



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA DE AYUDAS VISUALES EN EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR, PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE REEMPLAZAR EL
SISTEMA DE ILUMINACIÓN HALÓGENO POR TECNOLOGÍA LED**

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

AUTORES: EDGAR PATRICIO CAJAMARCA AYAVACA
WILSON GEOVANNY ZHUMI LEÓN
TUTOR: ING. CARLOS ULICER PERALTA LÓPEZ, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edgar Patricio Cajamarca Ayavaca con documento de identificación N° 0107691248 y Wilson Geovanny Zhumi León con documento de identificación 0105401558; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 10 de abril del 2023

Atentamente,

Edgar Patricio Cajamarca Ayavaca

0107691248

Wilson Geovanny Zhumi León

0105401558

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Edgar Patricio Cajamarca Ayavaca con documento de identificación N° 0107691248 y Wilson Geovanny Zhumi León con documento de identificación 0105401558, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Estudio técnico del sistema de ayudas visuales en el aeropuerto Mariscal La Mar, para determinar la viabilidad de reemplazar el sistema de iluminación halógeno por tecnología LED”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 10 de abril del 2023

Atentamente,

Edgar Patricio Cajamarca Ayavaca

0107691248

Wilson Geovanny Zhumi León

0105401558

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Ulicer Peralta López con documento de identificación N° 0103112561, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA DE AYUDAS VISUALES EN EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR, PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE REEMPLAZAR EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN HALÓGENO POR TECNOLOGÍA LED, realizado por Edgar Patricio Cajamarca Ayavaca con documento de identificación N° 0107691248 y por Wilson Geovanny Zhumi León con documento de identificación N° 0105401558, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 10 de abril del 2023

Atentamente,



Ing. Carlos Ulicer Peralta López, MSc.
0103112561

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo titulación se ha realizado con el apoyo del Aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca, en concreto agradecerle al Ingeniero Jhonathan Apráez, por la oportunidad, la paciencia, enseñanza, consejos y ayuda recibida para el desarrollo de nuestra tesis.

Al ingeniero Carlos Peralta, nuestro tutor, por su tiempo, dedicación, enseñanza, consejos y motivación en nuestro proyecto de tesis.

A todos nuestros compañeros que nos han acompañado en toda esta etapa de preparación.

Edgar Cajamarca y Wilson Zhumi

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a toda mi familia que han sido un pilar fundamental en mi vida, en especial a mis amados padres Leónidas y Fabiola, quienes me han sabido comprender las dificultades que he tenido y ser un gran ejemplo de lucha para mí y mi hermano.

Gracias por sus consejos, paciencia y amor. Gracias por el apoyo incondicional bajo cualquier circunstancia.

A mi abuelita que desde el cielo me brinda un lugar de paz, de tranquilidad y de cobijo, gracias por todos los gratos momentos que vivimos juntos, siempre te llevaré en mi corazón.

Edgar Cajamarca

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis queridos padres,
Sandra y Manuel, que fueron los pilares principales
para culminar mi carrera universitaria.

A mis amigos que me han brindado su apoyo en
momentos difíciles del transcurso de mi vida
y a mis compañeros que me brindaban su
apoyo en todo este trayecto académico.

A mis familiares que me han ayudado
y acompañado para poder conseguir
una meta más en mi vida.

Wilson Zhumi

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera especial a mi Dios a mis padres por haber confiado en mí a pesar de las adversidades que se presentaban, siempre estuvieron apoyándome y motivándome para nunca rendirme. Gracias por todo.

Edgar Cajamarca

Dedico este trabajo de manera especial a los mejores padres que pude haber tenido, por todo su apoyo, motivación y sobre todo su amor y la confianza que me han tenido a lo largo de mi vida.

Wilson Zhumi

Índice

1. CAPITULO 1	18
1.1. Introducción	18
1.2. Objetivos	19
1.3. Grupo Objetivo	20
1.4. Antecedentes	20
1.5. Metodología	22
1.6. Estado del Arte	23
1.6.1. Determinación de luminarias.....	24
1.6.2. Análisis de medición de tierra e impacto Ambiental.....	24
1.6.3. Análisis de calidad de energía.....	24
2. CAPÍTULO 2	26
2.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	26
2.2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS AYUDAS VISUALES DEL AERÓDROMO.....	26
2.3. SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES DEL AERÓDROMO.....	29
3. CAPÍTULO 3	75
3.1. EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICO DEL SISTEMA DE AYU- DAS VISUALES HALOGENA VS TECNOLOGÍA LED.....	75
3.2. ANÁLISIS LUMINOTÉCNICO CON BASE A LA NORMATIVA ICAO Y FAA.....	75
3.2.1. Sistema de iluminación borde de pista elevada (RWY).	76
3.2.2. Sistema de iluminación borde de pista empotrada (RWY).	76
3.2.3. Sistema de iluminación para umbral final empotrada (RWY).	77
3.2.4. Sistema de iluminación, calle de rodaje (TWY).	78
3.2.5. Sistema de iluminación identificación de pista (R.E.I.L.).	78
3.2.6. Sistema de iluminación, señalización vertical.	79
3.2.7. Sistema de iluminación marcadores de distancia.	80
3.2.8. Sistema de iluminación trayectoria de aproximación de precisión (P.A.P.I.).	81
3.2.9. Sistema de iluminación indicadores de viento.	82

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA LUMÍNICO LED CON EL PROGRAMA DIA-LUX	84
3.3.1. Programa DIALux evo 11.0	84
3.3.2. Magnitudes y Unidades Fotométricas	84
3.3.3. Diseño de iluminación con tecnología LED.....	85
3.3.4. Interpretación de resultados.....	94
3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL	98
3.4.1. Rentabilidad y la necesidad de reducir costos	99
3.4.2. Importancia de la evolución financiera	99
3.4.3. Parámetros financieros	101
3.4.4. Análisis económico para la alternativa de iluminación con tecnología LED.....	104
3.4.5. Plan de mantenimiento preventivo-correctivo y mano de obra para el sistema actual halógeno.....	104
3.4.6. Evaluación Económica para Luminarias del circuito RWY Elevada	110
3.4.7. Evaluación Económica para Luminarias del circuito RWY Empotrada de Borde	116
3.4.8. Evaluación Económica para Luminarias del circuito RWY del Umbral/Fin de pista Empotrado.....	119
3.4.9. Evaluación Económica para Luminarias del circuito TWY Elevada	122
3.4.10. Evaluación Económica para Luminarias del circuito R.E.I.L. tipo LED	125
3.4.11. Evaluación Económica para Luminarias del Circuito Marcador de Distancia tipo LED	128
3.4.12. Evaluación Económica para Luminarias del Circuito Señalización Vertical tipo LED	131
3.4.13. Evaluación Económica para Luminarias del Circuito Indicadores de Viento tipo LED	135
3.4.14. Evaluación Económica para el Sistema Indicador de Pendiente de Aproximación Visual de Precisión P.A.P.I. U24 tipo LED.....	138
3.4.15. Regulador de corriente constante (CCRs)	140
3.4.16. Resumen General.....	144
3.4.17. Huella Ecológica.....	145

4. CAPÍTULO 4

150

4.1.	ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL AERÓDROMO, MEDIANTE EL ANALIZADOR DE RED FLUKE 435	150
4.2.	TIPOS DE CARGAS.....	150
4.2.1.	CARGAS LINEALES Y NO LINEALES	150
4.3.	PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA	152
4.3.1.	Distorsión de forma de onda: ARMÓNICOS	153
4.3.2.	Fluctuaciones de tensión: FLICKER.....	153
4.4.	DESCRIPCIÓN DE LAS NORMATIVAS Y ESTÁNDARES PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA	154
4.4.1.	NORMA EN50160	154
4.4.2.	IEEE Std 145-2004.....	155
4.4.3.	NORMA IEC 61000430.....	156
4.4.4.	NORMA IEEE 1159	156
4.4.5.	ESTÁNDAR IEEE 519.....	158
4.5.	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO MEDIDOR DE CALIDAD DE ENERGÍA FLUKE 435	159
4.5.1.	Diagrama de conexión principal.....	160
4.5.2.	Programación y periodo de medición.....	162
4.6.	MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	163
4.6.1.	Primer análisis.....	164
4.6.2.	Segundo Análisis	177
5.	CAPÍTULO 5	188
5.1.	SISTEMA PUESTA A TIERRA	188
5.2.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA POR EL MÉTODO WENNER.....	191
5.3.	MEJORAMIENTO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	192
6.	CAPÍTULO 6	199
6.1.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	199
7.	ANEXO	208

Índice de figuras

1.	Ubicación de los umbrales 06 y 24. Fuente: https://n9.cl/mf7et	28
2.	Unidad RWY elevada. Fuente: Catálogo de atg airports.	30
3.	Ubicación de las luces de borde de pista elevadas. Fuente: Autores.	30
4.	Conexión de los circuitos RWY 1 y 2 al CCR. Fuente: [1].	31
5.	Unidad RWY empotrada. Fuente: Catálogo de ADB Safegate.	33
6.	Ubicación de las luces de borde de pista empotradas. Fuente: Autores.	34
7.	Dirección de la visibilidad del color blanco. Fuente: Autores.	34
8.	Dirección de la visibilidad del color ámbar. Fuente: Autores.	35
9.	Conexión de los circuitos RWY 1 y 2 al CCR. Fuente: [1].	35
10.	Unidad de umbral RWY. Fuente: Catálogo de atg airports.	38
11.	Ubicación de las luces de umbral de pista. Fuente: Autores.	38
12.	Identificación de umbral/final de pista RWY. Fuente: [2].	39
13.	Conexión de los circuitos RWY 1 y 2 al CCR. Fuente: [1].	40
14.	Unidad TWY. Fuente: Catálogo de atg airports.	43
15.	Ubicación de las luces TWY y las 4 calles de rodaje. Fuente: Autores.	43
16.	Conexión de los circuitos TWY 1 y 2 al CCR. Fuente: [1].	44
17.	Unidad R.E.I.L. Fuente: ADB Safegate.	46
18.	Ubicación de las luces R.E.I.L. en la pista. Fuente: [2].	47
19.	Letreros de señalización. Fuente: Catálogos de ADB Safegate.	50
20.	Marcadores de distancia. Fuente: Autores.	54
21.	UNIDAD P.A.P.I. Fuente: Catálogo de atg airports.	57
22.	Visualización de las luces P.A.P.I. Fuente: [2].	58
23.	Ubicación de los P.A.P.I.S. 06 y 24 en la pista. Fuente: Autores.	58
24.	Unidades de P.A.P.I. 06 y 24. Fuente: Autores.	59
25.	Unidades del cono de viento. Fuente: Catálogo de airport lighting company.	62
26.	Unidades del cono de viento. Fuente: Catálogo de airport lighting company.	62
27.	Cable de tierra sobre múltiples conductores Fuente: [1].	66
28.	Cable de tierra sobre múltiples conductores. Fuente: [1].	67
29.	Equipo CCR. Fuente: Catálogo de ADB Safegate.	68
30.	Equipos de regulación de corriente de 7.5 kVA. Fuente: Autores.	69
31.	Equipos de regulación de corriente de 4 kVA. Fuente: Autores.	70
32.	Equipos de regulación de corriente del RWY 1 de 15 kVA. Fuente: Autores.	71
33.	Equipos de regulación de corriente del RWY 2 de 20 kVA. Fuente: Autores.	72

34.	Equipos de regulación de corriente del de aproximación de 15 kVA. Fuente: Autores.	73
35.	Equipos de regulación de corriente del de señalización de 7.5 kVA. Fuente: Autores.	74
36.	Curva Polar Fotométrica. Fuente: https://n9.cl/f6mwy	85
37.	Luminancia (cd/m^2). Fuente: https://n9.cl/psi5	86
38.	Cantidad de Luminancia para Cono Viento de 100W. Fuente:Autores.....	95
39.	Cantidad de Luminancia para Cono Viento de 200W. Fuente:Autores.....	96
40.	Cantidad de Luminancia para el letrero de señalización de 150W. Fuente:Autores.	97
41.	Cantidad de Luminancia para el letrero de señalización de 200W. Fuente:Autores.	98
42.	Discontinuidad del Equipo R.E.I.L. Fuente: ADB Safegate.	127
43.	Discontinuidad del Equipo Marcadores de Distancia. Fuente: ADB Safegate	130
44.	Discontinuidad del Equipo Señalización Vertical Fuente: ADB Safegate	134
45.	Discontinuidad Equipo CCR. Fuente: ADB Safegate.	144
46.	Impacto de emisiones de CO_2 del aeródromo en un año (Actual-Proyectado). Fuente: Autores.	149
47.	Formas de ondas, carga lineal y no lineal. Fuente: E.P.S.....	151
48.	Resumen de las perturbaciones y soluciones. Fuente: Joseph S.-Terry H.	153
49.	Normativa EN50160. Fuente: CENELEC.....	155
50.	Normativa, IEEE Std 145-2004 Flicker. Fuente: IEC.	156
51.	Normativa, IEEE 1159. Fuente: IEEE.	157
52.	Estándar IEEE 519. Límites de distorsión de V y I para el sistema. Fuente: ESTÁNDAR IEEE 519.	158
53.	Equipo Medidor de Calidad de Energía Fluke 435. Fuente: Autores.	160
54.	Conexión del Equipo FLUKE 435. Fuente: Autores.	161
55.	Diagrama Vectorial de Conexión. Fuente: Autores.	161
56.	Lectura de datos. Fuente: Autores.	163
57.	Curvas de Voltajes L1, L2, L3. Fuente: Autores.	165
58.	Curvas de Corrientes L1, L2, L3. Fuente: Autores.....	166
59.	Curvas de Corrientes L1, L2, L3. Fuente: Autores.....	167
60.	Potencias Activa, Aparente y Reactiva. Fuente: Autores.....	168
61.	Factor de Potencia. Fuente: Autores.....	171
62.	Unidad de Corrección Fp. Fuente:John Ware Power factor.	172

63.	Análisis de la frecuencia del sistema. Fuente: Autores.....	174
64.	Límites máximos de armónicos THD %. Fuente: Regulación 002/20.	175
65.	Armónicos THD Evolución en el Tiempo. Fuente: Autores.	176
66.	Histograma Armónicos THD. Fuente: Autores.....	177
67.	Curvas de Voltajes L1, L2, L3. Fuente: Autores.	179
68.	Curvas de Corrientes L1, L2, L3. Fuente: Autores.....	180
69.	Curva de Corrientes Pico L1, L2, L3. Fuente: Autores.....	181
70.	Curvas de Potencias Activa, Aparente y Reactiva para L1, L2, L3. Fuente: Autores.	182
71.	Factor de Potencia para L1, L2, L3. Fuente: Autores.....	183
72.	Perturbación Flicker. Fuente: Autores.	185
73.	Frecuencia del Sistema. Fuente: Autores.	186
74.	Análisis del THD del sistema eléctrico. Fuente: Autores.	187
75.	Circuito de serie puesta a tierra. Fuente: [3].....	189
76.	Esquema de montaje por el Método de Wenner. Fuente: [4].	191
77.	Visualización de la simulación de aeródromo. Fuente: Autores.	208
78.	Visualización de la simulación de aeródromo. Fuente: Autores.	209
79.	Visualización de la simulación de aeródromo. Fuente: Autores.	210
80.	Visualización de la simulación de aeródromo. Fuente: Autores.	210
81.	Curva vectorial para el análisis de señales con carga. Fuente: Autores.....	211
82.	Señales de voltajes con carga. Fuente: Autores.	211
83.	Señales de corrientes con carga. Fuente: Autores.....	212
84.	Señal de voltaje y corriente para la línea L1 con carga. Fuente: Autores.	212
85.	Señal de voltaje y corriente para la línea L3 con carga. Fuente: Autores.	213
86.	Corriente y voltaje al neutro con carga. Fuente: Autores.	213
87.	Curva Vectorial sin carga. Fuente: Autores	214
88.	Señal de voltaje sin carga. Fuente: Autores.....	214
89.	Señal de corriente sin carga. Fuente: Autores.....	215
90.	Señal de voltaje y corriente para la línea L1 sin carga. Fuente: Autores.	215
91.	Señal de voltaje y corriente para la línea L3 sin carga. Fuente: Autores.	216
92.	Corriente y voltaje al neutro sin carga. Fuente: Autores.	216

Índice de tablas

1.	Características de la unidad RWY elevada. Fuente: Autores.	76
2.	Características de la unidad RWY empotrada. Fuente: Autores.	77
3.	Características de la unidad umbral RWY empotrada. Fuente: Autores.	77
4.	Características de la unidad TWY. Fuente: Autores.	78
5.	Características de la unidad R.E.I.L. Fuente: Autores.	79
6.	Características de la señalización vertical. Fuente: Autores.	80
7.	Características de los marcadores de distancia. Fuente: Autores.	81
8.	Características de la unidad P.A.P.I. 24. Fuente: Autores.	82
9.	Características de la unidad cono de viento Fuente: Autores.	83
10.	Comparación entre curvas fotométricas simuladas en DIALux vs Datos fotométricos por Normas. Fuente: Autores.	87
11.	Cambio de Sockets para balizas RWY Sistema Halógeno. Fuente: Autores	106
12.	Costo, Mantenimiento Preventivo-Correctivo y Mano de Obra (Sistema Actual). Fuente: Autores.	108
13.	Costo, Mantenimiento Preventivo y Mano de Obra (Sistema Proyectado). Fuente: Autores.	109
14.	Unidad RWY Elevado. Fuente: Autores.	111
15.	Unidad RWY de borde tipo LED. Fuente: Autores.	116
16.	Indicadores financieros unidad RWY de Borde. Fuente: Autores.	117
17.	Unidad RWY de Umbral/Fin de pista tipo LED Fuente: Autores.	119
18.	Indicadores financieros Unidad RWY del Umbral. Fuente: Autores.	120
19.	Unidad TWY elevada. Fuente: Autores.	122
20.	Indicadores financieros unidad TWY Fuente: Autores.	123
21.	Equipo R.E.I.L. Fuente: Autores.	125
22.	Indicadores financieros unidad R.E.I.L Fuente: Autores.	126
23.	Marcadores de Distancia tipo LED. Fuente: Autores.	128
24.	Indicadores Financieros Unidad Marcador de Distancia Fuente: Autores	129
25.	Señalización Vertical tipo Led. Fuente: Autores.	131
26.	SEÑALIZACIÓN VERTICAL. Fuente: Autores.	132
27.	Calculo Financiera para Señalización Vertical Fuente: Autores.	133
28.	Indicadores de viento. Fuente: Autores.	135
29.	Cálculo Financiero de Equipo Indicador de viento. Fuente: Autores.	136
30.	Unidad P.A.P.I. U24. Fuente: Autores.	138

31.	Cálculo Financiero para el Sistema P.A.P.I. Fuente: Autores	139
32.	Grupo CCR RWY 1 y CCR RWY 2 Fuente: Autores.....	141
33.	Grupo CCR RWY 1 y CCR RWY 2 Fuente: Autores.....	142
34.	Cuadro Comparativo Fuente: Autores	144
35.	Cálculo de emisiones de CO_2 actual. Fuente: Autores.	147
36.	Cálculo de emisiones de CO_2 proyectado. Fuente: Autores.	148
37.	Emisiones de CO_2 por consumo eléctrico. Fuente: Autores.....	148
38.	Muestra de Datos para las Potencias. Fuente: Autores.....	169
39.	Promedio de datos para la L2. Fuente: Autores.	171
40.	Promedio de la resistividad y resistencia del suelo. Fuente: Autores.	192
41.	TIPOS DE MATERIALES DE RELLENO. Fuente: [5].....	194
42.	Resistividad y Resistencia del suelo. Fuente: [6].	195
43.	Resistividad y Resistencia del suelo. Fuente: [6].	196
44.	Resistividad y Resistencia del suelo. Fuente: [6].	197
45.	Resistividad y Resistencia del suelo. Fuente: [6].	198

GLOSARIO

CORPAC: Corporación Aeroportuaria de Cuenca.

ICAO: Organización de aviación civil internacional.

FAA: Administración federal de aviación

RUNWAY (RWY): Pista.

TAXIWAY (TWY): Calle de rodaje.

P.A.P.I.: Sistemas indicadores de precisión de la trayectoria de aproximación.

R.E.I.L.: Especificación para equipos de luz intermitente de descarga.

CCR: Reguladores de corriente constante.

VAN: El valor actual neto.

TIR: Tasa interna de rentabilidad.

RBC: Relación beneficio costo.

PRS: Periodo simple de pago.

PV: Fotovoltaico/a.

CC: corriente continua.

CA: corriente alterna.

1. CAPITULO 1

1.1. Introducción

El siguiente trabajo de titulación se realizó con el apoyo del área de la Corporación Aeroportuaria de Cuenca (CORPAC), los cuales nos facilitaron el ingreso a las instalaciones, pista y área de operaciones que son utilizados por el aeropuerto Mariscal La Mar, de este modo se recopiló todos los datos posibles y las características de los equipos del sistema de ayudas visuales.

El análisis económico está idealmente dirigido y es necesario para la toma de decisiones en un proyecto nuevo, ya que, por un lado, esto plica costos y por otro, permite la obtención de beneficios, tales beneficios que se producirán a lo largo del tiempo. De esta manera se analiza varios factores financieros que intervienen en el análisis y que permitirán comprender y evaluar la factibilidad del proyecto, así también se analiza el consumo de energía eléctrica que actualmente genera el sistema halógeno, como también los demás parámetros como costos de reparación, costos de operación y mantenimiento, a través de ello se realiza una comparación frente al sistema proyectado de iluminación con tecnología LED. Para la determinación de rentabilidad se ocupa parámetros financieros principales como: VAN, TIR, RBC, etc. Mismos que aceptaran o rechazaran el proyecto de inversión, esto estará, bajo la dependencia de la utilidad que el proyecto brinde hacia el futuro, frente a los ingresos, ahorros, tasa de interés, etc. El análisis de consumo eléctrico actual, como el sistema proyectado, será de utilidad para realizar el análisis de la huella ecológica, cuya sección será de utilidad para la obtención de la licencia ambiental que busca la CORPAC.

La elección de los nuevos equipos con Tecnología LED se realiza a partir de Normas ICAO y FAA principalmente, estas normas involucran tanto a las luminarias (fuentes de luz), como también, hacia los equipos complementarios como, transformadores de aislamiento, bases, conectores, etc. Un enfoque visual se representa bajo el programa DIALux, el cual, brinda una perspectiva del nuevo proyecto finalizado, para ello fundamentalmente se basa en parámetros lumínicos de Intensidad Luminosa y Luminancia.

A través de mediciones en campo, se determina la calidad de energía eléctrica para el sistema de ayudas visuales, donde se revisa las perturbaciones eléctricas que pueden afectar las condiciones de suministro y causar fallas o daños en los equipos y otros procesos. Además, se realiza el análisis de puesta a tierra, quien se fundamenta bajo el Manual de Diseño del Aeródromo, parte 5, donde indica que, el área del aeródromo debe contar con valores de resistencia a tierra máximos entre 6-25 ohmios [1]. Estas dos últimas partes de la investigación es esencial, ya que permite analizar casos reales y dar soluciones aplicadas para mitigar y/o eliminar tales efectos. Este análisis hará frente a: mantenimiento de equipos, normalización, diseño, programas de medición y evaluación, capacitación del personal, etc.

1.2. Objetivos

Objetivo General

- Analizar, calcular y diseñar el sistema de ayudas visuales para el aeropuerto Mariscal La Mar con tecnología *LED*, con la finalidad de optimizar costos monetarios, desde mantenimientos correctivos y preventivos, a más, de aportar en la huella verde.

Objetivos Específicos

- Recopilación de datos e información del sistema actual, con el propósito de determinar el consumo de energía eléctrica y oportunidades de mejora.
- Rediseñar el sistema de iluminación del aeródromo con la ayuda del programa AutoCAD, utilizando las especificaciones técnicas sobre la implementación de un sistema de ayudas visuales con tecnología *LED*, con la finalidad de actualizar el sistema que ya mantiene aproximadamente 20 años de operatividad y es un riesgo para las operaciones diarias del aeródromo. Además, medir la resistividad del suelo con el propósito de garantizar la implementación de equipos electrónicos como lo son las luminarias *LED*.

- Analizar los gastos de operación, mantenimiento y reparación que tiene actualmente el sistema de iluminación halógeno con respecto a los indicadores económicos que tiene la tecnología *LED*.
- Análisis de la huella ecológica en el sistema de iluminación halógena y la tecnología *LED*, para demostrar los efectos nocivos que se presentan al momento de su fabricación, operación y desecho.

1.3. Grupo Objetivo

El cambio de iluminación a tecnología *LED*, será una ayuda muy importante en la reducción de costos de operación y mantenimiento del aeropuerto Mariscal La Mar. Las aeronaves que utilizan estos sistemas incrementarán su seguridad y confiabilidad para la ayuda en las aproximaciones a la pista, luces (RWY, TWY, P.A.P.I., R.E.I.L., SEÑALIZACIÓN, INDICADORES DE VIENTO, APROX). La reducción del consumo eléctrico mejorará los índices económicos de la institución Corporación Aeroportuaria de Cuenca y será un aporte al desarrollo de ahorro energético que rige actualmente en los convenios de huella ecológica y reducción de carbono, además de ser un hito como proyecto de renovación total del sistema eléctrico de un aeropuerto a nivel nacional.

1.4. Antecedentes

El 4 de noviembre del 1920 el piloto italiano Elia Luit realizo el primer aterrizaje en la ciudad de Cuenca, el punto de partida se realizó desde Guayaquil hasta el campo de Jericó, ubicado en el sector de Narancay, desde aquella fecha, era unas pocas veces que los cuencanos llegaban a observar aeronaves sobre la ciudad de Cuenca. Las pocas aeronaves que llegan a la ciudad de Cuenca realizaban su aterrizaje en el campo de El tablón, ubicado en el sector de Machángara [7].

El 22 de julio de 1932 el piloto Cosme Renella realizó el vuelo del avión Ecuador oriundo de Latacunga y su ruta se realizó entre Latacunga-Cuenca-Loja-Guayaquil-Salinas-Manta-Quito. De tal manera que el 19 de agosto de 1932 se coordinó el retorno

del vuelo que se realizó en sentido inverso, en aquella ocasión el piloto Cesar Monge fue el encargado de pilotear la aeronave, pero este vuelo tuvo como resultado el estrellamiento en Manabí, donde el piloto Cesar Monge falleció y sus dos acompañantes resultaron heridos [7].

El 8 de julio de 1934 los pilotos Luis Mantilla y Cosme Renella realizaron los primeros vuelos directos desde Quito hasta la ciudad de Cuenca. El 25 de abril de 1941 la compañía Panagra inauguró la pista actual del aeropuerto Mariscal La Mar, considerando las operaciones aeronáuticas y servicio de control aéreo, el evento fue realizado con la presencia del aquel entonces presidente de la república, Carlos Alberto Arroyo delRío, junto con los ministros de gobierno Carlos Aguilar Vázquez y el vicepresidente de la compañía Panagra en latino América, Douglas Campwell, entre otros. El gobernador Julio Vinuesa y el jefe de la zona militar Agustín Albán Borja fueron los encargados de realizar la bienvenida al presidente y sus autoridades, donde la obra fue elogiada en el discurso inaugural que se realizó por medio del ministro de defensa [7].

El 24 de diciembre de 1940, la compañía norteamericana Panagra obtuvo el contrato por el decreto ejecutivo 138 para la construcción de la pista, donde dicha empresa ya había realizado obras similares en diferentes ciudades del Ecuador. El 27 de abril la compañía Panagra oficializo los vuelos comerciales entre la Ciudad de Cuenca y Guayaquil con un tiempo estimado de 45 minutos, y de Cuenca a Quito con una duración de 2 horas [7].

Actualmente, en los principales aeropuertos, las pistas de aterrizaje cuentan con sistemas de iluminación halógena, cada uno con un color de iluminación diferente. Estos sistemas de iluminación halógena tienen un importante consumo de energía eléctrica. Esto incrementa los gastos considerando costos elevados en las facturas emitidas por las empresas de distribución de energía eléctrica y representan un punto importante en la eficiencia energética del aeropuerto.

En el siguiente artículo [8], se estudia la posibilidad de modernizar y renovar el sistema de ayudas visuales, reemplazando las luminarias halógenas por LED,

únicamente en el sistema de TaxiWay [9]. Este trabajo permitió varias mejoras en cuanto a consumo eléctrico, al mantenimiento y la duración de vida útil del equipo, cuyo fin era obtener mayores ventajas en seguridad. De igual forma, se ve reflejada en el estudio del análisis técnico económico para el sistema de iluminación del Aeropuerto Internacional de Ciudad Sonora [10].

En el presente estudio se realizan tanto las propuestas de mejoramiento como el plan de recuperación de dicha inversión. De esta forma, el aeropuerto estará a la vanguardia en tecnología eléctrica de iluminación y fomentará una iniciativa de modelo para los demás aeropuertos del Ecuador, a más de las diferentes industrias, fábricas, mega parques, etc.

El diseño eléctrico del sistema de iluminación de la pista aeroportuaria deberá contemplar el cambio a luces *LED*, con las especificaciones y requerimientos exigidos por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), por sus siglas en inglés [11].

1.5. Metodología

El proyecto trata de analizar la factibilidad del cambio de iluminación halógena por tecnología LED para la pista del aeropuerto Mariscal La Mar, el cual se recurre a un diseño experimental, donde se analizarán los datos de consumo eléctrico obtenidos por el sistema actual, con respecto a los nuevos datos que se obtendrán con el sistema proyectado.

Para realizar esta investigación se utilizará el método científico cuantitativo, que tiene un enfoque en determinar las características eléctricas de las luminarias, como también la recolección y medición de datos, cuya finalidad es ser capaz de responder preguntas de investigación y mejorar la precisión de los datos analizados. Se aplicará el método sistemático utilizando programas que permitan simular los diferentes resultados que serán evaluados mediante normativas internacionales, así como las recomendaciones de los fabricantes. La técnica de recolección de datos que se utilizaran en la presente investigación será la observación. Para A. Hueso [12], una observación es un procedimiento por el cual se recoge información observable sobre un determinado

aspecto de interés y de acuerdo con un procedimiento establecido.

La técnica que se utilizará en el procesamiento será la descriptiva. De acuerdo, con Rendon [13], la estadística descriptiva es la rama de la matemática que formula recomendaciones de cómo resumir, de forma clara y sencilla, los datos de una investigación en cuadros, tablas, figuras o gráficos. El cual será de mucha utilidad para el análisis económico y ambiental, ya que estudia para varios equipos de iluminación.

1.6. Estado del Arte

Un aeropuerto de primer nivel es una de las infraestructuras clave para que una región esté conectada con el mundo. En primer lugar, es crucial para que una región atraiga sedes empresariales y servicios a las empresas, en segundo lugar, los aeropuertos son importantes para la consolidación de actividades innovadoras en la región, ya que se necesita del capital humano calificado para establecer conexiones rápidas con otros centros de conocimiento. Y, en tercer lugar, se necesitan ciudades de turismo y de recreación, los cuales se necesita de buena comunicación [14].

El aeropuerto Mariscal La Mar, cuenta con un sistema de iluminación halógeno deficiente para el sistema de ayudas visuales. Además, la mayoría de las luminarias son obsoletas, ya que, no pueden ser reemplazadas por una de las mismas características físicas y eléctricas, debido a que estos equipos ya no son comercializados en el mercado.

El análisis de viabilidad consiste en el reemplazo total del sistema eléctrico de iluminación, partiendo desde los equipos CCRs, cables, Sistema de control y monitoreo de iluminación de aeropuertos y las luminarias principales. Los cuales deberán estar sujetas a las exigencias impuestas por la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) y la Administración Federal de Aviación (FAA).

1.6.1. Determinación de luminarias

Con base en las normativas señaladas anteriormente, se identifica el tipo de luminaria a utilizarse, mismas que se presentan por catálogos, donde muestra los datos técnicos, principalmente valores fotométricos [15] como, intensidad luminosa y luminancia y que posteriormente se realiza una comparación de las curvas fotométricas de una luminaria similar al equipo de iluminación del aeródromo, entre las curvas emitidas por el programa Dialux evo y las curvas propuestas por normativas.

La intensidad luminosa de los equipos es manipulable, esto se realiza basándose a las condiciones ambientales que se presenta en ese momento y estas serán muy importantes, ya que, debido a un estudio, un piloto demora un tiempo aproximado de 2.5 segundos en desplazar la mirada de las referencias visuales exteriores a los instrumentos, lo cual representa una distancia de recorrido en ese punto con un tiempo de 150 metros. Por lo cual, en la medida de lo posible se sugiere que las ayudas visuales deberán proporcionar la máxima guía e información.

1.6.2. Análisis de medición de tierra e impacto Ambiental

El análisis de puesta a tierra contempla una parte fundamental de protección hacia los equipos y las personas, por lo tanto, este deberá cumplir con la exigencia dadas por las normas, ya que será parte fundamental para el respectivo dimensionamiento y diseño de puesta a tierra.

El objetivo del análisis del impacto ambiental será a través de los estudios por consumo eléctrico, tanto del sistema halógeno actual como el sistema eléctrico con tecnología LED, esto con el propósito de realizar un aporte más, para la obtención de la licencia ambiental del Aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca.

1.6.3. Análisis de calidad de energía

La medición de calidad de energía, durante el funcionamiento de ayudas visuales para el aeródromo, presenta cargas variables y no lineales de energía, tales efectos pueden

determinar la presencia de fallas, sobrecalentamiento en los cables, termomagnéticos, picos de voltajes, deformaciones de las ondas sinusoidales etc. Mismos que se deberán tomar en cuenta de estos inconvenientes que perjudican la calidad de energía en los sistemas eléctricos y se tratará de corregir [16]. La toma de muestras se realiza en el tablero de distribución secundario, tomando en cuenta las diferentes normativas como, Norma EN 50160, IEEE std 145-2014, IEC 61000430, IEEE 1159, entre otras. Se realiza el cumplimiento o no de datos obtenidos por el Fluke 435. Por ejemplo, para los niveles de voltaje cumplirá con un rango admisible de $\pm 10\%$, en cuanto a corrientes se verifica de acuerdo a los desbalances entre líneas, la frecuencia acorde a lo estipulado deberá tener una variación de $\pm 5\%$, el THD para voltajes cuenta con un valor máximo de $\pm 8\%$, etc. De acuerdo con lo indicado se realiza toma de decisiones para la respectiva mitigación o corrección en caso de no cumplir con lo establecido.

2. CAPÍTULO 2

2.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El transporte aéreo representa el eje básico de la movilización humana. Esto es insustituible por otros medios de transporte y por consiguiente un aeropuerto es de servicio público y privado, dotado de equipos e instalaciones adecuados para la operación de aeronaves. Las cuales están regidas en dos principales normas, Administración Federal de Aviación (FAA) y la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

La investigación propuesta en este proyecto se refiere a realizar un análisis de los perfiles típicos de demanda de energía eléctrica que consumen los equipos de ayudas visuales para la pista de aterrizaje, considerando que los equipos actualmente instalados son de iluminación mediante lámparas halógenas, las cuales serán reemplazadas por iluminación *LED*. Adicionalmente, se desea realizar una comparación entre estas dos tecnologías, para suministrar información en cuanto a la reducción de la demanda actual, que se obtendrá al reemplazarlos estos equipos. También se quieren evaluar los aspectos financieros que permitan determinar la rentabilidad del proyecto y poner de manifiesto los beneficios adicionales que se obtendrán con este cambio de luminarias, tales como reducción del mantenimiento, aumento de la eficiencia energética y de la vida útil de los equipos, entre otros. Todo esto permitirá expandir en el futuro la demanda por las ampliaciones y mejoras que se puedan realizar en el futuro.

2.2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LAS AYUDAS VISUALES DEL AERÓDROMO

El balizaje luminoso permite el apoyo visual al piloto de una aeronave para la aproximación, aterrizaje, despegue y movimientos en superficie, para ubicar hacia los terminales de los pasajeros o los depósitos de mantenimiento y revisión de las aeronaves, el cual requiere que estos equipos de iluminación entren en funcionamiento en cualquier momento o situación que se presente. Por lo tanto, regidos por la Organización de

Aviación Civil Internacional (ICAO), establece lo siguiente:

La intensidad de la iluminación de pista deberá ser adecuada para las condiciones mínimas de visibilidad y luz ambiente en que se trate de utilizar la pista y será compatible con las luces de la sección más próxima del sistema de iluminación de aproximación, cuando exista este último [17].

1. Luces de baja intensidad (BI) entre 2 y 100 cd.
2. Luces de media intensidad (MI) entre 100 y 2500 cd.
3. Luces de alta intensidad (HI) entre 2500 y 20000 cd.

Información del aeródromo El aeropuerto Mariscal La Mar es uno de los aeropuertos principales del país y está ubicado a 2532 m sobre el nivel del mar, la temperatura máxima es de aproximadamente 24 °C, con una orientación Nor-occidental y Sur-occidental de la provincia del Azuay, está ubicado a 12 minutos del centro de la ciudad de Cuenca, donde los vuelos locales a los principales aeropuertos del país son de 50 min desde Quito y 40 min desde Guayaquil.

El largo de la pista es de 1899 m con un ancho de 36 m, en la zona sur se encuentra el umbral 06 y en la zona norte el umbral 24 como se observa en la figura 1.

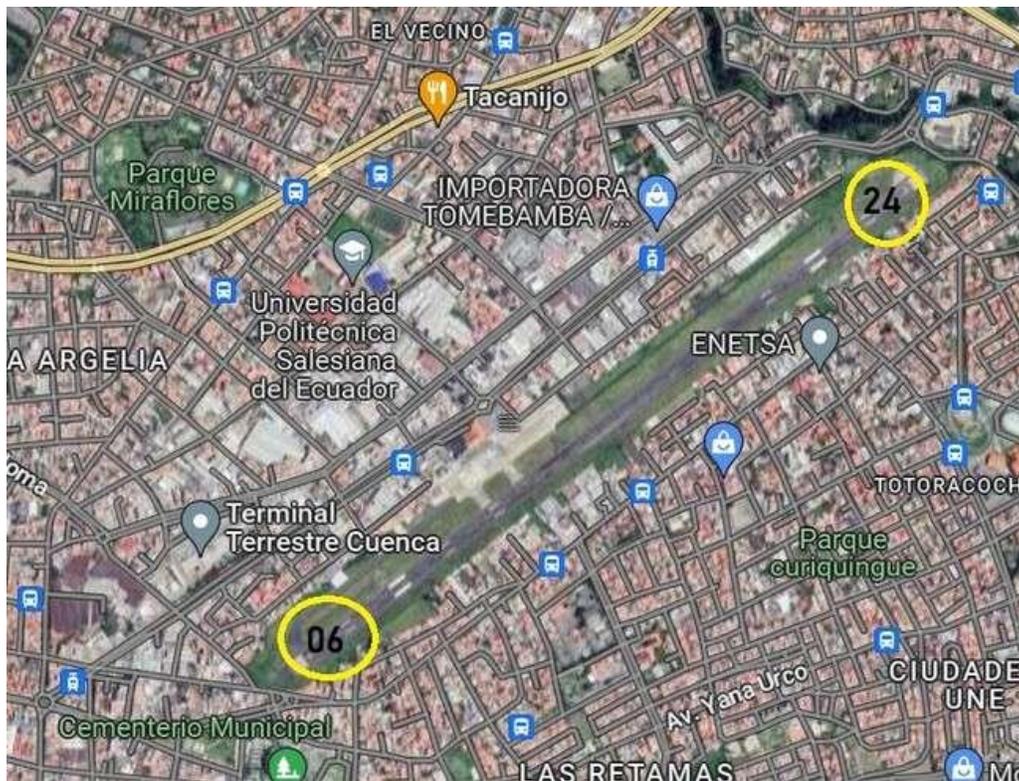


Figura 1: Ubicación de los umbrales 06 y 24.
Fuente: <https://n9.cl/mf7et>.

Características administrativas

- Datos del operador de aeródromo del aeropuerto Mariscal La Mar [18].
- Nombre del operador: Corporación Aeroportuaria de Cuenca (CORPAC) [18].
- Dirección: Av. España y Elia Liut. Aeropuerto Mariscal La Mar [18].
- Número telefónico: 07-2867120 / 07-2862095 [18].

2.3. SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES DEL AERÓDROMO

Para que un aeropuerto sea óptimo requiere que el aeródromo este acorde a las normativas de la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) [17], donde las cuales deben contar con los siguientes sistemas:

- Sistema de iluminación borde de pista elevada (RWY).
- Sistema de iluminación borde de pista empotrada (RWY).
- Sistema de iluminación para umbral final empotrada (RWY).
- Sistema de iluminación calle de rodaje (TWY).
- Sistema de iluminación identificación de pista (R.E.I.L.).
- Sistema de iluminación señalización vertical.
- Sistema de iluminación marcadores de distancia.
- Sistema de iluminación trayectoria de aproximación de precisión (P.A.P.I.).
- Sistema de iluminación indicadores de viento.

Sistema de iluminación borde de pista elevada (RWY)

Las luces de borde de pista elevadas son de color blanco, como se observa en la figura 2, estas deben ser visibles desde todos los ángulos de azimut (ángulo que forma el Norte y un cuerpo celeste) para orientar la dirección de los despegues y aterrizajes de las aeronaves [2].



Figura 2: Unidad RWY elevada.
Fuente: Catálogo de atg airports.

Las luces de borde de pista elevadas se encuentran instalados en dos filas paralelas, la distancia de instalación entre las luces será de 50 metros, donde estas se encuentran ubicadas a 700 metros aproximadamente desde el umbral 06 y a 600 metros aproximadamente del umbral 24, teniendo por el lado inferior de la pista 14 unidades y por la parte superior 11 unidades como se observan en la figura 3.

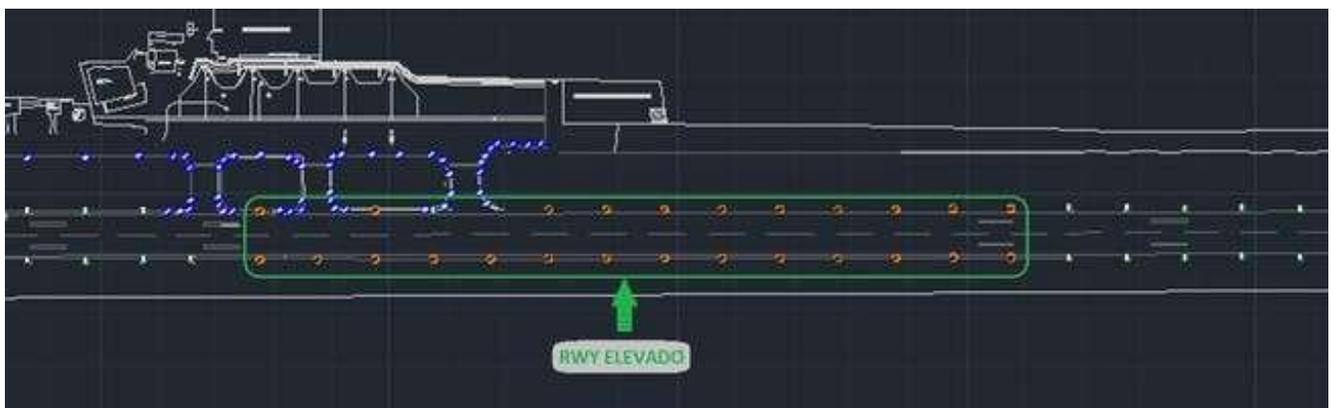


Figura 3: Ubicación de las luces de borde de pista elevadas.
Fuente: Autores.

Este sistema de iluminación constará de dos circuitos RWY 1 y RWY 2, cada uno

de estos circuitos tendrán su propio equipo regulador de corriente constante (CCR), del mismo modo, cada circuito estará conectado independientemente a 2 CCR para preservar la independencia entre el equipo conectado y su fuente de alimentación como se observa en la figura 4, esto para prevenir alguna falla en el circuito 1 y apoyarse con el circuito 2 en el sistema, si uno de los equipos se encuentra estropeado.

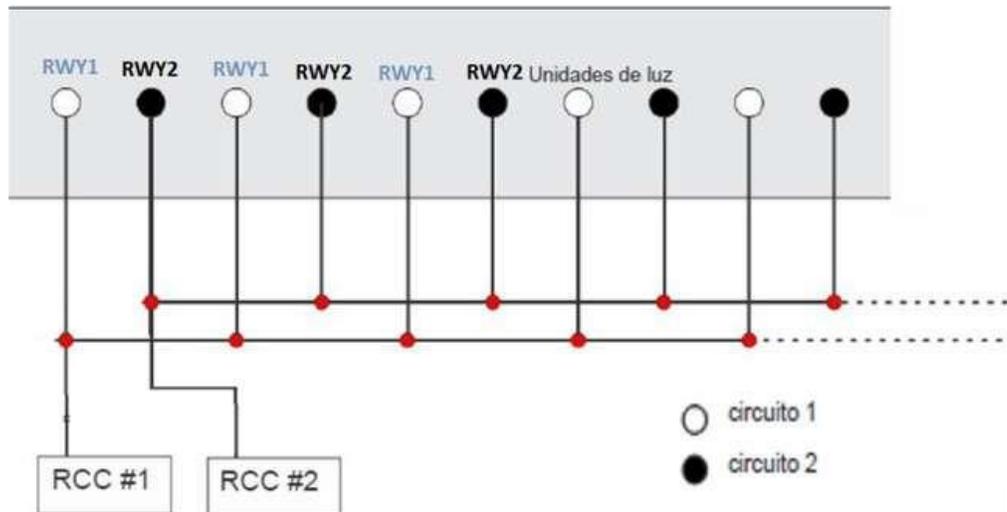


Figura 4: Conexión de los circuitos RWY 1 y 2 al CCR.
Fuente: [1].

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad RWY elevada, como son los siguientes:

- Unidad elevada LED Aplicación: Borde de Pista de Alta Intensidad. Normatividad: OACI y FAA L-862 (L) Modelo referencial: EREL2WW35M00002". Color Izquierdo: Blanco. Color Derecho: Blanco. Orientación lado izquierdo: 4.5°. Orientación lado derecho: 4.5°. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A 60Hz. Consumo eléctrico: 33 VA. Prestación de Monitoreo: Sí. Cople Frangible: 2.^a 11.5TPI. Altura total de la lámpara: 14"(35.6 cm).
- Base Universal para lámpara elevada.

Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20". Salidas: 0° y 180°.
Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado referencia ASTM-A123/A123M-02.

- Plato base.

Aplicación: Para instalar lámparas elevadas.

Base Universal compatible: L-867B Diámetro: 12". Diámetro del Cople Frangible: 2". Color: Amarillo de Aviación. Material: Acero. Accesorios adicionales: Incluye empaque de neopreno de 12"de diámetro.

- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.

Especificación FAA: L-830/1.

Potencia: 30/45W.

Relación de transformación: 6.6A/6.6A.

Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.

Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

Operación nominal: 24A a 5,000VRMS.

- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.

Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito en serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Sistema de iluminación borde de pista empotrada (RWY).

Las luces de borde de pista empotrada son de forma circular como se observa en la figura 5, estas deben ser visibles desde todos los ángulos de azimut (ángulo que forma el Norte y un cuerpo celeste) para orientar la dirección de los despegues y aterrizajes [2].



Figura 5: Unidad RWY empotrada.
Fuente: Catálogo de ADB Safegate.

Las luces de borde de pista empotradas se encuentran instalados en dos filas paralelas, la distancia de instalación entre las luces será de 50 metros, donde estas se encuentran ubicadas desde el inicio del umbral 06 hasta unos 700 metros aproximadamente y desde el inicio del umbral 24 hasta unos 600 metros aproximadamente, teniendo por el lado inferior de la pista 22 unidades y por la parte superior 22 unidades como se observan en la figura.



Figura 6: Ubicación de las luces de borde de pista empotradas.
Fuente: Autores.

Esta unidad cuenta con dos sentidos de iluminación:

El color blanco será visible al ingresar a la pista en la dirección de umbral 06 al umbral 24, desde el inicio de la pista hasta donde empiezan los RWY elevados. Del mismo modo, este color será visible al ingresar a la pista en la dirección del umbral 24 al umbral 06, desde el inicio de la pista hasta donde empiezan los RWY elevados, como se observa en la figura 7.

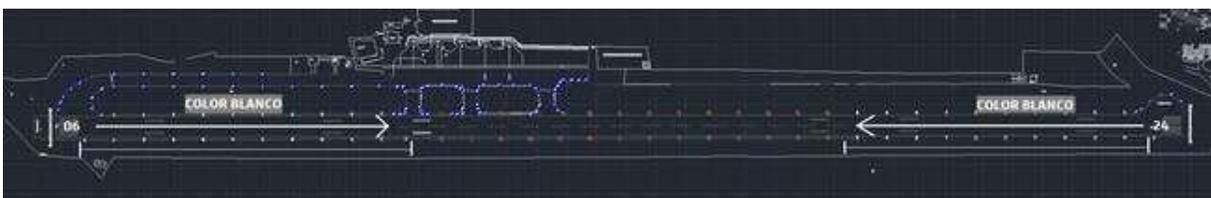


Figura 7: Dirección de la visibilidad del color blanco.
Fuente: Autores.

El color ámbar será visible al momento del despegue de la aeronave desde el umbral 24 o 06, esto depende de la dirección en la que vaya a despegar la aeronave, como se observa en la figura 8.

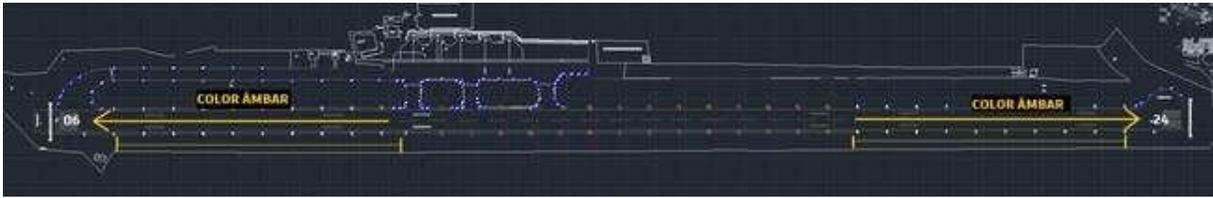


Figura 8: Dirección de la visibilidad del color ámbar.
Fuente: Autores.

Este sistema de iluminación constará de dos circuitos RWY 1 y RWY 2, cada uno de estos circuitos tendrán su propio equipo regulador de corriente constante (CCR), del mismo modo, cada circuito estarán conectados independientemente a 2 CCR para preservar la independencia entre el equipo conectado y su fuente de alimentación como se observa en la figura 9, esto para prevenir alguna falla en el circuito 1 y apoyarse con el circuito 2 en el sistema, si uno de los equipos se encuentra estropeado.

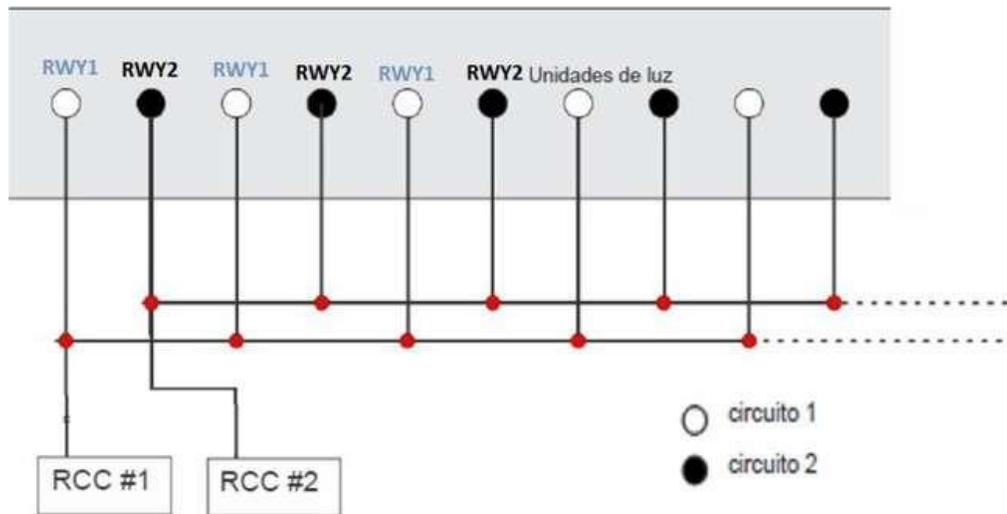


Figura 9: Conexión de los circuitos RWY 1 y 2 al CCR.
Fuente: [1].

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad RWY empotrada, como son los siguientes:

- 22 unidades rasantes LED. Especificación FAA: L-850C (L). Aplicación: Borde

de pista. Modelo: "IREL-L". Color/orientación de LEDs Lado (1): Blanco a la Izquierda. Color/orientación de LED Lado (2): Ámbar a la derecha. Consumo eléctrico: 36 VA. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz. Número de conectores secundarios: UNO (1). Montaje en base universal: L-868B de 12".

- 22 unidades rasantes LED. Especificación FAA: L-850C (L). Aplicación: Borde de pista. Modelo: "IREL-L". Color/orientación de LEDs Lado (1): Ámbar a la izquierda. Color/orientación de LED lado (2): Blanco a la derecha. Consumo eléctrico: 36 VA. Alimentación eléctrica: 2.8A- 6.6A @ 60Hz. Número de conectores secundarios: UNO (1). Montaje en base universal: L-868B de 12".

- Base Universal para lámpara rasante.

Especificación FAA: L-868 Clase 1B Diámetro: 12"(B) Altura: 20".

Salidas: 0° y 180°.

Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado ASTM- A123/A123M-02.

- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.

Especificación FAA: L-830/3.

Potencia: 65W.

Relación de transformación: 6.6A/6.6A.

Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.

Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

Operación nominal: 24A a 5,000VRMS.

- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.

Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mí-

nimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Sistema de iluminación para umbral final empotrada (RWY).

Las luces de umbral final empotrada son de forma circular como se observa en la figura 10, estas se ubican en los extremos de las pistas en los umbrales 06-24 y deben estar colocadas perpendicularmente al eje de la pista.



Figura 10: Unidad de umbral RWY.
Fuente: Catálogo de atg airports.

Las luces de umbral de pista empotradas se encuentran instalados a los dos extremos de la pista, la distancia de instalación entre las luces será de 3 metros, donde estas se encuentran ubicadas en el umbral 06 y en el umbral 24, teniendo por cada uno de los lados de la pista 16 unidades, como se observan en la figura 11.

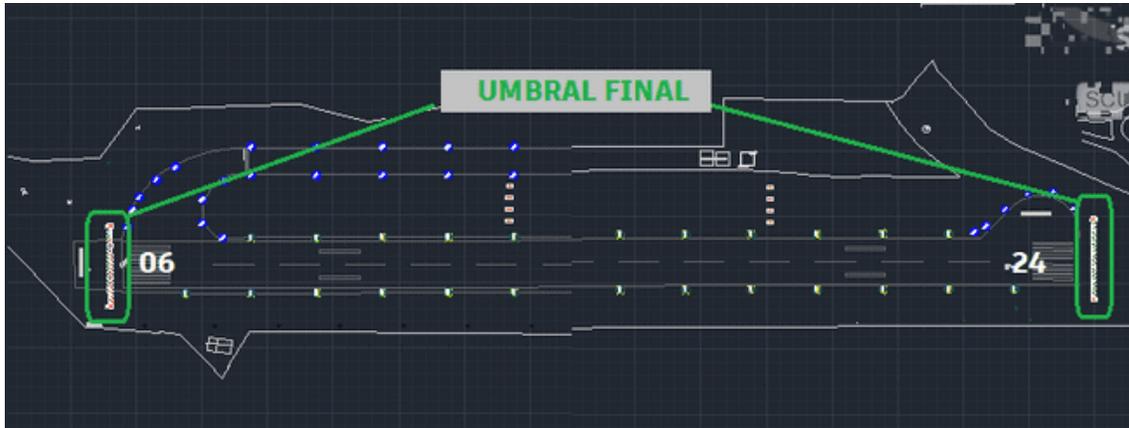


Figura 11: Ubicación de las luces de umbral de pista.
Fuente: Autores.

Esta unidad cuenta con dos sentidos de iluminación:

- El color verde será visible e indicará el inicio del umbral (aproximación) para el aterrizaje y será visible para las dos direcciones que se aproxime la aeronave 12.

- El color rojo determinará el final de la pista y será visible para las dos direcciones en la que vaya a despegar la aeronave 12.

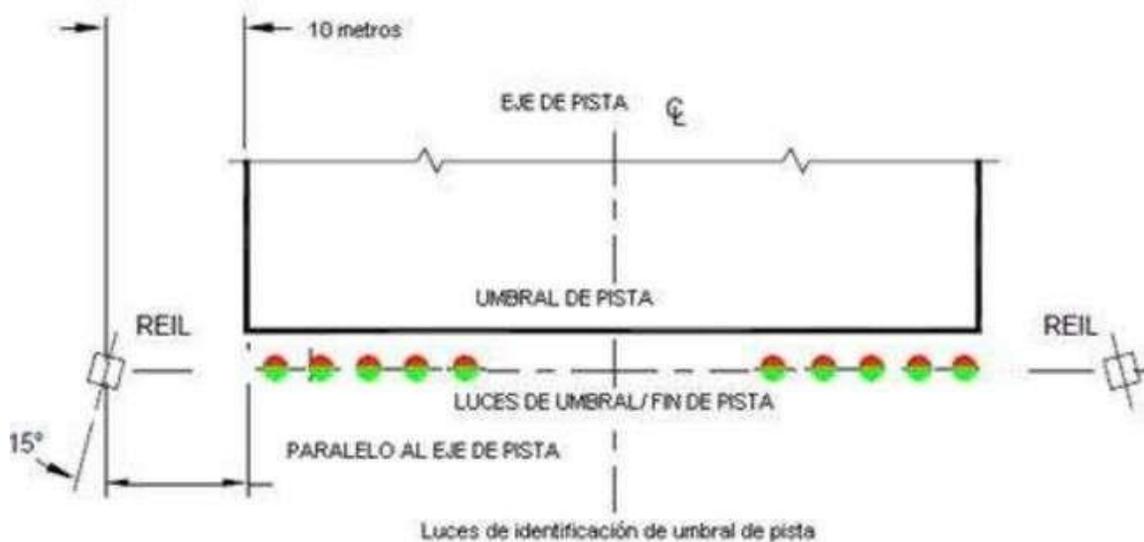


Figura 12: Identificación de umbral/final de pista RWY.

Fuente: [2]

Este sistema de iluminación constará de dos circuitos RWY 1 y RWY 2, cada uno de estos circuitos tendrán su propio equipo regulador de corriente constante (CCR), del mismo modo, cada circuito estarán conectados independientemente a 2 CCR para preservar la independencia entre el equipo conectado y su fuente de alimentación como se observa en la figura 13, esto para prevenir alguna falla en el circuito 1 y apoyarse con el circuito 2 en el sistema, si uno de los equipos se encuentra estropeado.

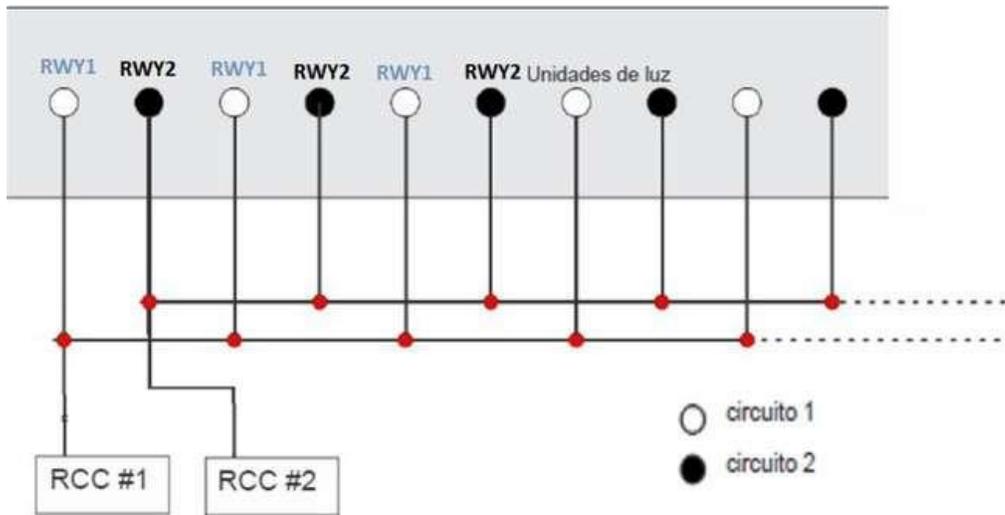


Figura 13: Conexión de los circuitos RWY 1 y 2 al CCR.

Fuente: [1].

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad de umbral RWY, como son los siguientes:

- 16 unidades rasantes LED. Especificación FAA: L-850D (L). Aplicación: Umbral/Final de Pista. Modelo: "IREL-L". Color/Orientación de LEDs Lado (1): Rojo Recto. Color/Orientación de LED Lado (2): Verde a la Derecha. Consumo eléctrico: 36 VA. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz. Número de Conectores Secundarios: UNO (1). Montaje en Base Universal: L-868B de 12"
- 16 unidades rasantes LED. Especificación FAA: L-850D (L). Aplicación: Umbral/Final de Pista. Modelo: "IREL-L". Color/Orientación de LEDs Lado (1): Verde a la Izquierda. Color/Orientación de LED Lado (2): Rojo Recto. Consumo eléctrico: 36 VA. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz. Número de Conectores Secundarios: UNO (1). Montaje en Base Universal: L-868B de 12".
- Base Universal para lámpara rasante.
Especificación FAA: L-868 Clase 1B Diámetro: 12"(B) Altura: 20".

Salidas: 0° y 180°.

Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado ASTM- A123/A123M-02.

- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.

Especificación FAA: L-830/3.

Potencia: 65W.

Relación de transformación: 6.6A/6.6A.

Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.

Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1)

Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

Operación nominal: 24A a 5,000VRMS.

- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.

Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de

uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Sistema de iluminación calle de rodaje (TWY).

Las luces de calle de rodaje son de color azul, como se observa en la figura 14, deben ser visibles desde todos los ángulos para la iluminación de las vías definidas en un aeródromo terrestre, donde han sido establecidos para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo [2]:

- Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronave.
- Calle de rodaje en la plataforma.
- Calle de salida rápida.

Cuando se disponga, las balizas de borde de calle de rodaje deben ser de color azul retro-reflectante. Las balizas de borde de calle de rodaje deben ser frangibles y su altura debe ser tan escasa que puedan franquearla las hélices y las góndolas de los motores de aeronaves a reacción [2].



Figura 14: Unidad TWY.
Fuente: Catálogo de atg airports.

Se dispone de 4 calles de rodaje Alfa (A), Bravo (B), Charlie (C) y Delta (D), en cuyos bordes se ubican luces elevadas de color azul de estructura frangible (Objeto de poca masa diseñado para quebrarse, deformarse o ceder al impacto, de manera que represente un peligro mínimo para las aeronaves) [18]. Las cuales están direccionadas a los estacionamientos de las aeronaves, rodaje de plataforma, salida y llegada de las aeronaves de la pista, teniendo un total de 88 unidades en todas las calles, como se observa en la figura 15.

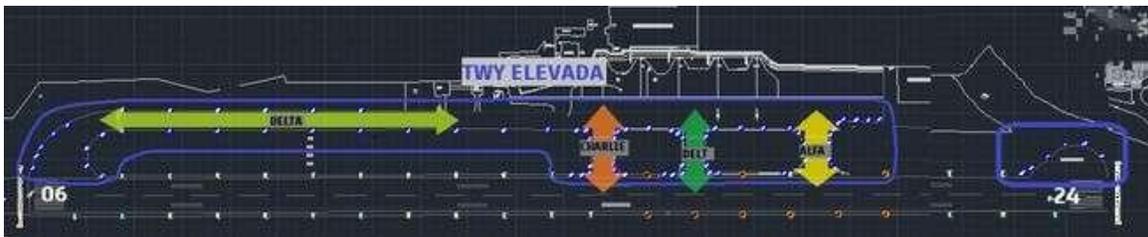


Figura 15: Ubicación de las luces TWY y las 4 calles de rodaje.
Fuente: Autores.

Este sistema de iluminación constará de dos circuitos RWY 1 y RWY 2, cada uno

de estos circuitos tendrán su propio equipo regulador de corriente constante (CCR), del mismo modo, cada circuito estará conectado independientemente a 2 CCR para preservar la independencia entre el equipo conectado y su fuente de alimentación como se observa en la figura 16, esto para prevenir alguna falla en el circuito 1 y apoyarse con el circuito 2 en el sistema, si uno de los equipos se encuentra estropeado.

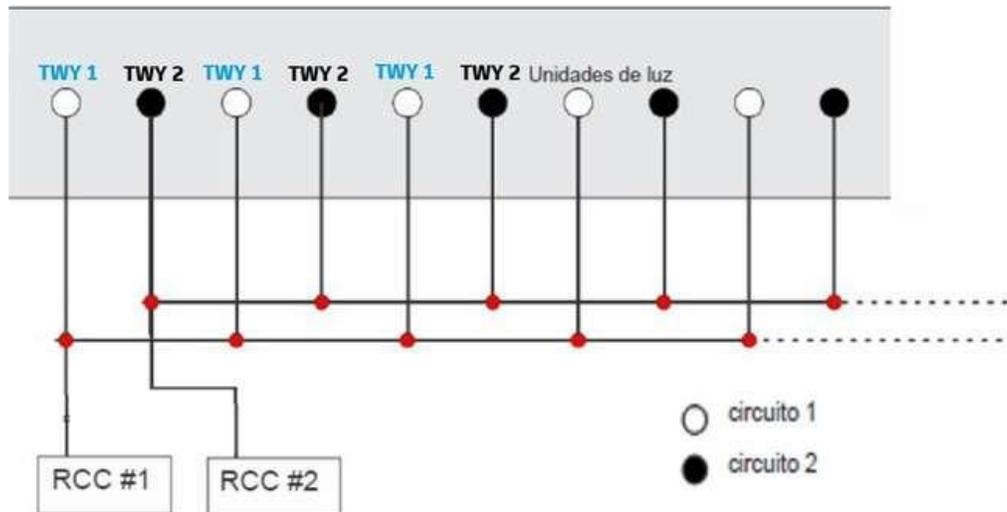


Figura 16: Conexión de los circuitos TWY 1 y 2 al CCR.
Fuente: [1].

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad TWY, como son los siguientes:

- Unidad elevada LED. Normatividad Aplicable: FAA y OACI. Especificación FAA: L-861T (L). Modelo: E T E S ". Aplicación: Borde de Calle de Rodaje. Color LED: Azul. Consumo eléctrico: 12 VA Material de Globo Exterior: Cristal Azul. Cople Frangible: 1.5", 12TPI. Altura total: 14"
- Base Universal para lámpara elevada. Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20". Salidas: 0° y 180° Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado ASTM- A123/A123M-02

- Plato base. Aplicación: Para instalar lámparas elevadas. Base Universal compatible: L-867B Diámetro: 12". Diámetro del Cople Frangible: 2". Color: Amarillo de Aviación. Material: Acero. Accesorios adicionales: Incluye empaque de neopreno de 12" de diámetro.
- Transformador de aislamiento para ayudas visuales. Especificación FAA: L-830/17. Potencia: 20/25W. Relación de transformación: 6.6A/6.6A. Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7. Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.
- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra. Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos. Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10). Calibre del conductor de cobre: 8 AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5 mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295"). Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.
- Manga termocontráctil. Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos. Longitud: 16". Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3". Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga
- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²). El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.
- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²). El diámetro

exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo

Sistema de iluminación identificación de pista (R.E.I.L.).

Las luces de identificación de pista son en forma de cuadrado con una luz junto a ella, como se observa en la figura 17, deben ser luces fijas unidireccionales de color blanco variable, alineadas de modo que sean visibles para el piloto de una aeronave que aterriza en la dirección de aproximación a la pista y deben tener una frecuencia de destellos de 60 a 120 por minuto [2].



Figura 17: Unidad R.E.I.L.
Fuente: ADB Safegate.

Existen 4 unidades de luces de identificación de pista en el aeródromo, distribuidos 2 luces en cada uno de los umbrales 06 y 24, donde se encuentran alineadas a 3 metros desde el borde de pista y paralela a la última baliza de umbral final, como se observan en la figura 18, en esta unidad se debe considerar una inclinación del equipo, 5° vertical y 0° horizontal, mismo que debe estar sujeto al suelo fijo.

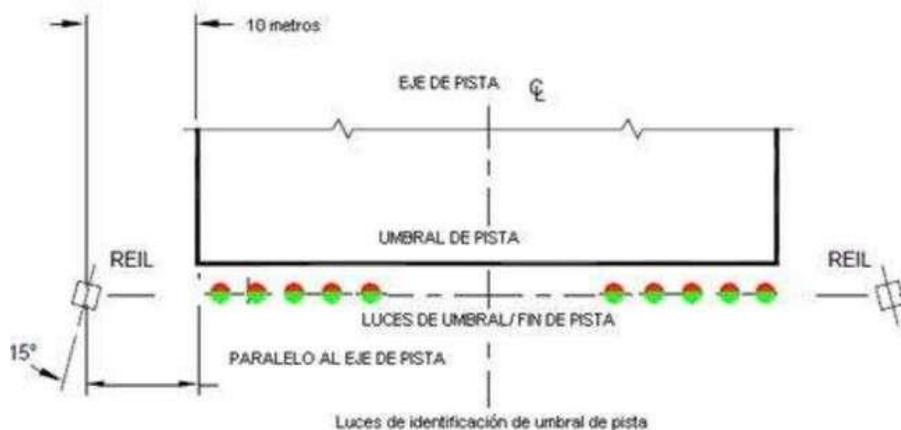


Figura 18: Ubicación de las luces R.E.I.L. en la pista.

Fuente: [2]

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad identificación de pista (R.E.I.L.), como son los siguientes:

- Sistema dual de lámparas elevadas de identificación de final de pista. Aplicación: Sistema de identificación de final de pista (R.E.I.L.). Normatividad FAA aplicable: L-849 (L). Estilo FAA: Estilo E (3 niveles de brillo). Corriente de operación: 2.8A a 6.6A / 60Hz. Consumo eléctrico: 161VA pico cada unidad. Frecuencia de Destello: 120 fpm sincronizados. Rango de ajuste de nivelación: 0° a 15° Vertical y +/- 15° Horizontal. Montaje: Una (1) pata. Modo de operación: Local, remoto y autónomo (opción de monitoreo de corriente). Monitoreo de corriente: Sí.
- Base Universal para lámpara elevada.
 Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20".
 Salidas: 0° y 180°.
 Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado referencia ASTM-A123/A123M-02.
- Plato base.

Aplicación: Para instalar lámparas elevadas.

Base Universal compatible: L-867B Diámetro: 12". Diámetro del Cople Frangible: 2". Color: Amarillo de Aviación. Material: Acero. Accesorios adicionales: Incluye empaque de neopreno de 12" de diámetro.

- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.

Aplicación: Aislar eléctricamente el circuito primario del secundario en un circuito serie.

Especificación FAA: L-830/4.

Potencia: 100W.

Relación de transformación: 6.6A/6.6A.

Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.

Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1)

Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.

Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Sistema de iluminación señalización vertical.

Se debe proporcionar letreros en formas rectangulares, como se observa en la figura 19, esto para indicar una instrucción obligatoria, una información sobre un emplazamiento o destino particular en el área de movimiento o para suministrar otra información a fin de satisfacer los requisitos en el aeródromo del sistema de guía y control del movimiento en la superficie [2].

Algunas de las informaciones dadas por las señalizaciones son: señales de dirección, señales de ubicación, señales de destino, señales de salida de pista, señales de autorización de pista y señales de salida de intersección. Para emplear la señalización se rige a la norma OACI TP312, tales letreros tienen la iluminación interna LED.

Se dispone de 15 letreros de señalizaciones que están instalados en todo el aeródromo que facilitan el manejo de la información al piloto y generalmente están iluminados durante la noche para una mejor ubicación en la pista.



Figura 19: Letreros de señalización.
Fuente: Catálogos de ADB Safegate.

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad de señalización vertical, como son los siguientes:

- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura Panel: 800mm. Longitud Panel: 2.900mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Sencilla (1). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 291VA máx. Factor de potencia: 0.84, UNIDAD (1)
- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura

Panel: 800mm. Longitud Panel: 2.900mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Doble (2). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 291VA máx. Factor de potencia: 0.84. UNIDAD (8)

- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura Panel: 800mm. Longitud Panel: 1.700mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Sencilla (1). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 241VA máx. Factor de potencia: 0.88. UNIDAD (1)
- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura Panel: 800mm. Longitud Panel: 1.300mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Doble (2). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 180VA máx. Factor de potencia: 0.87 UNIDAD (1)
- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura Panel: 800mm. Longitud Panel: 1.300mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Sencilla (1). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 180VA máx. Factor de potencia: 0.87 UNIDAD (1)
- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura Panel: 800mm. Longitud Panel: 1.100mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Doble (2). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 150VA máx. Factor de potencia: 0.84 UNIDAD (2)

- Letrero Vertical LED. Normatividad: OACI & TP312. Modelo: “GSB-L”. Altura Panel: 800mm. Longitud Panel: 1.100mm. Altura Carácter: 400mm. Número de Caras: Sencilla (1). Número de cordones de anclaje: 1. Alimentación eléctrica: 2.8A - 6.6A @ 60Hz, cableado a través de la pata. Consumo eléctrico: 150VA máx. Factor de potencia: 0.84 UNIDAD (1)
- Base Universal para lámpara elevada. Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20". Salidas: 0° y 180° Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado ASTM- A123/A123M-02
- Brida ciega con Empaque.
 Aplicación: Bases Universales L-867 B.
 Diámetro: 12"Material: Aleación Hierro-Aluminio. Color: Amarillo de Aviación
- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.
 Especificación FAA: L-830/14.
 Potencia: 500W.
 Relación de transformación: 6.6A/6.6A.
 Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.
 Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.
- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.
 Especificación FAA: L-830/6.
 Potencia: 300W.
 Relación de transformación: 6.6A/6.6A.
 Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.
 Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.
- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.
 Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para

circuito serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Sistema de iluminación marcadores de distancia.

Las inscripciones de los letreros de despegue desde intersección deben contener un mensaje numérico que indique el recorrido de despegue disponible restante en metros, más una flecha con la colocación y orientación pertinentes, que indique la dirección de despegue [2].

Se dispone de 5 letreros marcadores de distancia de doble cara con leyendas numéricas, como se observa en figura 20, este circuito está conectado a los CCR de los sistemas RWY1 y RWY2.



Figura 20: Marcadores de distancia.
Fuente: Autores

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados junto a la unidad de marcadores de distancia, como son los siguientes:

- Señalización vertical iluminado internamente con tecnología LED de 2° Generación. Normatividad aplicable: FAA L-858 (L). Modelo: “GSF-L” Tamaño FAA:

Cuatro (4). Alimentación eléctrica: 2.8A a 6.6A @ 60Hz (Estilo 3). Número de módulos: Uno (1). Número de Paneles de Acrílico: Dos (2). Formato de leyenda: Doble Cara. Número de cordones de anclaje: Uno (1). Dimensiones: 238.6mm x 1.215,1mm x 1.220mm.

- Base Universal para lámpara elevada.

Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20".

Salidas: 0° y 180°.

Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado referencia ASTM-A123/A123M-02.

- Brida ciega con Empaque.

Aplicación: Bases Universales L-867 B.

Diámetro: 12"Material: Aleación Hierro-Aluminio. Color: Amarillo de Aviación.

NOTA: Incluye empaque de neopreno de 12"de diámetro.

- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.

Especificación FAA: L-830/18.

Potencia: 150W.

Relación de transformación: 6.6A/6.6A.

Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.

Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1)

Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.

Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Ma-

cho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8 AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452").

Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Sistema de iluminación trayectoria de aproximación de precisión (P.A.P.I.).

El sistema P.A.P.I. de la figura 21, facilita la entrada a la pista, es decir, permite tomar una decisión al piloto para realizar una aproximación exitosa. Se instala un sistema de inclinación de aproximación visual con o sin otros dispositivos de asistencia de aproximación visual o no visual.

Los equipos calibrados deben ser certificados por el ente regulador de la aviación ecuatoriana, siendo la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), a través de su vuelo con el Avión Laboratorio DAC y su procedimiento aeronáutico respectivo, por lo tanto, se debe gestionar toda la documentación, trámite y contratación necesarios para obtener la certificación de las luces P.A.P.I. U06 y U24, bajo la aprobación del ente regulador quien emitirá los certificados de calibración respectivos de los sistemas P.A.P.I. U06 y U24, en este caso los ángulos de inclinación para el P.A.P.I. del umbral 24 es de 3.2° y para el P.A.P.I. umbral 06 es de 3° .

El sistema P.A.P.I. consiste en cuatro módulos con lámparas múltiples (o sencillas por pares) de transición definida situados a intervalos iguales. El sistema debe ser colocado al lado izquierdo de la pista, a menos que sea materialmente imposible [2].



Figura 21: UNIDAD P.A.P.I.
Fuente: Catálogo de atg airports.

Los módulos del sistema P.A.P.I. debe estar construida y dispuesta, de manera que durante la aproximación el piloto [2]:

- Observe rojas las dos luces más cercanas a la pista y blancas las dos más alejadas, cuando se encuentre en la pendiente de aproximación o cerca de ella.
- Observe roja la luz más cercana a la pista y blancas las tres más alejadas, cuando

se encuentre por encima de la pendiente de aproximación, y blancas todas las luces en posición todavía más elevada.

- Observe rojas las tres luces más cercanas a la pista y blanca la más alejada, cuando se encuentre por debajo de la pendiente de aproximación, y rojas todas las luces en posición todavía más baja.

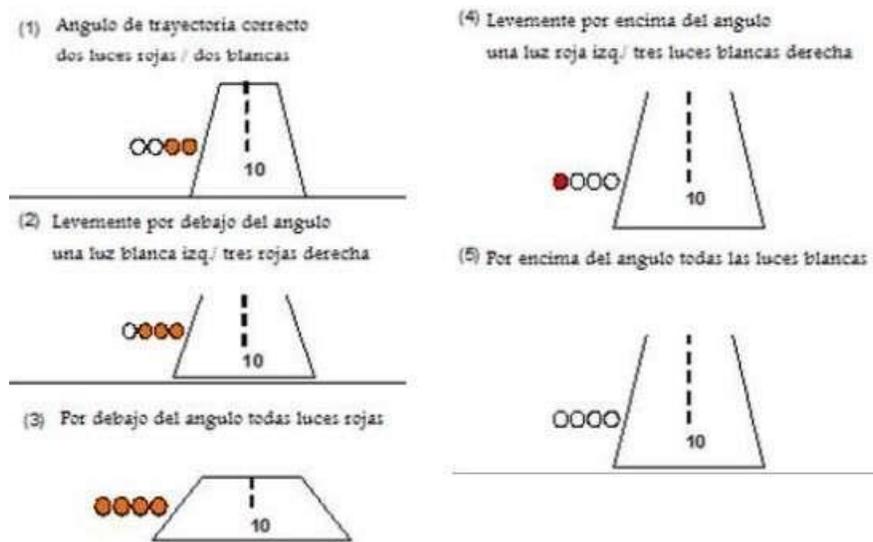


Figura 22: Visualización de las luces P.A.P.I.

Fuente: [2].

Se dispone de 2 equipos P.A.P.I.S. que están ubicadas en las áreas de los umbrales, para el umbral 06 el P.A.P.I. se encuentra en la parte izquierda de la dirección de aproximación y para el umbral 24 se encuentra al lado derecho de la dirección de aproximación, como se observa en la figura 23.

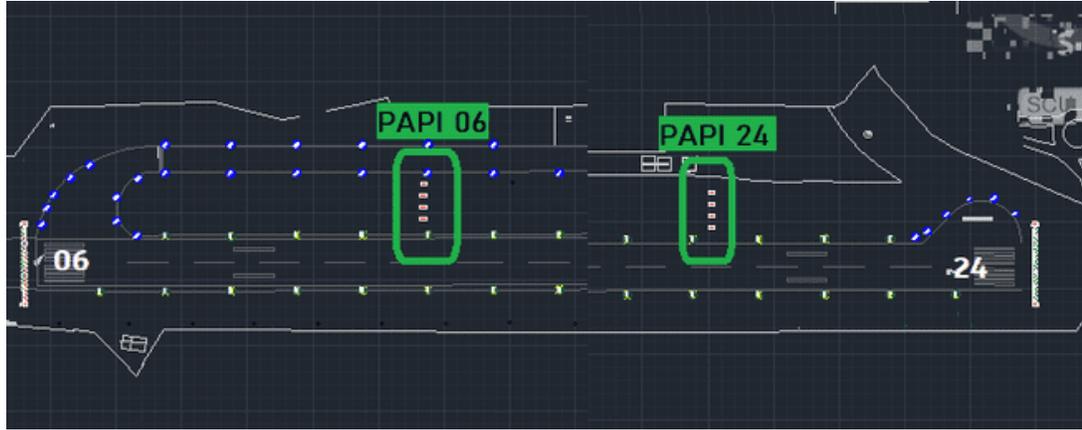


Figura 23: Ubicación de los P.A.P.I.S. 06 y 24 en la pista.

Fuente: Autores.

El sistema del equipo P.A.P.I. 06 posee 4 módulos a una distancia de 5 metros aproximadamente entre ellos y a 10 metros de la pista, cada uno de estos módulos contienen 2 luces, como se observa en la figura 24 y están conectados a un equipo CCR de 7.5 kVA.

El sistema de equipo de P.A.P.I. 24 posee 4 módulos a una distancia de 5 metros aproximadamente entre ellos y a 10 metros de la pista, cada uno de estos módulos contienen 3 luces, como se observa en la figura 24 y están conectados a un equipo CCR de 7.5 kVA.



PAPI 06



PAPI 24

Figura 24: Unidades de P.A.P.I. 06 y 24.

Fuente: Autores.

Nota: En este estudio técnico económico se realizará el análisis únicamente para el P.A.P.I. 24, pues el P.A.P.I. 06 se mantienen con la infraestructura actual.

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados con la unidad, trayectoria de aproximación de precisión (P.A.P.I.), como son los siguientes:

- Sistema Indicador de Pendiente de Aproximación Visual de Precisión “PAPI” de tecnología LED. Modelo: "LPLF". Normatividad: FAA (L-880). Nivelador digital: electrónico incluido en cada Gabinete. No. de Gabinetes: Cuatro (4). No. de Canal de luz: Uno (1). No. de Patas por Gabinete: Tres (3). Alimentación eléctrica: 2.8A a 6.6A @ 60Hz. Consumo eléctrico: 630VA por sistema, 120VA por Gabinete. Prestación de Monitoreo: SI; Incluye desempañador
- Base Universal para lámpara elevada. Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20". Salidas: 0° y 180° Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado ASTM- A123/A123M-02.
- Brida ciega con Empaque. Aplicación: Bases Universales L-867 B. Diámetro: 12"Material: Aleación hierro-Aluminio. Color: Amarillo de Aviación. NOTA: Incluye empaque de neopreno
- Transformador de aislamiento para ayudas visuales. Especificación FAA: L-830/6. Potencia: 200W. Relación de transformación: 6.6A/6.6A. Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7. Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.
- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra. Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos. Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10). Calibre del conductor de cobre: 8 AWG (6 mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5 mm (0.334").

Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm(0.295"). Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil. Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos. Longitud: 16". Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3". Sellador: Ubicado en la manga.
- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²). El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.
- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²). El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo

Sistema de iluminación indicadores de viento.

Los aeródromos deben estar equipados con uno o más indicadores de dirección de viento y deben estar ubicados en sus respectivos umbrales, de manera que sean visibles desde las aeronaves en vuelo o desde el área de movimiento y desde la torre de control, debiendo estar emplazado en un sitio que no sufra los efectos de perturbaciones del aire producidas por objetos cercanos. También debe disponer de iluminación, para los indicadores en aquellos aeródromos destinados al uso nocturno [2].

Los indicadores de viento deben tener forma de cono truncado, figura 25 y estar hecho de tela, su longitud debe ser por lo menos de 3,6m [2].

El color o colores que se deben escoger para el indicador de la dirección del viento debe ser teniendo en cuenta el fondo sobre la cual se destaque y se pueda ver e interpretar claramente desde una altura de por lo menos 300m [2].



Figura 25: Unidades del cono de viento.
Fuente: Catálogo de airport lighting company.

Se dispone de 3 mangas de viento de color anaranjado en el aeródromo, donde cada una se encuentra en el umbral 06, en la parte central de la pista y en el umbral 24, cada una está sobre una baliza de señalización de obstáculos [18]. Donde cada manga tendrá una luz interna tipo led y una luz obstrucción, como se puede observar en la figura 26. Este circuito está conectado a los CCR de los sistemas RWY1 y RWY2.



Figura 26: Unidades del cono de viento.
Fuente: Catálogo de airport lighting company

Para que este sistema de iluminación pueda entrar en su correcto funcionamiento se requiere de algunos materiales que serán acoplados junto a la unidad de los conos de

viento, como son los siguientes:

- Cono de Viento LED. Normatividad: FAA (L-807). Luz de Obstrucción: L-810 LED. Color de Manga: Naranja. Tamaño Manga FAA: Tipo 2 (12 ft). Diámetro de Manga: 36". Estilo FAA: Estilo I-B (Iluminado internamente). Alimentación eléctrica: 2.8 a 6.6A @ 60Hz. Frangibilidad: SI. Altura total: 264". Peso: 210 lb. Consumo eléctrico: 57 VA.
- Cono de Viento LED. Normatividad: FAA (L-806). Luz de Obstrucción: L-810 LED. Color de Manga: Naranja. Tamaño Manga FAA: Tipo 1 (8 ft). Diámetro de Manga: 18". Estilo FAA: Estilo I-B (Iluminado internamente). Alimentación eléctrica: 2.8 a 6.6A @ 60Hz. Frangibilidad: SÍ. Altura total: 122". Peso: 57 lb. Consumo eléctrico: 41 VA
- Base Universal para lámpara elevada.
Especificación FAA: L-867 Clase 1A Diámetro: 12"(B) Altura: 20".
Salidas: 0° y 180°.
Conexión: Roscada. Material: Acero Galvanizado referencia ASTM-A123/A123M-02.
- Brida ciega con Empaque.
Aplicación: Bases Universales L-867 B.
Diámetro: 12"Material: Aleación Hierro-Aluminio. Color: Amarillo de Aviación.
NOTA: Incluye empaque de neopreno de 12"de diámetro.
- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.
Especificación FAA: L-830/6.
Potencia: 200W.
Relación de transformación: 6.6A/6.6A.
Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.
Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

- Transformador de aislamiento para ayudas visuales.

Aplicación: Aislar eléctricamente el circuito primario del secundario en un circuito serie.

Especificación FAA: L-830/4. Potencia: 100W.

Relación de transformación: 6.6A/6.6A.

Conector Secundario: Un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 7.

Conectores Primarios: Un (1) Macho FAA L-823 Estilo 2 Tipo I y un (1) Receptáculo FAA L-823 Estilo 9.

Operación nominal: 24A a 5.000VRMS

- Juego de Conector Kit Primario Macho y Hembra.

Aplicación: Para empalmarse en un cable XLP de cobre sin apantallado para circuito serie en aeropuertos.

Normatividad aplicable FAA: L-823. Modelo: KD510. Estilo FAA conector Macho: Tres (3). Estilo FAA conector Hembra: Diez (10).

Calibre del conductor de cobre: 8AWG (6mm²). Diámetro exterior del cable (mínimo): 8.5mm (0.334"). Diámetro exterior del cable (máximo): 11.5mm (0.452"). Diámetro sobre aislamiento (mínimo): 5.0mm (0.196"). Diámetro sobre aislamiento (máximo): 7.5mm (0.295").

Prestación de aditamento tipo manga termocontráctil reutilizable: SÍ.

- Manga termocontráctil.

Aplicación: Hermetización de empalmes en conectores de circuitos serie L-823 de ayudas visuales en aeropuertos.

Longitud: 16".

Diámetro sin calentar: Aproximadamente 1.3".

Sellador: Ubicado en toda la longitud de la manga.

- Conector Kit Secundario Macho (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

- Conector Kit Secundario Hembra (Estilo 5 FAA) para empalmarse en un cable de uso rudo de cobre trenzado de 2 x 10-12AWG (4mm² -6mm²).

El diámetro exterior sobre el forro aislante del cable debe comprender un rango de 8.5mm (0.334") como mínimo a un valor de 13.5mm (0.531") como máximo.

Cable primario

Se especifica el tendido e instalación de cable eléctrico mono conductor para circuitos serie del sistema de ayudas visuales, en aeropuertos.

- Cable eléctrico mono conductor para circuitos serie en aeropuertos. Especificación FAA: L-824C. Voltaje nominal: 5.000V. Material del Forro aislante: Cadena cruzada de polietileno (XLP). Número 10 mm² (#8 AWG) o 16 mm² en la sección transversal (#8 AWG), hilos del conductor: Siete (7). Material del conductor: Cobre recocido. Diámetro nominal: 0.375". Grosor del aislamiento XLP: 0.110".

Cable secundario

Se especifica el tendido e instalación de cable eléctrico multifilar para interconexión entre baliza, transformador de aislamiento y el circuito primario.

- - Cable eléctrico multifilar, (2) conductores internos de calibre #12 AWG y cubierta negra con especificación para exterior y a prueba de humedad. Conectores primarios/secundarios - Cinta de caucho - Cinta plástica - Tubería BX.

Sistema de puesta a tierra

Uno de los factores más importantes en el área de las conexiones eléctricas es el sistema de puesta a tierra, por lo tanto, se debe de tener analizado y detallado el tipo de suelo en donde será o está colocado este sistema, teniendo en cuenta que la

resistividad del suelo varía según el tipo de terreno, donde la resistividad es la cualidad que tiene para conducir la electricidad hacia ella.

La puesta a tierra del aeródromo se encuentra instalado un cable eléctrico de cobre desnudo #6 AWG (7 hilos) mono conductor para circuitos de protección a tierra.

El cable de contrapeso (cable tierra) proporciona una "zona de protección" de 90 grados (45 grados a cada lado de la vertical), como se observa en la figura 27. Esta situación indica que para los tramos en los que se encuentren 9 tuberías para el tendido eléctrico y 3 tuberías para el tendido de cable de datos, se debe tender dos líneas de tierra para cumplir este requisito.

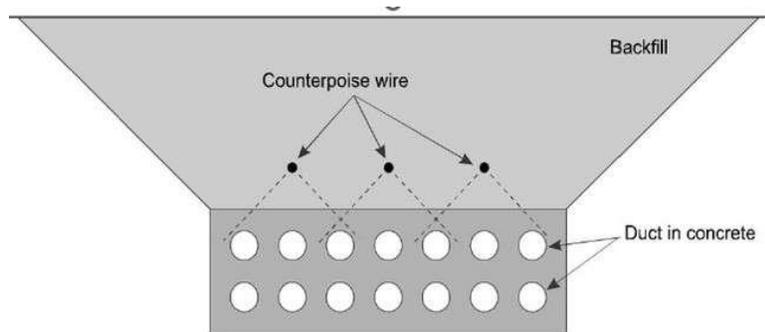


Figura 27: Cable de tierra sobre múltiples conductores

Fuente: [1].

Luego de la base de hormigón, se encuentra relleno con material de mejora (arena) hasta la superficie, así cubriendo por completo el cable de puesta a tierra, considerando que esta debe estar a 15cm desde el banco de ductos, como se observa en la figura 28.

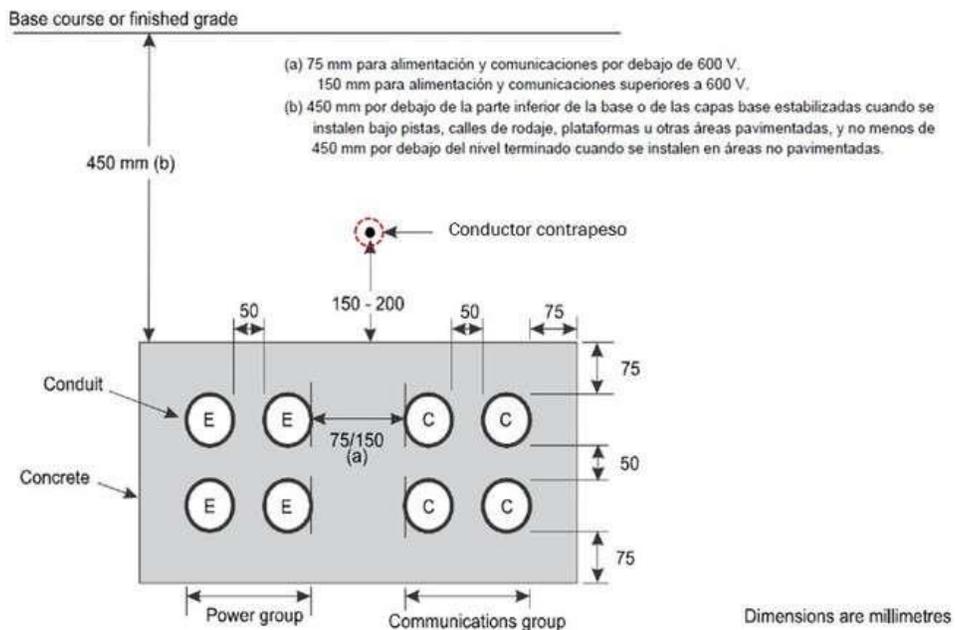


Figura 28: Cable de tierra sobre múltiples conductores.

Fuente: [1].

Reguladores de Corriente Constante

El regulador de corriente constante (CCR), figura 29, proporciona 3 o 5 niveles precisos de salida para alimentar circuitos de iluminación en serie en la pista de aterrizaje o rodaje del aeródromo. Es decir, el equipo está diseñado para proporcionar un control preciso de los circuitos de iluminación y que puede suministrarse con una amplia gama de opciones de control y monitoreo.



Figura 29: Equipo CCR.
Fuente: Catalogo de ADB Safegate.

Se dispone de 8 reguladores de corriente constante en el aeropuerto, estas se encuentran instaladas en el edificio de operaciones en la planta baja. Los equipos están distribuidos para cada circuito del aeródromo, como se detalla a continuación:

- 2 CCR MCR 500 (ADB): Potencia de 7.5 KVA, su utilización es para los circuitos de TWY 1 y P.A.P.I. 24 respectivamente.



(a) Equipo CCR del TWY 1

(b) Equipo CCR del P.A.P.I. 24

Figura 30: Equipos de regulación de corriente de 7.5 kVA.
Fuente: Autores.

- 2 CCR MCR 500 (ADB): Potencia de 4 KVA, su utilización es para los circuitos de TWY 2 y P.A.P.I. 06 respectivamente.



(a) Equipo CCR del TWY 2 (b) Equipo CCR del P.A.P.I. 06

Figura 31: Equipos de regulación de corriente de 4 kVA.
Fuente: Autores.

- 1 CCR Crouse Hinds: Potencia 15 kW para el sistema de RWY 1.



Figura 32: Equipos de regulación de corriente del RWY 1 de 15 kVA.
Fuente: Autores.

- 1 CCR Crouse Hinds: Potencia 20 kW para el sistema de RWY 2.



Figura 33: Equipos de regulación de corriente del RWY 2 de 20 kVA.

Fuente: Autores.

- 1 CCR Crouse Hinds: Potencia 15 kW para el sistema de Aproximación.



Figura 34: Equipos de regulación de corriente del de aproximación de 15 kVA.
Fuente: Autores.

- 1 CCR Crouse Hinds: Potencia 7.5 kW para el sistema de Señalización Vertical.



Figura 35: Equipos de regulación de corriente del de señalización de 7.5 kVA.
Fuente: Autores.

3. CAPÍTULO 3

3.1. EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICO DEL SISTEMA DE AYUDAS VISUALES HALOGENA VS TECNOLOGÍA LED

En este capítulo se tratará de definir la mejor alternativa para el cambio de iluminación de ayudas visuales, mediante los puntos de vista, técnico (elección de luminarias y demás equipos), económico (costos de operación, mantenimiento, inversión, etc.). El diseño de la pista del aeródromo contempla una visualización de los CCRs distribuidos para cada circuito de ayudas visuales, como también detalla la norma a la cual está sujeta el equipo lumínico y los cables de alimentación, los planos de rediseño fueron modificados a partir de los planos existentes, esto se puede observar en la parte de ANEXOS. Además, en este capítulo se realiza el análisis de la contaminación ambiental, como se ve afectado por el consumo eléctrico de iluminación actual y la verificación y aporte a la huella ecológica.

3.2. ANÁLISIS LUMINOTÉCNICO CON BASE A LA NORMATIVA ICAO Y FAA

Actualmente, los aeropuertos cuentan con un sistema de iluminación de pista que están regidos por la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) y la Administración federal de aviación (FAA).

El aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca, cuenta con todos estos sistemas de iluminación, el sistema actual del aeródromo está en funcionamiento desde hace 20 años, por lo cual, algunos de estos equipos (halógenos) son obsoletos para su línea de producción, para poder realizar el cambio a tecnología LED se tendrá que elegir los equipos que cumplan con las normativas establecidas ICAO y FAA.

3.2.1. Sistema de iluminación borde de pista elevada (RWY).

Las luces elevadas de pista, de zona de parada y de calle de rodaje serán frangibles. Su altura será lo suficientemente baja para respetar la distancia de guarda de las hélices y barquillas de los motores de las aeronaves de reacción [19].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 25 unidades de borde pista elevada (RWY), donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de las siguientes normas FAA: AC 150/5345-46E [20] e ICAO [17] que serán detalladas en la siguiente tabla 1.

Características	Normativa		Halógeno	Led
	ICAO Anexo 14, vol.1	FAA AC-150/5345-46E		
Intensidad	Blanco: 10000 cd	Blanco: 10000 cd		Blanco: 10938 cd
Potencia (W)			120 W	45 W
Temperatura de funcionamiento	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-55°C)(-67°F) a (55°C)(131°F)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6	6.6

Tabla 1: Características de la unidad RWY elevada.

Fuente: Autores.

3.2.2. Sistema de iluminación borde de pista empotrada (RWY).

Se instalarán luces de borde de pista para una pista destinada a ser utilizada de noche o para una pista de aproximación de precisión destinada a ser utilizada de día o noche [17].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 44 unidades de borde pista empotrada (RWY), donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de las siguientes normas FAA: AC 150/5345-46E [20] e ICAO [17] que serán detalladas en

la siguiente tabla 2.

Características	Normativa		Halógeno	Led
	ICAO Anexo 14, vol.1	FAA AC-150/5345-46E		
Intensidad	Blanco: 10000cd Amarillo: 4000cd	Blanco: 10000cd Amarillo: 5000cd		Blanco: 10166cd Amarillo: 5160cd
Potencia (W)			230 W	65 W
Temperatura de funcionamiento	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-55°C)(-67°F) a (55°C)(131°F)
Corriente(A)		6.6	6.6	6.6

Tabla 2: Características de la unidad RWY empotrada.

Fuente: Autores.

3.2.3. Sistema de iluminación para umbral final empotrada (RWY).

Las luces serán visibles solamente en la dirección de la aproximación a la pista [17].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 32 unidades para umbral final empotrada (RWY), donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de las siguientes normas FAA: AC 150/5345-46E [20] e ICAO [17] que serán detalladas en la siguiente tabla 3.

Características	Normativa		Halógeno	Led
	ICAO Anexo 14, vol.1	FAA AC-150/5345-46E		
Intensidad		Rojo: 2500cd Verde: 3300cd		Rojo: 2910cd Verde: 4420cd
Potencia (W)			230 W	65 W
Temperatura de funcionamiento	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-55°C)(-67°F) a (55°C)(131°F)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6	6.6

Tabla 3: Características de la unidad umbral RWY empotrada.

Fuente: Autores.

3.2.4. Sistema de iluminación, calle de rodaje (TWY).

Se instalarán luces de borde de calle de rodaje, en los bordes de una plataforma de viraje en la pista, destinadas a ser utilizadas por la noche en apartaderos de espera, plataformas, etc. [19]

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 88 unidades para calle de rodaje, donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de las siguientes normas FAA: AC 150/5345-46E [20] e ICAO [17] que serán detalladas en la siguiente tabla 4.

Características	Normativa		Halógeno	Led
	ICAO Anexo 14, vol.1	FAA AC-150/5345-46E		
Intensidad	Azul: 2cd	Azul: 2cd		Azul: 3cd
Potencia (W)			45 W	25 W
Temperatura de funcionamiento	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-55°C)(-67°F) a (70°C)(158°F)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6	6.6

Tabla 4: Características de la unidad TWY.

Fuente: Autores.

3.2.5. Sistema de iluminación identificación de pista (R.E.I.L.).

El sistema R.E.I.L. se utiliza para identificar el umbral (extremo de aproximación) de una pista visual o instrumental de no precisión y sirve de guía a los pilotos durante la aproximación para el aterrizaje. El R.E.I.L. consta de dos luces intermitentes unidireccionales u omnidireccionales de descarga simultánea. Una luz está situada a cada lado del umbral de la pista [21].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 4 unidades para identificación de pista, donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a

luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de la siguiente norma FAA: AC 150/5345-51B [21] que será detallada en la siguiente tabla 5.

Características	Normativa	Halógeno	Led
	FAA AC-150/5345-51B		
Intensidad	15000 cd		15000 cd
Potencia (W)		200 W	100 W
Temperatura de funcionamiento	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6

Tabla 5: Características de la unidad R.E.I.L.

Fuente: Autores.

3.2.6. Sistema de iluminación, señalización vertical.

Las señales de guía de taxi incluyen señales de instrucciones obligatorias, como señales de designación de pistas, señales de posición de espera de categoría I, II y III, señales de posición de espera en pista, señales de posición de espera en carretera y señales de prohibición de entrada, así como señales informativas, como señales de dirección, señales de ubicación, señales de salida de pista, señales de pista desocupada y señales de despegue de intersección [22].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales se encuentra instalado 15 letreros con luminarias de tipo fluorescentes, donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de las siguientes normas FAA: 150-5345-44K [23] e ICAO [24] que serán detalladas en la siguiente tabla 6.

Características	Normativa		Halógeno	Led
	ICAO Anexo 14, vol.1	FAA AC-150/5345-44K		
Intensidad	Rojo: 30cd/m ² Amarillo: 150cd/m ² Blanco: 300cd/m ²			Rojo: 37.6cd/m ² Amarillo: 252cd/m ² Blanco: 332cd/m ²
Tamaño	Altura ltr:0.8m Largo ltr: — Altura lyd: 0.4m	Altura ltr: — Largo ltr: 3.04m Altura lyd: 0.4m	Altura ltr: 0.85m Largo ltr: 2.75m Altura lyd: 0.75m	Altura ltr: 0.8m Largo ltr: 2.93m Altura lyd: 0.4m
Potencia (W)			300 W	300 W 500 W
Temperatura de funcionamiento		(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-40°C) a (55°C)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6	6.6
Carga de viento	480 km/h			483 km/h

Tabla 6: Características de la señalización vertical.
Fuente: Autores.

3.2.7. Sistema de iluminación marcadores de distancia.

Los letreros Tipo L-858B, Distancia restante de la pista, deben verse desde 800 pies (244 m) por la noche para determinar si la leyenda es fácilmente perceptible [23].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 5 unidades de letreros marcadores de distancia con doble leyenda, donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de la siguiente norma FAA: AC 150/5345-46E [20] que será detallada en la siguiente tabla 7.

Características	Normativa	Halógeno	Led
	FAA AC-150/5345-46E		
Intensidad	3 cd		3 cd
Tamaño	Altura ltr:1.52m Largo ltr:1.21m Altura lyd:1.016m	Altura ltr:0.82m Largo ltr:1.06m Altura lyd:0.75m	Altura ltr:1.47m Largo ltr:1.21m Altura lyd:1.01m
Potencia (W)		300 W	150 W
Temperatura de funcionamiento	(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)		(-40°F)(-40°C) a (131°F)(55°C)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6
Carga de viento	322km/h		362km/h

Tabla 7: Características de los marcadores de distancia.
Fuente: Autores.

3.2.8. Sistema de iluminación trayectoria de aproximación de precisión (P.A.P.I.).

“Este sistema mejora la seguridad proporcionando una guía visual de la pendiente de aproximación para ayudar al piloto de una aeronave a realizar una aproximación estabilizada” [25].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 1 unidad para la trayectoria de aproximación de precisión, donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de la siguiente norma FAA: AC 150/5345-20H [25] que será detallada en la siguiente tabla 8.

Características	Normativa	Halógeno	Led
	FAA AC-150/5345-20H		
Intensidad	Blanco:30000cd Rojo: 15000cd		Blanco: 34507cd Rojo: 15649cd
Potencia (W)		600 W	200 W
Temperatura de funcionamiento	(-67°F)(-55°C) a (131°F)(55°C)		(-67°F)(-55°C) a (158°F)(70°C)
corriente(A)	6.6	6.6	6.6

Tabla 8: Características de la unidad P.A.P.I. 24.

Fuente: Autores.

3.2.9. Sistema de iluminación indicadores de viento.

“El indicador de la dirección del viento debe tener la forma de un cono truncado y debe estar construido de manera que dé una indicación clara de la dirección del viento en superficie y una indicación general de la velocidad del viento” [17].

“El color o colores deberán elegirse de forma que el indicador de dirección del viento sea claramente visible y comprensible desde una altura de al menos 300 m, teniendo en cuenta el fondo” [17].

Actualmente, el sistema de ayudas visuales cuenta con la instalación de 3 unidades indicadoras de viento, donde la intención es cambiar el tipo de tecnología a luminarias tipo LED.

Las siguientes características que deben tener cada luminaria fueron obtenidas de la siguiente norma FAA: AC 150/5345-28F [25] que será detallada en la siguiente tabla 9.

Características	Normativa	Halógeno	Led
	FAA AC-150/5345-28F		
TIPO L-806			
Estilo:	I-B: Interno		I-B: Interno
Tamaño de manga	Diámetro: 18in Longitud: 8ft		Diámetro: 18in Longitud: 8ft
Estructura	Altura: 120in Peso: 58lb		Altura: 120in Peso: 57lb
Potencia (W)		350 W	100 W
Temperatura de funcionamiento	(-67°F)(-55°C) a (131°F)(55°C)		(-67°F)(-55°C) a (158°F)(70°C)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6
TIPO L-807			
Estilo:	I-B: Interno		I-B: Interno
Tamaño de manga	Diámetro: 36in Longitud: 12ft		Diámetro: 36in Longitud: 12ft
Estructura	Altura: 264in Peso: 210lb		Altura: 264in Peso: 210lb
Potencia (W)		350 W	200 W
Temperatura de funcionamiento	(-67°F)(-55°C) a (131°F)(55°C)		(-67°F)(-55°C) a (158°F)(70°C)
Corriente(A)	6.6	6.6	6.6

Tabla 9: Características de la unidad cono de viento
Fuente: Autores.

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA LUMÍNICO LED CON EL PROGRAMA DIALUX

3.3.1. Programa DIALux evo 11.0

DIALux es un software que permite visualizar de mejor manera un proyecto lumínico, ya sea para interiores o exteriores, además el programa trabaja juntamente con el programa AutoCAD y esto facilita aún más el trabajo de diseño, mostrando como resultado los beneficios y ventajas en las simulaciones que se realizan en un determinado espacio o lugar donde se encuentre la fuente de luz.

Para la presente investigación se trata de que el programa DIALux brinde una visualización general del proyecto empleando tecnología LED, es importante tomar en consideración que el tipo de luminarias que utiliza un sistema de iluminación residencial, industrial o comercial es muy distinta a las luminarias que ocupa en un aeródromo. Sin embargo, se trata de realizar una búsqueda detallada en la página de LUMsearch, el cual ofrece una extensa selección de productos con búsqueda, sea por aplicaciones, catálogos, fotometría, dimensiones, etc.

De esta manera, se logra obtener luminarias que se asemejen al dato fotométrico que ocupa las normas ICAO y FAA, referidas a la curva de distribución de luz o intensidad luminosa expresada en (cd), como se observa en la figura 36.

3.3.2. Magnitudes y Unidades Fotométricas

Distribución luminosa La intensidad luminosa para una fuente de luz está dada por el flujo luminoso emitido en una dirección y contenida por un ángulo sólido, cuya unidad es la candela y abreviatura cd. Una de la consideración a tener en cuenta, es que la distancia de la fuente de luz no interviene al valor de este, es decir, la intensidad luminosa a 1 m es la misma a 2 m. A diferencia del ángulo de apertura, este si influye al valor de la intensidad luminosa, esto se da, por ejemplo, con una fuente de luz de 300 lm y el ángulo de apertura es de 10°, la cantidad de candela será mayor que cuando está irradie a un ángulo de 50° debido a que la luz debe repartirse a un área mayor.

Curva fotométrica La curva fotométrica es la representación gráfica espacial de la distribución de la luz en un plano cartesiano, así pues, para la selección de la curva de distribución más adecuada se deberá tener como referencia el tipo de aplicación a la cual será sometida cada luminaria. En una curva fotométrica, la distancia de cualquier punto al centro, indica la intensidad en esa dirección, su forma gráfica puede ser tridimensional o bidimensional, las cuales posee coordenadas polares en dos de sus planos verticales, el transversal y longitudinal (0° y 90°) [26]. La curva polar de distribución de intensidad luminosa normalmente muestra los valores medidos en los planos C0/C180 y C90/C270 (transversal y a lo largo del eje de la luminaria). Para un patrón de distribución de intensidad luminosa rotacionalmente simétrico, es suficiente mostrar cualquier plano. El centro del diagrama corresponde al punto medio de la luminaria [27].

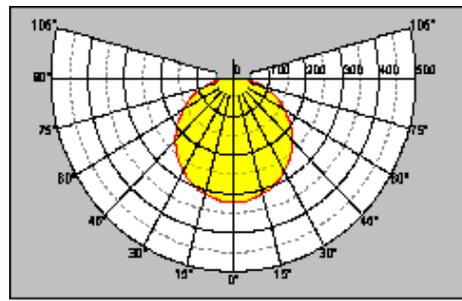


Figura 36: Curva Polar Fotométrica.
Fuente: <https://n9.cl/f6mwy>.

Luminancia Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente, vista por el ojo humano para una dirección determinada. Se habla de una superficie aparente, debido a que es una proyección de la superficie real sobre un plano perpendicular a la línea de visión. La luminancia se expresa en candelas por metro cuadrado (cd/m^2).

3.3.3. Diseño de iluminación con tecnología LED

La Administración Federal de Aviación (FAA), contiene regulaciones que se aplican a todo el Sistema Nacional del Espacio Aéreo, en ella cuenta con los datos fotométricos e información de los equipos de iluminación, al igual que la Normativa de Organización

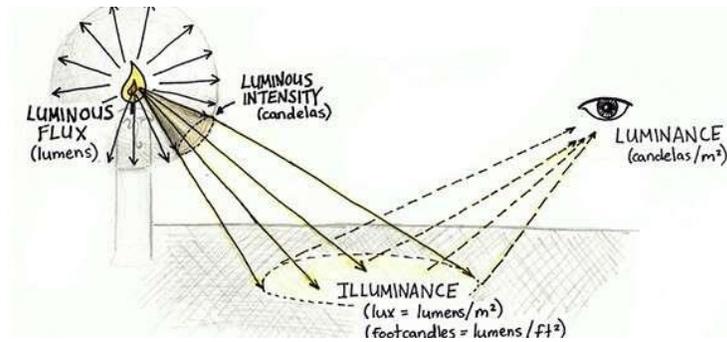


Figura 37: Luminancia (cd/m^2).

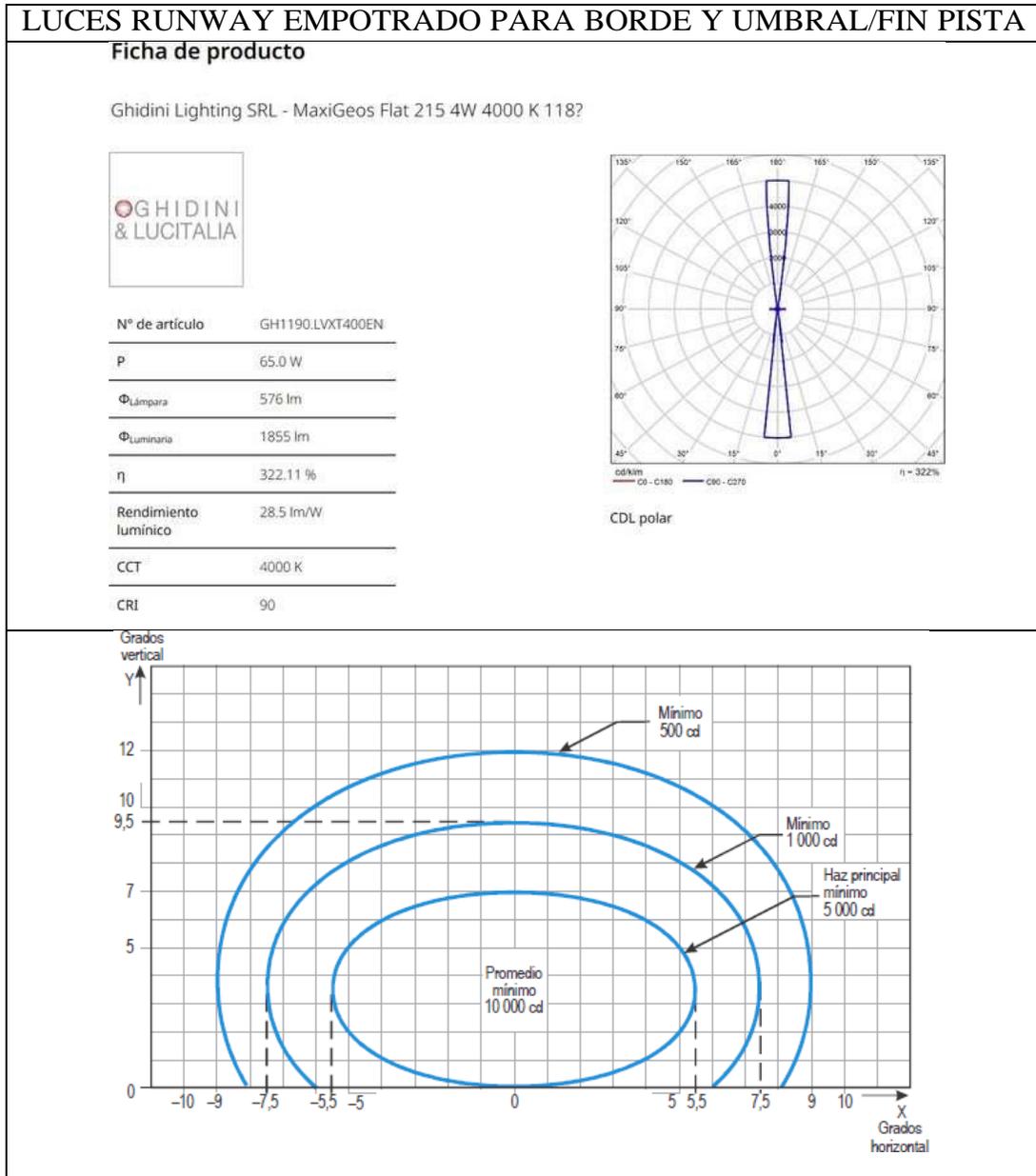
Fuente: <https://n9.cl/psi5>.

de Aviación Civil Internacional (ICAO).

A continuación, se realiza un cuadro comparativo donde se muestra la curva fotométrica dada por las normas vs la curva fotométrica obtenida en el programa DIALux. El programa brinda información acerca de las características del equipo y las curvas de distribución de la intensidad luminosa por la función de documentación.

Tabla 10: Comparación entre curvas fotométricas simuladas en DIALux vs Datos fotométricos por Normas.

Fuente: Autores.



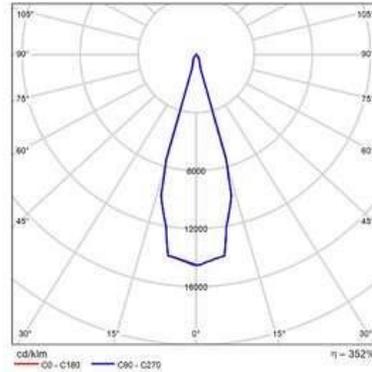
LUCES R.E.I.L

Ficha de producto

ADUROLIGHT -

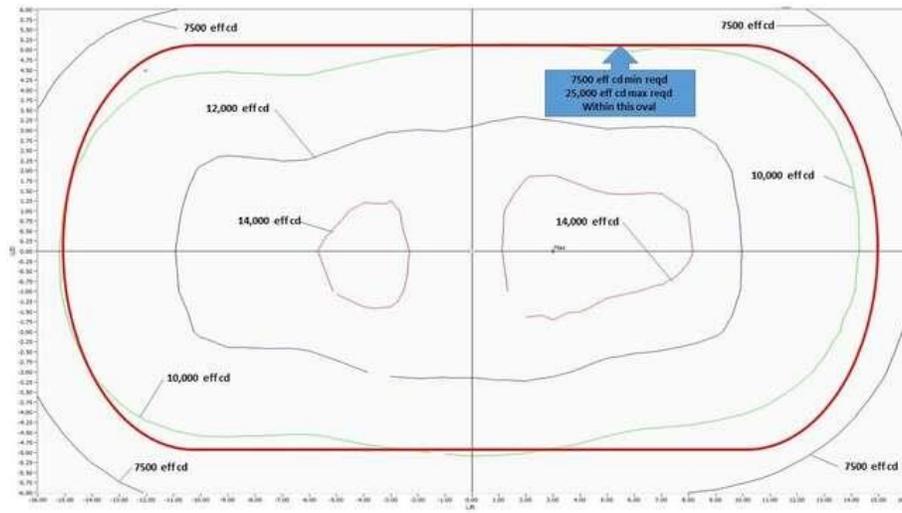


P	100.0 W
Φ Lámpara	4072 lm
Φ Luminaria	14338 lm
η	352.10 %
Rendimiento lumínico	143,4 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

LED REIL styles A and E photometric curve



LUCES TAXIWAY

Ficha de producto

SLV - ROTOBALL SWING 25



Nº de artículo Art.Nr.: 228050

P 25.0 W

Φ_{Lámpara} 1570 lm

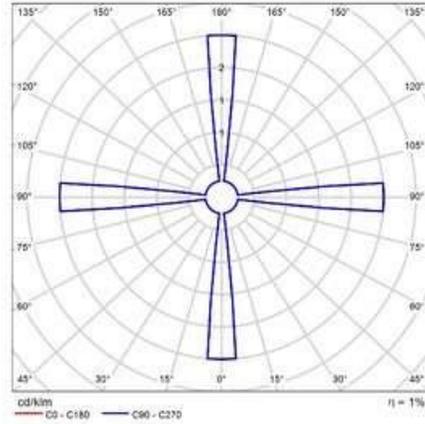
Φ_{Luminaria} 8 lm

η 0.51 %

Rendimiento
luminico 0.3 lm/W

CCT 3000 K

CRI 100



CDL polar

Characteristics

5.3.18.7 Taxiway edge lights shall be fixed lights showing blue. The lights shall show up to at least 75° above the horizontal and at all angles in azimuth necessary to provide guidance to a pilot taxiing in either direction. At an intersection, exit or curve the lights shall be shielded as far as practicable so that they cannot be seen in angles of azimuth in which they may be confused with other lights.

5.3.18.8 The intensity of taxiway edge lights shall be at least 2 cd from 0° to 6° vertical, and 0.2 cd at any vertical angles between 6° and 75°.

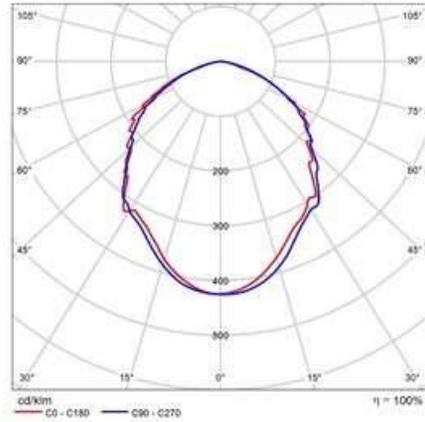
LUCES PARA CONO DE VIENTO

Ficha de producto

VARTON - V1-10-70475-04L05-6520040



P	200.0 W
$\Phi_{\text{Lámpara}}$	23000 lm
$\Phi_{\text{Luminaria}}$	22998 lm
η	99.99 %
Rendimiento lumínico	115.0 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

4.2.5.2 Style I-B, Internally Lighted Wind Cone.

Test the internally lighted wind cone for luminance while fully extended. Luminance measurements must be taken from 1 foot away from the throat to 11 feet for Size 2, or 7 feet for Size 1, away from the throat at 1-foot intervals and 45-degree increments around the circumference of the wind cone. Ensure the spot-size for the luminance measurement is 1.5 inches in diameter. Ensure the average luminance on each top and lateral surface of the windsock is 10 to 30 fL and a minimum luminance at any point of 2 fL as noted in paragraph [3.6.2](#).

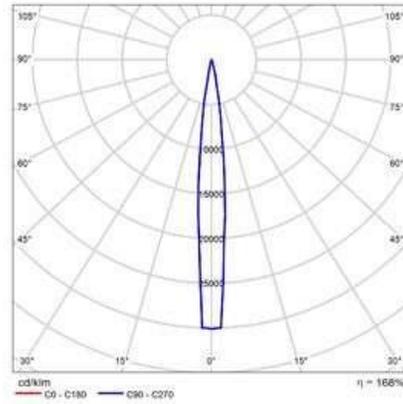
LUCES P.A.P.I

Ficha de producto

VARTON - V1-G1-01444-04L19-66200XX

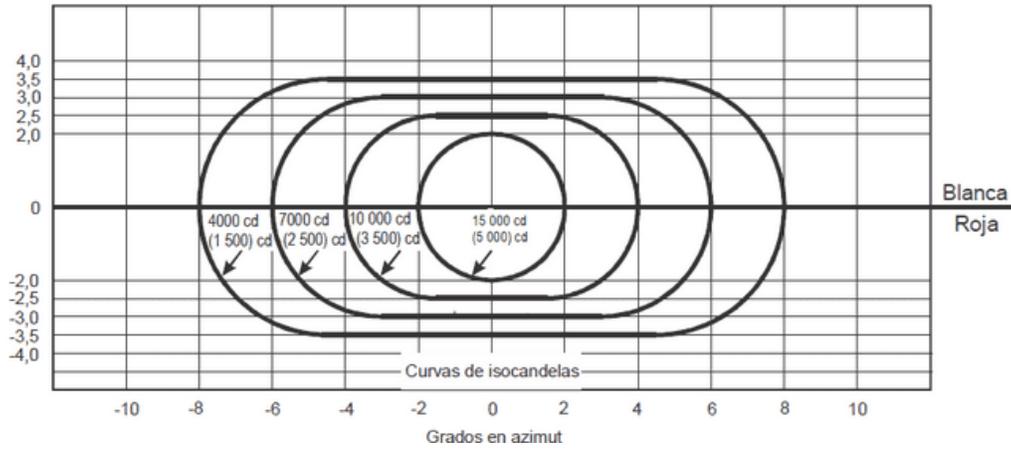


P	200.0 W
$\Phi_{\text{Lámpara}}$	10000 lm
$\Phi_{\text{Luminaria}}$	16792 lm
η	167.92 %
Rendimiento lumínico	84.0 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar

Grados en elevación



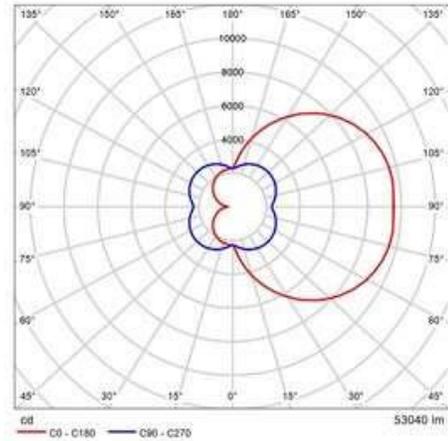
LUCES MARCADOR DE DISTANCIA/SEÑALIZACIÓN VERTICAL

Ficha de producto

RZB - Alu-Quadrat



Nº de artículo	251050.003.1.25
P	500.0 W
$\Phi_{\text{luminaria}}$	53041 lm
Rendimiento lumínico	106.1 lm/W
CCT	4000 K
CRI	80



CDL polar

a) Where operations are conducted in runway visual range conditions less than a value of 800 m, average sign luminance shall be at least:

Red	30 cd/m ²
Yellow	150 cd/m ²
White	300 cd/m ²

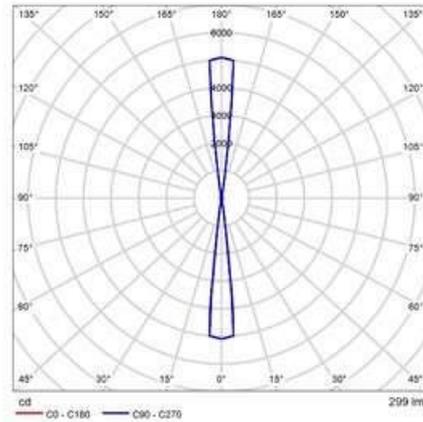
LUCES RUNWAY ELEVADA

Ficha de producto

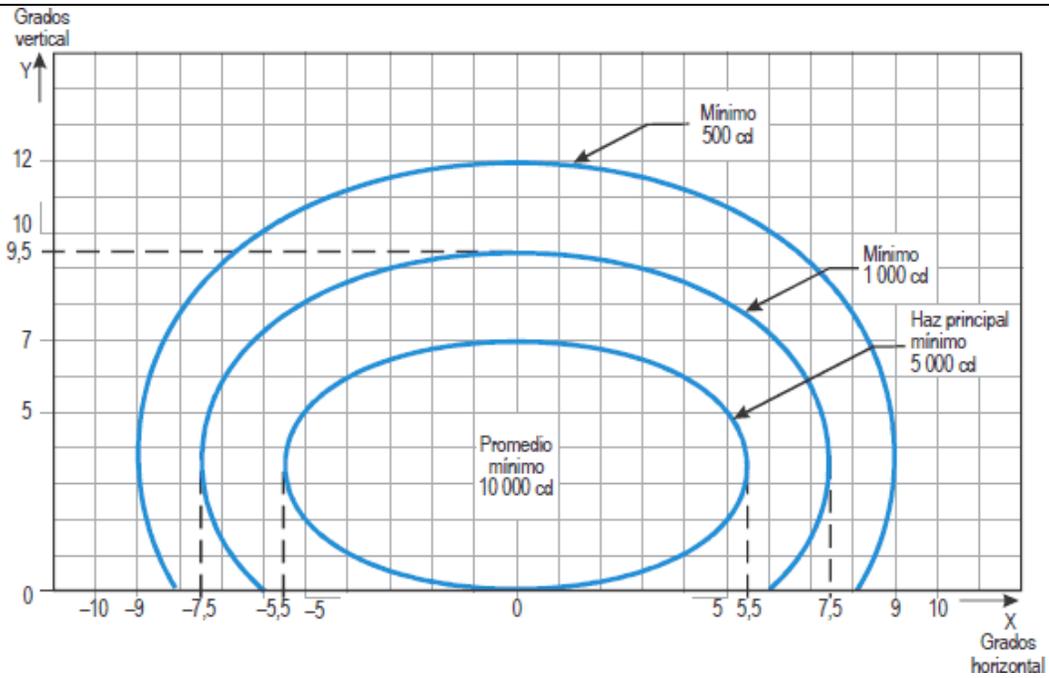
eglo - 65082



Nº de artículo	#01
P	45.0 W
Φ luminaria	749 lm
Rendimiento lumínico	16.6 lm/W
CCT	3000 K
CRI	100



CDL polar



3.3.4. Interpretación de resultados

1. En la primera figura se muestra las curvas fotométricas del equipo RUNWAY, el cual, a partir de la fuente de luz, punto cero, tiene una intensidad luminosa interna, intermedia y externa de 5000, 1000 y 500 [cd] respectivamente. En la curva polar proporcionada por DIALux, se simula con relación a las luces de borde, que son las luces blancas y, mediante el análisis de esta curva, se muestra un valor de 5000 cd a un ángulo de 5.5° ; no obstante, al ser el primer valor demasiado grande los valores de 1000 y 500 [cd], no se visualiza correctamente, ya que se mide a ángulos de 7.5° y 9° . De acuerdo con la norma ICAO se tiene 16 luminarias bidireccionales para el umbral de pista, en él consta de luz verde y roja, mientras que para las luces de borde de pista son amarillas. De esta manera, la especificación de la curva está referida hacia luz roja, por lo cual, a estas curvas se deberá multiplicar por una constante de 0.15 para obtener la nueva intensidad luminosa con respecto a luz verde, mientras que para el haz de luz de color amarillo se deberá multiplicar por la constante 0.40 en cada una de las curvas de intensidad luminosa.
2. En la figura siguiente se tiene los datos fotométricos del equipo R.E.I.L., el cual señala que para un ángulo de 8° de radio interno deberá tener una intensidad luminosa de 15000 cd. y a distancia externa, con un ángulo de 16° se tiene un valor de 7500 cd, adicional a esto existe un dato intermedio de 12000 cd a un ángulo de 10° .
3. Para la luz TAXIWAY, la norma exige que, para un rango de 2° a 10° , la intensidad luminosa deberá ser de 2 cd, mientras que para cualquier otro ángulo será de 0.2 cd. De esta manera, al ser una luminaria omnidireccional, la intensidad luminosa se refleja en forma de cruz como muestra la curva polar dada por el programa.
4. Las Luces para el Cono de viento presenta dos lámparas de 100 y 200 [W], el cual deberá cumplir con las especificaciones presentadas por la norma FAA. En este caso, la luminaria ubicada en la manga tamaño 1: 2.5 m (8 ft) de longitud

y 0.45 m (18 ft) del diámetro extremo de la garganta, medirá una cantidad de luminancia de 102.78 cd/m² o 30 pie-lambert [fL], a una distancia de 7ft. Y para la luminaria de la manga tamaño 2: 3.60 m (12 ft) de longitud y 0.9 m (36 ft) del diámetro extremo de la garganta, deberá medir una luminancia de 102.78 cd/m² a 3.35 ft. tal como se observa en las figuras 38, 39.

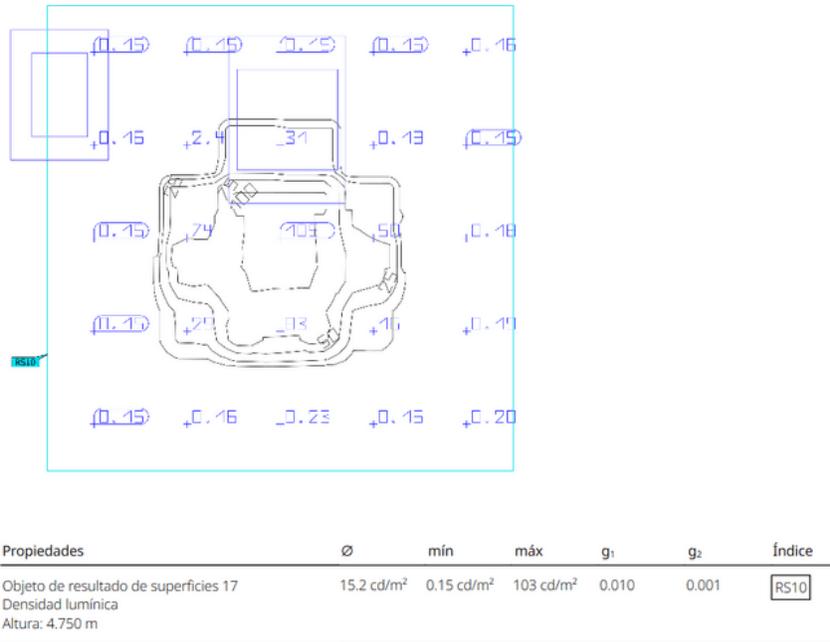


Figura 38: Cantidad de Luminancia para Cono Viento de 100W.

Fuente: Autores.

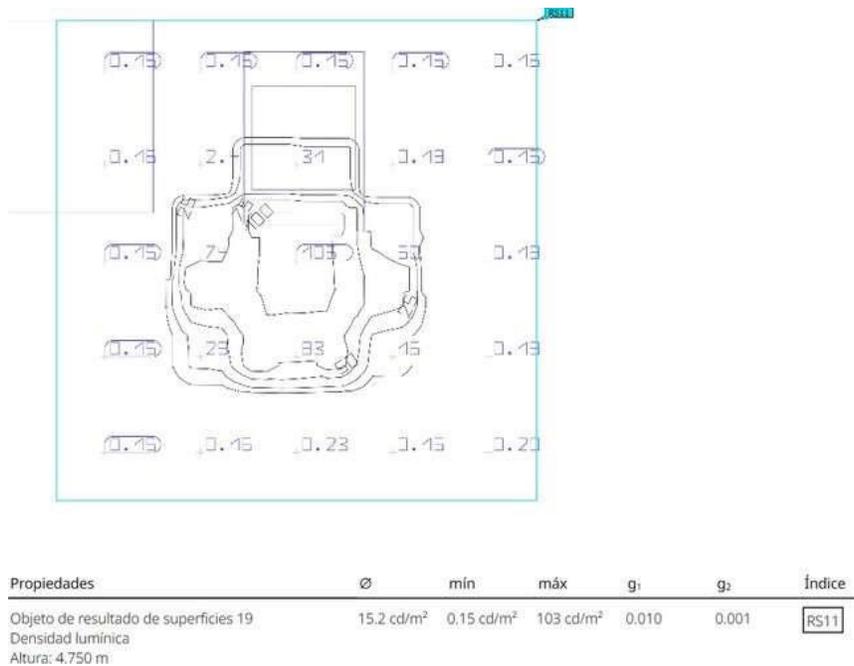


Figura 39: Cantidad de Luminancia para Cono Viento de 200W.

Fuente: Autores.

5. El requerimiento para la distribución de luz del equipo P.A.P.I. es, para el radio interno y externo de 2° y 10° se tiene una distribución de luz de 30000 y 5000 [cd] respectivamente, por otra parte, recalcar que este tipo de luminaria es unidireccional y presenta dos tipos de luces, roja y blanca el cual, con el programa se simula con respecto a luz blanca.

6. Para la luminaria de señalización vertical, se tiene potencias de 150, 200 y 300 [W], la diferencia radica entre estos equipos con base a las dimensiones de altura, ancho, doble cara o cara sencilla. La especificación técnica dado por la normativa es la luminancia medida en [cd/m²], para el cual a partir de la posición de la luminaria se mide a 1 m², de superficie, como se muestra en las figuras 40, 41, se observa que en dicha superficie debe cumplir con un promedio de 150 cd/m² en adelante. Este sistema de iluminación es la misma para iluminación de marcadores de distancia, el cual debe estar sujeto a una buena visualización, ya que el piloto

está sujeto a las restricciones o avisos que indican cada uno de ellos.

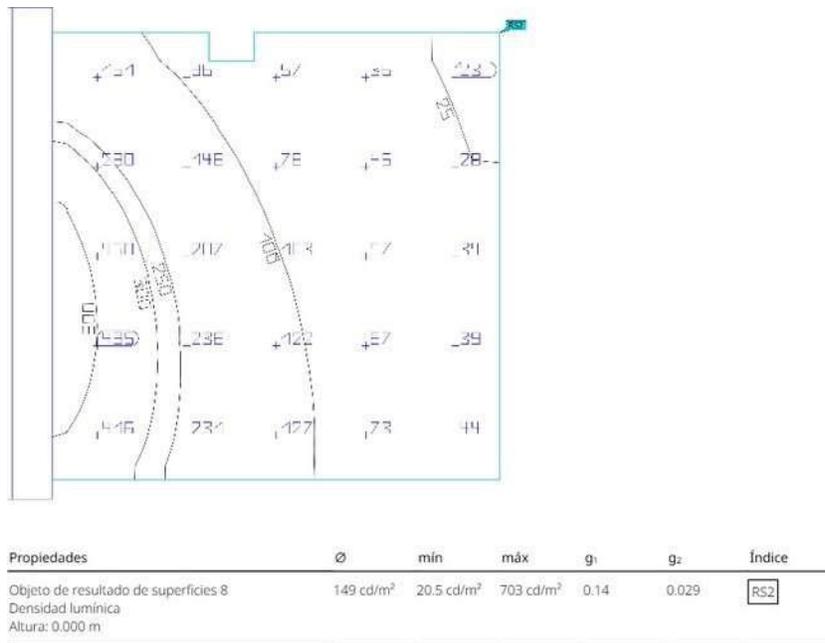


Figura 40: Cantidad de Luminancia para el letrero de señalización de 150W.

Fuente: Autores.

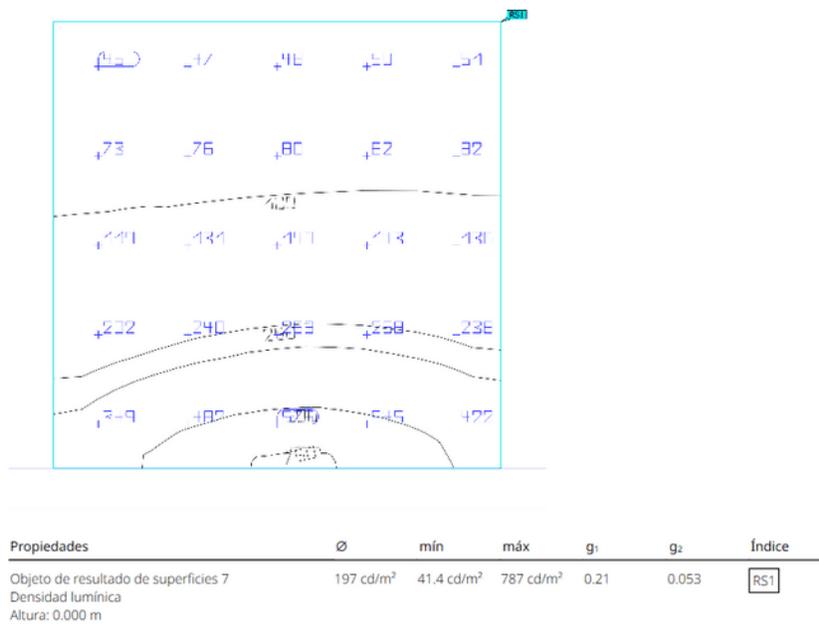


Figura 41: Cantidad de Luminancia para el letrero de señalización de 200W.

Fuente: Autores.

7. Para la luz RUNWAY elevada, se trata de una luminaria bidireccional que está a una altura de 0.5 m del nivel del piso, el cual, cumple con los datos fotométricos de intensidad luminosa que especifica la norma del RUNWAY empotrada.

3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

El análisis financiero radica en la capacidad de tomar decisiones financieras, que mantendrán la rentabilidad de una empresa. Para determinar si el cambio de iluminación es factible realizar o no, se toma varios factores que intervienen a este análisis, como, por ejemplo: los costos de inversiones, costos directos (costos de potencia, energía, mano de obra) y los costos indirectos (costos de operación-mantenimiento, costo por reposición de lámparas). Así también un análisis económico ayuda a distinguir cuáles fueron las causas del problema de no invertir en el cambio y tomar alternativas que permitan justificar a la exigencia de la inversión en un equipo.

3.4.1. Rentabilidad y la necesidad de reducir costos

La rentabilidad es un indicador que bajo un análisis financiero contribuye a tomar las decisiones correctas y a su vez analizar la conservación de algunos equipos o realizar una renovación [28]. Cuando se habla de reducción de costos para una entidad que siempre maneja activos demasiado altos, este requiere mejoramiento en cualquier aspecto, es decir, contrarrestar esos costos elevados para obtener una rentabilidad satisfactoriamente económica. Por ello, la presente investigación tiene como fin desarrollar un análisis detallado con respecto a la rentabilidad y toma de decisiones y que sirva como un modelo de medir otras variables o nuevos temas de investigación.

3.4.2. Importancia de la evolución financiera

La economía satisface las enormes necesidades de la sociedad con escasos recursos de que se dispone. De esta forma, existe un enfoque comercial que determina la viabilidad y enfoque social del proyecto como entidad económica y financiera. Este último se relaciona principalmente con proyectos financieros que utilizan recursos públicos y tienen como objetivo mejorar el bienestar público a través de la creación de más bienes, servicios, inversión, empleo, divisas y crecimiento económico general.

Un análisis completo de cualquier proyecto requiere de cuatro estudios complementarios, por ejemplo:

- De mercado: Este va relacionado con la recopilación de la información de carácter económico, es decir, al flujo de caja del proyecto, el cual deberá justificarse por proveer información como es la inversión, costos de operación, de mantenimiento y/o de ingreso [29].
- Técnico: El estudio debe definir la función de producción que optimice la utilización de los recursos disponibles en la producción del bien o servicio del proyecto, para ello al tener equipos de iluminación en mal estado o dañados, este mostraría una mala calidad de energía, la cual no solo afectaría la vida útil de

todos los equipos principales y secundarios, sino también a la empresa suministradora de energía.

- Organizacional - administrativo: Los efectos económicos de la estructura organizativa se manifiestan tanto en la inversión como en los costes de operación del proyecto. Toda estructura puede definirse en términos de su tamaño, tecnología y complejidad de operación. Conociendo esto podrá estimarse el dimensionamiento físico necesario para la operación, las necesidades de equipamiento de las oficinas, requerimientos de materiales, entre otras cosas.
- Financiero: Este último, el cual se hablara con más detalle en este apartado, es la etapa de ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores mediante cuadros comparativos.

Vida útil de los equipos y periodo de análisis La vida útil de los equipos de iluminación se expresa en horas de funcionamiento por día, mientras que las instalaciones generales se pueden expresar por años. Para el Aeropuerto Mariscal La Mar, actualmente cuenta con un sistema de iluminación Halógena, cuyos equipos, que, por normativas vigentes, deben ser reemplazadas cada 10 años por nuevos equipos, esto con el fin de salvaguardar la seguridad operacional de los aviones en el aeropuerto. En el proyecto, para los cálculos de inversión coincide con la vida útil de los equipos que se utilizaran y dependerá de la tasa de descuento; sin embargo, este parámetro no necesariamente puede coincidir para el periodo de análisis. Adicionalmente, el proyecto, al ser una tecnología eficiente, requeriría de una inversión muy elevada, sin embargo, el largo tiempo de vida útil de las luminarias y del sistema eléctrico percibirá claramente una reducción en cuanto a los costos operativos energéticos y del mantenimiento de las instalaciones en el sistema de iluminación.

Flujo de caja Es aquel reporte que muestra los saldos de los ingresos menos los egresos de efectivo, conocido también como cash-flow, ingresos sea generado por causa

de una inversión o producto de las ventas en un periodo determinado, así mismo es la posible elaboración de un presupuesto de caja o también conocido como flujo de caja proyectado [30].

Tasa de descuento La tasa de interés se utiliza para dar cuenta del valor del dinero en el tiempo. La tasa de descuento, i , se puede explicar de la siguiente manera:

Un dólar ahora vale $(1 + i)$ dólares en un año.

La tasa de descuento es igual a la tasa de interés y se expresa con él 12 %.

Costo de operación y mantenimiento (O&M) Estos costos corresponden aquellos que demandara el proyecto para su eficiente funcionamiento. Estos se dan por: los costos de energía, costos de mantenimiento, costos de la potencia. Una instalación eficiente (LED) siempre va a ser inferior a las de iluminación convencional.

El consumo eléctrico se verá afectada principalmente debido a que las nuevas unidades serán de menor potencia, así mismo el reemplazo de las bombillas u otro elemento que conforma la unidad se dará por varios años debido a su larga vida útil. El costo de energía para la Corporación Aeroportuaria es de 0.07 USD/kWh.

3.4.3. Parámetros financieros

Se presenta los indicadores a utilizarse en la evaluación económica, tales parámetros dependerá del caso estudio, como la profundidad del análisis, en otras palabras, el proyecto en algunas de las ocasiones podrá ser viable o no, esto debido a que, al ser luminarias con una nueva tecnología el reemplazo será desde las luminarias y los equipos complementarios que constan de (transformadores de aislamiento, juego de conectores primarios y secundarios, base universal, manga termotractil, entre otros). Este puede ser una de las causas principales de no invertir, debido a que los costos en las luminarias dependen del equipo complementario y este sea exageradamente alto, entonces, si este fuese el caso de obtener un resultado desfavorable, se analiza el equipo lumínico de otra manera más a detalle como, por ejemplo, la discontinuidad de los equipos, es decir,

la falta de fabricación y/o tiempo de entrega en caso de que cualquier empresa se comprometiera en fabricar.

El Valor Actual Neto (VAN) Este parámetro económico, conocido también como Valor Presente Neto (VPN), o valor capital (NPV), se basa en aplicar la técnica de flujos de efectivos actualizados o descontados, en otras palabras, evalúa los proyectos de inversión de capital mediante la obtención del valor actual de los flujos netos de efectivos en el futuro y descontando dichos flujos al costo de la empresa o la tasa de rendimiento requerida.

Consideraciones en el cálculo del VAN Dado que el período de valoración de un proyecto corresponde a su vida útil económica, los componentes individuales de los costos de inversión conservan su valor o parte de su valor al final del proyecto. Cuando se trata del tratamiento de la depreciación, es un error común considerarla al momento de calcular el VAN y la TIR, este no debe incluirse porque el gasto que incurre al pagar el activo en cuestión ya está incluido, así mismo la vida útil de los equipos juega un papel muy importante para este parámetro económico.

Uno de los factores a tener en cuenta es que los costes del proyecto de inversión no se actualizan si el plazo de ejecución de la inversión no supera el año, ya que la inversión se realiza en el tiempo actual (año 0).

Criterios de decisión en relación con el VAN Si el VAN >0 el proyecto es aceptable, si el VAN <0 el proyecto es rechazable, y si el VAN = 0, resulta indiferente. Un valor nulo no significa que la rentabilidad del proyecto es la misma que colocar los fondos en el mercado con un interés equivalente a la tasa de descuento utilizada [29]. El VAN es la suma de los costos y beneficios generados del proyecto en su vida útil, expresado de la siguiente manera.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} = F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + K + \frac{F_N}{(1+i)^N} \quad (1)$$

De esta manera, el VAN queda expresado en [\$].

La tasa interna de rentabilidad o retorno (TIR) Este parámetro hace que, el valor actual neto de una inversión sea igual a cero (VAN=0). El TIR, es una tasa de actualización o descuento que iguala con exactitud el valor presente de los beneficios esperado de un proyecto y el costo (desembolso inicial) del mismo.

Criterios de decisión en relación con el TIR Si la TIR del proyecto es mayor que el costo de oportunidad del capital, entonces el proyecto debería ser aceptado (VAN positivo), si la TIR del proyecto es igual al costo de oportunidad del capital, el inversor estará indiferente entre realizar o no dicho proyecto (VAN=0) y finalmente, si la TIR del proyecto es menor al costo de oportunidad del capital, entonces el proyecto debería ser rechazado (VAN negativo).

Si bien es cierto, para realizar el cálculo se deberá hacer por iteraciones, existe la facilidad de realizar en la hoja de cálculo Excel o por calculadoras financieras. La ventaja de este indicador es que el cálculo no requiere tasa de descuento y el resultado se muestra como el interés obtenido de la inversión. Además, el VAN tiene una serie de flujos de caja posteriores (F_0, F_1, F_n) para el cual el VAN es cero.

Periodo simple de repago (PSR) El siguiente indicador financiero hace referencia al tiempo que se tardara en recuperar la inversión inicial de un proyecto y está expresado por la inversión inicial y el ahorro en el primer año.

$$PSR = \frac{\Delta I}{(\Delta O \& M)} \quad (2)$$

Una de las desventajas de este indicador es que no considera la vida útil de la inversión si tampoco el valor futuro del dinero.

Relación Costo Beneficio (RCB) Este análisis es el encargado de manera implícita o explícita determinar el total de los costos y beneficios de las alternativas y así tomar

una mejor decisión. Es la relación entre el valor actual neto de los costos (VANC) y el valor actual neto de los beneficios (VANB), como se muestra en la expresión.

$$VAN = \frac{VANB}{VANC} \quad (3)$$

Criterios de decisión en relación con el RCB Para que el proyecto sea económicamente viable, se toma los siguientes criterios.

- Valor actual neto mayor que cero $VAN > 0$
- Tasa de interés de retorno mayor que la tasa de descuento TIR.
- Periodo de recuperación de la inversión menor que la vida útil $PSR < n$.
- Relación costo/beneficio menor que 1. $RCB < 1$

3.4.4. Análisis económico para la alternativa de iluminación con tecnología LED

En esta sección se pone en práctica de los conceptos desarrollados en los apartados 3.3.3. tales que permitirá desarrollar y decidir la conveniencia o no del proyecto. De esta manera es necesario recopilar todos los datos importantes como, por ejemplo: el costo por tipo de lámparas, el costo de los equipos complementarios para cada luminaria, la potencia, vida útil y el tiempo de funcionamiento del equipo por día.

Plan de mantenimiento preventivo-correctivo y mano de obra para el sistema actual halógeno. Se estableció un plan de mantenimiento y recambio para cada luminaria con base a la vida útil, mismas que están entre 500 a 2500 horas de vida. Se realiza la conversión por las horas que entran en funcionamiento al día, para determinar cada qué tiempo necesita el recambio al año. La luminaria TWY (45W), tiene un mayor tiempo de reposición, es decir, cada 10 meses, mientras que las luminarias restantes están en un rango de 2 a 5 meses.

El cambio se realiza únicamente para las bombillas, el costo de los elementos a sustituir se extrae desde la plataforma (GENESIS LAMP) [31]. La cantidad de luminarias para el reemplazo se determina, por la cantidad de veces que se realiza al año, más la cantidad de luminarias que ocupa el equipo. De acuerdo con las indicaciones de la CORPAC, se revisa que las partidas presupuestarias tienen un monto de \$ 50,000.00 para la adquisición de luces y repuestos aeronáuticos de pista. Los costos de mano de obra calificada en los grupos de trabajo son variables, se considera el tiempo empleado para la reposición o mantenimiento de cada elemento. De acuerdo con la CORPAC, se emplea un tiempo aproximado de 1 hora para el reemplazo de los equipos y el costo por hora del operario electricista es de \$ 5 para los equipos TWY y RWY (elevados y empotradas), mientras que los equipos restantes se estima un costo de \$8 por luminaria. Además, hay que indicar que los gastos por importación, aduana, transporte, etc. están incluidos dentro de los costos del material.

Hay que recalcar que adicionalmente se realiza el cambio de los Sockets para las luminarias RWY empotradas de borde y umbral/fin de pista, como se muestra en la tabla 11.

Los costos de mantenimiento preventivo y mano de obra para el sistema de iluminación con tecnología LED, recae únicamente en los productos de limpieza, así mismo, se realizará 2 veces al año. Se considera un tiempo aproximado de 20 minutos para la limpieza de cada luminaria, el costo del operario es de \$ 5 por hora.

Tabla 11: Cambio de Sockets para balizas RWY Sistema Halógeno.

Fuente: Autores

Elementos	unidades	Tiempo de reposición al año	Costo de material (USD)	Total, de unidades Sustituidas	Costo total (USD)
RWY empotrada borde	44	3	65.10	132	8,593.20
RWY empotrada Umbral/Fin Pista	32	3	65.10	96	6,249.60
TOTAL:					14,842.80

De esta manera, el análisis de mantenimiento correctivo para las dos luminarias mencionadas del sistema actual se deberá sumar por el costo total de los sockets, es decir, RWY empotrado de borde: \$ 28,419.60 y RWY del umbral y fin de pista: \$ 20,668.80. Este apartado es importante, ya que involucra al análisis financiero en cuanto al ahorro de operación y mantenimiento. El sistema de iluminación LED no requiere de este tipo de accesorio.

El costo total de mantenimiento preventivo para las luminarias LED de Señalización vertical e Indicadores de viento, se reparte el costo total por la cantidad de elementos que mantiene, dicho de otra manera, el costo total para señalización vertical es de \$200, se repartirá \$ 120 para luminarias de 500W y \$ 80 para luminarias de 300W dependiendo la cantidad de elementos que tiene.

Tabla 12: Costo, Mantenimiento Preventivo-Correctivo y Mano de Obra (Sistema Actual).
Fuente: Autores.

Costos de mantenimiento y mano de obra (Sistema Actual HALOGENO)										
Elementos	Cantidad	Horas de uso al día	Horas de vida Útil	Tiempo de reemplazo (Mes)	Cantidad de reemplazos en un año	Total, de unidades sustituidas (Año)	Costo de materiales (USD)	Costo de reposición año (USD)	Costo mano de obra año (USD)	Total (USD)
Unidad RWY Elevada	25	8	500	2	6	150	27.9	4,185.00	750.00	4,935.00
Unidad RWY Empotrado	44	8	1000	4	3	264	32.55	8,593.20	1,320.00	9,913.20
Unidad RWY Umbral final	32	8	1000	4	3	192	32.55	6,249.60	960.00	21,899.70
Unidad TWY	88	8	2500	10	1	88	27.90	2,455.20	440.00	2,895.20
Unidad R.E.I.L.	4	8	1000	4	3	12	50.00	600.00	96.00	696.00
Marcadores de Distancia	5	8	1200	5	2	10	37.20	372.00	80.00	452.00
Letr. Señali. Vertical	15	8	1200	5	2	30	10	300.00	240.00	540.00
Indicadores de Viento	3	8	1000	4	3	9	16.00	144	72.00	216.00
P.A.P.I Uo6	4	16	1000	2	6	48	32.55	1,562.40	384.00	1,946.40
P.A.P.I U24	4	16	1000	2	6	72	32.55	2,343.60	576.00	2,919.60
Socket baliza empotrada	76	--	--	--	3	228	65.10	14,842.80	–	14,842.80
									TOTAL	46,565.8

Tabla 13: Costo, Mantenimiento Preventivo y Mano de Obra (Sistema Proyectado).

Fuente: Autores.

Costos de mantenimiento y mano de obra (Sistema Proyectado LED)									
Elementos	Cantidad	Horas de uso al día	Horas de vida Útil	Tiempo de reemplazo (años)	Mantenimientos de unidades en un año	Total, de unidades revisadas (Año)	Costo de materiales (USD)	Costo de mano de obra año (USD)	Total (USD)
Unidad RWY Elevada	25	8	130000	41	2	150	100.00	83.3	183.3
Unidad RWY Empotrado	44	8	130000	41	2	264	100.00	146.7	246.7
Unidad RWY Umbral final	32	8	130000	41	2	192	100.00	106.7	207.6
Unidad TWY	88	8	130000	41	2	88	150.00	293.3	443.3
Unidad R.E.I.L.	4	8	130000	41	2	12	100.00	13.3	113.3
Marcadores de Distancia	5	8	130000	41	2	10	100.00	16.7	116.7
Letr. Señali. Vertical	15	8	130000	41	2	30	150.00	50.00	200.00
Indicadores de Viento	3	8	100000	31	1	9	50	5.00	55.00
P.A.P.I Uo6	4	16	1000	2 (MES)	6	48	100.00	13.3	113.3
P.A.P.I U24	4	16	100000	16	2	72	100.00	13.3	113.3
P.A.P.I Uo6 ACTUAL	4	--	--	--	6	--	32.55	384.00	1,946.40
								TOTAL	3,738.10

3.4.5. Evaluación Económica para Luminarias del circuito RWY Elevada

En el análisis se realiza una comparación del circuito de iluminación existente y proyectado, tomando en consideración aspectos como los precios de inversión, el costo de energía por kWh/mes, kWh/año, ahorros generados, los costos de operación y mantenimiento y muy importante el tiempo de reemplazo.

Tabla 14: Unidad RWY Elevado.

Fuente: Autores

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad RWY Elevada Halógena		120	25	3		
Unidad RWY Elevada LED		45	25	1.125		
Potencia ahorrada en (kW)				1.8		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Unidad RWY Elevada LED		U	25	1,802.00	45,050.00	
Equipo Complementario		Global	1	33,394.50	33,394.50	
TOTAL:					78,444.50	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h/día)	Funcionamiento (h/año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD)	Costo de O&M (USD)
Unidad RWY Elev. Halogena	0,07	8	2,920	8,760.0	613.20	4,935.00
Unidad RWY Elev. LED	0,07	8	2,920	3,285.0	229.95	183.30
Ahorros Calculados				5,475.00	383.25	4,751.7
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		41				
Ahorro en vida útil (USD)			15,713.25			

Cálculo de los Indicadores Comparativos

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) Para el cálculo correspondiente se toma la tasa de interés del 12 %, además la vida útil de la luminaria, misma que se mide en horas de vida y que están sujetas a consideraciones adversas como el deterioro por condiciones climáticas, malas maniobras por los operarios, calidad de energía, etc. Tomando estas consideraciones se reduce con un factor del 10 % en pérdidas.

$$Vida_{util}Rwy = \frac{130000 \cdot 10}{100} - 130000 = 117000.00$$

$$Vida_{util}Rwy(mes) = \frac{117000.00}{(8 \cdot 30)} = 487.5$$

$$Vida_{util}Rwy(anual) = \frac{487.5}{12} = 41$$

DATOS:

$V_t = 20,464.92$ Flujo constante durante la vida útil

$F_0 = 78,444.50$ Valor de desembolso de inversión

$n = 41$ número de periodos considerados

$k = 12\%$ Tasa de renta fija utilizada

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0 \quad (4)$$

$$VAN = -78,444.50 + 20,464.92 \left[\frac{1}{(1+0.12)^1} + \frac{1}{(1+0.12)^2} + \frac{1}{(1+0.12)^3} \dots + \frac{1}{(1+0.12)^{41}} \right]$$

$$VAN = 90,460.07$$

Cálculo de la tasa interna de retorno

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_F t}{(1 + TIR)^t} - F_0 \quad (5)$$

$$VAN = -78,444.50 + 20,464.92 \cdot \left[\frac{1}{(1 + TIR)^1} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \frac{1}{(1 + TIR)^3} \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{41}} \right]$$

$$1.94 = \left[\frac{1}{(1 + TIR)^1} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \frac{1}{(1 + TIR)^3} \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{41}} \right] = \alpha$$

$$\alpha = 26\%$$

Cálculo del periodo de recuperación

$$PRS = \frac{\text{inversion del capital}}{\text{ahorro anual neto}} \quad (7)$$

$$PRS = \frac{78,444.50}{20,464.92}$$

$$PRS = 5 \text{ años}$$

Cálculo relación costo-beneficio Para el siguiente cálculo se determina el valor actual neto de costo ($VANC$) y del beneficio ($VANB$).

$$VANB = \sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (8)$$

$$VANB = 0 + 20,464.92$$

$$\left[\frac{1}{(1+0.12)^1} + \frac{1}{(1+0.12)^2} + \frac{1}{(1+0.12)^3} \dots + \frac{1}{(1+0.12)^{41}} \right]$$

$$VANB = 168,904.5$$

$$VANC = F_0 + \sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t} \quad (9)$$

$$VANC = 78,444.50$$

$$RBC = \frac{VANB}{VANC} = 2.15 \quad (10)$$

Análisis de resultados Los resultados de la evaluación financiera tiene una proyección a 41 años (vida útil), cuya inversión es de \$ 78,444.50, comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Así mismo, los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 4,935.00, en comparación al costo de mantenimiento del sistema con tecnología LED que es de \$ 183.30, el costo actual refleja un valor demasiado alto para las pocas horas de vida útil que tienen. En cuanto a la energía ahorrada para esta unidad de iluminación es de 5,475.00 kWh/año, el cual representa un costo de ahorro estimado de \$ 383.25, en otras palabras, el equipo lumínico contribuye un ahorro del 62.5 %.

Con base en los indicadores económicos el VAN es POSITIVO con un valor de USD 90,460.07, en lo que refiere al TIR se tiene un valor del 26 %, el RBC de 2.15 y el periodo de recuperación de capital tiene un alcance de 5 años.

Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 41 años de proyección, a pesar de la influencia del costo de la inversión inicial sea muy alta.

3.4.6. Evaluación Económica para Luminarias del circuito RWY Empotrada de Borde

Tabla 15: Unidad RWY de borde tipo LED.
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad RWY Empotrada Halógena		230	44	10.12		
Unidad RWY Empotrada LED		65	44	2.86		
Potencia ahorrada en (kW)				7.26		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Unidad RWY Empotrada LED		U	44	2,312.00	101,728.00	
Equipo Complementario		Global	1	44,487.52	44,487.52	
TOTAL:					146,215.52	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD)	Costo de O&M (USD)
Unidad RWY Empo. Halogena	0,07	8	2,920	29,550.4	2,068.53	18,506.4
Unidad RWY Empo. LED	0,07	8	2,920	8,351.2	584.58	246.7
Ahorros Calculados				21,199.2	1,483.94	18,259.73
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		41				
Ahorro en vida útil (USD)			60,841.71			

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 16: Indicadores financieros unidad RWY de Borde.

Fuente: Autores.

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	506,638.1	Se acepta el proyecto. Este valor representa el beneficio que se obtendrá a lo largo de los años de vida útil del equipo.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_{Ft}}{(1+TIR)^t} - F_0$	54.10 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	2.40	Este tiempo de recuperación revela, el tiempo en el cual cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	4.46	$RBC > 1$, se acepta el proyecto. Además, este valor significa que, por cada dólar invertido, esto fue recuperado y se obtiene una ganancia extra de \$3.46.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	652,853.6	Representa el valor presente de los beneficios (ahorros por vida útil y O&M).
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	146,215.5	Representa el valor presente de los costos (inversión).

Análisis de resultados

Se analiza la evaluación financiera de la luminaria RWY empotrada de borde, con base a la vida útil del equipo (41 años), cuya inversión es de \$ 146,215.52, comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para su respectiva instalación. Así mismo, los costos de mantenimiento correctivo y mano de obra para el equipo actual son de \$ 18,506.4 y para el sistema LED es de \$ 246.70, dicho costo de la luminaria actual es demasiado alto respecto al sistema LED, debido a que se adiciona los sockets y estas tienen un mayor costo que las mismas luminarias, adicional a ello la vida útil es muy corta, mientras que nueva tecnología requiere de un gasto único en mantenimiento

preventivo (limpieza). El análisis se realiza con respecto a un año. La energía ahorrada para el equipo es de, 21,199.20 kWh/año, el cual representa un costo de ahorro estimado de \$ 1,483.94, es decir, constituye un ahorro del 71.73 % para el circuito.

Con relación a los indicadores económicos, el resultado financiero VAN es POSITIVO con un valor de USD 506,638.10, el indicador TIR tiene un valor de 54.10 %, el RBC de 4.46 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 2.4 años.

Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 41 años de proyección, a pesar de la influencia del costo de la inversión inicial.

3.4.7. Evaluación Económica para Luminarias del circuito RWY del Umbral/Fin de pista Empotrado

Tabla 17: Unidad RWY de Umbral/Fin de pista tipo LED
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad RWY U. Empotrada Halógena		230	32	7.36		
Unidad RWY U. Empotrada LED		65	32	2.08		
Potencia ahorrada en (kW)				5.28		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Unidad RWY U. Empotrada LED		U	32	2,380.00	76,160.00	
Equipo Complementario		Global	1	32,354.56	32,354.56	
TOTAL:					108,514.56	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD/año)	Costo de O&M (USD)
Unidad RWY U Empo. Halogena	0,07	8	2,920	21,491.2	1,504.38	13,459.20
Unidad RWY U Empo. LED	0,07	8	2,920	6,073.6	425.15	206.70
Ahorros Calculados				15,417.6	1,079.23	13,252.53
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		41				
Ahorro en vida útil (USD)			44,248.51			

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 18: Indicadores financieros Unidad RWY del Umbral.

Fuente: Autores.

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	366,062. 96	Se acepta el proyecto. Este valor representa el beneficio que se obtendrá a lo largo de los años de vida útil del equipo.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - F_0$	53 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	2.45	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	4.37	RBC > 1, se acepta el proyecto. Además, este valor significa que, por cada dólar invertido, esto fue recuperado y se obtiene una ganancia extra de \$3.37.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	474,577. 52	Representa el valor presente de los beneficios.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	108,514. 56	Representa el valor presente de los costos (inversión).

Análisis de resultados De acuerdo con la evaluación financiera de la luminaria con respecto a la vida útil del equipo (41 años), cuya inversión es de \$ 108,514.56, el cual está comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Asimismo, los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 13,459.20 y para el equipo LED es de \$ 206.70, estos costos están referidos a un año. De igual manera, la luminaria actual requiere de 32 sockets por cada cambio que se realiza al año, esto incrementa el valor total de mantenimiento correctivo. La energía ahorrada para el equipo durante este periodo es de 15,417.60 kWh/año, el cual representa un costo de ahorro estimado de \$ 1,079.23, es decir, constituye un ahorro del 71.73 %.

El resultado financiero VAN es POSITIVO con un valor de USD 366,062.96, relación

con el TIR tiene un valor de 53 %, el RBC de 4.37 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 2.45. Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 41 años de proyección, a pesar de la influencia del costo de la inversión inicial.

3.4.8. Evaluación Económica para Luminarias del circuito TWY Elevada

Tabla 19: Unidad TWY elevada.
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad TWY Elevada Halógena		45	88	3.96		
Unidad TWY Elevada LED		25	88	2.2		
Potencia ahorrada en (kW)				1.76		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Unidad TWY Elevada LED		U	88	399.50	35,156.00	
Equipo Complementario		Global	1	85,983.04	85,983.04	
TOTAL:					121,139.04	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD/año)	Costo de O&M (USD)
Unidad TWY Elev. Halogena	0,07	8	2,920	11,563.2	809.42	2,895.20
Unidad TWY Elev. LED	0,07	8	2,920	6,424.0	449.68	443.30
Ahorros Calculados				5,139.2	359.74	2,451.87
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		41				
Ahorro en vida útil (USD)				14,749.50		

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 20: Indicadores financieros unidad TWY

Fuente: Autores

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	20,830.2 7	Se acepta el proyecto. Este valor representa el beneficio que se obtendrá a lo largo de los años de vida útil del equipo.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_F t}{(1+TIR)^t} - F_0$	14.14 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	8.21	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	1.17	RBC > 1, se acepta el proyecto. además, este valor significa que, por cada dólar invertido, esto fue recuperado y se obtiene una ganancia extra de \$0.17.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	141,969. 31	Representa el valor presente de los ingresos.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	121,139	Representa el valor presente de los egresos.

Análisis de resultados Se analiza la evaluación financiera de la luminaria con respecto a la vida útil del equipo, cuya inversión es de \$ 121,139.04, el cual está comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Asimismo, los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 2,895.20y para el equipo LED es de \$ 443.30, estos costos referidos a un año de análisis. La energía ahorrada para el equipo es de 5,139.20 kWh/año, el cual representa un costode ahorro estimado de \$ 359.74, es decir, constituye un ahorro del 44.44 % para dicho sistema.

El resultado financiero VAN es POSITIVO con un valor de USD 20,830.27, en relación con el TIR se tiene un valor de 14.14 %, un RBC de 1.17 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 8.2.

Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 41 años de proyección, a pesar de la influencia del costo de la inversión inicial.

3.4.9. Evaluación Económica para Luminarias del circuito R.E.I.L. tipo LED

Tabla 21: Equipo R.E.I.L.
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Equipo R.E.I.L. Halógena		200	4	0.8		
Equipo R.E.I.L. LED		100	4	0.4		
Potencia ahorrada en (kW)				0.4		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Equipo R.E.I.L. LED		Equipo	2	20,400.00	40,800.00	
Equipo Complementario		Global	1	4,146.32	4,146.32	
TOTAL:					44,946.32	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD/año)	Costo de O&M (USD)
Equipo R.E.I.L. Halógena	0,07	8	2,920	2,336.0	163.52	696.00
Equipo R.E.I.L. LED	0,07	8	2,920	1,168.0	81.76	113.30
Ahorros Calculados				1,168.0	81.76	582.67
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		41				
Ahorro en vida útil (USD)			3,352.16			

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 22: Indicadores financieros unidad R.E.I.L
Fuente: Autores

Cálculos de los indicadores financieros		Observaciones	
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	- 12,470.73	VAN<0 No se acepta el proyecto.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_F t}{(1+TIR)^t} - F_0$	8 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	13.41	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	0.72	RBC<1, No se acepta el proyecto.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	32,475.59	Representa el valor presente de los beneficios.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	44,946.32	Representa el valor presente de los costos (inversión).

Análisis de resultados La evaluación financiera de la luminaria se realiza con respecto a la vida útil del equipo, cuya inversión es de \$ 44,946.32, el cual está comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Asimismo, los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 696.00y para el equipo LED es de \$ 113.30, estos costos referidos a un año de análisis. Como se observa, los costos de reposición para la luminaria actual no son muy elevados, ya que solamente el aeródromo cuenta dos luminarias para el umbral 06 y 24, además el tiempo de sustitución se realiza 3 veces al año. La energía ahorrada para el equipo es de 1,168.0 kWh/año, el cual representa un costo de ahorro estimado de \$ 81.76, es decir, constituye un ahorro del 50 % al circuito.

El resultado financiero VAN es NEGATIVO con un valor de USD -12,470.73, en relación con el TIR se tiene un valor de 8 %, un RBC de 0.72 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 13.41.

Financieramente, el proyecto NO ES RENTABLE, para los 41 años horizonte, principalmente por el alto costo del equipo. Sin embargo, con fundamentos a los resultados se considera un análisis de Discontinuidad del equipo, como se muestra en la siguiente figura 42.

Product Transition Table	
Product Name	L-849 REIL Runway End Identification Lights (44A1161/xx)
Reason(s) for Discontinuance	We are partnering with Flash Technology to serve the market for Xenon REILs.
Last time buy deadline	June 1, 2016
	Last day to order complete products. Orders for discontinued products will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	January 1, 2018
	Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Figura 42: Discontinuidad del Equipo R.E.I.L.
Fuente: ADB Safegate.

Por lo tanto, el análisis de discontinuidad se menciona que ADB Safegate deja de fabricar las luces R.E.I.L. (FAA L-849), por motivos de una nueva asociación con productos de Xenón R.E.I.L.S. Asimismo, las fechas para la última adquisición del producto fueron ya expiradas. Y de esta manera, el equipo de iluminación se realizará el cambio por obligatoriedad.

3.4.10. Evaluación Económica para Luminarias del Circuito Marcador de Distancia tipo LED

Tabla 23: Marcadores de Distancia tipo LED.
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad Marcadores de distancia Halógena		300	5	1.5		
Unidad Marcadores de distancia LED		150	5	0.75		
Potencia ahorrada en (kW)				0.75		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Unidad Marcador de distancia LED		U	5	6,885.00	34,425.00	
Equipo Complementario		Global	1	5,990.40	5,990.40	
TOTAL:					40,415.40	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD/año)	Costo de O&M (USD)
Unidad Marc. Dist. Halogena	0,07	8	2,920	4,380.0	306.60	452.00
Unidad Marc. Dist. LED	0,07	8	2,920	2,190.0	153.30	116.70
Ahorros Calculados				2,190.0	153.30	335.33
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		41				
Ahorro en vida útil (USD)		6,285.30				

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 24: Indicadores Financieros Unidad Marcador de Distancia

Fuente: Autores

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	14,227.15	Se acepta el proyecto. Este valor representa el beneficio que se obtendrá a lo largo de los años de vida útil del equipo.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - F_0$	16.35 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	6.43	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	1.35	$RBC > 1$, se acepta el proyecto. además, este valor significa que, por cada dólar invertido, esto fue recuperado y se obtiene una ganancia extra de \$0.34.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	54,642.55	Representa el valor presente de los ingresos.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	40,415.40	Representa el valor presente de los egresos.

Análisis de resultados La evaluación financiera de las luminarias se realiza con respecto a la vida útil del equipo, cuya inversión es de \$ 40,415.40, el cual está comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Asimismo, los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 452.00 y para el equipo LED es de \$ 116.70, estos costos referidos a un año de análisis, la diferencia de costos no es exagerada debido a que la vida de utilización de la luminaria halógena requiere de dos veces el reemplazo al año. En cuanto a la energía ahorrada para el equipo es de 2,190.0 kWh y se estima un ahorro de \$ 153.30 al año. Representando así un porcentaje de ahorro de 50 % al circuito.

El resultado financiero VAN es POSITIVO con un valor de \$ 14,227.15, con relación al TIR se tiene un valor de 16.35 %, un RBC de 1.35 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 6.43.

Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 41 años horizonte. Adicionalmente, el equipo cuenta con certificación de discontinuidad, lo cual, hace que la necesidad del cambio sea, no solo por un análisis económico, sino por falta de fabricación de hoy en día para los equipos.

Product Transition Table	
Product Name	FAA L-858 AGSF – Incandescent Airfield Guidance Signs
Reason(s) for Discontinuance	Little to no demand, end-of-life (EOL) stage.
Last time buy deadline	December 1, 2020 Orders will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	December 1, 2025 Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Equivalent product replacements are available for this product as indicated in the "Product Replacement Table" below.

Product Replacement Table	
Discontinued Part Numbers	Replacement Part Number
SHXX-XXXXXX SWXX-XXXXXX	L-858(L) AGSF-L LED Airfield Guidance Signs https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=agsf-l-l858-led-airfield-guidance-sign-faa LED Retrofit Kits 94A0628/XX0 - Converts existing incandescent sign power supply and lamps to LED power supply and LED light bars.

Figura 43: Discontinuidad del Equipo Marcadores de Distancia.
Fuente: ADB Safegate

Por consiguiente, en el análisis de discontinuidad menciona que ADB Safegate ha interrumpido la fabricación de señales FAA L-858 AGSF. Asimismo, las fechas para la última adquisición del producto fueron ya expiradas.

3.4.11. Evaluación Económica para Luminarias del Circuito Señalización Vertical tipo LED

Tabla 25: Señalización Vertical tipo Led.
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED				
Elementos	Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)	
Unidad señalización vertical Halógena	300	15	4.5	
Unidad señalización vertical LED	500	9	4.5	
Unidad señalización vertical LED	300	6	1.8	
Potencia ahorrada en (kW)			0	
Para este sistema de iluminación no existe ahorro de potencia, por lo contrario, existe un aumento de potencia de 1.8 kW.				
Inversión				
Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 291VA, CS LED.	U	1	9,392.50	9,392.50
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 291VA, CS LED.	U	8	9,392.50	75,140.00
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 241VA, CS LED.	U	1	6,120.00	6,120.00
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 180VA, CS LED.	U	1	6,290.00	6,290.00
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 150VA, CS LED.	U	1	4,930.00	4,930.00
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 150VA, CS LED.	U	1	5,100.00	5,100.00
SEÑALIZACIÓN VERTICAL 150VA, CS LED.	U	2	4,250.00	8,500.00
Equipo Complementario	Global	1	20,393.70	20,393.70
TOTAL:				135,866.20

Tabla 26: SEÑALIZACIÓN VERTICAL.

Fuente: Autores.

Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD/año)	Costo de O&M (USD)
Unidad Señ. Vert. Halogena	0,07	8	2,920	13,140.0	919.80	540
Unidad Señ. vert. LED de 500W	0,07	8	2,920	13,140.0	919.80	120
Unidad Señ. de 300W	0,07	8	2,920	5,256.0	367.92	80
Ahorros Calculados				-5,256.0	-367.92	340.00
Vida útil HALÓGENO (mes)			2			
Vida útil Tecn. LED (años)			41			
Ahorro en vida útil (USD)			-15,084.72			

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 27: Calculo Financiera para Señalización Vertical
Fuente: Autores

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	-257,559.86	VAN<0 No se acepta el proyecto
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_F t}{(1+TIR)^t} - F_0$	0 %	No se acepta el proyecto.
PRS	$\frac{\text{inversion del capita}}{\text{Ahorro anual neto}}$	9.01	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	-0.8	RBC<1, No se acepta el proyecto.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	-121,693.66	Representa el valor presente de los beneficios. Y es negativo debido a que no existe un ahorro energético.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	135,866.20	Representa el valor presente de los costos (inversión).

Análisis de resultados La evaluación financiera de la luminaria se realiza con respecto a la vida útil del equipo, cuya inversión es de \$ 135,866.20, el cual, consiste en 15 letreros de señalización y están clasificados por potencia (VA), tamaño (mm) e iluminación de doble cara o cara sencilla. Además, se suma los costos de los elementos complementarios para la instalación. Los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 540.00 y del equipo LED es de \$ 200 comprendido entre las luminarias de señalización vertical de 500 y 300[W] tipo LED, estos costos de análisis referidos a un año. En cuanto al ahorro de energía, al ser un equipo que consta 9 unidades de 500 W y 6 unidades de 300 W, la demanda de potencia y energía se incrementan en comparación al sistema actual y hace que no exista ahorro, sino al contrario, requiere de un incremento del 28.57 % de consumo de energía. Representando así un ahorro total negativo.

El resultado VAN es NEGATIVO con un valor de USD -257,559.86, con relación al TIR se tiene un valor de 0%, un RBC de -0.8. Financieramente, el proyecto NO ES RENTABLE, para los años horizonte, a causa de dos factores importantes como es la potencia nueva instalada que es mayor con respecto al sistema actual y el alto costo de la inversión. A pesar de ello, con fundamentos a los resultados se considera un análisis de Discontinuidad para el equipo, como se muestra en la siguiente figura 44.

Product Transition Table	
Product Name	FAA L-858 AGSF – Incandescent Airfield Guidance Signs
Reason(s) for Discontinuance	Little to no demand, end-of-life (EOL) stage.
Last time buy deadline	December 1, 2020
	Orders will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	December 1, 2025
	Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Equivalent product replacements are available for this product as indicated in the "Product Replacement Table" below.

Product Replacement Table	
Discontinued Part Numbers	Replacement Part Number
SHXX-XXXXXXX SWXX-XXXXXXX	L-858(L) AGSF-L LED Airfield Guidance Signs https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=agsf-l-l858-led-airfield-guidance-sign-faa LED Retrofit Kits 94A0628/XX0 - Converts existing incandescent sign power supply and lamps to LED power supply and LED light bars.

Figura 44: Discontinuidad del Equipo Señalización Vertical
Fuente: ADB Safegate

El análisis de discontinuidad menciona que ADB Safegate ha interrumpido la fabricación de señales FAA L-858 AGSF. Asimismo, las fechas para la última adquisición del producto fueron ya expiradas. Y de esta manera, el equipo de iluminación se realizará el cambio por obligatoriedad.

3.4.12. Evaluación Económica para Luminarias del Circuito Indicadores de Viento tipo LED

Tabla 28: Indicadores de viento.
Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad indicador de viento Halógena		350	3	1.05		
Unidad indicador de viento LED		200	1	0.2		
Unidad indicador de viento LED		100	2	0.2		
Potencia ahorrada en (kW)				0.65		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Unidad indicador de viento LED.		U	1	15,640.00	15,640.00	
Unidad indicador de viento LED		U	2	10,200.00	20,400.00	
Equipo Complementario		Global	1	3,398.74	3,398.74	
TOTAL:					39,438.74	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD)	Costo de O&M (USD)
Unidad Ind. Vien. Halg de 350W	0,07	8	2,920	3,066.0	214.62	216.00
Unidad Ind. vien. LED de 200W	0,07	8	2,920	584.0	40.88	18.30
Unidad Ind. vien. LED de 100W	0,07	8	2,920	584.0	40.88	36.67
Ahorros Calculados				1,898.0	173.74	161.00
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		31				
Ahorro en vida útil (USD)		5,385.94				

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 29: Cálculo Financiero de Equipo Indicador de viento.

Fuente: Autores

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	5,408.19	Se acepta el proyecto. Este valor representa el beneficio que se obtendrá a lo largo de los años de vida útil del equipo.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - F_0$	14 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	7.32	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	1.14	RBC > 1, se acepta el proyecto. además, este valor significa que, por cada dólar invertido, esto fue recuperado y se obtiene una ganancia extra de \$0.14.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	44,846.93	Representa el valor presente de los beneficios.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	39,438.74	Representa el valor presente de los costos (inversión).

Análisis de resultados La evaluación financiera de la luminaria se realiza con respecto a la vida útil del equipo (31 años), cuya inversión es de \$ 39,438.74, el cual está comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Asimismo, los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de

\$ 216.00 y para el equipo LED es de \$ 50.00 para las tres luminarias, ya que el mantenimiento se realizará una vez al año, estos costos están referidos a un año de análisis, la diferencia del costo de mantenimiento no es tan notoria por varias causas, una de ellas, el precio del material halógeno no es alto y el tiempo de reposición se realiza 3

veces al año. Para este caso, la energía ahorrada para el equipo es de 1,898.00 kWh/año, el cual representa un costo de ahorro estimado de \$ 173.74, es decir, constituye un ahorro del 80.95 %.

El resultado financiero VAN es POSITIVO con un valor de USD 5,408.19, con relación al TIR se tiene un valor de 14 %, un RBC de 1.14 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 7.32. Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 31 años, horizonte.

3.4.13. Evaluación Económica para el Sistema Indicador de Pendiente de Aproximación Visual de Precisión P.A.P.I. U24 tipo LED

Tabla 30: Unidad P.A.P.I. U24.

Fuente: Autores.

Análisis lámparas Halógenas/LED						
Elementos		Potencia (W)	Cantidad	Potencia Total (kW)		
Unidad P.A.P.I. 24 Halógena		600	4	2.4		
Unidad P.A.P.I. 24 LED		200	4	0.8		
Potencia ahorrada en (kW)				1.6		
Inversión						
Descripción		Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total sin IVA (USD)	
Equipo P.A.P.I. U24 LED		Equipo	1	64,600.00	64,600.00	
Equipo Complementario		Global	1	4,826.32	4,826.32	
TOTAL:					69,426.32	
Proyección de Energía						
Elementos	Costo de Energía USD/kWh	Funcionamiento (h*día)	Funcionamiento (h*año)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD/año)	Costo de O&M (USD)
Equipo P.A.P.I. Halógena	0,07	8	2,920	14,016.0	981.12	2,919.60
Equipo P.A.P.I. LED	0,07	8	2,920	4,672.0	327.04	113.30
Ahorros Calculados				9,344.0	654.08	2,806.27
Vida útil HALÓGENO (mes)		2				
Vida útil Tecn. LED (años)		16				
Ahorro en vida útil (USD)				10,465.28		

Resumen de los cálculos financieros

Tabla 31: Cálculo Financiero para el Sistema P.A.P.I.

Fuente: Autores

Cálculos de los indicadores financieros			Observaciones
VAN	$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - F_0$	23,129.22	Se acepta el proyecto. Este valor representa el beneficio que se obtendrá a lo largo de los años de vida útil del equipo.
TIR	$\sum_{t=1}^n \frac{V_{Ft}}{(1+TIR)^t} - F_0$	18 %	El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida, que es el 12 % del costo del capital.
PRS	$\frac{\text{inversión del capital}}{\text{Ahorro anual neto}}$	6.63	Este tiempo de recuperación revela el tiempo en el cual se cubre la inversión inicial en años.
RBC	$\frac{VAN B}{VAN C}$	1.33	RBC > 1, se acepta el proyecto. además, este valor significa que, por cada dólar invertido, esto fue recuperado y se obtiene una ganancia extra de \$0.33.
VANB	$\sum_{t=1}^{41} \frac{V_t}{(1+k)^t}$	92,555.58	Representa el valor presente de los beneficios.
VANC	$F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$	69,426.32	Representa el valor presente de los costos (inversión).

Análisis de resultados La evaluación financiera de la luminaria se realiza con respecto a la vida útil del equipo (16 años), cuya inversión es de \$ 69,426.32, el cual está comprendido entre la unidad lumínica y los elementos complementarios para la instalación. Los costos de mantenimiento y mano de obra para el equipo actual son de \$ 2,919.60 y para el equipo LED es de \$ 113.30, estos costos referidos a un año de análisis. El costo de O&M es alto por causa del tiempo de recambio de la luminaria y el costo de esta bombilla, cada módulo P.A.P.I. tiene 12 luces de 200W dando un total entre los cuatro módulos de 2400W. Este costo, obviando el tiempo y mano de obra para la calibración de este sistema.

En cuanto a la energía ahorrada para el equipo es de 9,344.0[kWh/año], el cual representa un costo de ahorro estimado de \$ 654.08, es decir, constituye un ahorro del 66.66 % para el circuito.

El resultado financiero VAN es POSITIVO con un valor de USD 23,129.22, con relación al TIR se tiene un valor de 18 %, un RBC de 1.33 y el periodo de recuperación del capital hasta el año 6.6. Financieramente, el proyecto ES RENTABLE, para los 16 años, de vida útil que tiene el equipo.

3.4.14. Regulador de corriente constante (CCRs)

Se determina la capacidad de cada equipo CCR distribuyendo las cargas, con el fin de determinar la cantidad de equipos que se utilizara en el proyecto, las cargas se pueden clasificar por grupos: CCR RWY 1, CCR RWY 2, CCR TWY 1, CCR TWY 2, P.A.P.I 06, P.A.P.I. 24 y Señalización Vertical. A continuación, se realizará el cálculo de distribución de cargas por grupos.

Tabla 32: Grupo CCR RWY 1 y CCR RWY 2
Fuente: Autores

Cálculos de Carga CCR's Tecnología LED						
Grupo CCR RWY 1						
	Cantidad	Potencia (VA)	Potencia (W)	Pérdidas (VA)	UNIDAD (VA)	TOTAL (VA)
Balizas empotradas 65W	22	36	65	16.96	52.96	1,165.16
Balizas elevadas 45W	13	33	45	16.96	49.96	649.50
Balizas umbral 65W	16	36	65	16.96	52.96	847.39
R.E.I.L 100W	2	161	100	16.96	177.96	355.92
Marcador de distancia 150W	5	166.67	150		166.67	833.33
Distancia cableada primario 5km	1				500	500
						4351.33
RESERVA:					20 %	870.26
TOTAL:						5,221.60
CCR						7.5 kW
Potencia Total del CCR Crouse Hinds, tipo HALOGENO:						15 kW
REDUCCIÓN DE CARGA:						7.5 kW

Tabla 33: Grupo CCR RWY 1 y CCR RWY 2

Fuente: Autores

Grupo CCR RWY 2						
	Cantidad	Potencia (VA)	Potencia (W)	Pérdidas (VA)	UNIDAD (VA)	TOTAL (VA)
Balizas empotradas 65W	22	36	65	38.55	74.55	1,640.11
Balizas elevadas 45W	12	33	45	38.55	71.55	858.60
Balizas umbral 65W	16	36	65	38.55	74.55	1,192.80
Cono de viento 200W	3	57	200	38.55	95.55	286.65
Distancia cableada primario 5km	1				500	500
						4,478.18
					RESERVA:	20 %
						895.63
					TOTAL:	5,373.82
					CCR	7.5 kW
Potencia Total del CCR Crouse Hinds, tipo HALÓGENO:						20kW
REDUCCIÓN DE CARGA:						12.5kW

Se determina los equipos CCRs Modelo: CRT. El cual está distribuido por:

1. **CCR RWY 1**, capacidad: 7.5 kW. Capacidad actual del CCR, ver tabla 32.
2. **CCR RWY 2**, capacidad: 7.5 kW, Capacidad actual del CCR, ver tabla 33.
3. **CCR TWY 1**, capacidad: 4.0 kW. Actualmente, cuenta con un equipo CCR de capacidad 7.5 KW. lo cual se obtiene una reducción de carga de 3.5 KW y por ende un ahorro económico.
4. **CCR TWY 2**, capacidad: 4.0 kW. Actualmente, cuenta con un equipo CCR de capacidad 4.0 KW.

5. **CCR 5 P.A.P.I. LED**, capacidad: 4.0 kW. Actualmente, cuenta con un equipo CCR de capacidad 4.0 KW.
6. **CCR 6 P.A.P.I. HALG**, capacidad: 7.5 kW. Actualmente, cuenta con un equipo CCR de capacidad 15.0 KW. El cual se tiene un ahorro de potencia de 7.5 KW.
7. **CCR 7**, Señalización vertical, capacidad: 7.5 kW. Actualmente, cuenta con un equipo CCR de capacidad 7.5 KW.

De esta manera se requiere 5 módulos CCRs de 7.5 kW y 3 módulos CCRs de 4.0 kW. La inversión inicial total es de \$ 218.620.00. El consumo eléctrico es de 248,200.00 kWh/año, en comparación a los 6 módulos CCRs que actualmente están en funcionamiento y, representa un total de energía de 391,864.00 kWh/año. la diferencia entre las dos cantidades representa un ahorro económico de energía de 36.66 %. Si se realiza una evaluación financiera, muy probablemente sea factible realizar el cambio; sin embargo, se define con el análisis de discontinuidad, el cual publica que existe una descatalogación del producto *SGRS Constant Current Regulator, Ferrresonant, sizes 4-30 kW. ADB Safegate*, además, no seguirá fabricando este tipo de equipos y fueron ya expiradas las fechas para las últimas adquisiciones del producto, como se muestra en la siguiente figura [45](#).

Product Transition Table	
Product Name	CSF Constant Current Regulator, Ferroresonant, Air-Cooled, 4-30kW PSF SGRS Constant Current Regulator, Ferroresonant, Air-Cooled, 4-30kW PSSF Seismic SGRS Constant Current Regulator, Ferro, Air-Cooled, 4-30kW
Reason(s) for Discontinuance	Replaced by: CRF Reliance Constant Current Regulator, Ferroresonant, Air-Cooled FLPP SGRS Constant Current Regulator, Ferroresonant, Air-Cooled
Last time buy deadline	September 30, 2021
	Last day to order complete products. Orders for discontinued products will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	December 31, 2031
	Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Figura 45: Discontinuidad Equipo CCR.

Fuente: ADB Safegat.

3.4.15. Resumen General

Tabla 34: Cuadro Comparativo

Fuente: Autores

Cuadro de Resumen				
	Potencia (kW)	Consumo Eléctrico (kWh/año)	Costo de Energía (USD)	Ahorro O&M (USD)
Sistema de Iluminación Halógena	103.79	511,846.8	35,829.28	46,565.80
Sistema de Iluminación con Tecnología LED	61.4	311,607.8	21,812.55	3,738.10

En la tabla 34, muestra una comparación entre el sistema de iluminación halógena y con tecnología LED, el cual se puede afirmar que existe una reducción del 39 % de consumo eléctrico y el costo de la energía ahorrada para el aeropuerto, en lo que respecta al ahorro de O&M, existe una reducción del 91 %, de todo el sistema de iluminación de ayudas visuales, este análisis referido a un año. El costo de inversión total referente a los equipos de iluminación y equipos complementarios analizados es de \$ 1,003,026.60.

3.4.16. Huella Ecológica

La huella ecológica es el procedimiento para representar la capacidad que tiene el planeta para procesar los residuos humanos. Es decir, el planeta tiene una capacidad limitada para absorber los residuos ya utilizados de las personas. Esta capacidad va cada vez menor mientras la población humana siga en aumento, esto impulsa a un mayor consumo de los recursos naturales, donde son usados en diferentes áreas para el progreso de la sociedad.

Una de estas áreas es la fabricación de luminarias, donde este producto es muy utilizado en todos los ámbitos de la sociedad, las luminarias se pueden encontrar en todos los lugares donde sea requerido la iluminación, en el hogar, trabajo, automóviles, lugares públicos, etc.

Existen varios tipos de luminarias, incandescentes, fluorescentes, LED, xenón, láser, etc.

En el siguiente análisis se concentra principalmente en dos luminarias (Halógenas y LED).

Para poder evidenciar el aporte al medio ambiente con este cambio de tecnología, se realizará un cálculo de la cantidad de dióxido de carbono CO_2 , que produce el aeropuerto mediante el consumo de la energía eléctrica.

Es de conocimiento público que las luminarias LED son más amigables con el medio ambiente, que las luminarias halógenas, por la razón que no se usan los mismos materiales contaminantes para su construcción, del mismo modo, tienen una ventaja sobre el consumo eléctrico, ya que las luminarias LED consumen menos energía eléctrica que las luminarias halógenas, también se puede observar que su vida útil es mucho más duradera, una de sus desventajas puede ser su elevado costo de adquisición con respecto a las luminarias halógenas. Pero al considerar sus ventajas con respecto a las luminarias halógenas, es una mejor opción decidirse por luminarias LED.

De acuerdo con la **Directiva ErP (EC) 244/2009, a partir del 1 de septiembre de 2018 ya no se podrán fabricar, ni vender, lámparas halógenas que haya**

sido fabricadas después del 31 de agosto [32].

Reducción de emisiones de CO_2 : Al momento que una luminaria entra en funcionamiento, esta empieza a consumir energía eléctrica y por lo siguiente a producir las emisiones de CO_2 , al realizar la comparativa entre estas dos luminarias, la luminaria LED consume una cantidad menor de energía eléctrica en una aplicación determinada en comparación a la luminaria halógena. Esto quiere decir que, si se realiza el cambio de una gran cantidad de luminaria halógena a LED, contribuye a la reducción de emisiones globales de CO_2 a corto y largo plazo.

Eficiencia de la luminaria LED: Al hablar de la luminaria LED, se puede considerar tecnología verde, por la razón que para su construcción no se usa materiales tóxicos como en las luminarias halógenas, y tiene un flujo luminoso similar a la halógena en determinadas áreas, del mismo modo su vida útil se agranda en comparación con la luminaria halógena y esto disminuye las adquisiciones de luminarias halógenas y por lo siguiente reduce los materiales tóxicos usados para su fabricación.

Vida útil: Las luminarias LEDs no son muy diferentes de los electrodomésticos, ya que estas también son construidas de componentes electrónicos como: resistencias, capacitores, diodos, etc. Por lo tanto, el manejo de estos componentes es más sencillo y se puede manejar como cualquier otro electrodoméstico. Por otro lado, las luminarias halógenas tienen materiales de filamentos de metal y gases tal como son el yodo y bromo que se encuentran dentro de una carcasa de vidrio, esto hace que sea imposible su reciclaje.

Para poder evidenciar el aporte al medio ambiente con este cambio de tecnología, se realizará un cálculo de la cantidad de dióxido de carbono CO_2 que produce el aeropuerto mediante el consumo de la energía eléctrica.

Según el informe de **FACTOR DE EMISIÓN DE (CO_2) DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR [33]**, presentado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, nos detalla que el valor del margen de operación (OM) se utiliza para poder desarrollar los cálculos y análisis de la huella de carbono que emite una organización y así poder cuantificar las emisiones de

GEI.

Con este valor de 0.2953 tCO₂/MWh, obtenido del factor de emisión, se puede calcular un valor promedio de dióxido de carbono que se emite en el sistema actual (Halógeno) y proyectado (LED) por el consumo de energía eléctrica del aeródromo.

$$\text{kWh consumido} * \text{Factor de emisión} = \text{Dióxido de carbono producido. (11)}$$

En la siguiente tabla 35, se obtiene el cálculo para cada uno de los equipos según su consumo eléctrico proyectado en un año.

Tabla 35: Cálculo de emisiones de CO₂ actual.

Fuente: Autores.

Equipos	Energía consumida MWh/año	Factor de emisión tCO₂/MWh	Emisiones de tCO₂/año
RWY ELEVADO	8.76	0.2953	2.59
RWY EMPOTRADO	29.55	0.2953	8.73
RWY UMBRAL	21.49	0.2953	6.35
TWY	11.56	0.2953	3.41
R.E.I.L.	2.34	0.2953	0.69
MARCAD. DE DIST.	4.38	0.2953	1.29
LETR. DE SEÑALI.	13.14	0.2953	3.88
INDIC. VIENTO	3.07	0.2953	0.91
P.A.P.I. 06	11.68	0.2953	3.45
P.A.P.I. 24	14.02	0.2953	4.14
CCR 7.5KVA	78.84	0.2953	23.28
CCR 15KW	175.20	0.2953	51.74
CCR 4KVA	21.02	0.2953	6.21
CCR 20KW	116.80	0.2953	34.49
		Total	151.15

Se realizará el mismo cálculo en la siguiente tabla 36 para el sistema con tecnología LED, tomando en cuenta todos los equipos que estarán en operatividad.

Tabla 36: Cálculo de emisiones de CO_2 proyectado.

Fuente: Autores.

Equipos	Energía consumida MWh/año	Factor de emisión tCO₂/MWh	Emisiones de tCO₂/año
RWY ELEVADO	3.29	0.2953	0.97
RWY EMPOTRADO	8.35	0.2953	2.47
RWY UMBRAL	6.07	0.2953	1.79
TWY	6.42	0.2953	1.90
R.E.I.L.	1.17	0.2953	0.34
MARCAD. DE DIST.	2.19	0.2953	0.65
LETR. DE SEÑALI 1	13.14	0.2953	3.88
LETR. DE SEÑALI 2	5.26	0.2953	1.55
INDIC. VIENTO 1	0.58	0.2953	0.17
INDIC. VIENTO 2	0.58	0.2953	0.17
P.A.P.I. 06	11.68	0.2953	3.45
P.A.P.I. 24	4.67	0.2953	1.38
CCR 4KW	116.80	0.2953	34.49
CCR 7.5KW	131.40	0.2953	38.80
		TOTAL	92.02

Se puede observar que el consumo eléctrico actual tiene un aproximado de emisión de, 151.15 tCO₂ en un año, por otro lado, el consumo eléctrico proyectado es mejor a la cantidad actual, con una emisión de, 92.02 tCO₂ en un año.

Tabla 37: Emisiones de CO_2 por consumo eléctrico.

Fuente: Autores.

ACTUAL tCO₂/año	PROYECTADO tCO₂/año	REDUCCIÓN DE tCO₂/año
151.15	92.02	59.13

Como se puede observar en la tabla 37, se tiene como resultado una reducción de, 59.13 tCO₂, es decir, una reducción del 39.1 % al año, donde se puede observar que este beneficio será muy favorable para el medio ambiente a corto y largo plazo.

Según el informe de **FACTOR DE EMISIÓN DE (CO₂) DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR** [33], en el año 2021 se llegó a generar 1.204 kilotoneladas de CO₂ emitidas al medio ambiente por la generación de energía eléctrica, de este modo, se puede obtener que la emisión de CO₂ producida por el aeródromo, con el sistema actual, es del 0.01 % de todo el CO₂ que produce el Ecuador por medio de la energía eléctrica, por lo tanto, estas emisiones disminuyen con el sistema proyectado que tiene un valor 0.007 % de CO₂.

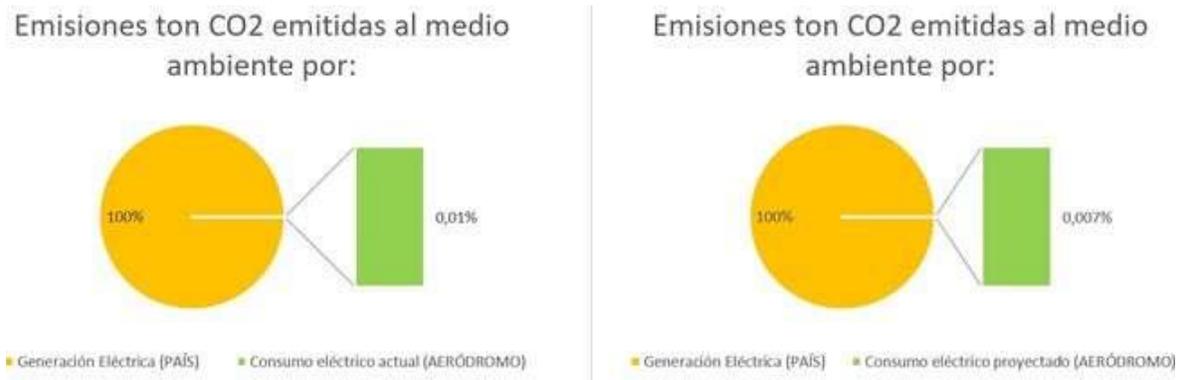


Figura 46: Impacto de emisiones de CO₂ del aeródromo en un año (Actual-Proyectado).
 Fuente: Autores.

4. CAPÍTULO 4

4.1. ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL AERÓDROMO, MEDIANTE EL ANALIZADOR DE RED FLUKE 435

La importancia de medición de calidad de energía en la red eléctrica es de vital importancia, ya que de acuerdo con los indicadores se podrá garantizar un buen funcionamiento a las cargas, además de cumplir con otros parámetros, ya que estos están interrelacionados entre la calidad de energía, la eficiencia y la productividad. Por lo tanto, mediante la medición se determina si los parámetros eléctricos cumplen o no con las normas establecidas y de acuerdo con ello, se dará conclusiones factibles de ser necesario para mantener un sistema eléctrico confiable y funcional al 100 % en todo momento, con ello se logrará tener resultados que favorezcan tanto a la cooperación aeroportuaria como a la empresa suministradora.

4.2. TIPOS DE CARGAS

4.2.1. CARGAS LINEALES Y NO LINEALES

Una carga lineal ocurre cuando esta carga posee elementos como resistencias, inductancias o condensadores. De ese modo, el sistema de voltaje y corriente deberá tener una forma de onda sinusoidal y desfasada entre ellas. Este tipo de carga no posee el problema de distorsión en la forma de onda, ya que el comportamiento de la carga con respecto a la corriente y voltaje es lineal.

Las cargas no lineales requieren una carga no sinusoidal que provoca una caída de tensión a medida que pasa por la impedancia del sistema, lo que a su vez provoca una distorsión de tensión en los terminales de carga. La distorsión de corriente puede ocasionar el calentamiento a los conductores o transformadores, mientras que la distorsión de voltaje puede ocurrir por una operación incorrecta de equipos sensibles. Hoy en día

se ha incrementado a un más este tipo de carga, ya que se puede encontrar en todo lado, por ejemplo: en los convertidores estáticos que se utilizan para fuentes de poder, en los variadores de velocidad, fuentes interrumpibles (UPS), etc.

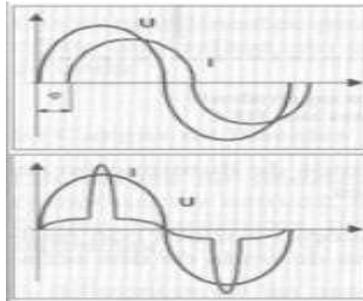
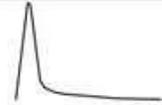
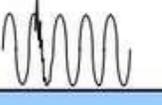
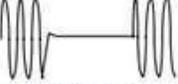
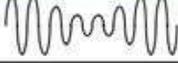


Figura 47: Formas de ondas, carga lineal y no lineal.
Fuente: E.P.S.

4.3. PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

A continuación, se muestra en la figura las perturbaciones eléctricas y las posibles soluciones para mitigar los efectos producidos por las mismas [34].

Categoría de la perturbación	Forma de la onda	Efectos	Posibles causas	Posibles soluciones
1. Transitorios				
Impulsiva		Pérdida de datos, posibles daños, paro del sistema	Rayos, ESD, impulsos de conexión, liberación de fallas de la red	TVSS, mantener humedad entre 35-50%
Oscilatoria		Pérdida de datos, posibles daños	Desconexión de cargas inductivas / capacitivas	TVSS, UPS, reactores/bobinas de choque, interruptor de cruce por cero
2. Interrupciones				
		Pérdida de datos, posibles daños, cierre	Conmutación, fallas de la red, disparo de disyuntores, fallas de componentes	UPS
3. Bajada de tensión / subtensión				
Bajada de tensión		Paro del sistema, pérdida de datos, cierre	Cargas de arranque, fallas	Acondicionador de energía, UPS
Subtensión		Paro del sistema, pérdida de datos, cierre	Fallas de la red, cambios de carga	Acondicionador de energía, UPS
4. Aumento de tensión / sobretensión				
Aumento de tensión		Disparo por interferencia, daños al equipo/vida reducida	Cambios de carga, fallas de la red	Acondicionador de energía, UPS, transformadores de "control" ferromagnético
Sobretensión		Daños al equipo/vida reducida	Cambios de carga, falla de la red	Acondicionador de energía, UPS, transformadores de "control" ferromagnético

5. Distorsión de la forma de onda				
Desplazamiento por CC		Transformadores calentados, corriente por falla de masa, disparo por interferencia	Rectificadores, fuentes de alimentación defectuosas	Encontrar el problema y reemplazar el equipo defectuoso
Armónicas		Transformadores calentados, paro del sistema	Cargas electrónicas (cargas no lineales)	Reconfigurar la distribución, instalar transformadores de factor k, usar fuentes conmutadas con PFC
Interarmónicas		Parpadeo de la luz, calentamiento, interferencia de la comunicación	Señales de control, equipos defectuosos, cicloconvertidores, convertidores de frecuencia, motores de inducción, dispositivos de generación de arco	Acondicionador de energía, filtros, UPS
Corte intermitente		Paro del sistema, pérdida de datos	Mecanismos de velocidad variable, soldadores con arco, atenuadores de luz	Reconfigurar la distribución, trasladar las cargas sensibles, instalar filtros, UPS
Ruido		Detención del sistema, pérdida de datos	Transmisores (radio), equipos defectuosos, masa ineficiente, proximidad a fuente EMI/RFI	Quitar transmisores, reconfigurar puesta a tierra, alejarse de la fuente EMI/RFI, aumentar el blindaje, filtros, transformador de aislamiento
6. Fluctuaciones de tensión		Paro del sistema, parpadeo de luces	Funcionamiento intermitente de los equipos de carga	Reconfigurar la distribución, trasladar las cargas sensibles, acondicionador de energía, UPS
7. Variaciones de la frecuencia eléctrica		Falla del equipo sincrónico. Sin efecto sobre los equipos informáticos	Generadores de reserva regulados en forma ineficiente	Actualizar el regulador del generador

Figura 48: Resumen de las perturbaciones y soluciones.

Fuente: Joseph S.-Terry H.

4.3.1. Distorsión de forma de onda: ARMÓNICOS

La distorsión armónica es la corrupción de la onda senoidal fundamental a frecuencias que son múltiplos de la fundamental, es decir, 180 Hz la tercera armónica de una frecuencia fundamental con 60 Hz es ($3 \times 60 = 180$) [34].

4.3.2. Fluctuaciones de tensión: FLICKER

Es una variación sistemática de la forma de onda de tensión o una serie de cambios aleatorios de tensión de pequeñas dimensiones concretas entre 95 % y 105 % del valor nominal a una frecuencia baja [34]. El flicker está relacionado con la calidad del servicio eléctrico, ya que puede producir molestia visual en las personas sometidas a él [35]. A partir de ello se puede mitigar mediante la compensación de desbalance y la velocidad de respuesta de un STATCOM (Compensa la potencia reactiva).

4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS NORMATIVAS Y ESTÁNDARES PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA

4.4.1. NORMA EN50160

En la siguiente norma, CENELEC, a petición de la Comisión, ha preparado un informe sobre las características de tensión de la electricidad suministrada por los sistemas nacionales de distribución de baja y media tensión, abordando las preocupaciones socioeconómicas de la CE de que los consumidores de electricidad en toda la sociedad deben recibir un "trato justo". Condiciones de calidad y la calidad de su continuidadde suministro eléctrico [36].

La norma es aplicable en condiciones normales de operación y expresa una lista donde no son aplicables como operaciones luego de una falla, cortes de suministro ocasionados por eventos extremos.

CHARACTERISTIC	EN 50160	GB PLANNING VALUES
Power Frequency (50Hz Nominal)	<u>Interconnected Systems</u> $\pm 1\%$ (95% of week) $+ 4\%$ (Absolute limit) $- 6\%$ <u>Islanded Systems</u> $\pm 2\%$ (95% of week) $\pm 15\%$ (Absolute limit)	$\pm 1\%$ (Supply Regs) $\pm 1\%$ (Supply Regs) $\pm 1\%$ (Supply Regs) $\pm 1\%$ (Supply Regs)
Supply Voltage Variations (230V Nominal)	$\pm 10\%$ (95% of week)	$+ 10\%$ (Supply Regs) $- 6\%$
Rapid Voltage Changes	$\pm 5\%$ Frequent $\pm 10\%$ Infrequent	$\pm 3\%$ (ER P28) $\pm 3\%$ (ER P28)
Flicker	$P_1 = 1.0$ (95% week)	$P_{st} = 1.0$ (ER P28) $P_n = 0.8$ (ER P28)
Supply Voltage Unbalance	<u>Majority</u> $< 2\%$ (95% of week) <u>Exceptionally</u> $> 2\%$, $< 3\%$ (95% of week)	$< 1\%$ (Continuous) $< 2\%$ (< 1 Minute) (ER P29)
Harmonic Voltage Distortion	THD $< 8\%$ (95% of week)	THD $< 5\%$ (ERG 5/3)

Figura 49: Normativa EN50160.

Fuente: CENELEC.

4.4.2. IEEE Std 145-2004

Para redes de BT y MT, los niveles de parpadeo que se indican en la siguiente tabla, se recomiendan con base a un nivel de probabilidad del 95 %. Normalmente por debajo de estos niveles no habrá quejas por fluctuaciones de voltaje [37].

	Compatibility Levels
Pst	1.0
Plt	0.8

Figura 50: Normativa, IEEE Std 145-2004 Flicker.
Fuente: IEC.

4.4.3. NORMA IEC 61000430

En la siguiente norma define los parámetros de calidad de energía y el modo de interpretar los resultados. Además, esta norma se define por dos clases, la primera A, el cual se refiere a medidas de baja incertidumbre y certifica el cumplimiento de las normas y B, trata de realizar los estudios estadísticos y solución de problemas relacionadas con la calidad de energía.

4.4.4. NORMA IEEE 1159

A continuación, se muestra la figura, donde se expresa por categorías y características los valores típicos de duración y magnitud de los fenómenos electromagnéticos en calidad de energía [38].

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μ s rise	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu ^a
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 μ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 μ s	0–4 pu
2.0 Short-duration root-mean-square (rms) variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles – 3s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles – 3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles – 3 s	1.1–1.4 pu
2.2.4 Voltage Imbalance		30 cycles – 3 s	2%–15%
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		>3 s – 1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		>3 s – 1 min	1.1–1.2 pu
2.3.4 Voltage Imbalance		>3 s – 1 min	2%–15%
3.0 Long duration rms variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
3.4 Current overload		> 1 min	
Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
4.0 Imbalance			
4.1 Voltage		steady state	0.5-5%
4.2 Current		steady state	1.0-3.0%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–9 kHz	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–9 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broadband	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7% 0.2–2 P _{st} ^b
7.0 Power frequency variations		< 10 s	\pm 0.10 Hz
NOTE—These terms and categories apply to power quality measurements and are not to be confused with similar terms defined in IEEE Std 1366™-2012 [B30] and other reliability-related standards, recommended practices, and guides.			

Figura 51: Normativa, IEEE 1159.

Fuente: IEEE.

4.4.5. ESTÁNDAR IEEE 519

Existe un efecto combinado de todas las cargas no lineales sobre el sistema de distribución, la cual tienen una capacidad limitada para absorber corrientes armónicas. Los operadores de red de energía eléctrica tienen la responsabilidad de suministrar un óptimo nivel de tensión y forma de onda [39]. Todos los valores de distorsión de corriente se dan con base en la máxima corriente de carga (demanda). La distorsión total está en términos de la distorsión total de la demanda (TDD) en vez del término más común THD. En la siguiente tabla se muestra los límites de corriente para componentes de armónicas individuales, así como también distorsión armónica total. Por ejemplo, un consumidor con un SCR entre 50 y 100 tiene un límite recomendado de 12.0 % para TDD, mientras que para componentes armónicas impares individuales de órdenes menores a 11, el límite es del 10 %.

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^\circ$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Figura 52: Estándar IEEE 519. Límites de distorsión de V y I para el sistema.
Fuente: ESTÁNDAR IEEE 519.

4.5. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO MEDIDOR DE CALIDAD DE ENERGÍA FLUKE 435

El analizador de energía y calidad eléctrica, Fluke 435, están diseñados para ayudar a minimizar el tiempo de inactividad, resolver rápidamente problemas de calidad eléctrica y averiguar los costes de la pérdida de energía. Los tiempos de inactividad salen caros y por ello es importante obtener los datos necesarios para resolver inmediato los problemas críticos de calidad eléctrica. Se miden simultáneamente varios parámetros y se muestran en un formato de estado general de la calidad de la energía [40]. La información detallada ayuda a tomar mejores decisiones de mantenimiento, ya sea se esté tratando de reducir la pérdida de energía, determinar la causa de un problema o visualizar el comportamiento del arranque de un motor, para este caso, el encendido momentáneo de los CCRs y el efecto en el sistema eléctrico. Se puede acceder a los datos como valores numéricos simples, gráficos de tendencia (para visualizar los cambios a lo largo del tiempo), formas de onda o gráficos de fase. Los datos también se pueden analizar y organizar en forma tabular.



Figura 53: Equipo Medidor de Calidad de Energía Fluke 435.
Fuente: Autores.

4.5.1. Diagrama de conexión principal

Tener presente que se trabaja con líneas activas, en lo posible desconectar la tensión del sistema eléctrico antes de realizar las debidas conexiones y usar el respectivo equipo de protección.

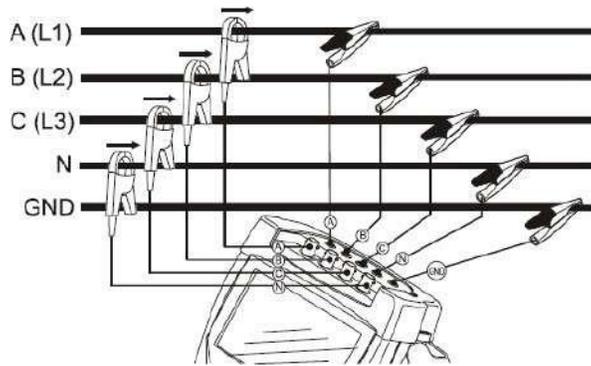


Figura 54: Conexión del Equipo FLUKE 435.
Fuente: Autores.

El equipo posee la pantalla de un osciloscopio donde permite verificar si está realizado correctamente la conexión o no. De esta manera, el diagrama vectorial muestra que las corrientes y tensiones L1, L2, L3 deberán aparecer sucesivamente en sentido de las manecillas del reloj a (negro), b (rojo), c (azul) como se muestra en la siguiente figura 55.



Figura 55: Diagrama Vectorial de Conexión.
Fuente: Autores.

4.5.2. Programación y periodo de medición

La programación depende del sistema eléctrico al cual se vaya a medir, para este caso se conecta el equipo a una red trifásica, el cual se deberá marcar principalmente el tipo de conexión, fecha, hora y los parámetros como voltajes nominales, corriente, potencias, frecuencia, etc. Ya configurado tales parámetros se procede a marcar las perturbaciones que desea realizar el análisis, por ejemplo, armónicos, fluctuaciones de voltaje, desequilibrios, flicker, etc. El tiempo de lectura dependerá de la cantidad de días que el equipo va a permanecer grabando, para este caso se configuró para una grabación de dos tiempos, el primero, para dos días con tiempo de grabación cada 5 segundos y la segunda grabación se realizó para 5 días con un tiempo de lectura cada 1 minuto.



Figura 56: Lectura de datos.
Fuente: Autores.

4.6. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La línea de alta tensión suministrada por la empresa regional centro sur es de 22 kV, con una relación de transformación de 220/127 V. conexión ΔY , el equipo de medición FLUKE 435, se conecta al tablero de red trifásica que se encuentra en el edificio de operaciones (Taller de Electrónica). Cuyo propósito de realizar la medición será para predecir, prevenir y confrontar los problemas que se puedan presentar al existir disturbios en la calidad de energía eléctrica.

4.6.1. Primer análisis

Se realizó una medición, desde la fecha: 25/01/2023, hora: 12:03:36, hasta el 26/01/2023, hora: 23:48:36, con una duración de toma de muestra cada 10 segundos. Donde se mostrará los comportamientos de curvas y valores de los siguientes parámetros.

- Evaluación de las tensiones

Se realiza el análisis de las curvas de voltaje con respecto a valores mínimos, medios y máximos. Se observa que para las líneas L1, L2, L3 el comportamiento de las señales son similares, dando como resultados de variaciones de tensión a partir de la fecha: 25/01/2023, con hora 12:13:45, con un decremento de tensión, el cual oscila entre 122 - 126 [V], a la hora 22:47:35 el voltaje alcanza el valor nominal de 127 V. Y a partir de este tiempo empieza a incrementarse hasta valores de 129.06 V, esto ocurre hasta la hora 07:13:25 del día siguiente. Luego el voltaje RMS nuevamente decrece hasta valores mínimos de 118.16 V. Pasado el transcurso del tiempo llega a su valor nominal, a una hora aproximada de 22:46. Se intuye que nuevamente ocurrirá el mismo comportamiento de oscilaciones en la curva a partir de esa hora. Se puede resumir que el valor máximo de la tensión L1, L2, L3 es de 129.06, 129.2 y 129.99 [V] respectivamente y sucede a la misma hora 07:00:35 del día 26, el valor medio es de 123.62 [V] y los valores mínimos son de 118.16, 119.02 y 119.82[V] para cada una de las líneas, a la hora 19:05:00. El comportamiento para qué sé de un decremento de tensión se da por, el tiempo que entran a funcionar los CCRs de las balizas en específico y brindar servicio de luminosidad, pasado el transcurso de las horas existe un incremento porque el CCR deja de funcionar y por ende las balizas van decrementando su luminosidad consecutivamente a otro lapso (apagado).

De acuerdo con la REGULACIÓN No. ARCERNNER - 002/20, inciso, nivel de voltaje para media tensión, el rango admisible es del $\pm 10\%$, representando así una relación entre 114.3 y 139.7 V. Por lo tanto, el análisis de la tensión está dentro de la regulación ARCERNNER.

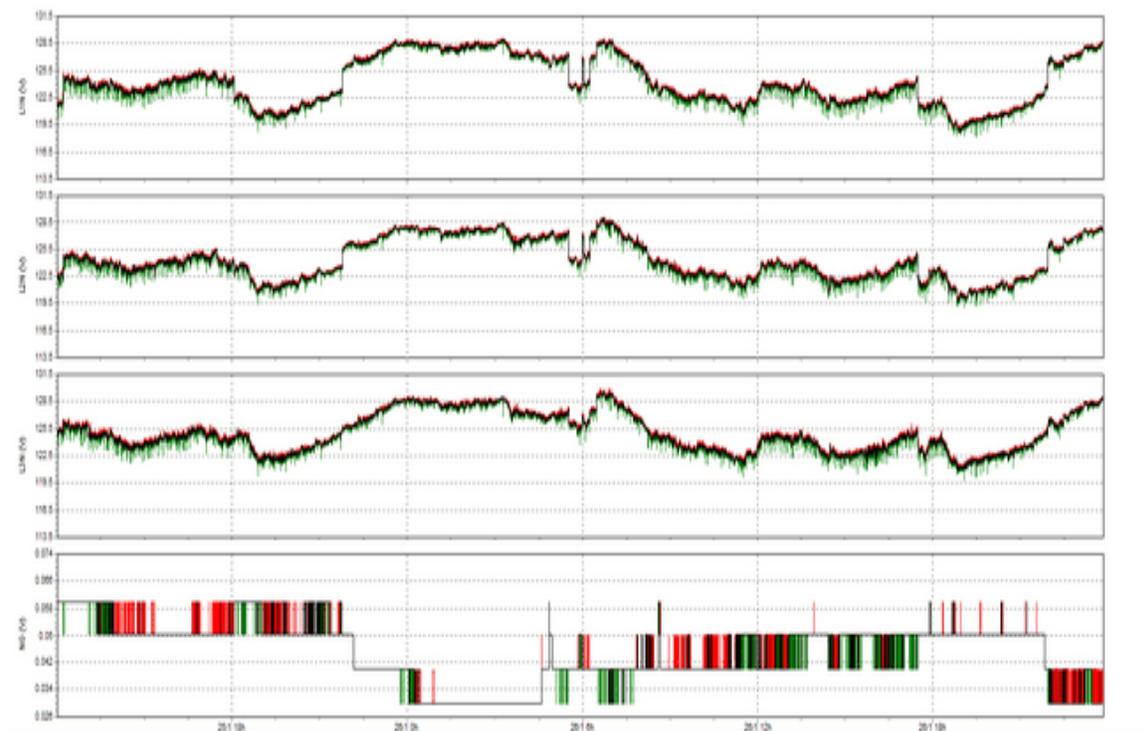


Figura 57: Curvas de Voltajes L1, L2, L3.

Fuente: Autores.

- Evaluación de las corrientes

Se realiza el análisis para el mismo periodo de tiempo, donde se observa que, durante este lapso, las ondas de corriente tienen un comportamiento similar entre las líneas L1, L2, L3; sin embargo, pueden variar algunos de los valores RMS en el mismo intervalo de tiempo. Como es el caso, se realiza una interpretación en conjunto de las 3 líneas. De esta manera se tiene una corriente que oscila entre 22-40, 43-73, 33-66 [A], para cada una de las líneas, comprendido entre un tiempo de 12:21:55 a 17:57:25, del día 25/01. Luego de este tiempo existe una corriente constante de 150, 133, y 84 [A], por un corto periodo de tiempo. Y lo más relevante es que a partir de la hora 06:09:35 hasta las 17:29:55, existe un

decremento y estabilización de corriente por 11h:30, con un valor de 14, 29 y 26 [A] para las líneas. En resumen, las corrientes máximas y mínimas para las líneas L1, L2, L3 es de 203, 177, 143 [A] y 0, 1, 0 [A] respectivamente. Al comparar con la tensión de los valores máximos de la corriente, se tiene que en ese tiempo específico hubo una caída de tensión de 123 V. Como conclusión, mientras la corriente sube el voltaje decrementa en un punto de análisis. Probablemente, al tener un corriente demasiado alto puede deberse a que se activaron varios CCRs para la alimentación de balizas y otros equipos, esto por los vuelos que entran y salen a ese lapso. Así también la corriente para el neutro es de 30 A max., 5A min. y una corriente media promedio de 14.17 A.

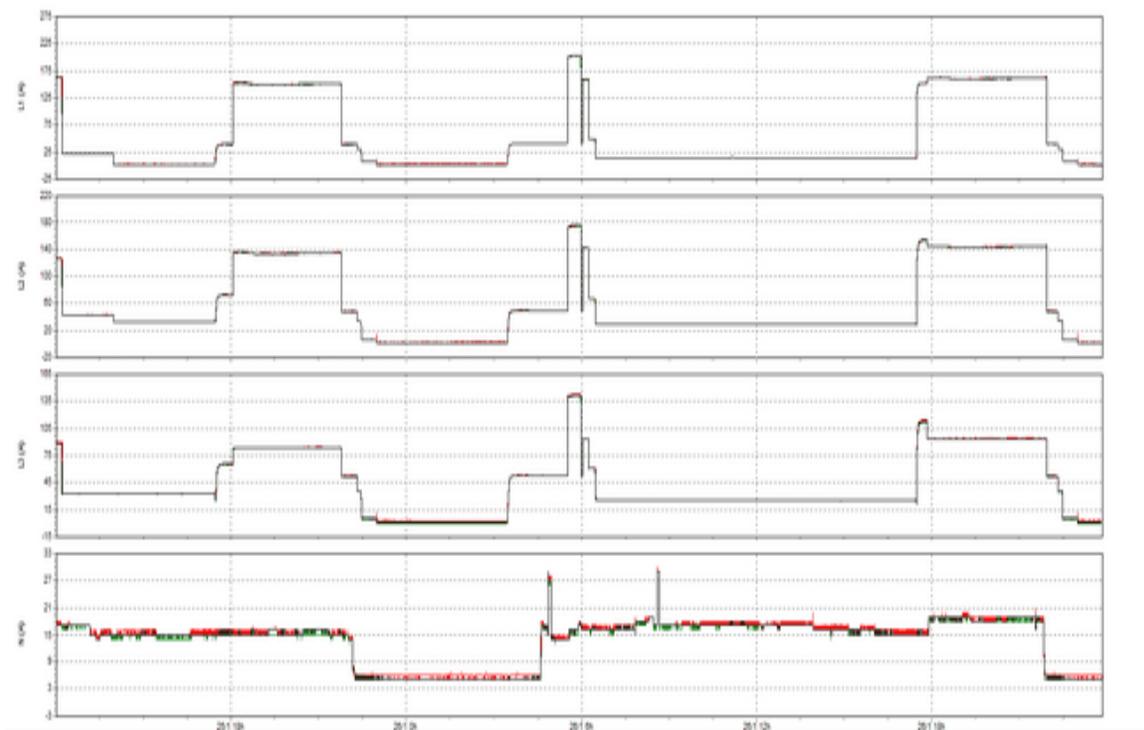


Figura 58: Curvas de Corrientes L1, L2, L3.
Fuente: Autores.

- Evaluación de los corrientes picos

Se realiza la inspección de las corrientes, donde se analiza en un periodo de tiempo donde existe un bajo valor de voltaje y una corriente alta, para este caso la corriente pico de las líneas L1, L2, L3, son de: 410, 308, 212 [A] y para el neutro es de 120 [A]. Lo cual se deberá estabilizar al valor de la corriente de la figura 58, en ese intervalo de tiempo.

Una propuesta de mejora para evitar estos altos valores pico, es independizando las conexiones al neutro de los circuitos, debido a que estas instalaciones mantienen el neutro aterrado, y esto con la finalidad de evitar afectaciones a los sistemas eléctricos y electrónicos proyectados.

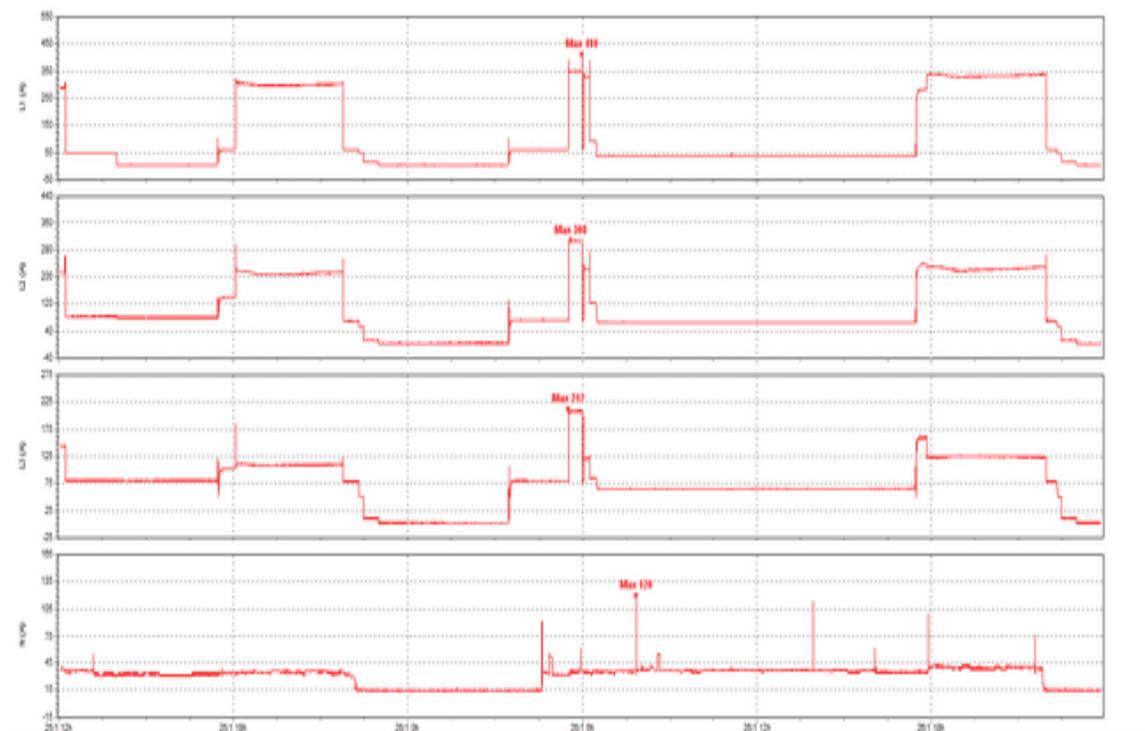


Figura 59: Curvas de Corrientes L1, L2, L3.

Fuente: Autores.

- Evaluación de las Potencias

Se determina un promedio general de la potencia activa, aparente y reactiva, así también de los valores máximos y mínimos para el transcurso del tiempo, mismos que se ven reflejados en la siguiente tabla 38.

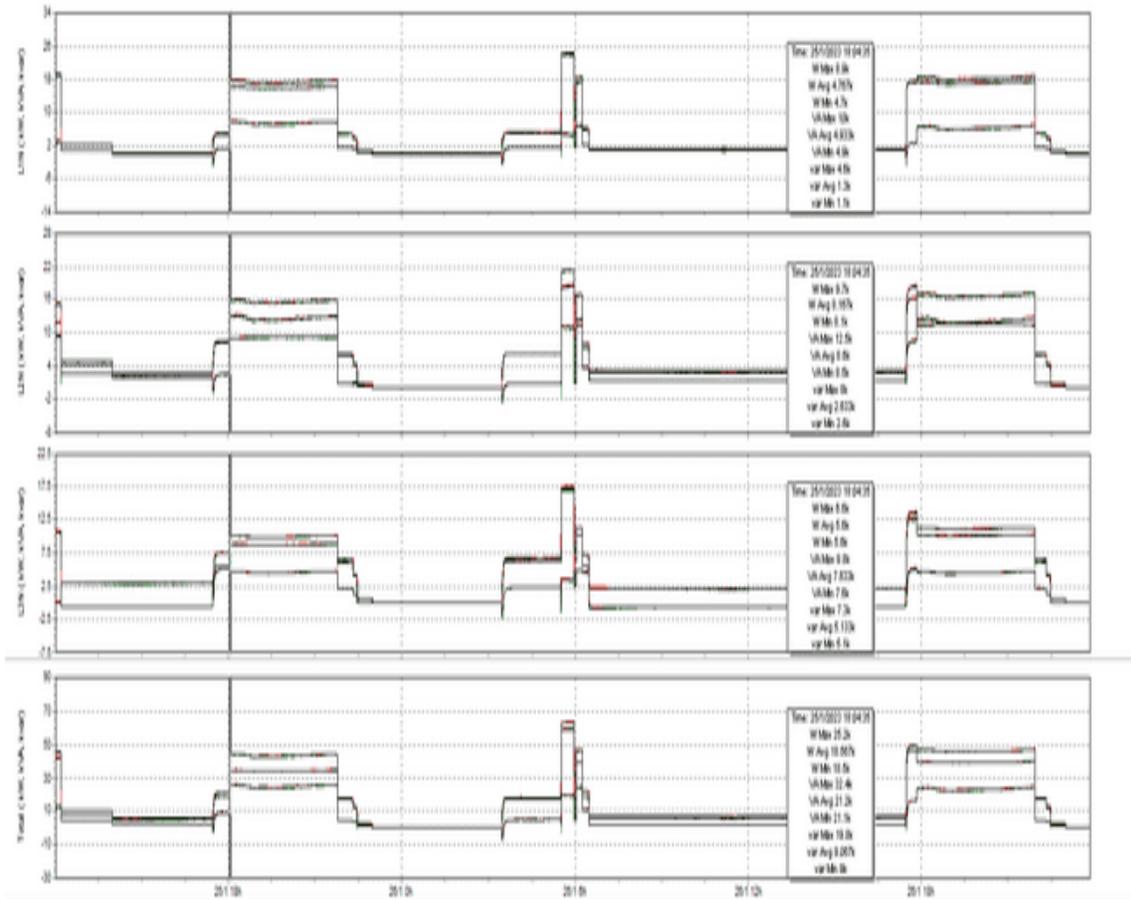


Figura 60: Potencias Activa, Aparente y Reactiva.

Fuente: Autores.

Tabla 38: Muestra de Datos para las Potencias.

Fuente: Autores.

FASES	Tiempo	$P.Active_{max}$ (kW)	$P.Apapente_{max}$ (kVA)	$P.Reactiva_{max}$ (Kvar)
L1	25/01/2023 12:22	2.2	2.3	0.9
	25/01/2023 17:15	0.1	0.1	0
	25/01/2023 18:07	16.2	18	7.9
	25/01/2023 21:50	16.2	17.9	7.8
	26/01/2023 06:34	1	1.3	0.8
	26/01/2023 17:25	1	1.3	0.8
L2	25/01/2023 12:22	2.7	4.9	4.1
	25/01/2023 17:15	2.3	3	1.9
	25/01/2023 18:07	9	15.9	13.1
	25/01/2023 21:50	6	6.1	0.9
	26/01/2023 06:34	1.4	3.2	2.9
	26/01/2023 17:25	1.4	3.1	2.8
L3	25/01/2023 12:22	-0.5	3.1	3
	25/01/2023 17:15	-0.5	3	3
	25/01/2023 18:07	8.9	10.16	4.8
	25/01/2023 21:50	6.2	6.6	2.3
	26/01/2023 06:34	-0.6	2.4	2.3
	26/01/2023 17:25	-0.6	2.3	2.2

En el análisis de las potencias se toma los valores promedio de las curvas en general para las 3 líneas, la potencia activa representa un valor máximo de 24.2, 19.1 y 17.3 [kW]. La potencia aparente representa valores de 24.6, 21.6, 17.6 [kVA] y para la potencia reactiva mantiene valores de 9.2, 14.9, 7.4 [Kvar] y en valores mínimos de -2.8, -3, -2.4 [Kvar].

La tabla 38 descrita anteriormente muestra los eventos más importantes en el transcurso del tiempo de funcionamiento, por ejemplo, a partir de la hora señalada en la tabla, existe una potencia muy baja por 5h:00 aproximadamente, luego existe un incremento de potencia debido a que entran a funcionar todas las balizas de iluminación llegando hasta valores máximos, esto puede deberse a que, en este

horario existe entrada y salida de vuelos, luego, nuevamente decrece hasta llegar a valores mínimos. El comportamiento es el mismo entre las líneas, pero para la línea 2 expresa valores un poco más elevadas, aparentemente exista una sobrecarga mayor instalada a esta línea, el cual se deberá corregir equilibrado dichas cargas.

■ Evaluación del Factor de Potencia

En el siguiente estudio, describe el comportamiento del factor de potencia tomando en consideración la Resolución Nro. ARCONEL-035/20 que establece para un factor de potencia inferior a 0.92 el consumidor será penalizado bajo la siguiente expresión:

$$P_{BFP} = \begin{cases} P_{BFP} = 0 & \text{si } FP_r \geq 0.92 \\ P_{BFP} = B_{FP} \cdot FSPEE_i & \text{si } FP_r < 0.92 \rightarrow B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \end{cases} \quad (12)$$

Donde:

P_{BFP} = Penalización por bajo factor de potencia.

FP_r = Factor de Potencia registrado o calculado.

B_{FP} = Factor de penalización.

$FSPEE_i$ = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial.

Además, si se tiene un factor de potencia menor a 0.60, para cualquier tipo de consumidor previa notificación se suspenderá el servicio eléctrico hasta la adecuación del valor permitido.

Otro de los inconvenientes por un bajo factor de potencia, involucra al aumento de intensidad de corriente, como también las fuertes caídas de voltaje, pérdidas y elevación de temperatura en los conductores, además de la disminución de vida útil.

En la figura siguiente se observa para la línea L1 un $FP = 0,96$, para la línea L2 $FP = 0,75$ y la línea L3 un $FP = 0,96$. El cual se deberá tomar medidas correctivas

en la L2.

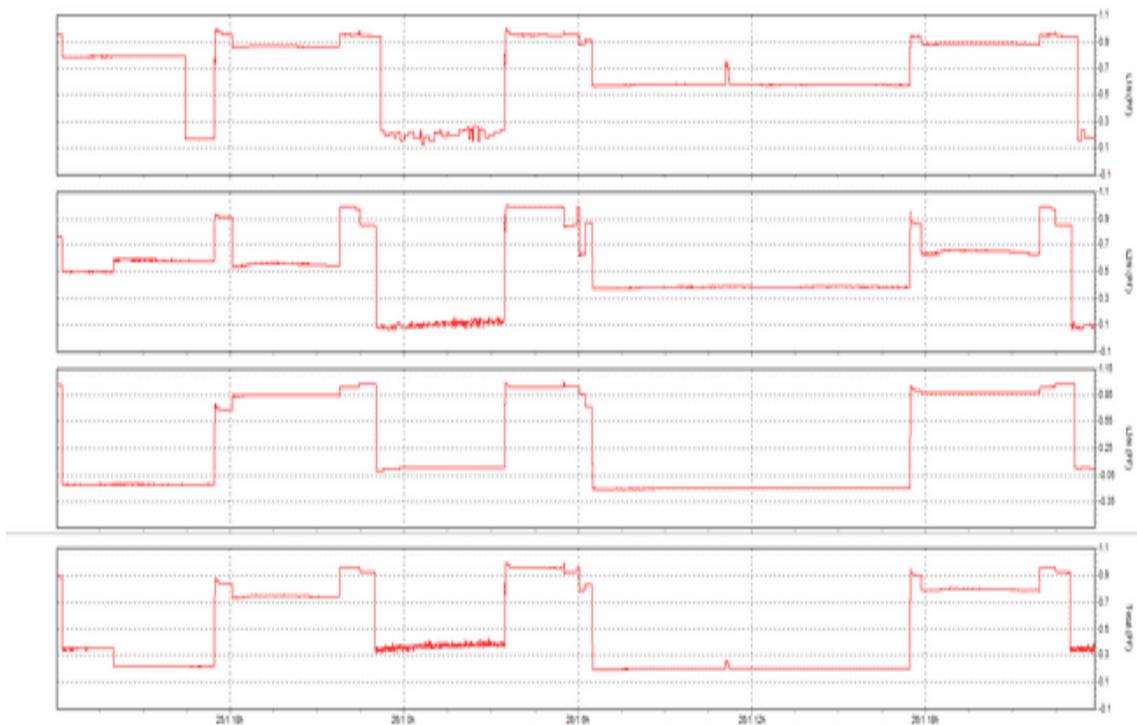


Figura 61: Factor de Potencia.

Fuente: Autores.

Tabla 39: Promedio de datos para la L2.

Fuente: Autores.

$P.Active_{max}$ (kW)	$P.Apapente_{max}$ (kVA)	$P.Reactiva_{max}$ (Kvar)	fp	$\cos \phi$
12	15.3	9.6	0.75	0.79

Una de las maneras para mitigar el factor de potencia es la aplicación de capacitores o la utilización de motores sincrónicos.

No obstante, se recomienda realizar la corrección de las diferentes perturbaciones o distorsiones eléctricas, debido a que el banco de condensadores tiene una baja impedancia hacia los armónicos y por ende un mal dimensionamiento traería consigo una resonancia o hasta la quema de estos elementos.

La compensación por capacitores es una de las más fiables, ya que estos actúan como generadores de corriente reactiva, reduciendo así la cantidad de corriente que el sistema toma de la red eléctrica. Y se basa en dos puntos muy importantes para el respectivo dimensionamiento, el primero consiste en analizar el perfil del uso de energía diario o anual y el segundo elegir el tamaño óptimo del corrector de factor de potencia, ya que determina si el condensador es lo suficientemente grande para compensar la carga inductiva deseada y también si la empresa está en la facilidad de adquirir el producto independientemente del costo, el tamaño se determina con la siguiente expresión:

Donde:

$KVAr$ = Valor ideal para el tamaño del condensador.

Fp = Factor de potencia actual mensual.

$$KVAr = KVA * \text{sen}(\cos^{-1}(FP)) \quad (13)$$

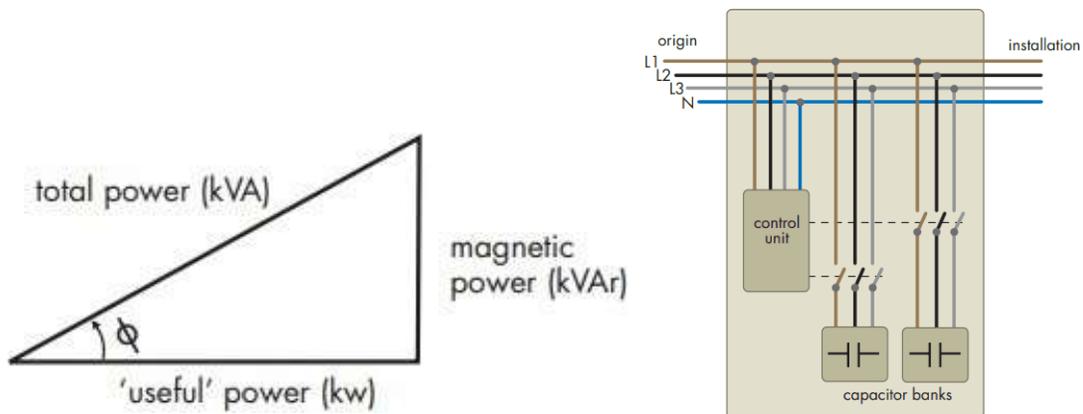


Figura 62: Unidad de Corrección Fp.
Fuente: John Ware Power factor.

Otra de las formas de corrección del FP son las siguientes:

Es importante recalcar que, luego de la implementación de las cargas LED en el sistema de ayudas visuales, se deberá realizar un nuevo análisis de calidad de energía debido a que las luminarias LED son capacitivas.

1. Corrección distribuida

El cual trata sobre la conexión de un banco de condensadores conectada a los elementos que necesiten suministrar potencia reactiva, ya que la nueva tecnología LED genera cargas capacitivas

2. Una corrección centralizada

Se basa en el comportamiento de las cargas diarias debido a que se encuentran algunas de las cargas funcionando simultáneamente y otras entran en funcionamiento por pocas horas.

En la corrección centralizada se emplean normalmente complejos automatismos (corrección automática), con bancos de capacitores fraccionados en escalones, instalados directamente en los tableros de distribución principales; el uso de un banco de capacitores conectado permanentemente solo es posible si, la demanda de energía reactiva es lo suficientemente regular durante todo el día [41].

3. Corrección mixta

Es la unión de las correcciones mencionadas anteriormente, esta conexión se utiliza cuando un equipo se compensa individualmente donde las instalaciones ocupan de equipos pesados.

4. Corrección automática

Se utiliza para introducir o desconectar automáticamente varios bancos de condensadores, ya que pueden seguir a los cambios de potencia reactiva introducida.

- Evaluación de la Frecuencia

Se obtiene una frecuencia máxima de 60.111 a la hora 21:01:25 del día 25 de enero y, una frecuencia mínima de 59.882 marcada a la hora 16:22:15 del mismo día, esto nos representa una elevación de frecuencia del 0.185 % y 0.197 % mínima. De acuerdo con la normativa de suministro de energía para una empresa eléctrica esta deberá ser del $\pm 5\%$, lo que indica que está entre los valores establecidos

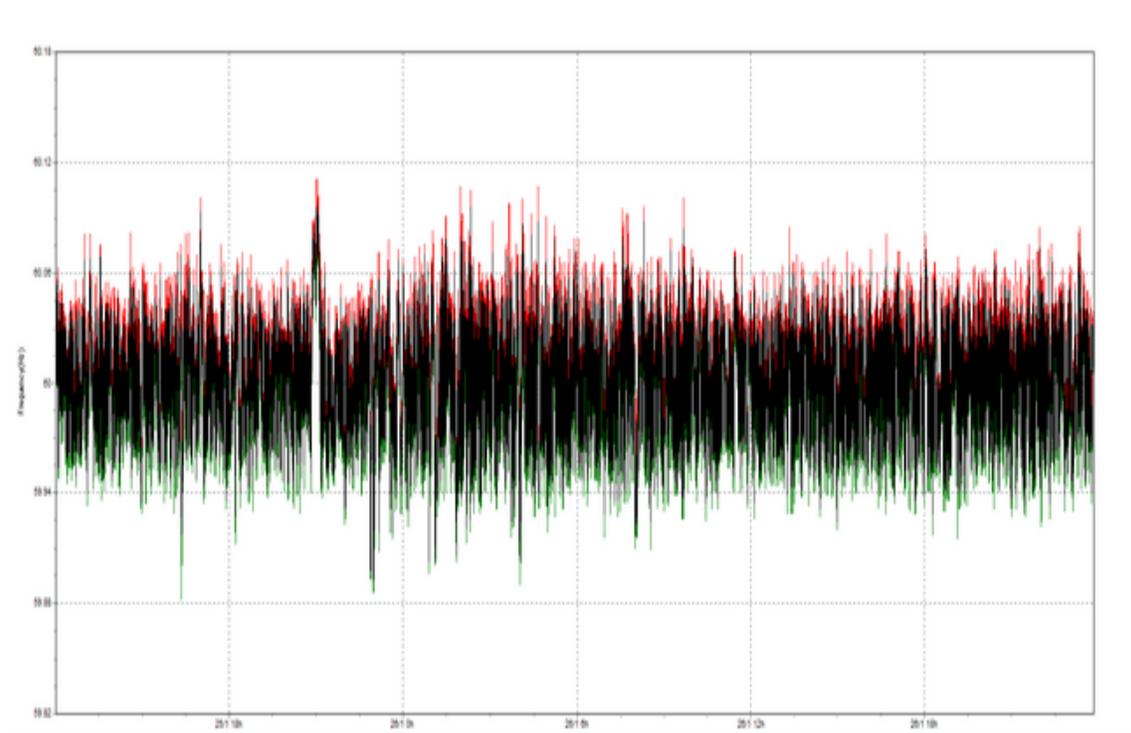


Figura 63: Análisis de la frecuencia del sistema.

Fuente: Autores.

- Evaluación del THD Voltajes y Corrientes

Existe varias causas para que se dé la producción de armónicos a la red, una de ellas se da en este caso estudio por las tarjetas electrónicas que tienen los equipos CCRs, ya que estos no están contruidos ni diseñados para considerar tensiones armónicas por encima de los niveles. De esta manera, cuando supera estos límites se tiene alteraciones como, la aparición de datos erróneos o perdida en los mismos. El THD define la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas de una señal y el valor eficaz de la componente fundamental de la señal. De

manera que la regulación 002/20 establece lo siguiente:

Nivel de Voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	THD (%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1.5

Figura 64: Límites máximos de armónicos THD %.
Fuente: Regulación 002/20.

Se analiza la distorsión armónica total de las tensiones, por lo que la línea L1 alcanza un valor máximo de 3.27 % y mínimo de 1.9 %, para la línea L2 se tiene un THD de 4.05 % y 1.8 %, para la línea L3 cuenta con un THD máximo de 4.29 % 2.05 % mínimo, finalmente para el neutro, el THD máximo y mínimo es de 327.67 % y 48.97 %.

Para la distorsión armónica total de la corriente se obtiene lo siguiente, L1 un THD máximo y mínimo de 92.61 y 1.42, L2 de 89.75 % y 2.13 %, para L3 de 177.115 % y 3.33 %, por último, la línea neutra de 94.81 % y 18.05 % máximos y mínimos. De acuerdo con la norma IEC el THD debe darse en tablas de porcentaje de la corriente nominal (I_n) y de la potencia nominal (P_n). Mientras, la norma IEEE 519-214 establece que deben alcanzarse en función de la relación entre el cortocircuito nominal y la corriente de carga de demanda máxima. En consecuencia, los valores THD de Voltaje cumplen con los límites máximos, el cual exige la regulación

NOTA: En la figura 65, se podrá realizar un estudio del THD por intervalos de tiempo. Se recalca que no se realizó el análisis de armónico por señales, tanto de voltaje como de corriente, debido a un problema en el equipo Fluke 435.

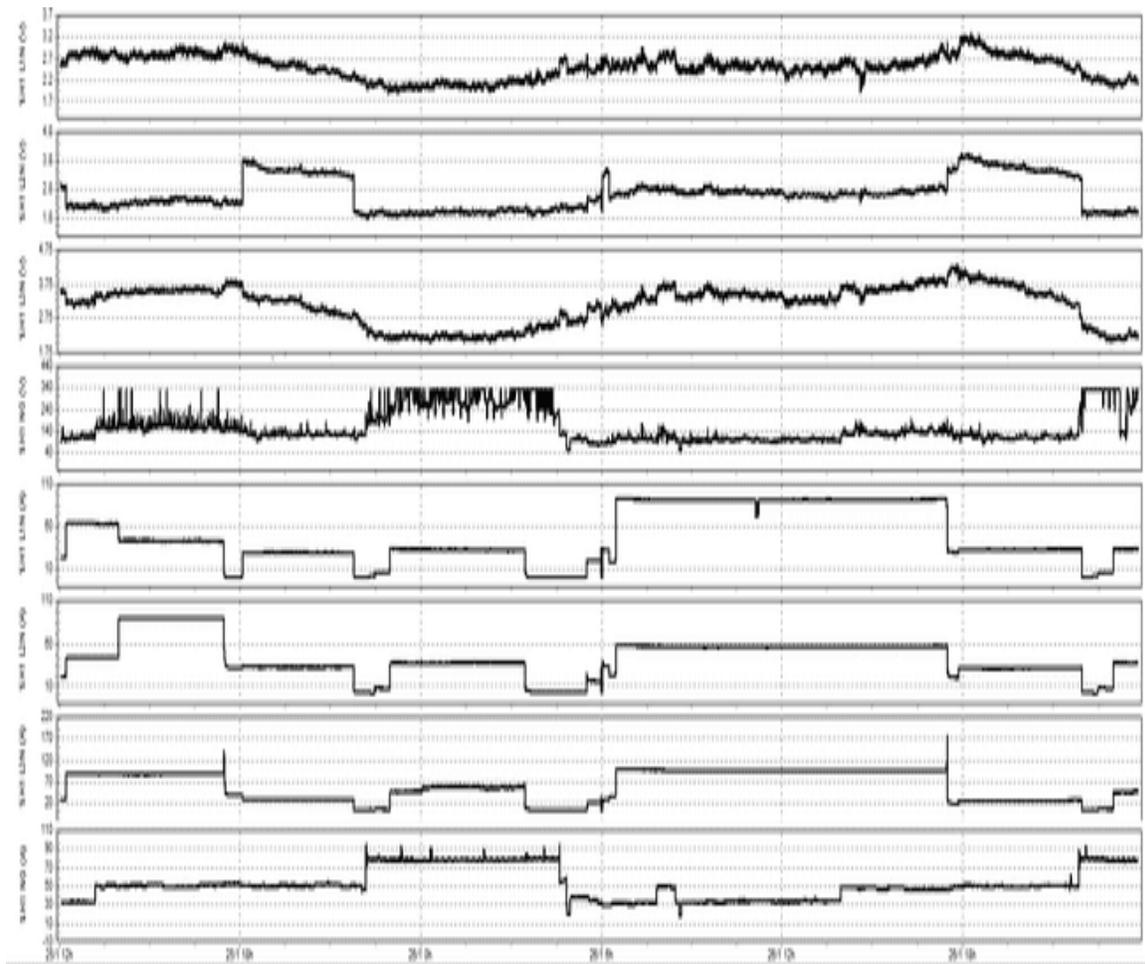


Figura 65: Armónicos THD Evolución en el Tiempo.
Fuente: Autores.

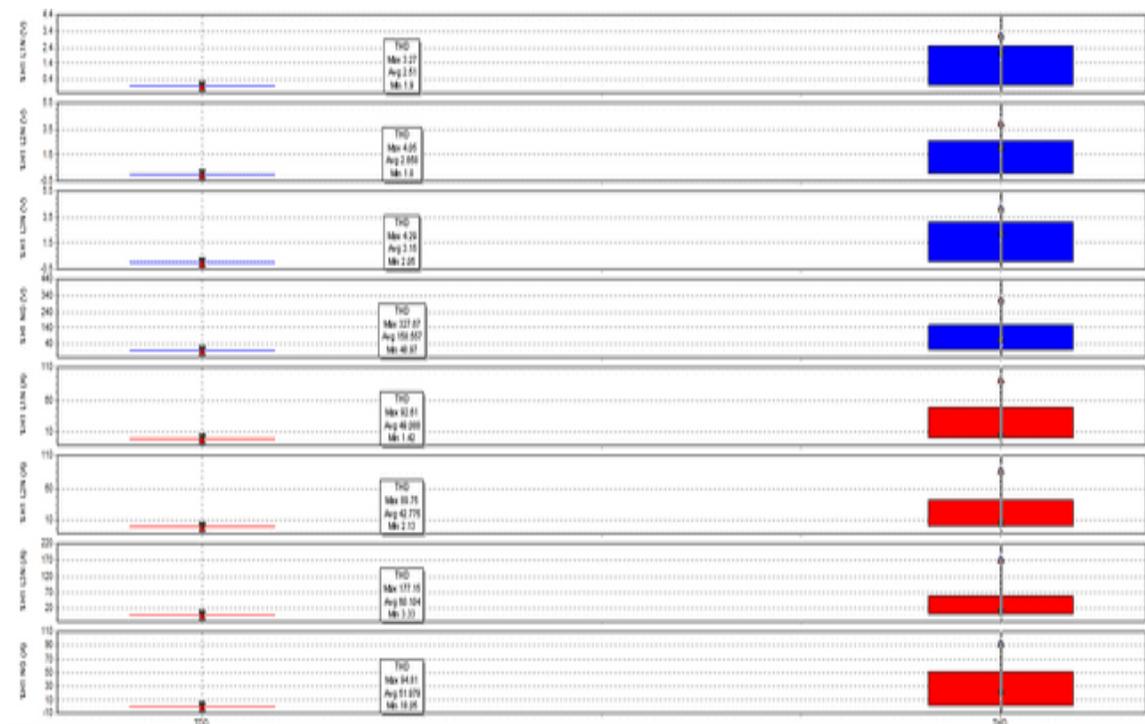


Figura 66: Histograma Armónicos THD.
Fuente: Autores.

4.6.2. Segundo Análisis

Para el siguiente análisis, la toma de datos se realiza desde la fecha: 28/01/2023, hora 09:14:47 hasta el 02/02/2023, hora:8:53:47. La toma de muestras será a 1 min.

- Evaluación de Tensiones

Se obtiene valores máximos y mínimos medidos en las curvas de voltaje, se aprecia un comportamiento muy similar en cada una de las fases L1, L2, L3, aunque los valores varían, por ejemplo, para la línea L1 la máxima tensión es de 130.74 V, ocurre a las 05:25:47 del día 30, mientras que existe una tensión mínima de 113.08

V, a las 09:42:47 del día 31. Para L2 la máxima tensión es de 130.81 V, esto ocurre a la misma hora y día que para la L1, no obstante, la mínima tensión ocurre a las 13:35:47 del día 30 y es de 106.61 V. Para L3, la tensión máxima y mínima es de 131.06 y 113.84 [V], el primero ocurre a las 00:15:47 del día 01/02/2023 y el segundo ocurre a las 09:42:47 del día 31/01.

Durante este lapso no se aprecia un ciclo repetido notoriamente, lo cual se puede predecir que los equipos CCRs entran a funcionar a diferentes variaciones de voltaje. Además, como una observación durante este análisis, existe un incremento de tensión con respecto a la nominal por un periodo largo de tiempo de aproximadamente de, 07h:00, esto ocurre desde las 22:05 hasta las 05:00 en todos los días.

Se analiza los desbalances de tensión, dando como resultado para las fases L1 y L2 de 0.10 %, para las fases L2 y L3 de 0.31 % y para L1 y L3 de 0.42 %, el cual cumple con las normativas que establecen hasta un 3 %.

De acuerdo con la REGULACIÓN No. ARCERNNER - 002/20, inciso, nivel de voltaje para baja tensión, el rango admisible es del $\pm 10\%$, es decir, una relación del 12.7 %, representando así entre 114.3 y 139.7 V. Por lo tanto, el análisis de la tensión cumple con la regulación ARCERNNER. Sin embargo, tomar en cuenta que está a bordes de los límites establecidos para la tensión mínima.



Figura 67: Curvas de Voltajes L1, L2, L3.
Fuente: Autores.

- Evaluación de Corrientes

Se puede apreciar la similitud de las ondas entre las líneas, aunque los valores variarían en cualquier tiempo. De esta manera, para línea L1 se tiene una corriente máxima de 213 A. Para L2, L3 la corriente máxima es de 179 y 145 [A], La corriente media promedio es de 125.68, 125.92 y 126.70 [A] para cada una de las líneas. Mientras que las corrientes mínimas son de 0, 1 y 0 [A] respectivamente, además la corriente al neutro máximo está a un promedio de 0.043 A. Nótese que a un rango aproximado de cada 11 horas el comportamiento de la corriente es la misma, es decir, se eleva hasta el máximo

valor, esta elevación se produce alrededor de 4 horas y la onda vuelve a decrementarse hasta valores inferiores de 0 y 1 Amperio.

Se representará en porcentaje los desbalances de corriente que representa cada una de las fases. Considerando que la norma exige un máximo desbalance de 10 %, se tiene para la línea L1= 3.06 %, L2= 3.12 % y L3= 10.38 %.

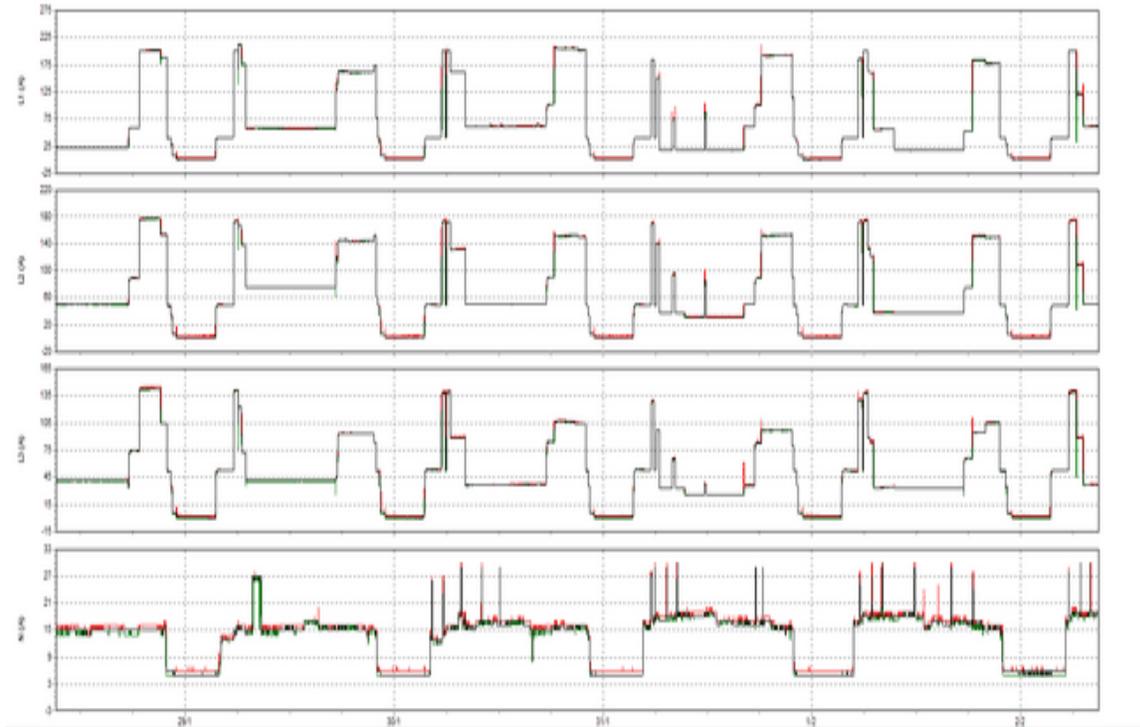


Figura 68: Curvas de Corrientes L1, L2, L3.
Fuente: Autores.

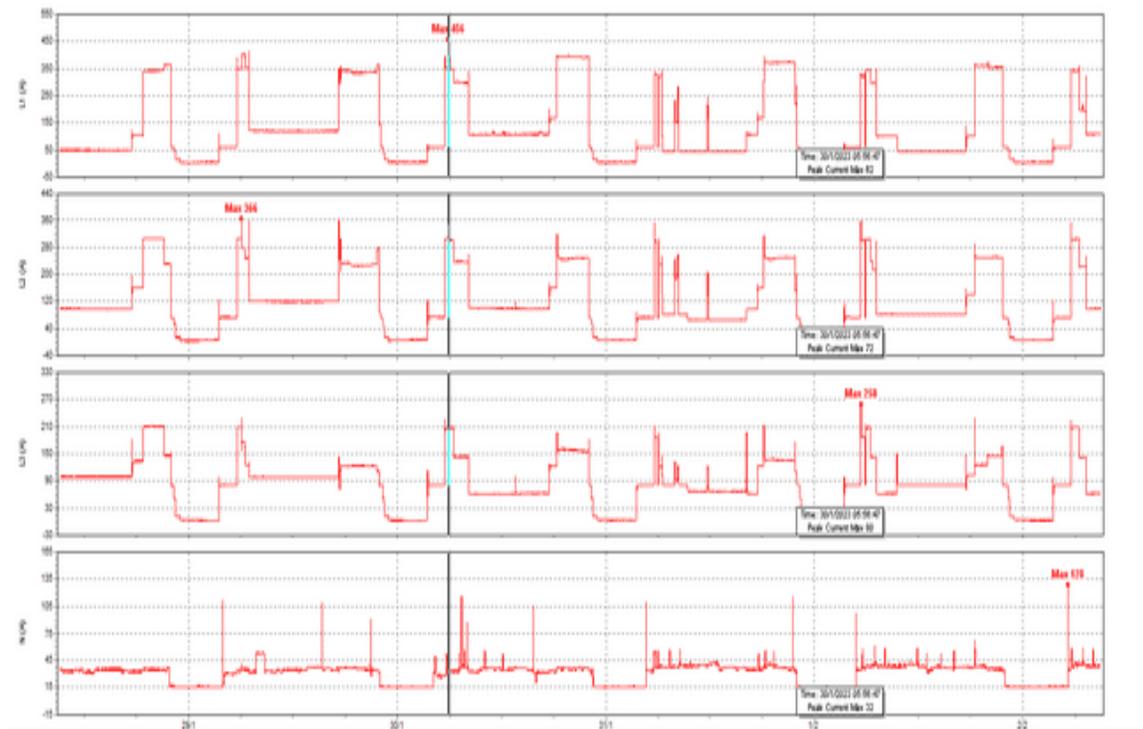


Figura 69: Curva de Corrientes Pico L1, L2, L3.

Fuente: Autores.

Se realiza la inspección de las corrientes pico, donde la L1 puede llegar a tener hasta un valor máximo de 465 A. L2: 366 A. y L3: 258 A. Todas las líneas a diferente periodo de tiempo.

- Evaluación de Potencias

En este apartado se puede analizar que, durante un día entero, sin importar el horario, existe dos sucesos de cargabilidad grande, ocurridos aproximadamente a las 03:25:34 y finalizado a las 23:00 del mismo día, durante ese tiempo inicial se incrementan las potencias hasta el valor máximo con lo que respecta a la potencia activa y para la línea L1, pasado ese lapso tiene un descenso riguroso

hasta un valor de 5.5 kW, transcurre el tiempo y a las 17:47:38 aproximadamente, asciende hasta los valores máximos y se mantiene oscilando hasta las 23:00:00, esto ocurre muy notoriamente en todos los días.

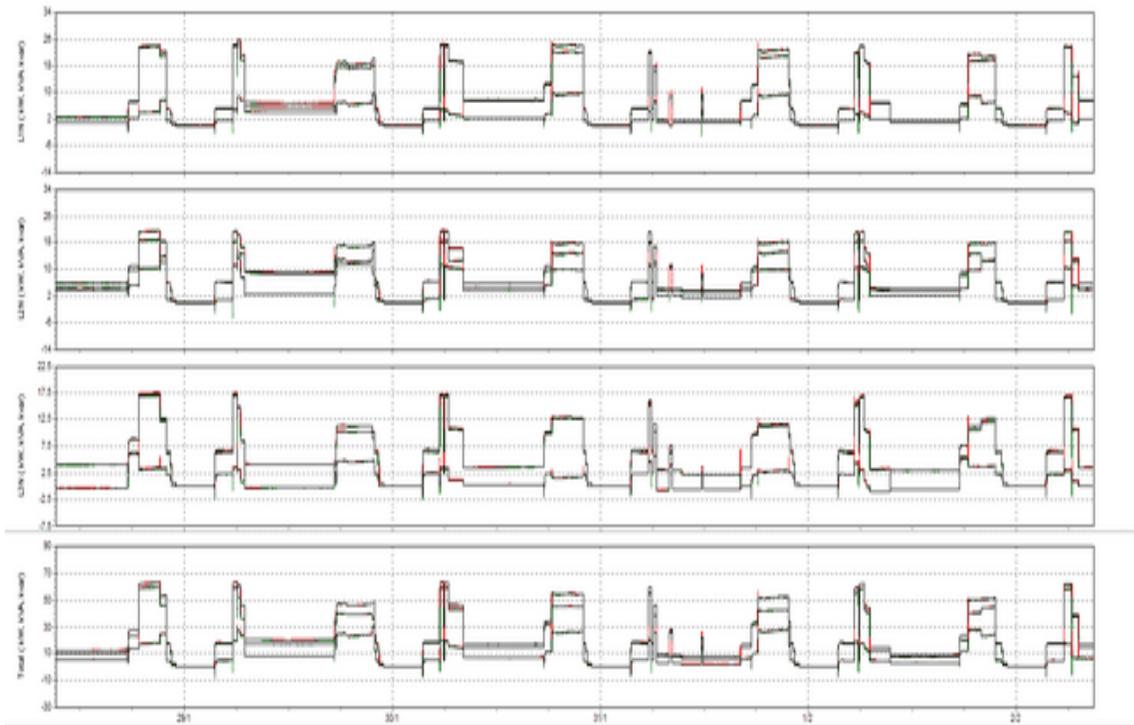


Figura 70: Curvas de Potencias Activa, Aparente y Reactiva para L1, L2, L3.
Fuente: Autores.

- Evaluación del Factor de Potencia

Existe un bajo factor de potencia al momento en que las potencias están en reposo o a un 40 % de funcionalidad; sin embargo, en el análisis, al igualar con el comportamiento de las potencias anteriormente descritas, al instante que entran a funcionar a mayor carga durante los intervalos de tiempo, el factor de potencia

incrementa su valor por encima de 0.92 para las líneas L1 y L3, existe un bajo factor de potencia para la L2, el cual se tomará las medidas correspondientes expresadas en el primer análisis.

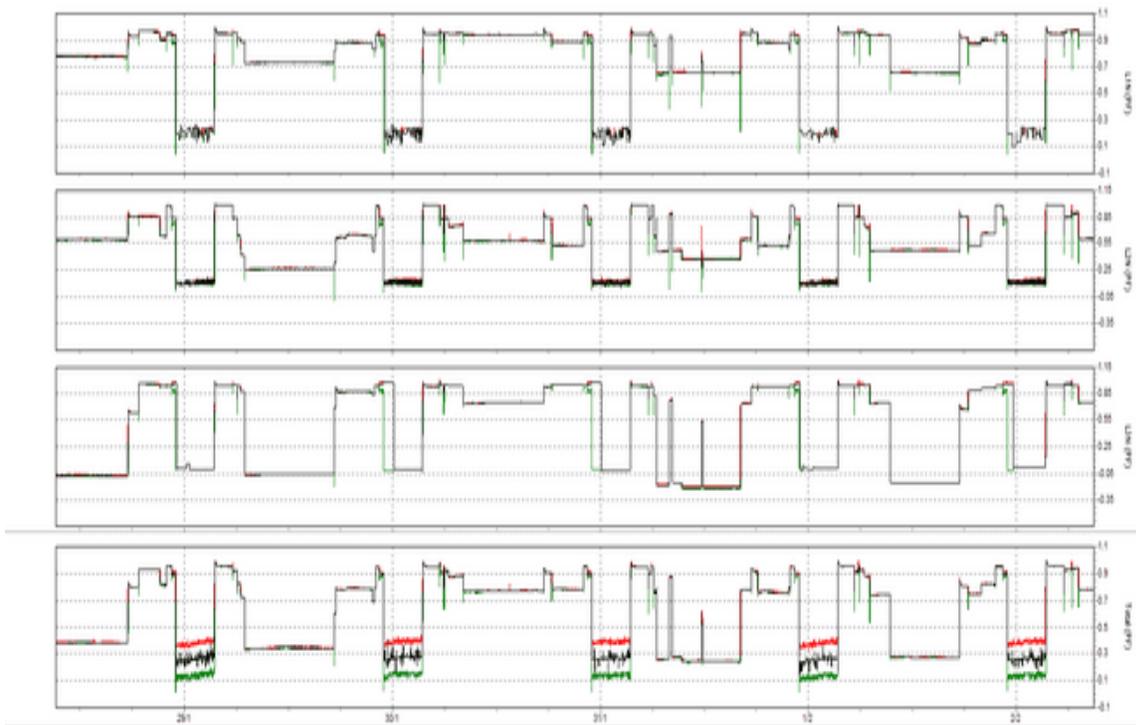


Figura 71: Factor de Potencia para L1, L2, L3.
Fuente: Autores.

- Evaluación del Flicker

Se analiza los parpadeos de tensión en corta duración (max. Pst=1). El Pst se mide a intervalos de 10 minutos como indica la norma IEC 60868 y si el Pst es superior a 1, se deberá considerar que este afecta negativamente. Tener en cuenta las normas IEEE 2014, CONELEC 004/01, el cual trata sobre las mediciones del flicker en sistemas de BT. El Pst no deberá superar a la unidad, valor que puede soportar sin molestia el ojo humano [42].

Para el análisis se muestra un Flicker promedio de 0.256, el cual cumple con la norma establecida, del mismo modo, como valores máximos y mínimos en el transcurso de la lectura de datos se tiene: para L1=3.345, el cual ocurre a las 17:45:34 del día 31 de enero, para la línea L2 existe un pico 8.559 a las 13:43:13 del día 30 de enero y para L3=4.624 ocurrida a la misma fecha y hora del evento que en la línea 2.

Formas de mitigación en el caso de no cumplir con la norma establecida.

- Disminuir las variaciones de potencia, especialmente las variaciones de potencia reactiva.

Esto se realiza a través de máquinas síncronas o estabilizadores de voltaje dinámico, el cual trata de controlar la energía reactiva absorbida por el sistema eléctrico, estos dispositivos pueden ser los compensadores estáticos SVC, STATCOM, Regulador de voltaje dinámico (DVR) [43].

- Aumentar el nivel de potencia de cortocircuito.

Las medidas para aumentar la potencia de CC son: conexión de carga superior a la tensión nominal, instalar condensadores en serie, separar cargas fluctuantes de las cargas constantes o aumentar la potencia en el transformador. La desventaja es el alto costo para resolver por esta vialidad [43].

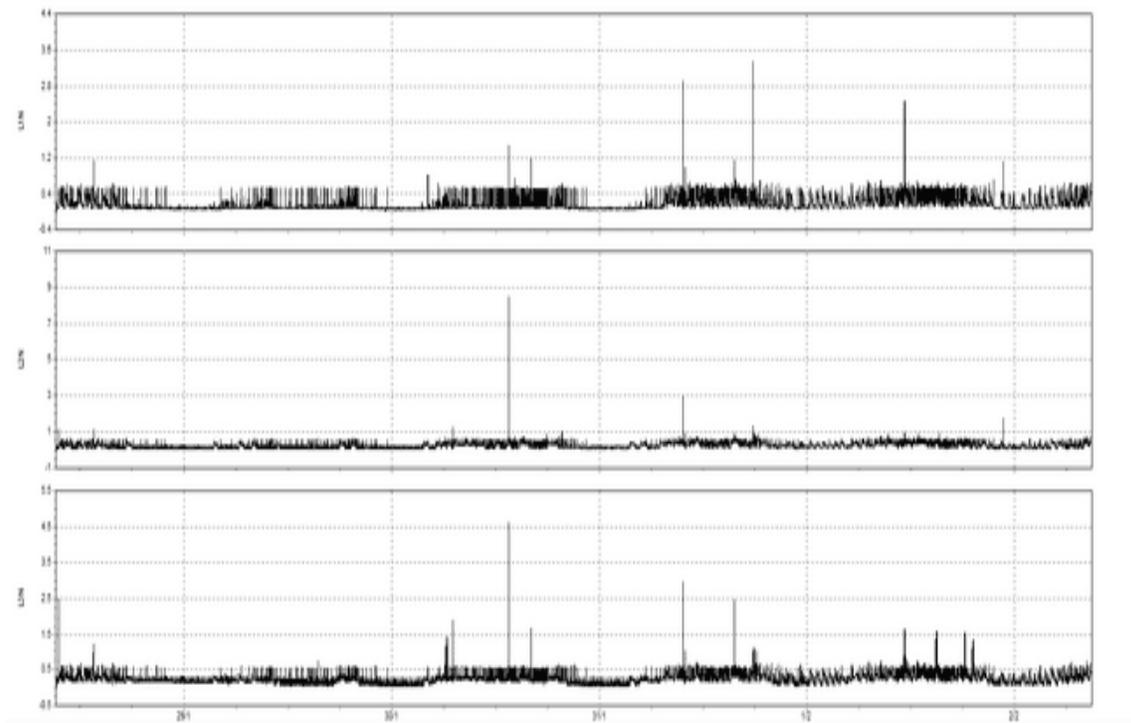


Figura 72: Perturbación Flicker.
Fuente: Autores.

- Evaluación de Frecuencia

Se obtiene una frecuencia máxima y mínima de 60.125, 59.784 [Hz], el cual, representa el 0.2 % y 0.36 % de variación de frecuencia, además se tiene un desbalance de frecuencia máximo de 7.68 % y mínimo de 0.07 %.

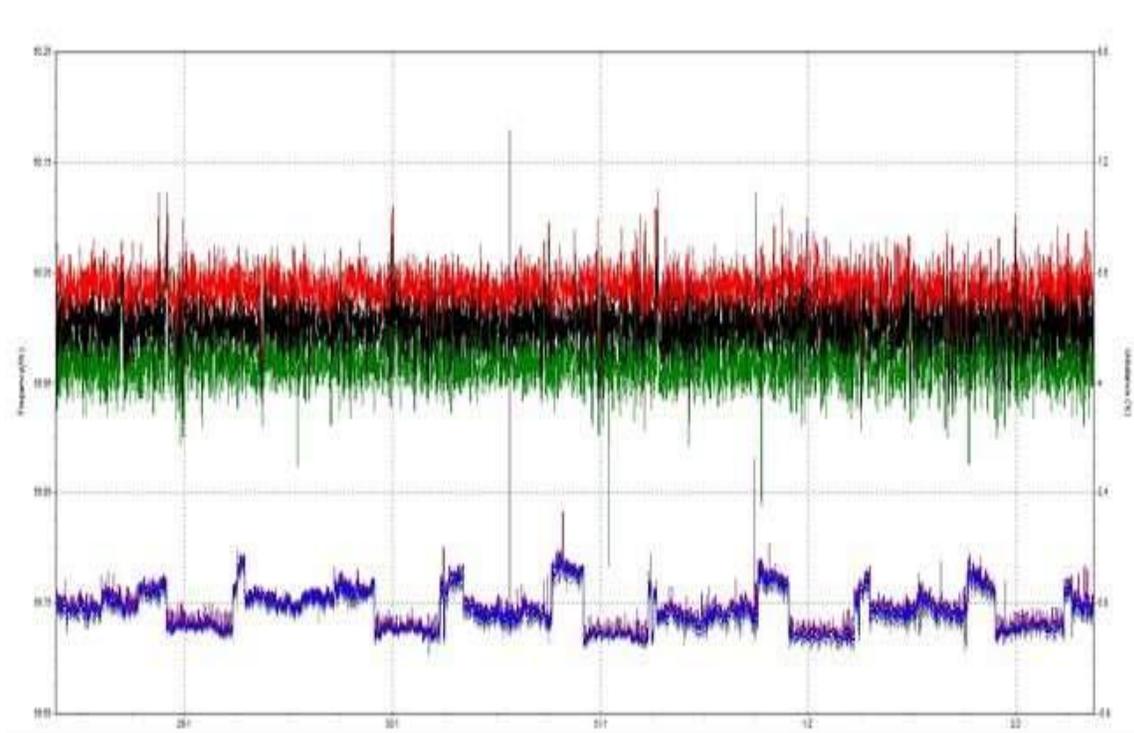


Figura 73: Frecuencia del Sistema.
Fuente: Autores.

- Evaluación del THD Voltajes y Corrientes

Se obtiene la distorsión armónica total para voltaje y corriente, el cual mediante la gráfica de comportamiento se identifica que el máximo THD ocurre a las 08:23:50 del día 30 de enero, llegando a un valor de 3.35 % para la línea L1, lo que respecta al voltaje. Para L2 existe un THD de 4.03 % el cual ocurre a las 18:08:47 del día 29 de enero y un mínimo de 1.75 %. El THD para la línea 3 es de 4.12 % el cual se da a las 09:29:47 aproximadamente y un mínimo de 1.77 %. Dando como resultado el cumplimiento con la norma del THD máximo de 8 %. La distorsión armónica total de las corrientes es un THD máximo de 82.93, 58.45, 111.99 %, para las líneas, respectivamente.

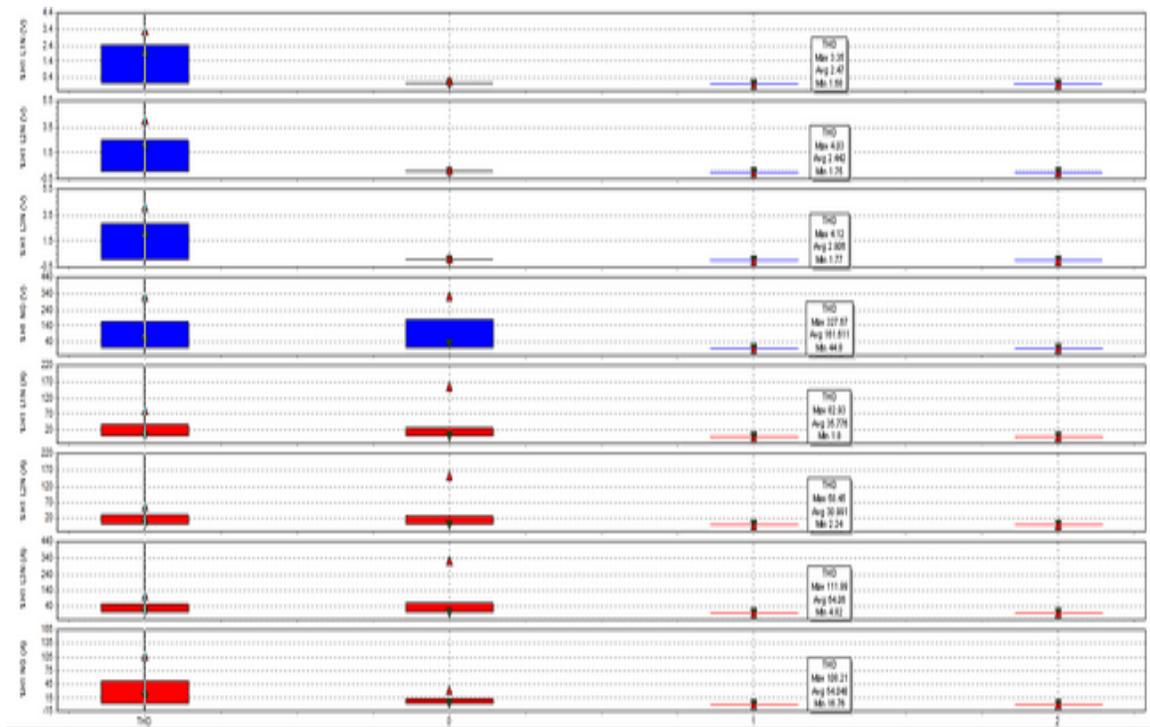


Figura 74: Análisis del THD del sistema eléctrico.
Fuente: Autores.

5. CAPÍTULO 5

ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DEL AERÓDROMO

5.1. SISTEMA PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra ayuda a desviar las variaciones de corriente a un punto no energizado donde es la tierra, se debe considerar que mientras menor sea la resistencia del suelo, será más factible para la instalación. Una de las prioridades es la protección de la luminaria y alargar su vida útil, por ende, se realiza un análisis del terreno en donde estarán ubicadas las nuevas luminarias.

El sistema eléctrico del aeródromo cuenta con varios equipos del centro de control y distribución, estos deben estar conectados a tierra, del mismo modo debe llevarse un cable de tierra desde los centros de distribución hacia los cables de los circuitos en serie. Este cable estará conectado al secundario de todos los transformadores de aislamiento, del mismo modo este cable irá conectado a los soportes de todas las luces. El cable de toma de tierra debe estar situado por encima de los cables del circuito y en un conductor más próximo a la superficie o en la misma zanja, de no menos de unos 10 cm por encima del cable superior, como se observa en la figura 75 [1].

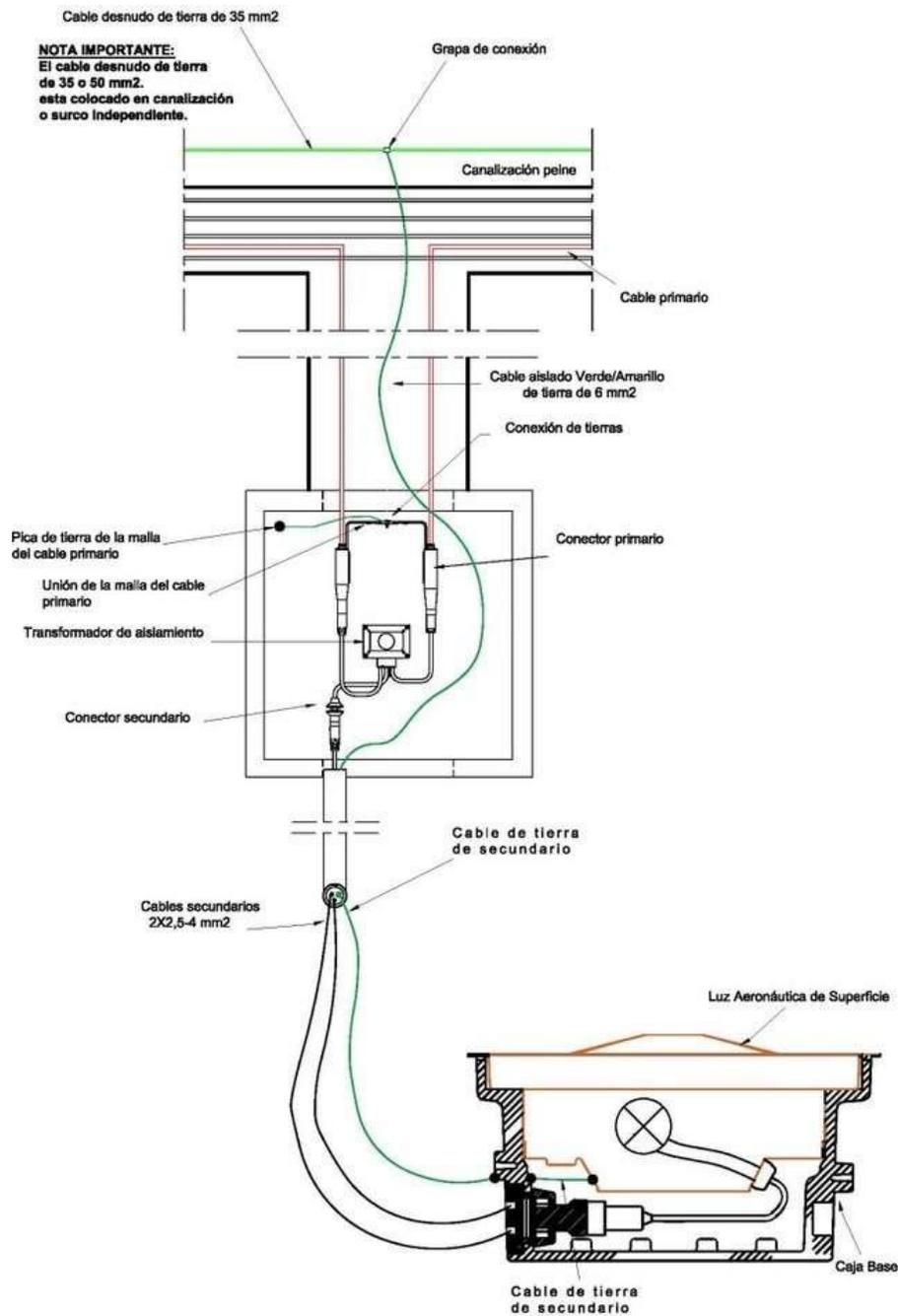


Figura 75: Circuito de serie puesta a tierra.

Fuente: [3].

Por otro lado, el **Manual de diseño de aeródromos, parte 5 – Sistemas eléctricos**, indica que, el Sistema de puesta a tierra del equipo tenga las siguientes

características [1]:

- La puesta a tierra del equipo se proporciona mediante un conductor aislado o desnudo y es continua desde el dispositivo luminoso o base de luz, o a través de la caja del transformador si se usan instalaciones de base poco profunda, a través de la puesta a tierra del sistema en la cámara de reguladores.
- El sistema completo de puesta a tierra del equipo debería tener una resistencia de tierra no mayor que la especificada en el código nacional (normalmente los valores de resistencia a tierra máximos están entre 6 y 25 ohmios).

Resistividad del Suelo: Representa la resistividad del suelo o capa de suelo a una determinada profundidad obtenida al procesar el conjunto. Una medida de campo, expresada en (Ωm) o (Ωcm), es inversamente proporcional a la conductancia [44].

La resistividad eléctrica (ρ): Es la relación entre la diferencia de potencial en el material y la densidad de corriente que lo crea [44].

Método de Wenner: Un método muy preciso para la medición de la resistividad eléctrica del suelo es el método universal de Frank Wenner en 1915. El método consiste en ubicar cuatro electrodos alineados a distancias iguales (a) y enterrados a una misma profundidad (b), además los electrodos pueden medir la resistividad eléctrica del terreno sin estar enterrados completamente. Como se observa en la figura 76, la parte enterrada de los electrodos es menor que la distancia entre los mismos, dado que se cumple una fórmula de la teoría que desarrolló que demostró el Dr. Wenner, figura 76 [4].

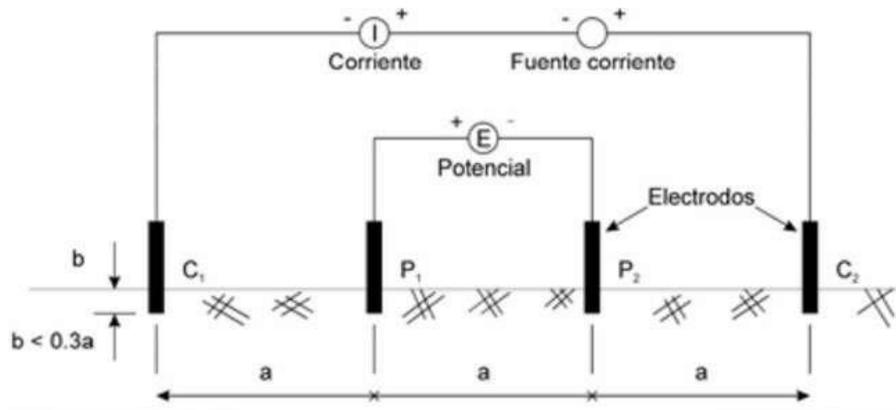


Figura 76: Esquema de montaje por el Método de Wenner.
Fuente: [4].

5.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA POR EL MÉTODO WENNER

Según el **Análisis de la resistencia del terreno en el aeropuerto Mariscal La Mar, Cuenca**, la medición de la resistividad de la tierra fue empleado con el método de Wenner [6]. La resistividad de la tierra fue medida a 1 [m] y a 2 [m] con el equipo Medidor de Tierra AMPROBE GP-2GEOTEST. Para obtener la resistencia, a partir de la fórmula expresada a continuación, se despeja R.

$$\rho = \frac{4\pi AR}{\left[1 + \left(\frac{2A}{A^2 + B^2}\right)^{0.5} - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}\right]} \quad (14)$$

$$R = \frac{\rho^* \left[1 + \left(\frac{2A}{A^2 + B^2} \right)^{0.5} - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}} \right]}{4\pi A} \quad (15)$$

La medición de la resistencia del suelo se realizó en 121 balizas, y en dos distintas diferentes, la primera medición a una distancia de 1 m y la segunda a 2 m, con una profundidad de 1.8 m, los resultados de cada una de las balizas se encuentran detalladas en la siguiente tabla 42.

En la tabla 40, se realizó los promedios de la resistividad y resistencia del suelo con todas las balizas en conjunto, para poder abarcar los resultados del sistema de puesta a tierra de las balizas.

Tabla 40: Promedio de la resistividad y resistencia del suelo.
Fuente: Autores.

Promedio de la resistividad y resistencia del suelo				
Balizas	Resistividad		Resistencia	
	1m	2m	1m	2m
Promedio Total	44,0273 [Ω -m]	22,9932 [Ω -m]	3,677514 [Ω]	1,12345 [Ω]

5.3. MEJORAMIENTO DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Con los siguientes resultados obtenidos de las mediciones se puede constatar que el 96.69 % (117 balizas) que se encuentran en el aeródromo del aeropuerto Mariscal La Mar, cumple con las resistencias adecuadas, según lo indica la norma **Manual de diseño de aeródromos, parte 5 – Sistemas eléctricos**, mientras que el 3.31 % (4 balizas) no cumplen con dicha norma a la distancia de 1 metro, donde detalla que el sistema de puesta a tierra deben “contener los valores de resistencia a tierra máximos entre 6 y 25 ohmios” [1]. Por tal razón, se realizará algunas recomendaciones que se puede efectuar en el área de estas balizas para poder cumplir con la resistencia adecuada según la normativa.

Para el mejoramiento de la resistividad del terreno existen varios métodos que se puede llevar a cabo, uno de ellos es la preparación de mezclas químicas, donde se utilizan

sales electrolíticas que permiten una mejor concentración de humedad y de estemodo disminuirá notoriamente la resistencia del terreno. Según la norma IEC 62561-7 [45], especifica los 4 ensayos electroquímicos que se debería tener en cuenta para el mejoramiento de la resistividad del terreno.

Prueba de lixiviación: El objetivo de esta condición es garantizar que el material introducido en el terreno no tenga efectos químicos adversos en el medio ambiente, especialmente por la lixiviación de metales pesados [5].

Contenido de azufre: El contenido de azufre en el material necesita un límite superior debido a dos razones: la corrosión de los electrodos, especialmente el cobre y los efectos adversos del azufre en el medio ambiente [5].

Medición de la resistividad: Se trata de una prueba obvia que puede exigir el cliente, ya que la resistividad del material desempeña un papel clave en el rendimiento del electrodo. Puede adoptarse cualquier método fiable de medición de la resistividad del material, preferiblemente el método del contenedor de cuatro sondas (fabricado con materiales de muy alta resistividad) [5].

Prueba de corrosión: Es una observación general que la corrosión metálica (química) y la erosión (física) de los componentes enterrados aumentan con la disminución de la resistividad del suelo. En algunos casos, especialmente con una alta concentración de sales y sustancias ácidas, la corrosión del metal se acelera notablemente. Por lo tanto, es muy importante garantizar que los materiales utilizados para el relleno favorezcan la corrosión solo en un grado aceptable [5].

El inconveniente que existen al momento de realizar el mejoramiento del suelo es conocer las características que tiene cada material que se pueda usar de relleno para determinar su rendimiento como agente reductor de la resistencia de las tierras, también es la falta de especificaciones uniformes para probar o investigar la mayoría de los factores clave que deben tenerse en cuenta al seleccionar o desarrollar dichos materiales. Dichas especificaciones uniformes podrían haber orientado fácilmente a los buscadores de materiales a la hora de seleccionar la sustancia más adecuada para una aplicación determinada [5].

Tabla 41: TIPOS DE MATERIALES DE RELLENO.

Fuente: [5]

Categoría	Sustancias
Sales	Cloruro de sodio, cloruro de calcio, sulfato de cobre, sulfato de magnesio
Arcilla natural	Bentonita sódica y cálcica, ceniza volcánica
Compuestos de carbono	Brisa de coque, polvo de carbón vegetal, ceniza de madera, grafito, mezcla de alquitrán y grafito
Productos químicos naturales porosos	Dolomita, zeolita, calcita
Polvo metálico	Polvo de hierro y acero, polvo de aluminio, polvo de cobre
Residuos industriales	Cenizas volantes y de fondo de centrales eléctricas de carbón, minerales metálicos usados, escorias de altos hornos
Retenedores de agua no metálicos	Médula de coco, cáscara de arroz, polvo de kenaf, torta de palmiste, cáscara de cacao en polvo

Tabla 42: Resistividad y Resistencia del suelo.

Fuente: [6].

Balizas	Resistividad		Resistencia	
	1m	2m	1m	2m
TWY F_26 - F_06	91,9 [Ω -m]	27,9 [Ω -m]	7,68 [Ω]	1,36 [Ω]
	60,3 [Ω -m]	22,8 [Ω -m]	5,04 [Ω]	1,11 [Ω]
	26,7 [Ω -m]	19,78 [Ω -m]	2,23 [Ω]	0,97 [Ω]
	29,3 [Ω -m]	19,91 [Ω -m]	2,45 [Ω]	0,97 [Ω]
	34 [Ω -m]	21 [Ω -m]	2,84 [Ω]	1,03 [Ω]
	43,9 [Ω -m]	38,4 [Ω -m]	3,67 [Ω]	1,88 [Ω]
	37,2 [Ω -m]	26,4 [Ω -m]	3,11 [Ω]	1,29 [Ω]
	58,2 [Ω -m]	33,5 [Ω -m]	4,86 [Ω]	1,64 [Ω]
	47,7 [Ω -m]	35 [Ω -m]	3,98 [Ω]	1,71 [Ω]
	50,1 [Ω -m]	39,6 [Ω -m]	4,18 [Ω]	1,93 [Ω]
	49 [Ω -m]	57,1 [Ω -m]	4,09 [Ω]	2,79 [Ω]
TWY G_05	37 [Ω -m]	38,9 [Ω -m]	3,09 [Ω]	1,90 [Ω]
TWY H_05	62,2 [Ω -m]	60,3 [Ω -m]	5,20 [Ω]	2,95 [Ω]
TWY H_04	60,3 [Ω -m]	59,6 [Ω -m]	5,04 [Ω]	2,91 [Ω]
TWY G_07 - H_07	417 [Ω -m]	22,54 [Ω -m]	34,83 [Ω]	1,10 [Ω]
	417 [Ω -m]	22,54 [Ω -m]	34,83 [Ω]	1,10 [Ω]
	417 [Ω -m]	22,54 [Ω -m]	34,83 [Ω]	1,10 [Ω]
	417 [Ω -m]	22,54 [Ω -m]	34,83 [Ω]	1,10 [Ω]
TWY G_08 - G_27	21 [Ω -m]	23,3 [Ω -m]	1,75 [Ω]	1,14 [Ω]
	21 [Ω -m]	23,3 [Ω -m]	1,75 [Ω]	1,14 [Ω]
	46,5 [Ω -m]	33,9 [Ω -m]	3,88 [Ω]	1,66 [Ω]
	46,5 [Ω -m]	33,9 [Ω -m]	3,88 [Ω]	1,66 [Ω]
	46,5 [Ω -m]	33,9 [Ω -m]	3,88 [Ω]	1,66 [Ω]
	18,18 [Ω -m]	17,76 [Ω -m]	1,52 [Ω]	0,87 [Ω]
	27 [Ω -m]	22,1 [Ω -m]	2,26 [Ω]	1,08 [Ω]
	32,7 [Ω -m]	25,9 [Ω -m]	2,73 [Ω]	1,27 [Ω]
	54,1 [Ω -m]	40,1 [Ω -m]	4,52 [Ω]	1,96 [Ω]
	57,9 [Ω -m]	50,1 [Ω -m]	4,84 [Ω]	2,45 [Ω]
	42,3 [Ω -m]	28,4 [Ω -m]	3,53 [Ω]	1,39 [Ω]
TWY G_29 - G_32	32,7 [Ω -m]	26,7 [Ω -m]	2,73 [Ω]	1,30 [Ω]
	42 [Ω -m]	29,25 [Ω -m]	3,51 [Ω]	1,43 [Ω]
	51,3 [Ω -m]	31,8 [Ω -m]	4,28 [Ω]	1,55 [Ω]
TWY G_33 - G_37	41,1 [Ω -m]	52 [Ω -m]	3,43 [Ω]	2,54 [Ω]
	42,85 [Ω -m]	39,75 [Ω -m]	3,58 [Ω]	1,94 [Ω]
	44,6 [Ω -m]	27,5 [Ω -m]	3,73 [Ω]	1,34 [Ω]

Tabla 43: Resistividad y Resistencia del suelo.

Fuente: [6].

Balizas	Resistividad		Resistencia	
	1m	2m	1m	2m
TWY G_38	32,1 [Ω -m]	26,1 [Ω -m]	2,68 [Ω]	1,28 [Ω]
	27,3 [Ω -m]	21,1 [Ω -m]	2,28 [Ω]	1,03 [Ω]
TWY F_38 - F_40	14,05 [Ω -m]	10,5 [Ω -m]	1,17 [Ω]	0,51 [Ω]
	18,45 [Ω -m]	15,9 [Ω -m]	1,54 [Ω]	0,78 [Ω]
TWY H_81	31,5 [Ω -m]	21,9 [Ω -m]	2,63 [Ω]	1,07 [Ω]
TWY G_80	31,3 [Ω -m]	31,9 [Ω -m]	2,61 [Ω]	1,56 [Ω]
	48 [Ω -m]	51,9 [Ω -m]	4,01 [Ω]	2,54 [Ω]
TWY H_79	14,8 [Ω -m]	7,49 [Ω -m]	1,24 [Ω]	0,37 [Ω]
	14,8 [Ω -m]	7,49 [Ω -m]	1,24 [Ω]	0,37 [Ω]
RWY H_76 - H_40	27,9 [Ω -m]	15,93 [Ω -m]	2,33 [Ω]	0,78 [Ω]
	22,8 [Ω -m]	14,84 [Ω -m]	1,90 [Ω]	0,73 [Ω]
	46,8 [Ω -m]	27,7 [Ω -m]	3,91 [Ω]	1,35 [Ω]
	21,1 [Ω -m]	19,78 [Ω -m]	1,76 [Ω]	0,97 [Ω]
	33,1 [Ω -m]	19,03 [Ω -m]	2,76 [Ω]	0,93 [Ω]
	23,7 [Ω -m]	22,2 [Ω -m]	1,98 [Ω]	1,08 [Ω]
	29,3 [Ω -m]	17,93 [Ω -m]	2,45 [Ω]	0,88 [Ω]
	54,1 [Ω -m]	31,1 [Ω -m]	4,52 [Ω]	1,52 [Ω]
	24,8 [Ω -m]	15,95 [Ω -m]	2,07 [Ω]	0,78 [Ω]
	17,77 [Ω -m]	12,13 [Ω -m]	1,48 [Ω]	0,59 [Ω]
	38 [Ω -m]	19,48 [Ω -m]	3,17 [Ω]	0,95 [Ω]
	28,5 [Ω -m]	18,03 [Ω -m]	2,38 [Ω]	0,88 [Ω]
	32,4 [Ω -m]	16,81 [Ω -m]	2,71 [Ω]	0,82 [Ω]
	24,4 [Ω -m]	21,2 [Ω -m]	2,04 [Ω]	1,04 [Ω]
	35,8 [Ω -m]	7,41 [Ω -m]	2,99 [Ω]	0,85 [Ω]
	42,3 [Ω -m]	41,6 [Ω -m]	3,53 [Ω]	2,03 [Ω]
	21,1 [Ω -m]	21,5 [Ω -m]	1,76 [Ω]	1,05 [Ω]
	25,6 [Ω -m]	18,43 [Ω -m]	2,14 [Ω]	0,90 [Ω]
37,2 [Ω -m]	16,61 [Ω -m]	3,11 [Ω]	0,81 [Ω]	
TWY H_38	36 [Ω -m]	19,97 [Ω -m]	3,01 [Ω]	0,98 [Ω]
	14,95 [Ω -m]	13,41 [Ω -m]	1,25 [Ω]	0,66 [Ω]
TWY H_37 - H_33	55,3 [Ω -m]	21,1 [Ω -m]	4,62 [Ω]	1,03 [Ω]
	44,2 [Ω -m]	29,7 [Ω -m]	3,69 [Ω]	1,45 [Ω]
	50,8 [Ω -m]	14,51 [Ω -m]	4,24 [Ω]	0,71 [Ω]
TWY H_32 - H_29	42,5 [Ω -m]	20,8 [Ω -m]	3,55 [Ω]	1,02 [Ω]
	51,6 [Ω -m]	27 [Ω -m]	4,31 [Ω]	1,32 [Ω]
	40,7 [Ω -m]	23,5 [Ω -m]	3,40 [Ω]	1,15 [Ω]
TWY H_28	20,6 [Ω -m]	22,8 [Ω -m]	1,72 [Ω]	1,11 [Ω]

Tabla 44: Resistividad y Resistencia del suelo.

Fuente: [6].

Balizas	Resistividad		Resistencia	
	1m	2m	1m	2m
RWY H_26 - H_08	28,8 [Ω -m]	18,83 [Ω -m]	2,41 [Ω]	0,92 [Ω]
	35,2 [Ω -m]	20,1 [Ω -m]	2,94 [Ω]	0,98 [Ω]
	28,1 [Ω -m]	20,5 [Ω -m]	2,35 [Ω]	1,00 [Ω]
	36,7 [Ω -m]	19,11 [Ω -m]	3,07 [Ω]	0,93 [Ω]
	33,1 [Ω -m]	19,63 [Ω -m]	2,76 [Ω]	0,96 [Ω]
	22,2 [Ω -m]	13,48 [Ω -m]	1,85 [Ω]	0,66 [Ω]
	47,5 [Ω -m]	28,8 [Ω -m]	3,97 [Ω]	1,41 [Ω]
	46 [Ω -m]	33,8 [Ω -m]	3,84 [Ω]	1,65 [Ω]
	34,4 [Ω -m]	24,3 [Ω -m]	2,87 [Ω]	1,19 [Ω]
	38,4 [Ω -m]	23,5 [Ω -m]	3,21 [Ω]	1,15 [Ω]
RWY J_04 - J_81	31,4 [Ω -m]	28,8 [Ω -m]	2,62 [Ω]	1,41 [Ω]
	30,7 [Ω -m]	30,2 [Ω -m]	2,56 [Ω]	1,48 [Ω]
	15,19 [Ω -m]	9,77 [Ω -m]	1,27 [Ω]	0,48 [Ω]
	31,5 [Ω -m]	24 [Ω -m]	2,63 [Ω]	1,17 [Ω]
	22,1 [Ω -m]	11,62 [Ω -m]	1,85 [Ω]	0,57 [Ω]
	22,5 [Ω -m]	17,85 [Ω -m]	1,88 [Ω]	0,87 [Ω]
	20,09 [Ω -m]	19,06 [Ω -m]	1,68 [Ω]	0,93 [Ω]
	25,8 [Ω -m]	25 [Ω -m]	2,16 [Ω]	1,22 [Ω]
	14,15 [Ω -m]	12,93 [Ω -m]	1,18 [Ω]	0,63 [Ω]
	14,83 [Ω -m]	15,67 [Ω -m]	1,24 [Ω]	0,77 [Ω]
	16,98 [Ω -m]	17,14 [Ω -m]	1,42 [Ω]	0,84 [Ω]
	21,4 [Ω -m]	15,43 [Ω -m]	1,79 [Ω]	0,75 [Ω]
	24,7 [Ω -m]	14,41 [Ω -m]	2,06 [Ω]	0,70 [Ω]
	20,3 [Ω -m]	11,76 [Ω -m]	1,70 [Ω]	0,57 [Ω]
	23,4 [Ω -m]	18,11 [Ω -m]	1,95 [Ω]	0,88 [Ω]
	17,7 [Ω -m]	17,54 [Ω -m]	1,48 [Ω]	0,86 [Ω]
	24,4 [Ω -m]	21 [Ω -m]	2,04 [Ω]	1,03 [Ω]
	23,4 [Ω -m]	19,09 [Ω -m]	1,95 [Ω]	0,93 [Ω]
	18,22 [Ω -m]	16,17 [Ω -m]	1,52 [Ω]	0,79 [Ω]
	17,35 [Ω -m]	16,76 [Ω -m]	1,45 [Ω]	0,82 [Ω]
	22,5 [Ω -m]	14,58 [Ω -m]	1,88 [Ω]	0,71 [Ω]
	16,76 [Ω -m]	14,79 [Ω -m]	1,40 [Ω]	0,72 [Ω]
	24,9 [Ω -m]	15,53 [Ω -m]	2,08 [Ω]	0,76 [Ω]
	16,2 [Ω -m]	15,56 [Ω -m]	1,35 [Ω]	0,76 [Ω]
	17,18 [Ω -m]	11,7 [Ω -m]	1,44 [Ω]	0,57 [Ω]
	18,68 [Ω -m]	9,15 [Ω -m]	1,56 [Ω]	0,45 [Ω]
	23,8 [Ω -m]	13,42 [Ω -m]	1,99 [Ω]	0,66 [Ω]
	19,27 [Ω -m]	23,1 [Ω -m]	1,61 [Ω]	1,13 [Ω]
21,3 [Ω -m]	22,4 [Ω -m]	1,78 [Ω]	1,09 [Ω]	
15,11 [Ω -m]	11,77 [Ω -m]	1,26 [Ω]	0,58 [Ω]	
10,74 [Ω -m]	9,04 [Ω -m]	0,90 [Ω]	0,44 [Ω]	

Tabla 45: Resistividad y Resistencia del suelo.

Fuente: [6].

Balizas	Resistividad		Resistencia	
	1m	2m	1m	2m
RWY J_04 - J_81	15,7 [Ω -m]	13,08 [Ω -m]	1,31 [Ω]	0,64 [Ω]
	13,02 [Ω -m]	9,37 [Ω -m]	1,09 [Ω]	0,46 [Ω]
	18,7 [Ω -m]	18,55 [Ω -m]	1,56 [Ω]	0,91 [Ω]
	16,28 [Ω -m]	14,3 [Ω -m]	1,36 [Ω]	0,70 [Ω]
	18,78 [Ω -m]	16,62 [Ω -m]	1,57 [Ω]	0,81 [Ω]
	17,02 [Ω -m]	11,86 [Ω -m]	1,42 [Ω]	0,58 [Ω]
	11,3 [Ω -m]	12,6 [Ω -m]	0,94 [Ω]	0,62 [Ω]
	23,9 [Ω -m]	30,7 [Ω -m]	2,00 [Ω]	1,50 [Ω]

6. CAPÍTULO 6

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El cambio de luminarias halógenas por tecnología LED será un beneficio, para el Aeropuerto Mariscal La Mar, visto de varios ámbitos, en la parte económica, reducción el consumo eléctrico, gastos de mantenimiento y una disminución monetaria en la planilla de consumo, como también una modernización de toda la pista en el área de iluminación tal que servirá como ejemplo para los demás aeropuertos a nivel nacional y estar al día como las pistas internacionales.

Después de realizar el análisis técnico, fundamentalmente los niveles de iluminación se basan en las normativas ICAO y FAA. Para los equipos de iluminación RWY, TWY, P.A.P.I., R.E.I.L., se determina la cantidad de luz por el parámetro de Intensidad Luminosa expresada en cd. y el cual se trató de tener una similitud entre la curva polar arrojada por el programa DIALux y las normas establecidas. Mientras que, para los circuitos de Señalización vertical, Marcadores de distancia e Indicadores de viento, la cantidad de luz se determina por los parámetros de luminancia expresada en cd/m^2 , de acuerdo con la normativa para señalización se tiene un promedio de $152 cd/m^2$, mientras que, para el indicador de viento, la cantidad de luminancia se mide a una cierta distancia desde el punto de la garganta del cono, dependiendo de la altitud de la estructura. Actualmente, el equipo indicador de viento no cuenta con normativas que justifique el sistema de iluminación, lo cual se presume que estuvo construido empíricamente.

En cuanto a la parte económica, se estableció como parte principal los costos que se genera con el sistema de iluminación actual, lo cual, refleja una cantidad grande para mantener el sistema operativo. El mayor gasto que se produce para mantener el equipo en operación es el costo del reemplazo de la luminaria, ya que la mayoría de las luminarias requieren el cambio cada cuatro meses, tal es el caso para los equipos RWY empotrada de borde, de umbral/fin de pista, R.E.I.L., indicadores de viento, que

generan así un costo de \$ 32,877.60.

La diferencia entre los costos de O&M de los dos sistemas de iluminación, en general, representa un 91 % de reducción de gastos. Sin embargo, se podría analizar de otra manera, considerando únicamente solo los costos de mano de obra para el sistema de iluminación halógeno, ya que el sistema de iluminación con tecnología LED no realiza ningún tipo de recambio al año, de esta manera, el costo total de mano de obra para el sistema actual es de \$ 4,918.00 y con tecnología LED es de \$ 3,738.10, representado así una reducción de mano de obra del 24 %.

La reducción del consumo de energía entre los dos sistemas de iluminación es de 200,239.0 kWh/año, el cual, representa una reducción del 39 % al año. Además, una reducción hacia el consumo monetario de \$ 14,016.73 al año. Y finalmente en cuanto al ahorro de O&M son de \$ 42,827.70. Los equipos de mayor y menor consumo eléctrico para el sistema actual son los equipos RWY empotrada de borde y el equipo R.E.I.L. de 29,550.4 y 2,336.0 [kWh/año] respectivamente. Mientras, para el sistema con tecnología LED, el equipo de señalización vertical de potencia 500W, tiene el mayor consumo eléctrico y los equipos Cono de viento de 100W y 200W, comparten la misma cantidad de consumo eléctrico de 584 kWh/año.

De acuerdo con el análisis financiero, los equipos R.E.I.L. y letreros de señalización vertical no son viables para el cambio, es lo que indica el parámetro VAN negativo, a pesar de que los demás indicadores si cumplan, este se sujeta al indicador VAN, ya que tiene mayor jerarquía de decisión. A pesar de ello, se justifica que el reemplazo, es la mejor opción por temas de equipos descatalogados. Tal es el caso, para los dos equipos anteriores, como también para otros equipos como: marcadores de distancia, P.A.P.I.s, unidad RWY elevada, entre otros.

Las mediciones de calidad de energía, se realizó únicamente en el tablero de distribución de los equipos de ayudas visuales, el cual, este es un análisis complementario a la investigación, ya que con ello se logra determinar si los parámetros eléctricos cumplen con las normativas y regulaciones ecuatorianas o que rige la empresa distribuidora, tal fuese el caso de no cumplir, se trató de determinar los

factores de corrección. Esto ocurre para el caso de la corriente y el factor de potencia para la línea L2. El bajo fp , se ve afectaba por el desfasamiento de la corriente con relación al voltaje dando un promedio de 0.75, la solución o corrección eficiente para este apartado, es la instalación de capacitores, ya que la idea es mejorar la potencia reactiva por medio de la compensación capacitiva. Otra anomalía que se encontró en este análisis son los armónicos, que a pesar de que los valores están en el rango permitido, siguen siendo un enfoque importante para su corrección, el problema recae en la cantidad de tarjetas electrónicas que ocupa los equipos CCRs.

Finalmente, un sistema de puesta a tierra deberá estar bien diseñada, ya que de esto depende la seguridad tanto a los equipos como del personal que lo manipula. Al realizar el análisis de resistencia del terreno, se encuentra con un área que no cumple con las normas exigidas por la norma ICAO, que establece para el área de balizamiento, valores comprendidos entre **6 a 25 ohmios**, de esta manera el área que no cumple tal requerimiento es de las balizas TWY $G_07 - H_07$, por lo cual requiere de un tratamiento y mejoramiento para el respectivo diseño de puesta a tierra.

La huella ecológica es uno de los primeros pasos para la reducción del consumo eléctrico, teniendo en cuenta que la iluminación es un factor importante para el aeropuerto, es importante tener en cuenta las emisiones que genera esta área. Al realizar el cambio de los sistemas de iluminación, se puede observar un beneficio hacia el medio ambiente, donde se obtiene una reducción del 39.1 % al año, tal beneficio será muy favorable a corto y largo plazo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el cambio de iluminación halógena por tecnología LED, ya que, por todas las vías posibles, tanto técnicas, económico, ambientales, la oportunidad de mejora con el sistema de iluminación LED, es totalmente incuestionable, a pesar de ello sigue siendo un proyecto de gran costo de inversión que, sin embargo, la cantidad de años para recuperar el capital invertido es indiferente a los años de vida útil proporcionado por los equipos.

Se recomienda tener en claro las normas de aviación, ya que en ella recae el peso de especificación de los datos técnicos para la construcción e iluminación.

Para realizar el mejoramiento en las 4 balizas que superan las resistencias establecidas por la normativa [1], se podría realizar un tratamiento químico del suelo, donde se puede llegar a mejorar el electrodo de la tierra. Se puede trabajar con el sulfato de cobre, ya que es el menos corrosivo de los materiales, esta se puede llenar en una zanja o alrededor de donde se encuentre el electrodo y se debe tener en cuenta que el tratamiento químico del suelo no es de por vida, las sustancias químicas utilizadas perderán gradualmente su rendimiento con el transcurrir de los años.

Para obtener la licencia ambiental, es importante continuar avanzando el estudio de la huella ecológica en todas las áreas del aeropuerto, para poder definir en su totalidad todos los factores que intervienen en este análisis. Englobando los equipos de tierra, vehículos auxiliares, combustible de aeronaves y automotores, etc.

Referencias

- [1] ICAO, *Doc 9157. Manual de diseño de aeródromos, Parte 5 de la Organización de aviación civil internacional*. International Civil Aviation Organization, 2018.
- [2] DAC, *DISEÑO DE AERÓDROMOS*. DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL, 2018.
- [3] Raúl RAMOS BARTOL, “Estudio del nuevo sistema de puesta a tierra de los circuitos serie de ayudas visuales aeroportuarios,” Master’s thesis, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2021.
- [4] J. S. P. Valle, “MÉTODOS DE MEDICIONES DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO,” *CITE ENERGIA*, 2018.
- [5] C. Sattar, Muhammad Qasim Abdul y Gomes, “Materiales de relleno para mejorar el rendimiento de los sistemas de puesta a tierra eléctrica: una revisión analítica,” in *2022 36.a Conferencia internacional sobre protección contra rayos (ICLP)*, 2022.
- [6] X. Vacacela, “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO EN EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR, CUENCA.” *Aeropuerto Mariscal La Mar*, 2022.
- [7] *Historia del Aeropuerto Mariscal La Mar*, 2022. [Online]. Available: <http://www.aerpuertocuenca.ec/acerca-de-corpac/historia-del-aeropuerto-mariscal-lamar/>
- [8] A. N. L. Arturo, *MODERNIZACIÓN, IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES LUMINOSAS PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL COTOPAXI*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2015.
- [9] SKYBRARY. (2021) Taxiway lighting. [Online]. Available: <https://skybrary.aero/articles/taxiway-lighting>

- [10] D. M. I. A. Núñez R. Gabriel, *Diagnóstico y propuestas de uso eficiente de energía eléctrica en el área de iluminación del aeropuerto internacional de Cd. Obregón, Sonora*. REVISTA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN, 2008.
- [11] CASTLEPRIOR. (2022) Diamond drilling cutting infrastructure specialists. [Online]. Available: <https://www.castle-prior.co.uk/news/2018/is-it-time-to-upgrade-your-airfield-ground-lighting-to-led>
- [12] A. Hueso González and M. Cascant i Sempere, *Metodología y técnicas cuantitativas de investigación*. Editorial Universitat Politècnica de Valencia, 2012.
- [13] M. E. Rendón-Macías, M. Á. Villasís-Keever, and M. G. Miranda-Navales, “Estadística descriptiva,” *Revista Alergia México*, vol. 63, no. 4, pp. 397–407, 2016.
- [14] X. Vives, “El aeropuerto en la globalización,” *La Vanguardia*, no. 12, 2007.
- [15] V. Blanca Giménez, N. Castilla Cabanes, A. Martínez Antón, and R. M. Pastor Villa, “Luminotecnia: Magnitudes fotométricas básicas. unidades de medida,” *Luminotecnia*, 2011.
- [16] C. Gonzales Retamoso, “Evaluación y análisis de la calidad de producto bajo los efectos de las tensiones y corrientes armónicas en un punto de acoplamiento común (pac),” *evaluacion*, 2019.
- [17] ICAO, *Aerodromes : aerodromes design and operations*. International Civil Aviation Organization, 2018.
- [18] KAWSUS, “ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EX – POST AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA,” Corporación Aeroportuaria de Cuenca, Tech. Rep., 2021.
- [19] ICAO, *Aerodromes : aerodromes design and operations*. International Civil Aviation Organization, 2016.

- [20] FAA, *AC 150/5345-46E - Specification for Runway and Taxiway Light Fixtures*. Federal Aviation Administration, 2016.
- [21] ———, *SPECIFICATION FOR DISCHARGE-TYPE FLASHING LIGHT EQUIPMENT*. Federal Aviation Administration, 2010.
- [22] ICAO, *Aerodrome design manual. part 6 frangibility*. International Civil Aviation Organization, 2006.
- [23] FAA, *SPECIFICATION FOR RUNWAY AND TAXIWAY SIGNS*. Federal Aviation Administration, 2015.
- [24] ICAO, *Aerodromes : international standards and recommended practices. volume I aerodrome design and operations*. International Civil Aviation Organization., 2009.
- [25] FAA, *Precision Approach Path Indicator (PAPI) Systems*. Federal Aviation Administration, 2019.
- [26] J. Caminos, “Design criteria in lighting and color,” *Santa Fe, edUTecNe*, 2011.
- [27] DIAL. (2016) Luminous intensity distribution. [Online]. Available: <https://www.dial.de/en-GB/>
- [28] A. C. L. y. o. Burguete, *Analisis financiero*. Editorial digital UNID, 2016.
- [29] J. G. China and E. G. Marrero, *Evaluacion economica de inversiones*. Page Publishing Inc, 2019.
- [30] D. F. Villa Ortega, “El flujo de caja como herramienta financiera para la toma de decisiones gerenciales,” B.S. thesis, Guayaquil: ULVR, 2018., 2018.
- [31] G. LAMP. (2023) Genesis lamp. [Online]. Available: <https://genesislamp.com/>
- [32] M. Colacci, G. Spina, M. Boccamazzo, A. Sciarretta, and P. Trematerra, “Evaluation of light-traps with coloured glue-boards for sampling and control of the

- house fly musca domestica l.” *Journal of Entomological and Acarological Research*, vol. 52, no. 3, 2020.
- [33] L. H. Estrella, “FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR,” Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, Tech. Rep., 2021.
- [34] J. Seymour and T. Horsley, “Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico,” *APC Legendary Reliability*, 2005.
- [35] C. Cruz and J. Molina, “Efecto de las fluctuaciones de tensión sinusoidales monofásicas relacionadas con límites de flicker sobre motores de inducción trifásicos,” *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 35, no. 1, pp. 052–060, 2012.
- [36] D. Inicio, “Una revisión de la nueva norma cenelec en 50160,” in *IEE Coloquio sobre problemas de calidad de la energía*, 1995.
- [37] I. E. CONSORTIUM. (2023) Inclusive engineering. [Online]. Available: <https://www.iec.org/>
- [38] A. Rash, “Harmonics-what are they, how to measure them and how to solve the problem (in connection with standards iec 1159-1995 and iec 519-1992),” in *Proceedings of 19th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, 1996, pp. 83–86.
- [39] IEEE, “Ieee recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems,” *IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992)*, pp. 1–29, 2014.
- [40] F. Corporation. (2023) Fluke corporation. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/es-ec>

- [41] F. Zheng and W. Zhang, "Long term effect of power factor correction on the industrial load: A case study," in *2017 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2017, pp. 1–5.
- [42] IEEE STD, "Ieee recommended practice for measurement and limits of voltage fluctuations and associated light flicker on ac power systems," *IEEE Std 1453-2004 (Adoption of CEI/IEC 61000-4-15:1997+A1:2003)*, pp. 1–74, 2005.
- [43] P. Q. I. E. Systems. (2012) Power quality in electrical systems. [Online]. Available: <http://www.powerqualityworld.com/>
- [44] EMP, *MEDIDA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO*. SUBGERENCIA REDES DISTRIBUCIÓN, 2008.
- [45] K. D. y Meppelink Jan y Guthrie Mitchell, "Estándares de componentes del sistema de protección contra rayos en iec 62561," in *2011 7P Conferencia Internacional de Asia-Pacífico sobre Rayos*, 2011.

7. ANEXO

VISUALIZACIÓN DE SIMULACIÓN DE LUMINARIAS CON DIA- LUX PARA EL AERÓDROMO

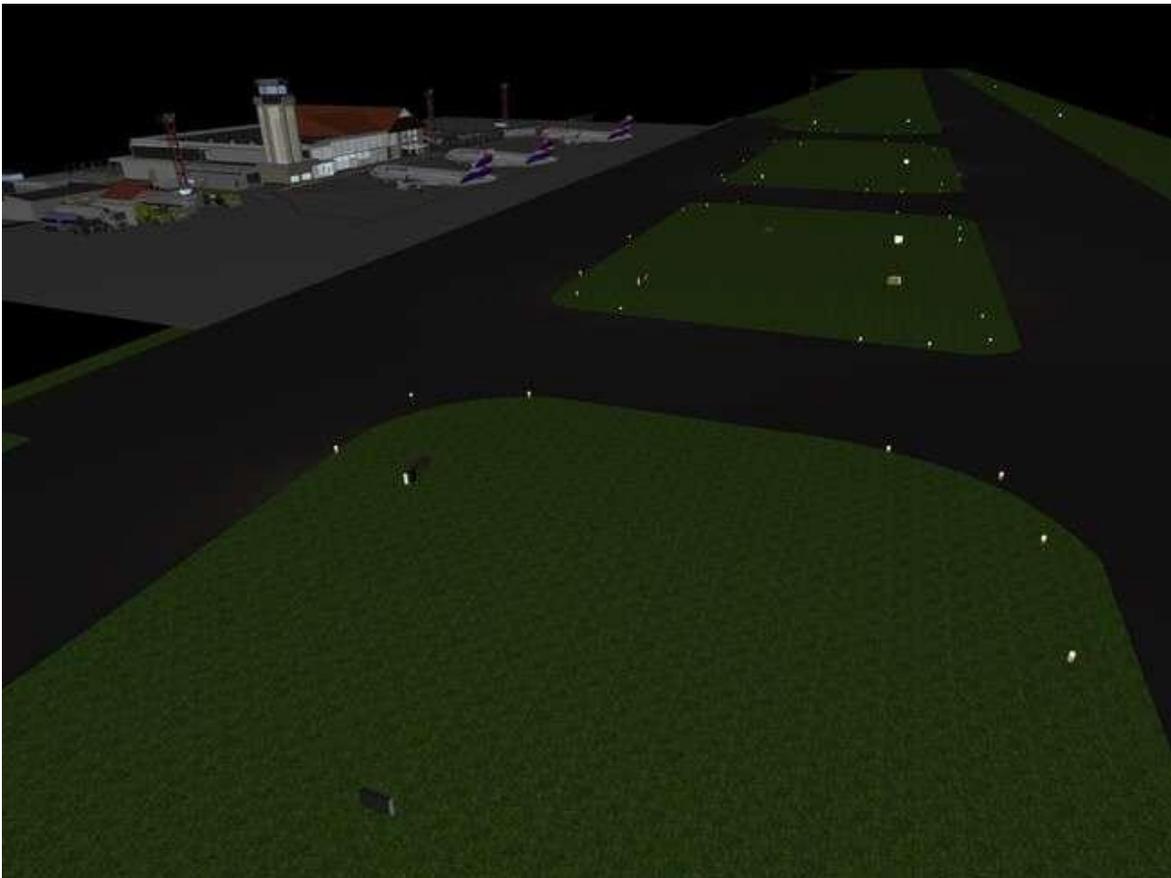


Figura 77: Visualización de la simulación de aeródromo.
Fuente: Autores.

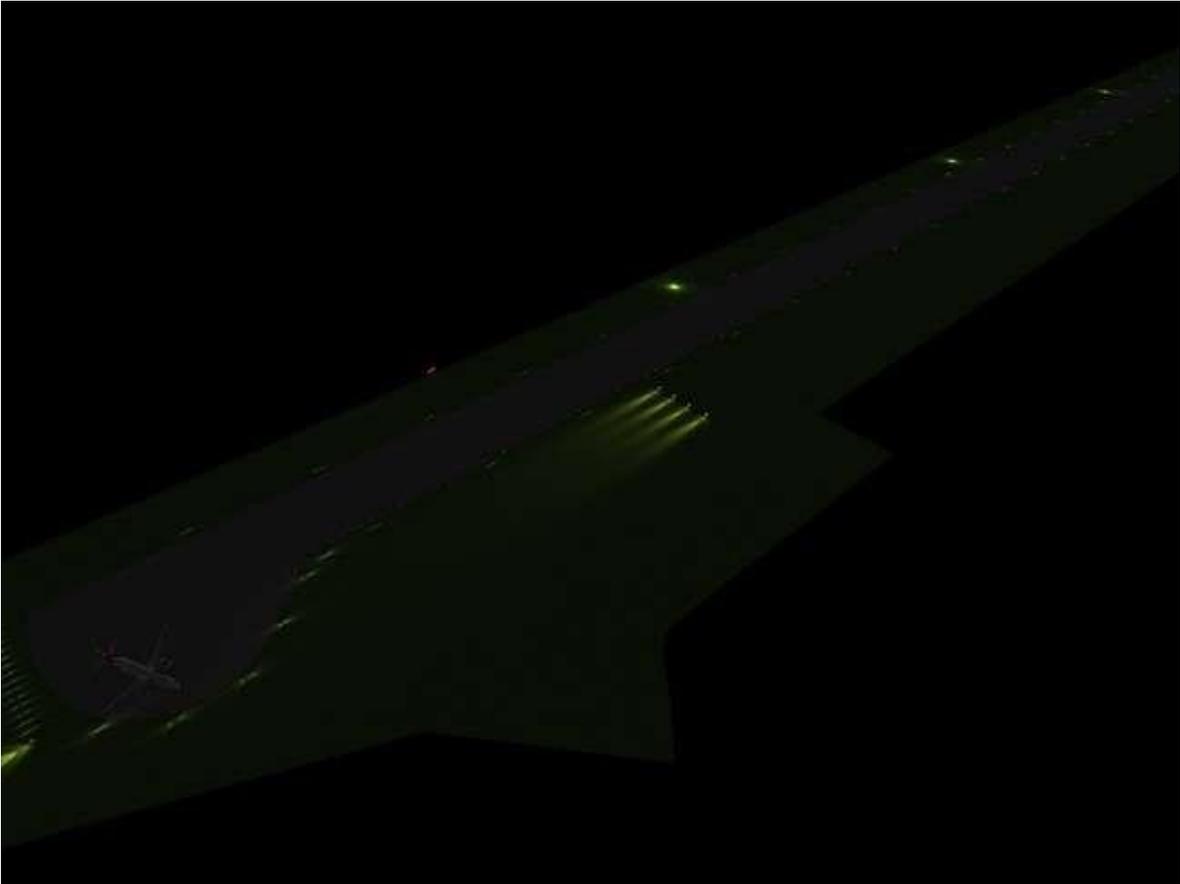


Figura 78: Visualización de la simulación de aeródromo.
Fuente: Autores.

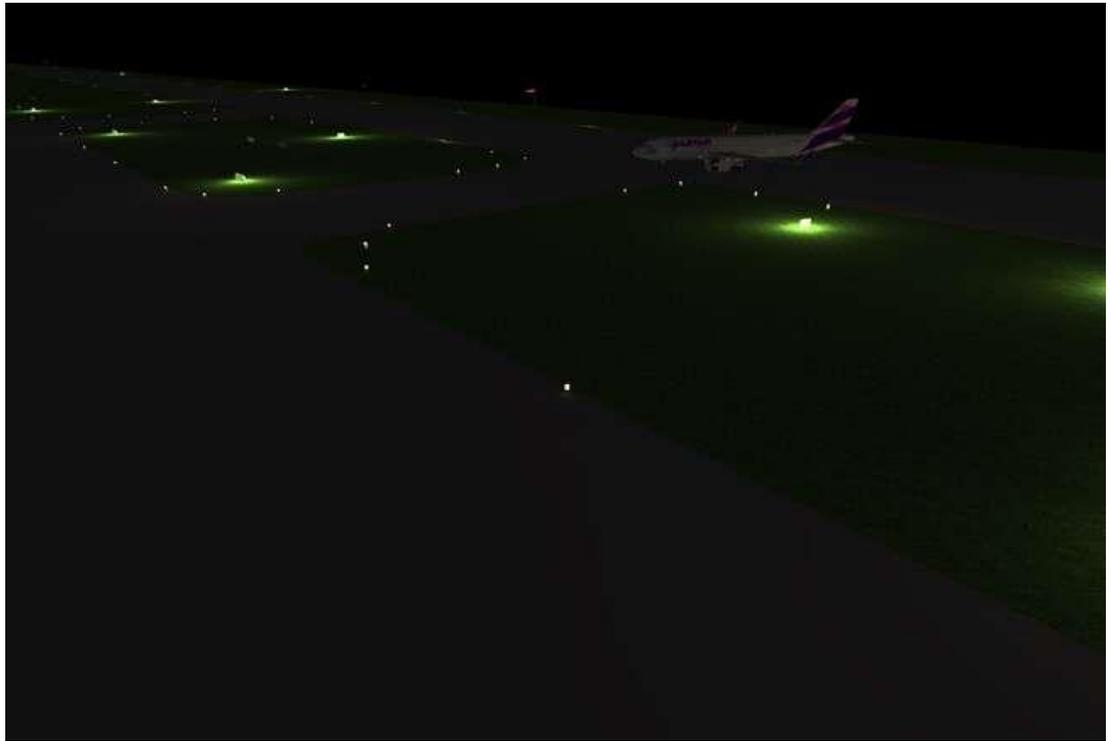


Figura 79: Visualización de la simulación de aeródromo.
Fuente: Autores.

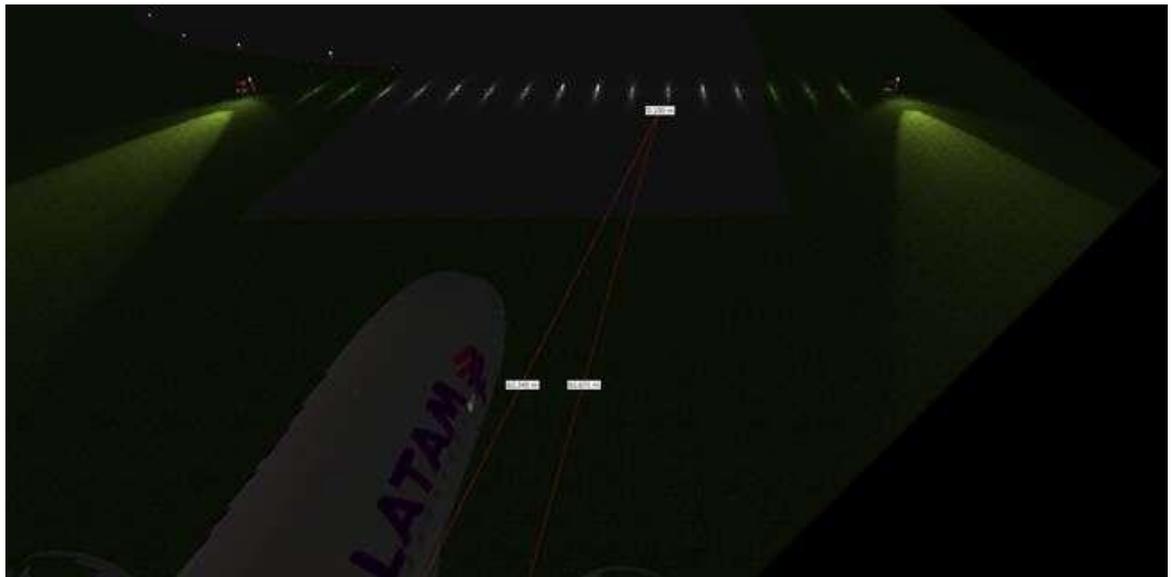


Figura 80: Visualización de la simulación de aeródromo.
Fuente: Autores.

IMÁGENES DE LAS MEDICIONES CON EL EQUIPO FLUKE

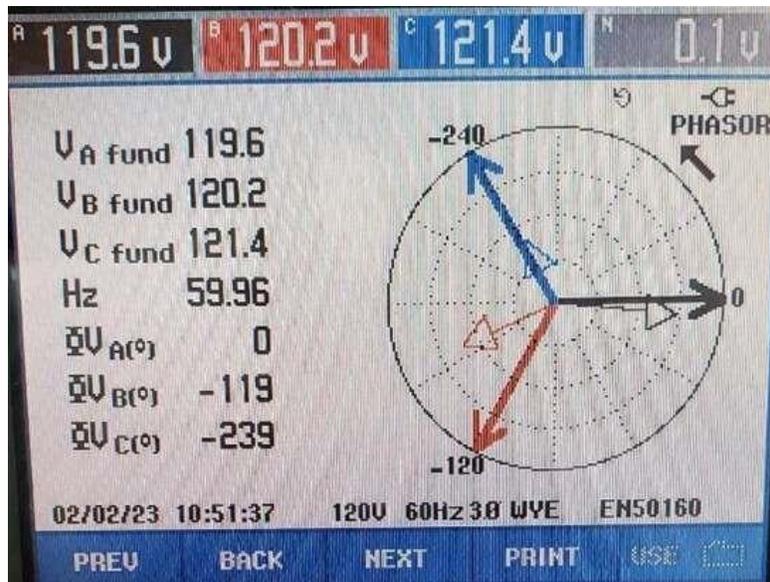


Figura 81: Curva vectorial para el análisis de señales con carga.
Fuente: Autores.

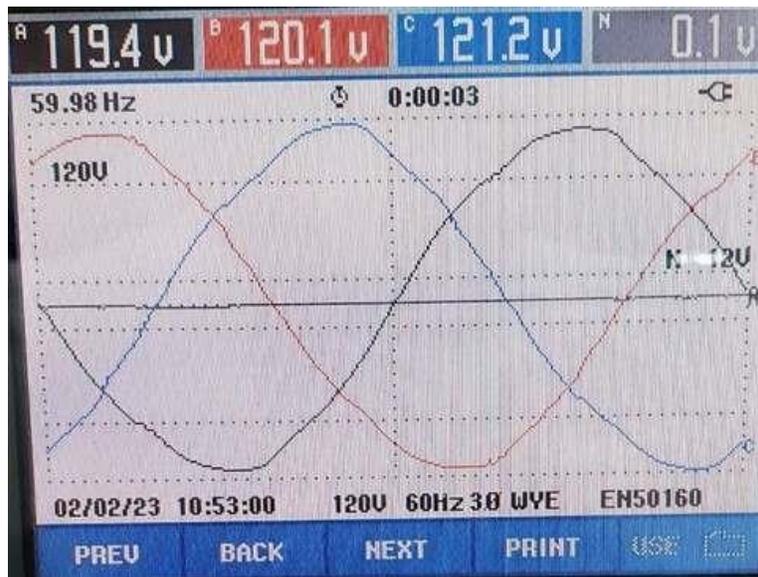


Figura 82: Señales de voltajes con carga.
Fuente: Autores.

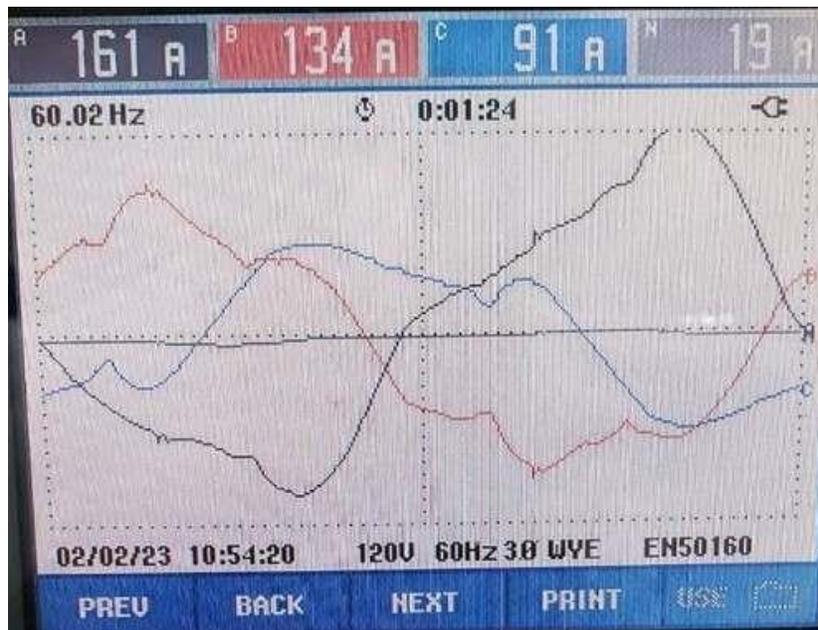


Figura 83: Señales de corrientes con carga.
Fuente: Autores.

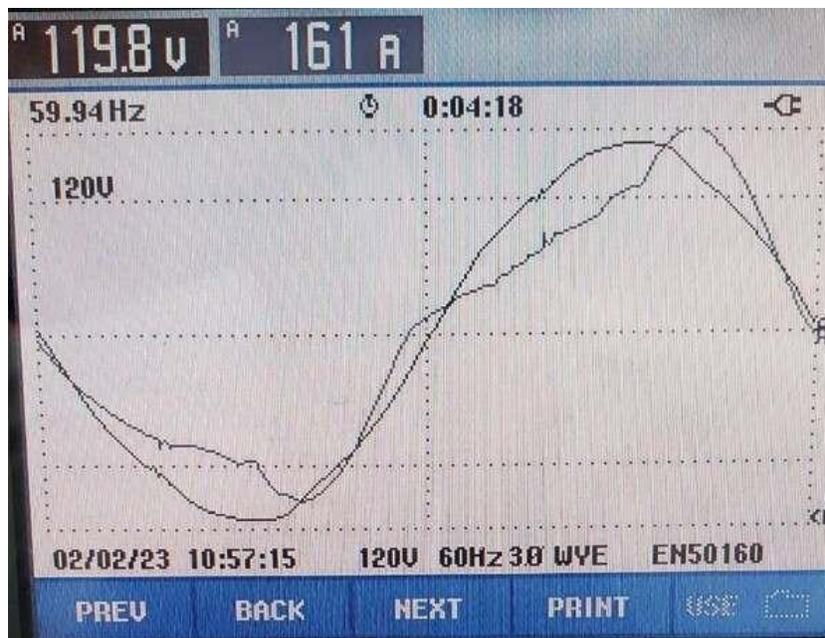


Figura 84: Señal de voltaje y corriente para la línea L1 con carga.
Fuente: Autores.

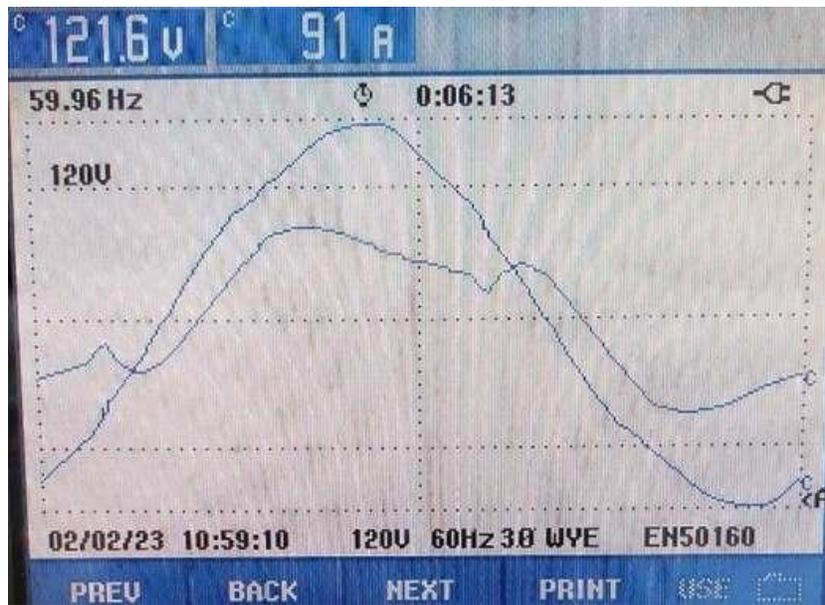


Figura 85: Señal de voltaje y corriente para la línea L3 con carga.
Fuente: Autores.

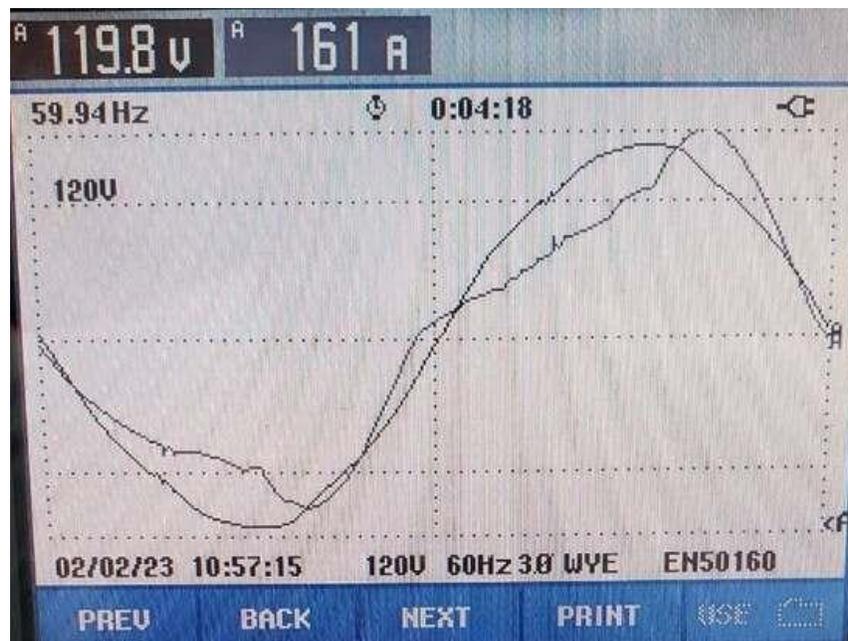


Figura 86: Corriente y voltaje al neutro con carga.
Fuente: Autores.

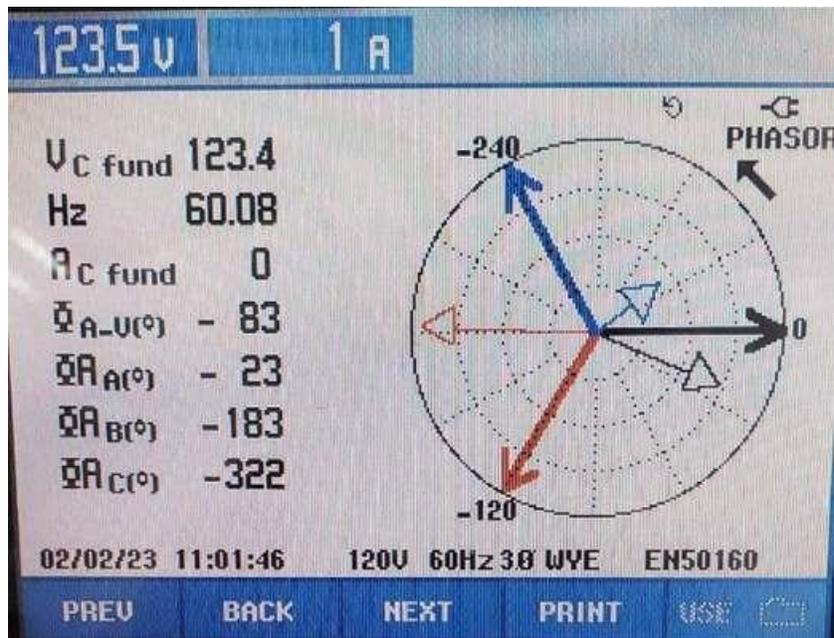


Figura 87: Curva Vectorial sin carga.
 Fuente: Autores.

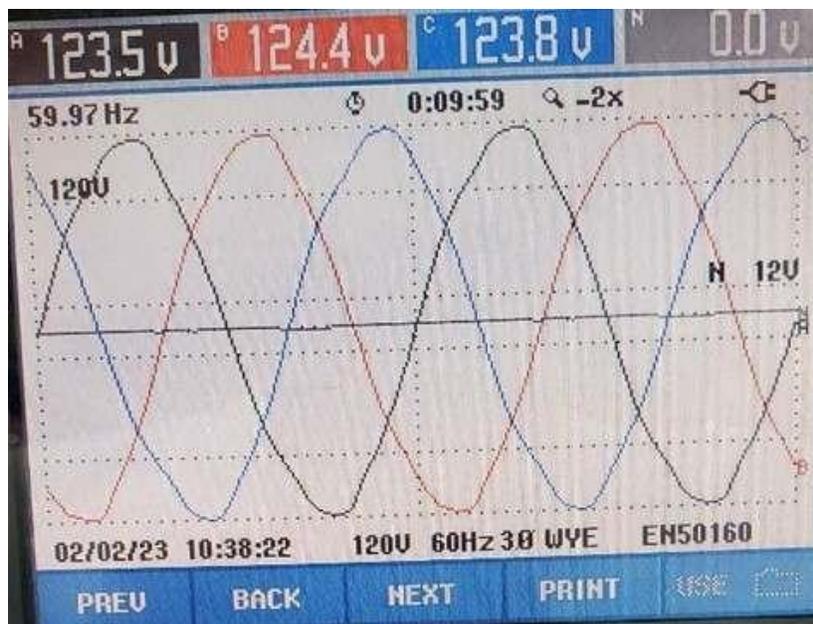


Figura 88: Señal de voltaje sin carga.
 Fuente: Autores.

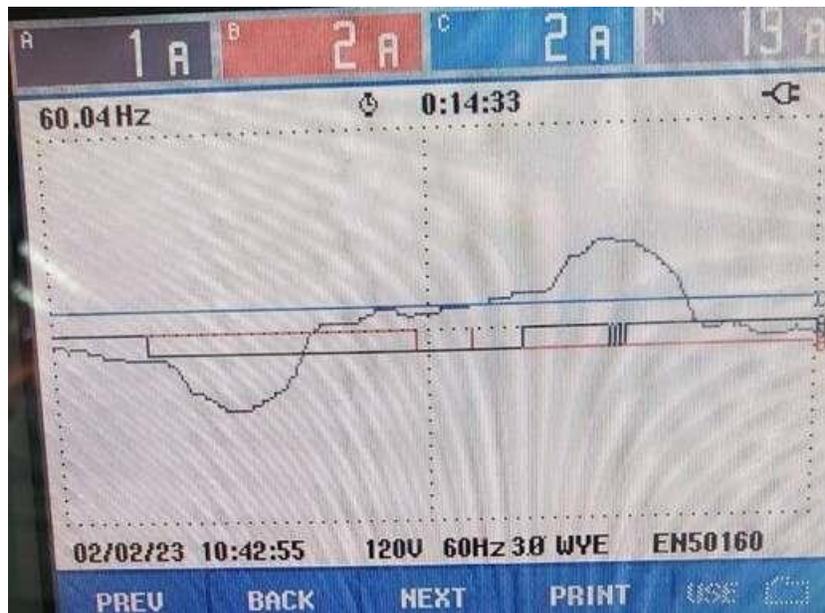


Figura 89: Señal de corriente sin carga.
Fuente: Autores.

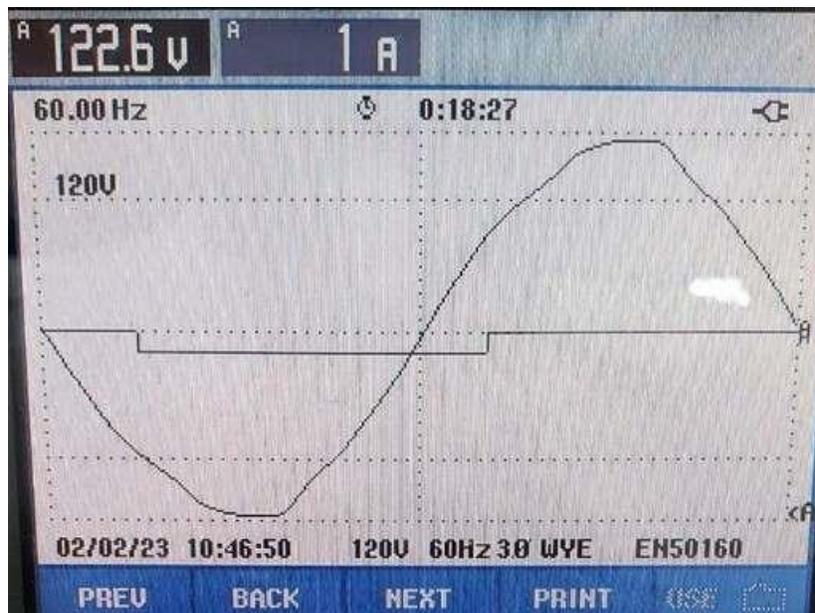


Figura 90: Señal de voltaje y corriente para la línea L1 sin carga.
Fuente: Autores.

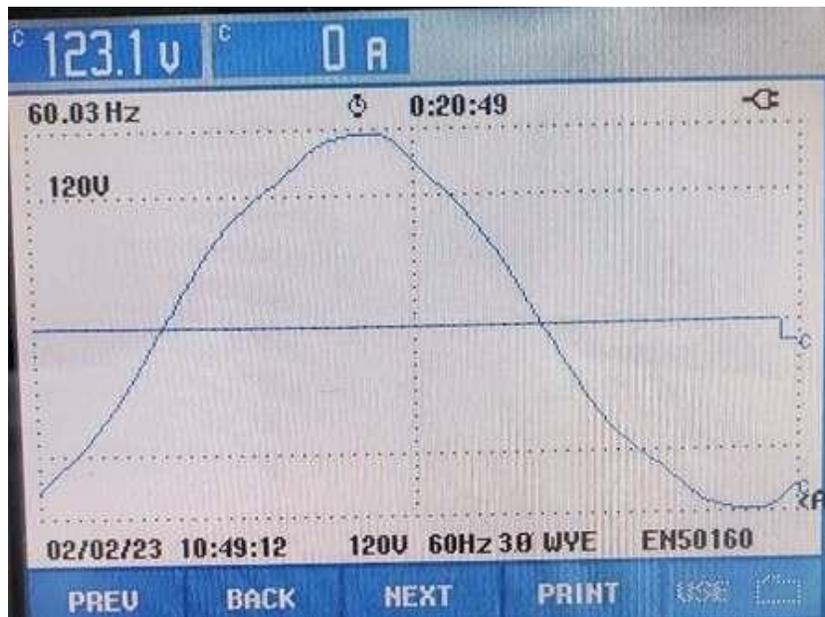


Figura 91: Señal de voltaje y corriente para la línea L3 sin carga.
Fuente: Autores.

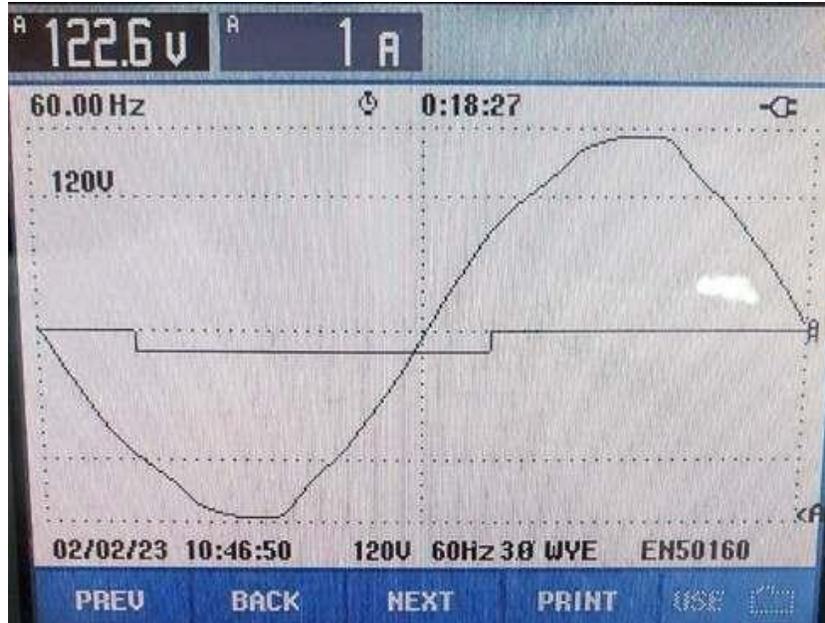


Figura 92: Corriente y voltaje al neutro sin carga.
Fuente: Autores.

RWY ELEVADA

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación borde de pista elevada color blanco (RWY).



FX862C
Runway Edge
Elevated LED fixture
High intensity
lighting solutions

Compliant to Latest
International Standards*

- ▶ ICAO Annex 14. Vol 1
- ▶ FAA AC 150/5345-46†
- ▶ FAA Engineering Brief No.67
- ▶ TP312
- ▶ MOS139
- ▶ IEC 61827
- ▶ EASA
- ▶ Stannag 3316 (NATO)

Applications

CAT I/II/III all weather operation airfield ground lighting (agl) systems.

* As applicable to the application, compliance with other civil aviation and military regulations confirmed on request

† Electrical/Mechanical/Environmental characteristics only

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

FX862C

FX862C LED Elevated Runway Edge High intensity lighting solutions



Electrical Performance

Main Beam Aperture		Colour	Typical Power Consumption - Watts (VA) @ 6.6A				
Horiz(°)	Vert(°)		Per Beam Watts nominal	Fitting [*]		Tx Primary ^{**}	
				Watts (VA)	PF	Watts (VA)	PF
-2 to +9	0 to 7	WHT/WHT	39.7/39.7	119 (119.6)	0.99	154.8 (155.8)	0.99
-2 to +9	0 to 7	WHT/YEL	39.7/16.2	88.3 (88.7)	0.99	123.9 (125.4)	0.98
-2 to +9	0 to 7	WHT/RED	39.7/12.5	85.7 (86.0)	0.99	120.8 (122.7)	0.98
-2 to +9	0 to 7	YEL/RED	16.2/12.5	55.0 (55.1)	0.99	89.9 (92.1)	0.98

Fixture Operational Current Range: 2.8 to 6.7A RMS

* as measured at the input leads of the fixture.

** as measured across the primary winding of an appropriately sized isolation transformer with a total fixture and transformer secondary length not exceeding - 1.85m (72").

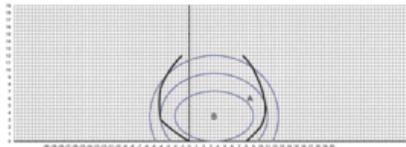
*** electrical characteristics measured with 45 watt transformer, fitting can operate from transformers up to 210 watts.

Note: Isolating transformer shall be suitably sized to accommodate specific secondary and other applicable losses.

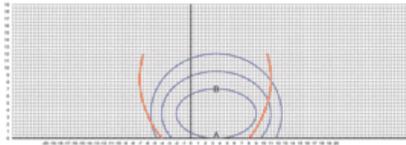
Photometry

Specification	
Colour	White
Max/Min Intensity ratio	<3.0
Main ellipse average intensity	1000cds
Main ellipse minimum intensity	500cds
Second ellipse minimum intensity	100cds
Third ellipse minimum intensity	50cds
Typical Measured Values	
Colour	White
Max/Min Intensity ratio	2.43
Main ellipse average intensity	1093cds
Main ellipse minimum intensity	635cds
Second ellipse minimum intensity	343cds
Third ellipse minimum intensity	179cds
Specification	
Colour	Yellow
Max/Min Intensity ratio	<3.0
Main ellipse average intensity	2000cds
Second ellipse minimum intensity	400cds
Third ellipse minimum intensity	200cds
Typical Measured Values	
Colour	Yellow
Max/Min Intensity ratio	2.57
Main ellipse average intensity	5160cds
Main ellipse minimum intensity	274cds
Second ellipse minimum intensity	1378cds
Third ellipse minimum intensity	880cds
Specification	
Colour	Red
Max/Min Intensity ratio	<3.0
Main ellipse average intensity	1500cds
Main ellipse minimum intensity	750cds
Second ellipse minimum intensity	150cds
Third ellipse minimum intensity	75cds
Typical Measured Values	
Colour	Red
Max/Min Intensity ratio	2.27
Main ellipse average intensity	2122cds
Main ellipse minimum intensity	1285cds
Second ellipse minimum intensity	76cds
Third ellipse minimum intensity	465cds

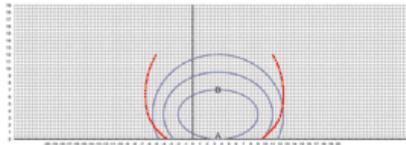
Intensity Chart - Elevated Runway Edge Luminaire - White



Intensity Chart - Elevated Runway Edge Luminaire - Yellow



Intensity Chart - Elevated Runway Edge Luminaire - Red



UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

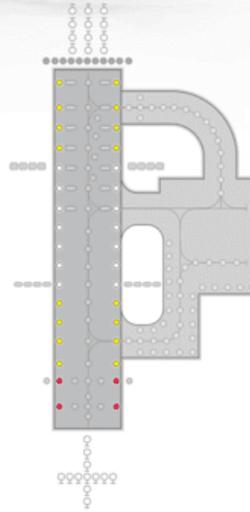
FX862C

FX862C LED Elevated Runway Edge High intensity lighting solutions



Features

- Low energy consumption compared with the tungsten halogen equivalent.
- Greatly reduced maintenance: Estimated lamp life of 75,000 hours at 6.6A.
- Operates on the full range of 2.8A to 6.6A on either 3 or 5 step IGBT, ferroresonant or thyristor CCRs that are designed in compliance with IEC or FAA requirements. Fully dimmable lights, replicating the response curve of traditional halogen lights.
- Omnidirectional beam for circular guidance is available for bidirectional runway Edge fixture
- No need to replace the CCRs, series transformers, or cables. Full compatibility with existing airfield lighting series circuits. Installation on same mounting device as most conventional lights, for a straightforward replacement.
- Monitoring function of the individual light source. In case of a defect, the LED light automatically disconnects from the secondary side of the isolation transformer, resulting in an open circuit condition.
- Low operating temperature, ensuring longer component life.
- FAA L-823 connector
- Sealed cable entry to main assembly interface preventing insect and water ingress.
- powder coating, aviation yellow colour
- Integral surge protection



Environmental Conditions

- ▶ Ambient Temperature -55 °C to +55°C (-67 °F to +131°F)
- ▶ Atmospheric Altitude up to 10,000 feet (3000m)
- ▶ Storage Temperature -55°C to +70°C (-67 °F to +158°F)
- ▶ Relative Humidity 0-100% (sealed unit)

Standards	
EMC protection	Immunity IEC 61000-4 Emission IEC 61000-2
Ingress protection class dust/liquids	IP67 (IEC69598-1)
Vibration resistance	IEC60068-2-6

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

FX862C

RWY EMPOTRADA

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación borde de pista empotrada (RWY).



FX850C
Runway Edge
High intensity
lighting solutions

Compliant to Latest
International Standards*

- ▶ ICAO Annex 14, Vol 1
- ▶ FAA AC 150/5345-46
- ▶ FAA Engineering Brief No.67
- ▶ TP312
- ▶ MOS139
- ▶ IEC 61827
- ▶ EASA
- ▶ Stannag 3316 (NATO)

Applications

CAT I/II/III all weather operation airfield ground lighting (agl) systems.

* As applicable to the application, compliance with other civil aviation and military regulations confirmed on request

† Electrical/Mechanical/Environmental characteristics only

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com | enquiries@atgairports.com | sales-usa@atgairports.com

L-850C(L)

FX850C LED Inset runway edge High intensity lighting solutions



Electrical Performance

Main Beam Aperture		Colour	Typical Power Consumption - Watts (VA) @ 6.6A				
Horiz(°)	Vert(°)		Per Beam Watts nominal	Fitting* Watts (VA)	PF	Tx Primary** Watts (VA)	PF
-2 to +9	0 to 7	WHT/WHT	39.7/39.7	119 (119.6)	0.99	154.8 (155.8)	0.99
-2 to +9	0 to 7	WHT/YEL	39.7/16.2	88.3 (88.7)	0.99	123.9 (125.4)	0.98
-2 to +9	0 to 7	WHT/RED	39.7/12.5	85.7 (86.0)	0.99	120.8 (122.7)	0.98
-2 to +9	0 to 7	YEL/RED	16.2/12.5	55.0 (55.1)	0.99	89.9 (92.1)	0.98

* as measured at the input leads of the fixture.

** as measured across the primary winding of an appropriately sized isolation transformer with a total fixture and transformer secondary length not exceeding - 1.85m (72").

*** electrical characteristics measured with 45 watt transformer, fitting can operate from transformers up to 210 watts.

Note: Isolating transformer shall be suitably sized to accommodate specific secondary and other applicable losses.

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

L-850C(L)

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

FX850C LED Inset runway edge High intensity lighting solutions



Photometry

Specification

Runway Edge ICAO Fig. A2-9 FAA L-850C

Colour	White
Max/Min Intensity ratio	<3.0
Main ellipse average intensity	1000cds
Main ellipse minimum intensity	500cds
Second ellipse minimum intensity	100cds
Third ellipse minimum intensity	50cds

Typical Measured Values

Colour	White
Max/Min Intensity ratio	2.43
Main ellipse average intensity	1016cds
Main ellipse maximum intensity	14349cds
Main ellipse minimum intensity	5910cds
Second ellipse minimum intensity	3432cds
Third ellipse minimum intensity	1793cds

Specification

Colour	Yellow
Max/Min Intensity ratio	<3.0
Main ellipse average intensity	400cds
Main ellipse minimum intensity	200cds
Second ellipse minimum intensity	40cds
Third ellipse minimum intensity	20cds

Typical Measured Values

Colour	Yellow
Max/Min Intensity ratio	2.57
Main ellipse average intensity	5160cds
Main ellipse maximum intensity	7068cds
Main ellipse minimum intensity	2741cds
Second ellipse minimum intensity	1378cds
Third ellipse minimum intensity	880cds

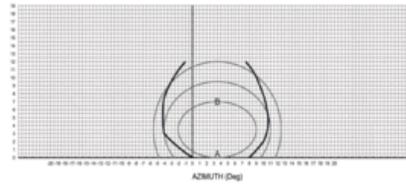
Specification

Colour	Red
Max/Min Intensity ratio	<3.0
Main ellipse average intensity	150cds
Main ellipse minimum intensity	75cds
Second ellipse minimum intensity	15cds
Third ellipse minimum intensity	7.5cds

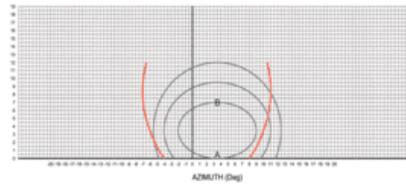
Typical Measured Values

Colour	Red
Max/Min Intensity ratio	2.27
Main ellipse average intensity	2122cds
Main ellipse maximum intensity	2978cds
Main ellipse minimum intensity	1285cds
Second ellipse minimum intensity	764cds
Third ellipse minimum intensity	465cds

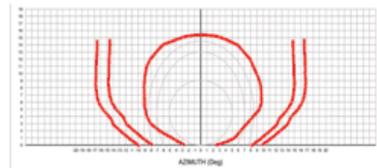
Intensity Chart - Runway Edge Luminaire - White



Intensity Chart - Runway Edge Luminaire - Yellow



Intensity Chart - Runway Edge Luminaire - Red



UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

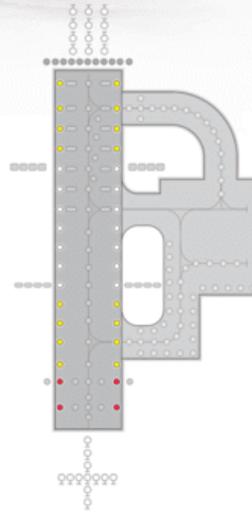
L-850C(L)

FX850C LED Inset runway edge High intensity lighting solutions



Features

- Low energy consumption compared with the tungsten halogen equivalent.
- Greatly reduced maintenance: calculated MTBF of 75,000 hours at 6.6A.
- Operates on the full range of 2.8A to 6.6A on either 3 or 5 step IGBT, ferroresonant or thyristor CCRs that are designed in compliance with IEC or FAA requirements.
- Fully dimmable lights, replicating the response curve of traditional halogen lights.
- Full compatibility with existing airfield lighting series circuits. Installation on same mounting device as most conventional lights, for a straightforward replacement.
- Monitoring function of the individual light arrays for open circuit, short circuit, and over temperature. The LED light automatically disconnects from the secondary side of the isolation transformer, resulting in an open circuit condition.
- Low operating temperature, ensuring longer component life.
- FAA style 3, ICAO style 4 fixture with a 6.0 mm profile above gradient
- L-823 connectors
- Integral surge protection



Environmental Conditions

- ▶ Ambient Temperature -55 °C to +55°C (-67 °F to +131°F)
- ▶ Storage Temperature -55°C to +70°C (-67 °F to +158°F)
- ▶ Atmospheric Altitude up to 10,000 feet (3000m)
- ▶ Relative Humidity 0-100% (sealed unit)

Standards	
EMC protection	Immunity IEC 61000-4 Emission IEC 61000-2
Ingress protection class dust/liquids	IP68 (IEC69598-1)
Vibration resistance	IEC60068-2-6

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

L-850C(L)

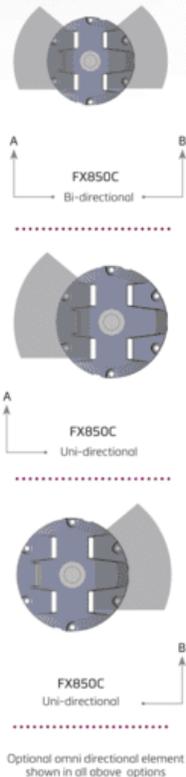
FX850C LED Inset runway edge High intensity lighting solutions



Ordering Codes: (FX) 850C12 0 0 0 0 0 5

Application L-850C (L) Runway Edge	8
Beam Type A Side 3 = Toe in right † 0 = Blank B Side 2 = Toe in left † 0 = Blank	12
Colour A Side W = White Y = Yellow R = Red N = Not applicable B Side W = White Y = Yellow R = Red N = Not applicable	0
Omni Directional Component 7 = omni directional* 0 = Blank	0
Specification Refer to front cover	0
Connections 1 = 1 x Bi-pin plug 2 = 2 x Bi-pin plug	0
	5

Beam Options



Additional optional features may be available upon request

* ICAO only

† This product has a 3.5° angle of toe and is suitable for runway width of 45Mts

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406
 L-850C(L)

www.atgairports.com
 enquiries@atgairports.com
 sales-usa@atgairports.com

5

RWY UMBRAL

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación para umbral final empotrada (RWY).

LTHE



LED → Airport Lighting

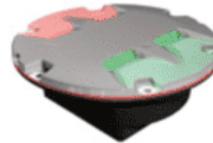
LED Inset Threshold - Runway End Light

Compliances:

- ICAO: Annex 14 - Volume I
- FAA: L-850D AC150/ 5345-46 (Current Edition) and "Engineering Brief No.67"
- IEC: TS 61827
- NATO: STANAG 3316

Manual:

- Instruction manual UT-MT-0567



Performances and benefits:

- 6mm protrusion: FAA Style 3 and IEC Style 4 to reduce damages to aircraft tires and snowplough blades.
- Thanks to the long life of the LEDs (60,000 hours at the top brightness step or far over 100,000 hours in normal operating conditions) the maintenance activities are extremely reduced and the safety of the airport operations is considerably increased.
- The LED emission directly ensures the correct colour. Absence of coloured filters ensures no energy losses and no colour shifts when viewed at various angles or under temperature/current variations.
- The compatibility with the existing typical AFL series circuits is complete. There is no need to replace CCRs, transformers and cables. The electronics inside the light makes the light output variable like a traditional halogen lamp, as indicated by the FAA "Engineering Brief No.67".
- The lights are provided with a surge protection device, as required by the FAA "Engineering Brief No.67".
- Immediate detection of an internal fault (less than 300 msec).
- The possibility of installation on existing bases gives the possibility of a progressive replacement of the existing lights.
- A new installation with LED lights means lower loads and therefore low-sized CCRs and transformers, thus allowing significant savings on installation and management.

Features:

- Aluminium treated drop-forged dome and cast aluminium lower cover.
- Unidirectional or bidirectional 12" dia.
- The prisms are mechanically clamped to the dome by means of a mounting plate; a customized prism gasket avoids the use of sealing. Replacement is quick and easy.
- Fixture energy consumption: typically 45 VA and 20 VA (per side), for green and red respectively. Arctic kit consumption: less than 40 VA per plug.
- No optical adjustment is required after the replacement of LEDs or prisms.
- An O-ring placed outside around the dome avoids dirt deposits between light unit and mounting assembly.
- The removal of the fixture is easy thanks to the two seats provided on the dome.

Luminous Sources:

- Six LEDs per each direction.
- Customized reflector to collect the LED luminous flux and maximize the light output.

How To Order:

LTHE 02 - I - GR - R - 5 - 1P - B - 0 - 00

Basic P/N:

Version:

Compliance:

I = ICAO
F = FAA L-850D

Colour(Side A)/(Side B):

G = Green
R = Red
X = Screened
M = Blank (unidirectional dome)

Toe-in (threshold side)*:

R = Left
L = Right
S = Straight

Mode:

5 = 2.8 - 6.6A Power Supply

Electrical System:

1P = One Plug
2P = Two Plugs

Mounting Assembly:

B = L-868 Base or Shallow Base 12"
O = No Mounting Assembly

Arctic kit:

0 = without arctic kit
1 = with arctic kit

Monitoring:

01 = with monitoring
02 = without monitoring

* Threshold Toe-in Selection

The beam aiming is not field adjustable.



Electronics:

- Strong-built, highly resistant to shock and vibration.
- Light output variable like a traditional halogen lamp, as indicated by the FAA "Engineering Brief No.67".
- Patent pending for current/voltage conversion circuit.

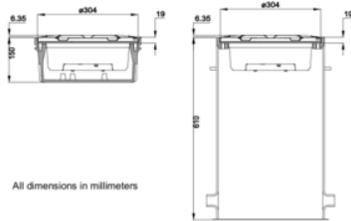
Power Supply:

- From 30/45W up to 300W series transformer.

Base:

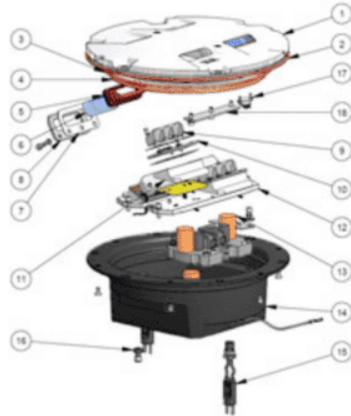
- The light unit can be directly mounted on a deep base, L-868 type, size B.

OC - 7



All dimensions in millimeters

LTHE - Typical installation



ICAO Annex 14 Photometry			
Runway end Fig.A2-8	Red	3170 cd	
FAA Photometry			
Threshold L-850D	Green	H 4420 cd	V. 4815 cd
Runway end L-850D	Red	H. 2910 cd	V. 3850 cd

Accessories:

- [P/N] Description
 315.1230 Base L-868, Class IA, Size B, 24" Deep*
 315.1420 Flange ring with pavement dam for L-868 base, Size B, with O-Ring and bolts
 332.4140 Lifting tool (2 pieces to work properly)

* Sectional bases may be required depending upon the paving technique

Shipping Weights and Volumes	
	Light Unit
Weight (Kg)	8.1
Volume (cu.m)	0.022

Renewal Parts for light unit:

[N°]	Description	[P/N]
1(*)	Aluminium treated drop-forged bidirectional dome, complete with prisms and gaskets without arctic kit option	152.6650
1(*)	Aluminium treated drop-forged unidirectional dome, complete with prisms and gaskets without arctic kit option	152.5355
2	O-Ring for dome	758.2016
3	O-Ring for lower cover	758.2150
4	O-Ring for lower cover	758.2140
5	Prism gasket	325.0445
6	Prism for threshold	318.1310
6	Prism for runway end	318.1330
7	Plate gasket	325.0450
8	Mounting plate	341.1250
9	Reflector with hardware	152.5600
10	Luminous Source with accessories	(*)
11	Luminous Source support with hardware	152.5605
12	Luminous Source mounting plate with hardware	(*)
13	Electronics	(*)
14	Lower cover with 1 entry, complete with plug and valve	152.5360
14	Lower cover with 2 entries, complete with plugs and valve	152.5365
15	FAA L-823 plug with accessories	152.6147
16	Valve for watertightness test	786.7045
17	Arctic kit thermostat	152.5500
18	Arctic kit heater	(*)

(*) Refer to the manual UT-MT-0567 for a complete list of the available spare parts.

LED⁺ Airport Lighting
 8567 Coral Way, Unit 121,
 Miami, FL 33155
 Phone: (305) 790-6157

email:sales@ledairportlighting.com

Manufactured by



OC - 7

TWY

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación calle de rodaje (TWY).



IR861T
Taxiway and Apron edge
High intensity
lighting solutions

Compliant to Latest
International Standards*

- ▶ ICAO Annex 14, Vol 1
- ▶ FAA AC 150/5345-46
- ▶ FAA Engineering Brief No.67
- ▶ IEC 61827
- ▶ EASA
- ▶ Stannag 3316 (NATO)

.....

Applications

CAT II/III all weather operation airfield ground lighting (agl) systems.

.....

* As applicable to the application, compliance with other civil aviation and military regulations confirmed on request

† Electrical/Mechanical/Environmental characteristics only

☎ UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

🌐 www.atgairports.com ✉ enquiries@atgairports.com ✉ sales-usa@atgairports.com

L-861T(L)

IR861T

LED Elevated Taxiway and Apron edge
High intensity lighting solutions



Electrical Performance

Main Beam Aperture		Colour	0.75	Typical Power Consumption - Watts (VA) @ 6.6A					
Horiz(°)	Vert(°)			Per Beam Watts nominal	Fitting*		Tx Primary**		
				Watts (VA)	PF	Watts (VA)	PF		
0-359	0-6	Blue	0.75	4.71(4.74)	0.993	12.87(13.01)	0.991	10W	
0-359	0-6	Blue	0.75	4.67(4.70)	0.993	13.76(14.09)	0.977	25W	
0-359	0-6	Blue	0.75	4.64(4.66)	0.994	16.23(17.16)	0.948	45W	

Fixture Operational Current Range: 2.8 to 6.7A RMS

* as measured at the input leads of the fixture.

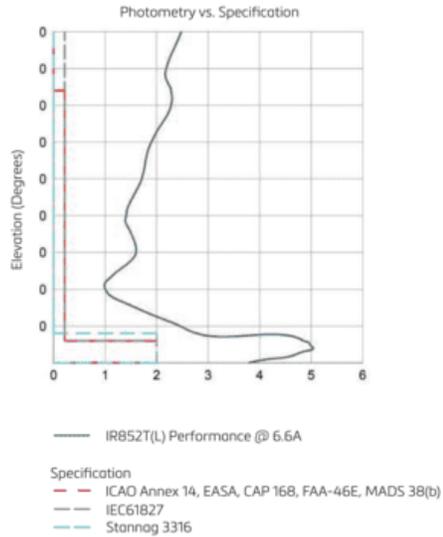
** as measured across the primary winding of an appropriately sized isolation transformer with a total fixture and transformer secondary length not exceeding - 1.85m (72").

*** electrical characteristics measured with 45 watt transformer, fitting can operate from transformers up to 210 watts.

Note: Isolating transformer shall be suitably sized to accommodate specific secondary and other applicable losses.

Photometry

Specification	
Taxiway & Apron Edge omni-directional ICAO - S.318.7/8 FAA L-852T	
Colour	Blue
Main rect. minimum intensity 0°-6°	2 cd
Second rect. minimum intensity 6°-90°	0.2 cd
Typical Measured Values	
Colour	Blue
Main rect. minimum intensity 0°-6°	3.0 cd
Main rect. minimum intensity 0°-8° (Stannag)	2.9 cd
Second rect. minimum intensity 6°-90°	1.0 cd



UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

L-861T(L)

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

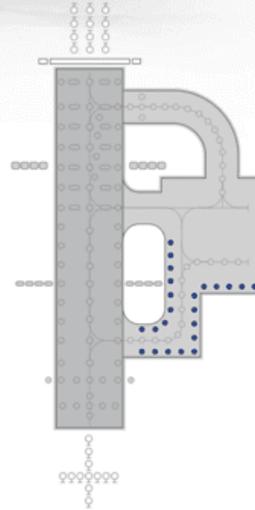
IR861T

LED Elevated Taxiway and Apron edge
High intensity lighting solutions



Features

- Low energy consumption compared with the tungsten halogen equivalent.
- Greatly reduced maintenance: calculated MTBF of 75,000 hours at 6.6A.
- Operates on the full range of 2.8A to 6.6A on either 3 or 5 step IGBT, ferroresonant or thyristor CCRs that are designed in compliance with IEC or FAA requirements.
- Fully dimmable lights, replicating the response curve of traditional halogen lights.
- Full compatibility with existing airfield lighting series circuits. Installation on same mounting device as most conventional lights, for a straightforward replacement.
- Low operating temperature, ensuring longer component life.
- L-823 connectors
- Integral surge protection



Environmental Conditions

- Ambient Temperature -55 °C to +55°C (-67 °F to +131°F)
- Storage Temperature -55°C to +70°C (-67 °F to +158°F)
- Atmospheric Altitude up to 10,000 feet (3000m)
- Relative Humidity 0-100% (sealed unit)

Standards	
EMC protection	Immunity IEC 61000-4 Emission IEC 61000-2
Ingress protection class dust/liquids	IP67 (IEC69598-1)
Vibration resistance	IEC60068-2-6

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

L-861T(L)

IR861T

LED Elevated Taxiway and Apron edge
High intensity lighting solutions



Ordering Codes: IR 861

Application
L-861T(L) Taxiway & Apron Edge
omni-directional

Beam Type
7 = Omni directional (360°)

Colour
B = Blue

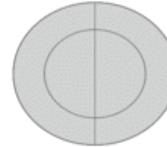
Optional Shield
1 = 180° Shield
0 = No Shield

Specification
1 = FAA
2 = ICAO
3 = MOS

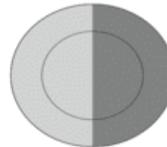
Mounting
0 = No Stem or Frangible Coupling
1 = Frangible M32 (1 1/4")
Threaded Mounting Stem
H * = 356mm (14")
2 = 32mm (1 1/4") Solid Stem
with 50.8mm (2") Frangible
Coupling, 11.5 TPI
H * = 356mm (14")**

**** Option**
00 = No option
XX = Extended 32mm (1 1/4")
Solid Stem Available in
50.8mm (2") increments from
406.4mm (16") to a maximum
762mm (30") for compliance
with FAA for applications in
snow areas.
Enter required overall fitting height
Eg. Replace XX with 24 for 24"
(609.6mm) *

Beam Options



IR861(L)
Omni Directional 360°



IR861T(L)
Omni Directional with 180° Shield

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

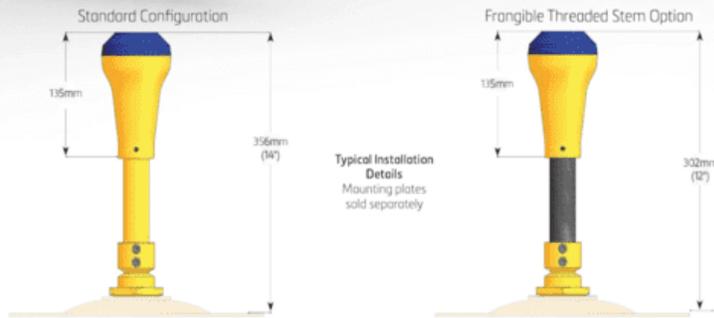
www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

L-861T(L)

IR861T

LED Elevated Taxiway and Apron edge
High intensity lighting solutions

Dimensions



FITTING HEIGHT
356mm (14") standard fitting height. Extendable from 356mm (14") in increments of 50.8mm (2") to a maximum 762mm (30") for FAA applications in snow areas. Dimensions based on L867 Base Mounting Plate.

Note: Threaded Stem available for direct mounting into Spun Ground Mounting Plate or Mounting Spike. Only available in 302mm (12") fitting height.

Packaging

► Net weight 0.86kg ► Gross weight 1.0kg (boxed) ► Box 360mm (L) x 120mm (W) x 120mm (H)

weights and dimensions are nominal



Head Office:
atg airports ltd
Lowton Business Park | Newton Road
Lowton St. Mary's | Warrington
WA3 2AP | United Kingdom

atg airports reserve the right to change technical data and details at any point in time. Errors may have occurred



UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: +1 (239) 985-9406

L-861T(L)

www.atgairports.com enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

Rev 4 - 2020

5

R.E.I.L.

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación identificación de pista (R.E.I.L.).



Compliance with Standards

- FAA:** L-849(L) Style A, C and E AC 150/5345-51 (Current Edition) and the FAA Engineering Brief No. 67. ETL Certified.
- ICAO:** Annex 14, Vol. 1, para. 5.3.8
- T/C:** Transport Canada TP 312, 5th Edition, Sec. 5.3.10

Uses

LED REIL provides a visual indication to pilots of the runway threshold during an approach.

Style A

- Unidirectional, high intensity, one brightness step

Style C

- Unidirectional, low intensity, one brightness step

Style E

- Unidirectional, three brightness steps

Features

- Long LED life
- Style A/C/E REIL all built with the same components. Configuration on the control board to change style.
- Improved safety – Very low voltage internal to LED REIL vs. 2000 VDC in traditional xenon flash lamp units
- Elimination of expensive xenon flash lamp replacement
- Elimination of ozone, generated by xenon flash lamps, an oxidant that degrades internal component life
- Provides significant energy savings of up to 90% compared to xenon flash lamp REILs
- Includes external alarm indication in case of system fault. System fault indication for:
 - Loss of input power
 - Minimum 25% LEDs failed
 - Number of misfires exceeded (switch selectable from 0-7)
- The current-powered LED REIL (powered by a constant current regulator or CCR) does not need a separate isolation transformer for current sensing applications
- Due to robust primary to secondary flasher unit trigger signal design, a shielded interconnection wire is not required. Use 16 AWG 600 V wire (supplied by contractor).

- Easier to install due to reduced size and weight
- Easier to service due to much simpler design
- NEMA 4 rated enclosure
- PAR-56 flash head may be installed separately on a 2-inch EMT with a maximum cable length of 100 feet from the control cabinet

Operating Conditions

- Temperature:** -40 °F to +131 °F (-40 °C to +55 °C)
- Humidity:** 0 to 100% (including conditions where condensation takes place in the form of water or frost)
- Altitude:** 0 to 10,000 ft (3,000 m)
- Wind:** Up to 150 knots
- Exposure:** Withstands windblown rain, sand, dust particles, and a salt-laden atmosphere

Optional Features

- On/Off Maintenance Switch Kit 94A0609 – Local switch for removing power to the LED REIL for field maintenance. Installed on the LED REIL enclosure. Available for current-driven only.
- Flange Mount 62B0107/3 – A one-leg enclosure is normally installed onto a threaded coupling, which is attached to the end of a conduit elbow. An optional 6.25-inch (15.88 cm) O.D. flange can be bolted over any conduit elbow flush with the top of the pad.
- Baffle Kit 94A0198-LED – If the standard +15° horizontal beam axis is operationally objectionable on the LED REIL, an optional baffle kit is available. If used, the LED REIL must be set at +3° vertical and +10° horizontal.

Photometric Data

Style	High Intensity (cd)	Medium Intensity (cd)	Low Intensity (cd)
Style A	15,000	N/A	N/A
Style C	N/A	N/A	700
Style E	15,000	1,500	300

Note: Candelas above are within a beam pattern of 10° vertical by 30° horizontal for each flasher. Tolerance of 50% in effective intensity.



APPROACH LIGHTING

LED REIL

Ordering Code	REIL / X X X X X 0 X 2
Style A = High-intensity, one brightness step C = Low-intensity, one brightness step E = Three brightness steps	
Power 1 = Current-powered ¹ 2 = Voltage-powered	
Current Sensing Option² 0 = Without current sensing 1 = With current sensing	
Flash Head Mounting 0 = Mounted with enclosure (as shown above) 1 = Separate remote mounting on a 2-inch EMT ³	
Enclosure Mounting 1 = One-leg mounting 2 = Two-leg mounting	
Enclosure Type 1 = Steel (Painted Aviation Orange) 2 = Stainless Steel (Not ETL Certified)	

- Notes**
- ¹ A current-powered REIL (powered by a CCR) always has current sensing and cannot be ordered without the current sensing option.
 - ² The current sensing option provides ON/OFF control (Style A/C) or 3-step intensity control (Style E) of the REIL system depending on the current level in the series lighting circuit. The current-powered LED REIL doesn't require a separate isolation transformer. The input current from the isolation transformer that powers the primary cabinet is also used for current sensing control. The current sensing input of a voltage-powered LED REIL can be connected to 6.6 A or 20 A series with a 30/45 W isolation transformer 6.6/6.6 A (35C0077) or 20/6.6 A (35C0078). Use 16 AWG 600 V shielded cable supplied by contractor.
 - ³ EMT and flash head cabling to be supplied by contractor. Use 16 AWG 600 V shielded cable. Cable length may be up to 100 ft (30.5 m) maximum.

Packaging

Styles A/C/E	
Weight	42 lb (19.05 kg) each assembly
Enclosure Dimensions (H x W x D)	16 x 16 x 9 in (40.6 x 40.6 x 22.9 cm)
Packaging Dimensions (H x W x D)	24 x 41 x 29 in (60.96 x 104.14 x 73.66 cm)

Note: Packaging is for information purposes only and is based on, one pallet containing one primary and one secondary cabinet in a box

Equipment Data

Control	Remote, local, or automatic (when current sensing used)
Flash Rate	120 flashes per minute. Both optical assemblies flash simultaneously with less than a 10-millisecond separation.
Light Beam	Adjustable vertically from 0° to 15° and horizontally 15° each side of the zero reference point. The horizontal scale is in 1° increments and the vertical scale is in 0.5° increments. Nominal setting is +10° vertical and +15° horizontal.
Light Source Locking	A positive locking device prevents accidental movement of LED light assembly after aiming
Mounting	Each LED REIL cabinet with frangible coupling (supplied) can be mounted on a concrete pad with a 2-inch NPT pipe or with an optional floor flange
Enclosure	The cabinets can be padlocked and include an interlock switch to disconnect input power when the cabinet door is open

Power Supply

The LED REIL system operates from a 240 VAC (2-wire) or 120/240 VAC (3-wire), ±10%, 50/60 Hz power supply. The system can also operate from a series lighting circuit using a 6.6/6.6 A or 20/6.6 A isolation transformer at each unit.

Power Requirements			
Style	Each Unit	Transformer Size	Total
Voltage-powered LED REIL			
A/E	36 VA Average, 119 VA Peak	NA	72 VA Average, 238 VA Peak
C	19 VA Average, 35 VA Peak	NA	38 VA Average, 70 VA Peak
Current-powered LED REIL¹			
A/E	73 VA Average, 161 VA Peak	100 W	146 VA Average, 322 VA Peak ²
C	48 VA Average, 53 VA Peak	30/45 W	96 VA Average, 106 VA Peak ²

- Notes**
- ¹ As powered by ferroresonant CCR
 - ² This is total CCR load and includes isolation transformer losses

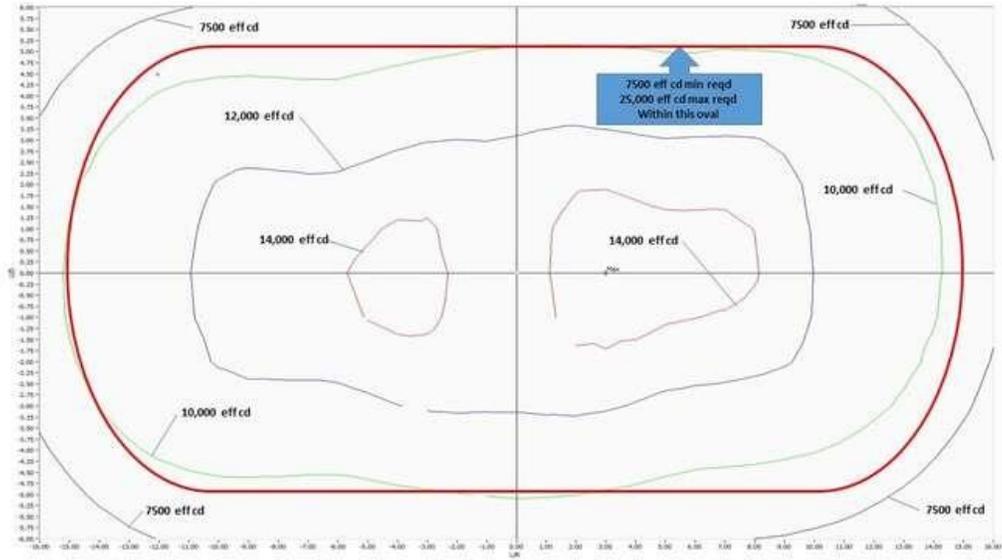
www.adbsafegate.com

Product specifications may be subject to change, and specifications listed here are not binding. Confirm current specifications at time of order.

DS-3096_v1.1 - Manual No. DM00006



LED REIL styles A and E photometric curve



SEÑALIZACIÓN VERTICAL

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación señalización vertical.

►AAS International

1. Introduction

The All About Signs International FLAT-Light series 3 is specially designed for runways and taxiways as information, direction and position indicator in accordance with the EASA, ICAO and FAA directives. This product is made in The Netherlands by official partner VDL Industrial Modules BV (www.vdlgroup.com). The signs can be powered by constant current regulator, mains power system or renewable energy source like solar energy.



2. Appliance

- Runway Sign
- Taxiway Guidance Sign
- Stand Information Sign

3. Compliance with current directives

- EASA CS-ADR-DSN
- ICAO Aerodrome Design and Operations, Annex 14, Volume 1, Appendix 1-3
- ICAO Aerodrome Design and Operations, Annex 14, Volume 1, Appendix 4
- ICAO Aerodrome Design Manual, Part 6, Frangibility
- FAA AC 150/5345-44
- NATO – Stanag 3316 (Runway Distance Markers)

4. Characteristics

- Power supply: 2.2 – 6.6A multiple step AGL circuit, mains power system or renewable source
- Operating temperature -40° / +55°C (Class 1)
- Lightweight aluminum casing
- 6mm Polycarbonate front panel against debris and chunks of ice
- Galvanized steel poles and footplates with frangible coupling
- Stainless Steel safety cable
- IP65 protection against moist and dust
- No maintenance needed, except for cleaning the outside

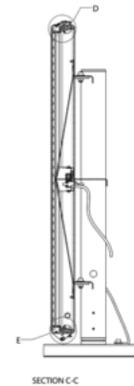
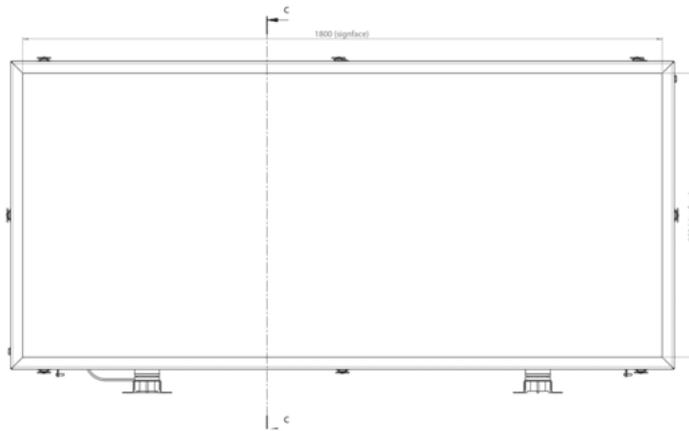
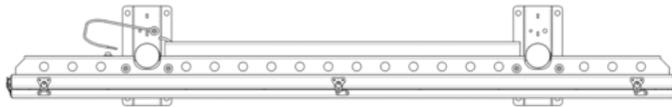
www.aasinternational.nl

5. Sign specifications

Runway Signs and Taxiway Guidance Signs

type #	legend height (mm)	face height (mm)	face length (mm)	sign height (mm)	sign length (mm)	power consumption (W)		# legs mode 2 (322 kph)	# legs mode 3 (483 kph)
						black legend yellow background	white legend red background		
FL09060	300	600	900	668	968	12	23	2	2
FL12060	300	600	1200	668	1268	16	30	2	2
FL15060	300	600	1500	668	1568	19	37	2	2
FL18060	300	600	1800	668	1868	23	44	2	2
FL21060	300	600	2100	668	2168	28	51	3	3
FL24060	300	600	2400	668	2468	30	59	3	3
FL27060	300	600	2700	668	2768	35	68	3	3
FL30060	300	600	2932	668	3000	40	75	3	3

type #	legend height (mm)	face height (mm)	face length (mm)	sign height (mm)	sign length (mm)	power consumption (W)		# legs mode 2 (322 kph)	# legs mode 3 (483 kph)
						black legend yellow background	white legend red background		
FL09080	400	800	900	868	968	16	30	2	2
FL12080	400	800	1200	868	1268	21	40	2	2
FL15080	400	800	1500	868	1568	26	51	2	2
FL18080	400	800	1800	868	1868	33	61	2	2
FL21080	400	800	2100	868	2168	37	70	3	3
FL24080	400	800	2400	868	2468	42	82	3	3
FL27080	400	800	2700	868	2768	47	91	3	3
FL30080	400	800	2932	868	3000	54	101	3	3



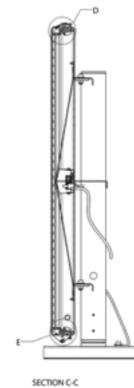
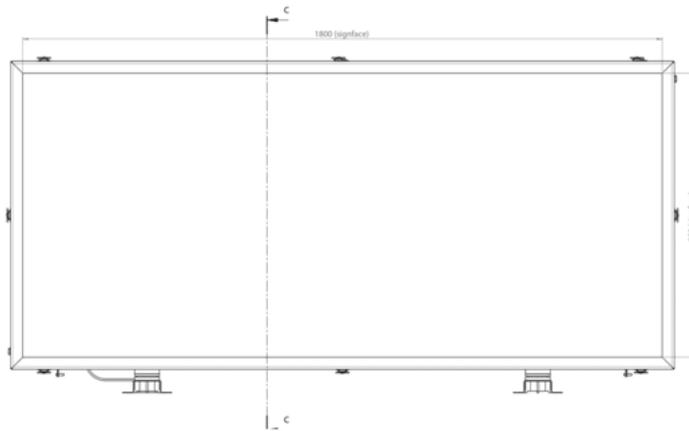
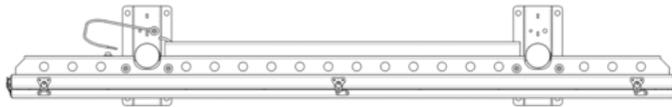
* Number of legs depends on length of the sign and mode (2 or 3).

5. Sign specifications

Runway Signs and Taxiway Guidance Signs

type #	legend height (mm)	face height (mm)	face length (mm)	sign height (mm)	sign length (mm)	power consumption (W)		# legs mode 2 (322 kph)	# legs mode 3 (483 kph)
						black legend yellow background	white legend red background		
FL09060	300	600	900	668	968	12	23	2	2
FL12060	300	600	1200	668	1268	16	30	2	2
FL15060	300	600	1500	668	1568	19	37	2	2
FL18060	300	600	1800	668	1868	23	44	2	2
FL21060	300	600	2100	668	2168	28	51	3	3
FL24060	300	600	2400	668	2468	30	59	3	3
FL27060	300	600	2700	668	2768	35	68	3	3
FL30060	300	600	2932	668	3000	40	75	3	3

type #	legend height (mm)	face height (mm)	face length (mm)	sign height (mm)	sign length (mm)	power consumption (W)		# legs mode 2 (322 kph)	# legs mode 3 (483 kph)
						black legend yellow background	white legend red background		
FL09080	400	800	900	868	968	16	30	2	2
FL12080	400	800	1200	868	1268	21	40	2	2
FL15080	400	800	1500	868	1568	26	51	2	2
FL18080	400	800	1800	868	1868	33	61	2	2
FL21080	400	800	2100	868	2168	37	70	3	3
FL24080	400	800	2400	868	2468	42	82	3	3
FL27080	400	800	2700	868	2768	47	91	3	3
FL30080	400	800	2932	868	3000	54	101	3	3



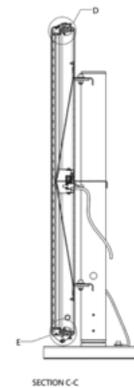
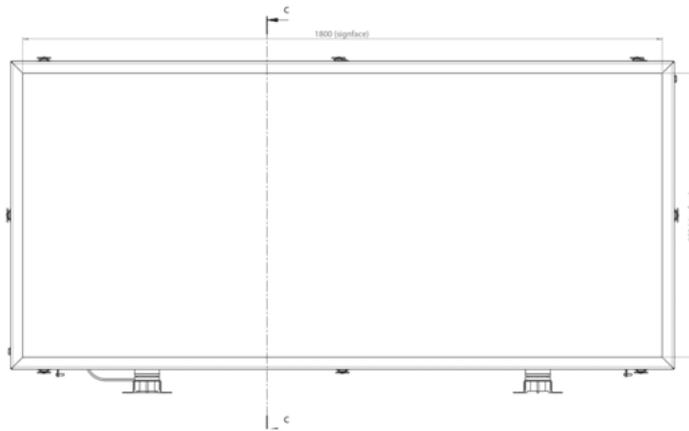
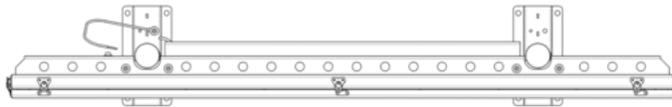
* Number of legs depends on length of the sign and mode (2 or 3).

5. Sign specifications

Runway Signs and Taxiway Guidance Signs

type #	legend height (mm)	face height (mm)	face length (mm)	sign height (mm)	sign length (mm)	power consumption (W)		# legs mode 2 (322 kph)	# legs mode 3 (483 kph)
						black legend yellow background	white legend red background		
FL09060	300	600	900	668	968	12	23	2	2
FL12060	300	600	1200	668	1268	16	30	2	2
FL15060	300	600	1500	668	1568	19	37	2	2
FL18060	300	600	1800	668	1868	23	44	2	2
FL21060	300	600	2100	668	2168	28	51	3	3
FL24060	300	600	2400	668	2468	30	59	3	3
FL27060	300	600	2700	668	2768	35	68	3	3
FL30060	300	600	2932	668	3000	40	75	3	3

type #	legend height (mm)	face height (mm)	face length (mm)	sign height (mm)	sign length (mm)	power consumption (W)		# legs mode 2 (322 kph)	# legs mode 3 (483 kph)
						black legend yellow background	white legend red background		
FL09080	400	800	900	868	968	16	30	2	2
FL12080	400	800	1200	868	1268	21	40	2	2
FL15080	400	800	1500	868	1568	26	51	2	2
FL18080	400	800	1800	868	1868	33	61	2	2
FL21080	400	800	2100	868	2168	37	70	3	3
FL24080	400	800	2400	868	2468	42	82	3	3
FL27080	400	800	2700	868	2768	47	91	3	3
FL30080	400	800	2932	868	3000	54	101	3	3



* Number of legs depends on length of the sign and mode (2 or 3).

No Entry Signs

<i>type #</i>	<i>legend height (mm)</i>	<i>face height (mm)</i>	<i>face length (mm)</i>	<i>sign height (mm)</i>	<i>sign length (mm)</i>	<i>power consumption (W)</i>	<i># legs mode 2 (322 kph)</i>	<i># legs mode 3 (483 kph)</i>
FL09080	400	800	900	868	968	30	2	2



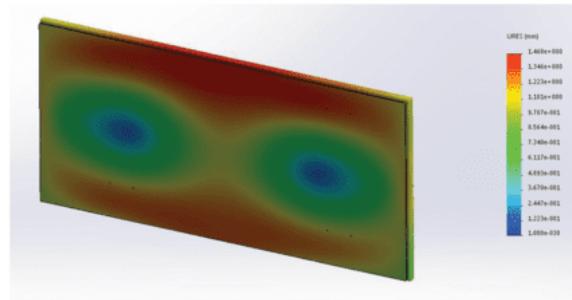
Footplate and frangible coupling.

6. Strength and frangibility

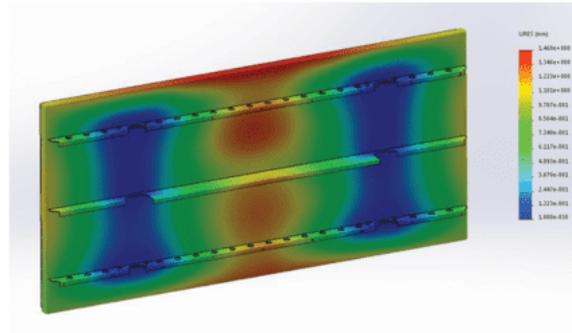
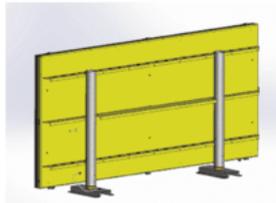
Because of new and more powerful air crafts the strength and frangibility of the sign has become more important than ever. It is a challenge to design a sign-concept that is strong enough to withstand a wind load of 483 kph and is frangible when an object collides with the sign. Two characteristics that are contradictory and demand a rigorous approach.

The design has been subject to thorough FEM analysis for the highest load: mode 3, wind load 483kph. Tested and certified according EASA/ ICAO regulations. And moreover: the sign has successfully proved its strength at several leading airports.

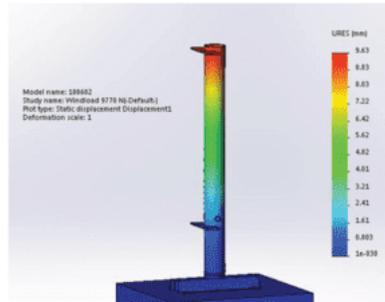
Visualisation of wind load on the front panel.



Visualisation of wind load on the back side.

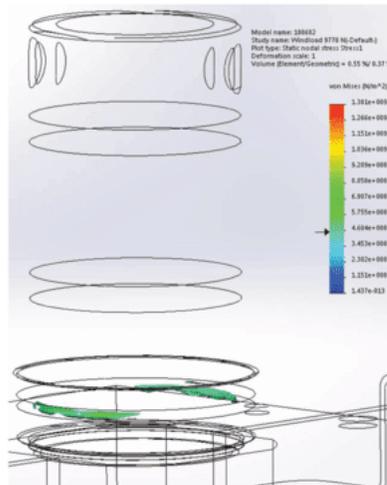


Displacement of the strut at full load.



Analysis of the frangible coupling.

The value of the discolouration is set to show all stress above the yield strength of the coupling

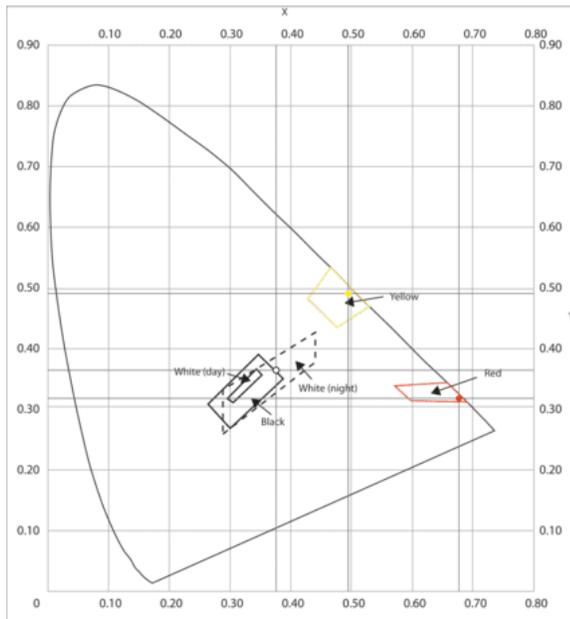


Detail of the

7. Photometry and color

photo metric measurements	average value (cd/m ²)	required ICAO (cd/m ²)
yellow	252	>150
red	37.6	>30
white	332	>300

Chromatic coordinates	x	y
yellow	0.510	0.485
red	0.688	0.311
white	0.363	0.345



MARCADORES DE DISTANCIA

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación marcadores de distancia.

▶ **AAS International**

Runway and Taxiway Guidance Signs

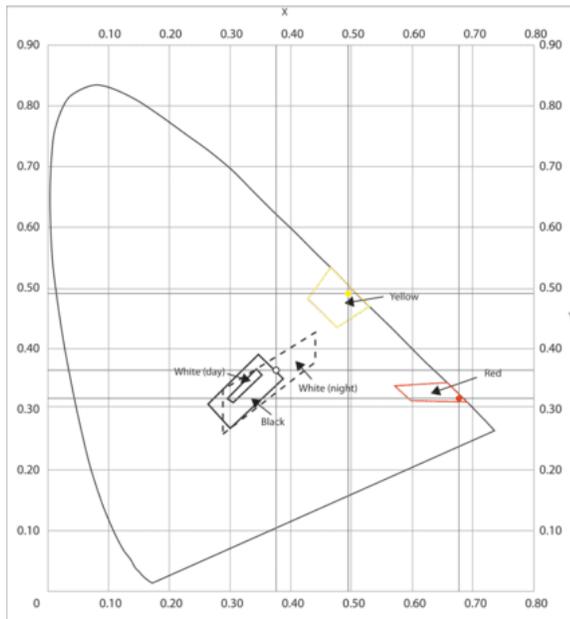
Technical Specifications



7. Photometry and color

photo metric measurements	average value (cd/m ²)	required ICAO (cd/m ²)
yellow	252	>150
red	37.6	>30
white	332	>300

Chromatic coordinates	x	y
yellow	0.510	0.485
red	0.688	0.311
white	0.363	0.345



PAPI

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación trayectoria de aproximación de precisión (P.A.P.I.).

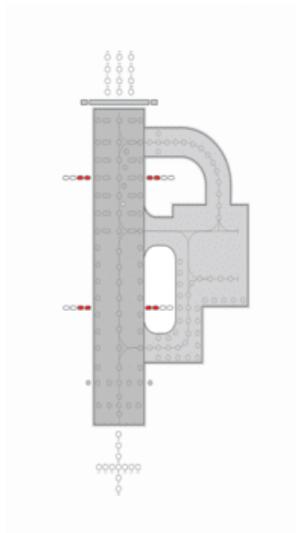


LED technology



IR880L

LED Precision Approach Path Indicator lighting solution



Applications

Precision Approach Path Indicator (PAPI)

Compliant with Latest International Standards*

- ▶ CASA MOS Part 139
- ▶ ICAO Annex 14, Vol 1
- ▶ FAA AC 150/5345-28
- ▶ FAA Engineering Brief No. 67
- ▶ IEC 61827
- ▶ EASA
- ▶ Stannag 3316 (NATO)

* As applicable to the application, compliance with other civil aviation and military regulations confirmed on request

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: 001 (239) 985-9406

www.atgairports.com Enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

IR880L

1

Rev 2 - 2020

IR880L LED Precision Approach Path Indicator solution



Electrical Performance

Main Beam Aperture		Colour	Typical Power Consumption - Watts (VA) @ 6.6A				
Horiz(°)	Vert(°)		Per Beam Watts	Fitting* Watts (VA)	PF	Tx Primary** Watts (VA)	PF
-10° to +10°	-4° to +4°	White/Red	54W	216 (216)	0.99	220 (225)	0.98

Fixture Operational Current Range: 2.6 to 6.7A RMS

* as measured at the input leads of the fixture.

** as measured across the primary winding of an appropriately sized isolation transformer with a total fixture and transformer secondary length not exceeding -1.85m (72"). CCR shall be suitably sized for the indicated transformer VA for the relevant isolating transformer utilised.

Notes: Isolating transformer shall be suitably sized to accommodate specific secondary and other applicable losses.

Environmental Conditions

- ▶ Ambient Temperature -55°C to +55°C (-67°F to +131°F)
- ▶ Storage Temperature -55°C to +80°C (-67°F to +176°F)
- ▶ Ingress Protection > IP55

Photometry

Specification

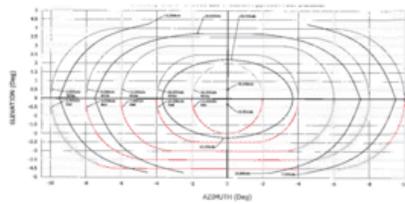
Precision Approach Path Indicator Fig A2-23

Colour	Red
Main lower circle minimum intensity	15,000 cds
Colour	White
Main upper circle intensity range	30,000 to 97,000 cds

Typical Measured Values

Colour	Red
Main lower circle minimum intensity	15,649 cds
Colour	White
Main upper circle intensity range	34,507 cds

Intensity Chart - LED Precision Approach Path Indicator, Red/White



UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: 001 (239) 985-9406

www.atgairports.com Enquiries@atgairports.com sales-usa@atgairports.com

IR880L

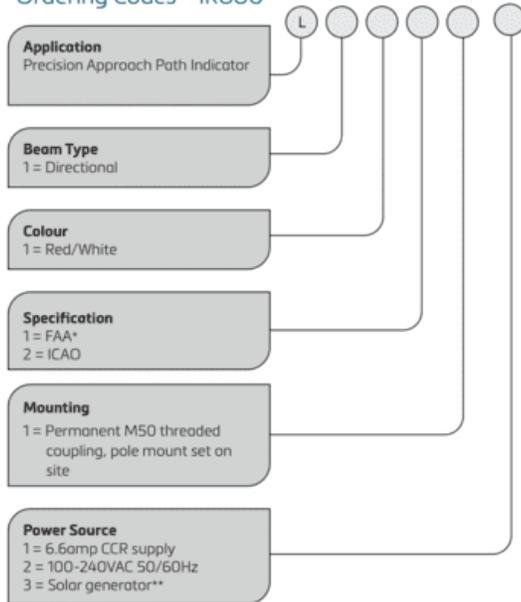
2

Rev 7 - 2020

IR880L LED Precision Approach Path Indicator solution



Ordering Codes IR880



* FAA specification includes tilt switch as standard

**For solar and portable options additional information and options are available

UK: +44 (0) 1942 68 5555 | USA: 001 (239) 985-9406

www.atgairports.com

Enquiries@atgairports.com

sales-usa@atgairports.com

IR880L

3

Rev 2 - 2018

INDICADOR DE VIENTO

Se anexa el catálogo de la unidad de iluminación indicadores de viento.





Airport Lighting Company
An ISO 9001:2015 Certified Company

L-806 Wind Cone



Compliances
Certified to FAA L-806 AC 150/5345-27 (Current Edition) ETL Certified



Application
These Hali-Brite wind cones provide visual indication of wind direction and velocity at a location on an airfield. They are used on smaller airfields, heliports and as supplemental wind indicators near runway touchdown areas on large airfields.

Key Features

<ul style="list-style-type: none"> • Available externally lighted, internally lighted, or unlighted • LED or halogen lamps • The LED models feature: <ul style="list-style-type: none"> - 50,000 to 100,000 hour lamp life, virtually maintenance free - Multiple lamp circuits, for improved reliability - 80-90% less power consumption than halogen lamps - A long-life LED obstruction light • Integral power adapter on externally-lighted, series-circuit LED models • Incandescent L-810 obstruction light included on halogen lighted models 	<ul style="list-style-type: none"> • Size 1 (18" diameter x 8' long) wind sock • 1.9" diameter steel pole, with frangible coupling at base • One piece welded aluminum basket with pre-installed bearings • Raincaps protect the bearings from weather • May be mounted directly to an L-867 light base, 2 inch NPT base plate (sold separately) • The nylon sock is treated for rot, mildew, and water repellency • Powder coat painted international orange
--	--

Airport Lighting Company | 108 Fairgrounds Drive | Manlius, NY, USA 13104 | (315) 682-6460 | airportlightingcompany.com 4/21

Specifications

Selection Chart

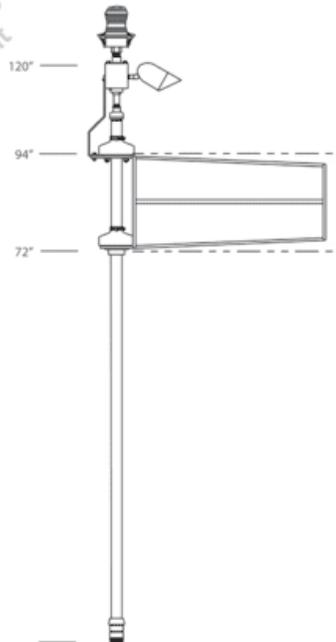
Catalog Number	See Notes	FAA Size	FAA Style	Power Source	Lamp Type	Fixture Watts	Fixture VA	Weight (lbs)	Replacement Lamp
L-806-S1-EX-120-ON-5		1	I-A External	108-132 VAC	LED	14	15	58	9200-0032
L-806-S1-EX-66A-ON-5	3	1	I-A External	2.8-6.6 AMP	LED	26	28	57	9200-0034
L-806-S1-EX-230-ON-5	2	1	I-A External	207-253 VAC	LED	14	15	58	9200-0044
L-806-S1-IN-120-ON-5		1	I-B Internal	108-132 VAC	LED	19	32	59	9200-0038
L-806-S1-IN-120-ON-N	2	1	I-B Internal	108-132 VAC	Halogen	316	316	57	3400-0100Regent
L-806-S1-IN-66A-ON-5	3	1	I-B Internal	2.8-6.6 AMP	LED	37	41	57	9200-0039
L-806-S1-IN-12-ON-5	2	1	I-B Internal	11.5-13 VDC	LED	6	6	57	9200-0041
L-806-S1-EX-12-ON-5		1	I-A External	11.5-13 VDC	LED	6	6	57	9200-0033
L-806-S1-UN-NON-ON-N		1	II Unlighted	None	None	0	0	45	None

Notes:

1. Power consumption specifications include the L-810 obstruction light
2. This FAA Style can not be ETL certified
3. Requires 100 watt L80-4 transformer, sold separately. Add 17 VA for transformer loss.

Spare Components

Part Number	Description
7400-0000-1	Wind Sock, 18" x 8', orange
1800-0025	Frangible Coupling
3400-116TS120	Lamp, 120V Incandescent Obstruction Light



L-807 Wind Cone



Compliances

Certified to FAA: L-807 AC 150/5345-27 (Current Edition) ETL Certified and ICAO Annex 14, Vol. 1, para. 5.1.1 (Size 2 only)



Application

This Hali-Brite primary wind cone provides visual indication of wind direction and velocity at a location on an airfield. FAA Size 2 wind cones are used at the central location on the airfield. FAA Size 1 wind cones are used on smaller airfields and heliports.

Key Features

- Available externally lighted, internally lighted, or unlighted
- LED or halogen lamps
- All LED models feature:
 - 50,000 to 100,000 hour lamp life, virtually maintenance free
 - Multiple lamp circuits, for improved reliability
 - 80-90% less power consumption than halogen lamps
 - A long-life LED obstruction light
- Integral power-adaptor on externally-lighted, series-circuit LED models
- An incandescent L-810 obstruction light is included on halogen lighted models
- Size 1 (18" x 8' long) or Size 2 (36"x12' long) wind socks
- The pole is center-hinged, with 4" diameter steel on the bottom, and 3" diameter steel on the top
- A center-mounted braked winch allows 1-person maintenance
- The four anchor bolts are a one-piece welded assembly, ready to drop in the ground
- The aluminum basket is welded, one piece, with pre-installed bearings
- Raincaps protect the bearings from weather
- The nylon sock is treated for rot, mildew and water repellency
- Powder coat painted international orange

Specifications

Selection Chart

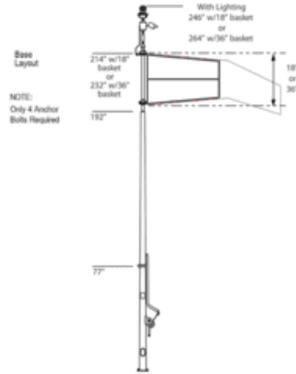
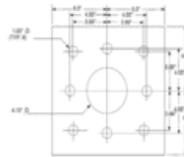
Catalog Number	See Notes	FAA Size	FAA Style	Power Source	Lamp Type	Fixture Watts	Fixture VA	Weight (lbs)	Replacement Lamp
L-807-S1-UN-NON-ON-N		1	II Unlighted	None	None	0	0	187	None
L-807-S1-EX-120-ON-5		1	I-A External	108-132 VAC	LED	14	15	198	9200-0032
L-807-S1-EX-230-ON-5	2	1	I-A External	207-253 VAC	LED	14	15	198	9200-0044
L-807-S1-EX-66A-ON-5	4,5	1	I-A External	2.8-6.6 AMP	LED	26	28	197	9200-0034
L-807-S1-IN-120-ON-5		1	I-B Internal	108-132 VAC	LED	19	32	200	9200-0038
L-807-S1-IN-120-ON-N	2	1	I-B Internal	108-132 VAC	Halogen	316	316	198	9400-0100Regent
L-807-S1-EX-12-ON-5		1	I-A External	11.5-13 VDC	LED	6	6	197	9200-0033
L-807-S1-IN-12-ON-5	2	1	I-B Internal	11.5-13 VDC	LED	6	6	197	9200-0041
L-807-S1-IN-66A-ON-5	4,5	1	I-B Internal	2.8-6.6 AMP	LED	37	41	198	9200-0039
L-807-S2-UN-NON-ON-N		2	II Unlighted	None	None	0	0	199	None
L-807-S2-IN-120-ON-5		2	I-B Internal	108-132 VAC	LED	32	60	212	9200-0040
L-807-S2-EX-120-ON-5		2	I-A External	108-132 VAC	LED	21	22	210	9200-0035
L-807-S2-EX-230-ON-5	2	2	I-A External	207-253 VAC	LED	21	22	210	9200-0043
L-807-S2-EX-66A-ON-5	4,5	2	I-A External	2.8-6.6 AMP	LED	26	28	209	9200-0037
L-807-S2-IN-120-ON-N		2	I-B Internal	108-132 VAC	Halogen	516	516	210	3400-0100Regent
L-807-S2-EX-12-ON-5		2	I-A External	11.5-13 VDC	LED	10	10	210	9200-0036
L-807-S2-IN-12-ON-5	2	2	I-B Internal	11.5-13 VDC	LED	10	10	210	9200-0042
L-807-S2-IN-66A-ON-5	3,5	2	I-B Internal	2.8-6.6 AMP	LED	57	53	210	9200-0031
L-807-S2-EX-12-ON-5		2	I-A External	11.5-13 VDC	LED	10	10	210	9200-0036
L-807-S2-IN-12-ON-5	2	2	I-B Internal	11.5-13 VDC	LED	10	10	210	9200-0042

Notes:

1. Power consumption specifications include the L-810 obstruction light
2. This FAA Style can not be ETL certified
3. Requires 200 watt L-830 transformer, sold separately
4. Requires 100 watt L-830 transformer, sold separately
5. L-830 VA not included, is 16 VA for all models

Spare Components

Part Number	Description
7400-0000-1	Size 1 Windsock, 18" x 8', orange
7400-0002	Size 2 Windsock, 36" x 12', orange



UNIDAD R.E.I.L.

Se anexa la carta de discontinuidad del R.E.I.L.



Reference: PDN.APPCH.849-ADB.001

April 15, 2016

Product Discontinuation Notice

Dear Valued Customer,

This notice is to inform you that ADB Safegate will discontinue the manufacturing of the **FAA L-849 Runway End Identification Lights (REILs)** listed in the "Product Transition Table" below.

In accordance with ADB Safegate product discontinuation policy, we are hereby giving notice of these changes so that our customers can adjust their product part number purchasing records, or make any final lifetime purchases of discontinued product(s) to support their operations.

Product Transition Table	
Product Name	L-849 REIL Runway End Identification Lights (44A1161/xx)
Reason(s) for Discontinuance	We are partnering with Flash Technology to serve the market for Xenon REILs.
Last time buy deadline	June 1, 2016 Last day to order complete products. Orders for discontinued products will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	January 1, 2018 Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Equivalent product replacements are available for this product as indicated in the "Product Replacement Table" below.

Product Replacement Table	
Discontinued Part Number	Replacement Part Number
44A1161/xx	We have an agreement in place with Flash Technology (SPX) (Flash Technology web site) to utilize their strobe technology in the FAA and Canadian markets. This includes ODAL (omni-directional) requirements. ICAO customers outside of the US are also able to utilize their technology if it meets their requirements. Flash Technology products are shown here on the ADB Safegate Product Center: Product Center Flash Technology Xenon REILs

Spare Parts:

The table below shows spare parts that were available for the ADB Safegate L-849 Xenon REILs. The list is based on common spare parts for the REILs, as shown in the manual or on the catalog sheet. While ADB Safegate will make every effort to maintain spare parts on the schedule shown, the availability of older technology components may affect that date. Xenon flash lamps, as well as parts common to other products will remain available.

Phaseout Spare Parts - Xenon REIL

Part No	Description	Notes
44D1988/1100	Current Sensing Assembly - Single Step	
44D1988/2100	Current Sensing Assembly - Three Step	
44B1164	High Voltage Diode Assembly	
44B1164/1	High Voltage Diode Assembly with Leads	
44B1157	Master Oscillator PCB Assembly (Style E)	
44B1156	Master Oscillator PCB Assembly (Style A/C)	
94A0602	Relay, Intensity Switching, DPDT, 110 VAC (No Power Adapter)	
53A0261	Relay, Input Power Switching, DPDT, 110 VDC (With Power Adapter)	
44B1165	Resistor Mounting Block Assembly	
44B1780/4	Trigger Transformer Assembly	
44B1105	Trigger Interface PCB	
44A7196	Input Power Switching PCB	

Last-time Buy Conditions:

- All purchase orders for last-time buys are non-cancellable and non-returnable.
- For orders for only spare parts, a \$150 order minimum is required.
- For orders which include complete REILs, a \$2,000 order minimum is required.

We regret the inconvenience and impact this notice may cause. ADB Safegate Sales Representatives stand ready to answer any questions you may have or assist you with any final orders.

EQUIPOS ELEVADOS

Se anexa la carta de discontinuidad de los equipos elevados.



Reference: PDN.PO 2016BRU

April 28, 2016

Product Discontinuation Notice

Dear Valued Customer,

ADB Safegate is a leading provider of intelligent solutions that delivers superior airport performance from approach to departure. Our integrated portfolio includes solutions and services that harmonize airport performance, tackling every aspect of traffic handling and guidance, from approach, runway and taxiway lighting, to tower-based traffic control systems, and intelligent gate and docking automation.

ADB Safegate Group's dedicated team of engineers ensure the research and development process is always ongoing and innovative. Whenever our products need updating, we communicate with our customers and suppliers to make sure they have the most up-to-date information and products.

This notice is to inform you that ADB Safegate will discontinue a range of products listed in the "Product Table" below.

In accordance with ADB product discontinuation policy, we are hereby giving notice of these changes so that our customers can adjust their product part number purchasing records, or make any final lifetime purchases of discontinued product(s) to support their operations.

Product Update	The below listed products will be phased out by August 1, 2016. ADB Safegate will provide replacement items as per specification below. The last time buy deadline is June 20, 2016. After this date, only corresponding replacement products will be available.	
Product Family	Halogen Airfield Ground Lighting	
Status	To be discontinued	Replacement Product
Approach	The Papi PPL 400	The Papi SPL (halogen) or the Papi LPL (LED)
	ABI Medium Intensity Lighting	The UEL (Halogen) or the LEAP (LED)
Runway	RVE multipurpose medium intensity omnidirectional lights	L-861/E CLAMP BAND ERE-CB
Taxiway	LTO Taxiway Inset Light (LED) omnidirectional TW and Apron edge light	L-852T(L) / ITEL-L
Visual Guidance Signs	PVO Guidance signs with fluorescent lamps	PVL Signs (LED)
	PVH Guidance signs with halogen lamps	PVL Signs (LED)
Items/Other	OBI - Low Intensity Omnidirectional Lights	ADB Safegate's offering of LIOL and MIOL obstruction lights



Equivalent product replacements are available for these products.

The datasheets and manuals of these products can be found on the product corner on www.adb-air.com for the products mentioned. You can select the requested product to view our full range of available products and solutions.

Original Spare Parts:

To keep your product in good working condition ADB Safegate advises the use of Original Spare Parts. For the latest updates on what spares parts to use for what products please consult: <https://sparepartsonline.adb-air.com/Shop/jsp/main.jsp?doAction=start>

Last-time buy Conditions:

- All purchase orders for last -time buys are non-cancellable and non-returnable.
- For orders for only spare parts, a minimum order value is applicable, please consult our Terms & Conditions policy.

Should you have any questions on ADB Safegate products and spare parts, please contact your ADB Safegate representative who stands ready to answer any questions you may have or assist you with any final orders.

Yours sincerely,

ADB Safegate

EQUIPO DE REGULACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA

Se anexa la carta de discontinuidad de los equipos CCR.

Product Discontinuation (PD)



Ref No: PD.POW.CCR.MCR3

November 30th, 2018

Spare part List update April 4th, 2022

Dear Valued Customer,

This notice is to inform you that ADB SAFEGATE has discontinued the manufacturing of the **MCR3 Constant Current Regulator** listed in the "Product Transition Table" included in this notification. The products contained in this notice are part of our annual product portfolio review process.

Product Transition Table	
Product Name	<ul style="list-style-type: none"> MCR3 Constant Current Regulator - All versions
Reason(s) for Discontinuance	<ul style="list-style-type: none"> As a result of the ADB SAFEGATE Portfolio exercise, the MCR3 has been nominated to be phased-out in favour of the IDM8000.
Last time buy deadline	<p>November 30th, 2018</p> <ul style="list-style-type: none"> Last day to order MCR3 Constant Current Regulators. Orders for discontinued products will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	<p>November 30th, 2023</p> <ul style="list-style-type: none"> Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Equivalent product replacements are available for this product as indicated in the "Product Replacement Table" below.

Product Replacement Table	
Discontinued Part Number	Replacement Part Number
All codes starting with: MCRxxxxxxxx	IDM8000 / IDM8001 data sheet https://adbsafegate.com/product-center/airfield/power-equipment/idm-8000-ccr

Letrero de señalización

Se anexa la carta de discontinuidad de los letreros de señalización.

Product Discontinuation Notice (PDN)



Ref No: PDN.LGT-HSIGN_GSF-HXXX.001

December 3, 2020

Dear Valued Customer,

This notice is to inform you that ADB Safegate has discontinued manufacturing of the **FAA L-858 AGSF – Incandescent Airfield Guidance Signs** as listed in the "Product Transition Table" included in this notification. The products contained in this notice are part of our annual product portfolio review process.

In accordance with ADB Safegate product discontinuation policy, we are hereby giving notice of these changes so that our customers and trusted partners can adjust their product purchasing records to support their operations.

Product Transition Table	
Product Name	FAA L-858 AGSF – Incandescent Airfield Guidance Signs
Reason(s) for Discontinuance	Little to no demand, end-of-life (EOL) stage.
Last time buy deadline	December 1, 2020
	Orders will not be accepted after this date.
End-of-Support deadline	December 1, 2025
	Spare parts will no longer be available for warranty or non-warranty support, and technical support will be limited to fee-based repair work.

Equivalent product replacements are available for this product as indicated in the "Product Replacement Table" below.

Product Replacement Table	
Discontinued Part Numbers	Replacement Part Number
SHXX-XXXXXXX SWXX-XXXXXXX	L-858(L) AGSF-L LED Airfield Guidance Signs https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=agsf-l-1858-led-airfield-guidance-sign-faa LED Retrofit Kits 94A0628/XX0 - Converts existing incandescent sign power supply and lamps to LED power supply and LED light bars.

FAA Opinion on Mixing of Light Source Technologies – Per AC150/5340-30J paragraph 1.4

1.4 *Signs Per Location - Do not collocate LED signs with incandescent signs. Example: runway holding position signs on both sides of a taxiway, holding position signs on both sides of a runway, separate signs that form a sign array.*

It should be noted that for most applications it is permissible to mix LED and incandescent signs on an airfield. It is only prohibited to mix incandescent and LED signs where signs are placed side-by-side or in relation to each other as described in paragraph 1.4 "Examples". For these installations a cost-effective recommendation is to convert the incandescent signs to LED technology using LED Retrofit Kits 94A0628/XX0.

Rev: D

Page 1 of 2

Product Discontinuation Notice (PDN)



Spare Parts

The table below shows spare parts that were available for the previously referenced product for a limited time. The list is based on common spare parts for this product, as shown in the manual or on the catalog sheet. While ADB Safegate will make every effort to maintain spare parts until the "End-of-Support" deadline, this will depend on the availability of older technology components. We highly encourage airports to stock an adequate quantity of recommended spare parts.

L-858 AGSF – Incandescent Airfield Guidance Signs		
Spare Part No	Description	Notes
44A7199/200	Halogen Sign Power Supply Assembly	Spare Obsolete After End of Support Deadline
60A2653	Lamp Cover	Spare Obsolete After End of Support Deadline
63A0989	Lamp Cover Seal	Spare Obsolete After End of Support Deadline
94A0373	Optional Lamps-Out Indicator Kit (Including Unique Sub-Components)	Spare Obsolete After End of Support Deadline
2990.40.827	48W Halogen Lamp	Spare Not Intended to be Made Obsolete
73A0107/72	Cord Set 72"	Spare Not Intended to be Made Obsolete
62A2142	Standard Mounting Flange 2-Bolt	Spare Not Intended to be Made Obsolete
62A2146	High-Wind Mounting Flange 4-Bolt	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/10	Frangible Coupling Size 1 Mode 2	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/20	Frangible Coupling Size 2 Mode 2	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/30	Frangible Coupling Size 3 & 5 Mode 2	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/40	Frangible Coupling Size 4 Mode 2	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/50	Frangible Coupling Size 1 Mode 3	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/11	Frangible Coupling Size 2 Mode 3	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/21	Frangible Coupling Size 3 Mode 3	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/31	Frangible Coupling Size 4 Mode 3	Spare Not Intended to be Made Obsolete
60A2678/41	Frangible Coupling Size 5 Mode 3	Spare Not Intended to be Made Obsolete

- For orders for spare parts, a \$150.00 order minimum is required.

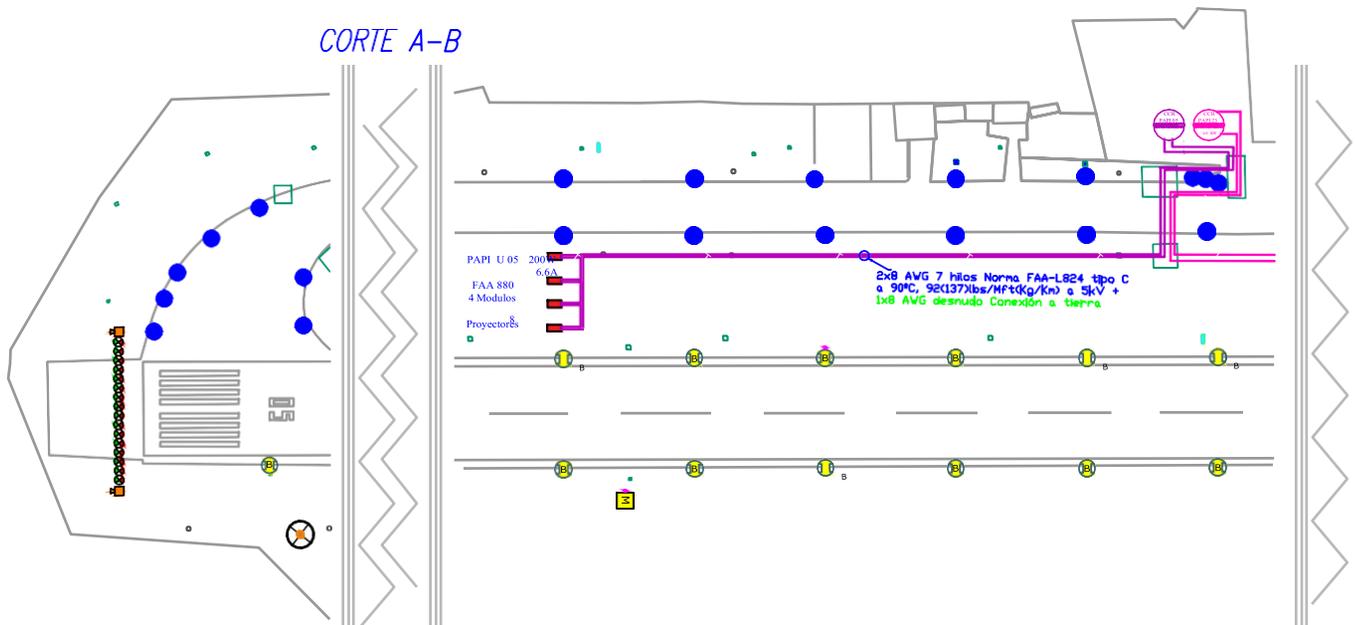
We regret the inconvenience and impact this notice may cause. ADB Safegate Sales Representatives stand ready to answer any questions you may have or assist you with any final orders. Contact us at 1.800.545.4157.

Product Management Group

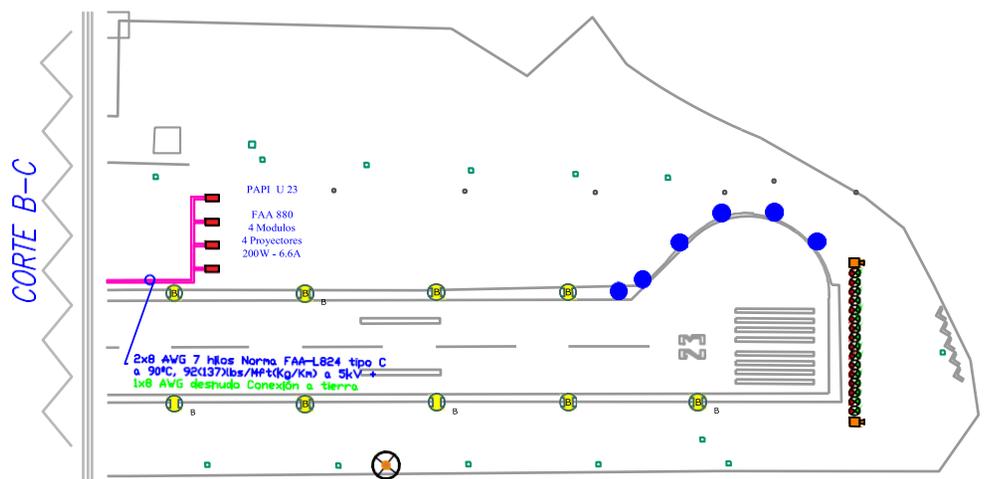


www.adbsafegate.com

UMBRAL 0-5/0+100/
0+250/0+600

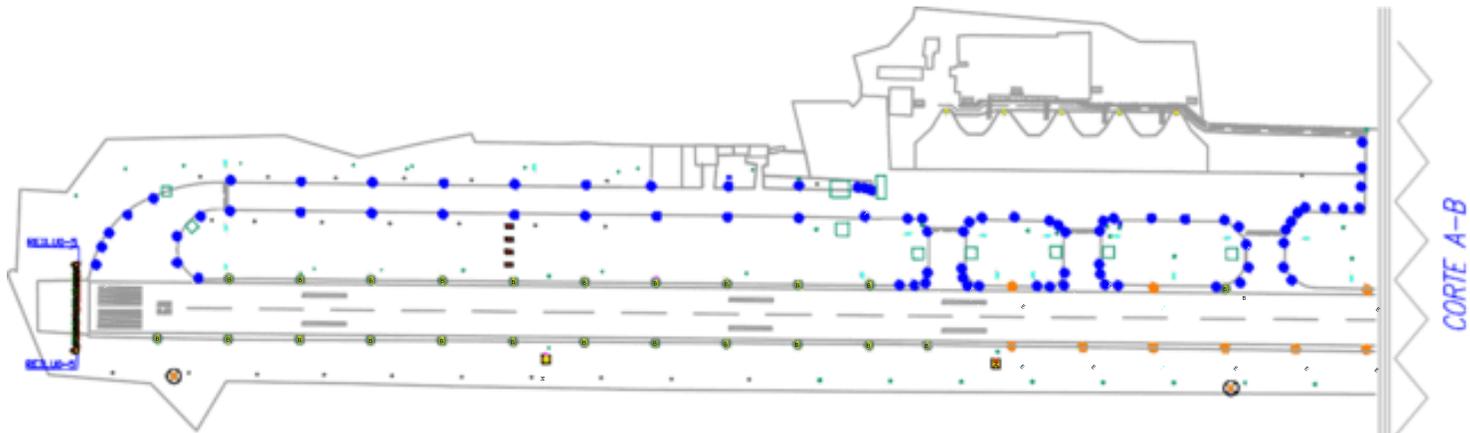


1+650/UMBRAL 2-3

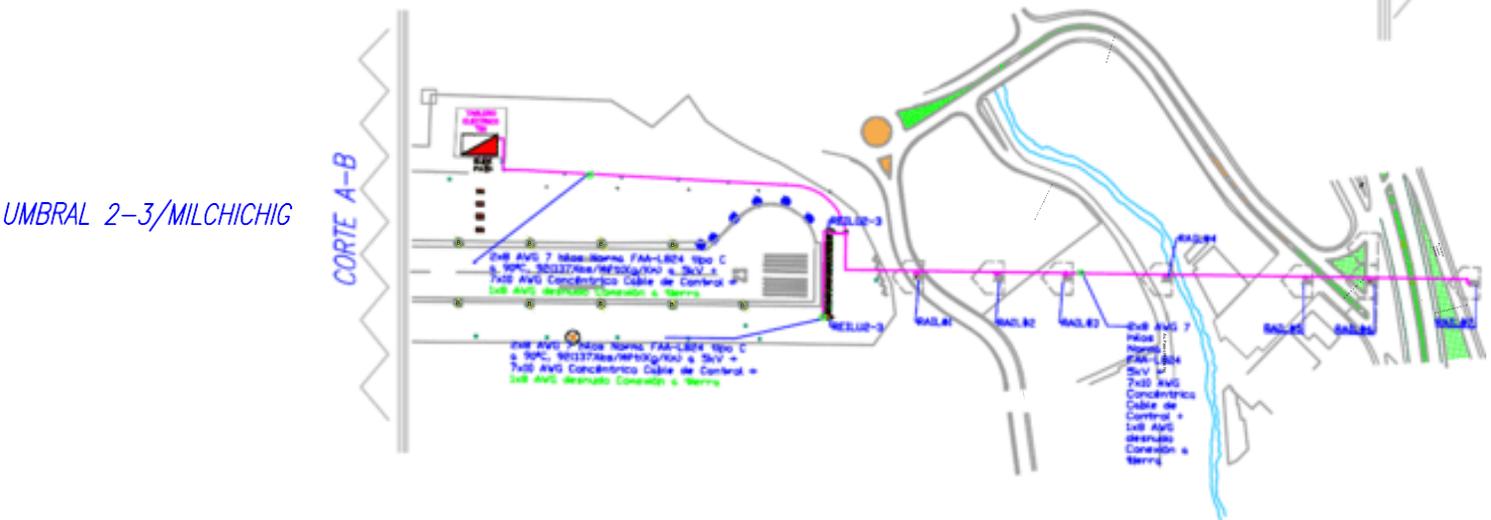


SIMBOLOGIA	
	Regulador de Corriente Constante para el circuito P.A.P.I. 06 DE 4.0 KW
	Regulador de Corriente Constante para el circuito P.A.P.I. 24 DE 4.0 KW
	<p>Luces P.A.P.I. Indicador de Pendiente de Aproximación Visual de Precisión. Norma: FAA (L-880) Consumo Electr: 630VA. por sistema. Consumo Electr: 120VA. por gabinete. Alimentación Electr: 2.8-6.6A. 60Hz. Transf. Aislamiento: 200W</p>

AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA	
<p>DESARROLLADO POR: EDGAR PATRICIO CAJAMARCA A. WILSON GEOVANNY ZHUMI L.</p> <p>DISEÑADO POR: ING. JHONATHAN APRAEZ</p>	<p>Instalaciones eléctricas del sistema de iluminación del circuito PAPI06 PAPI 24.</p>
<p>CONTIENE: circuito P.A.P.I.06, P.A.P.I.24</p>	<p>FECHA 2023-MARZO</p> <p>Hoja 3 DE 5</p>



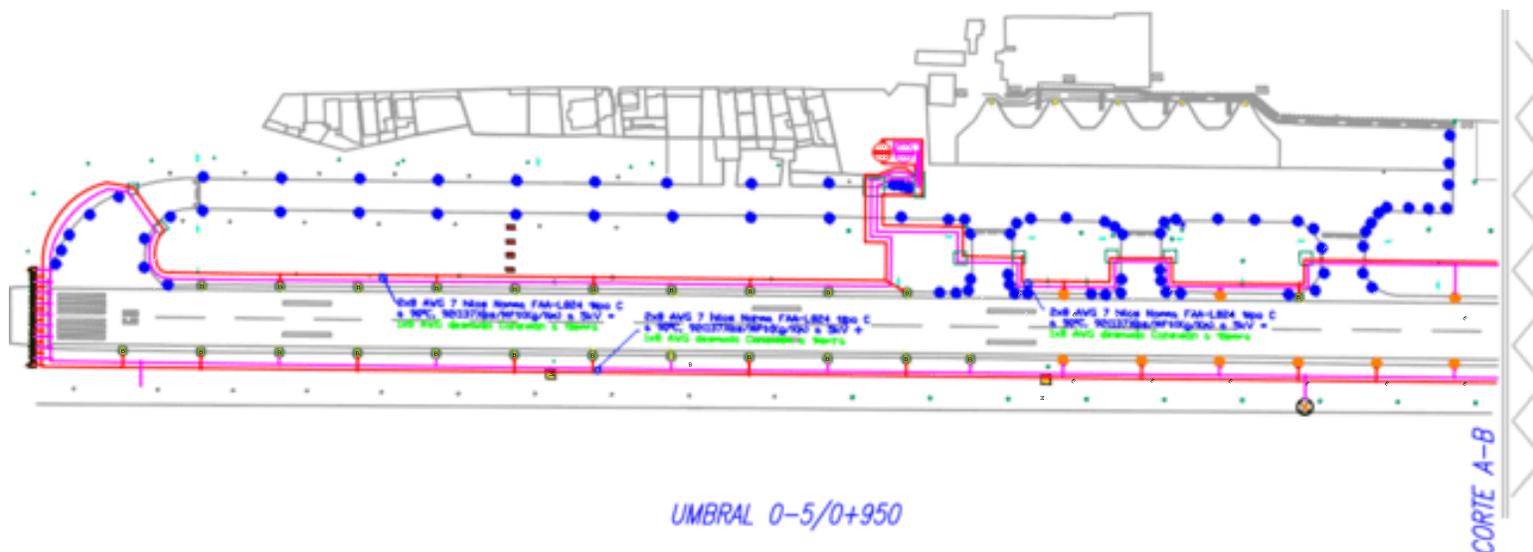
UMBRAL 0-5/0+900



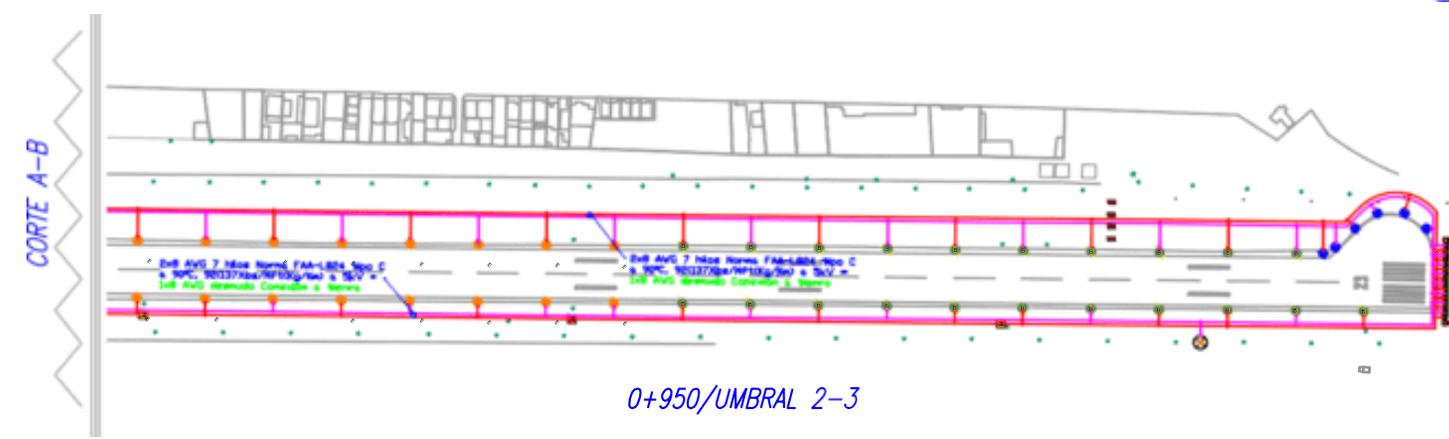
UMBRAL 2-3/MILCHICHIG

SIMBOLOGIA	
	Regulador de Corriente Constante para el circuito R.E.I.L. RWY1. DE 7.5 KW
	Luces R.E.I.L. Norma: FAA L-849T(L), estilo E Consumo Electr: 161VA. Alimentación Electr: 2.8-6.6A. 60Hz. Transf. Aislamiento: 100W

AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA	
DISEÑO: EDGAR PATRICIO CAJAMARCA A. WILSON GEOVANNY ZHUMI L.	Instalaciones eléctricas del sistema de iluminación del circuito RWY 1.
DISEÑADO: ING. JHONATHAN APRÁEZ	
CONTIENE: circuito RWY 1.	FECHA 2023-MARZO
Hoja 5 / DE 5	



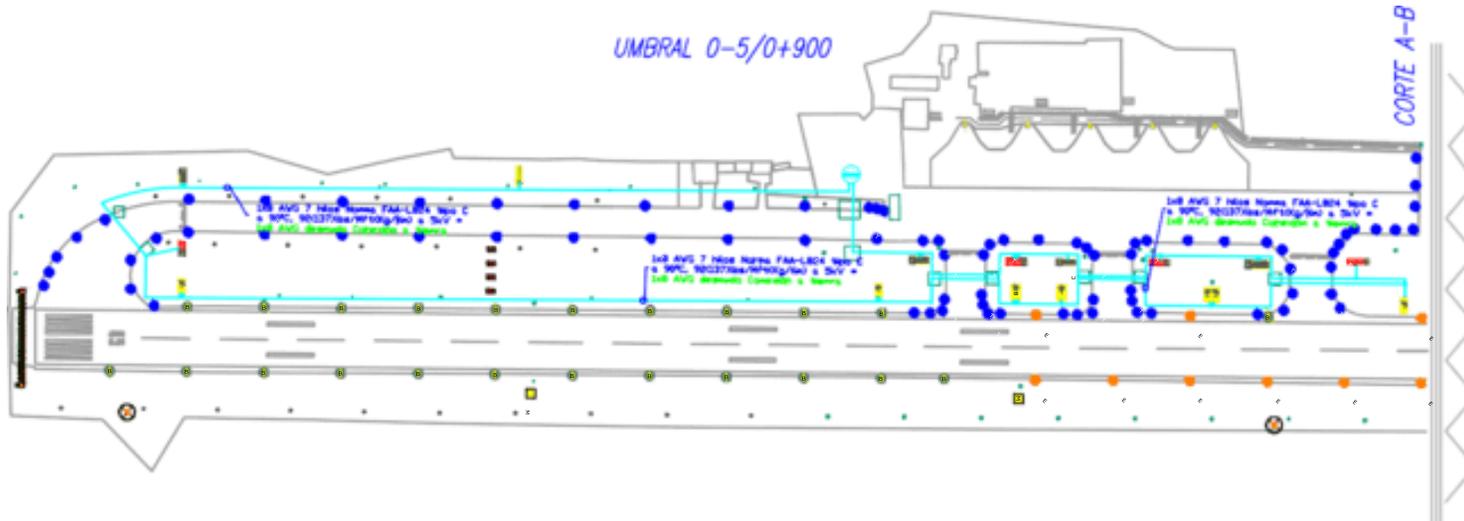
UMBRAL 0-5/0+950



0+950/UMBRAL 2-3

SIMBOLOGIA	
	Regulador de Corriente Constante para el circuito RWY 1. DE 7.5 KW
	Regulador de Corriente Constante para el circuito RWY 2. DE 7.5 KW
	Luces RWY Elevada. LED Norma: OACI y FAA L-862(L) Consumo Electr: 45VA. Alimentación Electr: 2.8-6.6A. 60Hz.
	Luces RWY Empotrada para Umbral/Fin de pista. LED Norma: FAA L-850(L) Consumo Electr: 36VA. Alimentación Electr: 2.8-6.6A. 60Hz.
	Luces RWY Empotrada de Borde de pista. LED Norma: FAA L-850C(L) Consumo Electr: 36VA. Alimentación Electr: 2.8-6.6A. 60Hz.

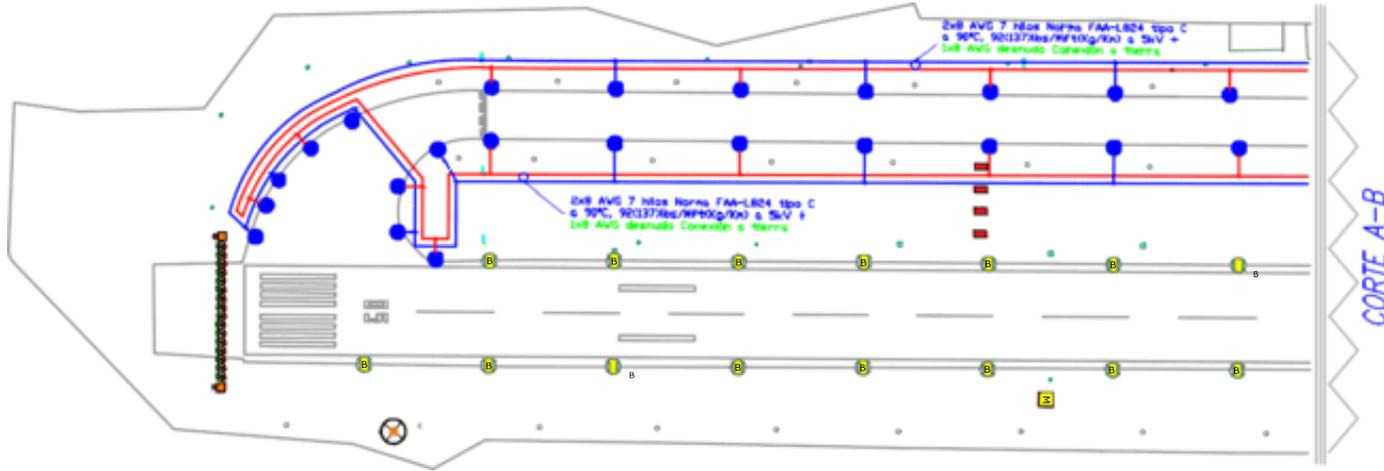
AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA	
DISEÑO: EDGAR PATRICIO CAJAMARCA A. WILSON GEOVANNY ZHUMI L.	Instalaciones eléctricas del sistema de iluminación del circuito RWY (elevadas, empotradas de borde y del umbral/fin de pista).
DISEÑO: ING. JHONATHAN APRAEZ	
CONTIENE: circuito RWY 1 y RWY 2	FECHA: 2023-MARZO Hoja 1 / DE 5



SIMBOLOGIA	
	Regulador de Corriente Constante para el circuito SEÑALIZACIÓN V. RWY2. DE 7.5 KW
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:2900, altura carácter: 400mm Cara sencilla, Consumo Electr: 291VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:300W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:2900, altura carácter: 400mm Cara doble, Consumo Electr: 291VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:500W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:2700mm, altura carácter: 400mm Cara sencilla, Consumo Electr: 241VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:300W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:2300mm, altura carácter: 400mm Cara sencilla, Consumo Electr: 180VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:300W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:1500mm, altura carácter: 400mm Cara sencilla, Consumo Electr: 150VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:300W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:1100mm, altura carácter: 400mm Cara doble, Consumo Electr: 150VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:500W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:1100mm, altura carácter: 400mm Cara sencilla, Consumo Electr: 150VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:300W
	Luz Señalización Vertical. Norma: OACI y TP312 modelo AGSB-L-861T(L) H:800mm, Long:1100mm, altura carácter: 400mm Cara sencilla, Consumo Electr: 150VA. Alimentación Electr:2.8-6.6A. Transf. Aislamiento:300W

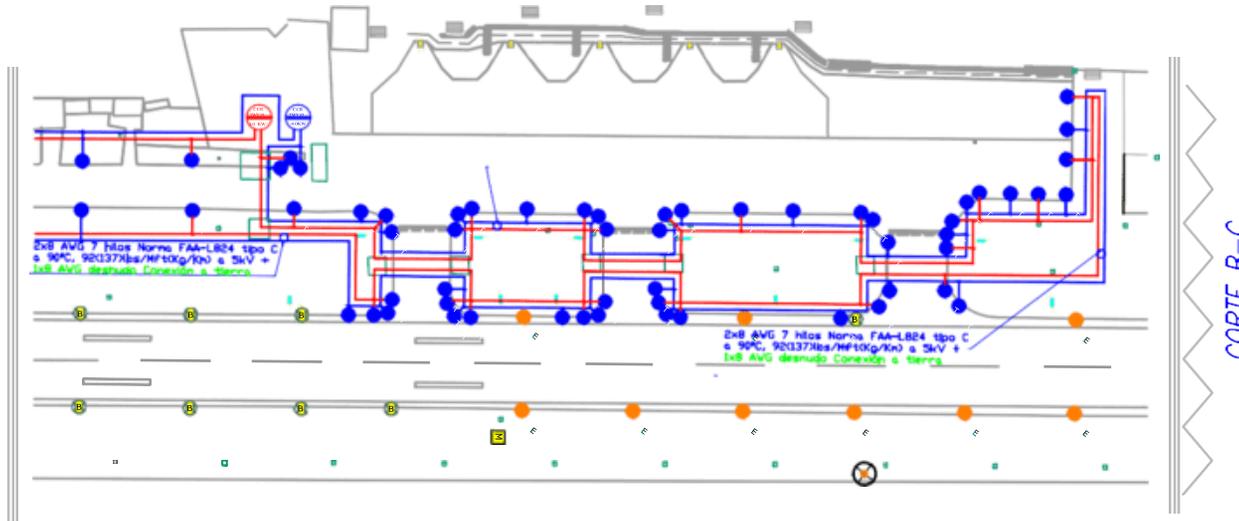
AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA	
<small>DESIGNADO</small> EDGAR PATRICIO CAJAMARCA A. WILSON GEOVANNY ZHUMI L.	Instalaciones eléctricas del sistema de iluminación del circuito RWY 2.
<small>DESIGNADO</small> ING. JHONATHAN APRÁEZ	
CONTIENE: circuito RWY 2.	FECHA 2023-MARZO
Hoja 4 DE 5	

UMBRAL 0-5/0+450



0+450/0+950

CORTE A-B



CORTE B-C

SIMBOLOGIA

	Regulador de Corriente Constante para el circuito TWY 1. DE 4.0 KW
	Regulador de Corriente Constante para el circuito TWY 2. DE 4.0 KW
	Luces TWY Elevadas. Norma: OACI y FAA L-861T(L) Consumo Electr: 12VA. Alimentación Electr: 2.8-6.6A. 60Hz. Transf. Aislamiento: 25W

AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA

DISEÑO: EDGAR PATRICIO CAJAMARCA A. WILSON GEOVANNY ZHUMI L.	Instalaciones eléctricas del sistema de iluminación del circuito TWY.
DIRIGIDO: ING. JHONATHAN APRÁEZ	
CONTIENE: circuito TWY 1 y TWY 2	FECHA 2023-MARZO
	Hoja 2 / DE 5

