles mínimos de iluminación para instalaciones deportivas según norma UNE-EN 12193:2009.	30
Tabla 2. Factores de la iluminación invasiva.	33
Tabla 3. Grados de protección según IEC 520 contra polvo.	37
Tabla 4. Grados de protección según IEC 520 contra agua.	37
Tabla 5. Clasificación de los proyectores según la apertura del haz NEMA y distancia de proyección.	40
Tabla 6. Valores típicos del CBU.	41
Tabla 7. Factores de depreciación de la luminaria (FDS).	41
Tabla 8. Especificaciones técnicas lámpara halogenuro metálico.	58
Tabla 9. Descripción general lámpara halogenuro metálico.	58
Tabla 10. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 1 LED competencia.	68
Tabla 11. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 1 LED entrenamiento.	69
Tabla 12. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 2 LED competencia.	72
Tabla 13. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 2 LED entrenamiento.	73
Tabla 14. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 1 para competencias.	74
Tabla 15. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 1 para entrenamiento.	79
Tabla 16. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 2 para competencia.	83
Tabla 17. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 2 para entrenamiento.	87
Tabla 18. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la iluminación con Halogenuros Metálicos.	90
Tabla 19. Características Técnica de luminaria de Mercurio Halogenado.	114
Tabla 20. Características Técnica de luminaria LED.	114
Tabla 21. Costo total de la propuesta LED 1.	117
Tabla 22. Costo total de la propuesta LED 2.	117
Tabla 23. Costo total con Halogenuros Metálicos.	118
Tabla 24. Costo del consumo eléctrico propuesta LED 1.	118
Tabla 25. Costo del consumo eléctrico propuesta LED 2.	118
Tabla 26. Costo del consumo eléctrico con Halogenuros Metálicos.	119
Tabla 27. Costo de mantenimiento y operación	119
Tabla 28. Costo de materiales de la central FV para la propuesta 1.	120
Tabla 29. Costo de instalación de la central FV para la propuesta 1.	120
Tabla 30. Costo total de la central FV para la propuesta 1.	120
Tabla 31. Costo de materiales de la central FV para la propuesta 2.	120
Tabla 32. Costo de instalación de la central FV para la propuesta 2.	121
Tabla 33. Costo total de la central FV para la propuesta 2.	121
Tabla 34. Costo de operación y mantenimiento anual para la propuesta 1.	121
Tabla 35. Costo de operación y mantenimiento anual para la propuesta 2.	122
Tabla 36. Cálculo del VAN propuesta LED 1.	123
Tabla 37. Cálculo del Van propuesta LED 2.	124
Tabla 38. Cálculo del VAN Propuesta LED 1 con central FV.	125
Tabla 39. Cálculo del VAN Propuesta LED 2 con central FV.	125
Tabla 40. Cálculo del TIR propuesta LED 1.	126
Tabla 41. Cálculo TIR propuesta LED 2	126
Tabla 42. Cálculo TIR Propuesta LED1 con central FV.	127
Tabla 43. Cálculo TIR Propuesta LED 2 con central FV.	128

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Flujo Luminoso. _____	26
Figura 2. Intensidad Luminosa. _____	26
Figura 3. Nivel de iluminación. _____	27
Figura 4. Luminancia. _____	27
Figura 5. Lámpara de sodio de baja presión. _____	34
Figura 6. Lámpara de sodio de alta presión. _____	34
Figura 7. Lámpara de mercurio de alta presión _____	35
Figura 8. Lámparas de halogenuros metálicos. _____	35
Figura 9. Cálculo de las alturas y distancias mínimas en un campo de juego _____	39
Figura 10. Distancia de proyección. _____	40
Figura 11. Inicialización del Software DiaLux. _____	43
Figura 12. Administración del proyecto. _____	44
Figura 13. Tipos de radiación solar sobre la superficie terrestre. _____	46
Figura 14. Esquema de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica. _____	47
Figura 15. Esquema general y componentes principales de un sistema fotovoltaico aislado. _____	49
Figura 16. Esquema general y componentes principales de un sistema fotovoltaico con conexión a la red eléctrica. _____	50
Figura 17. Diagrama de bloques del sistema FV con conexión a red y con sistema de acumulación. _____	50
Figura 18. Inicialización del Software Sunny Design Pro. _____	51
Figura 19. Establecimiento deportivo Valeriano Gavinelli Bovio. _____	55
Figura 20. Torres de iluminación _____	56
Figura 21. Vista frontal de la central FV de la UPS – Cuenca. _____	60
Figura 22. Metodología para calcular los ángulos y Colocación de los postes para la propuesta 1 LED. _____	67
Figura 23. Metodología para calcular los ángulos y Colocación de los postes para la propuesta 2 LED. _____	71
Figura 24. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 competencia. _____	75
Figura 25. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 competencia. _____	76
Figura 26. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 1 competencia. _____	76
Figura 27. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED Propuesta 1 competencia. _____	77
Figura 28. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 1 competencia. _____	78
Figura 29. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 1 competencia. _____	78
Figura 30. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 LED entrenamiento. _____	79
Figura 31. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 entrenamiento. _____	80
Figura 32. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 1 entrenamiento. _____	80
Figura 33. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED propuesta 1 entrenamiento. _____	81
Figura 34. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 1 entrenamiento. _____	82
Figura 35. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 1 entrenamiento. _____	82
Figura 36. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 competencia. _____	83
Figura 37. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 competencia. _____	84
Figura 38. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 2 competencia. _____	84
Figura 39. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED propuesta 2 competencia. _____	85

Figura 40. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 2 competencia.	86
Figura 41. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 2 competencia.	86
Figura 42. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 entrenamiento.	87
Figura 43. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 entrenamiento.	88
Figura 44. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 2 entrenamiento.	88
Figura 45. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED propuesta 1 entrenamiento.	89
Figura 46. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 1 entrenamiento.	89
Figura 47. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 2 competencia.	90
Figura 48. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) con Halogenuros Metálicos.	91
Figura 49. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) con Halogenuros Metálicos.	91
Figura 50. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) con Halogenuros Metálicos.	92
Figura 51. Direccionamiento de la Luz en 2D con Halogenuros Metálicos.	92
Figura 52. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias de Halogenuro Metálico, con colores falsos.	93
Figura 53. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias Halogenuros Metálicos.	94
Figura 54. Posibles ubicaciones del sistema de módulos FV dentro de la UPS Sede Cuenca.	95
Figura 55. Configuración inicial en Sunny Design Pro para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico con conexión a la red y sistema acumulador.	96
Figura 56. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar en propuesta 1.	97
Figura 57. Datos técnicos del módulo fotovoltaico monocristalino BSM500M-96 (02/2019).	98
Figura 58. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de inversores a utilizar en propuesta 1.	99
Figura 59. Datos técnicos del inversor SB5.0-1AV-41.	99
Figura 60. Informe resumen del dimensionamiento del sistema FV (módulos e inversores) en Sunny Design Pro, en propuesta 1.	100
Figura 61. Datos técnicos y aplicaciones de la batería de Plomo – Ácido Sigma SOPZS 24 V a 503 A-h.	103
Figura 62. Área disponible de la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca.	104
Figura 63. Orden de los 86 módulos FV para instalación en la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca.	105
Figura 64. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar en propuesta 2.	107
Figura 65. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de inversores a utilizar en propuesta 2.	108
Figura 66. Informe resumen del dimensionamiento del sistema FV (módulos e inversores) en Sunny Design Pro, en propuesta 2.	108
Figura 67. Orden de los 77 módulos FV para instalación en la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca.	110
Figura 68. Esquema Fotométrico de Luminaria Halogenuro Metálico.	115
Figura 69. Esquema Fotométrico de Luminaria LED Propuestas 1 y 2.	116

LISTA DE ABREVIATURAS

LED: Diodo Emisor Luz.

UNE-EN 12193: Indica los niveles de iluminación de las instalaciones deportivas.

DiaLux: Software que ayuda al cálculo luminotécnico mediante simulaciones.

Lm: Lúmen.

I: Intensidad Luminosa.

E: Nivel de iluminación.

L: Luminancia.

Φ : Flujo Luminoso.

$\bar{E}m$: Nivel medio de iluminación.

$E_{min}/\bar{E}m$: Relación de iluminación mínima a la media.

PA: Área principal.

TA: Área principal.

Eh: Iluminación horizontal.

°K: Grados Kelvin.

Ra: Reproducción de color.

GR: Índice de deslumbramiento de observación.

CRI: Índice de reproducción cromática.

lm/W : Eficiencia energética.

HID: Descarga de alta intensidad.

CA: Corriente alterna.

CC: Corriente continua.

IEC: Comisión Internacional de Electrotecnia.

f_u : Factor de utilización.

f_m : Factor de mantenimiento.

CBU: Coeficiente de utilización del haz.

dp: Distancia de proyección.

FDP: Depreciación del flujo de lámpara.

FDS: Depreciación de luminaria.

N_p : Número de proyectores.

VPN: Valor presente neto.

TIR: Tasa de interno de retorno.

B/C : Relación beneficio costo.

IR: Índice de rentabilidad.

uFV: Microgeneración Fotovoltaica.

INECEL: Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

SNI: Sistema Nacional Interconectado.

MERNNR: Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

FV: Fotovoltaica.

ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

MPPT: Rastreador de punto de máxima energía.

kWp: Kilovatio pico.

MWh: Megavatio hora.

DC: Corriente directa.

A - h: Amperios hora.

SMA: Sistema, Medición y Plantas de energía. Es el fabricante de inversores fotovoltaicos más reconocido en Alemania y con mayor facturación a nivel mundial.

HSP: Hora solar pico.

RESUMEN

La alta luminosidad que ofrece la tecnología LED, sumado al ahorro en el consumo de energía, eficacia y alto rendimiento frente a otras fuentes de luz tradicionales, la convierte en la mejor opción para espacios grandes y exteriores. Conscientes de estos beneficios, se plantea el diseño de un sistema de iluminación para el estadio “Valeriano Gavinelli Bovio” de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, utilizando tecnología led y una central fotovoltaica con conexión a red y sistema de acumulación.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo y recurre al método práctico para levantar información sobre el sistema de iluminación existente (Halogenuros Metálicos y LED), para identificar sus deficiencias y requerimientos conforme la normativa española UNE-EN 12193 para el tipo de uso del escenario deportivo. Además, se emplea un método de diseño a partir del análisis técnico para comprobar que las simulaciones de las propuestas de iluminación desarrolladas mediante el software DiaLux sean factibles a la hora de su ejecución.

Se analizan dos propuestas de iluminación tanto para escenario competitivo como entrenamiento: a) sistema lateral de 8 postes de iluminación con 40 proyectores LED, y b) sistema lateral de 6 postes con 30 proyectores LED. Ambas propuestas resultaron factibles según las simulaciones mediante DiaLux 4.13 y al cálculo luminotécnico, cumpliendo con la normativa española UNE-EN 12193. Se realiza el dimensionamiento de la central fotovoltaica (FV) con conexión a red y con sistema de acumulación, a través de la aplicación online Sunny Design Pro y de un cálculo técnico-matemático, para las potencias instaladas de las dos propuestas de iluminación. En ambos casos se dimensionan de manera correcta los componentes, características y diagramas principales de la central.

Sin embargo, de acuerdo con el análisis técnico-económico, la implementación de la segunda propuesta resulta más conveniente debido a que requiere una menor inversión económica, con un Valor Actual Neto (VAN) de la propuesta sin central FV igual \$ 4.998,73 y con central FV igual a \$ 2.236,63. Mientras que, la Tasa Interna de Retorno (TIR) de la propuesta sin central FV es igual al 12% en el noveno año, y con central FV es igual al 10% en el décimo año.

Palabras clave: Tecnología LED, sistema fotovoltaico (FV), iluminación de exteriores, normativa UNE-EN 12193, DiaLux, Sunny Design Pro.

ABSTRAC

The high luminosity offered by LED technology, added to the savings in energy consumption, efficiency and high performance compared to other traditional light sources, is the best option for large and outdoor spaces. Aware of the benefits, this paper proposes the design of a lighting system for the "Valeriano Gavignelli Bovio" stadium of the Salesian Polytechnic University, Cuenca Campus, using LED technology and a photovoltaic power plant with grid connection and storage system.

The research has a quantitative approach and relies on the practical method to gather information about the existing lighting system (Metal Halide) to identify its deficiencies and requirements in compliance with the Spanish standard UNE-EN 12193 for the use of the sports facilities. In addition, a design method based on technical analysis is used to verify that the DiaLux lightning design simulations are feasible at the time of implementation.

Two lighting proposals are analyzed for both competitive and training scenarios: a) lateral system of 8 lighting poles with 40 LED projectors, and b) lateral system of 6 poles with 30 LED projectors. Both proposals were feasible after simulations using DiaLux 4.13 and the lighting calculation, complying with the Spanish standard UNE-EN 12193. The dimensioning of the photovoltaic (PV) power plant with grid connection and storage system was carried out using the online application Sunny Design Pro and a technical-mathematical calculation for the installed power of the two lighting proposals. In both cases, the components, characteristics and main diagrams of the power plant are correctly dimensioned.

Nevertheless, according to the technical-economic analysis, the implementation of the second proposal results more convenient because it requires a lower economic investment, with a Net Present Value (NPV) of the proposal without PV plant equal to \$ 4,998.73 and with PV plant equal to \$ 2,236.63. Furthermore, the Internal Rate of Return (IRR) of the proposal without PV plant is equal to 12% in the ninth year, and with PV plant is equal to 10% in the tenth year.

Key words: LED technology, photovoltaic (PV) system, outdoor lighting, UNE-EN 12193 standard, DiaLux, Sunny Design Pro.

INTRODUCCIÓN

Tener una adecuada iluminación en la actualidad, nos permite el desarrollo de las actividades en la vida cotidiana, logrando apreciar con mayor visibilidad nuestro entorno de acuerdo a lo que se planifique y diseñe se puede obtener una mejor apreciación de los colores, calidad de luz, niveles y óptima distribución de la iluminación dentro de cualquier zona interior o exterior.

En cuanto a la iluminación artificial para eventos deportivos debe ser la más óptima y adecuada para los deportistas, permitiéndoles desarrollar sus actividades de una manera eficaz, para esto es importante que el sistema de iluminación cumpla con los parámetros establecidos en la normativa española en la cual nos estamos basando, como lo es la UNE-EN 12193, lo cual conlleva que haya una óptima distribución de iluminación dentro del campo de juego, evite el deslumbramiento, a su vez logre el color y contraste adecuados, finalmente su estética sea adecuada estableciendo el tipo de luminaria a utilizar, teniendo en cuenta que la contaminación producida con la presencia de las luminarias no supere los niveles mínimos y así no afectar tanto al ecosistema como a las personas. La iluminación en áreas exteriores, se debe optar por luminarias que sean idóneas a la hora de su aplicación, por lo consiguiente para este proyecto se utilizaron luminarias LED debido a su ahorro del consumo de energía, eficacia y alto rendimiento.

La tecnología LED tiene una vida de duración que oscila entre las 50.000 y 100.000 horas de uso [1], en comparación a la tecnología de Halogenuro Metálico que posee una vida de uso de 10.000 horas aproximadamente [2], se ha elegido la tecnología LED para este proyecto debido a sus características y a los beneficios que pueda aportar al nuevo diseño de iluminación; analizando las simulaciones mediante el software DiaLux 4.13, herramienta principal para el cálculo lumínico completo que a su vez serán comprobados con el método de lúmenes o método del factor de utilización que nos permite calcular el nivel medio de iluminancia, el cual se lo presenta en el capítulo 1.

En el país, el uso de las energías renovables cada vez va ganando más fuerza, es por esto que se planteó que todo el sistema de iluminación LED del campo deportivo sea alimentado mediante una central fotovoltaica con conexión a red, con el fin de obtener beneficios técnicos, económicos, ambientales, entre otros, además de que la UPS como institución, sea más autónoma energéticamente al generar electricidad limpia.

Se ha optado por una central fotovoltaica con conexión a red, debido a que nos brindará mayores beneficios en comparación a otros esquemas existentes. Mediante la ayuda del software online Sunny Design Pro se ha llegado a dimensionar eficientemente los componentes principales de la central fotovoltaica, dichos componentes deben ser comerciales en la industria.

Es importante que los dispositivos eléctricos y electrónicos dimensionados cumplan con todas las condiciones necesarias establecidas en la regulación ecuatoriana ARCONEL 003/18 vigente denominada como “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”.

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca cuenta con un estadio para práctica de fútbol semiprofesional y entrenamientos, este escenario en la actualidad consta de un sistema de iluminación de Halogenuros Metálicos – Led, en donde en cada torre se especifica lo siguiente:

- Torre 1: 5 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 7.500 watios.
- Torre 2: 7 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 10.500 watios.
- Torre 3: 7 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 10.500 watios.
- Torre 4: 7 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 10.500 watios.
- Torre 5: 6 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 9.000 watios.
- Torre 6: 6 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 9.000 watios.
- Torre 7: 6 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 9.000 watios.
- Torre 8: 6 luminarias de 1.500 watios cada una y con un flujo total de 9.000 watios.

Debido al mayor consumo de energía y las respectivas sanciones por parte de los organismo del fútbol profesional, se ve la necesidad del desarrollo de la siguiente investigación lo cual es el diseño de un sistema de iluminación utilizando tecnología LED cumpliendo estándares internacionales para la regulación de los niveles de iluminación y a su vez el dimensionamiento de una planta fotovoltaica con la finalidad de ser autosustentable y satisfacer la carga instalada por el diseño lumínico priorizando energía limpia y ahorro energético.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

El estadio Valeriano Gavinnelli Bovio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca actualmente tiene un sistema de iluminación basado en luminarias de Halogenuros Metálicos-LED, alimentadas desde la red de energía eléctrica interna de la Universidad, teniendo en cuenta que el estadio se encuentra en óptimas condiciones, pero existe la carencia de una adecuada distribución de iluminación para los eventos deportivos tanto para prácticas y competencias semiprofesionales, analizando que su nivel de luminancia se encuentra por los valores de E_{max} 250 lx y E_{min} 75 lx dando un uniformidad media E_{max}/E_{min} : 138 lx, su deslumbramiento se ve afectado por los ángulos de irradiación que no son los óptimos llegando a un nivel de 35° UGR, estos valores fueron establecidos de acuerdo a las simulaciones previamente realizadas al campo deportivo de la UPS sede Cuenca y rigiéndonos de la normativa española UNE-EN 12193 que al encontrarse el estadio en clase II no cumple con los parámetros, llegando a la conclusión de que no hay un correcto cálculo lumínico y es por lo siguiente que se analizó alternativas para emplear un nuevo diseño del sistema de iluminación utilizando luminarias LED por completo y a su vez un adecuado cálculo luminotécnico.

En la actualidad toda institución pública o privada debe ser consiente que el sistema de torres de iluminación debe estar siempre en las mejores condiciones, ya sean para las zonas recreativas o estudiantiles, por lo consiguiente se establece que el proyecto de iluminación tenga óptima distribución de la iluminación dentro del campo de juego, siendo más eficiente que el sistema de iluminación actual, logrando beneficios en cuanto a consumo y eficiencia.

Actualmente la Universidad Politécnica Salesiana cuenta con una planta fotovoltaica, la cual alimenta al tablero principal de distribución eléctrica del edificio Mario Rizzini generando energía limpia, rigiéndonos a la factibilidad de la planta se propone dimensionar otra planta fotovoltaica que cubra la carga instalada del nuevo sistema de iluminación a fin de minimizar el consumo de energía eléctrica.

La importancia de las propuestas de iluminación establecida en este proyecto es proponer 2 alternativas que permitan mejorar la situación actual de la iluminación en el estadio y su alimentación eléctrica. Además, al ser aplicadas las propuestas, como beneficiario directo se tendría a la UPS ya que contaría con un sistema lumínico de mejor calidad óptimo para los eventos deportivos, y como beneficiario indirecto sería a toda la ciudadanía que asista a dichos eventos ya que se mejoraría la visibilidad nocturna del lugar.

JUSTIFICACIÓN

El estadio Valeriano Gavinelli Bovio de la Universidad Politécnica Salesiana siendo la principal atracción con respecto a las competencias deportivas de nivel medio que se realizan en la misma, tanto regional como local; debido a encontrarse en clase II a nivel de competencia, ha sido observado por los organismos que administran el fútbol profesional del país estando expuestos al no cumplimiento de la calidad de luminosidad requerida para el tipo de competencias que se efectúan en el campo deportivo.

Dicho sistema no cumple con la calidad de luminosidad necesaria, debido a problemas como deterioro de vida útil de los reflectores, luminarias antiguas comparado con las actuales que son las LED y baja eficiencia energética del sistema actual.

Con la finalidad de optimizar los niveles de iluminación y el consumo de energía, se plantea un nuevo dimensionamiento del sistema de iluminación, considerando que la tecnología a utilizar sea LED de la más alta eficiencia posible, además que la ubicación del sistema de torres y las luminarias sea la correcta, logrando un mejor aprovechamiento de los puntos de irradiación de las luminarias, con la ayuda del simulador DiaLux 4.13 se analiza el cálculo lumínico requerido para este tipo de competencia.

La finalidad de diseñar un sistema fotovoltaico que suministre energía eléctrica y sea conectado a la red de suministro es para ser autosustentable reduciendo los costos con la finalidad de que la carga que vaya a consumir el sistema de iluminación sea abastecida por este sistema de energía limpia.

Es importante que el proyecto cumpla con normas estandarizadas, por una parte la calidad de luminosidad se rija a la norma española UNE-EN 12193 y para el sistema fotovoltaico cumpla con la regulación ecuatoriana ARCONEL 003/18.

Se realizará un análisis técnico económico de la implementación del nuevo sistema de iluminación para verificar los beneficios de su implementación, respecto del sistema existente y a su vez aplicando el mismo método para el sistema fotovoltaico.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Diseñar un sistema de iluminación para el Estadio Valeriano Gavinelli Bovio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca utilizando tecnología LED y con vinculación de energía Fotovoltaica.

Objetivos Específicos:

- Realizar un levantamiento lumínico de las instalaciones del estadio Valeriano Gavinelli Bovio de la UPS Sede Cuenca.
- Realizar un diseño de la iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio de la UPS Sede Cuenca con tecnología LED y considerando la norma española de iluminación UNE-EN 12193:2009.
- Analizar diferentes escenarios y propuestas con simulaciones en el software DiaLux.
- Dimensionar una planta fotovoltaica para abastecer la carga instalada del sistema de iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio de la UPS Sede Cuenca.
- Realizar el análisis técnico económico con la implementación del diseño de iluminación y la central fotovoltaica.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

1.1. PRINCIPALES MAGNITUDES LUMÍNICAS.

1.1.1. Flujo Luminoso.

Cantidad de energía luminosa emitida por una fuente. Su unidad es el lumen (Lm) y su símbolo es Φ [3].



*Figura 1. Flujo Luminoso.
Fuente: Tuveras.com [4].*

1.1.2. Intensidad Luminosa.

Es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y la unidad en el sistema internacional es la candela (Cd) [3].

Por tanto:

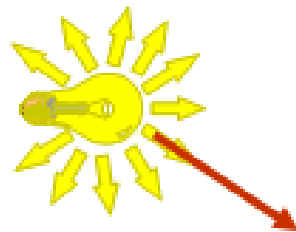
$$I = \frac{\Phi}{w} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

donde:

I es la Intensidad luminosa expresado en candelas.

Φ es el flujo luminoso contenido en el ángulo sólido en lúmenes.

w es el ángulo sólido en estereorradianes.



*Figura 2. Intensidad Luminosa.
Fuente: Tuveras.com [4].*

1.1.3. Nivel de Iluminación.

Es el cociente del flujo luminoso que incide sobre un elemento de la superficie que contiene el punto por el área de ese elemento. Se representa con el símbolo E y su unidad es el lux ($Lx=Lm.m^{-2}$) [3].

Se expresa mediante la fórmula:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

donde:

E es el nivel de iluminación expresado en luxes.

F es el flujo luminoso incidente en una superficie en lúmenes.

S es la superficie en m^2 .

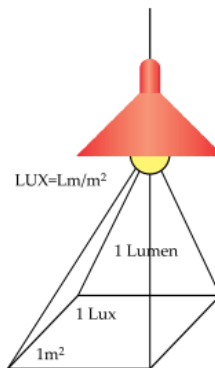


Figura 3. Nivel de iluminación.
Fuente: I.N.S.H.T [3].

1.1.4. Luminancia.

Denominada como brillo fotométrico. Su valor se obtiene dividiendo entre la Intensidad luminosa por unidad de superficie y su unidad es candela/ m^2 [4].

Se expresa mediante la fórmula:

$$L = \frac{I}{S} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

donde:

L es luminancia.

I es la intensidad luminosa.

S es la superficie en m^2 .

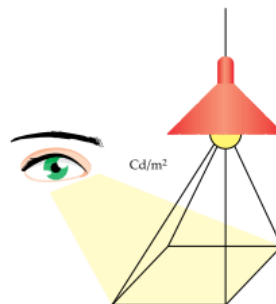


Figura 4. Luminancia.
Fuente: I.N.S.H.T [3].

1.1.5. Contraste.

Se define como la combinación de colores y brillo logrando resultados de una mejor percepción del objeto, existen dos tipos de contraste: el contraste relacionado con las luminancias y el contraste de color [3].

El contraste de luminancias, la apreciación de un objeto estará relacionada con las diferencias de luminancias entre el objeto o el detalle que se esté observando y el fondo, y la percepción del objeto también se debe tener en cuenta el contraste de color [3].

1.2. NORMA DE ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS.

La norma española UNE-EN 12193 dispone las áreas que explica su contenido:

- **Área principal (PA):** Área de juego real necesaria para la práctica de un cierto deporte. Normalmente esto significa el área de “campo” real marcada para ese deporte (por ejemplo, fútbol), pero en algunos casos esta área comprende un área de juego extra alrededor del área marcada (por ejemplo, tenis, voleibol, ping-pong) [5].
- **Área total (TA):** Generalmente esta área comprende el área principal (PA) más un área de seguridad adicional fuera del área principal [5].
- **Área de referencia:** El área definida para deportes en los que se aplican las exigencias de alumbrado principales que incluyen las líneas de marcación y cualquier área extra centrada alrededor del área marcada [5].

1.3. NIVELES DE ILUMINACIÓN (NORMA UNE-EN 12193:2009).

En los campos de fútbol, la iluminación debe ser uniforme para que no dificulte la visión de los jugadores, de los árbitros ni del público espectador. El objetivo es garantizar una buena visibilidad en todo el campo de fútbol. Además, el balón independientemente de su ubicación y velocidad, siempre debe ser claramente visible [5].

Debido a los niveles de iluminación requeridos para centros deportivos se establece ciertos criterios tales como:

- Nivel de Deslumbramiento.
- Área total del escenario deportivo.
- Escenario deportivo diseñado para cualquier tipo de deporte.

La norma UNE 12193:2009 indica los niveles de iluminación de las instalaciones deportivas en función del uso, clasificando el alumbrado en tres tipos basándose en el nivel de competición:

- **Alumbrado Clase I:** Competición del más alto nivel, competiciones nacionales e internacionales. Normalmente acude un gran número de espectadores y los recintos son grandes.
- **Alumbrado Clase II:** Competición de nivel medio, partidos de competición regional y local.
- **Alumbrado Clase III:** Entrenamiento general, educación física y actividades recreativas [5].

Exigencias específicas para televisión en color y grabación de películas.

Iluminación Vertical: La iluminación en un plano vertical forma la base de las exigencias de alumbrado para televisión y sistemas de filmación de películas. Los niveles de iluminación vertical dependen principalmente de la velocidad de acción, la distancia de tiro y del ángulo de la lente [5].

Relación entre la iluminación vertical y horizontal.

Como el campo iluminado forma la mayor parte del campo de visión de la cámara, es importante una iluminación horizontal adecuada. Se obtiene un equilibrio suficientemente bueno entre los niveles de iluminación horizontal y vertical cuando la relación de iluminación horizontal media y la iluminación vertical media debe ser: [5].

$$0,5 \leq \frac{E_h av}{E_v av} \leq 2$$

La norma UNE-EN 12193:2009 establece varios parámetros para una correcta iluminación, donde mediante la siguiente tabla 1 y en función de los distintos deportes se aprecia los niveles mínimos de iluminación para lugares exteriores.

Tabla 1. Niveles mínimos de iluminación para instalaciones deportivas según norma UNE-EN 12193:2009.

Exterior		Área de referencia		Números de puntos de cuadrícula	
		Longitud (m)	Anchura (m)	Longitud (m)	Anchura (m)
Fútbol americano	PA:	110 a 117,5	55	21	9 a 11
Baloncesto	PA:	28	15	13	7
	TA:	32	19	15	9
Fistball	PA:	50	20	17	7
	TA:	66	32	17	9
Floorball PA	PA:	40	20	15	7
	TA:	43	22	15	7
Fútbol	PA:	100 a 110	64 a 75	19 a 21	13 a 15
	TA:	108 a 118	72 a 83	21	13 a 15
Tira y afloja		-	-	-	13 a 15
Handball	PA:	40	20	15	7
	TA:	44	27,5	15	9
Netball PA	PA:	30,5	15,3	13	7
	TA:	37,5	22,5	15	9
Rugby	PA:	144	69	23	11
	TA:	154	79	23	11
Voleibol	PA:	24	15	13	9
		(véase nota)		(véase nota)	
Voleibol de playa					
CLASE	ILUMINACIÓN HORIZONTAL		GR	Ra	
	\bar{E}_m lx	E_{min}/\bar{E}_m			
I	500	0,7	50	60	
II	200	0,6	50	60	
III	75	0,5	55	20	

NOTA - Para la Clase I, la competencia internacional en el nivel máximo puede justificar una longitud de 34 m x 19 para el área principal (PA). El número correspondiente de puntos de cuadrícula es de 15 x 9.

Fuente: AENOR [5].

1.4. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA ILUMINACIÓN PARA INSTALACIONES DEPORTIVAS.

La iluminación de complejos deportivos debe estar en las mejores condiciones para satisfacer las necesidades y requerimientos de la parte que conforman estos establecimientos,

brindándoles el mejor confort ya sea visual y energéticamente. Una óptima iluminación es esencial para los deportistas que realizan las diferentes actividades, debido a estas consideraciones agiliza el juego y a su vez permite el entretenimiento del público presente.

1.4.1. Iluminancia del plano horizontal.

El campo de juego es la parte importante para jugadores y espectadores, debido que es el centro de la visibilidad. La iluminación horizontal constituye una medida de la luz que alcanza un plano horizontal. La medición de iluminancia de plano horizontal en el campo se emplea una rejilla de 10 metros x 10 metros en toda la extensión del campo de juego como base para recopilar todas las mediciones, permitiéndole calcular la iluminación máxima, mínima y media a una altura de 1 metro sobre la superficie del terreno de juego y es conocida por las siglas (Eh) [6].

1.4.2. Iluminancia del plano vertical.

Mediante la iluminancia vertical podemos observar los objetos en el plano vertical, siendo la cantidad de iluminación que recibe la superficie vertical de los jugadores, la calidad de una imagen de televisión depende de la correcta iluminación vertical debido al grado de influencia ya que les permite la exhibición de los deportistas. Es importante percatarse de las alteraciones verticales porque provocan una baja calidad en las imágenes de video [6].

1.4.3. Uniformidad en la iluminación.

Para la adecuada y optima iluminación la uniformidad en los planos horizontal y vertical debe ser la más eficiente, logrando un confort a los deportistas y espectadores, evitando las variaciones de la iluminación y siendo posible la mejor visibilidad. Para la retransmisión por televisión en alta definición, la uniformidad es necesaria para evitar problemas de enfoque y sombras que eviten que se visualice de una forma adecuada. Además, en la iluminación de centros deportivos se debe cumplir con la relación iluminancia mínima a la iluminancia máxima (\bar{E}_m) y como la relación de la iluminancia mínima a la media (E_{min}/\bar{E}_m) de acuerdo a lo establecido por las normas vigentes [6].

La uniformidad que se establece para los centros deportivos es de acuerdo a la clase que se encuentre el estadio, al ser campos deportivos profesionales, existe la posibilidad de que sus eventos sean televisados, por ende, su iluminación deberá ser uniforme para ambos planos. En el caso de no ser televisados se rige únicamente al plano horizontal (ver tabla 1) [6].

1.4.4. Restricción del alumbrado.

La utilización de fuentes de luz de alta intensidad luminosa, puede ser un problema al momento de la iluminación de centros deportivos, debido a que provocan deslumbramiento perturbador y a su vez molestias a los espectadores. La fuente de luz de gran luminosidad debido al deslumbramiento provocado genera molestia, interferencia o perturbación en la eficacia visual [6], esto suele suceder debido a que los puntos de irradiación en lo cual se encuentra enfocado no son los óptimos, debido a estos factores existe dos tipos de deslumbramiento:

1.4.4.1. El deslumbramiento perturbador.

Provoca un velo brillante, el cual incapacita la visión, que desaparece al cesar su causa [6].

1.4.4.2. El deslumbramiento molesto.

Produce fatiga debido a la intensa luz que alcanza a los ojos, dificultando su visibilidad, esto ocasiona dos formas de deslumbramiento, la primera es por observación directa de las fuentes de luz, al ver directamente las luminarias o un grupo de luminarias. La segunda forma de deslumbramiento es por observación indirecta o reflejada de las fuentes, como ocurre cuando se ven reflejadas en alguna superficie [6].

Es importante considerar el deslumbramiento en los recintos deportivos, ya que puede afectar a los deportistas, a los espectadores y a personas que circulen por el lugar. Por eso, al elegir las luminarias, no debe tomarse en cuenta solamente su limitación de luz dispersa por fuera del haz principal, también deben proyectarse adecuadamente en el ángulo preciso, para que este problema no aparezca [6].

1.4.5. Reproducción del color.

En las instalaciones deportivas se permite cierta distorsión en la percepción del color, pero evitando problemas de la discriminación cromática, al momento de la práctica del deporte. Los atributos cromáticos de una lámpara se caracterizan por dos atributos: la apariencia del color dada por su temperatura de color, describe la sensación de caliente (rojo) o frío (azul) y está dada en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), siendo permisible una temperatura $^{\circ}\text{K} \geq 4.000$ para complejos deportivos [6].

Otro atributo es la capacidad de rendimiento de color de una luminaria, la cual afecta directamente al aspecto cromático de los objetos iluminados por la lámpara, se le llama reproducción de color (Ra) y es encargada de reproducir una iluminación natural y el valor producido para obtener una excelente calidad de iluminación artificial es de $Ra \geq 65$ [6].

1.4.6. Índice de reproducción cromática (CRI).

Un objeto bien iluminado permite la óptima apreciación de los colores, por tanto, el índice de reproducción cromática se representa por Ra, lo cual es relacionada con el modo en que aparecen los objetos bajo una fuente de luz dada. El valor máximo del CRI de una fuente es igual a 100. Las fuentes de luz que proporcionan un CRI de más de 80 son consideradas excelentes para el reconocimiento del color [7].

1.4.7. Impacto ambiental.

Es de conocimiento que la iluminación artificial crea un impacto ambiental, al igual el consumo de energía eléctrica, se explica algunas formas de contaminación, las cuales entre ellas está la emisión de flujos luminosos que se difunden hacia el ecosistema, esto es debido a que no hubo una correcta iluminación dentro de lo específico y provoca que sobrepase los límites en donde se encuentran las instalaciones de iluminación [8].

Uno de los efectos que provocan problemas al medio ambiente es la atracción de los insectos por la luz blanca, debido a que se quedan atrapados alrededor de las luminarias y esto se debe por la emisión ultravioleta que contienen dichos reflectores, es importante que en todo proyecto lumínico se tome en cuenta la adquisición de reflectores cut off, ya que estos rigen a los niveles mínimos establecido logrando un menor impacto ambiental [8].

Tabla 2. Factores de la iluminación invasiva.

ÁNGULO DE ILUMINACIÓN	DISTANCIA DESDE EL PERÍMETRO DEL ESTADIO	Lux
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: FIFA [7].

1.5. TIPOS DE FUENTES DE LUZ.

En la actualidad existe un sin número de fuentes que generan luz artificial, las cuales son utilizadas en distintas actividades, para que se produzca la fuente luminosa debe tener un proceso de conversión de energía en radiación electromagnética, como principio de la excitación de átomos y emisión de fotones, se detalla los distintos tipos de fuentes de luz desde su alto nivel de toxicidad hasta las nuevas tecnologías LED que son mucho más eficientes [9].

1.5.1. Lámparas de descarga.

La mejor solución para iluminación en las vías pública y áreas extensas recreativas son las lámparas de descarga por su mayor nivel de flujo luminoso y larga vida, que incluye las lámparas de vapor de mercurio a alta presión, de luz mixta, con halogenuros metálicos y de vapor de sodio a alta presión [10].

1.5.1.1. Lámparas de vapor de sodio alta y baja presión.

Estas lámparas emiten su luz debido a la excitación de los átomos de sodio dentro los tubos de descarga, mejorando su reproducción cromática, una mejor visibilidad y un color más agradable que las de sodio de baja presión siendo la más utilizada en el alumbrado público [2].

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión emiten una luz blanca dorada debido a que se distribuye por todo lo proporcionado logrando una excelente visibilidad y su eficacia ronda los 100 lm/W, teniendo una vida útil entre las 8.000 y 12.000 horas [10].

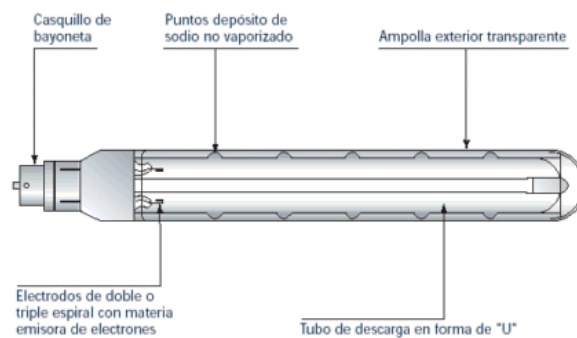


Figura 5. Lámpara de sodio de baja presión.
Fuente: Tuveras.com [11].

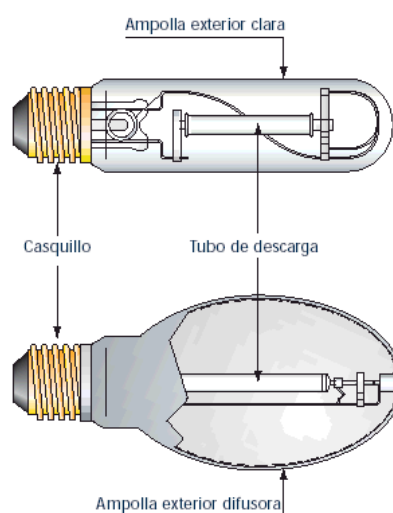


Figura 6. Lámpara de sodio de alta presión.
Fuente: Tuveras.com [11].

1.5.1.2. Lámparas de vapor de mercurio de alta presión.

Estas lámparas emiten su luz debido a la excitación de los átomos de mercurio dentro los tubos de descarga, debido a la potencia tienen un flujo luminoso mayor que las fluorescentes siendo utilizadas en lugares grandes y vías, teniendo una eficacia baja con una emisión de luz 40-60 lm/W y una duración de 8.000 horas [2].

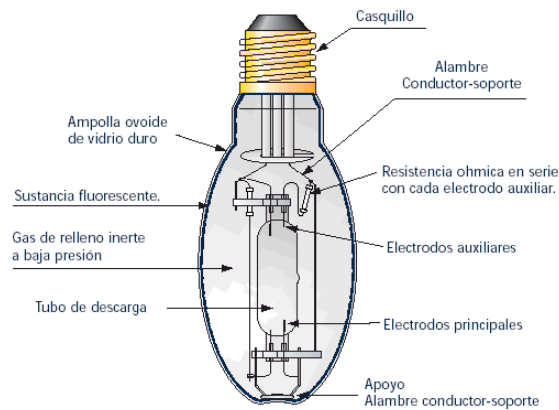


Figura 7. Lámpara de mercurio de alta presión
Fuente: Tuveras.com [11].

1.5.1.3. Halogenuros metálicos.

La eficiencia lumínica y óptima reproducción de color generada por las lámparas de halogenuros metálicos se da debido a los componentes agregados como lo son el yoduro de sodio, talio o indio, permitiéndoles un rendimiento mayor que otras lámparas [10].

Estas lámparas son conocidas como HID (High Intensity Discharge) y su vida útil es de 10.000 horas, a pesar de ser muy eficientes tienen desventajas como lo es al encenderlas debido a que demora un lapso de tiempo al realizar el proceso de estabilización de descarga, al momento de hacer su respectivo funcionamiento es necesario un encendido especial debido a las tensiones elevadas que se encuentran inmersas [2].

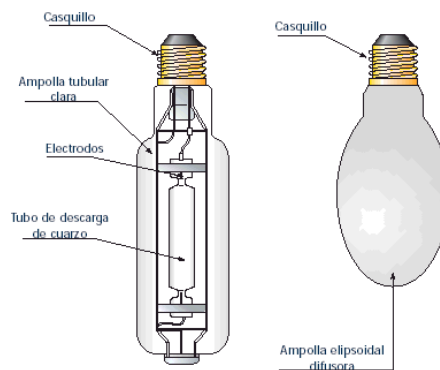


Figura 8. Lámparas de halogenuros metálicos.
Fuente: Tuveras.com [11].

1.5.2. Lámparas LED.

Es una lámpara de estado sólido que utiliza diodos emisores de luz como fuente lumínica. Estas lámparas LED están compuestas por agrupaciones de diodos, cuya cantidad depende de la intensidad luminosa deseada. Una lámpara LED incluye una fuente que permite la conversión de corriente alterna (CA) a corriente continua (CC) ya que los diodos funcionan con CC [12].

Debido a que las luminarias LED tiene una vida útil larga y gran eficiencia energética, es que en la actualidad están sustituyendo a los antiguos tubos fluorescentes ofreciendo una potente iluminación y un considerable ahorro energético. Pueden ser utilizadas en ambientes como centros comerciales, estacionamientos, campos deportivos, parques, etc [12].

Como características principales, tenemos:

- Alta eficacia, hasta 100 Lm/W.
- Economiza la energía eléctrica hasta un 50%, comparada con una lámpara fluorescente.
- Fácil instalación.
- Tensión de entrada de 100 – 240 V.
- Vida útil de 50.000-100.000 horas [1].
- No requiere driver.
- No contiene mercurio ni otros compuestos que afecten al medioambiente [12].

1.6. LUMINARIAS SEGÚN EL GRADO DE PROTECCIÓN.

La elección de las iluminarias para cualquier campo en el que vayan a ser utilizadas es muy importante tener presente el grado de protección porque estas se encuentran inmersas a situaciones climáticas, en el caso de polvo y cuerpos extraños, debido a esto La Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC) expuso las tabulaciones con la finalidad elegir la iluminaria exacta para cada situación, la primera tabla del 1 al 6 es la protección contra polvo y la segunda tabla del 1 al 9 contra el agua [8], se explica a continuación:

Tabla 3. Grados de protección según IEC 520 contra polvo.

Primera Cifra	Denominación	Descripción
1	Protección contra cuerpos extraños sólidos de 50 mm de diámetro y superior	La sonda esférica de 50 mm de diámetro no debe penetrar por completo ¹⁾ .
2	Protección contra cuerpos extraños sólidos de 12,5 mm de diámetro y superior	La sonda esférica de 12,5 mm de diámetro no debe penetrar por completo ¹⁾ . El elemento de ensayo articulado puede penetrar hasta 80 mm, aunque manteniendo una distancia suficiente.
3	Protección contra cuerpos extraños sólidos de 2,5 mm de diámetro y superior	La sonda esférica de 2,5 mm de diámetro no debe penetrar lo más mínimo ¹⁾ .
4	Protección contra cuerpos extraños sólidos de 1 mm de diámetro y superior	La sonda esférica de 1 mm de diámetro no debe penetrar lo más mínimo ¹⁾ .
5	Protección contra el polvo	La penetración de polvo no se impide completamente, pero éste no debería penetrar en cantidades que pudieran perjudicar el funcionamiento o la seguridad del aparato.
6	Estanco al polvo	Ninguna penetración de polvo con una presión negativa de 20 mbar en la caja.

Fuente: Rittal [13].

Tabla 4. Grados de protección según IEC 520 contra agua.

Segundo Cifra	Denominación	Descripción
1	Protección contra goteo	El goteo vertical no debe tener efectos nocivos.
2	Protección contra goteo, con inclinación de la caja hasta 15°	El goteo vertical no debe tener efectos nocivos, cuando la caja se encuentra inclinada hasta 15° a ambos lados de la vertical.
3	Protección contra pulverización de agua	La pulverización de agua en un ángulo de hasta 60° a ambos lados de la vertical no debe tener efectos nocivos.
4	Protección contra salpicaduras de agua	La salpicadura de agua desde cualquier dirección no debe tener efectos nocivos.
5	Protección contra agua proyectada	El chorro de agua contra la caja desde cualquier dirección no debe tener efectos nocivos.
6	Protección contra proyecciones de agua intensas	El potente chorro de agua contra la caja desde cualquier dirección no debe tener efectos nocivos.
7	Protección contra los efectos causados por una inmersión limitada en agua	No debe penetrar una cantidad de agua que pueda ser perjudicial al sumergir la caja temporalmente en agua bajo condiciones de presión y tiempo estandarizadas.
8	Protección contra los efectos causados por	No debe penetrar una cantidad de agua que pueda ser perjudicial al mantener la caja de forma permanente en agua, bajo

	una inmersión continuada en agua	condiciones acordadas entre el fabricante y el usuario. Las condiciones deben ser más severas que las establecidas para la cifra 7.
9	Agua en la limpieza a alta presión / con chorro de vapor	El potente chorro de agua contra la caja a una elevada presión desde cualquier dirección no debe tener efectos nocivos.

Fuente: Rittal [13].

1.7. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LUMINARIAS.

Un proyecto de iluminación para establecer las respectivas simulaciones deber calcularse por los métodos correspondientes las cuales son los siguientes:

- a) Método de Punto por Punto.
- b) Método de Lúmenes [8].

1.7.1. Método de Punto por Punto.

Este método se considera el más exacto, debido a que se realiza la medición de cada punto con la contribución de cada luminaria individualmente, es por eso que es más trabajoso y se lo aplica siempre y cuando la cantidad de puntos y luminarias no sea grande [8].

1.7.2. Método de Lúmenes.

Al igual que el método anterior tiene su veracidad al momento de determinar la iluminancia media, siendo el más empleado debido a que se lo puede aplicar cuando haya una cantidad de puntos y luminarias grandes por ende el área sea extensa, determinando la expresión siguiente [8].

$$E = \frac{\Phi_T}{\text{Área}} = \frac{\Phi_T}{(a \cdot l)} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde

E= Nivel de Iluminación (lux).

Φ_T = Total de lúmenes incidentes sobre una superficie (lm).

a= Ancho del área (m).

l= Longitud del área (m) [8].

Un aspecto importante es que el flujo luminoso total (Φ_T) se ve afectado por los factores de utilización (fu) y de mantenimiento (fm), quedando la expresión de la siguiente manera [8].

$$E = \frac{\Phi_T \cdot fu \cdot fm}{\text{Área}} \text{ (lux)} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Para el cálculo lumínico se utiliza el método de lúmenes del Haz, lo cual nos ayuda a emplear una metodología exacta y encontrar cada uno de los parámetros siguiendo cada uno de los pasos [8].

1.7.2.1. Altura de las torres para instalaciones deportivas.

En primera instancia para encontrar la altura de los postes o iluminarias debemos tener la consideración del deslumbramiento en la cual están expuestos los deportistas y a su vez las luminarias, es por esto que para controlar estas situaciones deben establecerse ángulos como primero 20° o 30° al horizontal y 75° cuando se encuentre al borde del campo, expresando las siguientes ecuaciones [8].

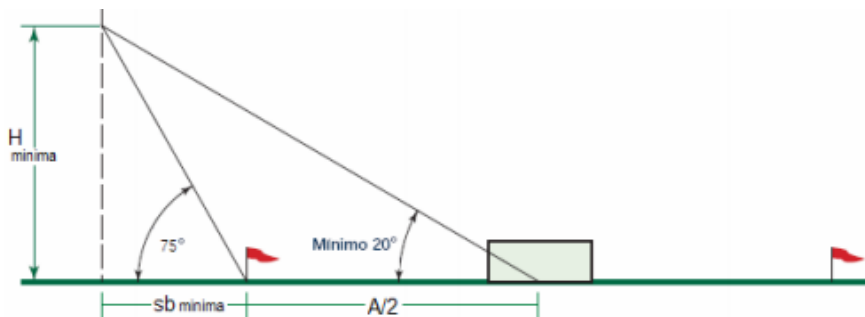


Figura 9. Cálculo de las alturas y distancias mínimas en un campo de juego
Fuente: [8].

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tag}(20^\circ) = \frac{H_{\text{min}}}{(A/2 + sb_{\text{min}})} \\ \text{Tag}(75^\circ) = \frac{H_{\text{min}}}{(sb_{\text{min}})} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} H \geq \text{Tag}(20^\circ) * (A/2 + sb) \\ sb \geq \frac{A/2 * \text{Tag}(20^\circ)}{\text{Tag}(75^\circ) - \text{Tag}(20^\circ)} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Ecuación 1.6} \\ \text{Ecuación 1.7} \end{array}$$

Donde:

H_{min} = Altura mínima de la torre (m).

A = Ancho campo de juego (m).

Sb_{min} = Distancia entre el borde del campo y la posición de la torre (m).

1.7.2.2. Obtención del coeficiente de utilización del haz (CBU).

Para determinar este parámetro es necesario ya haber encontrado las alturas y distancias del poste y la distancia entre el borde del campo y la torre, además las características fotométricas y propiedades lumínicas del proyector [8].

Primero encontramos la fotometría más adecuada para áreas exteriores que en nuestro caso es la iluminación de un campo deportivo, esta distancia de proyección (d_p) la podemos

encontrar de acuerdo a la apertura del haz (NEMA) una vez calculado la distancia de proyección, los proyectores no deben sobrepasar una apertura de 70° debido a esto se asume la inclinación de 65°, encontrando las siguientes ecuaciones [8]:

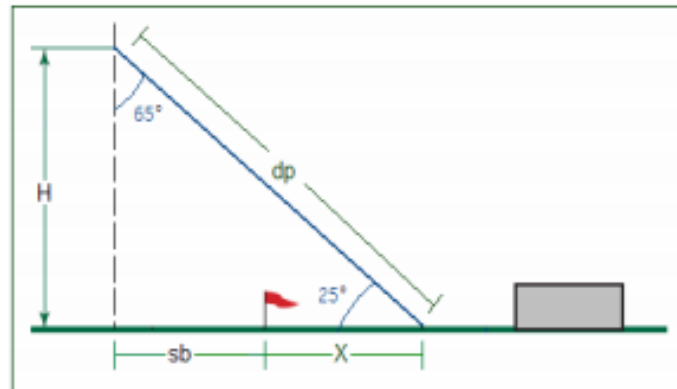


Figura 10. Distancia de proyección.
Fuente: [8].

$$X = \frac{H}{\text{Tag}(25)} - sb \quad \text{Ecuación 1.8}$$

$$dp = \sqrt{(sb + X)^2 + (H)^2} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

Luego nos fijamos en la tabla del haz (NEMA) para ver en que clasificación se encuentra.

Tabla 5. Clasificación de los proyectores según la apertura del haz NEMA y distancia de proyección.

clase NEMA	Apertura del haz (10% del I _{max})	Distancia de proyección (m)	Descripción
1	10° a 18°	≥ 73,2	Haz estrecho
2	18° a 29°	61 a 73,2	
3	29° a 46°	53,4 a 61	
4	46° a 70°	44,2 a 53,4	Haz medio
5	70° a 100°	32 a 44,2	
6	100° a 130°	24,4 a 32	Haz ancho
7	>130°	≤ 24,4	

Fuente: NEMA [8].

Luego de haber encontrado la distancia de proyección pasamos al cálculo del (CBU), un aspecto importante que existen datos registrados para encontrar el coeficiente de utilización del haz para diferentes deportes que varían entre 0,6 y 0,9, incluyendo el “Fútbol” y el “Béisbol” [8], a continuación, se representa mediante tablas los valores típicos en la (Tabla 6) para el desarrollo de nuestro proyecto.

Tabla 6. Valores típicos del CBU.

Deporte	Valores típicos CBU
Fútbol	0,60
Béisbol	0,65
Tenis	0,75

Fuente: [8].

1.7.2.3. Obtención del factor de mantenimiento (Fm).

Se determina este factor debido a la disminución de la iluminación en una zona y se toma en cuenta 2 factores importantes, los cuales son: la depreciación del flujo de la lámpara (FDP) y la depreciación de la luminaria (FDS) [8].

La depreciación de la luminaria (FDS), esta se la encuentra mediante la siguiente tabla 8, donde especifica el tipo de luminaria y que tanta suciedad pueda acumular durante el pasar del tiempo [8].

Tabla 7. Factores de depreciación de la luminaria (FDS).

Tipo de luminaria	Muy Limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy sucio
Abierta no ventilada	0,90	0,8	0,71	0,64	0,56
Abierta ventilada	0,95	0,89	0,83	0,78	0,72
Cerrada	0,97	0,93	0,88	0,83	0,78
Vidrio refractor o cerrada y filtrada	0,98	0,95	0,93	0,89	0,86

Fuente: [8].

La depreciación del flujo de lámpara (FDP), se la obtiene mediante las características que ofrece la luminaria dividiendo entre los lúmenes medios con los iniciales [8].

Una vez encontrado todos sus componentes se expresa la siguiente ecuación:

$$fm = FDP * FDS \quad \text{Ecuación 1.10}$$

1.7.2.4. Obtención del número de proyectores (NP).

Con la fórmula del método de los lúmenes se logra determinar el número de proyectores que se utilizan en un área externa que en el caso del proyecto es para la iluminación deportiva, sustituyendo cada uno de los datos encontramos se expresa en la siguiente formula [8].

$$Np = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\phi_{Haz} * CBU * fm} \quad \text{Ecuación 1.11}$$

Donde,

Np= Número de proyectores.

Emed= Nivel de iluminación media (lux).

Área= Superficie a iluminar (m²).

Φ_{Haz} = Lúmenes del Haz (lm).

CBU= Coeficiente e utilización del Haz.

Fm= Factor de mantenimiento [8].

Luego encontramos el número de proyectores por poste con la siguiente ecuación:

$$Np / poste = \frac{Np}{Npostes} \quad \text{Ecuación 1.12}$$

1.7.2.5. Orientación y dirección de los proyectores.

El objetivo es ubicar el haz de luz central del proyector sobre un punto específico del área para esto se estructuran los siguientes ítems:

- Primero el área que se va a iluminar hay que dividirlo simétricamente de acuerdo a cuantos postes de iluminación se pretende utilizar las cuales les llamaremos sub-áreas [8].
- Los haces centrales de los proyectores deben tener una inclinación (F) de 65° con respecto a su vertical. Si se da el caso que no se puede obtener dicha inclinación, se puede modificar levemente y preferiblemente por encima de los 65° y el haz central deberá quedar dentro del sub-área correspondiente al poste [8].
- La orientación de los haces centrales, Los haces deben abarcar toda la sub-área separados unos de otros a la misma distancia en grados “ γ ”: [8].

$$\gamma = \frac{\varphi}{Np / postes - 1} \quad \text{Ecuación 1.13}$$

γ = Ángulo de separación entre los haces centrales.

φ = Ángulo formado entre ambas esquinas del sub-área y el poste [8].

1.8. SOFTWARE DIALUX.

Es un software libre y completo desarrollado en 1994 por la compañía alemana DIAL, la cual es especialista en iluminación y domótica. DiaLux permite crear fácilmente proyectos de iluminación de manera eficaz y profesional, los ambientes de interiores y exteriores de manera virtual con respecto a un proyecto en físico, con una evaluación de energía en tiempo real, además de la obtención de datos actualizados de luminarias de los diferentes fabricantes más conocidos a nivel mundial como Philips, Sylvania, Lithonia, etc [14].

Además, este programa se facilita con la importación de archivos de AutoCAD para su estudio y posee un método característico en el cual es capaz de calcular los niveles de iluminación debidos a luz directa e indirecta, a su vez denominado cálculo por radiosidad. Estos programas que facilitan los cálculos y simulaciones lumínicas han sido destacados durante décadas por la veracidad de los resultados, sin antes mencionar que debido a las desviaciones más típicas han provocado comparaciones en tiempo real [15].

- Desviación de los datos teóricos de luminosidad de la lámpara con los reales.
- Fuente de alimentación en el uso real, en comparación con laboratorios.
- Desviación en la temperatura de funcionamiento.
- Desviación en el grado de reflexión de las superficies [15].

1.8.1. Características del DiaLux.

La inicialización con el programa ya nos da la opción de que proyecto nosotros deseamos empezar a trabajar en los cuales ya vienen dado lo siguiente:

- Proyecto Interior, donde se conoce por interior a las residencias, industrias y puestos de trabajo.
- Proyecto Exterior, esto va relacionado con lo que es las áreas al aire libre como lo es centros deportivos, áreas verdes, parqueaderos (aire libre).
- Proyecto de calle, como su nombre lo dice para todo proyecto vial.

Dando la conclusión que al momento de elegir el proyecto que se desee se comenzará ya con los respectivos parámetros para la realización de los cálculos lumínicos.

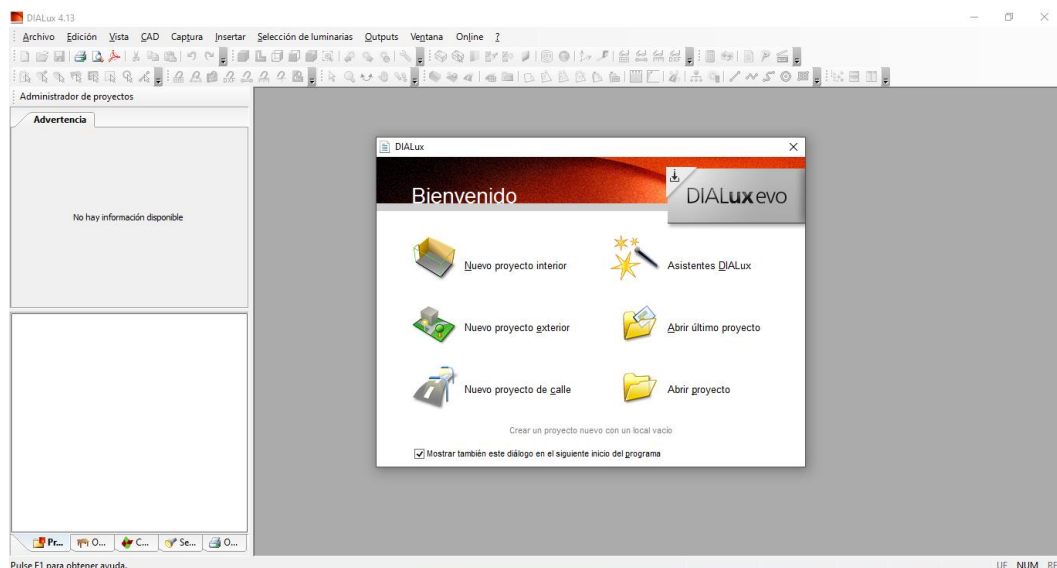


Figura 11. Inicialización del Software DiaLux.

Fuente: Autores, Inicialización del DiaLux, 22 de agosto de 2020.

Al momento de elegir el proyecto en el cual se va emplear un trabajo ya nos aparece otra ventana con la finalidad de empezar a crear el proyecto como podemos observar en la figura 13 en la parte inferior nos muestra ya la información que nosotros vayamos realizando como es el nombre, la descripción del proyecto, a su vez como se trata de un escenario exterior para nuestro caso nos expone la planta para ir realizando los planos del área que se vaya a realizar, además se puede ir ingresando los objetos que vayan a utilizar, colores, luminarias y por último el outputs de impresión.

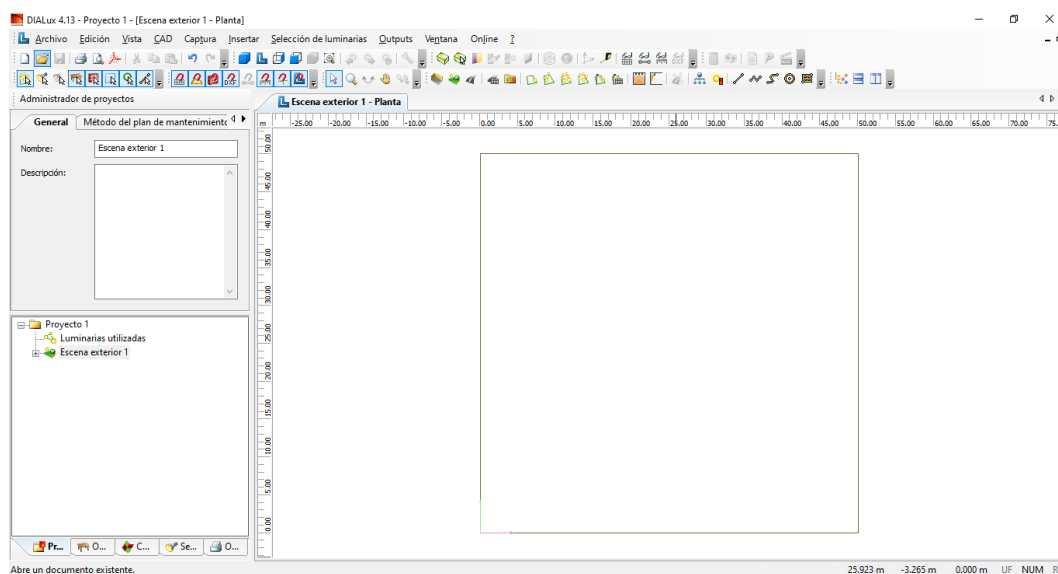


Figura 12. Administración del proyecto.

Fuente: Autores, Administración del proyecto, 22 de agosto de 2020.

1.9. RESEÑA HISTÓRICA Y EVOLUCIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO.

La industria eléctrica en nuestro país inicia en los años noventa con la construcción y puesta en marcha de la primera central hidroeléctrica en la ciudad de Loja, con el nombre de “Luz y Fuerza”, con una potencia instalada de 24 kW y ubicada al pie de una caída del río Malacatos. En 1911, la ciudad de Quito dispuso de alumbrado público. En 1914 en Cuenca se instaló una planta de 37,5 kW, la cual en 1922 fue repotenciada a 102 kW. A inicios de 1926 el gobierno nacional contrató por 60 años a la firma americana Foreign Power Co. para que brinde el servicio de suministro eléctrico a la ciudad de Guayaquil [16].

Ya en el año 1940 se adjudicó la responsabilidad del servicio eléctrico a los municipios, instalándose pequeñas centrales hidroeléctricas en un total de 120 MW hasta 1961. En este año se creó el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), el cual era responsable de la integración del sistema eléctrico nacional y de elaborar un Plan Nacional de Electrificación para satisfacer las necesidades de la energía eléctrica. El INECEL desarrolló grandes proyectos

hidroeléctricos además de la construcción del primer Sistema Nacional Interconectado (SNI). El INECEL tuvo 38 años de vida institucional, hasta que en 1999 se hizo cargo de esta actividad el Ministerio de Energía y Minas [16].

En 2018 se fusionaron por absorción al Ministerio de Hidrocarburos, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, el Ministerio de Minería y la Secretaría de Hidrocarburos, creándose el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR), el cual debe realizar todas las actividades encomendadas por las 4 entidades eliminadas [16].

Durante la última década el sector eléctrico ecuatoriano ha aumentado considerablemente su capacidad instalada, siendo así que en 2018 se contó con 8.826,89 MW de potencia instalada, de los cuales el 59,84% es generado por fuentes renovables y el restante 40,16% proviene de fuente no renovables [16].

1.10. REGULACIÓN ECUATORIANA ARCONEL 003/18 VIGENTE DENOMINADA COMO “GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA AUTOABASTECIMIENTO DE CONSUMIDORES FINALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.

Su objetivo principal es el de establecer condiciones para el desarrollo, implementación y participación de todos aquellos consumidores que dispongan de sistemas de microgeneración fotovoltaica (uFV) con capacidad nominal instalada de hasta 100 kW, ya sea en medio o bajo voltaje. Además, las instalaciones deben funcionar en sincronismo o conexión con la red y su producción uFV debe ser autoconsumida por el mismo usuario, o si se da el caso de que existan excedentes de energía, ésta debe ser inyectada a la red de la empresa distribuidora [17].

1.11. RADIACIÓN SOLAR.

Es el conjunto de ondas electromagnéticas que se desplazan de manera libre por el espacio desde el sol hacia la tierra en forma de espectro con diferente longitud de onda y de frecuencia [18]. La cantidad de radiación solar que incide sobre la tierra dependerá de ciertos factores como:

- Ubicación de la tierra respecto al sol.
- Condiciones meteorológicas.
- Capa atmosférica.
- Materia de suspensión [18].

Los tipos de radiación que inciden sobre la superficie terrestre son:

- Radiación directa.
- Radiación difusa.
- Radiación de albedo o reflejada [19].

1.11.1. Radiación directa.

Es la radiación recibida desde el sol, sin que sufra desviación alguna en su camino a través de la atmósfera [19].

1.11.2. Radiación difusa.

Es la radiación solar que sufre cambios en su dirección, principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera [19].

1.11.3. Radiación de albedo o reflejada.

Radiación directa y difusa que es reflejada por el suelo u otras superficies próximas [19].

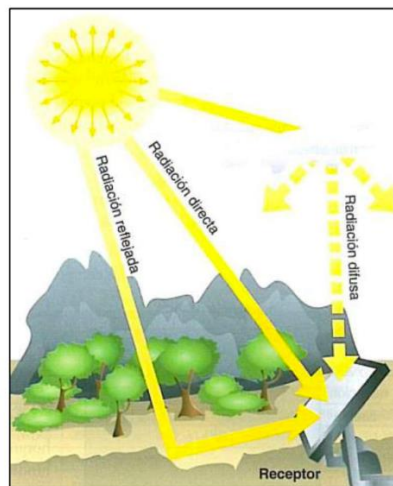


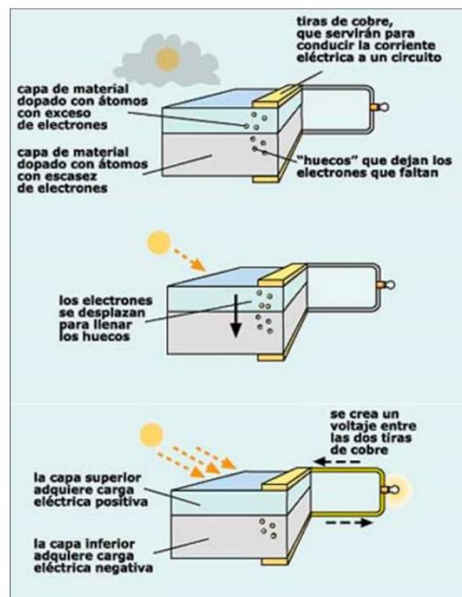
Figura 13. Tipos de radiación solar sobre la superficie terrestre.

Fuente: [19].

1.12. EFECTO FOTOVOLTAICO.

Una célula fotovoltaica está formada por semiconductores tipo p y tipo n que absorben los fotones entrantes y los convierten en pares de electrones. Los electrones se promueven desde la banda de valencia a la banda de conducción cuando la energía absorbida es igual o mayor que la energía de intervalo de banda. Este proceso genera pares de agujeros de electrones que se difunden y se separan en la unión p-n de los semiconductores debido al campo eléctrico generado.

Luego, los electrones son atraídos hacia el lado negativo mientras que los agujeros se mueven hacia el lado positivo. Finalmente, los electrones fluyen en el circuito externo, generándose la corriente eléctrica CC [20].



*Figura 14. Esquema de funcionamiento de una célula solar fotovoltaica.
Fuente: Asociación Española de la Industria Eléctrica [21].*

1.13. SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que cumplen la función principal de captar la radiación solar, transforma dicha energía solar disponible en energía eléctrica, a su vez estos sistemas se dividen en dos categorías dependiendo de la potencia consumida [19]:

- Aislados o autónomos (Stand Alone).
- Conectados a la red y centralizados (Grid Connected).

Los componentes principales de un sistema fotovoltaico son:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor.
- Regulador de carga.
- Sistema de acumulación.
- Estructuras de soporte.
- Contador de energía bidireccional [19].

1.13.1. Módulos fotovoltaicos.

Son un conjunto de células solares que pueden estar conectados en serie o paralelo con la finalidad de obtener la adecuada corriente y voltaje, logrando la captación de la radiación solar. De acuerdo a su estructura cristalina se pueden clasificar en células de silicio monocristalino, policristalino y amorfo. Las más utilizadas son las monocristalinas ya que su eficiencia es mayor a las demás encontrándose entre 18 y 20%. Las policristalinas tienen una eficiencia entre 14 a 16%, y las amorfas un rendimiento de aproximado a 10% [19].

1.13.2. Inversor.

Siendo uno de los componentes elementales, su función principal es transformar la corriente continua (CC) producida por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC), ya sea monofásica o trifásica. De acuerdo a su aplicación y en sistemas FV los inversores se clasifican en autónomos, de conexión a red e híbridos. Los inversores con conexión a red tienen la característica principal en que pueden trabajar conectados directamente con la parte de generación fotovoltaica, estando en la capacidad de sincronizarse con la red eléctrica, con sus valores de frecuencia y voltaje correctos [19].

1.13.3. Regulador de carga.

Su función principal es la de controlar la corriente de entrada originada por los módulos fotovoltaicos y regula la corriente de carga que está alimentando al sistema, permitiendo el control total del nivel de carga de las baterías en todo momento, con el fin de aumentar el tiempo de vida útil del sistema de acumulación [19].

1.13.4. Sistema de acumulación.

Está formado por un conjunto de acumuladores (baterías) dimensionadas correctamente con el fin de garantizar la alimentación de energía eléctrica en momentos específicos de acuerdo a la necesidad del usuario. Los tipos de baterías más aplicados actualmente en sistemas FV son las de Plomo - Ácido, Níquel - Cadmio y las de Litio, siendo éstas más costosas, pero con mejores características técnicas respecto a las anteriores [19].

1.13.5. Estructuras de soporte.

Son todos aquellos elementos que permiten que los componentes del sistema FV se encuentre bien sujetos, unidos y protegidos, de tal manera que la central fotovoltaica pueda operar de manera segura mecánicamente. La estructura principal es la que sostiene los módulos FV, tomando en cuenta el grado de inclinación y la orientación más óptima [19].

1.13.6. Contador de energía bidireccional.

Es aquel dispositivo que permite medir el flujo de energía en sentido normal y contrario. A partir de esta medición es que se estima la cantidad de energía que un sistema fotovoltaico está inyectando a la red eléctrica en un tiempo determinado [19].

1.14. SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.

Normalmente este sistema es para potencias bajas y son utilizados para abastecer cargas domésticas de energía o en el caso de que toque alimentar alguna carga que se encuentre en algún lugar retirado con difícil acceso de redes de distribución eléctrica. Estos sistemas dependen de la energía generada por los módulos FV y por el sistema de acumulación [19] [22].

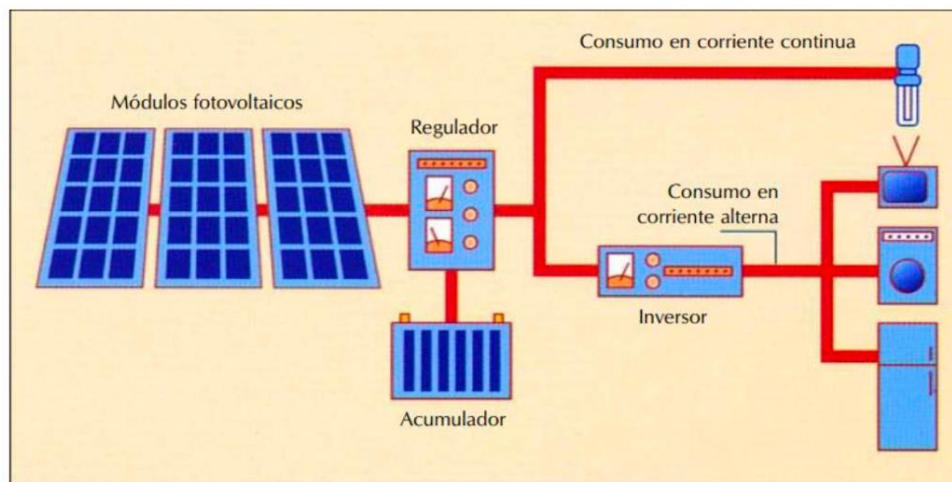


Figura 15. Esquema general y componentes principales de un sistema fotovoltaico aislado.
Fuente: [19].

1.15. SISTEMA FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A RED.

El objetivo principal de este tipo de conexión es maximizar la producción del sistema FV ya que toda su energía eléctrica generada va directamente inyectada a la red de la empresa distribuidora. En la siguiente figura se describe los componentes principales y su conexión [19].

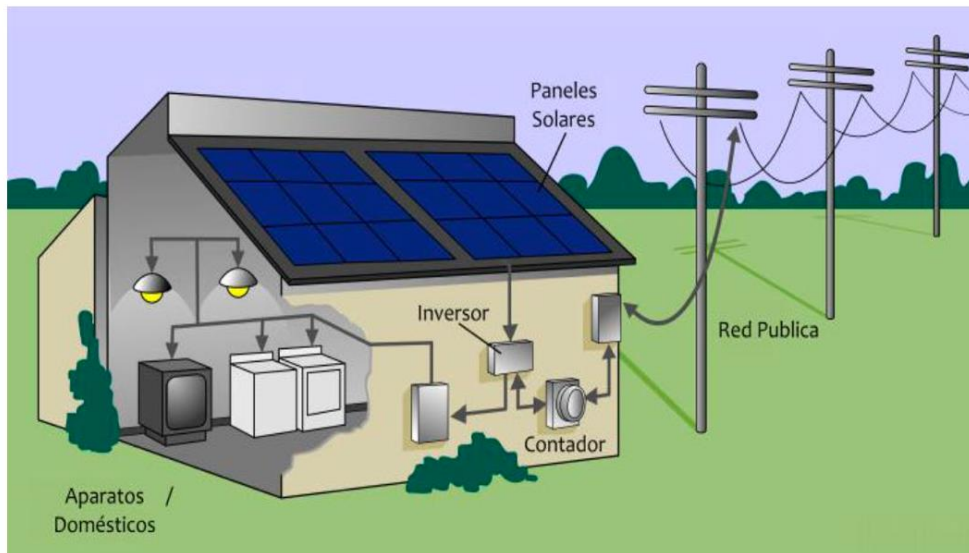


Figura 16. Esquema general y componentes principales de un sistema fotovoltaico con conexión a la red eléctrica.
Fuente: [23].

1.15.1. Sistema FV con conexión a red y con sistema de acumulación.

Normalmente los sistemas FV con conexión a red en entre sus componentes no utilizan baterías, pero si fuera la necesidad del usuario de agregarle un almacenamiento, si hay como hacerlo. Se debe seguir el siguiente diagrama de bloques [22].

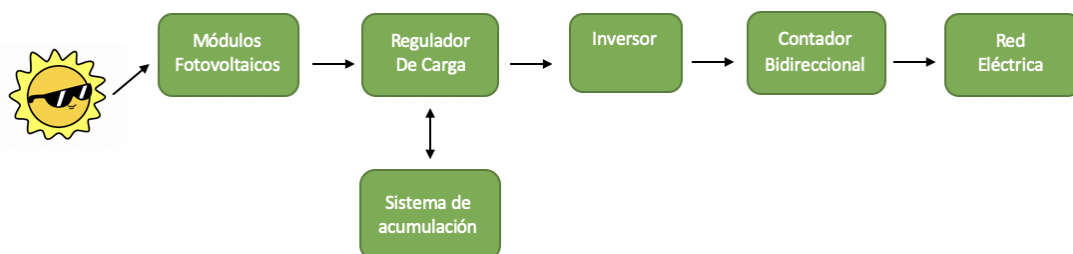


Figura 17. Diagrama de bloques del sistema FV con conexión a red y con sistema de acumulación.
Fuente: [22].

1.15.2. Arreglos fotovoltaicos serie – paralelo.

Un arreglo fotovoltaico consiste en conexionar los módulos fotovoltaicos ya sea en serie o en paralelo, con el fin de obtener el voltaje y corriente adecuados para la conexión con el inversor fotovoltaico a utilizar [19].

Al conectar en serie los módulos fotovoltaicos permite que se sumen los voltajes de cada uno de los paneles teniendo en la salida del arreglo un voltaje mayor y adecuado para utilizar, mientras que la corriente a la salida viene siendo la misma de cada uno de los módulos fotovoltaicos. En la conexión paralela los resultados se invierten, aquí las corrientes se suman y en el caso de voltaje en la salida predomina el de valor mayor [19].

1.16. SMA SOLAR TECHNOLOGY AG.

Es una empresa alemana dedicada a la fabricación de inversores para la generación de energía solar fotovoltaica. Debido a la actividad que realiza SMA, actualmente es la empresa más conocida en Alemania y con mayor facturación a nivel mundial, para instalaciones fotovoltaicas con suministro de energía a la red, alimentación independiente de la red y servicios. Esta empresa es el primer fabricante en desarrollar un software de planificación integrada de la energía con una elevada eficiencia especialmente en aplicaciones comerciales, permitiendo mediante la aplicación online Sunny Design Pro que el usuario planifique, diseñe y simule sistemas energéticos de una manera fácil y eficiente [24].

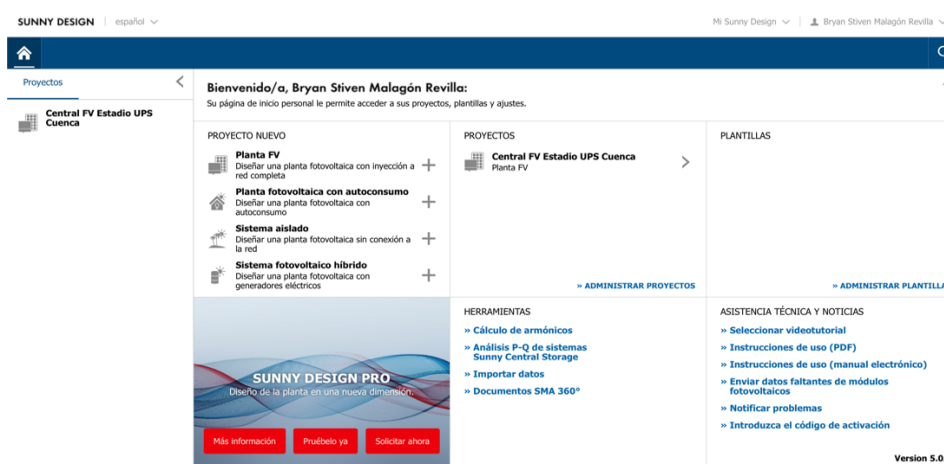


Figura 18. Inicialización del Software Sunny Design Pro.

Fuente: Autores, Inicialización del Software Sunny Design Pro, 14 de agosto de 2020.

1.17. INDICADORES FINANCIEROS PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO.

En toda inversión de un proyecto se estima que haya una rentabilidad y es por eso que se presenta los cinco indicadores para la evaluación de un proyecto siendo estos los más concurrentes a la hora de sus análisis.

1.17.1. El Valor Presente Neto (VPN).

Es la diferencia entre el valor de mercado de una inversión y su costo; esencialmente mide cuánto valor es creado o adicionado por llevar a cabo cierta inversión [25].

$VPN > 0$, es rentable el proyecto.

$VPN = 0$, decisión del inversionista.

$VPN < 0$, no es rentable el proyecto [25].

La ecuación se establece de la siguiente manera:

$$VPN = -I_o + \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k - C_k}{(1+i)^k} \quad \text{Ecuación 1.14}$$

Donde,

I_o = Inversión inicial.

B_k = Beneficio netos.

C_k = Costos netos.

i = Tasa de interés.

n = Años de duración del proyecto [26].

1.17.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).

Es el segundo indicador más utilizado además del VPN. Con la TIR se trata de encontrar una sola tasa o rendimiento del proyecto [25].

$VPN > i$, es rentable el proyecto.

$VPN = i$, decisión del inversionista.

$VPN < i$, no es rentable el proyecto [25].

La TIR es el rendimiento requerido para que el cálculo del VPN con esa tasa sea igual a cero [25].

La ecuación se establece de la siguiente manera:

$$TIR = \sum_{n=0}^N \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad \text{Ecuación 1.15}$$

Donde,

F_n = Flujo de efectivo.

r = Tasa de interés.

n = Número de años.

1.17.3. La Relación Beneficio Costo (B/C).

Se define como el indicador que ayuda a generar un comparativo de los ingresos y costos a valor presente, con el fin de obtener un resultado que nos diga que tanto nos cuesta y así tener buenos resultados. Por cada unidad invertida, se espera la misma unidad y un excedente. Se actualizan los ingresos y costos, además de añadir la inversión, y después de hacer el cálculo que marca la fórmula, se espera un rendimiento mayor a la unidad [25].

1.17.4. El Índice de Rentabilidad (IR).

Si el índice de rentabilidad es mayor a 1 el VPN es positivo y si es menor a 1 el VPN es negativo, dando resultados de que el IR mide el valor creado por unidad invertida. Por cada unidad invertida, se espera la misma unidad y un excedente. Se actualizan los flujos de efectivo o utilidades anuales y se dividen entre la inversión [25].

1.17.5. El Periodo de Recuperación de la Inversión.

Es el periodo que se estima donde se recupera todo lo que se invirtió, siendo aceptable el proyecto únicamente cuando el tiempo estimado en recuperar la inversión sea menor que el lapso que se establece [25].

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS SITUACIONAL DE LA ILUMINACIÓN DEL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO Y SISTEMAS FOTOVOLTAICO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

2.1. ESTADO ACTUAL DEL DISEÑO LUMÍNICO DEL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO.

El estadio Valeriano Gavinelli Bovio es parte del establecimiento de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, que se encuentra ubicado en las calles Calle Vieja y Avenida Elia Liut en la ciudad de Cuenca, a su vez está recubierto de césped teniendo un espacio para los espectadores alrededor de 1000 personas como principal atracción como se puede observar en la figura 19, debido a que en este espacio se realizan competencias deportivas profesionales de nivel medio tanto regional como local.



Figura 19. Establecimiento deportivo Valeriano Gavinelli Bovio.

Fuente: Autores, Establecimiento deportivo Valeriano Gavinelli Bovio, 30 de agosto del 2020.

El estadio se encuentra en una categoría de clase II en la cual sus instalaciones de iluminación deben estar regidas bajo normativas deportivas que les permitan desarrollar sus actividades sin ningún inconveniente a los deportistas, en la actualidad la iluminación del campo deportivo a pesar de no estar en malas condiciones, presenta carencia de iluminación y a su vez por las malas adecuaciones de las luminarias provoca a los deportistas deslumbramiento perturbador y pérdida de visión, provocados inadecuados ángulos de irradiación, siendo estos

relatos provenientes de los propios deportistas que usan estas instalaciones deportivas en el estadio Valeriano Gavinnelli Bovio de la Universidad Politécnica Salesiana.

El sistema de iluminación que actualmente posee el estadio es a base de luminarias de halogenuros metálicos y LED, siendo alimentado este sistema por la red eléctrica de la Universidad, teniendo un total de 50 reflectores que iluminan el complejo deportivo. El estadio al ser utilizado para entrenamientos y competencias deportivas de nivel medio está expuesto a que los organismos del fútbol del país inspeccionen el nivel de luminosidad que posee el estadio.

Para competencias de nivel medio de eventos no televisados de carácter local y regional tiene un diseño de iluminación de 4 postes por cada lateral, en el cual los que están ubicados junto a la central FV existente tienen una altura de 12 mts, y los que se encuentran en la parte divisoria con la cancha sintética tienen una altura de 14 mts, dando un total de 8 postes, donde incorpora sus 50 reflectores logrando una distribución dentro del campo de juego que se puede apreciar en la figura 20; parte de las estructuras de iluminación que posee el campo de juego, como ya se ha mencionado anteriormente, no tiene una distribución adecuada, llegando a la conclusión que no se ha realizado un óptimo cálculo lumínico.



Figura 20. Torres de iluminación

Fuente: Autores, *Torres de iluminación*, 30 de agosto de 2020.

2.2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE ILUMINACIÓN.

En este capítulo se presenta la metodología que se regirá para la investigación empleando métodos para analizar el diseño existente y a su vez proponer dos diseños lumínicos que sean factibles.

2.2.1. Tipos de investigación.

La metodología empleada en la investigación será de tipo **documental**, debido a que la información recolectada está referenciada en libros, páginas web y en documentales basados en iluminación de estadios profesionales.

2.2.2. Métodos.

También se empleará un **método práctico** al realizar un levantamiento del sistema de iluminación existente, para identificar cuáles son las deficiencias; definir los requerimientos a cumplir de acuerdo a la normativa española UNE-EN 12193 para el tipo de uso del escenario deportivo, y plantear un nuevo diseño de toda la iluminación del estadio Valeriano Gavignelli Bovio de la UPS Sede Cuenca empleando tecnología LED y alimentada con energía limpia con dos propuestas factibles.

Además, se emplea un **método de diseño**, en el cual se realizará un análisis técnico para comprobar que las simulaciones de las propuestas de iluminación desarrolladas mediante el software DiaLux sean factibles a la hora de su ejecución.


El enfoque que se lleva a cabo en el proyecto es **cuantitativo**, debido a que la recolección de datos que se obtiene en el campo, ya sean las medidas óptimas del complejo deportivo y las características lumínicas generen información numérica.

2.3. LEVANTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS LUMÍNICAS.

Se procederá a realizar un levantamiento lumínico del sistema de iluminación en el estadio Valeriano Gavignelli Bovio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, en el cual mediante tabulaciones se expondrá las características lumínicas que presente el sistema de iluminación existente.

- **ESPECIFICACIONES DE LA LÁMPARA HALOGENURO METÁLICO.**

Tabla 8. Especificaciones técnicas lámpara halogenuro metálico.

Potencia	1500 W	
Tensión	220 V	
Material	De Aluminio	
Color de Luz	Blanco	
Bombilla	TT Blub	
Peso	5,7 KG	
Temperatura	20 - 50	

Fuente: lithonia Lighting [27].

- **DESCRIPCIÓN GENERAL.**

Tabla 9. Descripción general lámpara halogenuro metálico.

Voltaje de entrada (V)	110/230
Vida útil (h)	10.000
Nombre de la marca	Lithonia Lighting
Número de modelo	TSP
Flujo Luminoso (Lm)	96.000
Fuente de Luz	HID
Clasificación IP	IP65
Lámpara eficiencia (lm/w)	110
CRI (Ra>)	65
Tipo de Base	E40

Temperatura de color	4.000 K
Titular de la lámpara	E39/E40

Fuente: lithonia Lighting [27].

Se obtuvo las especificaciones de la lámpara de halogenuros metálicos de tipo proyector que cumple con los requisitos para una adecuada iluminación dentro del campo de juego, pero por razones de una mala ubicación provoca que haya falta de iluminación en lugares específicos, y, a su vez como tiene un nivel de iluminación grande, como estas lámparas son de luz de inundación para alturas mayores a 18 metros provocan que haya deslumbramientos perturbadores hacia los deportistas.

2.4. ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA.

La central fotovoltaica pertenece en su totalidad a la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, se encuentra ubicada entre el edificio Mario Rizzini y el estadio Valeriano Gavinelli Bovio. El tipo de instalación de la central es aplicado a electromovilidad y está sujeto a una estructura metálica, la cual brinda seguridad mecánica al sistema.

La central tiene una superficie de construcción de 73,3 m² y una capacidad instalada de 13,2 kWp. De acuerdo a lo establecido por la Arconel en su regulación 003/18 que trata sobre el tema fotovoltaico, dicho sistema está en el orden de micro central fotovoltaica debido a que su capacidad instalada es menor a 100 kW.

Anualmente, la planta genera alrededor de 20 MWh de electricidad limpia, evitando la contaminación al medio ambiente de alrededor de 12,5 toneladas de dióxido de carbono de gases de efecto invernadero. La electricidad generada por el sistema actualmente es inyectada a la red de la CentroSur y alimenta al servicio eléctrico del edificio Mario Rizzini.

El sistema cuenta de 4 componentes principales: sistema de módulos fotovoltaicos, inversores, estación de carga para vehículos (automóviles y motocicletas) y suministro de energía eléctrica a las instalaciones de la UPS con conexión directa a la red de la empresa distribuidora CentroSur.

La central cuenta con 44 módulos de marca Solar Fabrik conectados todos en serie entre sí, de ellos 22 son policristalinos de 275 W y 22 monocristalinos de 300 W. Además, cuenta con 2 inversores de marca Sunny Boy de 7 kW cada uno, conectados en paralelo al sistema fotovoltaico.



Figura 21. Vista frontal de la central FV de la UPS – Cuenca.
Fuente: Vista frontal de la central FV de la UPS – Cuenca, 25 de agosto de 2020.

2.5. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A RED Y CON SISTEMAS DE ACUMULACIÓN.

A partir de la carga máxima a alimentar según las propuestas de iluminación, se tomará como punto base para el dimensionamiento de la central FV, de tal manera que el sistema abastezca a dicha carga y sea lo más eficiente posible.

2.5.1. Tipos de investigación.

Al igual que en la parte de iluminación, aquí la metodología será de tipo **documental**, ya que toda la información utilizada en este proyecto fue tomada de libros, tesis, artículos y páginas web. Todos estos lugares donde se recopiló la información tratan sobre sistemas de generación fotovoltaica.

2.5.2. Métodos.

Considerando la central FV aplicada a electromovilidad ya existente en la UPS Sede Cuenca, podemos afirmar que si es posible el diseño y futura implementación de sistemas con este tipo de generación renovable en nuestro medio local. Se emplea un **método de diseño**, en donde se hará un análisis técnico matemático de los parámetros a considerar para la central fotovoltaica con conexión a red y con sistema de acumulación, además de la ayuda del software online Sunny Design Pro, el cual nos ayudará a dimensionar de manera eficiente los componentes principales del sistema FV.

Además, el enfoque es de tipo **cuantitativo**, ya que al realizar los cálculos matemáticos y las simulaciones obtenemos como resultado valores numéricos, los cuales al analizarlos técnicamente permiten que se seleccione cada uno de los componentes ideales a utilizar en la central FV.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTAS PARA EL DISEÑO DE ILUMINACIÓN DEL ESTADIO VALERIANO GAVINELLI BOVIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CON CONEXIÓN A RED Y SISTEMA DE ACUMULACIÓN.

3.1. Diseño del sistema de iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio.

El sistema de iluminación que se plantea para el estadio UPS sede Cuenca son dos propuestas de iluminación LED que permitan a los deportistas realizar las actividades correspondientes tanto para competencias de nivel medio y a su vez entrenamientos, para esto debe regir las siguientes consideraciones para luego emplear el cálculo luminotécnico y las respectivas simulaciones.

3.1.1. Consideraciones para las propuestas de iluminación.

3.1.1.1. Elección del sistema de iluminación para actividades deportivas.

Es importante en el campo de juego la mejor elección para el sistema de iluminación que representa la distribución y colocación de los postes que permiten la óptima iluminación del estadio, tomando en cuenta la infraestructura que posee el estadio, a continuación, los más utilizados [8].

- **Sistema de alumbrado lateral:** Este sistema de alumbrado dispone de 1 hasta 4 poste de iluminación por banda, el emplear estos postes dependerá de la clase en que se encuentre el estadio deportivo o por las dimensiones de la misma, a medida que la clase sea más exigente, es recomendable colocar más postes, logrando una mayor distribución de iluminación [8].
- **Sistema de alumbrado por esquinas:** Este sistema emplea 4 postes uno por cada esquina, debido a que no se permite emplear postes por los laterales por motivos de arquitectura del estadio o por las tribunas [8].
- **Sistema de alumbrado mixto:** Este sistema es la combinación de ambas debido a que permite iluminar tanto desde las esquinas como laterales siempre y cuando la arquitectura del complejo deportivo lo permita [8].

Para las propuestas de iluminación para el estadio Valeriano Gavinelli Bovio se eligió el sistema de alumbrado lateral debido a que es la opción más recomendable para una óptima distribución dentro del campo de juego, además por la clase II que se encuentra el estadio y a su vez la infraestructura que posee la Universidad Politécnica Salesiana no permite utilizar los otros sistemas de iluminación.

3.1.2. Cálculos luminotécnicos para las dos propuestas de iluminación LED y para Halogenuro Metálico.

En este capítulo se analiza las dos propuestas de iluminación LED realizando el cálculo luminotécnico mediante el método de lúmenes y a su vez simulando en el software DiaLux, pero se realiza otro análisis con Halogenuro Metálico con la finalidad de lograr la comparación de cual tecnología es superior a la hora de su funcionamiento.

3.1.2.1. Cálculo luminotécnico para la primera propuesta de iluminación con 8 postes para el estadio Valeriano Gavinelli Bovio.

El sistema de iluminación lateral para la primera propuesta del estadio se ha considerado la ubicación de 8 postes debido a la clase II en que se encuentra el estadio, además ayudando a una correcta distribución de iluminación dentro del campo de juego, para esto se pretende analizar mediante el cálculo luminotécnico y simulación para dos escenarios tanto competitivo y entrenamiento. A continuación, se describe el cálculo para el diseño lumínico.

3.1.2.2. Diseño detallado Propuesta 1 LED escenario competitivo.

Se describe a continuación cada paso para calcular los respectivos datos para ser expresados mediante el simulador DiaLux.

3.1.2.2.1. Datos obtenidos del campo de juego.

La Universidad Politécnica Salesiana posee un estadio de fútbol con el área principal de juego (PPA) de las siguientes dimensiones:

Ancho PPA= 67 m.

Longitud PPA= 105 m.

Área PPA= 7035 m².

Según las dimensiones del estadio Valeriano Gavinelli Bovio y el nivel deportivo que se realiza en estas instalaciones y de acuerdo a la normativa española UNE-EN 12193, se encuentra en clase II donde la iluminación respectiva tiene una iluminancia de 200 lx, como se establece la normativa ver en (Tabla 1).

3.1.2.2.2. Elección de la fuente luminosa.

El proyecto trata de satisfacer las necesidades de los deportistas, en este caso una iluminación exterior deportiva se trata de dar un mejor enfoque en cuanto a la calidad y se ha

optado por usar tecnología LED de la más alta eficiencia con la finalidad de lograr una mejor distribución de luminosidad dentro del campo de juego.

De acuerdo a las especificaciones de la lámpara esta debe tener un mayor rendimiento luminoso (lm/W), el CRI debe estar por los 65 óptimo para competiciones y la temperatura de color debe estar por lo requerido entre 4.000 °K a 6.000 °K, una vez propuestos estos términos se aprecia en el Anexo 1 la descripción de la lámpara LED que es la mejor opción para este proyecto.

3.1.2.2.3. *Elección de la lámpara - luminaria.*

Nos hemos centrado en la línea de lámparas de “PERFORMANCE IN LIGHTING”, en la cual sus productos para exteriores refiriéndonos a complejos deportivos trabaja con luminarias “Floodlights”, debido a la aplicación son proyectores de alta potencia y la marca elegida es la PRO 96/4 ELL.

Las características de la luminaria, descritas anteriormente, se encuentran en el Anexo 1 donde se detalla cada termino importante, pero un aspecto físico que es notorio en los proyectores para exteriores en zonas deportivas es el grado de protección, debido a que son colocadas en lugares altos y a la intemperie, estando expuestos a polvos y especialmente a lluvias dejando especificado que estas luminarias deben tener un grado de protección IP66 ver en (Tabla 3 Y 4).

3.1.2.2.4. *Establecer la altura del montaje para el establecimiento deportivo.*

El cálculo de la altura de los postes está dado por las ecuaciones 1,6 y 1,7 donde se hace referencia a los ángulos donde evitan deslumbramiento y sombras proyectadas en lo cual hemos elegido el ángulo 25°, aunque en las especificaciones de la lámpara es el más óptimo es 30°, pero elegimos esto debido a que los resultados son lo que más refleja a la vida real para instalaciones deportivas de nivel medio, expresando lo siguiente:

$$\text{SetBack: } sb \geq \frac{\text{Ancho}/2 * \text{Tag}(25^\circ)}{\text{Tag}(75^\circ) - \text{Tag}(25^\circ)} = \frac{67/2 * \text{Tag}(25^\circ)}{\text{Tag}(75^\circ) - \text{Tag}(25^\circ)} = 4,78 \approx 5 \text{ m}$$

$$\text{Altura mínima: } H \geq \text{Tag}(25^\circ) * (\text{Ancho}/2 + sb) = \text{Tag}(25^\circ) * (67/2 + 5) = 17,95 \approx 18 \text{ m}$$

Los cálculos que se obtienen mediante estas fórmulas son los óptimos para el diseño de iluminación para instalaciones deportivas de competencias de nivel medio y entrenamientos, además por motivos de infraestructuras y al desnivel que posee el estadio como se pudo observar en la figura 20 anteriormente descrito, se propone lo siguiente.

El diseño de la iluminación, en este caso y debido a la infraestructura de la universidad, en la parte lateral del estadio las alturas de los postes son de 18 m para el lado izquierdo, y se plantea para el lado lateral derecho donde existe el desnivel de 4 m sobre el nivel de la cancha, entonces se propone unas torres de 14 m, para establecer una alineación de los postes tanto para el lateral derecho e izquierdo igualados, a su vez las torres estarán cimentadas al piso.

La universidad posee un cerramiento para el estadio y como el SetBack nos dio 5 m, debido a esto se contabiliza a partir del cerramiento, dando un valor de 10 m, este valor es la ubicación de los postes a partir del estadio.

Cabe recalcar que para las instalaciones deportivas de nivel medio a partir de los 18 m en adelante comienza a ser el más óptimo debido que le permite a la luminaria tener una mejor distribución de luz, a su vez también por las características de la lámpara elegida.

3.1.2.2.5. Distancia de Proyección de las luminarias.

Se realiza los siguientes cálculos con las ecuaciones 1,8 y 1,9 con el objetivo de expresar la distancia de proyección en que se encuentra nuestro proyector mediante la apertura del haz, es fundamental tener en cuenta que una buena iluminación dependerá de la altura y también su potencia como requisito debe tener una potencia mínima de 1.000 W a continuación se expresa los siguientes cálculos:

$$X = \frac{H}{\tan(25^\circ)} - Sb = \frac{18}{\tan(25^\circ)} - 5$$

$$X = 33,60 \text{ m}$$

$$dp = \sqrt{(sb + X)^2 + H^2} = \sqrt{(5 + 33,60)^2 + 18^2}$$

$$dp = 42,60 \text{ m}$$

Una vez calculado la distancia de proyección y basándonos ver (Tabla 5) se establece que la luminaria es haz estrecho clase 3 donde su haz es de 29° a 46° y a su vez corroborado en las especificaciones de la luminaria que su haz óptimo es de 30° a 40°.

3.1.2.2.6. Obtención del número de proyectores (NP).

Para el cálculo del número de proyectores se debe tener en cuentas algunos parámetros como es el CBU y el factor de mantenimiento.

Primero encontramos el CBU mediante ver (Tabla 6) donde nos indica los valores típicos para cada deporte y a su vez ya establecidos.

$$\mathbf{CBU = 0,60}$$

Segundo calculamos el factor de mantenimiento, donde primero debemos encontrar la depreciación del flujo de lámpara (FDF), esto calculamos de acuerdo a las especificaciones de la lámpara que es dividiendo entre los luxes medios con los iniciales estas especificaciones se encuentran en el (Anexo 1).

$$FDF = \frac{69.043lux}{108.658 lux}$$

$$\mathbf{FDF = 0,64}$$

Tercero calculamos mediante ver (Tabla 7) la depreciación de la luminaria (FDS), donde nos indica que el tipo de luminaria es cerrada y va a estar expuesta a un lugar medio lo que significa que se encuentra en la intemperie y a su vez está expuesta a lluvias y polvo dándonos un valor a continuación

$$\mathbf{FDS = 0,88}$$

Luego mediante la ecuación 1,10 encontramos el factor de mantenimiento para pasar al respectivo cálculo de los proyectores.

$$fm = FDF * FDS = 0,64 * 0,88$$

$$\mathbf{fm = 0,56}$$

Cuarto una vez encontrado todos los parámetros anteriormente establecemos la siguiente ecuación 1,11 para el cálculo exacto de proyectores.

$$Np = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\Phi_{Haz} * CBU * fm} = \frac{200 * 7.035}{108.658 * 0,6 * 0,56}$$

$$\mathbf{Np = 38,53 \approx 39}$$

En la ecuación 1,12 encontramos el número de proyectores por poste a continuación.

$$Np/poste = \frac{Np}{Npostes} = \frac{38,53}{8}$$

$$\mathbf{Np/poste = 4,81 \approx 5}$$

Entonces como resultado final tenemos que el número de proyectores nos queda lo siguiente:

$$Np = Npostes * Nproyectoros = 8 * 5$$

$$\mathbf{Np = 40}$$

Se concluye que se utilizó para la primera propuestas 40 lámparas LED de la línea PERFORMANCE IN LIGHTING eligiendo la mejor marca PRO 96/4 ELL, estos proyectores

tienen una potencia de 1.066 W dando como resultado una carga instalada de 42.640 W, estos datos serán utilizados al momento del dimensionamiento de la central fotovoltaica con conexión a red y sistemas de acumulación.

3.1.2.2.7. Orientación y dirección de los proyectores para 8 postes.

De acuerdo al ángulo correcto a lo vertical es de 65° , donde ya se ha explicado anteriormente que es el ángulo que evita el deslumbramiento, para esto se calculó los siguientes ángulos con respecto al dimensionamiento de la cancha con los 8 postes como se muestra en la figura 27, donde la división para ubicar los postes es prácticamente simétrica debido a que permite una correcta distribución dentro del campo de juego a continuación se explica lo siguiente:

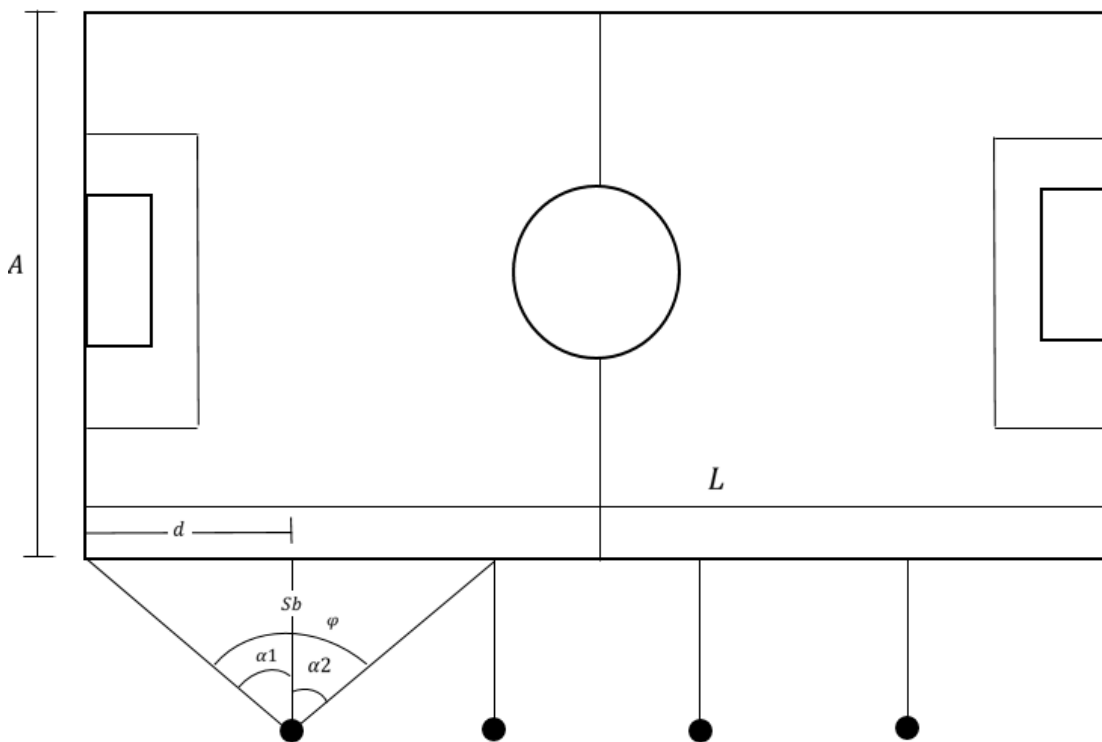


Figura 22. Metodología para calcular los ángulos y Colocación de los postes para la propuesta 1 LED.
Fuente: Autores

Donde:

L= 105 m.

A= 67 m.

d= 21 m.

Sb (SetBack) = 10 m.

$$\alpha 1 = \tan^{-1} \left(\frac{d}{sb} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{21}{10} \right)$$

$$\alpha 1 = 65^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{l-d}{sb} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{105}{4} - 21}{10} \right)$$

$$\alpha_2 = 28^\circ$$

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 = 65^\circ + 28^\circ$$

$$\varphi = 93^\circ$$

Y finalmente calculamos mediante la ecuación 1,13 la orientación del haz central:

$$\gamma = \frac{\varphi}{Np/postes - 1} = \frac{93^\circ}{5 - 1}$$

$$\gamma = 23^\circ$$

3.1.2.2.8. Tabla de resumen de la propuesta 1 LED competencias.

Tabla 10. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 1 LED competencia.

DESCRIPCIÓN	DATOS TÉCNICOS
SETBACK	10 m
Altura de poste	18 m
Tipo de Luminaria	High power Floodlights and sport areas
Tipo de Lámpara	SQUARE PRO C/I 1.066W 740 GR-94
Cantidad de Luminarias	40
Cantidad de poste	8
Luminarias por poste	5
Ángulo de inclinación	65°
Angulo de separación de los haces centrales	23°

Fuente: Autores.

3.1.2.3. Diseño detallado Propuesta 1 LED escenario entrenamiento.

Para este escenario de entrenamiento se ha propuesto un diseño basado con los mismos datos, pero modificando un parámetro en particular que es la iluminación media en lo que corresponde para entrenamientos rigiéndonos en la normativa española UNE-EN 12193:2009 ver (Tabla 1), donde explica que para entrenamientos la iluminación media debe estar por los 75 lux, a continuación, los cálculos respectivos.

Para encontrar la cantidad de proyectores que se necesitan para entrenamientos, los datos obtenidos anteriormente son los mismos, a partir de la ecuación 1,11 se obtiene lo siguiente:

$$Np = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\Phi_{Haz} * CBU * fm} = \frac{75 * 7.035}{108.658 * 0,6 * 0,56}$$

$$Np = 14,45 \approx 14$$

En la ecuación 1,12 encontramos el número de proyectores por poste a continuación:

$$Np / poste = \frac{Np}{Npostes} = \frac{14,45}{8}$$

$$Np / poste = 1,80 \approx 2$$

Entonces como resultado final tenemos que el número de proyectores nos queda lo siguientes:

$$NP = Npostes * Nproyectoros = 8 * 2$$

$$NP = 16$$

3.1.2.3.1. Tabla de resumen de la propuesta 1 LED entrenamiento.

Tabla 11. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 1 LED entrenamiento.

DESCRIPCIÓN	DATOS TÉCNICOS
SETBACK	10 m
Altura de poste	18 m
Tipo de Luminaria	High power Floodlights and sport areas
Tipo de Lámpara	SQUARE PRO C/I 1.066W 740 GR-94
Cantidad de Luminarias	16
Cantidad de poste	8
Luminarias por poste	2
Ángulo de inclinación	65°
Ángulo de separación de los haces centrales	23°

Fuente: Autores.

3.1.3. Cálculo luminotécnico para la segunda propuesta de iluminación LED con 6 postes para el estadio Valeriano Gavinnelli Bovio.

El cálculo luminotécnico que se realiza en la segunda propuesta es el mismo procedimiento, pero se realiza un sistema de iluminación lateral con menor postes que dan un total de 6, se elige esta propuesta como la mejor opción debido a que si nos regimos a normativas para partidos de ligas y clubes nacionales el sistema debe constar de 3 postes por lateral izquierdo y derecho, ayudando a una mejor distribución de luz y con los respectivos cálculos corroboran lo expresado. A continuación, se describe el cálculo para el diseño lumínico.

3.1.3.1. Diseño detallado Propuesta 2 LED escenario competitivo.

Se describe a continuación cada paso para calcular los respectivos datos para ser expresados mediante el simulador DiaLux.

3.1.3.1.1. Datos obtenidos del campo de juego.

Ancho PPA= 67 m.

Longitud PPA= 105 m.

Área PPA= 7035 m².

Luego se procede a hacer los cálculos respectivos que ya se han obtenido en las propuestas anteriores para luego obtener la cantidad de proyectores que se utilizarán en esta nueva propuesta a continuación los respectivos cálculos.

3.1.3.1.2. Obtención del número de proyectores (NP).

$$Np = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\Phi_{Haz} * CBU * fm} = \frac{200 * 7.035}{108.658 * 0,6 * 0,56}$$

$$Np = 38,53 \approx 39$$

En la ecuación 1,12 encontramos el número de proyectores por poste a continuación:

$$Np / poste = \frac{Np}{Npostes} = \frac{38,53}{6}$$

$$Np / poste = 6,42 \approx 6$$

Entonces como resultado final tenemos que el número de proyectores nos queda lo siguientes:

$$NP = Npostes * Nproyectores = 6 * 6$$

$$Np = 36$$

Al igual que la primera propuesta se utilizó en este caso 36 lámparas LED de la línea PERFORMANCE IN LIGHTING eligiendo la mejor marca PRO 96/4 ELL, estos proyectores tienen una potencia de 1.066 W dando como resultado una carga instalada de 38.376 W, estos datos serán utilizados al momento del dimensionamiento de la central fotovoltaica con conexión a red y sistemas de acumulación.

3.1.3.1.3. Orientación y dirección de los proyectores para 6 postes.

Se explicó anteriormente que el ángulo que evita el deslumbramiento es 65° , para esto se calculó los siguientes ángulos con respecto al dimensionamiento de la cancha con los 6 postes como se muestra en la figura 28 a continuación lo siguiente:

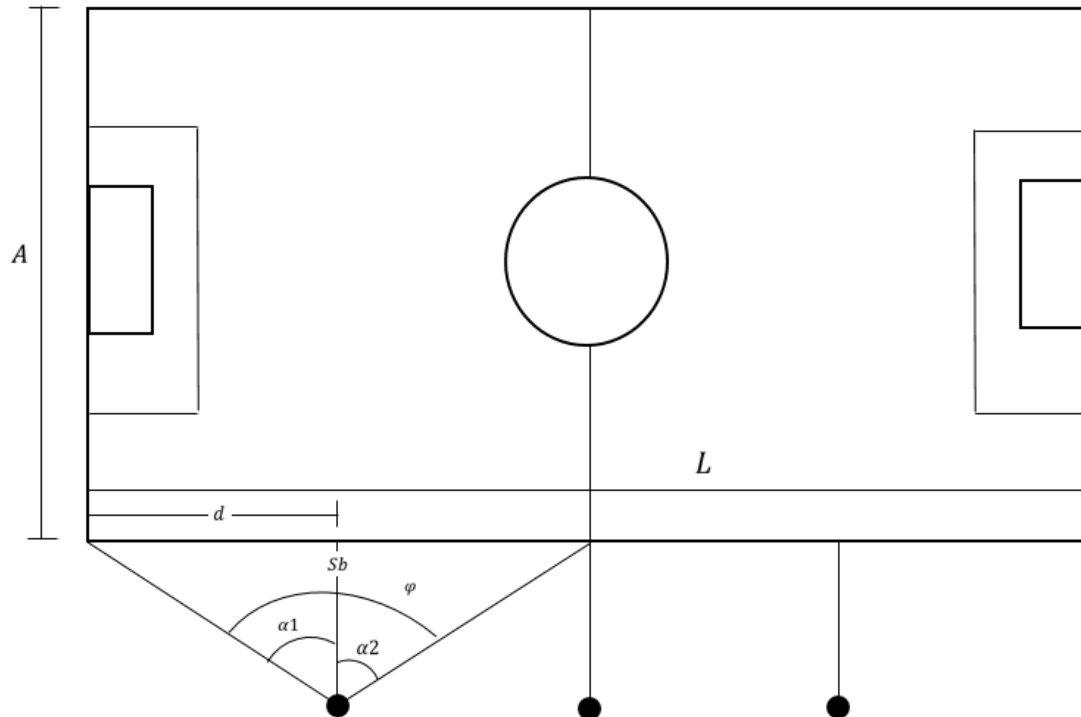


Figura 23. Metodología para calcular los ángulos y Colocación de los postes para la propuesta 2 LED.

Fuente: Autores

Donde:

$L = 105$ m.

$A = 67$ m.

$d = 26,25$ m.

Sb (SetBack) = 10 m.

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\left(\frac{d}{sb}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{26,25}{10}\right)$$

$$\alpha_1 = 69^\circ$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1}\left(\frac{\frac{l}{4} - d}{sb}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\frac{105}{3} - 26,25}{10}\right)$$

$$\alpha_2 = 41^\circ$$

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 = 69^\circ + 41^\circ$$

$$\varphi = 110^\circ$$

Y finalmente calculamos mediante la ecuación 1,13 la orientación del haz central:

$$\gamma = \frac{\varphi}{Np/postes - 1} = \frac{110^\circ}{6 - 1}$$

$$\gamma = 22^\circ$$

3.1.3.1.4. Tabla de resumen de la propuesta 2 LED competencia.

Tabla 12. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 2 LED competencia.

DESCRIPCIÓN	DATOS TÉCNICOS
SETBACK	10 m
Altura de poste	18 m
Tipo de Luminaria	High power Floodlights and sport areas
Tipo de Lámpara	SQUARE PRO C/I 1.066W 740 GR-94
Cantidad de Luminarias	36
Cantidad de poste	6
Luminarias por poste	6
Ángulo de inclinación	69°
Angulo de separación de los haces centrales	22°

Fuente: Autores.

3.1.3.2. Diseño detallado Propuesta 2 LED escenario entrenamiento.

Ya explicado anteriormente que para entrenamientos bajo normativas la iluminación media es 75 lux ver en (Tabla 1) entonces para los cálculos elegimos este parámetro y procedemos

Los datos obtenidos anteriormente son los mismos, a partir de la ecuación 1,11 se obtiene lo siguiente:

$$Np = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\phi_{Haz} * CBU * fm} = \frac{75 * 7.035}{108.658 * 0,6 * 0,56}$$

$$Np = 14,45 \approx 14$$

En la ecuación 1,12 encontramos el número de proyectores por poste a continuación:

$$Np/poste = \frac{Np}{Npostes} = \frac{14,45}{6}$$

$$Np/poste = 2,40 \approx 2$$

Entonces como resultado final tenemos que el número de proyectores nos queda lo siguientes:

$$NP = N_{postes} * N_{proyectores} = 6 * 2$$

$$Np = 12$$

3.1.3.2.1. Tabla de resumen de la propuesta 2 LED entrenamiento.

Tabla 13. Datos del diseño de iluminación de la Propuesta 2 LED entrenamiento.

DESCRIPCIÓN	DATOS TÉCNICOS
SETBACK	10 m
Altura de poste	18 m
Tipo de Luminaria	High power Floodlights and sport areas
Tipo de Lámpara	SQUARE PRO C/I 1.066W 740 GR-94
Cantidad de Luminarias	12
Cantidad de poste	6
Luminarias por poste	2
Ángulo de inclinación	69°
Angulo de separación de los haces centrales	22°

Fuente: Autores.

3.1.4. Cálculo Luminotécnico para la iluminación con Halogenúros Metálicos.

El objetivo de realizar este cálculo luminotécnico es para obtener una comparación de cual tecnología es superior al momento de realizar el montaje para dicha iluminación, aquí se debe tener en cuenta todo lo que implica ya sea cantidad de proyectores y a su vez los resultados de la simulación.

Para la cantidad de proyectores que se necesitan de Halogenuros Metálicos se toma en cuenta las características del proyector ver tabla 8 y 9, a partir de la ecuación 1,11 se obtiene lo siguiente:

$$Np = \frac{E_{med} * \text{Área}}{\Phi_{Haz} * CBU * fm} = \frac{200 * 7.035}{96.000 * 0,6 * 0,42}$$

$$Np = 58,15 \approx 58$$

En la ecuación 1,12 encontramos el número de proyectores por poste a continuación:

$$Np / \text{poste} = \frac{Np}{N_{postes}} = \frac{58,15}{8}$$

$$Np/poste = 7,26 \approx 7$$

Entonces como resultado final tenemos que el número de proyectores nos queda lo siguientes:

$$NP = Npostes * Nproyectores = 7,26 * 8$$

$$Np = 58,15 \approx 58$$

3.1.5. Simulación con DiaLux 4,13 de los diseños de iluminación propuesta 1-2 y para Halogenuro Metálico.

La simulación se lo hizo basándonos de los cálculos respectivos para cada propuesta cabe recalcar que todo valor es redondeado para que sea más asemejado a la realidad y en la simulación sea exacta, el software utilizado es DiaLux 4,13; este programa nos ayudó a los cálculos lumínicos exactos en tiempo real, además en la simulación puede variar a los cálculos propuestos anteriormente y ese es el análisis para lograr un mejor empleo de las herramientas y a su vez si este proyecto llega a futuro a ser puesto en marcha quede por asentado que los cálculos son los adecuados y óptimos para un correcto cálculo lumínico.

A continuación, las simulaciones detallarán las medidas del estadio, con sus respectivas escalas de grises, además las posiciones de las lámparas, la orientación de los ángulos como se calculó anteriormente quedando especificado el ángulo de inclinación “ α ”, en donde la rotación es en (Y) y el ángulo de separación entre los haces centrales “ γ ” que tiene su rotación en (Z), donde las posiciones y rotaciones se pueden ver en (Anexo 2) y se detalla para cada propuesta del diseño de iluminación a continuación se presenta las simulaciones obtenidas:

3.1.5.1. Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 1 LED competencia.

De acuerdo a la normativa española UNE-EN 12193 que se describe (ver Tabla 1), el diseño de la iluminación para la primera propuesta para competencia logró cumplir con la normativa, expresando los siguientes valores en la siguiente tabla 14.

Tabla 14. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 1 para competencias.

Tipo de Iluminancia	Em[lx]	Emin[lux]	Emax[lx]	Emin/Em[lux]	Emin/Emax[lux]
Horizontal	252	162	314	0,64	0,52

Fuente: Autores.

Mediante el software DiaLux nos permite mostrar los resultados de las isolíneas, gráfica de valores y gama de grises sobre la trama del campo de juego (PA), donde se expone en las siguientes figuras 24, 25 y 26.

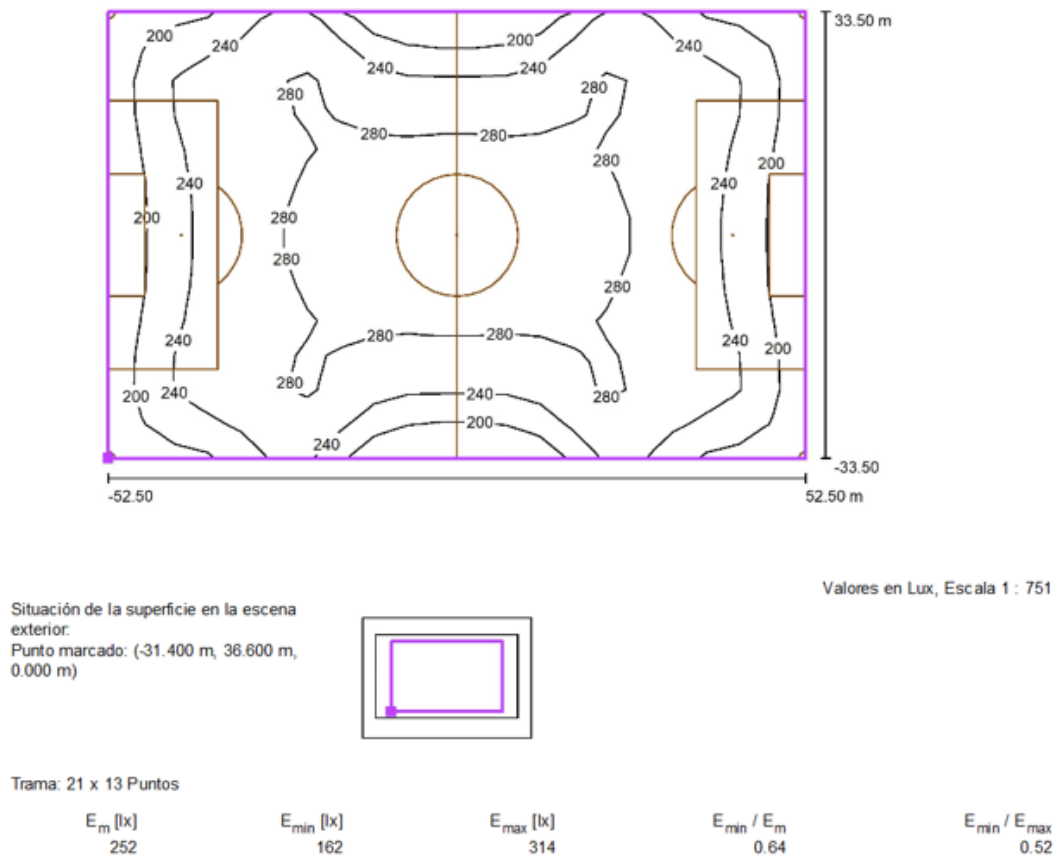
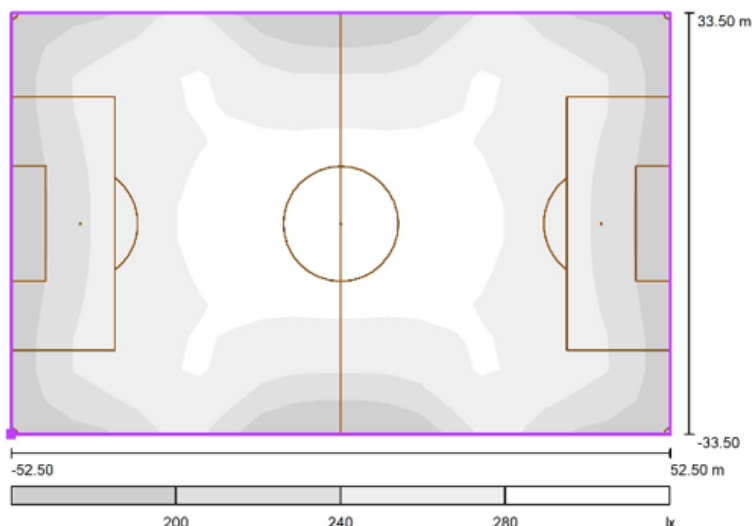
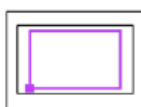


Figura 24. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 competencia.
Fuente: Autores, Gráfica de Isolíneas en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.



Situación de la superficie en la escena exterior.
Punto marcado: (-31.400 m, 36.600 m, 0.000 m)

Escala 1 : 751

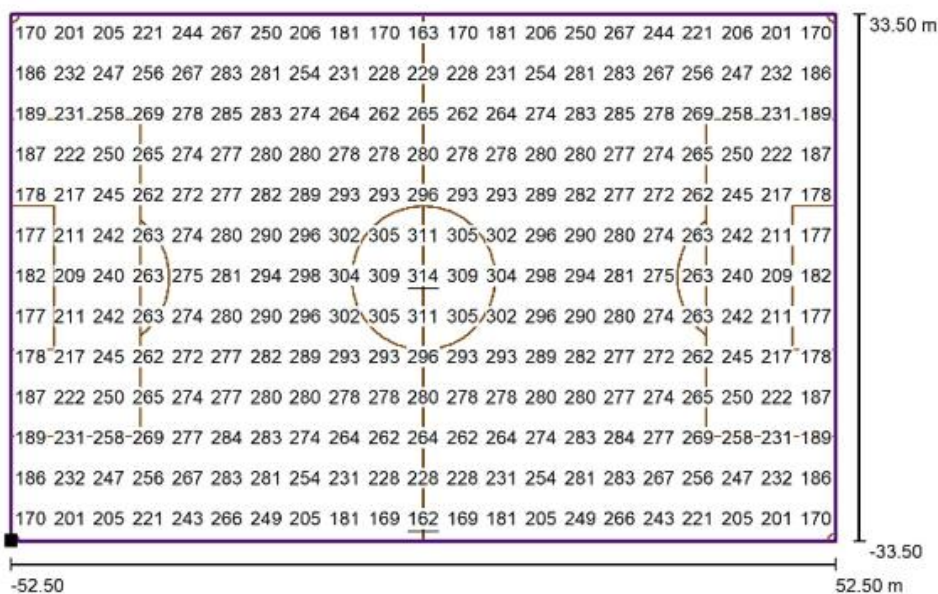


Trama: 21 x 13 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
252	162	314	0.64	0.52

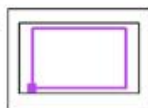
Figura 25. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 competencia.

Fuente: Autores, Gráfica de gama de grises en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior.
Punto marcado: (-31.400 m, 36.600 m, 0.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
252	162	314	0.64	0.52

Figura 26. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 1 competencia.

Fuente: Autores, Tabla de valores de luxes en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

En la figura 27 se muestra la simulación del diseño de iluminación para la primera propuesta para competencia, con sus respectivos cálculos que lograron un diseño óptimo, el estadio Valeriano Gavinelli Bovio se ha propuesto un sistema de iluminación de 8 torres con luminarias LED teniendo 4 luminarias por poste con un total de 40 luminarias LED.



Figura 27. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED Propuesta 1 competencia.
Fuente: Autores, Sistema de iluminación con luminaria LED en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

En la figura 28 se aprecia la representación de los colores falso que indica el nivel de luminosidad en las áreas que logra influir con mayor intensidad, como es de conocimiento una correcta iluminación es la distribución dentro del campo de juego, evitando el desperdicio de iluminación ya sea en otras instalaciones, parqueadero, gradas, etc; se puede apreciar que el color verde es el de mayor incidencia, debido a las competencias de nivel medio clase II que se realizan en el estadio, y los demás colores son los que disminuye la intensidad llegando a un color rojo donde no hay iluminación.

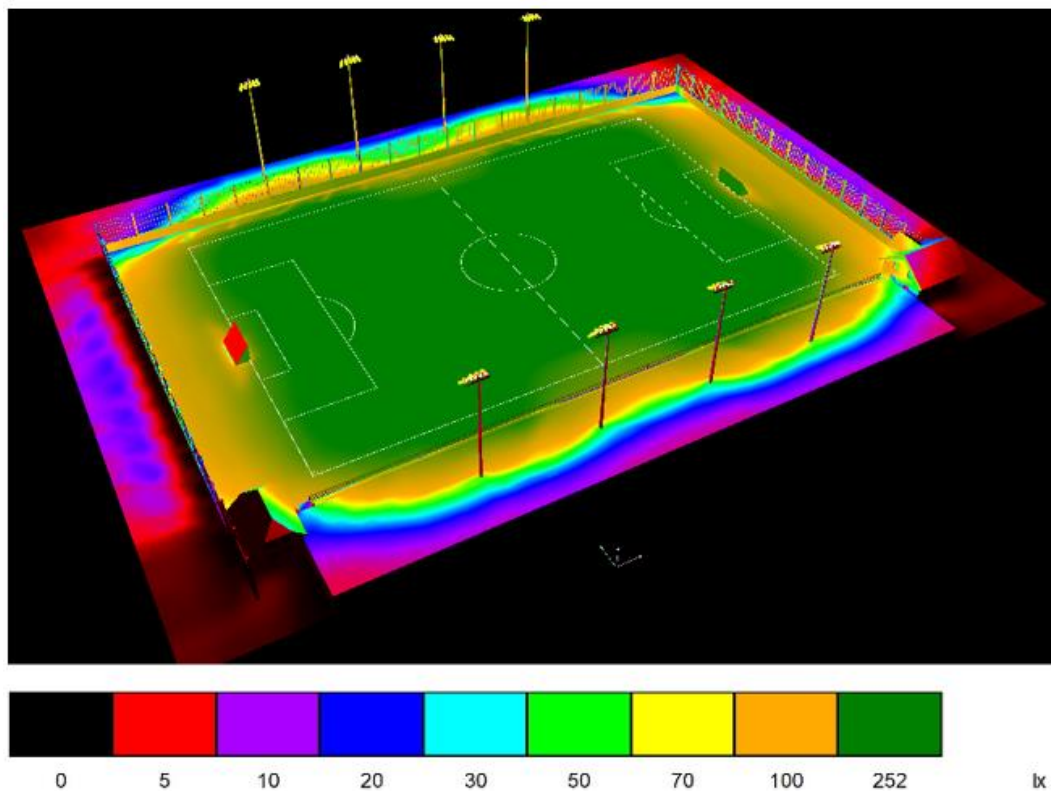


Figura 28. Iluminación del estadio Valeriano Gavignelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 1 competencia.

Fuente: Autores, Sistema de iluminación LED con colores falsos en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

La dirección de la luz implica en que ángulos permite la irradiación óptima, un correcto posicionamiento logrará una eficiencia de luminosidad que trasmite la luminaria hacia el campo de juego, esto permitirá la correcta uniformidad que requiere esta propuesta de diseño de iluminación rigiéndonos a la normativa española UNE-EN-12193 como se muestra en la figura 29.

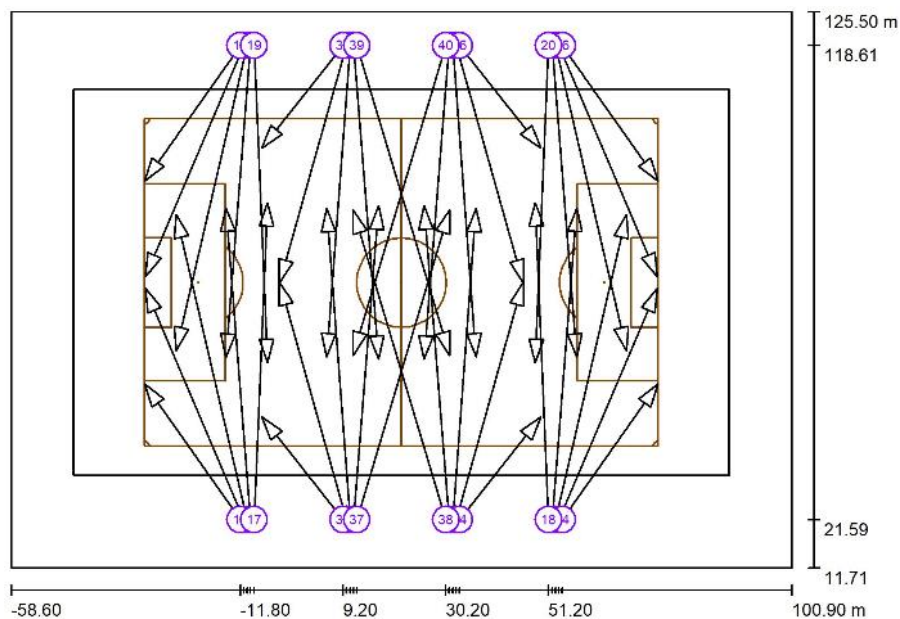


Figura 29. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 1 competencia.

Fuente: Autores, Direccionamiento de la Luz en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

3.1.5.2. Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 1 LED entrenamiento.

Para este diseño de iluminación para entrenamiento se realizó los mismos cálculos y se pasó hacer la simulación respectiva rigiéndonos a la normativa española UNE-EN 12193 que se describe (Tabla 1), como podemos observar en la tabla 16 los datos cumplen con la normativa para entrenamientos.

Tabla 15. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 1 para entrenamiento.

Tipo de Iluminancia	E_m [lx]	E_{min} [lux]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m [lux]	E_{min}/E_{max} [lux]
Horizontal	106	53	138	0,50	0,38

Fuente: Autores.

Luego representamos los resultados de las isolíneas, gráfica de valores y gama de grises sobre la trama del campo de juego (PA), donde se expone en las siguientes figuras.

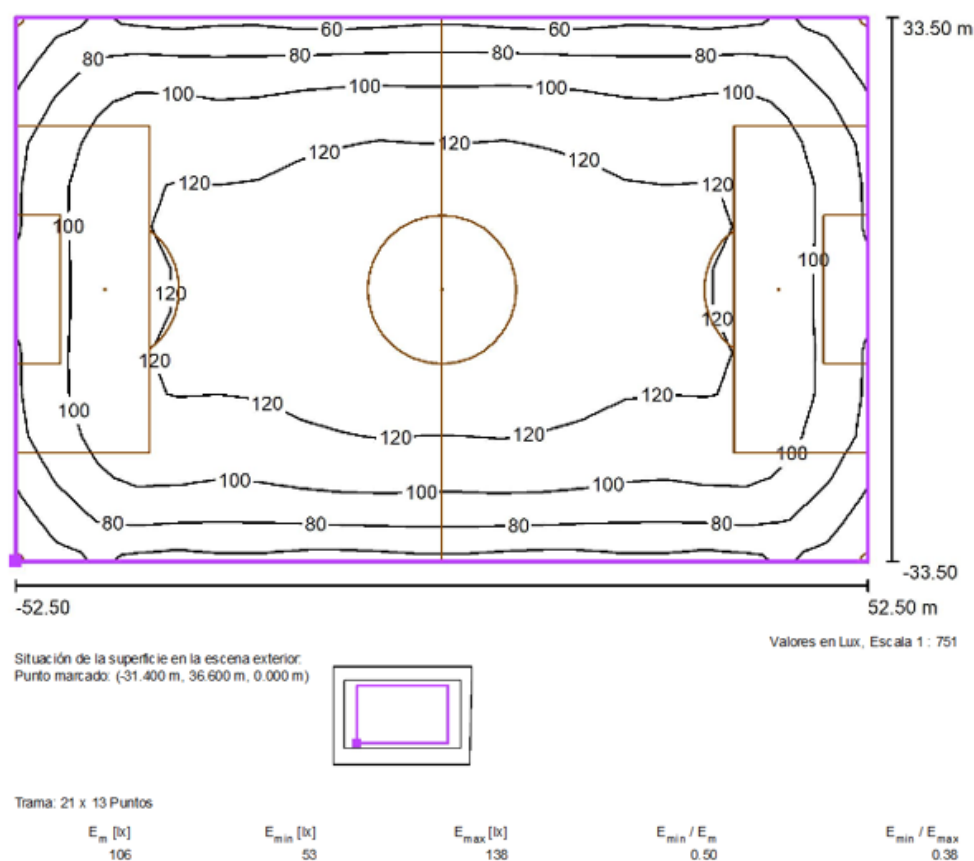


Figura 30. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 LED entrenamiento.

Fuente: Autores, Gráfica de Isolíneas en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

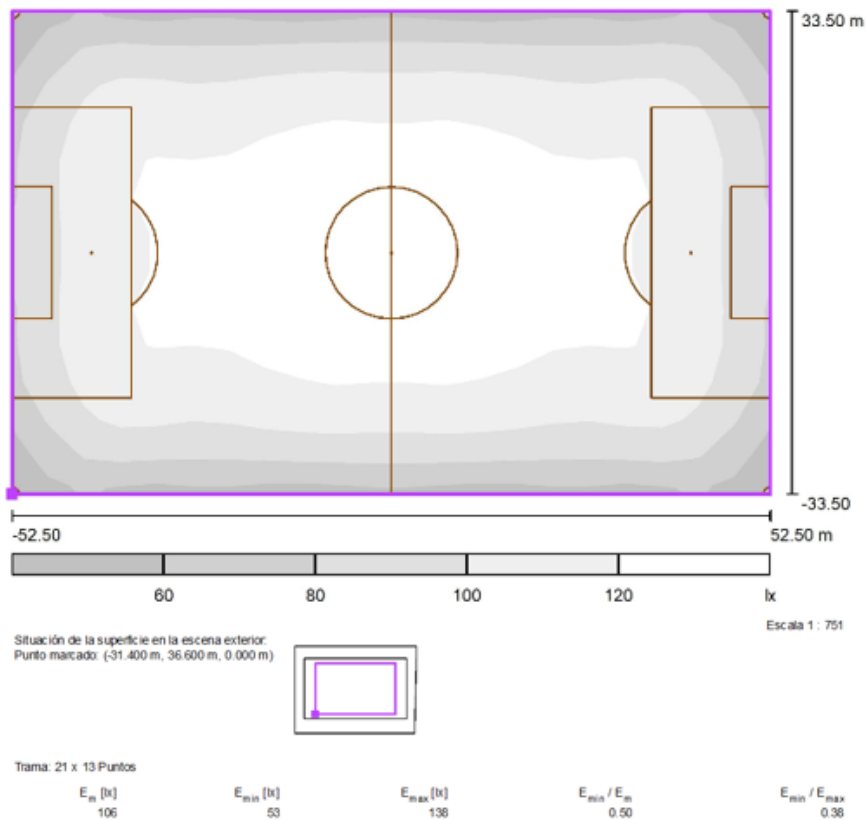


Figura 31. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 1 entrenamiento.
Fuente: Autores, Gráfica de gama de grises en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

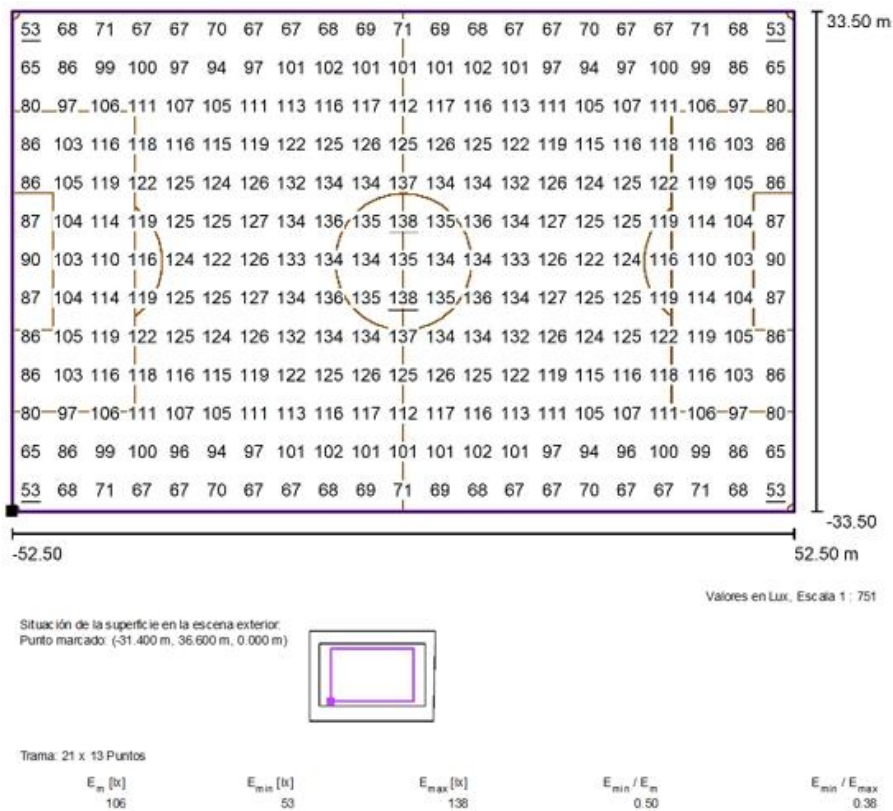


Figura 32. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 1 entrenamiento.
Fuente: Autores, Tabla de valores de luxes en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

En el estadio Valeriano Gavinelli Bovio se realizan entrenamientos por lo que se ha propuesto un diseño a partir de la propuesta para competencias que sea óptimo, dando como resultado que para los 8 postes queden encendidos 2 luminarias y las otras 3 estén apagadas, con un total de 16 luminarias LED encendidas para cumplir con las practicas que se realicen en el estadio, cabe recalcar que para esas 16 luminarias ya estarán calculadas los ángulos de inclinación e irradiación ya que serán los mismos que ya se calcularon para la propuesta de competencias, quedando como resultado la siguiente figura 33.



Figura 33. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED propuesta 1 entrenamiento.
Fuente: Autores, Sistema de iluminación con luminaria LED en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Para la representación de los colores falsos en esta propuesta de entrenamiento así mismo se evita el desperdicio de iluminación en lugares que no sean el campo de juego como muestra la figura 34.

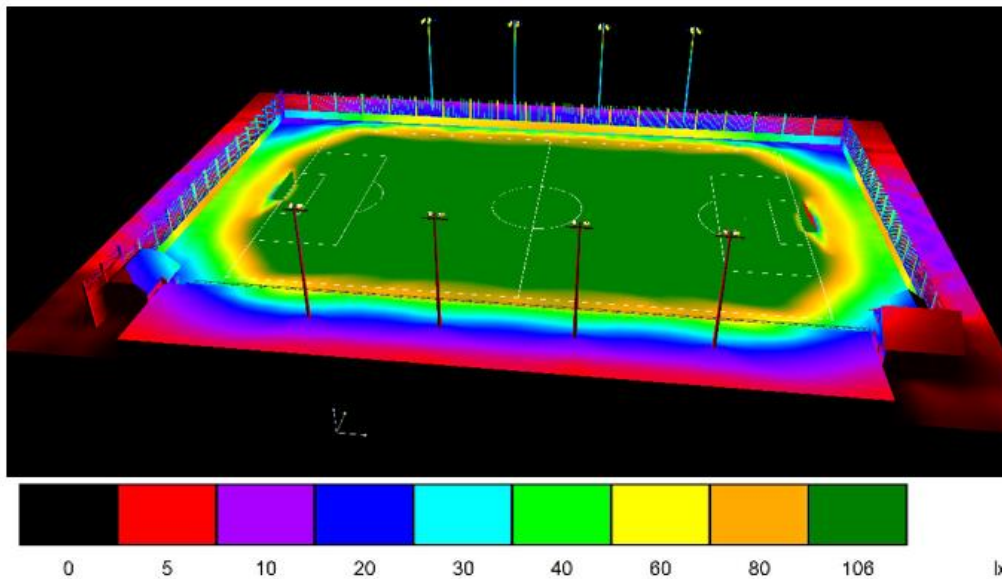


Figura 34. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 1 entrenamiento.

Fuente: Autores, Sistema de iluminación LED con colores falsos en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Para esta propuesta la dirección de luz de las luminarias permitió obtener el nivel de uniformidad requerido para entrenamiento logrando una correcta eficiencia, cabe recalcar que los ángulos y posiciones son los mismos de la propuesta 1 para competencias como se aprecia en la figura 35.

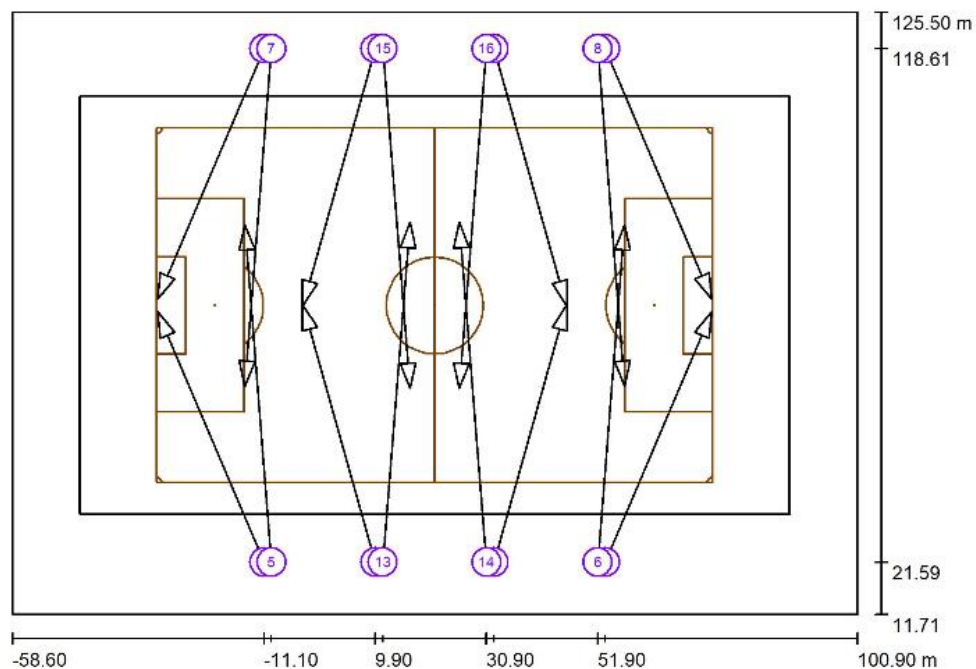


Figura 35. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 1 entrenamiento.

Fuente: Autores, Direccionamiento de la Luz en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

3.1.5.3. Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 2 LED competencia.

La segunda propuesta para competencia se hizo un diseño de iluminación obteniendo datos que al igual que la propuesta anterior cumplan con la normativa española UNE-EN 12193 ver (Tabla 1) y le permita obtener mejores resultados se describe a continuación.

Tabla 16. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 2 para competencia.

Tipo de Iluminancia	E_m [lx]	E_{min} [lux]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m [lux]	E_{min}/E_{max} [lux]
Horizontal	228	136	263	0,60	0,52

Fuente: Autores.

Resultados de las isolíneas, gráfica de valores y gama de grises sobre la trama del campo de juego (PA), donde se expone en las siguientes figuras.

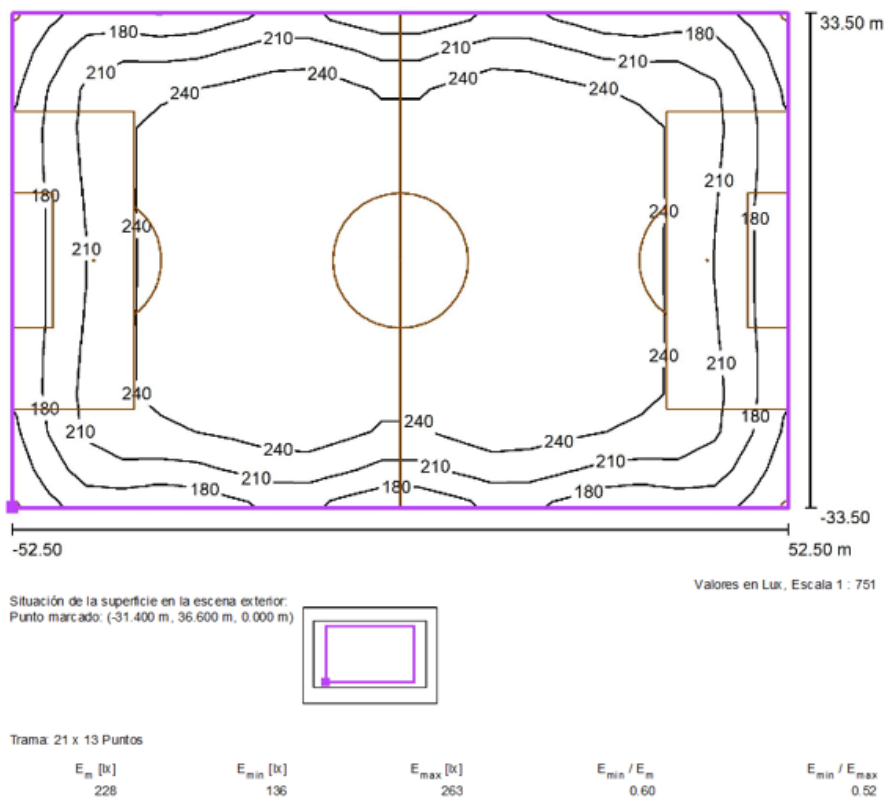


Figura 36. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 competencia.

Fuente: Autores, Gráfica de Isolíneas en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

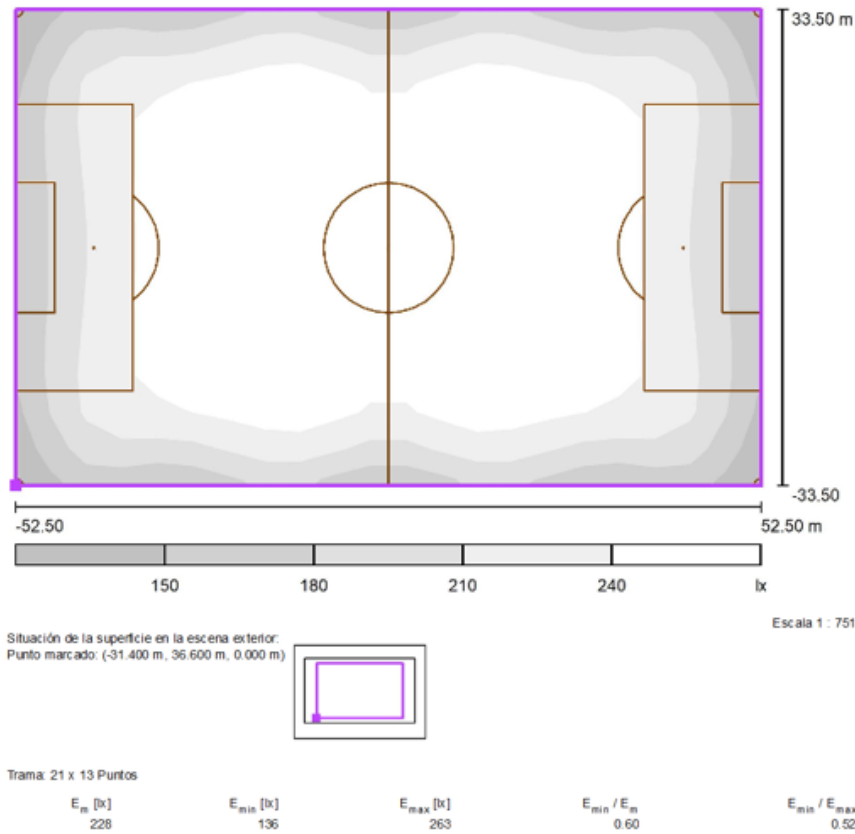


Figura 37. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 competencia.
Fuente: Autores, Gráfica de gama de grises en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

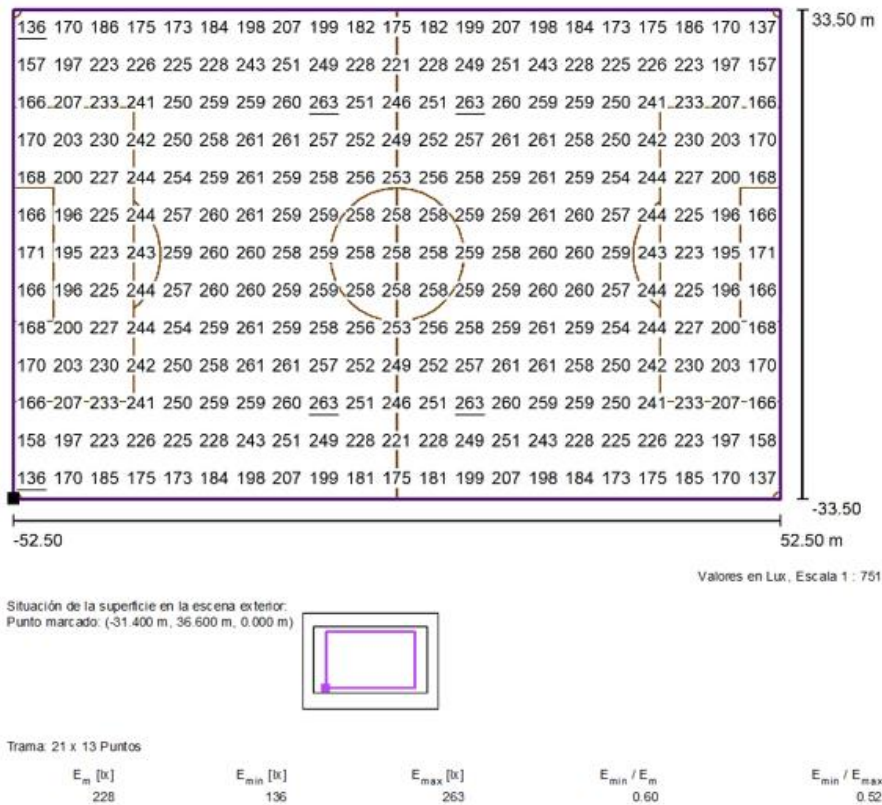


Figura 38. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 2 competencia.
Fuente: Autores, Tabla de valores de luxes en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Como se observa en la figura 39 en el estadio Valeriano Gavinelli Bovio se realiza la segunda propuesta para competencia, logrando obtener un mayor resultado de acuerdo a la distribución de la iluminación, este diseño está basado plenamente para competencias de Clase II, refiriéndonos que para este diseño se propone una iluminación lateral colocando 6 postes, este diseño básicamente es el recomendado por la “FIFA” para eventos no televisados y a su vez las competencias ya sean para partidos de ligas y clubes, pero debido a las infraestructuras que posee la Universidad Politécnica Salesiana no podría ser la mejor opción pero queda asentado que sería el que mejor resultados obtenga para una correcta iluminación con un total de 36 luminarias LED abarcaría completamente el estadio, utilizando por cada poste 6 luminarias.



Figura 39. Iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con luminarias LED propuesta 2 competencia.
Fuente: Autores, Sistema de iluminación con luminaria LED en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Para la representación de los colores falsos en la propuesta 2 para competencia permite una correcta distribución de luz y así mismo evita el desperdicio de luz en los lugares que no son óptimos para iluminar como muestra la figura 40.

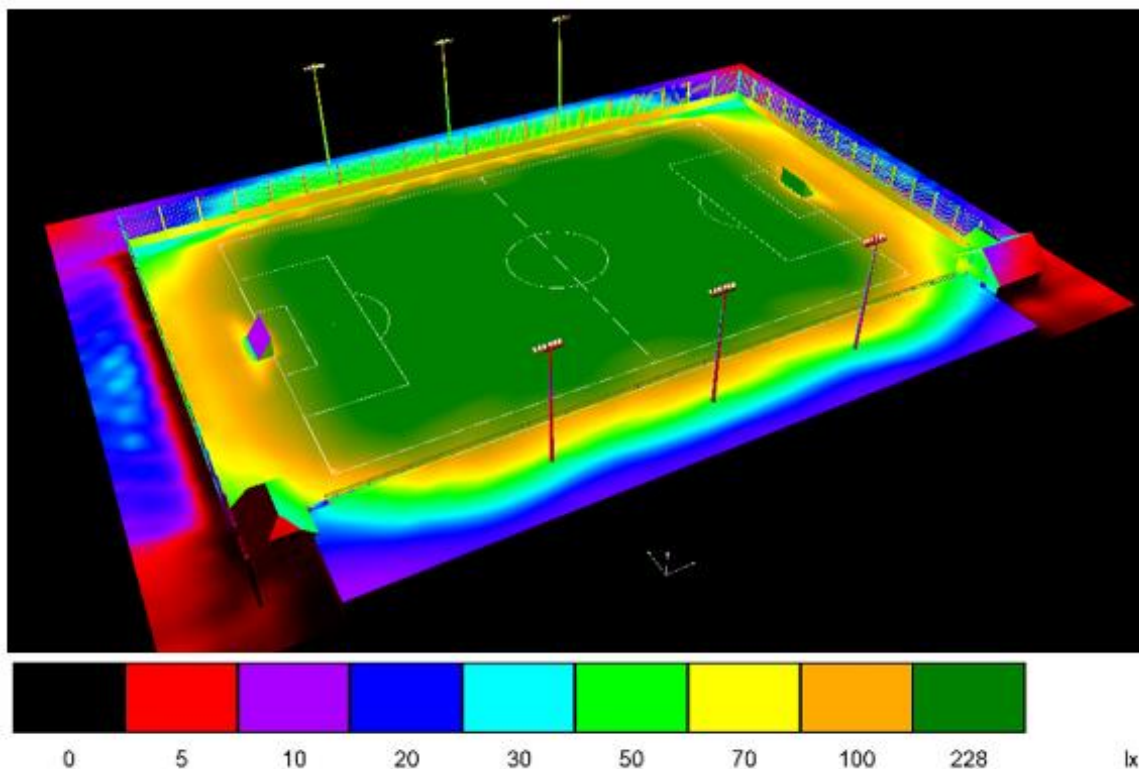


Figura 40. Iluminación del estadio Valeriano Gavinielli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 2 competencia.

Fuente: Autores, Sistema de iluminación LED con colores falsos en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Para la segunda propuesta el direccionamiento de luz mediante este sistema de iluminación de 6 postes si cumple con la normativa española UNE-EN 12193 obteniendo el nivel de uniformidad óptimo dentro del campo de juego, se aprecia en la figura 41 lo siguiente.

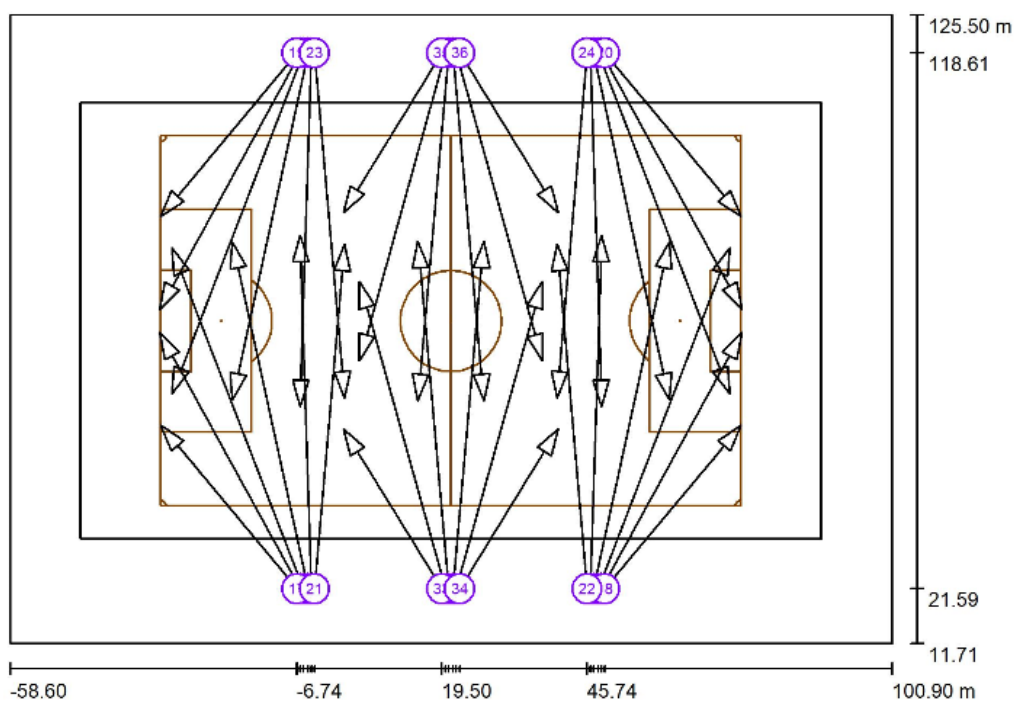


Figura 41. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 2 competencia.

Fuente: Autores, Direccionamiento de la Luz en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

3.1.5.4. Resultados de la simulación del diseño de iluminación propuesta 2 LED entrenamiento.

Datos obtenidos mediante la simulación en la siguiente tabla.

Tabla 17. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la propuesta 2 para entrenamiento.

Tipo de Iluminancia	E_m [lx]	E_{min} [lux]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_m [lux]	E_{min}/E_{max} [lux]
Horizontal	76	40	99	0,53	0,41

Fuente: Autores.

Gráfica de las isolíneas, gráfica de valores y gama de grises sobre la trama del campo de juego (PA), donde se expone en las siguientes figuras.

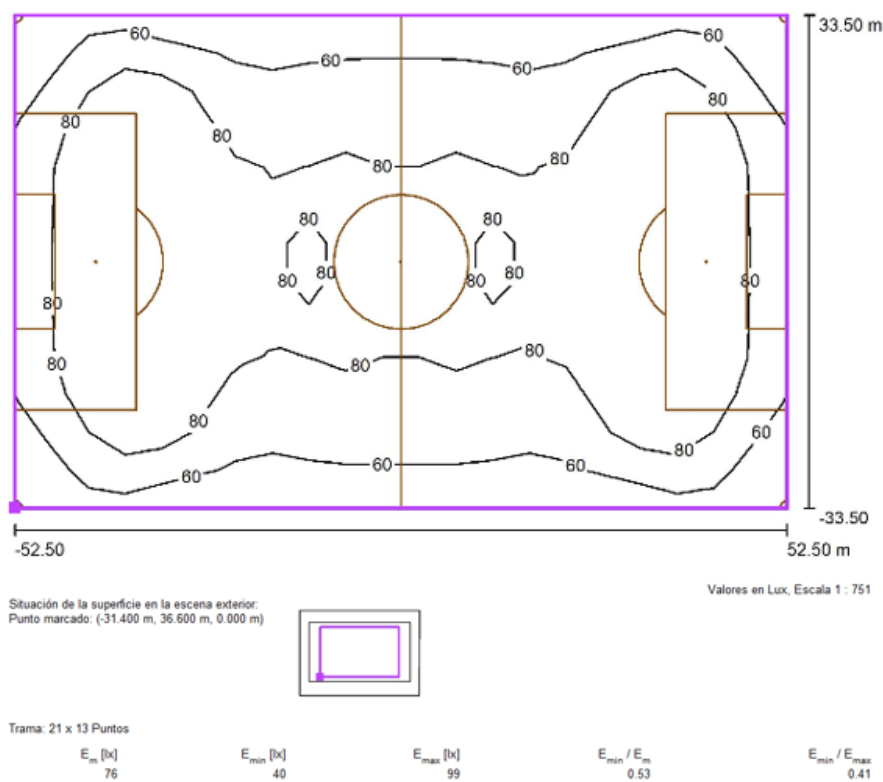


Figura 42. Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 entrenamiento.

Fuente: Autores, Gráfica de Isolíneas en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

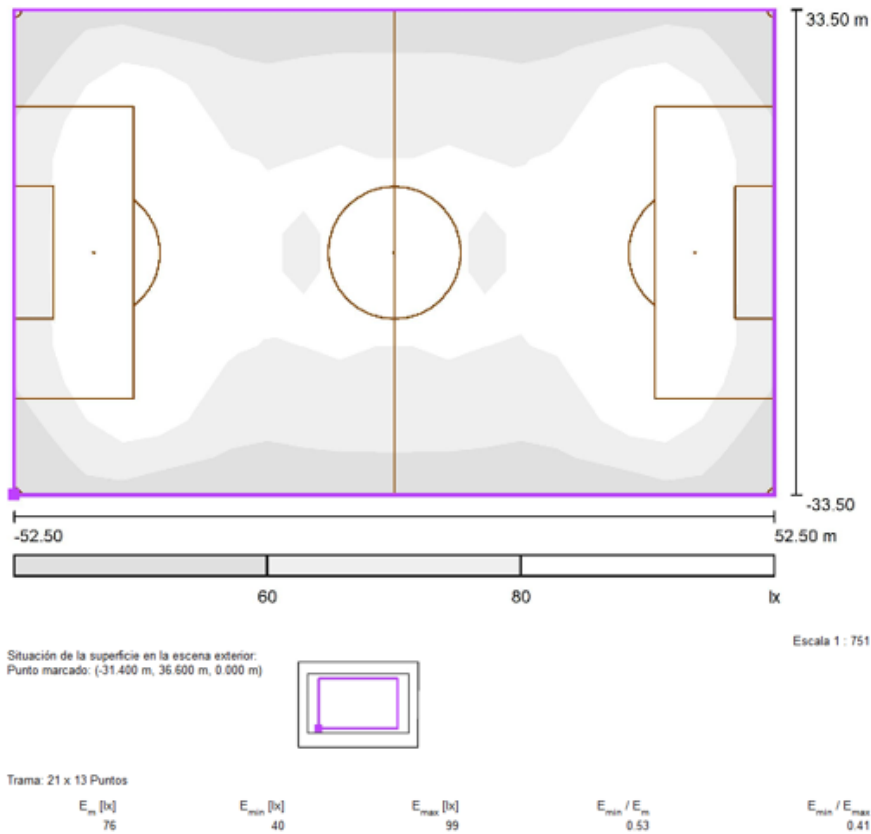


Figura 43. Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) propuesta 2 entrenamiento.
Fuente: Autores, Gráfica de gama de grises en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

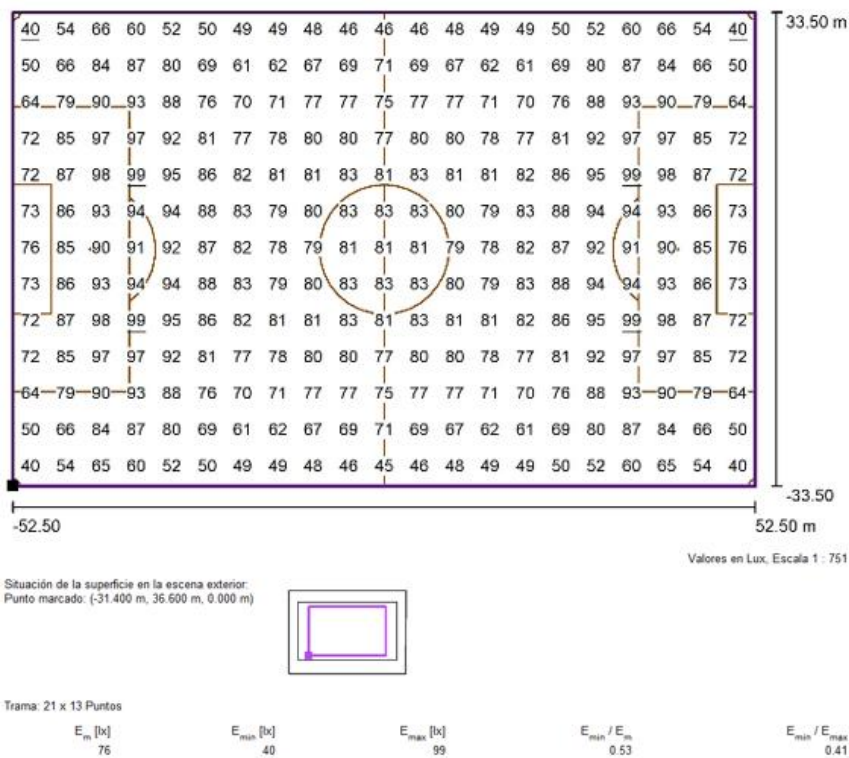


Figura 44.Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) propuesta 2 entrenamiento.
Fuente: Autores, Tabla de valores de luxes en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Para entrenamiento en esta segunda propuesta se ha diseñado las mismas posiciones de las luminarias, pero proponiendo mediante los cálculos respectivos que se mantengan encendidas 2 de las 6 luminarias que se encuentran instaladas por postes dando un resultado óptimo de 12 luminarias LED las cuales van a estar encendidas al momento de que se estén realizando entrenamientos cabe recalcar que los mismos ángulos propuestos anteriormente son para este diseño como se puede apreciar en la siguiente figura 45.

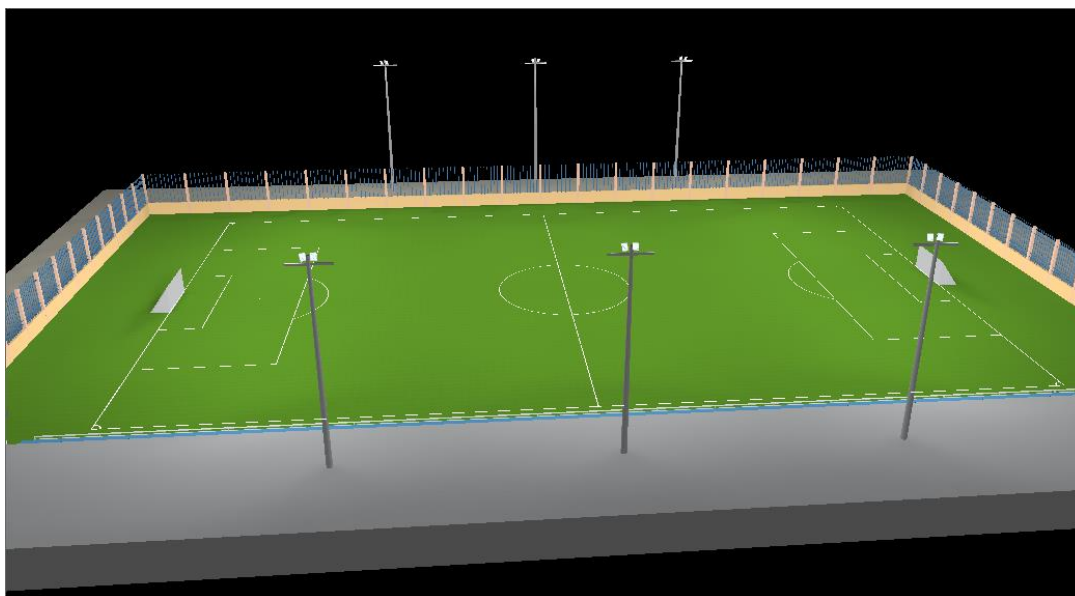


Figura 45. Iluminación del estadio Valeriano Gavignelli Bovio con luminarias LED propuesta 1 entrenamiento.
Fuente: Autores, Sistema de iluminación con luminaria LED en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Se obtiene la simulación mediante los colores falsos en la siguiente figura 46.

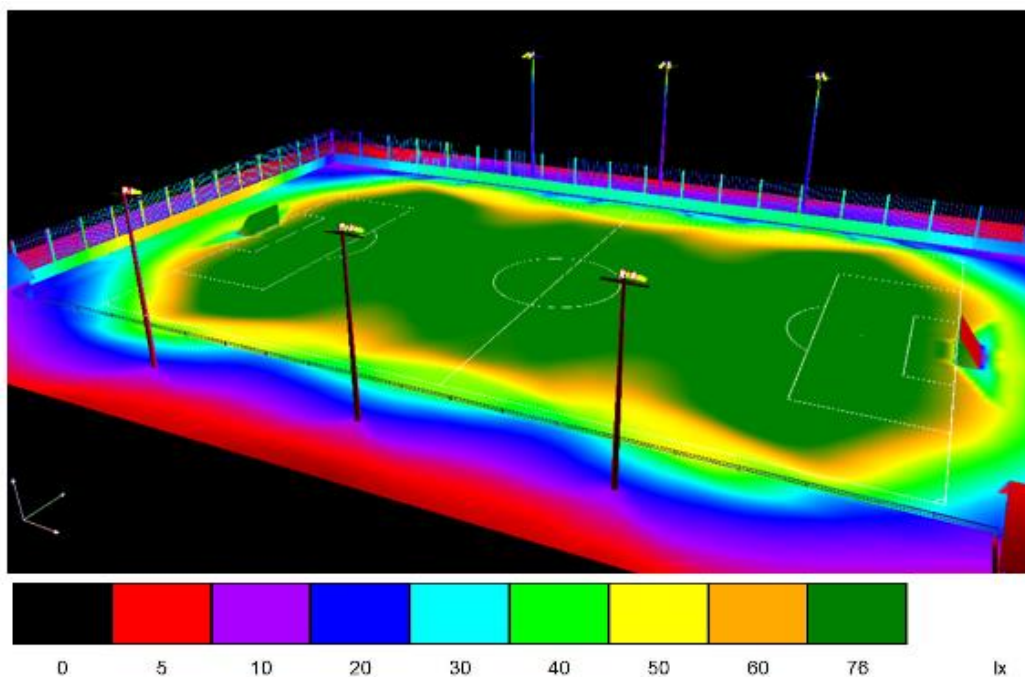


Figura 46. Iluminación del estadio Valeriano Gavignelli Bovio con luminarias LED con colores falsos propuesta 1 entrenamiento.

Fuente: Autores, Sistema de iluminación LED con colores falsos en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

Se obtiene el direccionamiento de luz para la propuesta 2 escenario entrenamiento como se muestra en la figura 47.

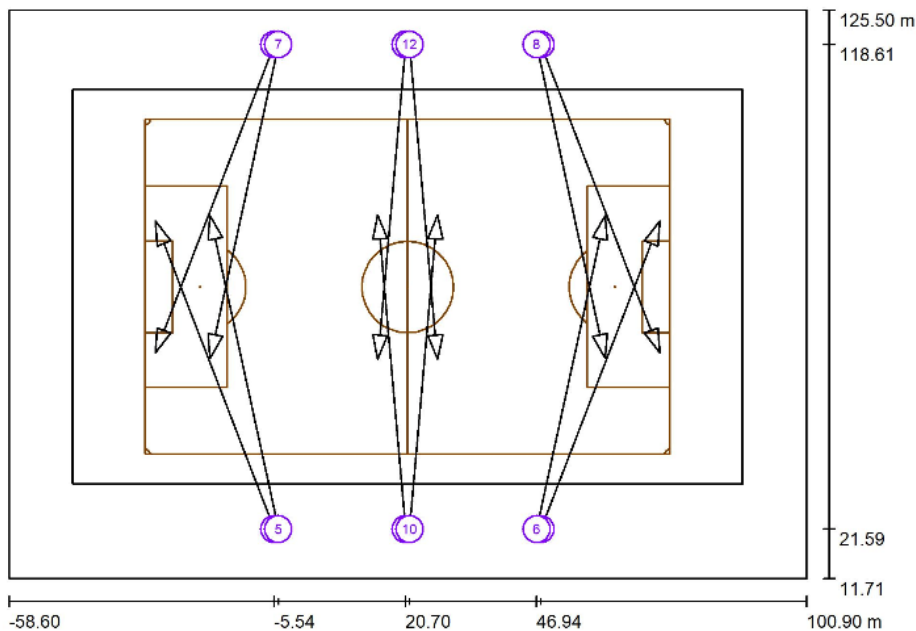


Figura 47. Direccionamiento de la Luz en 2D propuesta 2 competencia.
 Fuente: Autores, Direccionamiento de la Luz en DiaLux, 10 de septiembre de 2020.

3.1.5.5. Resultados de la simulación del diseño de iluminación para Halogenuro Metálico.

Datos obtenidos mediante la simulación en la siguiente tabla.

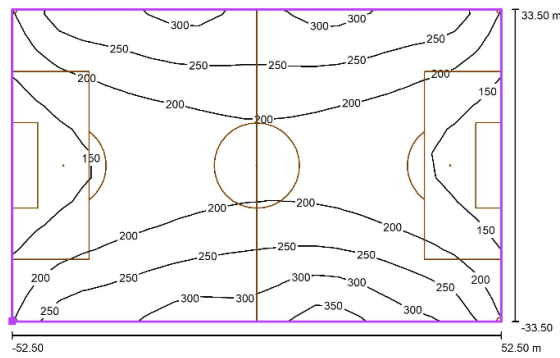
Tabla 18. Datos máximos, mínimos, medios y uniformidad de la iluminación con Halogenuros Metálicos.

Tipo de Iluminancia	Em[lx]	Emin[lux]	Emax[lx]	Emin/Em[lux]	Emin/Emax[lux]
Horizontal	215	125	361	0,58	0,34

Fuente: Autores.

Resultados de las isolíneas, gráfica de valores y gama de grises sobre la trama del campo de juego (PA), donde se expone en las siguientes figuras.

UPS-CUENCA / Campo de fútbol 1 trama de cálculo (PA) / Isolíneas (E, horizontal)



Valores en Lux, Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (-31.400 m, 36.600 m, 0.000 m)



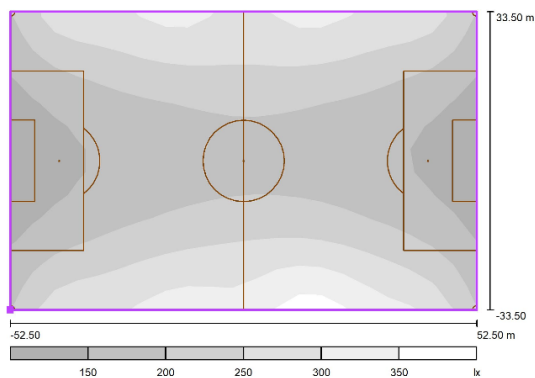
Trama: 21 x 13 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
215	124	361	0.58	0.34

Figura 48. *Isolíneas (horizontal) para la trama del campo de juego (PA) con Halogenuros Metálicos.*

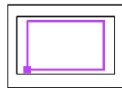
Fuente: Autores, Gráfica de Isolíneas en DiaLux, 21 de junio de 2021.

UPS-CUENCA / Campo de fútbol 1 trama de cálculo (PA) / Gama de grises (E, horizontal)



Escala 1 : 751

Situación de la superficie en la escena exterior:
Punto marcado: (-31.400 m, 36.600 m, 0.000 m)



Trama: 21 x 13 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
215	124	361	0.58	0.34

Figura 49. *Gama de grises para la trama del campo de juego (PA) con Halogenuros Metálicos.*

Fuente: Autores, Gráfica de gama de grises en DiaLux, 21 de junio de 2021

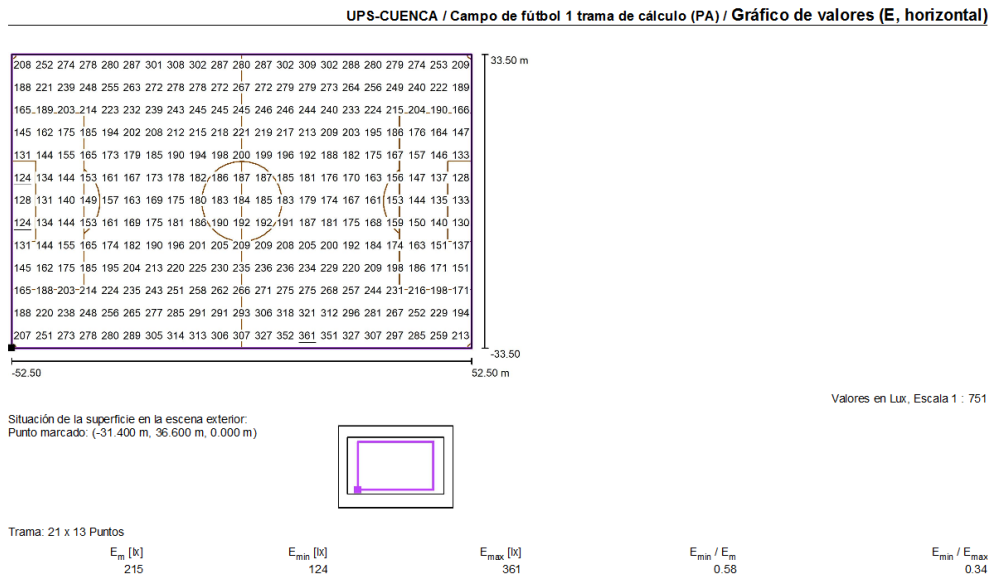
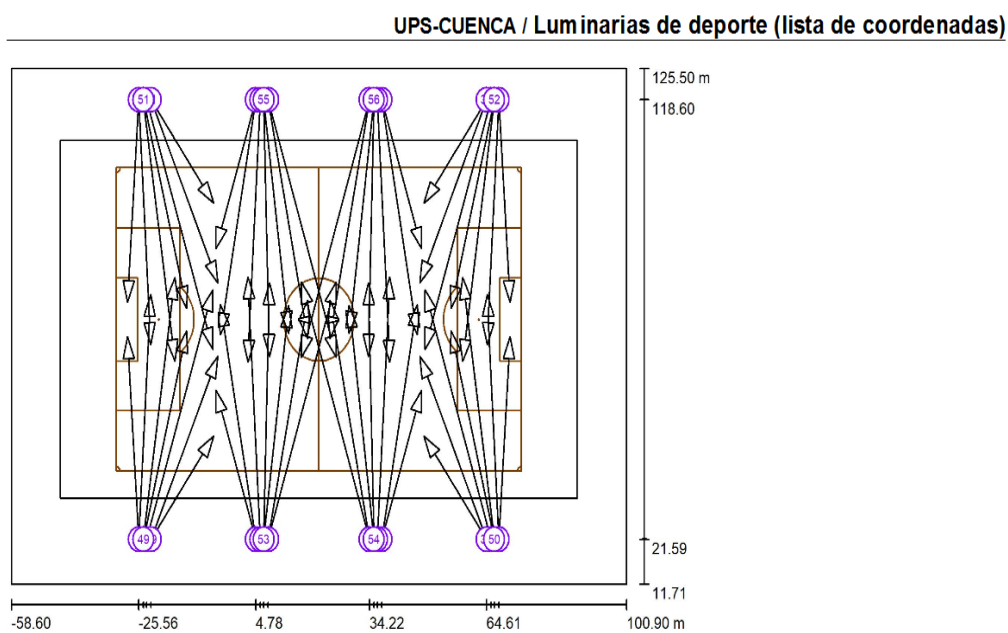


Figura 50. Tabla de valores de luxes para la trama de campo de juego (PA) con Halogenuros Metálicos.
Fuente: Autores, Tabla de valores de luxes en DiaLux, 21 de junio de 2021.

Se obtiene el direccionamiento de luz para lograr una óptima iluminación dentro del campo de juego como muestra en la figura 51.



En la representación de los colores falsos podemos observar que, aunque según los cálculos realizado se ha propuesto una cantidad de 58 lámparas de halogenuro metálico para que ilumine dentro del campo de juego, persiste la falta de iluminación y esto se debe a que la lámpara tiene

una fotometría no simétrica en comparación a las lámparas LED, esto podemos apreciar en el capítulo 4.

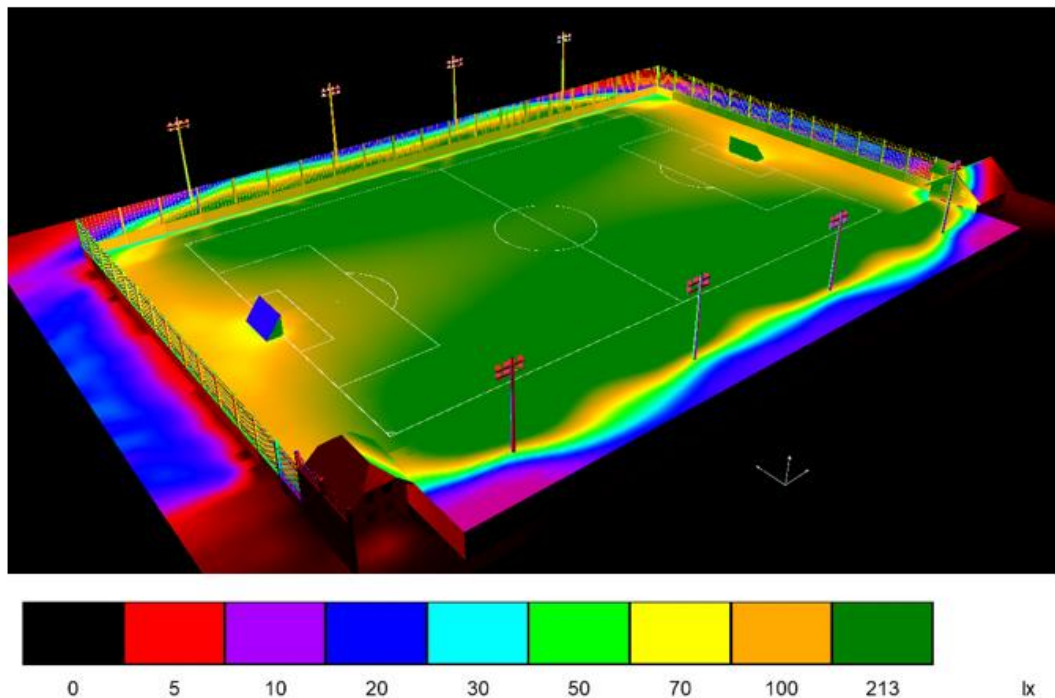


Figura 52. Iluminación del estadio Valeriano Gavinielli Bovio con luminarias de Halogenuro Metálico, con colores falsos.

Fuente: Autores, Sistema de iluminación Halogenuros Metálicos, con colores falsos en DiaLux, 21 de junio de 2021.

En la figura 53 nos da el resultado de la iluminación dentro del campo de juego con la tecnología de Halogenuro Metálico la cual la Universidad posee, pero modificándole la cantidad de proyectores y a su vez los ángulos de irradiación para que pueda cumplir con la normativa española UNE-EN 12193 ver (tabla 1) y hacer una respectiva comparación tanto característicos y económicos para establecer cuál sería la mejor opción al momento de su instalación.



*Figura 53. Iluminación del estadio Valeriano Gavinnelli Bovio con luminarias Halogenuros Metálicos.
Fuente: Autores, Sistema de iluminación con luminaria Halogenuros Metálicos en Dialux, 21 de junio de 2021.*

3.2. Diseño del sistema de generación FV para alimentar la iluminación del estadio Valeriano Gavinnelli Bovio.

3.2.1. Posibles ubicaciones del sistema de módulos FV:

Según nuestra consideración de diseño, las posibles ubicaciones dentro de la UPS Sede Cuenca, donde se puede implementar el sistema de módulos FV son las siguientes opciones: (1) la cubierta del edificio Mario Rizzini, (2) la cubierta del edificio donde se encuentra el servicio técnico de sistemas, (3) la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca, (4) la cubierta del edificio donde están las instalaciones de la carrera de mecánica automotriz.



Figura 54. Posibles ubicaciones del sistema de módulos FV dentro de la UPS Sede Cuenca.

Fuente: Autores, Posibles ubicaciones del sistema de módulos FV dentro de la UPS Sede Cuenca, 28 de septiembre de 2020.

3.2.1.1. Ubicación idónea.

De todas las alternativas consideradas, la cubierta del coliseo principal es la idónea debido a que es la que más superficie disponible posee, y como el número de módulos fotovoltaicos es considerable, entonces esta ubicación de montaje de tipo techo sería la mejor opción.

Otra característica favorable sería que, debido a su altura no tiene ninguna sombra que afecte en el rendimiento fotovoltaico.

Como inconveniente se tiene a que en su arquitectura actual no existe una superficie lo suficientemente resistente para soportar dicho sistema FV, por lo cual es necesaria la instalación de una estructura que brinde una mayor seguridad mecánica.

3.2.2. Dimensionamiento de la central FV con conexión a red y con sistema de acumulación.

La aplicación online Sunny Design Pro nos va a servir de herramienta para dimensionar de una forma más eficiente los componentes como son los módulos y los inversores de nuestra central fotovoltaica con conexión a red y sistema acumulador.

Ya que la potencia instalada de las 2 propuestas para el estadio profesional de la UPS Sede Cuenca es de 42,640 kWp y 38,376 kWp respectivamente. Es importante que los dispositivos a dimensionar cumplan con todas las condiciones necesarias establecidas en la regulación ARCONEL 003/18 vigente denominada como “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”.

3.2.2.1. Considerando la potencia instalada para la propuesta 1.

En Sunny Design Pro ingresamos los datos del cliente, la ubicación geográfica en donde se va a implementar el sistema fotovoltaico que en este caso como referencia lo haremos en el estadio principal de la UPS Sede Cuenca y la ubicación de datos meteorológicos de Riobamba la cual es la más cercana existente online a nuestra localidad.

Además, nuestra conexión a la red del sistema fotovoltaico es en baja tensión a 220 V (127 V / 220 V).

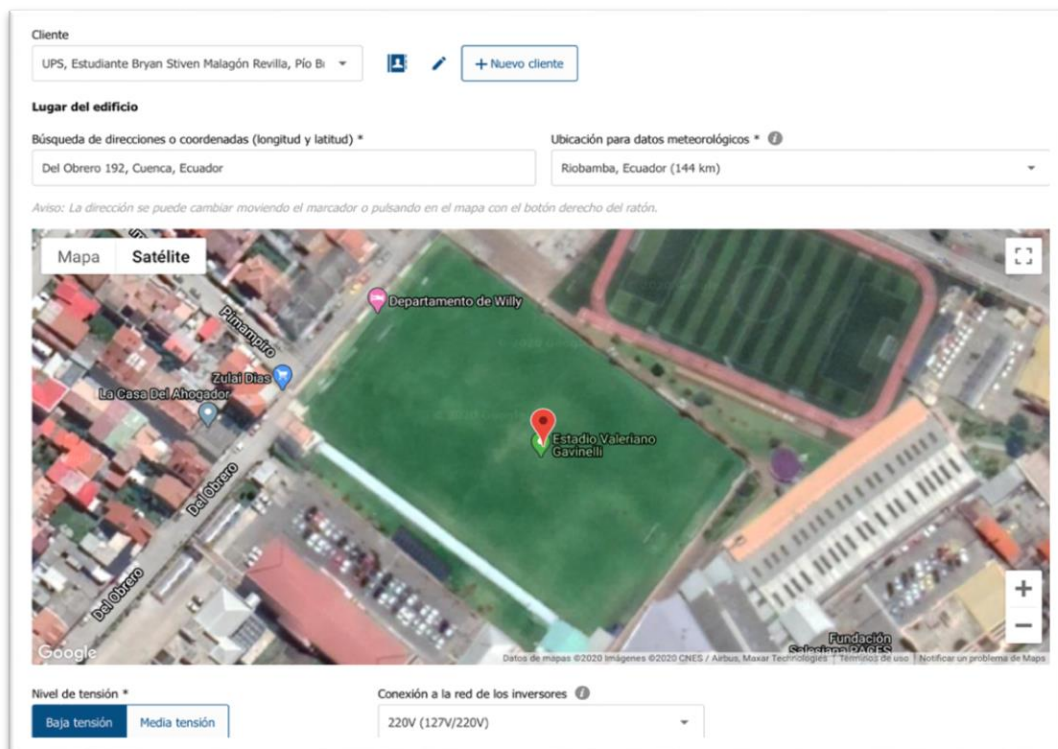


Figura 55. Configuración inicial en Sunny Design Pro para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico con conexión a la red y sistema acumulador.

Fuente: Autores, Configuración inicial en Sunny Design Pro para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico con conexión a la red y sistema acumulador, 28 de septiembre de 2020.

3.2.2.1.1. Dimensionamiento de los módulos FV en Sunny Design Pro para la propuesta 1.

Mediante toda la biblioteca que posee Sunny Design Pro, se ha considerado para el diseño el módulo fotovoltaico BSM500M-96 (02/2019), el cual es el más eficiente según nuestro punto de vista. Es de tipo monocristalino con una potencia nominal de 500 Wp y rendimiento de 20%.

Considerando que la ubicación geográfica donde se desea implementar este estudio está próxima a la latitud 0, el ángulo de inclinación de los módulos FV debería estar alrededor de los 10 grados y orientados hacia la línea ecuatorial, permitiendo una mejor limpieza del sistema [28].

Para encontrar la cantidad de módulos FV a utilizar, aplicamos la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad total módulos FV} = \frac{\text{Potencia instalada de propuesta 1}}{\text{Rendimiento sistema} * \text{HSP} * \text{Potencia nominal mód. escogido}}$$

Los siguientes valores de rendimientos los tomamos de los datos técnicos de cada uno de los elementos a utilizar.

Donde:

$$\text{Rendimiento del sistema} = \text{Rendimiento módulos FV} * \text{Rendimiento inversor} * \text{Rendimiento baterías}$$

$$\text{Rendimiento del sistema} = 0,2 * 0,98 * 0,98 = \mathbf{0,20}$$

Además, según el Atlas Solar Ecuatoriano, consideramos que la Hora Solar Pico (HSP) de nuestra localidad es de $4,8 \frac{\text{kW} * \text{h} * \text{m}^2}{\text{día}}$, entonces:

$$\text{Cantidad total módulos FV} = \frac{42.640 \text{ Wp}}{0,20 * 4,8 \frac{\text{kW} * \text{h} * \text{m}^2}{\text{día}} * 500 \text{ Wp}}$$

$$\text{Cantidad total de módulos FV} = \mathbf{86}$$



Figura 56. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar en propuesta 1.

Fuente: Autores, Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar en propuesta 1, 28 de septiembre de 2020.

Fabricante	Blue Sun PV	Tecnología de las células	mono
Módulo FV	BSM500M-96 (02/2019)	Certificación	EU
Características eléctricas		Coefficientes de la temperatura	
Potencia nominal	500,00 Wp	Tensión MPP	---
Tolerancia de la potencia	-0,00/+5,00 W	Tensión en vacío	-0,3300 %/°C -194,7 mV/°C
Tensión MPP	48,63 V	Corriente de cortocircuito	0,0580 %/°C 6,30 mA/°C
Corriente MPP	10,28 A	Degradación causada por el envejecimiento	
Tensión en vacío	59,01 V	Tolerancia de tensión en vacío	0,00 %
Corriente de cortocircuito	10,87 A	Tolerancia de tensión MPP	0,00 %
Tensión del sistema admisible	1000,00 V	Tolerancia de corriente MPP	0,00 %
Rendimiento del módulo (Condiciones Normales de Ensayo, CNE)	19,51 %	Tolerancia a la corriente de cortocircuito	0,00 %
Toma a tierra recomendada	Sin toma a tierra	Información adicional	
Características mecánicas		Módulo actual	Sí
Número de células del módulo	96	Módulo fotovoltaico propio	No
Anchura	1310 mm	Favorito	No
Longitud	1956 mm	Comentario	
Peso	0,00 kg		
Conector de enchufe	Kabel/Stecker		

Figura 57. Datos técnicos del módulo fotovoltaico monocristalino BSM500M-96 (02/2019).

Fuente: [24].

3.2.2.1.2. Dimensionamiento de los inversores en Sunny Design Pro para la propuesta 1.

Nuestro sistema de inversores va a tener una configuración de diseño de tipo cadena, ya que al trabajar con potencias menores permite una descentralización del sistema, mejorando su confiabilidad, además de que los inversores al estar cerca de la generación se reduce el cableado en DC.

Debido a que el valor redondeado de los 86 módulos nos va a generar una nueva potencia de 43 kWp, y que según nuestra consideración de diseño utilizaremos inversores SB5.0-1AV-41 de 5 kW, entonces la cantidad de inversores será:

$$\text{Cantidad total de inversores} = \frac{43 \text{ kWp}}{5 \text{ kWp}} = 8,6$$

$$\text{Cantidad total de inversores} = 9$$

Los 9 inversores de iguales características convertirán una potencia máxima de 45 kWp y serán conectados en paralelo a un mismo punto en común el cual va hacia el contador bidireccional. Cada inversor posee un rendimiento máximo de 97,1%.

Cada unidad de inversión incluye un regulador de carga MPPT de hasta 100 amperios. El regulador permite controlar en todo momento el nivel de carga de las baterías, permitiendo alargar su vida útil [29].

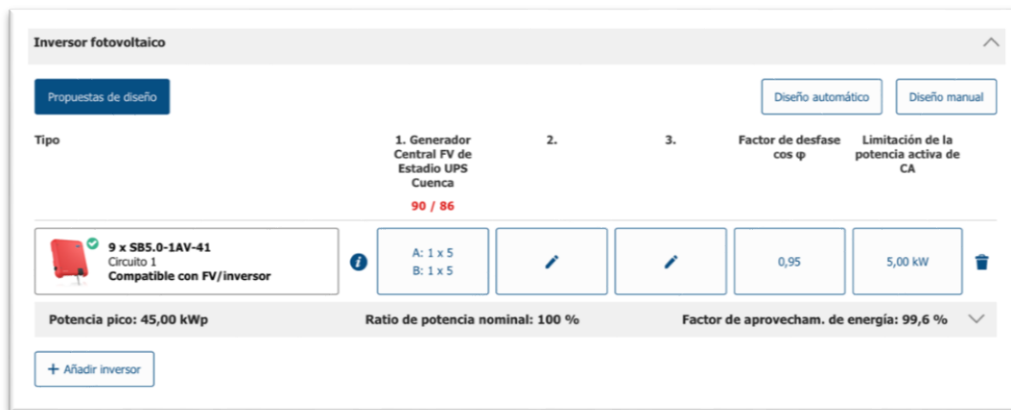


Figura 58. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de inversores a utilizar en propuesta 1.
Fuente: Autores, Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de inversores a utilizar en propuesta 1, 28 de octubre de 2020.

Inversor	SB5.0-1AV-41	Valores de entrada	
Datos generales		Potencia máxima de CC	5,25 kW
Clase de protección	IP65	Potencia del generador fotovoltaico máx.	7,50 kW
Anchura	435 mm	Tensión de entrada máx.	600 V
Altura	470 mm	Tensión asignada de entrada	365 V
Fondo	176 mm	Tensión de entrada mín.	100 V
Peso	16,0 kg	Tensión de arranque	125 V
Rendimiento		Tensión máx. del MPP	500 V
Coefficiente máx. de rendimiento	97,1 %	Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP	15 A / 15 A
Rendimiento europeo	96,7 %	Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP	20 A / 20 A
		Strings por entrada del MPP	2 / 2
		Valores de salida	
		Potencia aparente de CA máx.	5,00 kVA
		Potencia activa máx. de CA	5,00 kW
		Potencia asignada	5,00 kW
		Factor de desfase mín. (cantidad)	0,8
		Rango de tensión nominal de CA	180–280 V
		Frecuencia de red de CA	45–65 Hz
		Fases de inyección	1

Figura 59. Datos técnicos del inversor SB5.0-1AV-41.
Fuente: [24].

Datos del proyecto			
Ajustes del emplazamiento <ul style="list-style-type: none"> La altitud sobre el nivel del mar es de 2756 m La graduación de la irradiación es del 100 % 			
Ajustes de temperatura <ul style="list-style-type: none"> Se utiliza la Temperatura ambiente La temperatura mínima es de 4 °C La temperatura de diseño es de 17 °C La temperatura máxima es de 24 °C 			
Detalles del proyecto <ul style="list-style-type: none"> Nombre del proyecto: Central FV Estadio UPS Cuenca Número del proyecto no introducido Comentario no introducido Cliente: UPS Bryan Stiven Malagón Revilla Pío Bravo y Hermano Miguel 14-24 Cuenca Ecuador 			
Conexión a la red del inversor <ul style="list-style-type: none"> Baja tensión con una tensión de red de 220V (127V/220V) La tolerancia de tensión es de +/-10 % Inyección monofásica No se tiene en cuenta la carga desequilibrada máxima de 3,68 kVA Factor de desfase $\cos \phi$ no especificado Sin limitación de la potencia activa prefijada 			
Información del proyecto			
Cantidad total de módulos	90	Factor de aprovecham. de energía	99,6 %
Potencia pico	45,00 kWp	Coefficiente de rendimiento	85,9 %
Número de inversores fotovoltaicos	9	Rendimiento energético específico	1680 kWh/kWp
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos	45,00 kW	Pérdidas de línea (% de la energía)	---
Potencia activa de CA	42,75 kW	Carga desequilibrada	45,00 kVA
Relación de la potencia activa	95 %	Reducción de CO ₂ al cabo de 20 año(s)	773 t
Rendimiento energético anual	75.579 kWh		

Figura 60. Informe resumen del dimensionamiento del sistema FV (módulos e inversores) en Sunny Design Pro, en propuesta 1.
Fuente: [24].

3.2.2.1.3. Arreglo de conexión serie para los módulos fotovoltaicos BSM500M-96 (02/2019) respecto al inversor SB5.0-1AV-41 de 5 kW.

Debido a que los valores técnicos son:

- Tensión en vacío de cada módulo FV = 59,01 V.
- Tensión de entrada máxima de cada inversor = 600 V.
- Corriente de cortocircuito de cada módulo FV = 10,87 A.
- Corriente de entrada máxima de cada inversor = 15 A.

Y que el diseño del arreglo fotovoltaico debe cumplir con las siguientes 2 condiciones:

- ✓ Tensión equivalente en vacío de módulos FV \leq Tensión de entrada máxima de inversor.
- ✓ Corriente equivalente de cortocircuito de módulos FV \leq Corriente de entrada máxima de inversor.

3.2.2.1.3.1. Para el caso de tensiones.

$$\text{Cantidad módulos FV máximo en serie para 1 inversor} = \frac{\text{Tensión de entrada máxima del inversor}}{\text{Tensión en vacío de cada módulo FV}}$$

$$\text{Cantidad módulos FV máximo en serie para 1 inversor} = \frac{600 \text{ V}}{59,01 \text{ V}}$$

Cantidad módulos FV máximo en serie para 1 inversor = 10,16 ≈ 10

Comprobación:

*Tensión equivalente en vacío de módulos FV = Cantidad * Tensión en vacío de cada módulo FV*

*Tensión equivalente en vacío de módulos FV = 10 * 59,01 V*

Tensión equivalente en vacío de módulos FV = 590,1 V

Podemos observar que si cumple con la condición de tensiones:

Tensión equivalente en vacío de módulos FV ≤ Tensión de entrada máxima de inversor.

$$\mathbf{590,1\ V \leq 600\ V}$$

3.2.2.1.3.2. Para el caso de corrientes.

En este caso la corriente a la salida equivalente de cortocircuito viene siendo la misma de cada uno de los módulos fotovoltaicos.

Corriente equivalente de cortocircuito de módulos FV = Corriente de cortocircuito de cada módulo FV

Corriente equivalente de cortocircuito de módulos FV = 10,87 A

Podemos observar que si cumple con la condición de corrientes:

$$\mathbf{10,87\ A \leq 15\ A}$$

Al revisar los cálculos realizados, podemos decir que, al cumplirse las 2 condiciones necesarias el arreglo de los módulos FV es de tipo serie.

3.2.2.1.4. Dimensionamiento del sistema de acumulación para la propuesta 1.

Para este análisis consideramos que el uso de las luminarias en la noche es de máximo 6 horas (de 18 horas hasta 24 horas), en ocasiones cuando se realicen eventos de competencia.

*Carga máxima AC total diaria = Potencia instalada de propuesta 1 * Horas de uso diario*

$$\mathbf{Carga\ máxima\ AC\ total\ diaria = 42.640\ Wp * 6\ h}$$

$$\mathbf{Carga\ máxima\ AC\ total\ diaria = 255.840\ (W - h/día)}$$

Es necesario convertir la carga máxima AC en términos de DC, para esto utilizamos un factor de inversión DC – AC de 1,2 como dato de diseño.

$$Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria = Carga\ máxima\ AC\ total\ diaria * Factor\ de\ inversión$$

$$Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria = 255.840\ (W - h/día) * 1,2$$

$$\mathbf{Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria = 307.008\ (W - h/día)}$$

La tensión nominal del sistema en DC para cálculos matemáticos viene dada entre 12 V a 24 V, en nuestro caso utilizaremos el valor mayor, además un factor de seguridad de 1,2 considerado como dato de diseño.

$$Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC = \frac{Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria}{Tensión\ nominal\ DC} * Factor\ de\ seguridad$$

$$Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC = \frac{307.008\ (W - h/día)}{24\ V} * 1,2$$

$$\mathbf{Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC = 15.350,4\ (A - h)}$$

Para este sistema se va a utilizar las baterías de plomo ácido debido a sus buenas características técnicas, bajo costo económico y alto uso en la actualidad, su profundidad de descarga máxima recomendable es de 0,5. Este dimensionamiento es para 1 día de autonomía del sistema [30].

$$Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías = \frac{Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC}{Profundidad\ de\ descarga\ en\ plomo - ácido}$$

$$Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías = \frac{15.350,4\ (A - h)}{0,5}$$

$$\mathbf{Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías = 30.700,8\ (A - h)}$$

Como consideración de diseño utilizaremos la Batería de Plomo – Ácido marca Sigma SOPZS 24 V a 503 A-h de 12 vasos, ya que es de las más eficientes actualmente.

$$Arreglo\ de\ baterías\ en\ paralelo = \frac{Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías}{Capacidad\ nominal\ batería\ a\ utilizar}$$

$$Arreglo\ de\ baterías\ en\ paralelo = \frac{30.700,8\ (A - h)}{503\ (A - h)}$$

$$\text{Arreglo de baterías en paralelo} = 61,035 \approx 62$$

Debido a que el sistema DC y la batería propuesta son de igual tensión (24 V), no es necesario realizar el cálculo de baterías en serie, ya el resultado sería 1, quedando así:

$$\text{Número de baterías total} = \text{Arreglo de baterías en paralelo} = 62$$

BATERÍA ESTACIONARIA DE PLOMO - ÁCIDO SIGMA C120 - 503 AH	
DATOS TÉCNICOS	
Tensión de batería:	24 V
Tensión de cada vaso:	2 V
Rango capacidad batería:	Entre 500 y 600 Ah
Capacidad batería C120 a 20°C:	503 Ah
Número de ciclos:	2000 para Dod de 60% a 20°C
Vida útil:	18 años
Temperatura de funcionamiento:	De 15°C a 35°C, máxima 50°C
Profundidad de descarga normal:	20%
Profundidad de descarga máxima recomendable:	50%
Tipo de almacenamiento:	Vida útil máxima de hasta 3 meses a 20°C, o 1 mes a 40°C
Tpo de batería:	Estacionaria T-S-R OPZS
Cantidad de vasos:	12
Peso lleno por elemento:	23,3 Kg
Longitud:	198 mm
Ancho:	101 mm
Altura H1:	478 mm
Altura H2:	505 mm
APLICACIONES	
<ul style="list-style-type: none"> - Estaciones de energía solar/fotovoltaica/eólica. - Generación de energía hidroeléctrica. - Soluciones para instalaciones aisladas. - Telecomunicaciones/estaciones de telefonía móvil. - Compañías de distribución eléctrica. 	

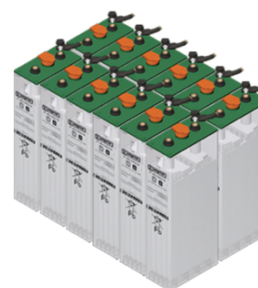


Figura 61. Datos técnicos y aplicaciones de la batería de Plomo – Ácido Sigma SOPZS 24 V a 503 A-h.

Fuente: tiensol.es [31].

3.2.2.1.5. Área necesaria (largo y ancho) y orden para instalación en la ubicación idónea de los módulos FV de la propuesta 1.

La cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca como ubicación idónea para la instalación de los módulos FV dispone de un área total de 34,85 metros de ancho por 33,6 metros de largo, como se muestra en la figura 61.

Solo tomaremos en cuenta una media agua, la cual tiene un área de 34,85 metros de ancho por 16,8 metros de largo, observado en la figura 62.

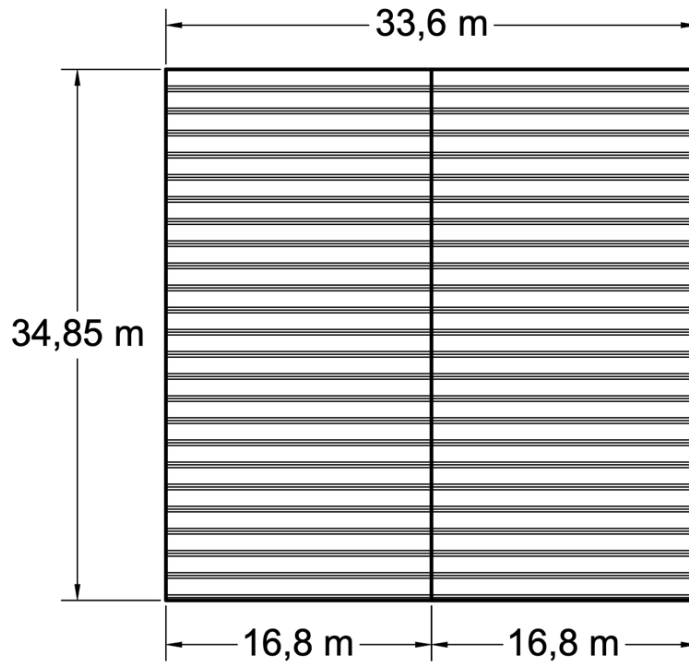


Figura 62. Área disponible de la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca.

Fuente: Autores, Área disponible de la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca, 12 de mayo de 2021.

En la propuesta 1 se necesitan 86 módulos FV, teniendo cada módulo un área total de 1,956 metros de ancho por 1,310 metros de largo.

Nuestra propuesta de diseño para el orden de los 86 módulos FV es la que se muestra en la siguiente figura 63.

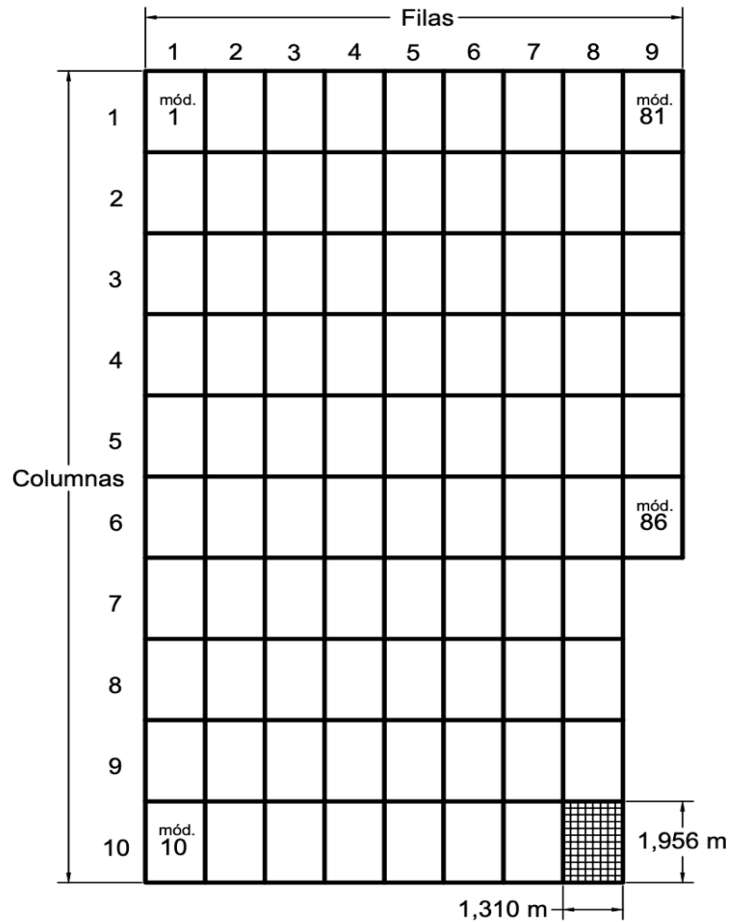


Figura 63. Orden de los 86 módulos FV para instalación en la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca.
Fuente: Autores, Orden de los 86 módulos FV para instalación en la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca, 12 de mayo de 2021.

Podemos observar en el orden anterior que para el eje horizontal (largo) proponemos 9 filas, entonces:

$$\text{Largo necesario} = \text{Largo de módulo FV} * \text{Cantidad filas}$$

$$\text{Largo necesario} = 1,310 \text{ m} * 9 = 11,79 \text{ m}$$

Ahora verificamos si el largo de cubierta disponible es suficiente:

$$\text{Largo sobrante de cubierta} = \text{Largo disponible de cubierta} - \text{Largo necesario}$$

$$\text{Largo sobrante de cubierta} = 16,8 \text{ m} - 11,79 \text{ m} = 5,01 \text{ m}$$

Se puede afirmar que el largo de cubierta disponible si es suficiente para la instalación, incluso llegando a sobrar varios metros de techo.

Ahora, en el eje vertical (ancho) proponemos 10 columnas:

$$\text{Ancho necesario} = \text{Ancho de módulo FV} * \text{Cantidad columnas}$$

$$\text{Ancho necesario} = 1,956 \text{ m} * 10 = 19,56 \text{ m}$$

Ahora verificamos si el ancho de cubierta disponible es suficiente:

$$\text{Ancho sobrante de cubierta} = \text{Ancho disponible de cubierta} - \text{Ancho necesario}$$

$$\text{Ancho sobrante de cubierta} = 34,85 \text{ m} - 19,56 \text{ m} = 15,29 \text{ m}$$

El ancho de cubierta disponible si es suficiente para la instalación, quedando buen espacio de techo libre.

3.2.2.1.6. Diagrama de bloques de la central fotovoltaica considerando la potencia instalada para la propuesta 1.

Mediante todos los valores obtenidos anteriormente de cantidades de módulos FV, su arreglo de conexión en serie, número de inversores conectados en paralelo al contador bidireccional y a la potencia instalada de la propuesta 1, total de baterías a utilizar, sus arreglos en serie y paralelo, entre otros criterios, se diseñó el diagrama de bloques de forma general y específica de la central FV con conexión a red y con sistema acumulador, en bloques y completo, como se lo puede observar en (Anexo 3).

3.2.2.2. Considerando la potencia instalada para la propuesta 2.

Los dispositivos a utilizar en este punto son de iguales características técnicas que los de la propuesta 1.

3.2.2.2.1. Dimensionamiento de los módulos FV en Sunny Design Pro para la propuesta 2:

Los siguientes valores de rendimientos los tomamos de los datos técnicos de cada elemento considerado.

Donde:

$$\text{Rendimiento del sistema} = \text{Rendimiento módulos FV} * \text{Rendimiento inversor} * \text{Rendimiento baterías}$$

$$\text{Rendimiento del sistema} = 0,2 * 0,98 * 0,98 = \mathbf{0,20}$$

Además, sabiendo que la HSP de nuestra localidad es 4,8 y que la potencia instalada de la propuesta 2 es 38.376 Wp, entonces:

$$\text{Cantidad total módulos FV} = \frac{\text{Potencia instalada de propuesta 2}}{\text{Rendimiento sistema} * \text{HSP} * \text{Potencia nominal mód. escogido}}$$

$$\text{Cantidad total módulos FV} = \frac{38.376 \text{ Wp}}{0,20 * 4,8 \frac{\text{kW} * \text{h} * \text{m}^2}{\text{día}} * 500 \text{ Wp}}$$

$$\text{Cantidad total de módulos FV} = 77$$





Generadores FV			
Aquí puede realizar el diseño de generadores fotovoltaicos a través de una planificación visual del tejado o llevar a cabo una planificación manual.			
Nombre	Fabricante/Módulo fotovoltaico/Equipo electrónico de módulos	Número de módulos FV/potencia pico	Orientación/tipo de montaje
1 Generador Central FV de Estadio UPS Cuenca	Blue Sun PV BSM500M-96 (02/2019)	77 módulos FV 38,50 kWp	  180°  10° 

Figura 64. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar en propuesta 2.

Fuente: Autores, Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos a utilizar en propuesta 2, 28 de septiembre de 2020.

3.2.2.2.2. Dimensionamiento de los inversores en Sunny Design Pro para la propuesta 2.

Ya que el valor redondeado de los 77 módulos nos va a generar una nueva potencia de 38.5 kWp, y que la potencia de cada inversión es de 5 kWp, entonces la cantidad de dispositivos será:

$$\text{Cantidad total de inversores} = \frac{38,5 \text{ kWp}}{5 \text{ kWp}} = 7,7 \approx 8$$

Los 8 inversores de iguales características convertirán una potencia máxima de 40 kWp.

Inversor fotovoltaico

Propuestas de diseño

Diseño automático Diseño manual

Tipo	1. Generador Central FV de Estadio UPS Cuenca	2.	3.	Factor de desfase $\cos \varphi$	Limitación de la potencia activa de CA
	80 / 77			0,95	5,00 kW

8 x SB5.0-1AV-41
Circuito 1
Compatible con FV/inversor

Potencia pico: 40,00 kWp Ratio de potencia nominal: 100 % Factor de aprovecham. de energía: 99,6 %

+ Añadir inversor

Figura 65. Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de inversores a utilizar en propuesta 2.
Fuente: Autores, Configuración en Sunny Design Pro del tipo y cantidad de inversores a utilizar en propuesta 2, 28 de octubre de 2020.

Datos del proyecto

Ajustes del emplazamiento

- La altitud sobre el nivel del mar es de **2756 m**
- La graduación de la irradiación es del **100 %**

Ajustes de temperatura

- Se utiliza la **Temperatura ambiente**
- La temperatura mínima es de **4 °C**
- La temperatura de diseño es de **17 °C**
- La temperatura máxima es de **24 °C**

Detalles del proyecto

- Nombre del proyecto: **Central FV Estadio UPS Cuenca**
- Número del proyecto **no introducido**
- Comentario **no introducido**
- Cliente: **UPS Bryan Stiven Malagón Revilla Pío Bravo y Hermano Miguel 14-24 Cuenca Ecuador**

Conexión a la red del inversor

- Baja tensión** con una tensión de red de **220V (127V/220V)**
- La tolerancia de tensión es de **+/-10 %**
- Inyección monofásica**
- No se tiene en cuenta la carga desequilibrada máxima de **3,68 kVA**
- Factor de desfase $\cos \varphi$ no especificado
- Sin limitación de la potencia activa prefijada

Información del proyecto

Cantidad total de módulos	80	Factor de aprovecham. de energía	99,6 %
Potencia pico	40,00 kWp	Coefficiente de rendimiento	85,9 %
Número de inversores fotovoltaicos	8	Rendimiento energético específico	1680 kWh/kWp
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos	40,00 kW	Pérdidas de línea (% de la energía)	---
Potencia activa de CA	38,00 kW	Carga desequilibrada	40,00 kVA
Relación de la potencia activa	95 %	Reducción de CO ₂ al cabo de 20 año(s)	687 t
Rendimiento energético anual	67.181 kWh		

Figura 66. Informe resumen del dimensionamiento del sistema FV (módulos e inversores) en Sunny Design Pro, en propuesta 2.

Fuente: SMA [24].

3.2.2.2.3. Dimensionamiento del sistema de acumulación para la propuesta 2.

Al igual que en la propuesta 1, consideramos que máximo las luminarias estarán encendidas 6 horas por día, además de que su potencia instalada es de 38.376 Wp.

*Carga máxima AC total diaria = Potencia instalada de propuesta 2 * Horas de uso diario*

$$Carga\ máxima\ AC\ total\ diaria = 38.376\ Wp * 6\ h$$

$$\mathbf{Carga\ máxima\ AC\ total\ diaria = 230.256\ (W - h/día)}$$

El factor de inversión DC – AC a utilizar es de 1,2.

*Carga máxima DC total diaria = Carga máxima AC total diaria * Factor de inversión*

$$Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria = 230.256\ (W - h/día) * 1,2$$

$$\mathbf{Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria = 276.370,2\ (W - h/día)}$$

Se considera la tensión nominal del sistema DC de 24 V y un factor de seguridad de 1,2.

$$Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC = \frac{Carga\ máxima\ DC\ total\ diaria}{Tensión\ nominal\ DC} * Factor\ de\ seguridad$$

$$Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC = \frac{276.370,2\ (W - h/día)}{24\ V} * 1,2$$

$$\mathbf{Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC = 13.818,51(A - h)}$$

La capacidad nominal para el banco de baterías se calcula con profundidad de descarga de 0,5.

$$Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías = \frac{Carga\ de\ corriente\ diaria\ DC}{Profundidad\ de\ descarga\ del\ plomo - ácido}$$

$$Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías = \frac{13.818,51\ (A - h)}{0,5}$$

$$\mathbf{Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías = 27.637,02\ (A - h)}$$

Utilizaremos la Batería de Plomo – Ácido marca Sigma SOPZS 24 V a 503 A-h.

$$Arreglo\ de\ baterías\ en\ paralelo = \frac{Capacidad\ nominal\ banco\ de\ baterías}{Capacidad\ nominal\ de\ batería}$$

$$Arreglo\ de\ baterías\ en\ paralelo = \frac{27.637,02\ (A - h)}{503\ (A - h)}$$

$$Arreglo\ de\ baterías\ en\ paralelo = 54,944 \approx 55$$

Número de baterías total = Arreglo de baterías en paralelo = 55

3.2.2.2.4. Área necesaria (largo y ancho) y orden para instalación en la ubicación idónea de los módulos FV de la propuesta 2.

Al igual que en la propuesta 1, aquí tomaremos en cuenta los mismos datos de largo y ancho de cubierta disponible y módulos FV. Además, para esta propuesta se necesita la cantidad de 77 módulos FV.

El diseño para el orden de los 77 módulos FV se observa a continuación en la figura 67.

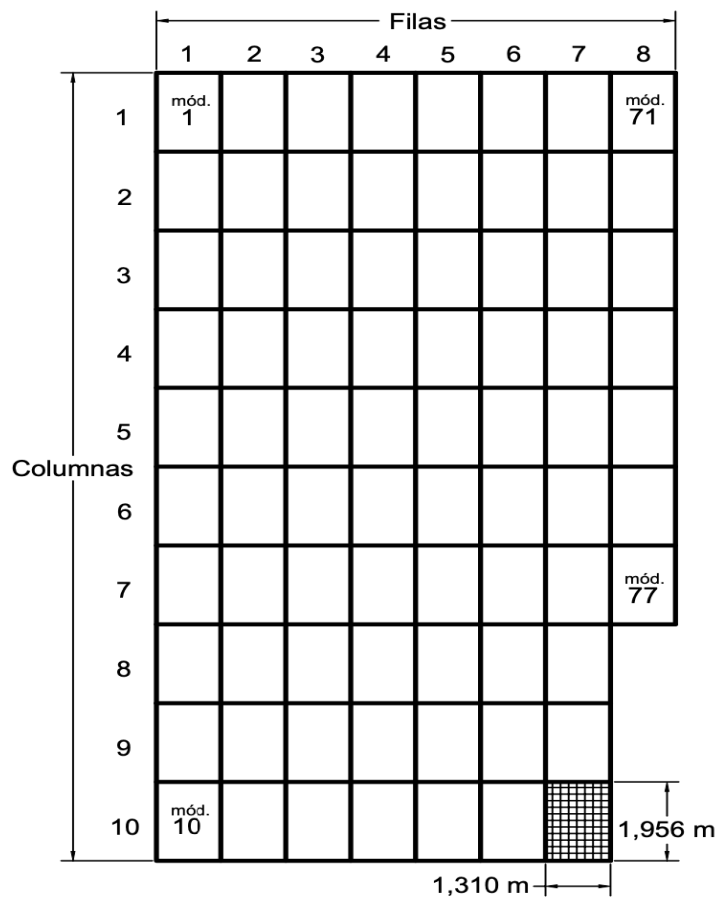


Figura 67. Orden de los 77 módulos FV para instalación en la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca.
Fuente: Autores, Orden de los 77 módulos FV para instalación en la cubierta del coliseo principal en la Sede Cuenca, 12 de mayo de 2021.

Para el eje horizontal (largo) proponemos 8 filas:

$$\text{Largo necesario} = \text{Largo de módulo FV} * \text{Cantidad filas}$$

$$\text{Largo necesario} = 1,310 \text{ m} * 8 = 10,48 \text{ m}$$

Verificamos si el largo de cubierta disponible es suficiente:

$$\text{Largo sobrante de cubierta} = \text{Largo disponible de cubierta} - \text{Largo necesario}$$

$$\text{Largo sobrante de cubierta} = 16,8 \text{ m} - 10,48 \text{ m} = 6,32 \text{ m}$$

El largo de cubierta disponible si es suficiente para la instalación, sobrando espacio de techo libre.

Ahora, en el eje vertical (ancho) proponemos 10 columnas, entonces:

$$\text{Ancho necesario} = \text{Ancho de módulo FV} * \text{Cantidad columnas}$$

$$\text{Ancho necesario} = 1,956 \text{ m} * 10 = 19,56 \text{ m}$$

Revisamos si el ancho de cubierta disponible es suficiente:

$$\text{Ancho sobrante de cubierta} = \text{Ancho disponible de cubierta} - \text{Ancho necesario}$$

$$\text{Ancho sobrante de cubierta} = 34,85 \text{ m} - 19,56 \text{ m} = 15,29 \text{ m}$$

El ancho de cubierta disponible si es suficiente, incluso quedando bastante espacio libre.

3.2.2.2.5. Diagrama de bloques de la central fotovoltaica considerando la potencia instalada para la propuesta 2.

A partir de los resultados obtenidos anteriormente de número de módulos FV, su arreglo de conexión en serie, cantidad de inversores conectados en paralelo tanto a la potencia instalada de la propuesta 2 como al contador bidireccional, total de baterías necesarias, sus arreglos en serie y paralelo, se dimensionó el diagrama de bloques general y específico de todo el sistema FV tal y como se muestra en el (Anexo 3).

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LOS DISEÑOS DE ILUMINACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED Y SISTEMA DE ACUMULACIÓN.

4.1. Análisis Técnico Económico para los sistemas de iluminación.

En este capítulo se realizará un análisis técnico económico para los diseños de iluminación de las dos propuestas realizadas para la iluminación del estadio Valeriano Gavinelli Bovio semi profesional de fútbol utilizando luminarias LED, además se hace una comparación con el diseño actual que posee la Universidad Politécnica Salesiana con luminarias de halogenuro metálico, logrando obtener resultados de cuál sería el sistema de iluminación de mayor beneficio.

4.1.1. Análisis Técnico.

En el análisis técnico se realiza una descripción de las características técnicas de las lámparas utilizadas tanto en las propuestas de iluminación y en el actual sistema lumínico que posee la Universidad Politécnica Salesiana con la finalidad de hacer una comparación y analizar cuál es la tecnología que mayor beneficio se obtiene al momento de realizar un diseño de iluminación dentro de cualquier establecimiento de competencias ya sea para nivel medio o profesional.

Se plantea una descripción fotométrica, reproducción cromática, vida útil y varias características técnicas que permita sobresalir de cuál es la mejor tecnología al momento de elegir una fuente luminosa.

4.1.1.1. Comparación de las características técnicas de las luminarias utilizadas.

Se realizan las debidas comparaciones de las características técnicas de las tecnologías que se utilizan, las cuales son: Halogenuros Metálicos y LED, debido a que estas luminarias son las más recomendadas para estadios semi profesional y profesional cumpliendo con los requisitos mínimos, siendo comprobados por los organismos que administran el fútbol profesional a nivel mundial.

Tabla 19. Características Técnica de luminaria de Mercurio Halogenado.

DESCRIPCIÓN	LUMINARIA HALOGENURO METÁLICO LITHONIA LIGHTING TSP-1500W
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Tipo de Luminaria	Mercurio Halogenado
Temperatura de Color (K)	4.000
Grado de protección	IP65
Voltaje de Alimentación (V)	120-240-480
Frecuencia (Hz)	50/60
Potencia (W)	1.500
Factor de Potencia	0,95
Salida de lúmenes de luminaria (lm)	96.000
Eficacia Luminosa (lm/W)	96
Vida útil (h)	10.000
Reproducción de color (CRI)	65
Corriente de Trabajo (A)	18,8

Fuente: Catálogo Lithonia Lighting [27].

Tabla 20. Características Técnica de luminaria LED.

DESCRIPCIÓN	LUMINARIA LED PERFORMANCE IN LIGHTING (SQUARE PRO 96/4 ELL)
ESPECIFICACIONES GENERALES	
Tipo de Luminaria	Módulo LED
Temperatura de Color (K)	4.000
Grado de protección	IP66
Voltaje de Alimentación (V)	220-415
Frecuencia (Hz)	50/60
Potencia (W)	1.066
Salida de lúmenes de luminaria (lm)	138.086
Eficacia Luminosa (lm/W)	130
Vida útil (h)	44.000
Reproducción de color (CRI)	70
Corriente de Trabajo (A)	1,8

Fuente: Catálogo PERFORMANCE IN LIGHTING [32].

Analizando cada una de las características de las luminarias utilizadas en el diseño actual y en las propuestas factible para el proyecto se deduce que cumplen con los requisitos para un proyecto de iluminación para instalaciones deportivas, pero se diferencian entre las tecnologías utilizadas que las luminarias LED son las mejores debido a su vida útil ya que superan a las demás tecnologías con una duración de más de 5 años y si hablamos de presupuestos económicos estos evitarían un mantenimiento constante, además su eficacia luminosa en cuanto al nivel le permite la superioridad y lograr una adecuada iluminación.

4.1.1.2. Datos Fotométricos.

Se realizan los diferentes esquemas fotométricos para las luminarias Halogenuro Metálico y LED con la finalidad de observar cual es el de mayor precisión al momento de proyectar su iluminación.

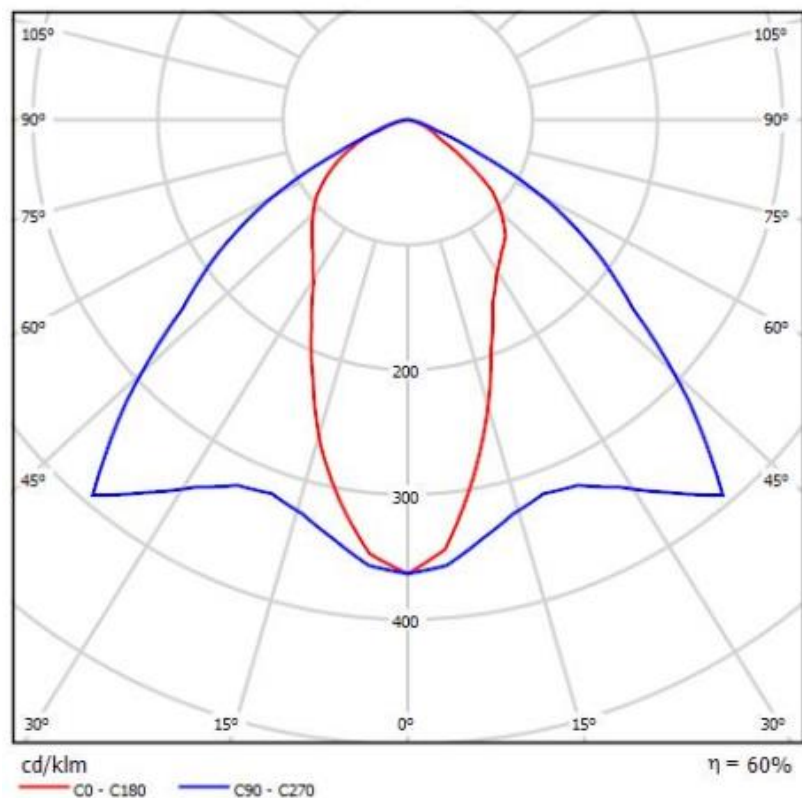


Figura 68. Esquema Fotométrico de Luminaria Halogenuro Metálico.
Fuente: Autores, *Fotometría en DiaLux*, 6 de noviembre de 2020.

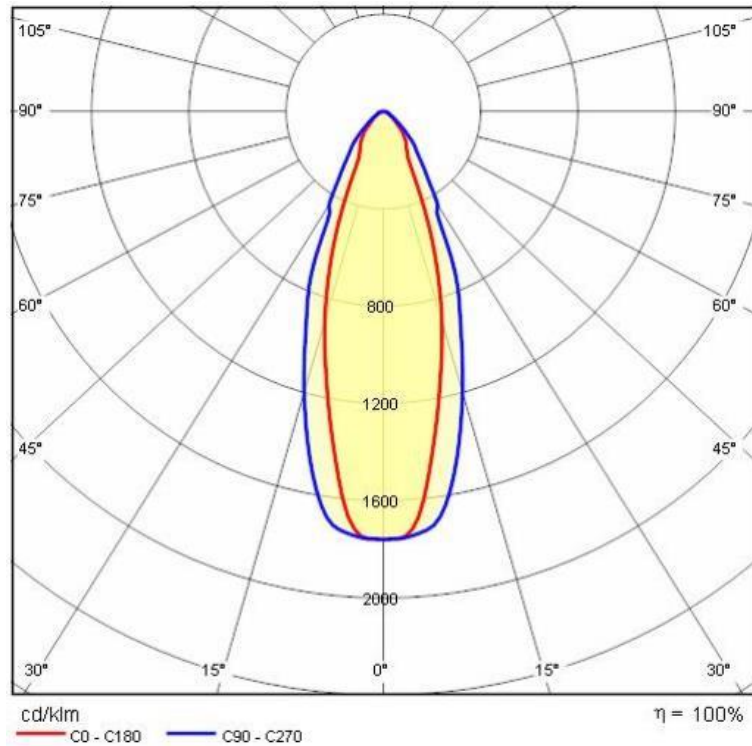


Figura 69. Esquema Fotométrico de Luminaria LED Propuestas 1 y 2.
Fuente: Autores, Fotometría en DiaLux, 6 de noviembre de 2020.

Comparando las fotometrías de cada una de las lámparas queda constancia de que existe una eficacia luminosa superior en la tecnología LED, pero si nos fijamos en la distribución fotométrica de las lámparas de halogenuro metálico y LED para las propuestas tienen una distribución fotométrica simétrica la cual les ayuda enfocar todo su haz de iluminación hacia lo vertical, en lo cual si está enfocado hacia las instalaciones deportivas tendrán una distancia de proyección mayor y mientras tanto la otra luminaria LED tiene una distribución fotométrica a lo horizontal y su distancia de proyección es menor.

4.1.1.3. Vida útil.

LÁMPARA (PROYECTOR)	VIDA ÚTIL (h)
Halogenuro Metálico	10.000
LED Propuesta 1 y 2	44.000

Para conocer cada que año necesitan mantenimientos se expresa la vida útil en año para cada una de las lámparas, considerado que se utilizan las lámparas 6 horas durante 5 días a la semana, donde se expresa lo siguiente:

- **Cálculo de la vida útil de la lámpara de Halogenuro metálico.**

$$\frac{10.000}{240 \times 6} = \frac{10.000}{1.440} = 7 \text{ años}$$

- **Cálculo de la vida útil de la lámpara LED Propuesta 1 y 2.**

$$\frac{44.000}{240 \times 6} = \frac{44.000}{1.440} = 31 \text{ años}$$

Una vez calculado la vida útil en año para las lámparas es notoria la diferencia en lo que respecta entre las de halogenuro metálico y LED, dando como resultado que es una diferencia de 24 años más vida útil para las LED siendo la mejor opción la tecnología LED para iluminación del estadio Valeriano Gavignelli Bovio.

4.1.2. Análisis Económico.

Se efectúa un análisis económico con la finalidad de comparar los costos de ejecución de las dos propuestas y el sistema de iluminación actual, en donde se establecieron los precios unitarios de los proyectores utilizados y su instalación, costos de mantenimiento y consumo eléctrico.

4.1.2.1. Costos de los sistemas de iluminación evaluados.

En las siguientes tablas se establece el costo total de cada una de los sistemas de iluminación para los proyectores LED y Halogenuro metálico.

Tabla 21. Costo total de la propuesta LED 1.

COSTO DEL PROYECTO PROPUESTA 1 (USD)		
1	Materiales	143.147,96
2	Instalación	3.600,00
COSTOS DIRECTOS TOTAL		146.747,96
3	Administración 5%	7.337,40
COSTO TOTAL		154.085,35

Fuente: Autores.

Tabla 22. Costo total de la propuesta LED 2.

COSTO DEL PROYECTO PROPUESTA 2 LED (USD)		
1	Materiales	128.105,43
2	Instalación	3.060,00
COSTOS DIRECTOS TOTAL		131.165,43
3	Administración 5%	6.558,27
COSTO TOTAL		137.723,70

Fuente: Autores.

Tabla 23. Costo total con Halogenuros Metálicos.

COSTO DEL SISTEMA ACTUAL HALOGENURO METÁLICO (USD)		
1	Materiales	\$ 53.653,04
2	Instalación	\$ 4.680,00
COSTOS DIRECTOS TOTAL		\$ 58.333,04
3	Administración 5%	\$ 2.916,65
COSTO TOTAL		\$ 61.249,69

Fuente: Autores.

Los costos de cada material e instalación se encuentran detallado en el Anexo 4.

4.1.2.2. Costo del consumo eléctrico.

De acuerdo al pliego tarifario que presenta la empresa eléctrica para niveles de voltajes 1-300 V o superiores el costo de consumo eléctrico para residenciales, comerciales e industriales y complejos deportivos (exterior), etc está a un valor entre 0,092 – 0,1 (USD/kWh) [33]; entonces mediante tabulaciones se analiza lo que consume al día cada proyector para los sistemas de iluminación evaluados, para luego proceder a realizar los cálculos para los costos mensuales y anuales de energía eléctrica, estos se encuentran detallados en el Anexo 4, a continuación se expresa mediante tablas los costos del consumo eléctrico de las propuestas LED y para Halogenuro Metálico.

Tabla 24. Costo del consumo eléctrico propuesta LED 1.

DESCRIPCIÓN	Cantidad Proyectores	Costo (kW/h) USD	Horas anual (h)	Costo de la Energía consumida (ANUAL) (kW/h) USD
Propuesta 1 LED	40	0,1	1440	6.140,16

*Fuente: Autores.**Tabla 25. Costo del consumo eléctrico propuesta LED 2.*

DESCRIPCIÓN	Cantidad Proyectores	Costo (kW/h) USD	Horas anual (h)	Costo de la Energía consumida (ANUAL) (kW/h) USD
Propuesta 2 LED	36	0,1	1440	5.526,14

Fuente: Autores.

Tabla 26. Costo del consumo eléctrico con Halogenuros Metálicos.

DESCRIPCIÓN	Cantidad Proyector	Costo (kW/h) USD	Horas anual (h)	Costo de la Energía consumida (ANUAL) (kW/h) USD
Halogenuro Metálico	58	0,1	1440	12.528,00

Fuente: Autores.

4.1.2.3. Costo de mantenimiento y operación.

Para obtener el costo de mantenimiento y operación se debe obtener la depreciación del equipo, para luego hacer un costo total de lo que es la energía consumida y el mantenimiento, esto se encuentra detallado en el Anexo 4.

Tabla 27. Costo de mantenimiento y operación

DESCRIPCIÓN	PROPUESTA 1 LED (USD)	PROPUESTA 2 LED (USD)	Halogenuro Metálico (USD)
Costo de la energía anual	6.140,2	5.526,1	10.152,0
Depreciación del equipo	4.604,6	4.144,1	7.809,12
Mantenimiento (Anual)	1.200,00	1.080,00	1.410,00
TOTAL ANUAL	11.944,8	10.750,2	19.371,12

Fuente: Autores.

4.2. Análisis Económico para la central FV con conexión a red y con sistema de acumulación.

Como finalidad se compara los costos totales de ejecución de las 2 propuestas para la central FV, en donde se consideraron los precios comerciales de los materiales mencionados ya en el ítem 3.2. como son módulos FV, inversores y baterías. Además de costos de operación y mantenimiento, los precios comerciales se establecen en las referencias [29] [31] [34].

4.2.1. Costos de la central FV para las 2 propuestas de iluminación.

En las siguientes tablas 28, 29, 30 se muestra los costos de materiales, instalación y total de la central FV para la propuesta 1.

Tabla 28. Costo de materiales de la central FV para la propuesta 1.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Módulos FV	86	311,71	26.807,06
Inversores	9	1.599,53	14.395,77
Baterías	62	1.472,27	91.280,74
SUBTOTAL MATERIALES			132.483,57

Fuente: Autores.

El valor de instalación es aproximadamente un 10% del costo unitario de cada material FV, según nos sugirió el Ing. Xavier Serrano, docente de la facultad UPS Cuenca.

Tabla 29. Costo de instalación de la central FV para la propuesta 1.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Instalación Módulos FV	86	31,17	2.680,71
Instalación Inversores	9	159,95	1.439,58
Instalación Baterías	128	513,29	9.128,07
SUBTOTAL INSTALACIÓN			13.248,36

Fuente: Autores.

Tabla 30. Costo total de la central FV para la propuesta 1.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO PROPUESTA 1 (USD)		
1	Materiales	132.483,57
2	Instalación	13.248,36
COSTO DIRECTO TOTAL		145.731,93
3	Administración 5%	7.286,59
COSTO TOTAL		153.018,52

Fuente: Autores.

En las tablas 31, 32, 33 mostramos costos materiales, de instalación y total para la propuesta 2.

Tabla 31. Costo de materiales de la central FV para la propuesta 2.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Módulos FV	77	311,71	24.001,67
Inversores	8	1.599,53	12.796,24
Baterías	55	1.472,27	80.974,85
SUBTOTAL MATERIALES			117.772,76

Fuente: Autores.

Tabla 32. Costo de instalación de la central FV para la propuesta 2.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Instalación Módulos FV	77	31,17	2.400,17
Instalación Inversores	8	159,95	1.279,62
Instalación Baterías	116	147,23	8.097,49
SUBTOTAL INSTALACIÓN			11.777,28

*Fuente: Autores.**Tabla 33. Costo total de la central FV para la propuesta 2.*

COSTO TOTAL DEL PROYECTO PROPUESTA 2 (USD)		
1	Materiales	117.772,76
2	Instalación	11.777,28
COSTO DIRECTO TOTAL		129.550,04
3	Administración 5%	6.477,50
COSTO TOTAL		136.027,54

Fuente: Autores.

4.2.2. Costos de operación y mantenimiento.

En las siguientes tablas 34, 35 se muestra los costos de energía generada, depreciación de sus principales equipos, costos de operación y mantenimiento total de la central FV para las 2 propuestas en un intervalo de tiempo anual.

El valor del kwh considerado es de 0,10 USD, según lo dice el pliego tarifario 2020 de la empresa eléctrica distribuidora [33].

La operación del sistema está valorizada en función del costo de energía generada y la depreciación de los equipos. El costo de mantenimiento anual es el 4% del valor de inversión total de cada propuesta. Además, se consideró que la mano de obra para mantenimiento será de 24 horas en el año [35].

Tabla 34. Costo de operación y mantenimiento anual para la propuesta 1.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL, PROPUESTA 1	
DESCRIPCIÓN	USD/año
Costo de energía generada	37.564,80
Depreciación de equipos	-8.318,46
Operación	29.246,34
Mantenimiento	-6.120,74
COSTO TOTAL	23.125,60

Fuente: Autores.

Tabla 35. Costo de operación y mantenimiento anual para la propuesta 2.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL, PROPUESTA 2	
DESCRIPCIÓN	USD/año
Costo de energía generada	33.633,60
Depreciación de equipos	-7.391,82
Operación	26.241,78
Mantenimiento	-5.441,10
COSTO TOTAL	20.800,68

Fuente: Autores.

Debido a que la central FV al estar en funcionamiento generará beneficios energéticos y económicos para la UPS, se consideró que, en los resultados obtenidos anteriormente, los de signo positivo serían ingresos o ventas, y los de signo negativos serían egresos o gastos.

En el Anexo 5 podemos observar con más detalle todas las tablas de cálculos realizados para obtener los costos de operación y mantenimiento anual para las 2 propuestas.

4.3. Cálculo del valor actual neto (VAN) de las propuestas LED con y sin central fotovoltaica.

Para encontrar el cálculo del VAN utilizamos la fórmula 1,14.

$$VPN = -I_0 + \sum_{k=1}^{k=n} \frac{B_k - C_k}{(1+i)^k}$$

Donde,

I_0 = Inversión inicial.

B_k = Beneficio netos.

C_k = Costos netos.

i = Tasa de interés.

n = Años de duración del proyecto [26].

Luego procedemos a obtener los resultados de las dos propuestas LED cabe recalcar que se ha establecido una tasa de descuento del 10% y que su recuperación empiece a los 5 años esperando resultados óptimos que sea rentable, es decir:

VAN > 0: El proyecto es rentable.

VAN = 0: El proyecto no tiene ni pérdidas ni ganancias.

VAN < 0: El proyecto no es rentable.

4.3.1. Cálculo del valor actual neto de las propuestas LED sin central Fotovoltaica.

El periodo de año para cada una de las propuestas LEDs se propone que como máximo sea 5 años para lograr una recuperación, pero como vemos en las siguientes tablas sobrepasa los años propuestos dando como resultados que para la propuesta 1 a los 13 años empieza la recuperación y para la propuesta 2 a los 9 años ya empieza la recuperación cabe recalcar que la vida útil de la tecnología LED para este proyecto está establecida una duración de 30 años, entonces podríamos decir que si hay una recuperación y que si es conveniente implementar esta tecnología LED para el establecimiento deportivo en la Universidad Politécnica Salesiana.

Tabla 36. Cálculo del VAN propuesta LED 1.

PROPUESTA LED 1	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJA
0	\$ -92.835,66
1	\$ 13.566,51
2	\$ 13.566,51
3	\$ 13.566,51
4	\$ 13.566,51
5	\$ 13.566,51
6	\$ 13.566,51
7	\$ 13.566,51
8	\$ 13.566,51
9	\$ 13.566,51
10	\$ 13.566,51
11	\$ 13.566,51
12	\$ 13.566,51
13	\$ 13.566,51
TASA DE DESCUENTO	10%
CÁLCULO DEL VAN	\$ 3.532,09

Fuente: Autores.

Tabla 37. Cálculo del Van propuesta LED 2.

PROPUESTA LED 2	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -76.474,01
1	\$ 14.146,97
2	\$ 14.146,97
3	\$ 14.146,97
4	\$ 14.146,97
5	\$ 14.146,97
6	\$ 14.146,97
7	\$ 14.146,97
8	\$ 14.146,97
9	\$ 14.146,97
TASA DE DESCUENTO	10%
CÁLCULO DEL VAN	\$ 4.998,73

Fuente: Autores.

4.3.2. Cálculo del valor actual neto de las propuestas LED con central Fotovoltaica.

Para la tabla 38 y 39 se realizó el cálculo del VAN, pero sumando la inversión inicial de la central fotovoltaica con la inversión del diseño de las dos propuestas y a su vez los beneficios que se van dando según el periodo de años nos darán los cálculos respectivos, cabe recalcar que a pesar de que genera beneficios la central fotovoltaica igual se ve que se recupera la inversión a los 12 años para la primera propuesta y 10 años para la segunda propuesta, pero si nos ponemos a ver qué beneficios nos da al momento de la instalación de una central fotovoltaica con conexión a la red es que a pesar de estar generando energía limpia se está vendiendo esta misma energía recuperando lo invertido como podemos observar en las siguientes tablas.

Tabla 38. Cálculo del VAN Propuesta LED 1 con central FV.

PROPUESTA LED 1 CON CENTRAL FV	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -245.854,18
1	\$ 36.692,11
2	\$ 36.692,11
3	\$ 36.692,11
4	\$ 36.692,11
5	\$ 36.692,11
6	\$ 36.692,11
7	\$ 36.692,11
8	\$ 36.692,11
9	\$ 36.692,11
10	\$ 36.692,11
11	\$ 36.692,11
12	\$ 36.692,11
TASA DE DESCUENTO	10%
CÁLCULO DEL VAN	\$ 4.154,54

Fuente: Autores.

Tabla 39. Cálculo del VAN Propuesta LED 2 con central FV.

PROPUESTA LED 2 CON CENTRAL FV	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -212.501,55
1	\$ 34.947,65
2	\$ 34.947,65
3	\$ 34.947,65
4	\$ 34.947,65
5	\$ 34.947,65
6	\$ 34.947,65
7	\$ 34.947,65
8	\$ 34.947,65
9	\$ 34.947,65
10	\$ 34.947,65
TASA DE DESCUENTO	10%
CÁLCULO DEL VAN	\$ 2.236,63

Fuente: Autores.

4.4. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) de las propuestas LED con y sin central fotovoltaica.

Al calcular el TIR nos dice que si es mayor a la tasa del descuento el proyecto es rentable y si es menor no es rentable, por lo tanto, se expresa en las siguientes tablas que a pesar de tener un cálculo de años que supera a lo estimado las propuestas son rentables.

Tabla 40. Cálculo del TIR propuesta LED 1.

PROPUESTA LED 1	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -92.835,66
1	\$ 13.566,51
2	\$ 13.566,51
3	\$ 13.566,51
4	\$ 13.566,51
5	\$ 13.566,51
6	\$ 13.566,51
7	\$ 13.566,51
8	\$ 13.566,51
9	\$ 13.566,51
10	\$ 13.566,51
11	\$ 13.566,51
12	\$ 13.566,51
13	\$ 13.566,51
TASA DE DESCUENTO	10%
TIR	11%

Fuente: Autores.

Tabla 41. Cálculo TIR propuesta LED 2

PROPUESTA LED 2	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -76.474,01
1	\$ 14.146,97
2	\$ 14.146,97
3	\$ 14.146,97
4	\$ 14.146,97
5	\$ 14.146,97
6	\$ 14.146,97
7	\$ 14.146,97
8	\$ 14.146,97

9	\$	14.146,97
TASA DE DESCUENTO		10%
TIR		12%

Fuente: Autores.

Se puede observar que el TIR entre las dos propuestas una es superada por el 1% siendo en el caso de su implementación la mejor opción que es la Propuesta 2 LED.

4.4.1. Cálculo del TIR de las propuestas LEDs con central fotovoltaica.

En las tablas 42 y 43 el resultado de encontrar el TIR podemos observar que para la primera propuesta en el periodo de 13 años el TIR es el 11% donde nos demuestra su rentabilidad, en la segunda propuesta el resultado del TIR es igual a la tasa de descuento a pesar de que el periodo de años a la propuesta primera es menor pero el resultado obtenido en la tabla 39 del VAN sale que es rentable, dando como resultado que las dos propuestas son rentables

Tabla 42. Cálculo TIR Propuesta LED1 con central FV.

PROPUESTA LED 1	
PERÍODO AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -245.854,18
1	\$ 36.692,11
2	\$ 36.692,11
3	\$ 36.692,11
4	\$ 36.692,11
5	\$ 36.692,11
6	\$ 36.692,11
7	\$ 36.692,11
8	\$ 36.692,11
9	\$ 36.692,11
10	\$ 36.692,11
11	\$ 36.692,11
12	\$ 36.692,11
13	\$ 36.692,11
TASA DE DESCUENTO	10%
TIR	11%

Fuente: Autores.

Tabla 43. Cálculo TIR Propuesta LED 2 con central FV.

PROPUESTA LED 2	
PERIODOS AÑOS	FLUJO DE CAJAS
0	\$ -212.501,55
1	\$ 34.947,65
2	\$ 34.947,65
3	\$ 34.947,65
4	\$ 34.947,65
5	\$ 34.947,65
6	\$ 34.947,65
7	\$ 34.947,65
8	\$ 34.947,65
9	\$ 34.947,65
10	\$ 34.947,65
11	\$ 34.947,65
TASA DE DESCUENTO	10%
TIR	11%

Fuente: Autores.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES.

- Se realizó un diseño de iluminación lateral en la cual consistió de dos propuestas factibles para el estadio Valeriano Gavinelli Bovio considerando proyectores de alta potencia LED y que a su vez la energía consumida por el sistema de iluminación sea abastecida por la central fotovoltaica con conexión a red y sistema de acumulación, logrando generar energía limpia y siendo autosustentable energéticamente.
- La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca tiene una iluminación con tecnología de Halogenuros Metálicos la cual consta con 50 reflectores para un sistema de 8 torres de hormigón armado con una potencia de 1.500 W teniendo una eficiencia lumínica de 64 lm/W y una vida útil de 10.000 horas, se concluyó que a pesar de estar usando una tecnología que es óptima para una correcta iluminación debido a las características que posee el reflector carece de eficiencia y esto se ve reflejado en los resultados que se obtuvieron al realizar un análisis luminotécnico, dando como resultado que se debería colocar más reflectores una cantidad exacta de 58 logrando la correcta distribución lumínica dentro del campo de juego.
- La necesidad de buscar nuevas tecnologías como es la LED implica que haya un ahorro del consumo de energía, eficacia, evitando la contaminación al medio ambiente y un alto rendimiento para escenarios deportivos, se optó por realizar un diseño de iluminación para el establecimiento deportivo del estadio Valeriano Gavinelli Bovio con tecnología LED considerando la normativa española UNE-EN 12193: 2009, ya que actualmente el estadio está en un rango semiprofesional, donde se realizan competencias regional y local por parte del Club Las Carneras. Se consideró reflectores que tengan una mayor proyección de su iluminación la cual se eligió de una marca PERFORMANCE LIGHTING SQUARE PRO 96/4 ELL que a pesar de tener una potencia de 1.066 W menor que la de Halogenuro Metálico supera su eficiencia lumínica con 130 lm/W y con una vida útil de 44.000 horas.
- La normativa española nos ayudó considerando los distintos parámetros como evitar el deslumbramiento, contraste adecuado y una correcta distribución; se estableció que el estadio debe cumplir con una Iluminación horizontal media (E_m) de 200 Lux dentro del

campo de juego de acuerdo a la Clase II en la que se encuentra, dando como resultado que se cumplió con todos los parámetros que rige la normativa española.

- Se analizó dos propuestas de iluminación tanto para escenario competitivo como para entrenamiento, con dos diseños de iluminación lateral; la primera propuesta tiene un sistema lateral de 8 postes de iluminación con 40 proyectores LED, la segunda propuesta tiene un sistema lateral de 6 postes con 30 proyectores LED, ambas propuestas resultaron factibles debido a las simulaciones respectivas mediante DiaLux 4.13 y al cálculo luminotécnico cumpliendo con la normativa española UNE-EN 12193, pero se hizo comparaciones de gráfica de isolíneas, gráfica de valores para la trama de campo de juego, tabla de valores de luxes, colores falsos y direccionamiento de luz y resultó que por tener mayor número de proyectores LED la propuesta 1 logra valores mayores, pero si se desea una implementación para el estadio Valeriano Gavinielli Bovio la propuesta 2 será la conveniente al menor gasto económico que implica su implementación.
- Se dimensionó correctamente cada uno de los componentes, características y diagramas principales de la central fotovoltaica con conexión a red y sistema de acumulación para las 2 propuestas de iluminación LED, al escoger los módulos FV e inversores adecuados se realizó a partir de las 2 potencias instaladas, la ubicación geográfica a implementar y en base a la biblioteca que dispone Sunny Design Pro. Para escoger el sistema de acumulación se lo hizo a partir de la carga máxima diaria de cada propuesta y de su accesibilidad económica. Todos los componentes a utilizar, actualmente se encuentran entre los más implementados en la industria fotovoltaica ya que poseen datos técnicos muy prometedores y altos niveles de eficiencia energética.
- Se concluyó que el tipo de central FV diseñado brindará a la UPS más beneficios técnicos y económicos que otros esquemas existentes, permitiéndole ser una institución con mejor autonomía energética, además de que toda la energía eléctrica generada que no sea consumida por la iluminación del campo deportivo, será inyectada directamente a la red eléctrica interior de la Universidad.

- Se realizó un análisis técnico de las luminarias tanto LED como de Halogenuro Metálico con la finalidad de hacer una comparación de las características, fotometría y vida útil y se concluyó que la tecnología LED supera en cantidad a la Halogenuro Metálico siendo una de las tecnologías que más se usa en la actualidad por su rendimiento lumínico y el ahorro energético, además se analizó el estudio económico de las dos propuestas de iluminación con Tecnología LED sin la central fotovoltaica y a su vez con la central fotovoltaica para analizar aspectos económicos ya sea para la implementación. El proceso de estudio económico se lo realizó con los indicadores financieros VAN y TIR, en primer lugar, se hizo un estudio económico sin central fotovoltaica generando una inversión para la propuesta 1 de **\$ 92.835,66** y para la propuesta 2 de **\$ 76.474,01**, comparando gastos económicos entre el sistema de Halogenuro Metálico con LED se estimó que el período de recuperación estaría entre 5 a 10 años, dando como resultado que en la primera propuesta el VAN nos da un valor de **\$ 3.532,09** en un período de recuperación de 13 años, mientras que en la segunda propuesta el valor del VAN nos da **\$ 4.998,73** en el período de 9 años, siendo esta la más factible debido a su menor valor de inversión y período de recuperación, respecto a la otra propuesta. El cálculo del TIR para la primera propuesta en su período de año estimado no supera el índice de rentabilidad propuesto que es el 10%, mientras que la segunda propuesta si supera el índice de rentabilidad a un **12 %** dando como resultado que si es rentable la segunda propuesta. En segundo lugar, se analizó un estudio económico implementando la central fotovoltaica dando como resultado la inversión total de la primera propuesta de **\$ 245.854,18** calculando el VAN da un resultado de **\$ 4.154,54** en un período de recuperación de 12 años y para la segunda propuesta la inversión total nos da un valor de **\$ 212.501,55** calculando el VAN nos da un valor de **\$ 2.236,63** siendo un resultado favorable debido a que su período de recuperación es en el año 10 dentro de lo estimado, para el cálculo del TIR, en la primera propuesta el TIR dentro de los 10 años estimado no supera el índice de rentabilidad, mientras que para la segunda propuesta el cálculo del TIR se mantiene en el índice de rentabilidad en un 10%.
- Para finalizar, analizando todos los datos obtenidos y de acuerdo a su inversión se concluyó que la propuesta 2 es la más factible para su implementación debido a su menor inversión dentro de lo planteado en el capítulo 4.

6. RECOMENDACIONES.

- De acuerdo al sistema de iluminación actual que la Universidad Politécnica Salesiana posee se recomienda hacer un cálculo luminotécnico ya sea por método de lúmenes comprobando mediante cualquier software para iluminación, en especial la dirección de luz que implica los puntos de irradiación (ángulos), dando como resultado una eficiencia luminosa logrando una correcta uniformidad dentro del campo de juego.
- Al dimensionar los inversores fotovoltaicos, es recomendable utilizar una configuración de diseño de tipo cadena, ya que así al tener varios componentes trabajando en paralelo con potencias pequeñas, si se llegara a averiar alguno de estos, resulta más fácil darle solución a la falla sin que toque paralizar la generación del resto de sistema en buen estado. Además, si los inversores están cerca de la generación se reduce el cableado en corriente directa.
- Ya que en la actualidad existe gran variedad de softwares online para cálculos y simulaciones FV, es recomendable aprovechar esta oportunidad para que, mediante su asesoría, poder dimensionar de manera más eficiente los componentes de una central fotovoltaica.
- Considerando que en nuestro medio aún es muy costoso el implementar la generación de energía eléctrica mediante tecnología FV, es por esto que se recomienda que, al realizar los diseños tomar en cuenta seriamente el factor Costo – Beneficio de los elementos, para así optimizar al máximo los recursos técnicos y económicos a utilizar.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] «GE current a Daintree company,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.gecurrent.com/node/3281>. [Último acceso: 14 Agosto 2020].
- [2] V. M. Bravo Nieto y L. V. Rendón Ramírez, Propuesta de normativa de iluminación para zonas recreativas y deportivas de la ciudad de Quito, realizando un estudio técnico-económico con la situación actual, Quito, 2015.
- [3] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos, Madrid, 2015.
- [4] J. L. Hernández, «Tuveras.com,» 18 Junio 2020. [En línea]. Available: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/magnitudes.htm>. [Último acceso: Agosto 2020].
- [5] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Norma Española UNE-EN 12193, Madrid, 2009.
- [6] O. R. Marroquín Vásquez, Propuesta de Diseño para la Iluminación del área deportiva USAC Campus Central, Guatemala, 2015.
- [7] B. R. Carpio González, Diseño Lumínico para el estadio de la Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2019.
- [8] V. Oliveira, PROPUESTAS DE ILUMINACIÓN PARA DIVERSAS INSTALACIONES DEPORTIVAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Mérida, 2014.
- [9] C. M. Rizzolo Roustaiyan, Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas., Sartenejas, 2007.
- [10] VIVION, «Vivion.com,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/en-us/document/university-of-utah/advanced-dig-product/catalogo-general-vivion-iluminacion/2946792>. [Último acceso: Noviembre 2020].
- [11] J. L. Hernández, «Tuveras.com,» 18 Junio 2020. [En línea]. Available: <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>. [Último acceso: Noviembre 2020].
- [12] ECURED, «ecured.com,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/L%C3%A1mparas_led. [Último acceso: Noviembre 2020].

- [13] Rittal, «rittal.com,» 2020. [En línea]. Available: https://www.rittal.com/cl-es/content/es/support/technischeswissen/qminformiert/schutzarten/ip/ip_1.jsp. [Último acceso: Noviembre 2020].
- [14] M. P. Castro Guamán y N. C. Posligua Murillo, Diseño de iluminación con luminarias tipo LED basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructuras para pruebas, Guayaquil, 2015.
- [15] R. Colomer Rodríguez, Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general, Madrid, 2011.
- [16] Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, Plan Maestro de Electricidad, Quito, 2018-2027.
- [17] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), Resolución Nro. ARCONEL -003/18, 2018.
- [18] C. R. Alvarado Guanín, Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de buses y su valla informática del sistema integrado de transporte de Cuenca, Cuenca, 2015.
- [19] J. X. IZA QUISHPE , Diseño de una central fotovoltaica para abastecimiento de energía eléctrica del campus de la escuela politécnica nacional, Quito, 2020.
- [20] S. Shittu, G. Li, Y. Golizadeh Akhlaghi, X. Ma, X. Zhao y E. Ayodele, «Avances en generadores termoeléctricos para mejorar el rendimiento del sistema fotovoltaico híbrido,» Science Direct, vol. 109, pp. 24-54, Julio 2019.
- [21] S. L. Parrales Vásquez, K. A. Vallejo Lozano y J. Montealegre, Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida conectada a red para autoconsumo en un edificio de la administración pública en la provincia del Guayas y análisis de viabilidad técnica y económica, Guayaquil Ecuador.
- [22] A. Santillán Tituaña, Estudio de la incorporación de baterías en sistemas fotovoltaicos, Barcelona, 2015 - 2016.
- [23] O. I. ORTEGA HIDALGO y A. . G. BOADA CARABALÍ, PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MICROCENTRALES ELÉCTRICAS UTILIZANDO PANELES FOTOVOLTAICOS, Quito, 2013.

- [24] SUNNY DESIGN PRO (SMA), «sma.de,» SMA Solar Technology AG, Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.sma.de/es/productos/software-de-planificacion/sunny-design.html>. [Último acceso: 18 Mayo 2020].
- [25] CONEXIÓN ESAN, «esan.edu.pe,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2020/02/indicadores-de-rentabilidad-en-proyectos-de-inversion-cuales-son/>. [Último acceso: Diciembre 2020].
- [26] Servicios profesionales en web (SPW), «spw.cl,» 15 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://www.spw.cl/proyectos/evaluacion.htm>. [Último acceso: Diciembre 2020].
- [27] Acuity Brands, «acuitybrands.com,» ACUITY BRANDS LIGHTING, INC., 2021. [En línea]. Available: <https://www.acuitybrands.com/products/detail/47741/lithonia-lighting/tsp/architectural-tru-sport-sportslighting-hid-outdoor>. [Último acceso: Marzo 2021].
- [28] S. M. Herrera Molina, “METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PRECIO DE COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED, Cuenca, 2016.
- [29] AutoSolar, «autosolar.es,» Autosolar Energy Solutions SLU, [En línea]. Available: <https://autosolar.es/inversores-de-red-monofasicos/inversor-red-sma-sunny-boy-50kw-av-41>. [Último acceso: 12 Diciembre 2021].
- [30] SOLARMAT, «solarmat.es,» Solarmat.es, 2015. [En línea]. Available: <https://www.solarmat.es/blog/baterias-litio-ventajas/>. [Último acceso: 2020].
- [31] TIENSOL, «tiensol.es,» Tienda Solar 2021 S.L., 2019. [En línea]. Available: <https://tiensol.es/baterias-t-s-r-opzs-24v/1238-bateria-estacionaria-24v-sigma-4-sopzs-500-12-vasosc120-503-ah.html>. [Último acceso: Enero 2021].
- [32] PERFORMANCE IN LIGHTING, «performanceinlighting.com,» Performance in Lighting S.p.A, 2021. [En línea]. Available: <https://www.performanceinlighting.com/ww/es/prod-06284194>. [Último acceso: Junio 2020].
- [33] AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD, PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN, Quito, Ecuador , 2020.

- [34] SALCANTAY, «todoensolar.com,» Salcantay Natur S.L., [En línea]. Available: <https://www.todoensolar.com/panel-solar-500w-24v-96-celdas>. [Último acceso: Abril 2021].
- [35] S. A. GALARZA MURILLO, ANÁLISIS DE LA ENERGIA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA PARA LA COMUNIDAD DE LIMONCITO, Guayaquil, 2015.
- [36] VIBRO POSTE, «vibroposte.com,» VIBROPOSTE CIA. LTDA. , 2019. [En línea]. Available: <http://www.vibroposte.com/>. [Último acceso: Junio 2021].

ANEXOS

ANEXO 1.

CARACTERÍSTICAS DE LA LUMINARIA LED. [32]

PERFORMANCE
iN LIGHTING

SQUARE PRO 96/4 ELL

iN



Part number	06284194
Lampholder:	LED
Light Source:	LED
Wattage:	1066 W
Finish:	GR-94 / Metallic grey / Textured
Insulation class:	I
Degree of protection:	IP66
IK-J-xxIP:	IK07 3J xx5
CRI:	70
Kelvin:	4000
Optic:	Elliptical reflector
Optic Beam:	30°x 40°
Lightsource lumen output:	138086 lm
Luminaire lumen output:	108658 lm
L:	L80
B:	B10
Lifetime:	44000 h
Ta MIN luminaire:	-40°
Ta MAX luminaire:	30°
ULR:	0%
IPEA* (Street Lighting):	B
IPEA* (Area Lighting):	A+
IPEA* (Cycle/Pedestrian Lighting):	A
IPEA* (Green Areas):	A
IPEA* (Historical Areas):	A++
Luminous Intensity Class:	G*6

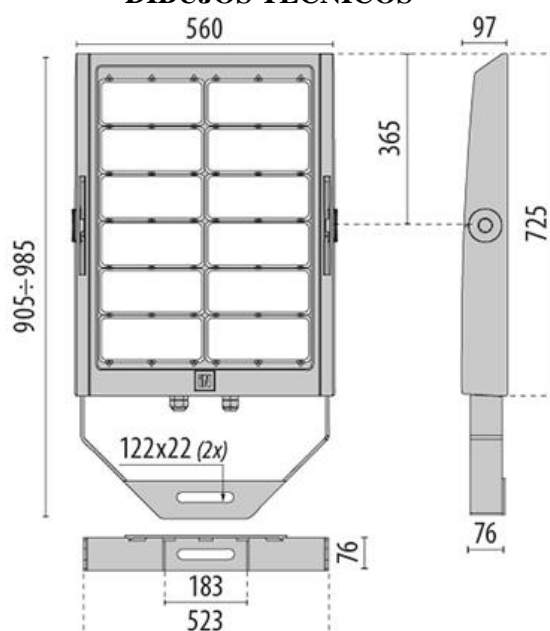


Descripción

Proyector LED para iluminación interior y exterior, compuesto por:

- Carcasa de aluminio fundido a presión ISO 9227 con recubrimiento de polvo de poliéster
- Lentes de policarbonato de alta transparencia para una mejor transmisión de luz
- Junta de silicona anti-envejecimiento
- Caja de conexión eléctrica incorporada con tapa de aluminio
- Prensaestopas estanco M25x1,5 para cables Ø 9- Ø 16 mm
- Haz de luz obtenido por la combinación de múltiples módulos LED
- Consulte con la fábrica para otras temperaturas de color e índice de reproducción cromática
- Tornillos externos de acero inoxidable
- Soporte de acero, galvanizado en caliente y pintado en polvo de poliéster
- Goniómetro graduado para apuntar
- La salida SQUARE PRO incluye las pérdidas de la unidad de potencia
- Las versiones SQUARE PRO 4CH no son compatibles con vidrio protector
- Para alimentar el SQUARE PRO utilice únicamente los grupos de alimentación suministrados como accesorios
- Los proyectores deben estar correctamente combinados con las correspondientes cajas de suministro (BOX o placa de acero). Observe cuidadosamente el número de canales: 2 canales (2CH), 3 canales (3CH) o 4 canales (4CH)
- Se encuentran disponibles alimentadores ON-OFF y regulables DALI y 1-10V en BOX estanco IP66 o en placas metálicas IP20 para incorporar en cuadros eléctricos estancos. La conexión eléctrica entre ellos y los respectivos proyectores es de hasta 50 metros de longitud de cable.
- Dispositivo de protección contra sobretensiones (SPD) integral contra sobretensiones de red hasta 10 kV (CM y DM) para cada unidad / caja de controlador.
- Medida de datos fotométricos según UNI EN 13032-4 e IES LM-79-08

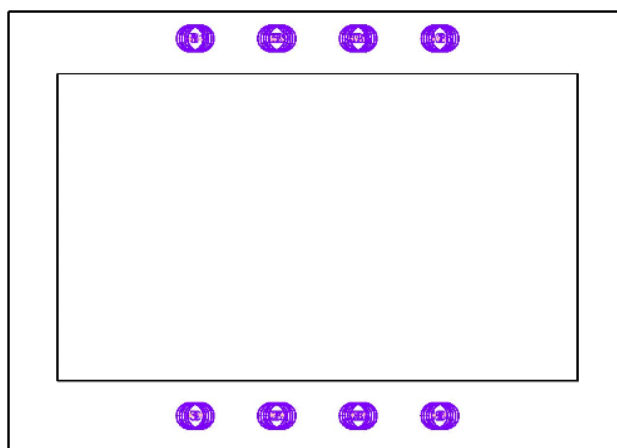
DIBUJOS TÉCNICOS



ANEXO 2.

**POSICIÓN Y ROTACIÓN DE LA LUMINARIA LED PARA LA PROPUESTA 1 Y 2
CON ESCENARIOS PARA COMPETENCIA Y ENTRENAMIENTO.**

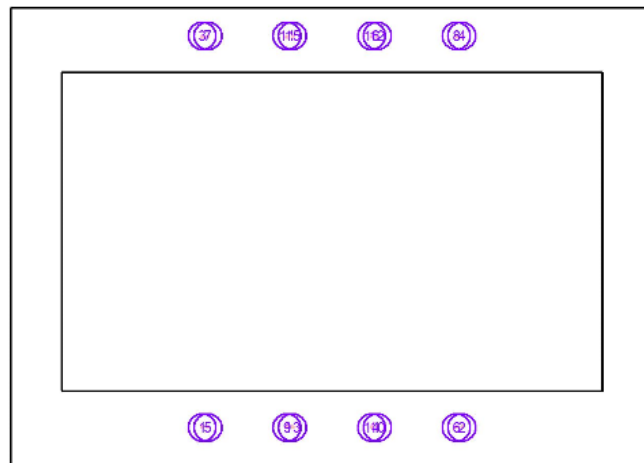
❖ **PROPUESTA 1 COMPETENCIA.**



N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-10.400	21.594	23.000	0.0	-67.3	103.1
2	52.600	21.594	23.000	0.0	-67.3	76.9
3	-10.400	118.606	23.000	0.0	-67.3	-103.1
4	52.600	118.606	23.000	0.0	-67.3	-76.9
5	-11.099	21.594	23.000	0.0	-62.9	113.0
6	53.299	21.594	23.000	0.0	-62.9	67.0
7	-11.099	118.606	23.000	0.0	-62.9	-113.0
8	53.299	118.606	23.000	0.0	-62.9	-67.0
9	-9.700	21.594	23.000	0.0	-67.2	94.5
10	51.900	21.594	23.000	0.0	-67.2	85.5
11	-9.700	118.606	23.000	0.0	-67.2	-94.5
12	51.900	118.606	23.000	0.0	-67.2	-85.5
13	-11.798	21.594	23.000	0.0	-52.9	125.2
14	53.998	21.594	23.000	0.0	-52.9	54.8
15	-11.798	118.606	23.000	0.0	-52.9	-125.2
16	53.998	118.606	23.000	0.0	-52.9	-54.8
17	-9.001	21.594	23.000	0.0	-67.5	87.6
18	51.201	21.594	23.000	0.0	-67.5	92.4
19	-9.001	118.606	23.000	0.0	-67.5	-87.6
20	51.201	118.606	23.000	0.0	-67.5	-92.4
21	10.603	21.594	23.000	0.0	-67.2	94.3
22	31.597	21.594	23.000	0.0	-67.2	85.7
23	10.603	118.606	23.000	0.0	-67.2	-94.3
24	31.597	118.606	23.000	0.0	-67.2	-85.7
25	9.900	21.594	23.000	0.0	-62.5	105.7

26	32.300	21.594	23.000	0.0	-62.5	74.3
27	9.900	118.606	23.000	0.0	-62.5	-105.7
28	32.300	118.606	23.000	0.0	-62.5	-74.3
29	11.301	21.594	23.000	0.0	-67.3	85.4
30	30.899	21.594	23.000	0.0	-67.3	94.6
31	11.301	118.606	23.000	0.0	-67.3	-85.4
32	30.899	118.606	23.000	0.0	-67.3	-94.6
33	9.201	21.594	23.000	0.0	-46.3	128.3
34	32.999	21.594	23.000	0.0	-46.3	51.7
35	9.201	118.606	23.000	0.0	-46.3	-128.3
36	32.999	118.606	23.000	0.0	-46.3	-51.7
37	12.001	21.594	23.000	0.0	-67.8	73.3
38	30.199	21.594	23.000	0.0	-67.8	106.7
39	12.001	118.606	23.000	0.0	-67.8	-73.3
40	30.199	118.606	23.000	0.0	-67.8	-106.7

❖ PROPUESTA 1 ENTRENAMIENTO.

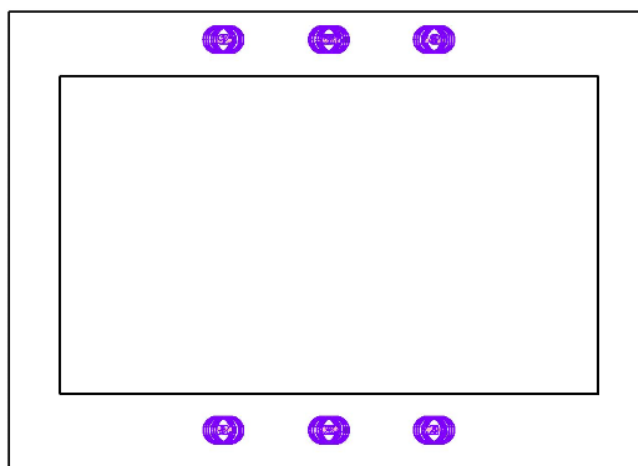


N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-11.099	21.594	23.000	0.0	-62.9	113.0
2	53.299	21.594	23.000	0.0	-62.9	67.0
3	-11.099	118.606	23.000	0.0	-62.9	-113.0
4	53.299	118.606	23.000	0.0	-62.9	-67.0
5	-9.700	21.594	23.000	0.0	-67.2	94.5
6	51.900	21.594	23.000	0.0	-67.2	85.5
7	-9.700	118.606	23.000	0.0	-67.2	-94.5
8	51.900	118.606	23.000	0.0	-67.2	-85.5
9	9.900	21.594	23.000	0.0	-62.5	105.7
10	32.300	21.594	23.000	0.0	-62.5	74.3
11	9.900	118.606	23.000	0.0	-62.5	-105.7
12	32.300	118.606	23.000	0.0	-62.5	-74.3
13	11.301	21.594	23.000	0.0	-67.3	85.4
14	30.899	21.594	23.000	0.0	-67.3	94.6

15	11.301	118.606	23.000	0.0	-67.3	-85.4
16	30.899	118.606	23.000	0.0	-67.3	-94.6

Para la propuesta 1 escenario de entrenamiento se encuentran encendidas 16 lámparas LED de las 40 que se han propuesto para el escenario competitivo, se hizo este cálculo debido a que fue suficiente ese monto para entrenamiento y como se puede observar son los mismo ángulos y posiciones.

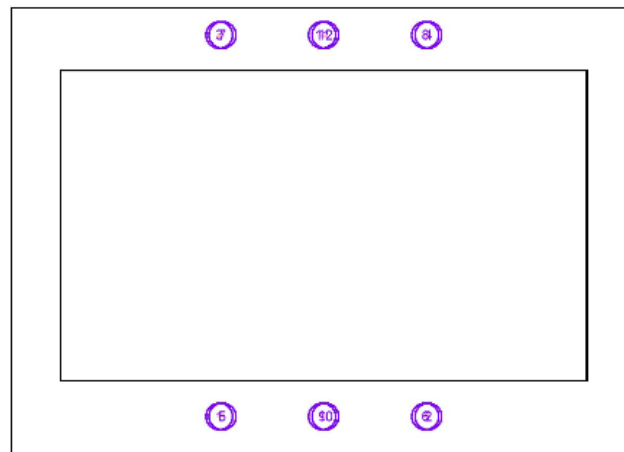
❖ PROPUESTA 2 COMPETENCIA.



N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-5.541	21.594	23.000	0.0	-67.8	111.1
2	47.741	21.594	23.000	0.0	-67.8	68.9
3	-5.541	118.606	23.000	0.0	-67.8	-111.1
4	47.741	118.606	23.000	0.0	-67.8	-68.9
5	-4.741	21.594	23.000	0.0	-67.3	102.3
6	46.941	21.594	23.000	0.0	-67.3	77.7
7	-4.741	118.606	23.000	0.0	-67.3	-102.3
8	46.941	118.606	23.000	0.0	-67.3	-77.7
9	-6.140	21.594	23.000	0.0	-63.5	118.7
10	48.340	21.594	23.000	0.0	-63.5	61.3
11	-6.140	118.606	23.000	0.0	-63.5	-118.7
12	48.340	118.606	23.000	0.0	-63.5	-61.3
13	-4.141	21.594	23.000	0.0	-67.2	91.8
14	46.341	21.594	23.000	0.0	-67.2	88.2
15	-4.141	118.606	23.000	0.0	-67.2	-91.8
16	46.341	118.606	23.000	0.0	-67.2	-88.2
17	-6.741	21.594	23.000	0.0	-56.2	129.8
18	48.941	21.594	23.000	0.0	-56.2	50.2
19	-6.741	118.606	23.000	0.0	-56.2	-129.8
20	48.941	118.606	23.000	0.0	-56.2	-50.2

21	-3.540	21.594	23.000	0.0	-66.8	85.0
22	45.740	21.594	23.000	0.0	-66.8	95.0
23	-3.540	118.606	23.000	0.0	-66.8	-85.0
24	45.740	118.606	23.000	0.0	-66.8	-95.0
25	20.699	21.594	23.000	0.0	-67.0	95.0
26	21.501	21.594	23.000	0.0	-67.0	85.0
27	20.699	118.606	23.000	0.0	-67.0	-95.0
28	21.501	118.606	23.000	0.0	-67.0	-85.0
29	20.099	21.594	23.000	0.0	-65.3	105.6
30	22.101	21.594	23.000	0.0	-65.3	74.4
31	20.099	118.606	23.000	0.0	-65.3	-105.6
32	22.101	118.606	23.000	0.0	-65.3	-74.4
33	19.500	21.594	23.000	0.0	-52.9	121.6
34	22.700	21.594	23.000	0.0	-52.9	58.4
35	19.500	118.606	23.000	0.0	-52.9	-121.6
36	22.700	118.606	23.000	0.0	-52.9	-58.4

❖ **PROPUESTA 2 ENTRENAMIENTO.**



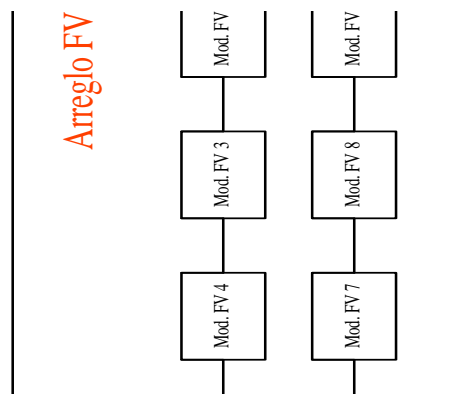
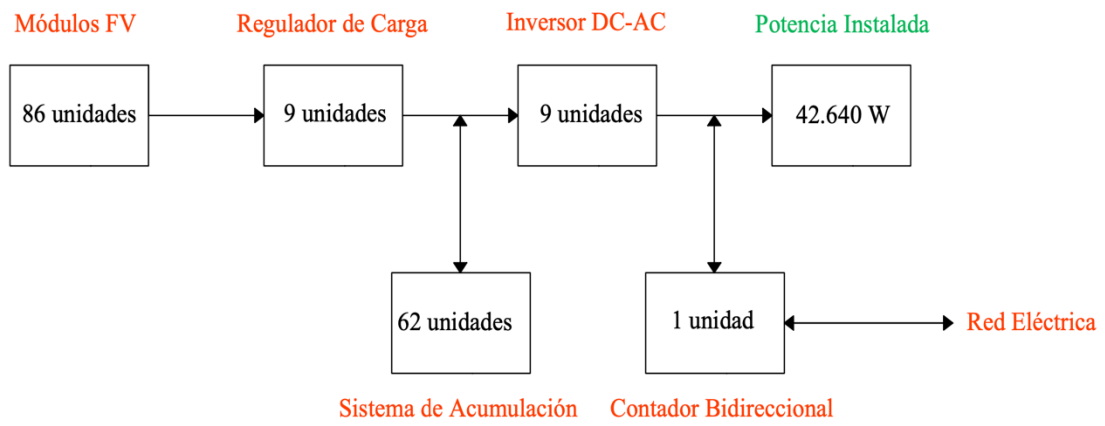
N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-5.541	21.594	23.000	0.0	-67.8	111.1
2	47.741	21.594	23.000	0.0	-67.8	68.9
3	-5.541	118.606	23.000	0.0	-67.8	-111.1
4	47.741	118.606	23.000	0.0	-67.8	-68.9
5	-4.741	21.594	23.000	0.0	-67.3	102.3
6	46.941	21.594	23.000	0.0	-67.3	77.7
7	-4.741	118.606	23.000	0.0	-67.3	-102.3
8	46.941	118.606	23.000	0.0	-67.3	-77.7
9	20.699	21.594	23.000	0.0	-67.0	95.0
10	21.501	21.594	23.000	0.0	-67.0	85.0
11	20.699	118.606	23.000	0.0	-67.0	-95.0
12	21.501	118.606	23.000	0.0	-67.0	-85.0

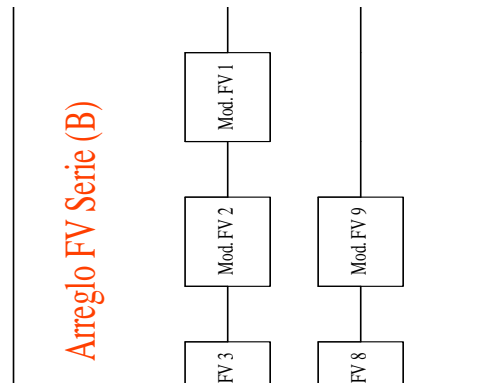
ANEXO 3.

DIAGRAMA UNIFILAR DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA PARA LA PROPUESTA 1 Y 2.

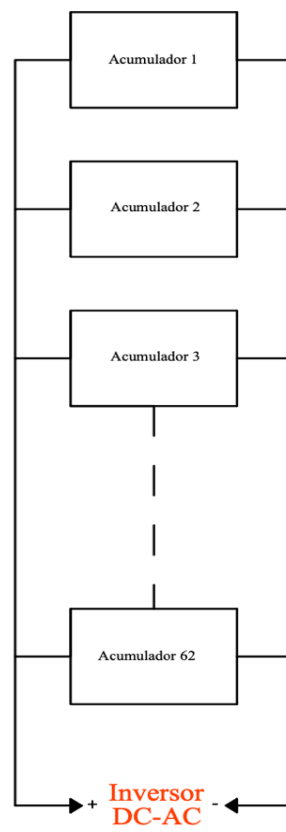
❖ **DIAGRAMA UNIFILAR PROPUESTA 1.**

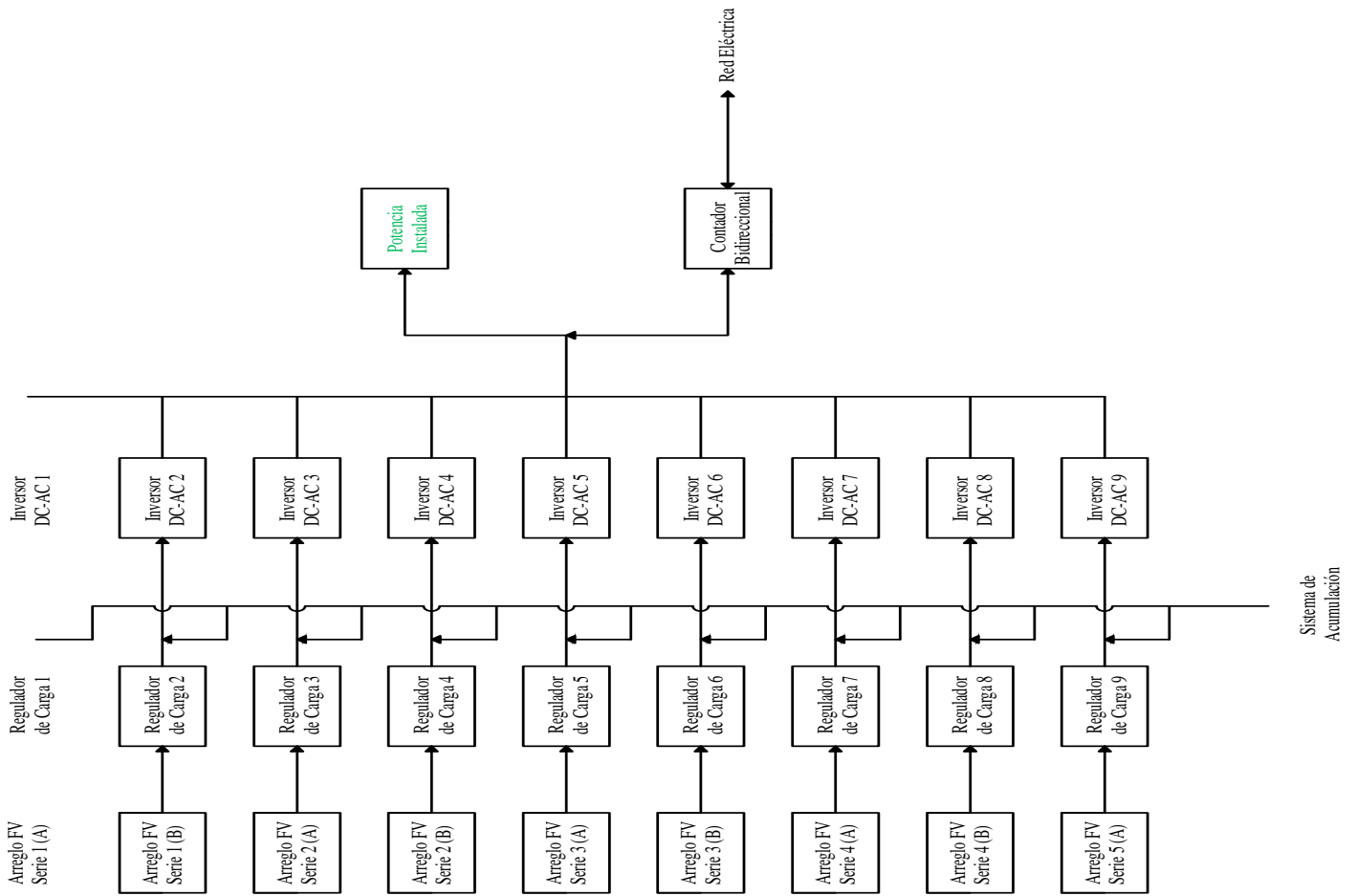
DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL





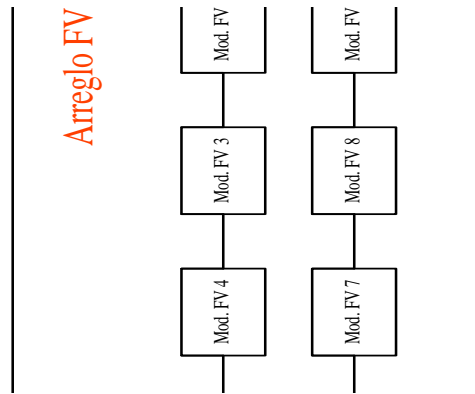
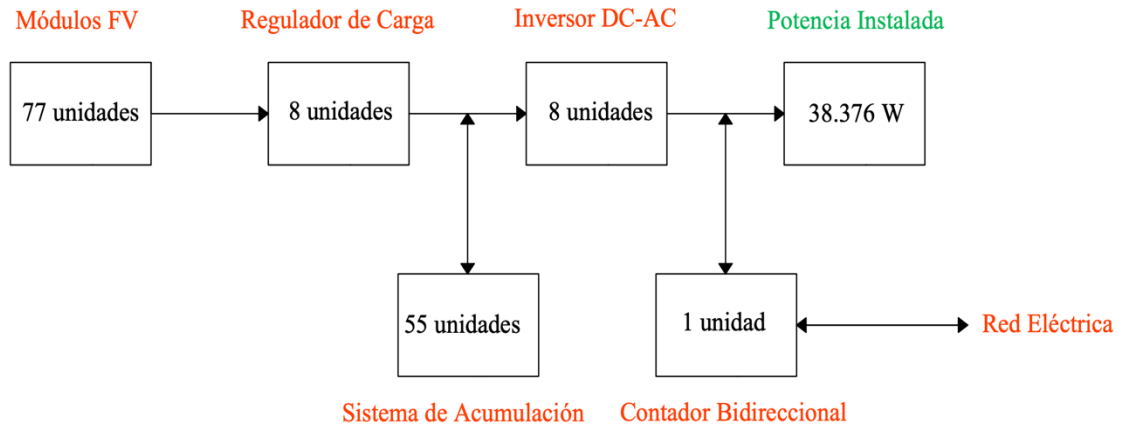
Sistema de Acumulación

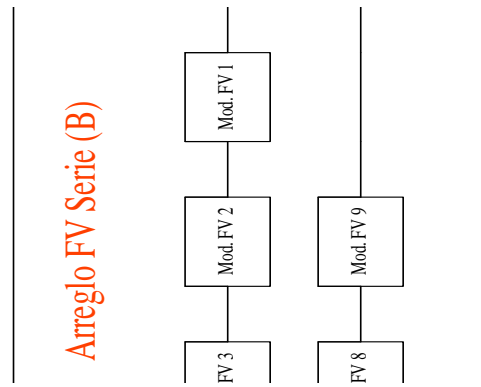




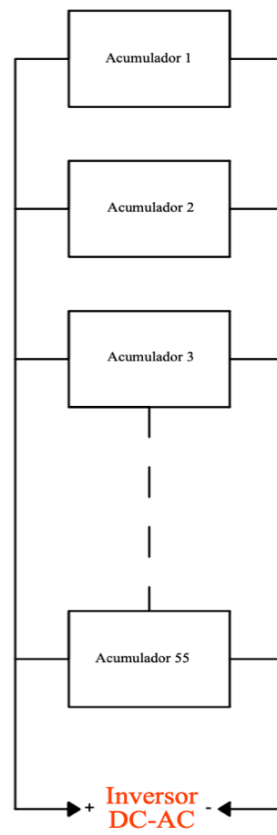
❖ **DIAGRAMA DE BLOQUES DE PROPUESTA 2.**

DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL





Sistema de Acumulación



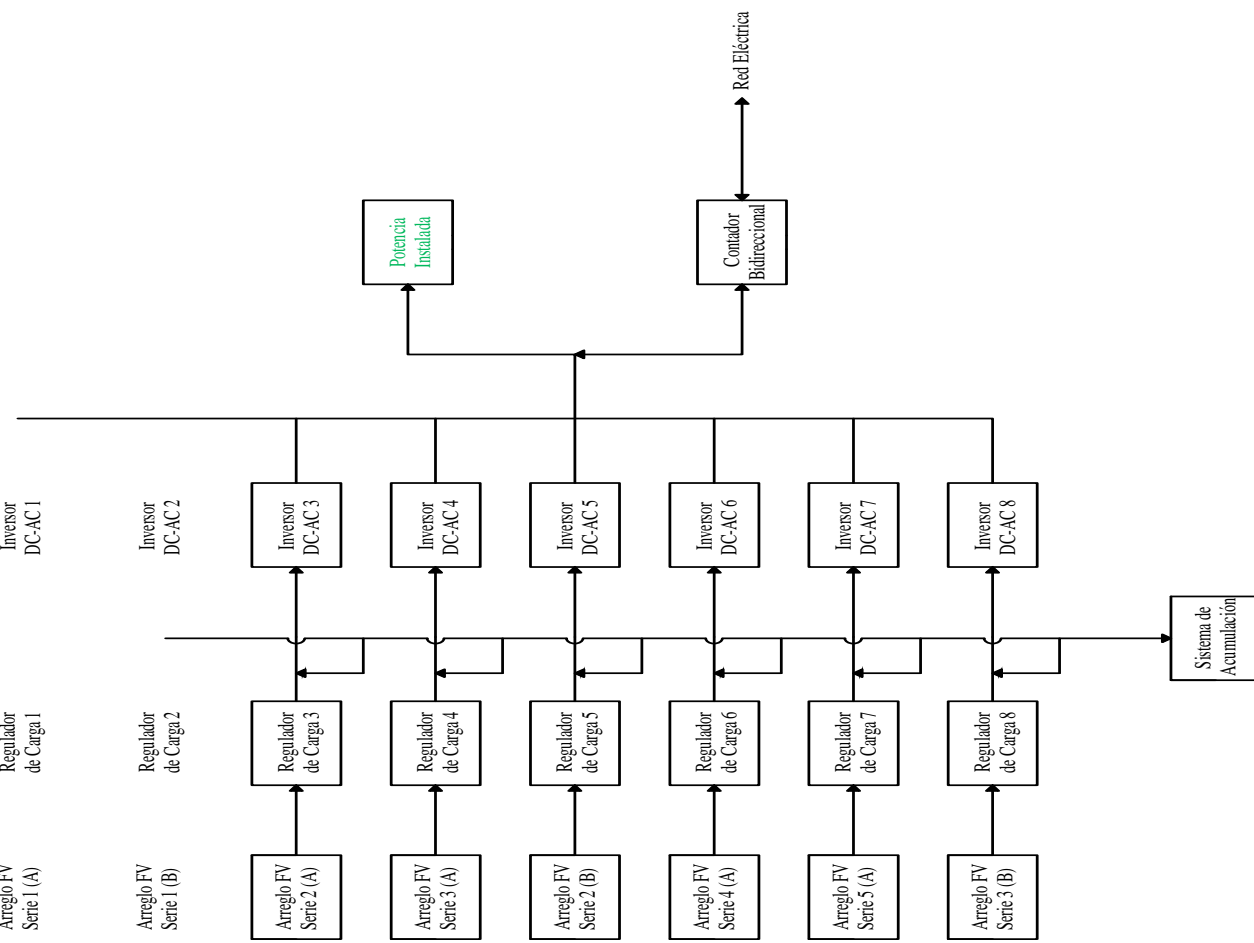


Diagrama de bloques de manera específica para la propuesta 2.

ANEXO 4.

CÁLCULOS ECONÓMICOS PARA LAS DOS PROPUESTAS LED.

❖ PROPUESTA 1 LED MATERIALES, INSTALACIÓN, CONSUMO ELÉCTRICO Y OPERACIÓN - MANTENIMIENTO.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		PRECIO (\$)	COSTO (\$)
	mts	#		
Torres	18	4	\$ 850,00	\$ 3.400,00
	14	4	\$ 362,88	\$ 1.451,52
Proyector LED		40	\$ 3.457,41	\$ 138.296,44
SUBTOTAL				\$ 143.147,96

Los precios se obtuvieron en las páginas web en lo que respecta a las torres se consultó el precio a la empresa "VIBROPOSTE CIA. LTDA." La cual se dedica a la fabricación de postes de hormigón armado en Ecuador en la ciudad de Ibarra en este caso se cotizó dos precios para dos clases de alturas y esos fueron los precios [36], además también a un funcionario de la "CENTRO SUR" su nombre es Oswaldo Torres y el precio fue estimado al valor que se estableció, y por el precio del proyector LED se ve un valor exageradísimo debido a que es de otro país la empresa llamada PERFORMANCE LIGHTING de España entonces sale este valor además es una Tecnología cara y si se lee las características de este proyector es muy eficiente en comparación a otras tecnologías.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (\$)	COSTO (\$)
Instalación Torres	8	\$ 150,00	\$ 1.200,00
Instalación Proyectores	40	\$ 60,00	\$ 2.400,00
SUBTOTAL INSTALACIONES			\$ 3.600,00

La instalación de las torres y los proyectores se establecen valores estimados al igual fue consultado con el Ing. Hernán Guillen docente de la UPS sede Cuenca y tutor de nuestra tesis que se desempeña en estos proyectos y por tal razones se ha optado por establecer esos valores.

DESCRIPCIÓN	UNIDADES	Potencia del proyector (W)	Potencia total de los proyectores (W)	Horas al día(h)	Horas mensual(h)	Horas anual(h)	Consumo diario (kW/h)	Consumo mensual (kW/h)	Consumo anual (kW/h)	Costo (kW/h) USD	Costo de la Energía consumida (DIARIO) (kW/h) USD	Costo de la Energía consumida (MENSUAL) (kW/h) USD	Costo de la Energía consumida (ANUAL) (kW/h) USD
Propuesta 1 LED	40	1066	42640	6	120	1440	255,8	5116,8	61401,6	0,1	\$ 25,6	\$ 511,7	\$ 6.140,16
Propuesta 2 LED	36	1066	38376	6	120	1440	230,3	4605,1	55261,4	0,1	\$ 23	\$ 460,5	\$ 5.526,14
Halogenuro Metálico	58	1500	87000	6	120	1440	522	10440	125280	0,1	\$ 52,3	\$ 1044	\$ 12.528,00

En esta tabla se observa cuantas horas va a estar funcionando los proyectores y cuál será su consumo diario mensual y anual dando como resultado que la tecnología LED tiene un ahorro energético comparado con los Halogenuros Metálicos, lo cual esto influye también en lo económico.

DESCRIPCIÓN	PROPUESTA 1 LED USD	PROPUESTA 2 LED USD	Halogenuro Metálico USD
Costo de la energía anual	\$ 6.140,16	\$ 5.526,14	\$ 12.528,0
Depreciación del equipo	\$ 4.604,6	\$ 4.144,1	\$ 7.809,12
Mantenimiento (Anual)	\$ 1.200,00	\$ 1.080,00	\$ 1.410,00
TOTAL ANUAL	\$ 11.944,77	\$ 10.750,29	\$ 21.747,12

Descripción	Horas (Lámparas)	Horas al Año	Vida Útil (Anual)
LED	44000	1440	31
HALOGENURO METÁLICO	10000	1440	7

La obtención de la operación y mantenimiento para cada una de las propuestas se debía encontrar la depreciación del equipo a utilizar que en este caso son los proyectores como se obtuvo esto, fue mediante la sumatoria entre el costo del proyector y la instalación de la misma dividida para la vida útil del proyector dando como resultado el valor establecido, y además para tener un costo total se debía establecer el mantenimiento que en este caso es anual y el precio que se propone es un estimado el cual personas que se dedican a estos mantenimientos y a su vez recomendado por el Ing. Hernán Guillen se estableció un precio de \$ 30.

❖ **PROPUESTA 2 LED MATERIALES, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN - MANTENIMIENTO.**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		PRECIO	COSTO
	mts	#		
Torre	18	3	\$ 850,00	\$ 2.550,00
	14	3	\$ 362,88	\$ 1.088,64
Proyector LED		36	\$ 3.457,41	\$ 124.466,79
SUBTOTAL				\$ 128.105,43

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (\$)	COSTO (\$)
Instalación Torres	6	\$ 150,00	\$ 900,00
Instalación Proyectores	36	\$ 60,00	\$ 2.160,00
SUBTOTAL INSTALACIONES			\$ 3.060,00

❖ **HALOGENUROS METÁLICOS: MATERIALES, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN - MANTENIMIENTO.**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD		PRECIO	COSTO
Torre	mts	#		
	14	8	\$ 362,88	\$ 2.903,04
Proyector Halogenuro Metálico		58	\$ 875,00	\$50.750,00
SUBTOTAL				\$53.653,04

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (\$)	COSTO (\$)
Instalación Torres	8	\$ 150,00	\$ 1.200,00
Instalación Proyectores	58	\$ 60,00	\$ 3.480,00
SUBTOTAL INSTALACIONES			\$ 4.680,00

ANEXO 5.

TABLAS DE CÁLCULOS PARA COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL.

❖ PARA PROPUESTA 1.

COSTO DE ENERGÍA GENERADA		
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES
Generación máxima	8.760	horas/año
Corte por mantenimiento	24	horas/año
Venta de energía	8.736	horas/año
Potencia generada por el sistema FV	43	kW
Costo de 1 kwh	0,1	USD
COSTO TOTAL	37.564,80	USD/año

DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	MÓDULOS FV	INVERSORES	BATERÍAS	UNIDADES
Vida útil en horas	219.000	87.600	157.680	horas
Funcionamiento	8.736	8.736	8.736	horas/año
Vida útil en años	25,06	10,03	18,05	años
Inversión	26.807,06	14.395,77	91.280,74	USD
Instalación	2.680,71	1.439,58	9.128,07	USD
COSTO TOTAL	1.176,28	1.579,20	5.562,98	USD/año

❖ PARA PROPUESTA 2.

COSTO DE ENERGÍA GENERADA		
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES
Generación máxima	8.760	horas/año
Corte por mantenimiento	24	horas/año
Venta de energía	8736	horas/año
Potencia generada por el sistema FV	38,5	kW
Costo de 1 kwh	0,1	USD
COSTO TOTAL	33.633,60	USD/año

DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	MÓDULOS FV	INVERSORES	BATERÍAS	UNIDADES
Vida útil en horas	219.000	87.600	157.680	horas
Funcionamiento	8736	8.736	8.736	horas/año
Vida útil en años	25,06	10,03	18,05	años
Inversión	24.001,67	12.796,24	80.974,85	USD
Instalación	2.400,17	1.279,62	8.097,49	USD
COSTO TOTAL	1.053,18	1.403,73	4.934,91	USD/año