



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diseño de iluminación de zonas exteriores para un aeropuerto nacional

Diseño de un sistema de iluminación, en las pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y estacionamiento de aeronaves y sus requisitos para un aeropuerto Nacional

**David Alejandro Moreno Triviño y
Juan Sebastián Caicedo Aragón**

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Bogotá, Colombia
2023

Diseño de iluminación de zonas exteriores para un aeropuerto nacional

Diseño de un sistema de iluminación, en las pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y estacionamiento de aeronaves y sus requisitos para un aeropuerto Nacional

**David Alejandro Moreno Triviño y
Juan Sebastián Caicedo Aragón**

Trabajo final de Especialización presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Especialista en Iluminación Pública y privada

Director (a):

Ing. Francisco Javier Amórtegui Gil

Asesor (a):

MSc. Ing. Diana Catalina Benavides Martin

Línea de Investigación:

Iluminación Aeroportuaria

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Bogotá, Colombia

2023

Dedicatoria

Este trabajo de grado lo dedico a Dios por estar conmigo en todo momento, por la inspiración y apoyo en este proceso académico. A toda mi familia por su apoyo y motivación brindándome siempre sabiduría, valores y determinación. A mi novia y prometida, Angela María, por acompañarme durante esta especialización y ayudarme a culminar esta meta académica con sus consejos, sabiduría y motivación incondicional. A mi compañero y colega de grupo David Moreno, por su tiempo, dedicación y empeño en este trabajo. Gracias.

Juan Sebastián Caicedo Aragón

Dedico este trabajo de grado a mi familia que han sido fundamentales en mi camino hacia este logro, por su valiosa guía y apoyo incondicional, por su amor, sacrificios y confianza. A mis amigos y seres queridos por su aliento constante. A mi compañero Sebastián Caicedo por su apoyo, ideas y colaboración en este trabajo. A los compañeros de estudio por su enriquecimiento académico, a todas las personas que contribuyeron, que inspiraron y motivaron a desarrollarlo. Gracias a todos ustedes por formar parte de este importante hito en mi vida.

David Alejandro Moreno Triviño

Declaración de obra original

Nosotros declaramos lo siguiente:

Hemos leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi(nuestro) trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

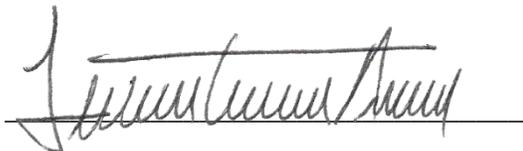
Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, hemos realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Hemos obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, hemos sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nombre: David Alejandro Moreno Triviño



Nombre: Juan Sebastián Caicedo Aragón

Fecha 10/06/2023

Firma de aval del Director

Título: Diseño de iluminación de zonas exteriores para un aeropuerto nacional

Nombre Director: Francisco Javier Amórtegui Gil


Firma

Fecha: 27 de junio de 2023

Agradecimientos

A Dios, a nuestras familias por apoyarnos en todo momento, por ser nuestro impulso para lograr culminar esta meta. A nuestros compañeros y colegas de la especialización, por su amistad y compañerismo. A nuestro director Ing. Francisco Javier Amórtegui Gil y nuestra asesora Ing. Diana Catalina Benavides, por su orientación, su apoyo y esfuerzo entregado en este proceso. A todos los docentes del programa de especialización en Iluminación Pública y Privada, que nos apoyaron y guiaron en este proceso académico.

Sebastian y David.

Resumen

Diseño de iluminación en zonas exteriores para un aeropuerto nacional

Este trabajo consiste en un diseño de iluminación de las zonas exteriores para un aeropuerto nacional, que busca brindar una solución que mejor se ajuste a las necesidades y presupuesto, para un aeropuerto que cuente con características similares a la mayoría de los aeropuertos no internacionales de las ciudades colombianas, debido a las problemáticas identificadas con respecto a la identificación y aplicación de iluminación en pistas, cambio tecnológico de luminarias y fallas eléctricas en la prestación del servicio de alumbrado, que ha generado inseguridad, retrasos en la operación y cancelaciones de vuelos.

Este diseño tiene el fin de garantizar la seguridad aeroportuaria, la de sus pasajeros, tripulación y personal de asistencia en tierra de las aeronaves. Brindando una solución de iluminación adecuada para su uso, y las consideraciones de niveles de iluminancia, luminancia, confiabilidad, eficiencia energética, durabilidad, capacidad y mantenimiento del sistema lumínico del aeropuerto.

Para ello, se presenta una alternativa de iluminación para las áreas exteriores de: pistas, calles de rodaje, iluminación de aproximación de las pistas, plataforma, entre otras zonas exteriores. Basado en los referentes normativos, regulatorios y legislativos colombianos, así mismo como, los manuales de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), específicamente en el manual del anexo 14, Documento 9157 - Manual de diseño de aeródromos y en la norma IES RP-37-15 Outdoor Lighting for Airport Environments.

Palabras clave: Aeropuerto nacional, pistas, calle de rodaje, plataforma, iluminancia, luminancia, IES, OACI.

Abstract

Lighting design in outdoor areas for a national type airport

This work consists of a lighting design for the exterior areas for a national airport, which seeks to provide a solution that best suits the needs and budget, for an airport that has similar characteristics to most non-international airports in the Colombian cities, due to the problems identified regarding the identification and application of runway lighting, technological change of lighting fixtures, and electrical failures in the provision of lighting services, which have generated insecurity, delays in operations, and flight cancellations.

This design has the purpose of guaranteeing airport security, that of its passengers, crew, and aircraft ground assistance personnel. Providing an adequate lighting solution for its use, and the considerations of illuminance levels, luminance, reliability, energy efficiency, durability, capacity, and maintenance of the airport lighting system.

For this, a lighting alternative is presented for the exterior areas of runways, taxiways, runway approach lighting, and apron, among other exterior areas. Based on the Colombian normative, regulatory, and legislative references, as well as the manuals of the International Civil Aviation Organization (ICAO), specifically in the manual of annex 14, Document 9157 - Aerodrome Design Manual and in the standard IES RP-37-15 Outdoor Lighting for Airport Environments.

Keywords: National airport, runways, taxiway, apron, illuminance, luminance, IES.

Contenido

	Pág.
Agradecimientos	X
Resumen	XI
Abstract.....	XII
Contenido	XIII
Lista de figuras.....	XVI
Lista de tablas	XIX
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XXI
Introducción	23
1. Descripción del diseño	25
1.1 Planteamiento del problema.....	25
1.2 Objetivo.....	27
1.2.1 Objetivo General.....	29
1.2.2 Objetivos Específicos.....	29
1.3 Justificación.....	30
1.4 Limitaciones	31
1.4.1 Limitaciones.....	31
2. Marco Teórico.....	32
2.1 Antecedentes	32
2.2 Marco legal y normativo	33
2.2.1 Ley Colombiana.....	34
2.2.2 Reglamentos aeronáuticos de Colombia	34
2.2.3 Organización de aviación civil internacional – OACI	35
2.3 Requerimientos normativos.....	35
2.3.1 Reglamento OACI Anexo 14 – RAC 14	36

2.3.2	Manual de diseño de aeródromos OACI – Documento 9157	36
2.3.3	Requerimientos normativos IES RP-37-15 Outdoor Lighting for Airport Environments.....	37
2.4	Concepto de Visibilidad.....	38
3.	Selección de luminarias para aeropuertos	43
3.1	Luminarias	44
3.1.1	Luminaria de Aproximación. Fotometría A2-1	47
3.1.2	Luces de Umbral. Fotometría A2-3.....	48
3.1.3	Eje de pista (Espacio longitudinal de 30 m). A2-6.....	49
3.1.4	Extremo de pista A2-8	50
3.1.5	Borde de pista (Espacio longitudinal de 30 m). A2-9	51
3.1.6	PAPI - Indicador de Trayectoria de Aproximación de Precisión (Precision Approach Path Indicator). A2-23	52
3.1.7	Luminarias de calles de rodaje borde y eje central	53
3.1.8	Luminarias de Plataforma.....	54
4.	Diseño de iluminación	55
4.1	Análisis de riesgos	56
4.2	Perfil del aeropuerto y aeronaves	59
4.2.1	Características pistas de aeropuertos nacionales colombianos	59
4.2.2	Características de aviones	61
4.2.3	Clave de referencia de aviones empleados	64
4.3	Clave de referencia del aeródromo	64
4.4	Selección de sistemas de iluminación.....	65
4.4.1	Sistemas de iluminación de aproximación	65
4.4.1.1	Sistema sencillo de iluminación de aproximación.....	66
4.4.1.2	Sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categoría I, II y III	67
4.4.2	Sistemas de iluminación de Umbral de Pista.....	68
4.4.3	Sistemas de iluminación de Luces de extremo de pista.....	68
4.4.4	Sistemas de iluminación de borde de pista.....	68
4.4.5	Sistemas de iluminación de Luces de eje de pista.....	69
4.4.6	Sistemas de iluminación de Luces de zona de parada	69
4.4.7	Sistemas de iluminación de Luces de eje de calle de rodaje	69
4.4.8	Sistemas de iluminación de Luces de borde de calle de rodaje	69
4.4.9	Sistemas visuales indicadores de pendientes de aproximación PAPI.....	70
4.4.10	Sistemas iluminación en plataformas	74
4.5	Montaje, soporte e instalación de las luminarias	77
4.6	Sistemas de alimentación eléctrica	79
4.7	Equipos para la instalación	82
4.8	Esquema de mantenimiento	84
5.	Resultados de diseño	85
5.1	Pistas.....	86
5.2	Calle de rodaje.....	87
5.2.1	Consideraciones adicionales para el manejo de figuras y tablas	87
6.	Luminarias Seleccionadas y propuesta Final	89
7.	Análisis económico	90
7.1	Análisis energético.....	92

7.2	Factor de Mantenimiento.....	93
8.	Conclusiones y recomendaciones.....	95
8.1	Conclusiones.....	95
8.2	Recomendaciones.....	96
9.	ANEXOS.....	97
9.1	A. Anexo: Cromaticidad de las luminarias empleadas.....	97
9.2	B. Anexo: Presupuesto.....	101
9.3	C. Anexo: Características de las luminarias	106
	Bibliografía	109

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Ejemplo de aeropuerto Nacional Comercial - Actualización del Plan Maestro de Aeropuerto Alfonso López Pumarejo (Valledupar) (Nororient, 2020).....	27
Figura 2. Aeropuerto convencional pequeño 1 pista. (S4GA, S4GA)	27
Figura 3. Ilustración de distancias declaradas - Tomado de OACI Doc. 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Figura 3-1.....	28
Figura 4. Determinación de las distancias declaradas - Tomado de OACI Doc 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Figura 3-2.....	29
Figura 5. Tipos de precipitaciones (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	38
Figura 6. Oscurecimientos o bruma. (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	38
Figura 7. Medición de visibilidad (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	39
Figura 8. Visibilidad Reinante. (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	39
Figura 9. Visibilidad en Vuelo. (Aeronáutico, 21 ago 2022)	40
Figura 10. Visibilidad Oblicua SVR. (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	40
Figura 11. Alcance visual en pista – RVR. (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	41
Figura 12. Sensores de visibilidad. (Aeronáutico, 21 ago 2022).....	41
Figura 13. Sistema ILS – Instrument Landing System. (INSTRUMENTOS)	42
Figura 14. Ejemplo de ubicación de ayudas visuales – Tomado de (S4GA).....	44
Figura 15. Luminaria de aproximación elevada. (FlightLight, 2023).....	47
Figura 16. Diagrama de isocandelas para las luces de eje y barras transversales de aproximación (luz blanca y Roja). Figura A2-1 y A2-2. RAC 14	47
Figura 17. Luminaria de Umbral de alta intensidad elevada y empotrada. (FlightLight, 2023)	48
Figura 18. Diagrama de isocandelas para las luces de umbral (luz verde). Figura A2-3. RAC 14	48
Figura 19. Luminaria de Eje de pista empotrada. (FlightLight, 2023).....	49
Figura 20. Diagrama de isocandelas para las luces de eje de pista con espaciado longitudinal de 30 m (luz blanca). Figura A2-6. RAC 14	49
Figura 21. Luminarias de Borde de pista elevada. (FlightLight, 2023)	50
Figura 22. Diagrama de isocandelas para las luces de extremo de pista (luz roja). Figura A2-8. RAC 14.....	50
Figura 23. Luminaria de Borde de pista empotrada. (FlightLight, 2023)	51
Figura 24. Diagrama de isocandelas para las luces de borde de pista cuando la anchura de la pista es de 45 m (luz blanca). Figura A2-9. RAC 14	51

Figura 25. Luminaria de PAPI - Indicador de Trayectoria de Aproximación de Precisión. (FlightLight, 2023)	52
Figura 26. Distribución de la intensidad luminosa del PAPI y del APAPI. Figura A2-23. RAC 14	52
Figura 27. Luminaria de calle de rodaje Borde de pista. (FlightLight, 2023).....	53
Figura 28. Luminaria de calle de rodaje Eje central. (FlightLight, 2023).....	53
Figura 29. Luminaria de plataforma y características (AES Airport Solution).	54
Figura 30. Airbus A319 - (Airbus, s.f.).....	62
Figura 31. Airbus A320 (Airbus, s.f.).....	62
Figura 32. Airbus A320. Dimensiones. (Airbus, s.f.)	63
Figura 33. Tipos de sistemas de iluminación en pistas. (Delgado, 2014).....	65
Figura 34. Iluminación Pista de aterrizaje CAT I. - Tomado de: OACI (Chacin, 2016)	67
Figura 35. Iluminación Pista de aterrizaje CAT II y CAT III. - Tomado de: OACI (Chacin, 2016).....	67
Figura 36. Disposición de las luces de umbral de pista y de luces de extremo de pista - Anexo 14 de la OACI. Figura 5-22.....	68
Figura 37. Emplazamiento del sistema PAPI. Figura 5-18. Anexo 14 OACI	70
Figura 38. Iluminación en la pista de aterrizaje. - Tomado de: organización de aviación civil internacional (Chacin, 2016).....	70
Figura 39. Iluminación de luces PAPI en aterrizaje. - tomado de: organización de aviación civil internacional (Chacin, 2016).....	71
Figura 40. Haces luminosos y reglaje del ángulo de elevación del PAPI. Figura Doc 9157 parte 4. OACI	71
Figura 41. Disposición de los elementos del PAPI – Figura 8-6. Doc.9157 parte 4 OACI	72
Figura 42. Acercamiento visual – (Canada, 2010).....	73
Figura 43. Disposición de iluminación en plataforma. – Figuras 13-1 y 13-2 de Doc. 9157 Parte 4 - OACI.....	75
Figura 44. Altura de las luminarias en plataforma para evitar deslumbramiento. – Figuras 13-1 y 13-2 de Doc. 9157 Parte 4 - OACI.....	76
Figura 45. Luces Elevadas y elementos frangibles. (FlightLight, 2023)	77
Figura 46. Luces Empotradas. (FlightLight, 2023)	77
Figura 47. Poste para aeropuerto marca Postelam y soporte de luminarias. (Postelam, 2023), (AES Airport Solution)	78
Figura 48. Cajas de inspección de alimentación de la instalación eléctrica. Figuras tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.	79
Figura 49. Sistema de alimentación eléctrica de la iluminación. Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.	80
Figura 50. Distribución de circuitos de iluminación - Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.	81
Figura 51. Características del transformador.....	82
Figura 52. Transformador de alimentación de las luminarias. Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.	82
Figura 53. Bombilla halógenas, empleada en las luminarias de pista. Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.....	82

Figura 54. Ensamblaje de luminaria Halógena (Izquierda) y luminaria LED (Derecha), Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.	83
Figura 55. Aeropuerto Nacional Modelo - Tomado de: Simulación Revit del presente diseño. Elaboración propia.	86
Figura 56. Plataforma de Aeropuerto Nacional Modelo - Tomado de: Simulación Dialux del presente diseño. Elaboración propia.	87
Figura 57. Simulación de iluminación en pista de aeropuerto en Dialux. Elaboración propia.	88
Figura 58. Simulación de iluminación en pista de aeropuerto en Dialux. Elaboración propia.	88
Figura 59. Figura A1-1a. Colores de luces aeronáuticas de superficie. Tomado Anexo 14 de la OACI.	97
Figura 60. Figura A1-1b. Colores de luces aeronáuticas de superficie (iluminación de estado sólido). Tomado Anexo 14 de la OACI.	98
Figura 61. Figura A2. Luminarias incandescente – Ecuaciones CIE. Tomado Anexo 14 de la OACI.	99

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Requisitos Fotométricos para áreas críticas - Borrador RETILAP Borrador	25
Tabla 2. Clave de referencia de aeródromo – Tomado de OACI Doc. 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Tabla 1-1.....	28
Tabla 3. Figuras de diagramas isocandelas de luminarias (RAC 14).....	45
Tabla 4. Ejemplo de selección de parámetros de una luminaria elevada, (FlightLight, 2023).....	45
Tabla 5. Ajustes de intensidad luminosa en condiciones diurnas. Tomado de Tabla 5-1 Annex 14 OACI.	46
Tabla 6. Ajustes de intensidad luminosa en condiciones crepusculares. Tomado de Tabla 5-2. Annex 14 OACI.	46
Tabla 7. Análisis de riesgos – Guía de estudio de seguridad GIVC-1.0-15-042 (AEROCIVIL).....	56
Tabla 8. Características de pistas aeropuertos nacionales colombianos - (AEROCIVIL, wikipedia)	60
Tabla 9. Longitud de pista para modelo de avión. – OACI Part 1. Runways - Appendix 1. Aeroplane classification by code number and letter.....	60
Tabla 10. Aviones usados en los aeropuertos nacionales colombianos de ciudades no principales - (AEROCIVIL, wikipedia)	61
Tabla 11. Clasificación de aeronaves por su código y letra. – ICAO 9157 Runways. Appendix 1.	64
Tabla 12. Clave de referencia de aeródromo. Tabla 2. OACI Doc 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Tabla 1-1.....	64
Tabla 13. Anchura de las pistas - Artículo. RAC 14. 14.3.3.1.9.2 Anchura de las pistas. La anchura de toda pista no debería ser inferior a la dimensión apropiada.	65
Tabla 14. Margen vertical entre las ruedas y el Umbral para el PAPI – Tabla 5-2 Anexo 14, OACI.	73
Tabla 15. Tabla de niveles de iluminancia y uniformidad recomendados de la norma IES-37-20.....	74

Tabla 16. Mantenimientos preventivos de ayudas visuales - Aerocivil CI 018 - V1 - Mantenimiento de ayudas visuales	84
Tabla 17. Resultados de plataforma de aeropuerto nacional en Dialux, con su respectivo factor de mantenimiento. Elaboración propia.	87
Tabla 18. Figuras de luminarias seleccionadas según su uso en aeropuerto. Elaboración propia.....	89
Tabla 19. Costos de adquisición de luminarias para pista de aeropuerto	90
Tabla 20. Costo de instalación de luminarias. Elaboración propia.....	90
Tabla 21. Costos de instalación de las luminarias de pista. Elaboración propia.	91
Tabla 22. Diferencia en costo entre luminarias Halógenas y LED. Elaboración propia....	91
Tabla 23. Ahorro energético entre la instalación de luminarias LED y Halógenas. Elaboración propia.	92
Tabla 24. Factores de depreciación LED para el cálculo del factor de mantenimiento. Elaboración propia.	93
Tabla 25. Factores de depreciación Halógenas para el cálculo del factor de mantenimiento. Elaboración propia.	94
Tabla 26. Presupuesto de luminarias halógenas de pista. Elaboración propia.	102
Tabla 27. Presupuesto de luminarias LED de pista. Elaboración propia.	104
Tabla 28. Presupuesto de luminarias LED de Plataforma. Elaboración propia.	104
Tabla 29. Presupuesto de mano de obra de instalación de luminarias. Elaboración propia.	105
Tabla 30. Tabla de referencias y características de las luminarias LED en pista. Elaboración propia.	106
Tabla 31. Tabla de referencias y características de las luminarias Halógenas en pista. Elaboración propia.	107
Tabla 32. Tabla de referencia y característica de las luminarias LED en plataforma. Elaboración propia.	107
Tabla 33. Diferencia porcentual en potencia entre luminarias halógenas y LED. Elaboración propia.	107
Tabla 34. Comparación entre eficacias de intensidad máximas entre luminarias halógenas y LED. Elaboración propia.	108

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	$\iint dx dy$
A_{BET}	Área interna del sólido	$\frac{m^2}{g}$	ver DIN ISO 9277
A_g	Área transversal de la fase gaseosa	m^2	Ec. 3.2
A_s	Área transversal de la carga a granel	m^2	Ec. 3.6
a	Coefficiente	1	Tabla 3-1

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
α_{BET}	Factor de superficie	$\frac{m^2}{g}$	$(W_{F,waf})(A_{BET})$
β_i	Grado de formación del componente i	1	$\frac{m_j}{m_{bm} \varphi}$
γ	Wandhaufreiwinkel (Stahlblech)	1	Sección 3.2
ε	Porosidad de la partícula	1	$1 - \frac{\rho_s}{\rho_w}$
η	mittlere Bettneigungswinkel (Stürzen)	1	Figura 3-1

Subíndices

Subíndice	Término
bm	Materia orgánica
DR	Dubinin-Radushkevich
E	Experimental

Superíndices

Superíndice	Término
N	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura Término

<i>OACI</i>	Organización de Aviación Civil Internacional
<i>IES</i>	Illuminating Engineering Society
<i>AAC</i>	Autoridad de Aviación Civil – Aerocivil
<i>RAC</i>	Reglamentos Aeronáuticos de Colombia
<i>UAEAC</i>	La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil o Aeronáutica Civil o Aerocivil
<i>FAA</i>	Federal Aviation Administration
<i>AGL</i>	Above ground level - sobre el nivel del suelo
<i>MSL</i>	Pies sobre el nivel medio del mar
<i>RVR</i>	Runway visual range

Introducción

Los aeropuertos son una parte esencial de la infraestructura de cualquier país, conectando personas y mercancías a nivel nacional e internacional. Siendo la seguridad aeroportuaria una de las mayores prioridades para las autoridades de la industria aérea. Para ello, una de las principales herramientas para garantizar la seguridad es la iluminación, la cual debe ser adecuada y eficiente para permitir una operación segura de los vuelos durante la noche.

En Colombia, la parametrización normativa de iluminación en las pistas de aterrizaje se ha encontrado alejado de la reglamentación de iluminación RETILAP, siendo potestad de la Aerocivil, por lo cual se presenta una problemática con respecto a la identificación, aplicación y supervisión de la iluminación en pistas, presentando complejidad en identificar las normas que le aplican a la iluminación aeroportuaria.

Adicionalmente, la prestación del servicio de iluminación ha presentado fallas eléctricas en el último año, generando inseguridad y afectando la operación de la iluminación en algunos aeropuertos del país. En el año 2022, entre los meses de noviembre y diciembre, se reportaron múltiples cancelaciones y demoras de vuelos debido a la falta de suministro de energía generando deficiencias en la prestación de iluminación en las pistas de los aeropuertos de Riohacha, Cartagena, Valledupar, Guajira, entre otros. Esta situación es preocupante, ya que no solo afecta la movilidad de las personas y los vuelos, sino que también pone en riesgo la seguridad de los pasajeros.

Ante esta situación, este trabajo tiene como objetivo principal diseñar un sistema de iluminación en las pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y estacionamiento de aeronaves. Adicionalmente, establecer sus requisitos mínimos para un aeropuerto nacional. Para ello, se ha seleccionado un aeropuerto nacional con dimensiones de pista, similar al de otras ciudades colombianas, con características específicas de recorrido de

despegue disponible (TORA) y ancho de pista, que serán fundamentales para la propuesta de iluminación.

Es de vital importancia que los aeropuertos cuenten con un diseño de iluminación adecuado para garantizar confiabilidad y seguridad aeroportuaria, a través de la descripción detallada de los aspectos críticos de la iluminación y su relación con la seguridad y las tareas visuales.

Se desarrollará una propuesta que se ajuste a los requerimientos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y las normas sobre aeropuertos adoptadas en el RAC 14, mediante Resolución N° 01092 del 13 de marzo de 2007, publicada en el Diario Oficial Número 46.591 del 04 de abril de 2007, que fue incorporado a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia - RAC.

Adicionalmente en el trabajo se hace un análisis técnico y económico, para seleccionar una propuesta adecuada que se ajuste a las necesidades y presupuesto, de los aeropuertos nacionales. La propuesta contempla aspectos críticos de la iluminación, como la confiabilidad, la eficiencia energética de las luminarias, su durabilidad, mantenimiento, su capacidad para proporcionar una iluminación adecuada en las áreas exteriores del aeropuerto y su disposición para cumplir con las normas y regulaciones de seguridad.

1. Descripción del diseño

1.1 Planteamiento del problema

La parametrización normativa y reglamentaria de la iluminación en las pistas de aterrizaje en los aeropuertos, se ha encontrado apartado de la reglamentación de iluminación RETILAP y NTC, siendo potestad de la Aerocivil, por lo cual se presenta una problemática con respecto a la caracterización, aplicación y supervisión de la iluminación en pistas, generando complejidad en identificar normas, productos, y la selección de la iluminación aeroportuaria en pistas.

Actualmente los contenidos de las diferentes reglamentaciones de RETILAP y NTC, no tratan la iluminación en pistas, excluyendo este alcance.

A partir de los reglamentos de iluminación RETILAP y NTC, se relacionan los siguientes artículos del alcance en pistas de aeropuertos:

- **RETILAP Resolución No.180540 de marzo 30 de 2010:** No incluye este alcance.
- **RETILAP BORRADOR (No ha sido reglamentado):**

En el siguiente artículo del borrador de RETILAP, se ocupa solamente de las luminarias de balizaje y sistema de señalización de pistas, lo cual no incluye las ayudas visuales y sus sistemas de iluminación. (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

“Artículo 2.5.4. Luminarias para balizaje en aeropuertos (Sistemas de señalización de pistas). Todas las luminarias para balizaje en aeropuertos deben cumplir los requisitos generales para productos de iluminación de exteriores. Además, los siguientes requisitos específicos: Verificar cumplimiento de todos los requisitos que requiera la OACI Doc. 9157 manual de diseño de aeródromos: parte 4 ayudas visuales.”

“Artículo 3.3.1.2. Zonas críticas - Incluye cruces vehiculares, glorietas, sobre puentes y bajo puentes.”

Área vehicular en fila de espera (p.ej. Aeropuertos, terminales de transporte, estaciones de metro, entre otros)		C0
Clase C	Iluminancia Promedio en toda la superficie (luxes)	Uniformidad general Uo
C0	50	0,4

Tabla 1. Requisitos Fotométricos para áreas críticas - Borrador RETILAP Borrador

En el siguiente artículo del borrador de RETILAP, precisa cuales instalaciones requieren certificación plena. Debido a ello es importante conocer los requerimientos que le aplican para el diseño y la instalación de la iluminación para un aeropuerto.

“Artículo 4.3.4. Instalaciones que requieren Certificación Plena. 9) Infraestructura urbana de movilidad. (aeropuertos)”

- **“NTC 6519-2:2021. En su objeto no considera requisitos de iluminación para zonas exteriores de aeropuertos. Como lo indica en la NTC 6519-2:2021 – en el numeral. 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN. Este documento normativo no establece requisitos de iluminación para el espacio público. Tampoco considera requisitos de iluminación para pistas, calles de rodaje y plataformas de aeropuertos y aeródromos. (Icontec, 2021)”**

Adicionalmente, la prestación del servicio de iluminación ha presentado fallas en el último año, generando inseguridad y afectando la operación de la iluminación de las pistas y zonas exteriores en algunos aeropuertos del país. En el año 2022, entre los meses de noviembre y diciembre, se reportaron múltiples cancelaciones y demoras de vuelos debido a la falta de suministro de energía generando deficiencias en la prestación de iluminación en las pistas de los aeropuertos de Riohacha, Cartagena, Valledupar, Guajira, entre otros. Esta situación es preocupante, ya que no solo afecta la movilidad de las personas y los vuelos, sino que también pone en riesgo la seguridad de los pasajeros, teniendo que cancelar vuelos, realizar desvíos e incluso sobrevuelos.

Como veremos a continuación durante los meses de noviembre y diciembre del año 2022, reportaron las siguientes noticias:

NOTICIAS: *Aeropuertos nacionales presentan déficit en la iluminación en pistas.*

- *Cancelan vuelos hacia Bogotá por falta de luces en aeropuerto de Riohacha - 02/12/2022. (LGH, Mientras aerolínea reprograma vuelo, Aeronáutica Civil y gobiernos de La Guajira guardan silencio, 2022)*
- *El aeropuerto de Cartagena está colapsado, no hay luz en la pista y los vuelos están demorados - 14/11/2022. (Semana, 2022)*
- *Atención: avión que viajaba de Bogotá fue desviado por falla en aeropuerto - Valledupar - 20/12/2022. (TIEMPO, Atención: avión que viajaba de Bogotá fue desviado por falla en aeropuerto, 2022)*
- *Mientras la aerolínea reprograma vuelo aeronáutico civil y gobiernos de la Guajira guardan silencio - 05/12/2022. (MEJÍA, 2022)*

1.2 Objetivo

Diseñar un sistema de iluminación, en las pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y estacionamiento de aeronaves y sus requisitos mínimos para un aeropuerto Nacional.

Aeropuerto seleccionado

Tipo de Aeropuerto: Nacional Comercial ubicados en ciudades colombianas.

Características del aeropuerto Nacional a diseñar:

- Recorrido de despegue disponible (TORA): 2,2 km.
- Ancho de pista: 45 m.
- Cuenta con:
 - Calle de Rodaje.
 - Estacionamiento de aeronaves: Plataforma
- Clave de referencia del aeropuerto: 4D.
- RVR: 1500 m – Aterrizaje visual



Figura 1. Ejemplo de aeropuerto Nacional Comercial - Actualización del Plan Maestro de Aeropuerto Alfonso López Pumarejo (Valledupar) (Nororient, 2020)

En la figura 2, se muestra una distribución de aeropuerto convencional, donde cuenta con un carril de rodaje.

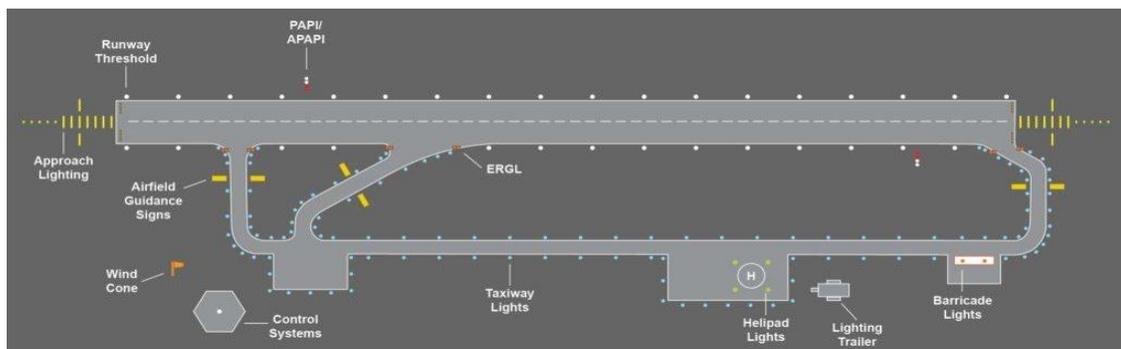


Figura 2. Aeropuerto convencional pequeño 1 pista. (S4GA, S4GA)

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Num. de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal ^a
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

a. Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Tabla 2. Clave de referencia de aeródromo – Tomado de OACI Doc. 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Tabla 1-1

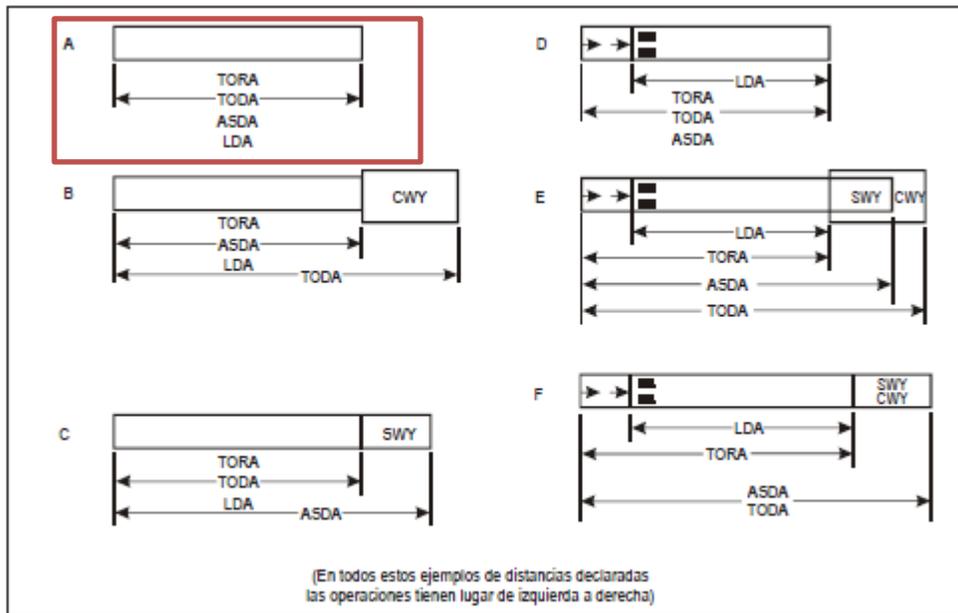


Figura 3. Ilustración de distancias declaradas - Tomado de OACI Doc. 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Figura 3-1.

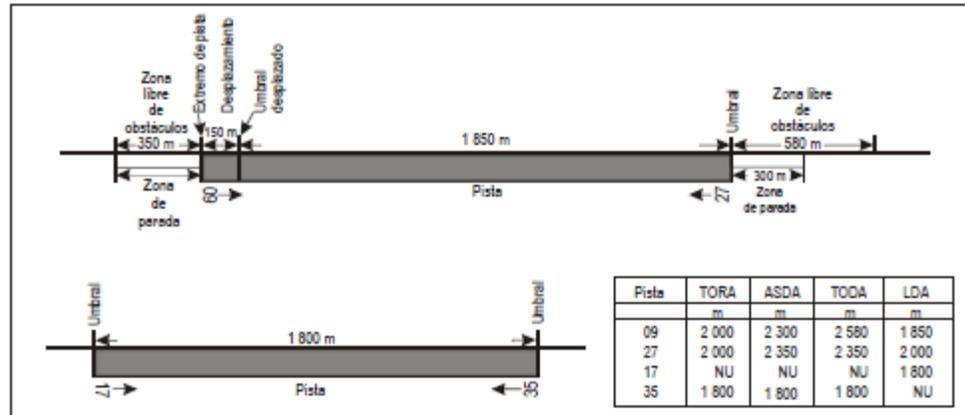


Figura 4. Determinación de las distancias declaradas - Tomado de OACI Doc 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Figura 3-2.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de iluminación, en las pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje y estacionamiento de aeronaves y sus requisitos mínimos para un aeropuerto Nacional, con las características descritas en el numeral 1.2. Objeto, del presente trabajo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar la iluminación de un aeropuerto Nacional para las áreas de: pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje, iluminación de aproximación de las pistas y demás zonas exteriores, basado en los referentes normativos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y del documento 9157 - Manual de diseño de aeródromos, y la IES RP-37-15 Outdoor Lighting for Airport Environments.
- ✓ Evaluar técnica y económicamente la alternativa de diseño más adecuada para la tarea visual de pilotos y controladores aéreos.

1.3 Justificación

A la luz de la reglamentación técnica de iluminación vigente colombiana RETILAP, no precisa requerimientos de iluminación para aeropuertos. Para ello se establece la necesidad de profundizar en la iluminación aeroportuaria, debido a la importancia de garantizar la seguridad de los vuelos, brindando una visibilidad adecuada para los pilotos durante las operaciones de aterrizaje, despegue, rodaje y parqueo en las plataformas. Siendo esencial la iluminación para la seguridad de los pasajeros y el personal en tierra de los aeropuertos, proporcionando un ambiente seguro y bien iluminado para transitar. Además, una correcta selección de las fuentes y diseño de la iluminación permite mejorar la seguridad, eficiencia y capacidad del aeropuerto, esto permite a los aeropuertos tener un horario más extendido en su operación permitiendo que los vuelos operen durante los horarios nocturnos, evitando: cancelaciones, sobrevuelos y riesgos inherentes a la operación del aeropuerto y las condiciones climáticas de la ubicación del aeropuerto.

Para ello es esencial describir los aspectos críticos de la iluminación y su relación con la seguridad y las tareas visuales, basándose en los requerimientos de Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO), plasmados en el anexo 14 y los documentos con numeración 9157, y acogiendo a los reglamentos sobre aeropuertos adoptado en el RAC 14, que fue incorporado a los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia - RAC-.

Adicionalmente, sin dejar a un lado las fallas en la prestación de iluminación presentes en algunos aeropuertos nacionales, que se han presentado en el año 2022 en los aeropuertos colombianos, se plantea una solución de iluminación, considerando la flexibilidad y escalabilidad, teniendo en cuenta las necesidades y las regulaciones que le apliquen al aeropuerto.

1.4 Limitaciones

1.4.1 Limitaciones

Debido a la complejidad y especialidad de la instalación, el área aeroportuaria dentro de sus requerimientos de seguridad y normativos contemplan una gran cantidad de retos y limitantes que repercuten en la toma de decisiones para el diseño y selección de iluminación para las pistas del aeropuerto, teniendo como desafíos:

Documentación guía de diseño: Se actualizan continuamente presentando gran cantidad de ediciones, representado limitantes técnicos, cambios en manuales y guías, digitación y actualización de reglamentos.

Reglamento: Las normas internacionales y nacionales son de carácter de referencia o recomendaciones técnicas. No es un deber el uso de todos los tipos de iluminación en pista. Quedando como potestad de la selección de la iluminación a La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, por lo tanto, la infraestructura dependerá de cada uno de los aeropuertos que sea caracterizado de manera independiente.

Planos y diseños: Contar con información de las instalaciones eléctricas y diseños de aeropuertos, representa un reto, debido a la seguridad de la información, no es una instalación que preste dichos documentos. También se presenta que al ser instalaciones con años de antigüedad no cuenten con dichos diseños actualizados. Debido a ello se contempla en el diseño realizar un aeropuerto con características descritas en el objeto de este trabajo. Se realizará el diseño desde cero con proporciones y medidas típicas de un aeropuerto Nacional, que contemple una longitud y ancho de pista.

Información técnica y presupuesto: Son barreras para un diseño, puesto que los fabricantes de las luminarias solicitan documentación y referencia del aeropuerto necesita de la iluminación, junto a la licitación. Por ello no son públicos sus precios y fotometrías, necesarios para el diseño.

2. Marco Teórico

La iluminación en aeropuertos es un aspecto clave para garantizar la seguridad de los pasajeros y la tripulación del avión, incluyendo el correcto funcionamiento de las operaciones aéreas. Por lo tanto, es fundamental que se sigan ciertas normas y recomendaciones en cuanto a niveles de iluminación, uniformidad, distribución, temperatura de color y otras características.

Las normas establecen los requerimientos de iluminación necesarios para las diferentes áreas del aeropuerto, tales como pistas de aterrizaje, calles de rodaje, zonas de estacionamiento de aeronaves, áreas de carga, terminales de pasajeros, entre otras. También se establecen los niveles de iluminación adecuados para garantizar la seguridad en las operaciones aéreas, teniendo en cuenta factores como la velocidad de los aviones, la distancia de frenado, la capacidad de observación de los pilotos, entre otros.

Por otro lado, la temperatura de color y el color de la luminaria es otro aspecto importante para tener en cuenta en la iluminación de aeropuertos, ya que puede afectar la percepción de la visibilidad en general. Por lo tanto, se deben utilizar fuentes de luz que cumplan con los requisitos establecidos en los reglamentos.

2.1 Antecedentes

La iluminación aeroportuaria en Colombia ha evolucionado significativamente a lo largo de los años, pasando de sistemas rudimentarios a tecnologías modernas y eficientes que mejoran la seguridad y eficacia de los aeropuertos del país.

Según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia (2021), la historia de la iluminación aeroportuaria en Colombia se remonta a la década de 1950, cuando se implementaron sistemas de balizamiento y alumbrado de pistas básicos en algunos aeropuertos del país. Sin embargo, la mayoría de los aeropuertos no contaban con iluminación nocturna, lo que limitaba sus operaciones a las horas del día.

En la década de 1970, con la apertura del aeropuerto internacional El Dorado en Bogotá, se implementó un sistema de iluminación avanzado, que permitió operaciones nocturnas y mejoró significativamente la seguridad del aeropuerto. (INVIAS, 2021)

En las décadas siguientes, se continuó mejorando y actualizando la iluminación aeroportuaria en Colombia. En 1996, se implementó el sistema Precision Approach Path Indicator (PAPI) en el aeropuerto Rafael Núñez de Cartagena, lo que permitió a los pilotos tener una mejor visibilidad y precisión durante el aterrizaje. (Ceron, 2006)

En la actualidad, los aeropuertos de Colombia cuentan con sistemas de iluminación avanzados, incluyendo tecnologías como el sistema de aterrizaje instrumental (ILS), que permite a los aviones aterrizar en condiciones de baja visibilidad, y el sistema de luces de

borde de pista (runway edge lights), que proporciona una guía visual para los pilotos durante el despegue y el aterrizaje. (INVIAS, 2021)

2.2 Marco legal y normativo

La iluminación aeroportuaria colombiana se rige por la ley 12 de 1947, por la cual se aprueba la Convención sobre Aviación Civil Internacional, firmada en Chicago el 7 de diciembre de 1944, en su artículo 37 de la presente ley, Adopción de normas y procedimientos internacionales. *“Los Estados contratantes se comprometen a colaborar a fin de lograr el más alto grado de uniformidad en reglamentos, normas, procedimientos y organización relacionados con las aeronaves, personal, rutas aéreas y servicios auxiliares en todas las materias en que la uniformidad facilite y mejore la navegación aérea. Para este fin, el Organismo Internacional de Aviación Civil adoptará y enmendará en su oportunidad, según sea necesario, las normas internacionales y procedimientos que se recomienden en relación con los puntos siguientes: (a) Sistemas de comunicación y ayudas para la navegación aérea, incluso distintivos en tierra. (b) Características de aeropuertos y zonas de aterrizaje.”*

En la Convención sobre Aviación Civil Internacional, se encuentra un gran número de reglamentaciones enfocadas a describir y normalizar los servicios auxiliares, en este caso la iluminación aeroportuaria presenta gran importancia y especificidad de la ubicación, tipo, mantenimiento y uso de las luminarias según el área a señalar. La Organización de Aviación Civil Internacional OACI, contempla dos documentos importantes que relacionan las especificaciones técnicas:

El primer documento consiste en el Annex 14, to the Convention on International Civil Aviation, Aerodrome Design and Operations, For information regarding the applicability of the Standards and Recommended.

El segundo documento de la OACI son los Doc 9157, también conocido como "Manual de diseño de aeropuertos", es una guía de referencia para el diseño y la planificación de aeropuertos en todo el mundo. El manual proporciona una amplia gama de información técnica y de planificación para el diseño de aeropuertos, incluyendo las características del sitio, las instalaciones aeroportuarias, los procedimientos de seguridad y la planificación del espacio aéreo.

Como lo indica en la introducción del Doc 9157, Manual de diseño de aeropuertos, *“INTRODUCCIÓN - El presente capítulo tiene por objeto proporcionar al personal técnico una idea general del modo por el que el piloto al mando utiliza y depende de las ayudas y referencias visuales para realizar la aproximación, el aterrizaje y las operaciones en la superficie de los aeropuertos. La información proporcionada se presenta solamente a título de ilustración y no implica necesariamente que la OACI haya aprobado o dado su apoyo a los métodos y procedimientos operacionales descritos. Respecto a los procedimientos y métodos operacionales detallados que actualmente están en vigor, deben consultarse los documentos pertinentes en materia de operaciones. “*

Por otro lado, el Anexo 14 de la OACI, también conocido como "*Normas y métodos recomendados para los aeropuertos*", es un conjunto de normas y recomendaciones internacionales para la construcción y operación de aeropuertos. El Anexo 14 cubre una amplia gama de temas, incluyendo las características físicas del aeropuerto, la seguridad operacional, la gestión ambiental, la gestión de la seguridad, los servicios de emergencia, los sistemas de navegación y los procedimientos de operación.

En síntesis, el manual de diseño de aeropuertos (OACI 9157) proporciona orientación técnica y planificación para la construcción y diseño de aeropuertos, mientras que el Anexo 14 de la OACI establece normas y recomendaciones internacionales para la construcción y operación de aeropuertos. Ambos documentos son importantes para garantizar la seguridad y la selección de iluminación de los aeropuertos en todo el mundo.

Los requerimientos normativos de iluminación de zonas exteriores de un aeropuerto se expresan con más claridad en la IES-37-20, el cual es de carácter obligatorio, sin embargo, en este describe las prácticas recomendadas para las zonas exteriores el cual no incluye áreas de pistas.

Se relacionan el marco legal de cada las áreas correspondientes:

2.2.1 Ley Colombiana

Ley 12 de 1947. Por la cual se aprueba la Convención sobre Aviación Civil Internacional, firmada en Chicago el 7 de diciembre de 1944. ARTICULO 37. Adopción de normas y procedimientos internacionales.

2.2.2 Reglamentos aeronáuticos de Colombia

En los reglamentos aeronáuticos de Colombia RAC, RAC 14, se considera:

En ejercicio de sus facultades legales y reglamentarias en especial las que le confieren los artículos 1782 y 1815 del Código de Comercio, el artículo 48 inciso segundo de la Ley 105 de 1993, el artículo 7, numerales 7 y 8, y el artículo 8 numeral 5 del Decreto 1294 del 14 de octubre de 2021.

Que, en aplicación de los artículos 28 y 37 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, cada Estado se comprometen a proveer en su territorio aeropuertos y otras instalaciones y servicios para la navegación-aérea con arreglo a las normas y procedimientos que se recomienden o establezcan de conformidad con dicho Convenio.

Que, el volumen 1 del Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, contiene normas y prácticas recomendadas -SARPS- relativos al diseño y explotación de aeródromos.

Que, la responsabilidad de garantizar la seguridad, regularidad y eficiencia de las operaciones de aeronaves en los aeródromos bajo su respectiva jurisdicción corresponde a cada Estado.

Que es necesario mantener armonizados los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia, con las normas y procedimientos internacionales adoptado por la OACI.

2.2.3 Organización de aviación civil internacional – OACI

La OACI tiene como objetivos estratégicos formular las normas y reglamentos necesarios para garantizar la seguridad operacional, protección, eficiencia de las operaciones aéreas civiles, así como la protección del medio ambiente. (Cancillería)

El Consejo de la OACI es un órgano permanente de la organización, que tiene como principales funciones adoptar las normas y métodos recomendados (SARPs) que constituyen la base del desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil internacional. (Cancillería)

Los métodos recomendados por el “Standards And Recommended Practices” (SARPs), son especificaciones técnicas adoptadas por los estados que acordaron "comprometerse a colaborar para lograr la uniformidad. (Milde, 2008).

Las normas y métodos recomendados SARPs entre sus documentos de vigilancia se encuentran un gran número de anexos y documentos de todos los temas concernientes a los aeropuertos, entre ellos los documentos relevantes son: Anexo 14 Aeródromos y el Manual de diseño de aeródromos (Doc 9157).

2.3 Requerimientos normativos

Se han desarrollado una gran cantidad de documentos y guías que abordan diferentes aspectos del diseño de iluminación de aeropuertos, incluyendo la iluminación de pistas de aterrizaje, rodajes, plataformas y otras áreas de operación. Estos documentos incluyen especificaciones técnicas detalladas, recomendaciones y directrices para la selección, instalación y mantenimiento de los sistemas de iluminación en aeropuertos.

La complejidad de estos documentos y la cantidad de información que contienen puede hacer que el conocimiento en iluminación de aeropuertos sea bastante técnico y especializado. Por lo tanto, es esencial que los diseñadores de iluminación y los ingenieros aeronáuticos involucrados en el diseño de aeropuertos estén familiarizados con estos documentos para garantizar que los sistemas de iluminación cumplan con los estándares y requisitos de seguridad establecidos por la OACI o norma de referencia del diseño.

De esta manera en el diseño del presente trabajo se contemplan los siguientes referentes normativos.

2.3.1 Reglamento OACI Anexo 14 – RAC 14

Ámbito de aplicación

El RAC 14, desarrolla los principios contenidos en el Capítulo V de la Parte Segunda, Libro Quinto, del Código de Comercio estableciendo los requisitos y demás exigencias o condiciones técnicas que deben cumplir todos los aeródromos, aeropuertos y helipuertos abiertos a la operación pública y privada en la República de Colombia. (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022, Abril)

La seguridad, especialmente la relacionada con la protección de los usuarios, constituye prioridad esencial en la actividad del Sector y del Sistema de Transporte por ende los explotadores de aeródromos son responsables de los daños que cause la operación de los aeródromos, aeropuertos y helipuertos.

El alcance del RAC 14 cubre todas las especificaciones pertinentes establecidas mediante el marco normativo aplicable al aeródromo, aceptable a la UAEAC e incluye, como mínimo, los siguientes aspectos:

Cumplimiento de la infraestructura del aeródromo respecto de los reglamentos aplicables a las operaciones que el aeródromo prevé proporcionar, Procedimientos operacionales y su aplicación permanente, datos y presentación de informes del aeródromo, mantenimiento del área de movimiento, ayudas visuales y sistemas eléctricos del aeródromo, seguridad operacional durante obras en el aeródromo, seguridad operacional en la plataforma; operaciones con visibilidad reducida.

2.3.2 Manual de diseño de aeródromos OACI – Documento 9157

Los Documentos 9157 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) son una serie de publicaciones que se centran en la planificación, diseño y operación de aeropuertos. Estos documentos son de gran importancia para la industria de la aviación, ya que proporcionan un conjunto de estándares y directrices que deben seguirse para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones aeroportuarias en todo el mundo.

La serie de documentos 9157 de la OACI está compuesta por varios volúmenes, cada uno de los cuales aborda un aspecto específico de la planificación y diseño de aeropuertos. Algunos de los temas que se cubren incluyen la planificación del espacio aéreo, la construcción y mantenimiento de pistas y calles de rodaje, la iluminación y señalización de las instalaciones, y la gestión de emergencias.

Además, estos documentos también son una herramienta valiosa para los profesionales involucrados en la gestión y operación de aeropuertos, ya que ofrecen orientación detallada sobre los procedimientos y prácticas recomendadas para garantizar una operación aeroportuaria segura y eficiente.

Volúmenes de los documentos OACI 9157 Manual de aeródromos:

Parte 1: Pistas

Se refiere a la planificación y evaluación de necesidades de un aeropuerto. Incluye la identificación de requisitos de infraestructura y servicios, la evaluación de la capacidad y la demanda, y la planificación de la zona de protección del aeropuerto.

Parte 2: Calles de rodaje, plataformas y bahías de espera

Se refiere al diseño físico de un aeropuerto, incluyendo la ubicación de pistas, calles de rodaje, áreas de estacionamiento de aeronaves, edificios terminales y otras instalaciones. También se aborda el diseño de los sistemas de iluminación, drenaje, abastecimiento de agua, energía eléctrica, telecomunicaciones y seguridad.

Parte 3: Pavimentos

Se refiere a la construcción de aeropuertos, incluyendo la gestión de proyectos, la selección de contratistas y proveedores, la supervisión de la construcción y la gestión de la calidad.

Parte 4: Ayudas visuales

Se refiere a la selección y uso del equipo de apoyo en tierra, la planificación y gestión de la operación de un aeropuerto, y la gestión de la seguridad de las operaciones aeroportuarias.

Parte 5: Sistemas eléctricos

Se refiere al mantenimiento y rehabilitación de las instalaciones aeroportuarias, incluyendo el mantenimiento de las pistas, calles de rodaje, edificios y sistemas.

2.3.3 Requerimientos normativos IES RP-37-15 Outdoor Lighting for Airport Environments

La norma IES RP-37-20 es una guía publicada por la Illuminating Engineering Society (IES) que establece los requisitos mínimos para la iluminación de áreas al aire libre utilizadas del aeropuerto. Ha sido preparado como una guía para la aplicación de iluminación exterior fija en y alrededor del entorno aeroportuario con respecto a los requisitos especiales del aeropuerto.

IES RP-37-20 no brinda orientación para sistemas de iluminación aeronáutica terrestre, tales como pistas, alumbrado de calle de rodaje y de aproximación. Estas áreas están descritas en los reglamentos técnicos de la OACI.

2.4 Concepto de Visibilidad

La visibilidad es una medida de la claridad u oscuridad de la atmósfera expresada en términos de distancia. En otras palabras, con este parámetro lo que medimos, es hasta qué distancia es capaz, un observador humano de identificar un objeto que se encuentra en el horizonte. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

La visibilidad puede verse afectada debido a fenómenos de oscurecimiento de la atmósfera o debido a precipitaciones las más suelen reducir la visibilidad son: llovizna, lluvia y nieve.

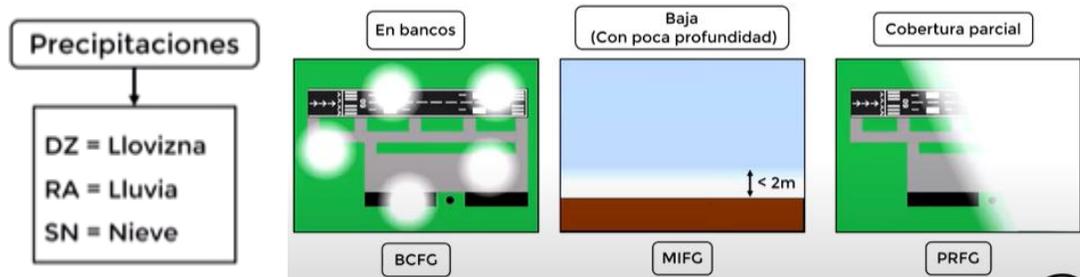


Figura 5. Tipos de precipitaciones (Aeronáutico, 21 ago 2022)

Los oscurecimientos podemos subdividirlos en dos grandes grupos dependiendo de su composición:

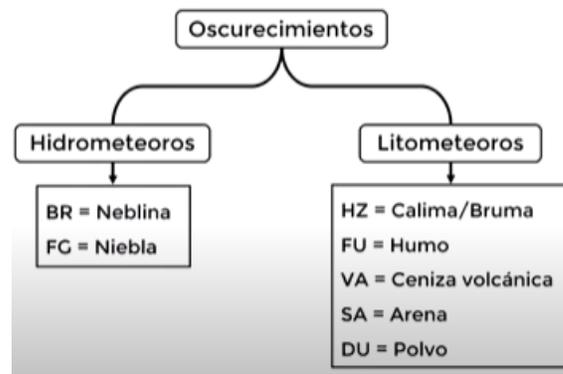


Figura 6. Oscurecimientos o bruma. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

Tipos de visibilidad en Aviación

La visibilidad meteorológica o visibilidad horizontal

- Durante el día: corresponde la distancia máxima a la cual pueda verse y reconocerse un objeto de color negro de dimensiones convenientes situado cerca del suelo y al ser observado ante un fondo brillante
- Durante la noche: corresponde a la distancia máxima a la cual puedan verse e identificarse luces de aproximadamente 1000 Candelas ante un fondo no iluminado

Cómo se mide esta visibilidad

Existen diversos tipos de instrumentos y sensores que se utilizan para medir la visibilidad, Aunque suelen ser bastante precisos tienen una gran desventaja, se miden la visibilidad en un punto concreto del aeródromo y toman como referencia un volumen de aire muy pequeño. Los Instrumentos empleados para medir la visibilidad son: Dispersómetro y Transmisómetro.

En la práctica se suelen utilizar puntos de referencia visuales que se encuentran a distancias conocidas con respecto al aeródromo para así poder medir la visibilidad en los diferentes sectores para aplicar. Esta técnica Normalmente se utiliza una carta de visibilidad que le permite al controlador u observador meteorológico determinar la distancia de ciertos objetos o puntos de referencia visuales desde el aeródromo y así obtener un valor aproximado de la visibilidad



Figura 7. Medición de visibilidad (Aeronáutico, 21 ago 2022)

Visibilidad reinante: corresponde al valor de visibilidad que prevalece en más de la mitad del horizonte es decir en más de 180° o que cubre más de la mitad del aeródromo.



Figura 8. Visibilidad Reinante. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

Visibilidad mínima sectorizada: se incluirá en los reportes la visibilidad mínima hacia alguno de los ocho sectores de la aeródromo cuando ésta sea:

- Inferior a la mitad de la visibilidad reinante o
- cuando esta sea inferior a 1500 metros.

Visibilidad en vuelo: (FV) corresponde a la visibilidad medida desde la cabina de una aeronave en vuelo de forma horizontal hacia adelante.

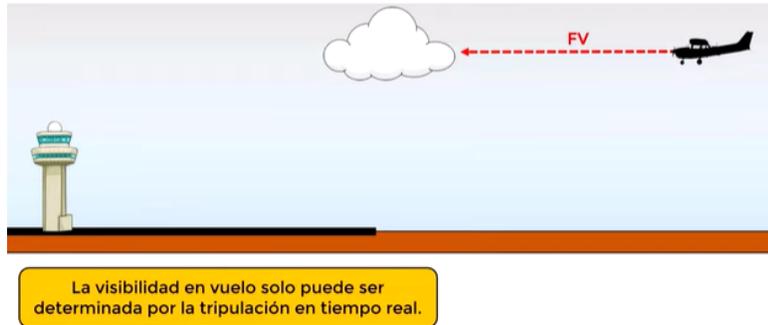


Figura 9. Visibilidad en Vuelo. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

La visibilidad oblicua: SVR esta corresponde al valor de visibilidad medido desde la ALCANCE cabina de una aeronave en vuelo de forma oblicua hacia el terreno. Es la que va a determinar qué tan lejos podemos observar un objeto o característica en el terreno mientras el piloto está en el aire

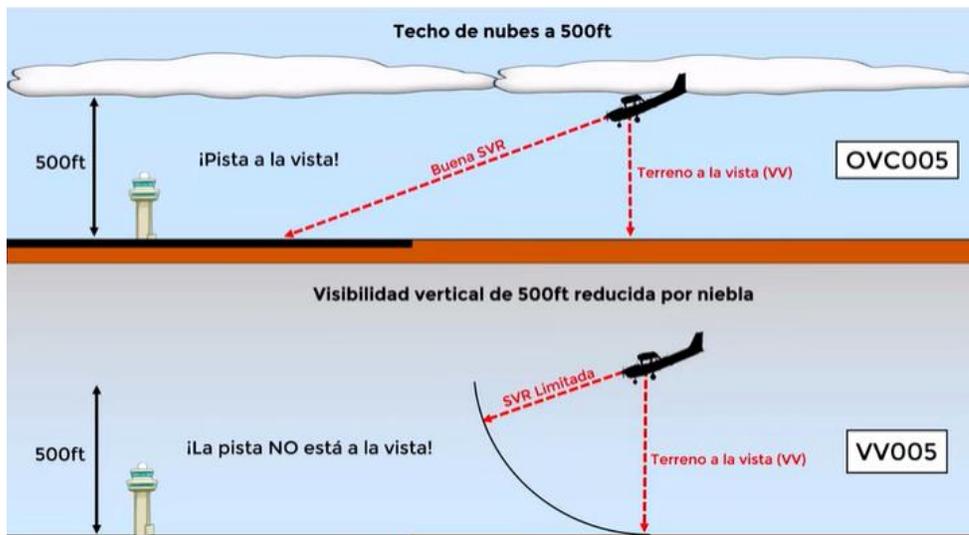


Figura 10. Visibilidad Oblicua SVR. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

El alcance visual en pista: (RVR - Runway Visual Range) Es la distancia hasta la cual el piloto de una aeronave ubicada en el eje central de la pista es capaz de distinguir las marcas o las luces que la delimitan.

También el valor del RVR puede ser determinado directamente por el piloto basándose en la distancia entre luces de pista y es que en las pistas destinadas para operación por instrumentos.

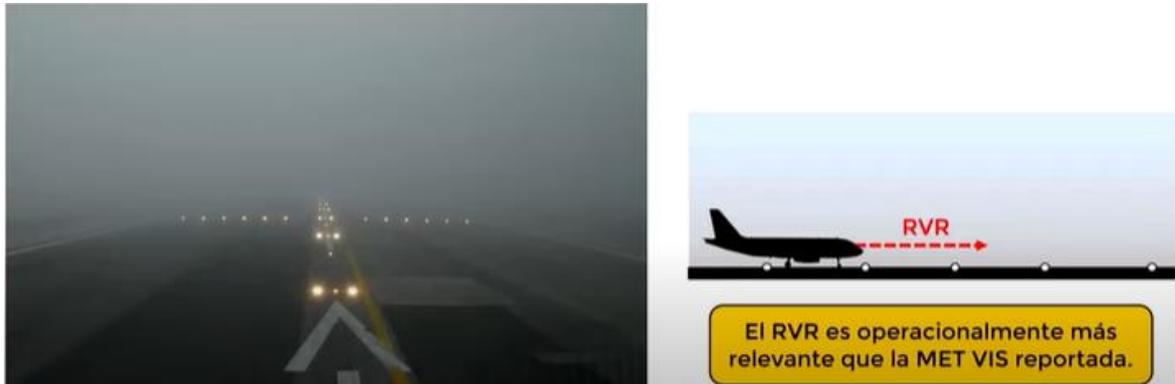


Figura 11. Alcance visual en pista – RVR. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

Sensores

Típicamente se pueden instalar hasta en tres puntos uno en la zona de toma de contacto, uno en el punto medio de la pista y otro al final de la pista de esta forma se tiene una indicación de los valores aproximados de RVR que se pueden esperar a lo largo de toda la pista lo cual resulta extremadamente útil en operaciones de baja visibilidad.

Es importante aclarar que no todos los aeropuertos y pistas cuentan con estos sensores pues éstos suelen instalarse únicamente cuando el aeropuerto cuenta con procedimientos de baja visibilidad.



Figura 12. Sensores de visibilidad. (Aeronáutico, 21 ago 2022)

SISTEMAS ILS (Instrument Landing System): Referencia: (INSTRUMENTOS)

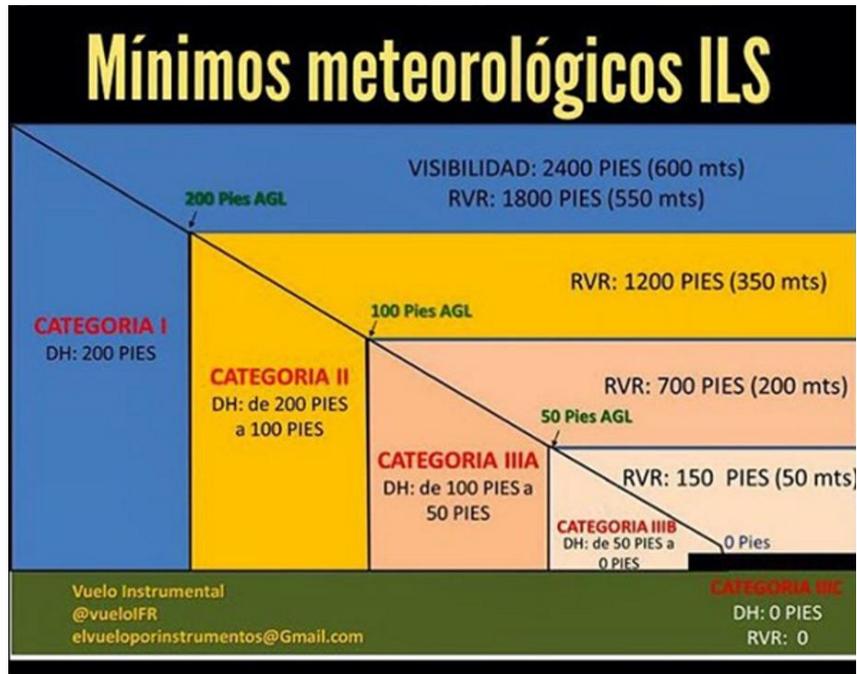


Figura 13. Sistema ILS – Instrument Landing System. (INSTRUMENTOS)

3. Selección de luminarias para aeropuertos

La selección de las luminarias para una pista de aeropuerto es un proceso importante que debe ser realizado cuidadosamente. Hay algunos factores que deben tenerse en cuenta al seleccionar las luminarias para una pista de aeropuerto:

Normas de seguridad: Las luminarias deben cumplir con las normas de seguridad de la OACI para pistas de aeropuerto. Estas normas incluyen requisitos específicos para la intensidad de la luz, el ángulo de la luz y la uniformidad de la distribución de la luz. Asegurarse de que las luminarias cumplan con estas normas es crítico para garantizar la seguridad de los vuelos.

Tipo de luminarias: Las luminarias utilizadas para las pistas de aeropuerto pueden ser de diferentes tipos, como incandescentes, halógenas y LED. Las luminarias LED son un cambio tecnológico reciente, contando con alta eficiencia energética, larga vida útil y menor mantenimiento. Es importante seleccionar un tipo de luminaria que proporcione la intensidad de luz y la uniformidad requeridas y que tenga una buena eficiencia energética.

Potencia de la luminaria: La potencia de la luminaria es importante para determinar la cantidad de luz que se emite, para proporcionar la intensidad de luz necesaria.

Diseño de la luminaria: El diseño de la luminaria también es importante para garantizar una distribución uniforme de la luz en la pista. Las luminarias deben estar diseñadas para dirigir la luz hacia la pista y evitar la emisión de luz en otras direcciones. El diseño también debe considerar la resistencia a condiciones climáticas adversas, como vientos fuertes, lluvia y nieve.

Mantenimiento: Las luminarias seleccionadas deben ser fáciles de mantener y reemplazar, ya que el mantenimiento regular es importante para garantizar la seguridad de los vuelos.

3.1 Luminarias

CARACTERIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS

En este capítulo se detallarán las luminarias empleadas en el proyecto de iluminación para cada espacio designado. Cada una de estas luminarias ha sido seleccionada según los requerimientos del reglamento aeronáutico.

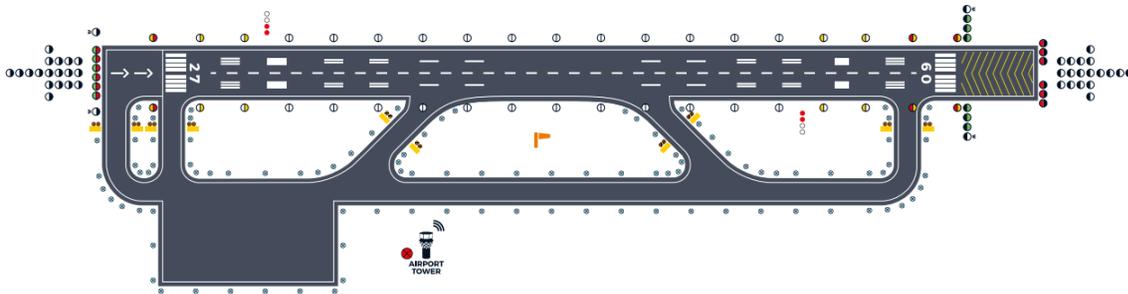


Figura 14. Ejemplo de ubicación de ayudas visuales – Tomado de (S4GA)

Las luminarias deberán contar con las siguientes características técnicas relacionadas en el anexo 14 de la OACI – RAC 14:

Especificaciones y su estándar: Las especificaciones de las luminarias serán de acuerdo con lo indicado en el Anexo 14, volumen 1 de la OACI y RAC 14 de la AEROCIVIL.

Cromaticidad: La cromaticidad de las luminarias deben seguir las ecuaciones de la CIE (ver la Figura A1-1a y A1-1b) del Anexo 14, volumen 1 – RAC 14 (Figura A1-1 y A1-2). Las figuras se encuentran en el anexo A, del presente trabajo.

Diagrama Isocandelas: Los diagramas de las luminarias deben ser de acuerdo con las Figuras A2-X de la OACI y RAC 14, describen los diagramas isocandelas de las luminarias, ver Figuras de diagramas isocandelas de las luminarias RAC 14, y en el presente capítulo.

Fuente de luz: El tipo de fuente de luz será seleccionado y asignado por la Aerocivil y el aeropuerto. El color de la fuente de luz depende del tipo de luminaria, uso y ubicación en la pista.

Figura A2-1	Eje de aproximación y barras transversales	de 1,5 a 2,0 (luz blanca)
Figura A2-2	Fila lateral de aproximación	de 0,5 a 1,0 (luz roja)
Figura A2-3	Umbral	de 1,0 a 1,5 (luz verde)
Figura A2-4	Barra de ala de umbral	de 1,0 a 1,5 (luz verde)
Figura A2-5	Zona de toma de contacto	de 0,5 a 1,0 (luz blanca)
Figura A2-6	Eje de pista (espaciado longitudinal de 30 m)	de 0,5 a 1,0 (luz blanca)
Figura A2-7	Eje de pista (espaciado longitudinal de 15 m)	de 0,5 a 1,0 para CAT III (luz blanca) de 0,25 a 0,5 para CAT I, II (luz blanca)
Figura A2-8	Extremo de pista	de 0,25 a 0,5 (luz roja)
Figura A2-9	Borde de pista (pista de 45 m de anchura)	1,0 (luz blanca)
Figura A2-10	Borde de pista (pista de 60 m de anchura)	1,0 (luz blanca)

Tabla 3. Figuras de diagramas isocandelas de luminarias (RAC 14)

Selección de luminarias

La selección de la luminaria dependerá de su ubicación en pista y así el color corresponderá a su uso el cuál posee un código correspondiente.

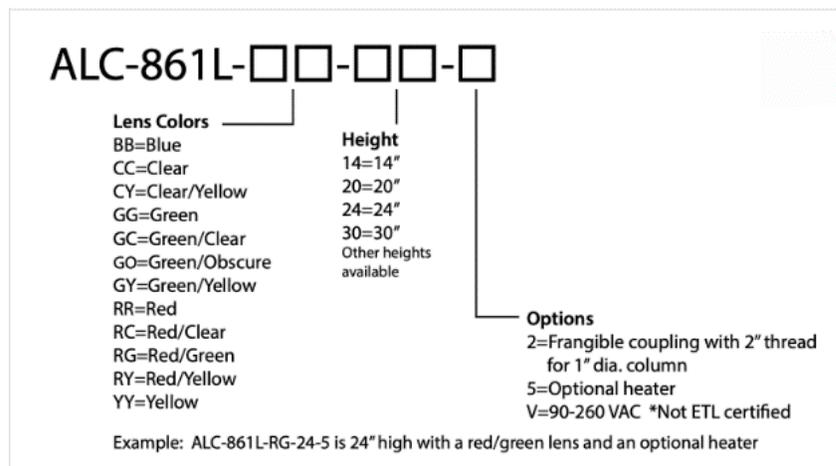


Tabla 4. Ejemplo de selección de parámetros de una luminaria elevada, (FlightLight, 2023)

Tabla 5-1. Ajustes de la intensidad luminosa en condiciones diurnas
(Luminancia de fondo = de 1 000 cd/m² a 40 000 cd/m²)

Sistema de iluminación	Alcance visual en la pista ^a o visibilidad			
	RVR ≤ 800 m (Notas b y c)	de RVR 800 m a RVR 1 500 m (Notas b y d)	de RVR 1 500 m a visibilidad 5 000 m (Nota e)	Visibilidad ≥ 5 000 m (Nota f)
Eje de aproximación y barras transversales	20 000	20 000	10 000	—
Fila lateral de aproximación	5 000	5 000 ^g	2 500 ^g	—
Zona de toma de contacto	5 000	5 000 ^{gh}	2 500 ^g	—
Eje de pista	5 000 ^h	5 000 ^g	2 500 ^g	—
Umbral y barra de ala	10 000	10 000	5 000	—
Extremo de pista	2 500	2 500	2 500	—
Borde de pista	10 000	10 000	5 000	—

Tabla 5. Ajustes de intensidad luminosa en condiciones diurnas. Tomado de Tabla 5-1 Annex 14 OACI.

Tabla 5-2. Ajustes de la intensidad luminosa en condiciones crepusculares
(Luminancia de fondo = de 15 cd/m² a 1 000 cd/m²)

Sistema de iluminación	Alcance visual en la pista ^a o visibilidad				
	RVR ≤ 800 m	de RVR 800 m a RVR 1 500 m	de RVR 1 500 m a visibilidad 5 000 m	Visibilidad 5 000 m a visibilidad 8 000 m	Visibilidad ≥ 8 000 m
Eje de aproximación y barras transversales	5 000–10 000	3 000–6 000	1 500–3 000	500–1 000	150–300
Fila lateral de aproximación	1 000–2 000	500–1 000 ^C	250–500 ^C	100–200 ^C	—
Zona de toma de contacto	1 000–2 000	500–1 000 ^C	250–500 ^C	100–200 ^C	—
Eje de pista	1 000–2 000	500–1 000 ^C	250–500 ^C	100–200 ^C	—
Umbral y barra de ala	2 500–5 000	1 500–3 000	750–1 500	250–500	75–150
Extremo de pista	2 500	1 500–2 500	750–1 500	250–500	75–150
Borde de pista	2 500–5 000	1 500–3 000	750–1 500	250–500	75–150

Tabla 6. Ajustes de intensidad luminosa en condiciones crepusculares. Tomado de Tabla 5-2. Annex 14 OACI.

3.1.1 Luminaria de Aproximación. Fotometría A2-1

Según la OACI, una luz de aproximación es un sistema luminoso utilizado para ayudar a los pilotos a realizar aterrizajes seguros durante condiciones de baja visibilidad, como niebla, neblina u oscuridad. Consiste en una serie de luces colocadas a lo largo de la trayectoria de aproximación de una pista de aterrizaje, generalmente en forma de una secuencia de luces blancas y rojas. Estas luces proporcionan una guía visual a los pilotos sobre la posición y altitud de la aeronave mientras se acerca a la pista, permitiéndoles ajustar su descenso y alineación con la pista de manera precisa y segura, garantizando así un aterrizaje exitoso.



Figura 15. Luminaria de aproximación elevada. (FlightLight, 2023)

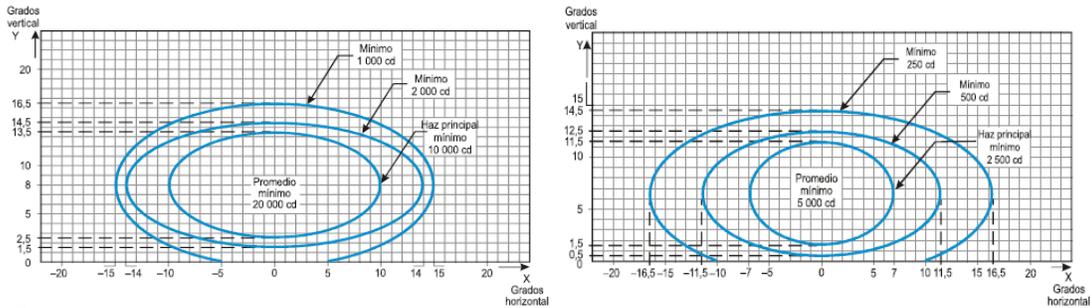


Figura 16. Diagrama de isocandelas para las luces de eje y barras transversales de aproximación (luz blanca y Roja). Figura A2-1 y A2-2. RAC 14

3.1.2 Luces de Umbral. Fotometría A2-3

Según la FAA, una luz de umbral de pista es un sistema de iluminación utilizado en aeropuertos y pistas de aterrizaje para ayudar a los pilotos durante el despegue y aterrizaje. Esta luz, ubicada en el extremo de la pista, marca el comienzo de esta y proporciona una referencia visual clara para los aviones. Su intensidad lumínica es ajustable y se configura de acuerdo con las condiciones climáticas y la visibilidad, permitiendo a los pilotos identificar con precisión el punto de inicio de la pista. (Fuente: Federal Aviation Administration, "Airport Lighting Equipment Certification Guide," FAA Order 6850.15C, 2012).

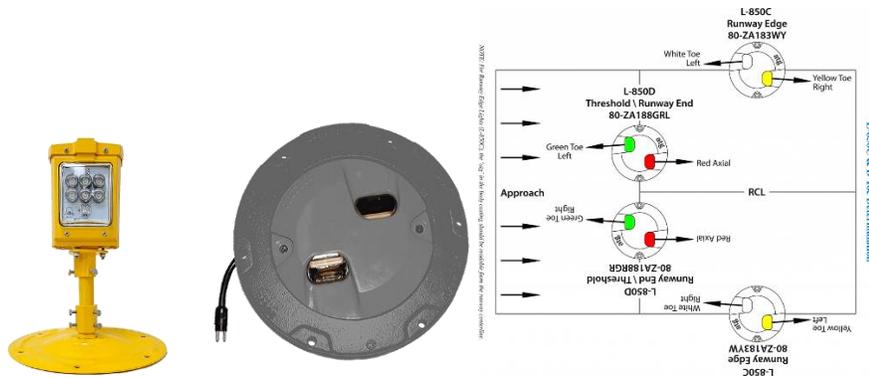
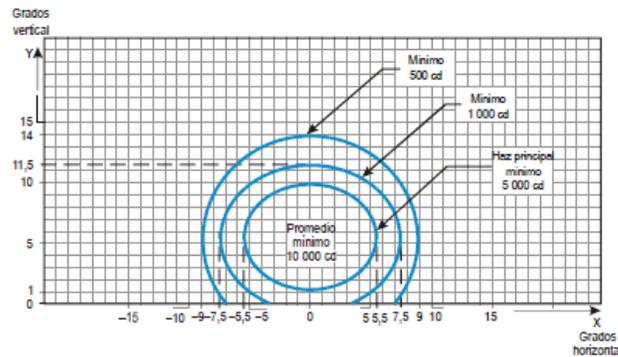


Figura 17. Luminaria de Umbral de alta intensidad elevada y empotrada. (FlightLight, 2023)



Notas:

1. Curvas calculadas según la fórmula $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
2. Convergencia de 3,5°
3. Véanse las notas comunes a las Figuras A2-1 a A2-11 y A2-26.

a	5,5	7,5	9,0
b	4,5	6,0	8,5

Figura A2-3. Diagrama de isocandelas para las luces de umbral (luz verde)

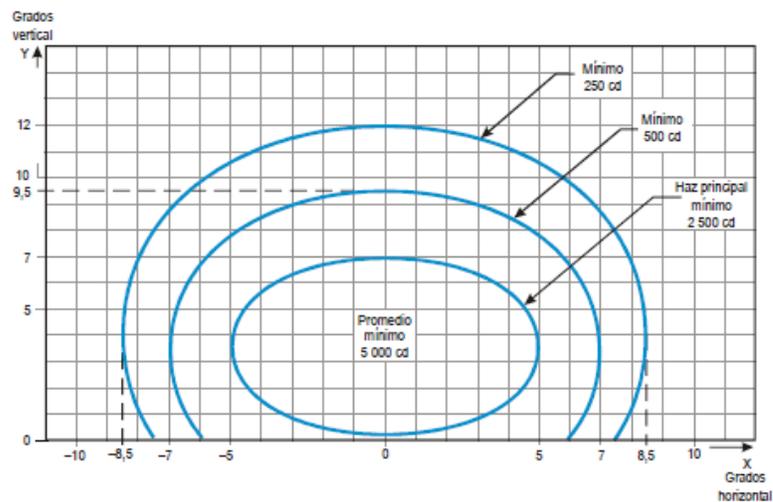
Figura 18. Diagrama de isocandelas para las luces de umbral (luz verde). Figura A2-3. RAC 14

3.1.3 Eje de pista (Espacio longitudinal de 30 m). A2-6

Una luz de Eje de pista es un dispositivo utilizado en la aviación para proporcionar orientación visual a los pilotos durante el despegue, el aterrizaje y el rodaje de una aeronave. Se instala a lo largo del eje de la pista y emite una luz de color blanco que ayuda a los pilotos a mantenerse en la trayectoria correcta durante las operaciones en tierra. Estas luces son esenciales para asegurar la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas. Fuente: Federal Aviation Administration (FAA) - <https://www.faa.gov/>



Figura 19. Luminaria de Eje de pista empotrada. (FlightLight, 2023)



Notas:

1. Curvas calculadas según la fórmula $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
2. Para las luces rojas, multiplíquense los valores por 0,15.
3. Para las luces amarillas, multiplíquense los valores por 0,40.
4. Véanse las notas comunes a las Figuras A2-1 a A2-11 y A2-26.

a	5,0	7,0	8,5
b	3,5	6,0	8,5

Figura A2-6. Diagrama de isocandelas para las luces de eje de pista con espaciado longitudinal de 30 m (luz blanca) y luces indicadoras de calle de salida rápida (luz amarilla)

Figura 20. Diagrama de isocandelas para las luces de eje de pista con espaciado longitudinal de 30 m (luz blanca). Figura A2-6. RAC 14

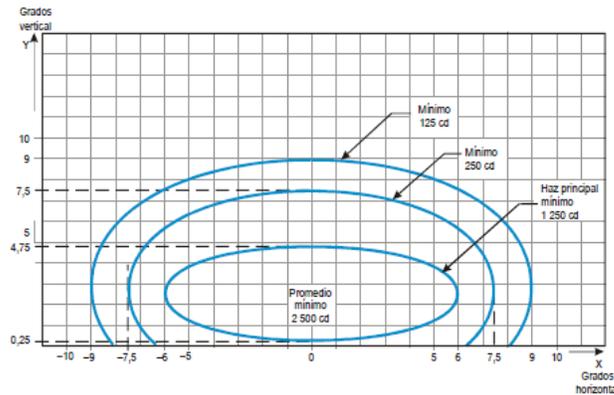
3.1.4 Extremo de pista A2-8

Una luz de extremo de pista es un dispositivo de iluminación utilizado en aeropuertos y pistas de aterrizaje para proporcionar orientación visual a los pilotos durante las operaciones nocturnas o con condiciones de baja visibilidad. Estas luces, generalmente ubicadas en los extremos de las pistas, emiten una luz intensa y direccionada que indica claramente el límite de la pista para los aviones en aproximación o despegue. Además de mejorar la seguridad, también ayudan a los pilotos a alinear correctamente la aeronave durante el aterrizaje. Estas luces pueden ser de diferentes colores, siendo el verde comúnmente utilizado en el extremo de la pista en dirección a la aproximación y el rojo en el extremo de despegue. La normativa y estándares para estas luces se encuentran especificados por organismos como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos.

"Manual de diseño de aeródromos" de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), Capítulo 5.



Figura 21. Luminarias de Borde de pista elevada. (FlightLight, 2023)



Notas:

1. Curvas calculadas según la fórmula $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
2. Véanse las notas comunes a las Figuras A2-1 a A2-11 y A2-26.

a	6,0	7,5	9,0
b	2,25	5,0	6,5

Figura A2-8. Diagrama de isocandelas para las luces de extremo de pista (luz roja)

Figura 22. Diagrama de isocandelas para las luces de extremo de pista (luz roja). Figura A2-8. RAC 14

3.1.5 Borde de pista (Espacio longitudinal de 30 m). A2-9

Una luz de borde de pista es un tipo de iluminación instalada a lo largo de los bordes de una pista de aterrizaje o despegue en un aeropuerto. Estas luces, generalmente de color blanco, proporcionan una referencia visual clara y definida para los pilotos durante las operaciones nocturnas o con poca visibilidad, permitiéndoles mantener la trayectoria correcta de la aeronave. Según la Federal Aviation Administration (FAA) de Estados Unidos, las luces de borde de pista son parte del sistema de iluminación de superficie y ayudan a los pilotos a determinar la posición y el límite de la pista, mejorando así la seguridad en las operaciones aéreas (Fuente: Federal Aviation Administration, "Airport Design", 2012).

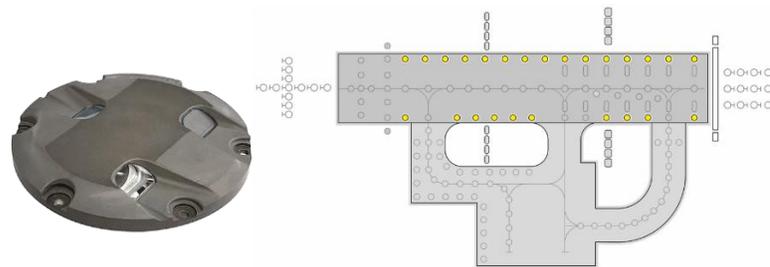
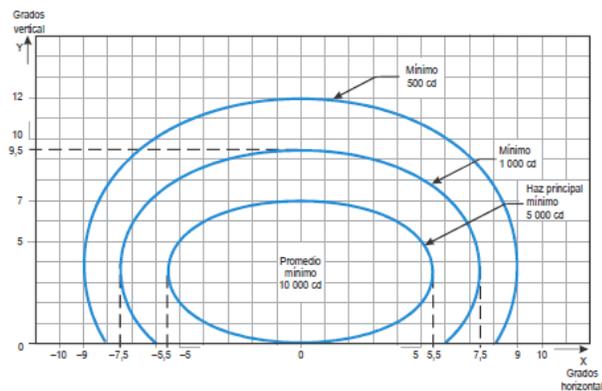


Figura 23. Luminaria de Borde de pista empotrada. (FlightLight, 2023)



Notas:

1. Curvas calculadas según la fórmula $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
2. Convergencia de 3,5°
3. Para las luces rojas, multiplíquense los valores por 0,15.
4. Para las luces amarillas, multiplíquense los valores por 0,40.
5. Véanse las notas comunes a las Figuras A2-1 a A2-11 y A2-26.

a	5,5	7,5	9,0
b	3,5	6,0	8,5

Figura A2-9. Diagrama de isocandelas para las luces de borde de pista cuando la anchura de la pista es de 45 m (luz blanca)

Figura 24. Diagrama de isocandelas para las luces de borde de pista cuando la anchura de la pista es de 45 m (luz blanca). Figura A2-9. RAC 14

3.1.6 PAPI - Indicador de Trayectoria de Aproximación de Precisión (Precision Approach Path Indicator). A2-23

Una luminaria PAPI (Precision Approach Path Indicator, por sus siglas en inglés) es un sistema de luces de aviación utilizado para guiar a los pilotos durante el proceso de aproximación y aterrizaje en una pista de aterrizaje. Consiste en una serie de luces colocadas en el lateral de la pista que emiten luz blanca o roja en función del ángulo de descenso apropiado. El piloto debe mantener las luces blancas visibles y las rojas ocultas para mantener una trayectoria de aproximación correcta. Esta ayuda visual proporciona una indicación precisa del ángulo de descenso óptimo y ayuda a los pilotos a aterrizar de manera segura. Fuente: "ICAO Annex 14, Aerodromes – Volume I: Aerodrome Design and Operations, 7th edition"

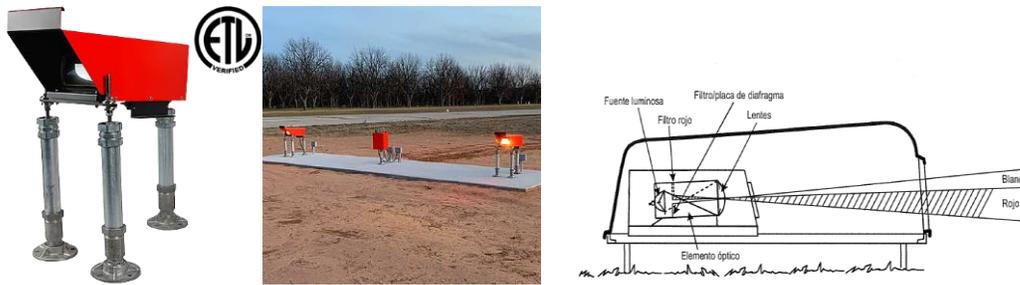
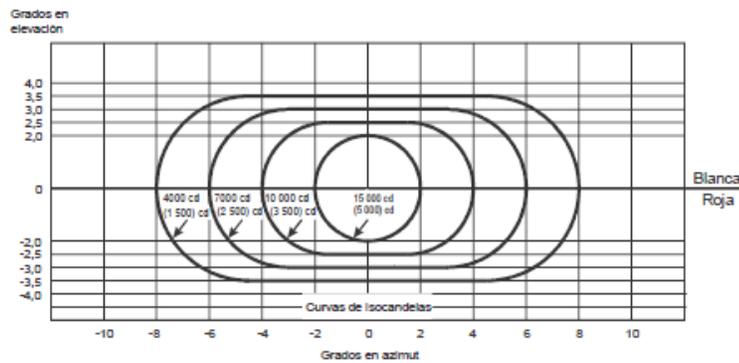


Figura 25. Luminaria de PAPI - Indicador de Trayectoria de Aproximación de Precisión. (FlightLight, 2023)



Notas:

1. Estas curvas se refieren a las intensidades mínimas de la luz roja.
2. El valor de la intensidad en el sector blanco del haz no será inferior a 2 veces la intensidad correspondiente del sector rojo y puede llegar a ser hasta 6,5 veces dicha intensidad.
3. Los valores de intensidad que se indican entre paréntesis se refieren al APAPI.

Figura A2-23. Distribución de la intensidad luminosa del PAPI y del APAPI

Figura 26. Distribución de la intensidad luminosa del PAPI y del APAPI. Figura A2-23. RAC 14

3.1.7 Luminarias de calles de rodaje borde y eje central

Según la OACI, una luminaria de calle de rodaje es un dispositivo de iluminación utilizado en aeropuertos y pistas de aterrizaje para proporcionar una iluminación adecuada durante las operaciones nocturnas. Estas luminarias están diseñadas específicamente para cumplir con los requisitos de iluminación y seguridad de las áreas de rodaje y permitir una visibilidad óptima para los pilotos y controladores de tráfico aéreo. ((ICAO), 2013)

Luminaria de calle de rodaje Borde de pista



Figura 27. Luminaria de calle de rodaje Borde de pista. (FlightLight, 2023)

Luminaria de calle de rodaje Eje Central

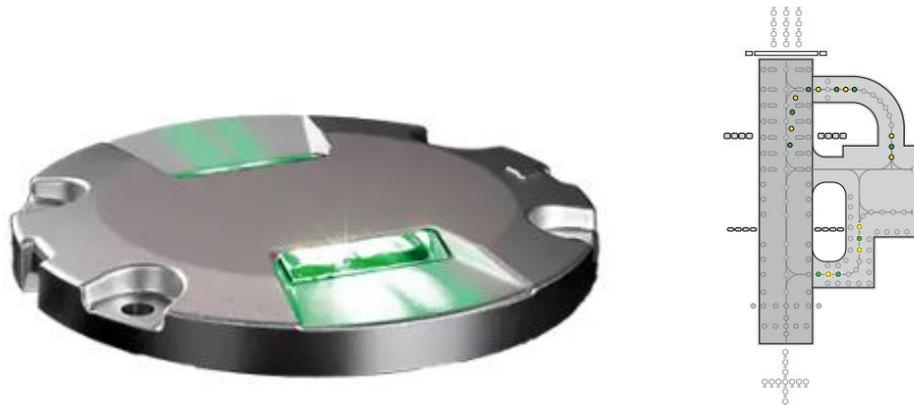


Figura 28. Luminaria de calle de rodaje Eje central. (FlightLight, 2023)

3.1.8 Luminarias de Plataforma



Parameter	Megan - 300	Megan - 600	Megan - 900
Power	300W	600W	900W
Color Temperature	3000°K / 4000°K / 5000°K		
Luminous flux	43.100 lm	85.000 lm	130.500 lm
Power Factor	> 0,95		
Colour Rendering Index (CRI)	> Ra 70, Ra 80		
Grade IP	IP 66		
Equivalence in HID	600W	1000W	2000W

Figura 29. Luminaria de plataforma y características (AES Airport Solution).

4. Diseño de iluminación

El diseño de iluminación para una pista de un aeropuerto requiere la consideración de diversos factores, a continuación, se describe un paso a paso general para el diseño de iluminación de una pista de aeropuerto:

1. Identificar las regulaciones y normas de seguridad: Antes de comenzar cualquier diseño de iluminación, es importante conocer las regulaciones y normas de seguridad que se aplican a las pistas de aeropuerto. Estas normas son emitidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y varían según el tamaño y la categoría del aeropuerto.
2. Determinar la clasificación de la pista: Las pistas se clasifican en diferentes categorías según su tamaño y capacidad. Esta clasificación es importante porque afecta el tipo y la cantidad de iluminación requerida.
3. Realizar un estudio fotométrico: Un estudio fotométrico es un análisis de la cantidad de luz que se requiere en diferentes áreas de la pista para garantizar la seguridad y eficiencia de los aviones. Este análisis se realiza utilizando software especializado que simula la iluminación en la pista.
4. Seleccionar las luminarias adecuadas: Las luminarias son los dispositivos que emiten luz y se instalan en la pista. Es importante seleccionar luminarias que cumplan con las normas de seguridad y proporcionen la cantidad adecuada de luz en cada área de la pista.
5. Determinar la ubicación de las luminarias: La ubicación de las luminarias es importante para garantizar que la iluminación cubra toda la pista y las áreas de seguridad. Además, la ubicación de las luminarias debe cumplir con las regulaciones y normas de seguridad.
6. Establecer un sistema de control de iluminación: Un sistema de control de iluminación permite ajustar la intensidad de la iluminación según las necesidades y condiciones climáticas. Por ejemplo, en condiciones de niebla, se puede aumentar la intensidad de la iluminación para mejorar la visibilidad.
7. Verificar la eficiencia energética: Es importante seleccionar luminarias eficientes en términos de consumo de energía y verificar que el diseño de iluminación cumpla con las regulaciones y normas de eficiencia energética.
8. Las luminarias instaladas en una pista serán se ajustarán a las especificaciones de la UAEAC.

4.1 Análisis de riesgos

En el diseño de iluminación se deben determinar los peligros inherentes al área de aplicación de la iluminación con respecto a la visibilidad del piloto y de los trabajadores en tierra, los riesgos varían en diferente índole como: el humo, fuego, obstáculos, la información sobre las condiciones operacionales del aeródromo, condiciones climáticas que afecten el aterrizaje o despegue y que genere algún índice de riesgo tanto para los tripulantes en la aeronave y las personas operativas del aeropuerto.

La aeronáutica civil colombiana en su estudio de seguridad operacional en aeródromos clasifica y evalúa los riesgos en los aeródromos de la siguiente forma:

- ✓ Clasificación y agrupación de riesgos.
- ✓ Evaluación de la severidad.
- ✓ Evaluación de la probabilidad.
- ✓ Matriz de la clasificación de riesgos.
- ✓ Aplicación de medidas de mitigación.

		A	B	C	D	E
		CATASTRÓFICO	PELIGROSO	MAYOR	MENOR	NINGÚN EFECTO
5	FRECUENTE	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO ALTO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO
4	RAZONABLEMENTE PROBABLE			RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	
3	REMOTO		RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO		
2	EXTREMADAMENTE REMOTO	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO			
1	EXTREMADAMENTE IMPROBABLE	RIESGO MEDIO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	RIESGO BAJO	

Tabla 7. Análisis de riesgos – Guía de estudio de seguridad GIVC-1.0-15-042 (AEROCIVIL).

Según el anexo 14 de la OACI, artículo **14.2.4.2**. *Deberá existir una estrecha coordinación entre el explotador del aeródromo, aeropuerto o helipuerto y los servicios de tránsito aéreo para asegurar una efectiva gestión de los riesgos operacionales y maximizar la eficiencia de la utilización de dicho aeródromo, aeropuerto o helipuerto.*

El análisis de riesgos en la seguridad operacional de los aeródromos tiene como objetivo identificar, evaluar y mitigar los riesgos asociados a las operaciones aéreas y terrestres en los aeródromos. Algunos de los riesgos junto con sus fuentes de riesgo comunes que se consideran en este análisis:

- **Obstáculos (Riesgo de colisión con obstáculos):** Fuentes de riesgo: Estructuras cercanas al aeródromo como edificios, antenas, torres, árboles, cables aéreos y terreno elevado.
- **Servicios de Meteorología (Riesgo de condiciones meteorológicas adversas):** Fuentes de riesgo: Tormentas, niebla, vientos fuertes, lluvias intensas, nieve y hielo, visibilidad reducida.
- **Ayudas Visuales y Sistemas de Aterrizaje (Riesgo de fallos en las ayudas visuales y sistemas de aterrizaje):** Fuentes de riesgo: Fallos en las luces de pista, sistemas de iluminación de obstáculos, sistemas de aterrizaje instrumental, sistemas de señalización visual.
- **Áreas de Maniobras (Riesgo de colisiones en tierra y salidas de pista):** Fuentes de riesgo: Colisiones de aeronaves en tierra, incursiones en pista, errores de control de tráfico aéreo, fallas en los sistemas de dirección de aeronaves.
- **Servicios de Aeródromo (Riesgo de fallos en los servicios):** Fuentes de riesgo: Fallos en los servicios de suministro de combustible, suministro de electricidad, suministro de agua, sistemas de comunicaciones.

Para mitigar los riesgos asociados, se pueden implementar diversas medidas de ayuda visual e iluminación en las pistas. Estas medidas pueden contribuir a mejorar la seguridad operacional de los aeródromos. A continuación, se presentan algunas posibles mitigaciones de riesgos:

- **Obstáculos (Riesgo de colisión con obstáculos):** Instalación de luces de obstáculos en estructuras cercanas al aeródromo, como edificios, antenas y torres, para hacerlos más visibles para los pilotos.
Utilización de marcas y señales visuales en obstáculos naturales, como árboles y terrenos elevados, para alertar a los pilotos de su presencia.
- **Servicios de Meteorología (Riesgo de condiciones meteorológicas adversas):** Implementación de sistemas de iluminación meteorológica en pistas y áreas de movimiento, para proporcionar información visual sobre las condiciones climáticas, como luces de intensidad variable para indicar la visibilidad y la intensidad de las precipitaciones. Uso de luces de viento para indicar la dirección y la velocidad del viento en tiempo real.
- **Ayudas Visuales y Sistemas de Aterrizaje (Riesgo de fallos en las ayudas visuales y sistemas de aterrizaje):**

Mantenimiento regular y verificación de las luces de pista, las luces de umbral y las luces de aproximación para garantizar su correcto funcionamiento.

Instalación de sistemas redundantes y de respaldo para las ayudas visuales y los sistemas de aterrizaje, como luces alternativas y generadores de energía de respaldo.

- **Áreas de Maniobras (Riesgo de colisiones en tierra y salidas de pista):**
Colocación de luces de borde de pista y luces de centro de pista para delinear claramente los límites y la dirección de las áreas de maniobras, luces de zona de parada.
Uso de luces de taxi para guiar a las aeronaves por las rutas de rodaje y minimizar el riesgo de incursiones en pista.
- **Servicios de Aeródromo (Riesgo de fallos en los servicios):**
Instalación de luces de identificación para las señales y los letreros de servicios, facilitando su lectura y comprensión en condiciones de poca visibilidad.
Implementación de sistemas de iluminación de emergencia en áreas críticas, como áreas de suministro de combustible y sistemas de comunicaciones, para garantizar su disponibilidad en caso de fallos de energía.

Estas medidas de ayuda visual e iluminación en pistas pueden contribuir a la mitigación de riesgos en las secciones mencionadas, mejorando la visibilidad, proporcionando información relevante y asegurando la disponibilidad de servicios críticos. Sin embargo, es importante que cada aeródromo realice evaluaciones de riesgos específicas y adapte las medidas de mitigación a sus condiciones y requisitos operacionales particulares.

4.2 Perfil del aeropuerto y aeronaves

La pista de un aeropuerto es una estructura fundamental para el correcto funcionamiento de las operaciones aéreas. Se trata de una superficie plana y rectangular, construida con asfalto que permiten el aterrizaje y despegue de aviones de diferentes tamaños y pesos. La pista suele estar ubicada en una zona amplia y despejada, lejos de obstáculos o edificaciones que puedan interferir con las maniobras aéreas.

Las dimensiones de la pista varían en función del tamaño y capacidad del aeropuerto, pero suelen medir varios kilómetros de longitud y tener un ancho de unos metros. La superficie de la pista está diseñada para soportar el peso de los aviones, así como para resistir los efectos de las condiciones climáticas extremas, como fuertes vientos, lluvia intensa o nieve.

4.2.1 Características pistas de aeropuertos nacionales colombianos

Las pistas de los aeropuertos colombianos ubicados en ciudades no principales presentan características similares en cuanto a sus dimensiones y materiales de construcción. En general, estas pistas tienen una longitud que oscila entre los 1,5 km y los 2,3 km, lo que permite el despegue y aterrizaje de aviones medianos y pequeños, así como de algunos aviones de carga de tamaño reducido.

Otra característica importante de estas pistas es su ancho, que va desde los 30 hasta los 45 metros. Este ancho es suficiente para garantizar una buena maniobrabilidad de los aviones durante su despegue y aterrizaje, así como para permitir la circulación de los vehículos de servicio y de emergencia en caso de ser necesario. Además, esta amplitud es adecuada para acomodar la cantidad de pasajeros y carga que se manejan en los vuelos que operan en estas ciudades.

En cuanto al material de construcción de estas pistas, en la mayoría de los casos se utiliza el asfalto debido a su capacidad para soportar el peso de los aviones y su resistencia a las condiciones climáticas y al desgaste por el tráfico constante. Además, el asfalto permite que se realicen reparaciones y mantenimientos de manera más rápida y sencilla, lo que garantiza la continuidad de las operaciones aéreas en estos aeropuertos.

En la tabla 7, reúne algunos aeropuertos colombiano de ciudades no principales y sus nombres, códigos aeroportuarios, dimensiones, aeronaves que aterrizan en estos aeropuertos y sus destinos desde estos aeropuertos.

CARACTERÍSTICAS PISTAS DE AEROPUERTOS NACIONALES COLOMBIANOS								
CIUDAD	AEROPUERTO	IATA	OACI	LARGO	ANCHO	SUPERFICIE	AERONAVES	DESTINOS
Arauca	Aeropuerto Santiago Pérez Quiroz	AUC	SKUC	2100	30	Asfalto	ATR 72, ERJ145	Bogotá, Bucaramanga, Cúcuta, Medellín
Corozal	Aeropuerto Las Brujas	CZU	SKCZ	1828	30	Asfalto	ATR 42	Bogotá, Medellín
Florencia	Aeropuerto Gustavo Artunduaga	FLA	SKFL	1500	30	Asfalto	A320, A319, A20N, ATR 72, ATR 42	Bogotá, Cali, Medellín, Puerto Leguizamoc
Ibague	Aeropuerto Perales	IBE	SKIB	1800	30	Asfalto	A320, A319, ATR 72	Bogotá, Cali, Medellín
Manizales	Aeropuerto de La Nubia	MZL	SKMZ	1480	20	Asfalto	ATR 72, ATR 42	Bogotá, Cartagena, Medellín
Neiva	Aeropuerto Benito Salas	NVA	SKNV	1863	40	Asfalto	A320, A319, ATR 72, ATR 42	Bogotá, Cali, Cartagena, Medellín
Pasto	Aeropuerto Antonio Nariño	PSO	SKPS	2312	40	Asfalto	A320, A319, A20N, ATR 72, ATR 42	Bogotá, Cali, Cartagena, Medellín
Popayan	Aeropuerto Guillermo León Valencia	PPN	SKPP	2300	30	Asfalto	A320, A319, ATR 72, ATR 42	Bogotá, Cali, Medellín
Riohacha	Aeropuerto Almirante Padilla	RCH	SKRH	1900	40	Asfalto	A320, A319, A20N, ERJ145	Bogotá, Cali, Medellín
Valledupar	Aeropuerto Alfonso López Pumarejo	VUP	SKVP	2100	44	Asfalto	A320, A319, ATR 42, ERJ145	Bogotá, Barranquilla, Medellín
Villavicencio	Aeropuerto Vanguardia	VVC	SKVV	2000	30	Asfalto	A320, A319, A20N, ATR 42, ERJ145	Bogotá, Cali, Cartagena, Medellín, Otros
Yopal	Aeropuerto El Alcaraván	EYP	SKYP	2245	36	Asfalto	A320, A319, ATR 72, ATR 42	Bogotá, Bucaramanga, Paipa

Tabla 8. Características de pistas aeropuertos nacionales colombianos - (AEROCIVIL, wikipedia)

Para nuestro proyecto la pista estandarizada será de 2200 metros de largo y 45 metros de ancho para unas condiciones que cobijen a los aeropuertos colombianos existentes ya que poseen estas dimensiones.

La siguiente imagen nos muestra una referencia de tipo de aeronave modelo y especificación y así mismo que longitud de pista es requerida para el despegue y aterrizaje de ese tipo de aeronave.

En nuestro proyecto nos basamos principalmente en los Airbus 319 y 320 que son los más comunes de tamaño medio que circulan en nuestro país. Para el A319 se requeriría un mínimo de longitud de pista de 1735 metros y para el A320 la mínima longitud requerida sería de 1775 metros para cumplir con las características necesarias de toma de decisiones de cancelar los despegues y aterrizajes.

Aircraft Make	Model	Code	Aeroplane reference field length (m)	Wing span (m)	Outer main gear wheel span (m)
Antonov	AN24	3C	1 600	29.2	8.8
Airbus	A220-100	3C	1 423	35.1	6.7
	A220-300	3C	1 797	35.1	6.7
	A318-100	3C	1 779	34.1	8.9
	A319-100 w/o sharklets	3C	1 799	34.1	8.9
	A319-100 with sharklets	3C	1 799	35.8	8.9
	A319neo	3C	1 735	35.8	8.9
	A320-200 w/o sharklets ³	3C	1 797	34.1	8.9
	A320-200 with sharklets ³	3C	1 797	35.8	8.9
	A320neo	3C	1 775	35.8	8.9

Tabla 9. Longitud de pista para modelo de avión. – OACI Part 1. Runways - Appendix 1. Aeroplane classification by code number and letter.

4.2.2 Características de aviones

Hay que tener en cuenta que los aviones que aterrizan en una pista deben cumplir con una serie de características y requisitos específicos relacionados con las dimensiones de la pista. En primer lugar, se debe considerar el peso máximo al aterrizar de la aeronave, el cual depende de la longitud de la pista y su capacidad de frenado. De igual forma, tener en cuenta la distancia de despegue requerida, que depende de factores como la altitud, la temperatura ambiente y la carga de combustible y pasajeros.

Además, es importante mencionar que las características del avión, como su tamaño, peso, velocidad y capacidad de maniobra, también influyen en la elección de la pista adecuada para aterrizar. Las aeronaves más grandes y pesadas requieren pistas más largas y anchas para garantizar una operación segura, mientras que los aviones más pequeños y livianos pueden aterrizar en pistas más cortas. Como en la tabla 5, se encuentran las características de los aviones empleados en los aeropuertos de la tabla 3.

AVIONES COMÚNMENTE USADOS EN COLOMBIA EN AEROPUERTOS NACIONALES					
Características generales	A320 CEO	A319-100 / A319LR / A319CJ	ATR 72-500	ATR 42	Familia Embraer ERJ 145:
Tripulación:	2 pilotos y 4 tripulantes de cabina	2 pilotos y 3 Auxiliares de vuelo	2	2	3 (Capitán, Primer Oficial y auxiliar de vuelo)
Capacidad:	1 clase: 164 (configuración típica), 2 clases: 150 (configuración típica)	1 clase: 134 (configuración típica), 2 clases: 124 (configuración típica)	72 a 78 pasajeros	44-50 pasajeros	50 pasajeros
Carga:	44 m ³ , 7 contenedores LD3-45W	27,62 m ³ , 4 contenedores LD3-46	10,60 m ³		
Longitud:	37,6 m (123,3 ft)	33,8 m (111 ft)	27,16 m	22,67 m	29,9 m
Envergadura:	35,8 m (117,5 ft)	34,1 m (111,9 ft)	27,05 m	24,57 m	20 m (65,7 ft)
Altura:	11,8 m (38,6 ft)	11,8 m (38,6 ft)	7,65 m	7,6 m (24,9 ft)	6,8 m (22,2 ft)
Superficie alar:	122,6 m ² (1319,7 ft ²)	122,6 m ² (1319,7 ft ²)		54,50 m ²	51,2 m ² (551,1 ft ²)
Peso vacío:	42 600 kg (93 890,4 lb)	40 800 kg (89 923,2 lb)	12950 kg	11550 kg	11667 kg (25 722 lb)
Peso útil:		58 500 kg (128 934 lb)		4500 kg	17 100 kg
Peso máximo al despegue:	78 000 kg (171 912 lb) (62 500 kg)	75 500 kg (166 402 lb)	22800 kg	18600 kg	20 600 kg (45 414 lb) (48,501 lb ERJ 145LR)
Planta motriz:	2x Turbofán Serie IAE V2500 o Serie CFM International CFM56-5.	2x Turbofán Serie IAE V2500 o Serie CFM International CFM56-5.	2x turbohélice Pratt & Whitney Canada PW127F.	2x turbohélice Pratt & Whitney Canada PW127M.	2x Turbofán Rolls-Royce AE 3007.
Empuje normal:	111,2 kN (11 340 kgf; 25 000 lbf) de empuje cada	98-120 kN (22 000-27 000 lbf)	1846 kW (2475 HP; 2509 CV) cada uno.	1611 kW (2160 HP; 2190 CV) cada uno.	33 kN (3365 kgf; 7419 lbf) de empuje cada
Anchura de cabina:	3,7 m	3,7 m			
Anchura de fuselaje:	3,95 m	3,95 m			
Ángulo de las alas:	25 grados.	25 grados.			
Capacidad de combustible:	24 210 litros (estándar), 30 190 (máxima).	24 210 litros (estándar), 30 190 (máxima).			
Rendimiento					
Velocidad máxima operativa (V _{no}):	871 km/h (Mach 0,82) a 11 000 m	871 km/h (Mach 0,82) a 11 000 m			834 km/h (518 MPH; 450 kt) - (V _{ne}): 0,78 MACH
Velocidad crucero (V _c):	828 km/h (Mach 0,78) a 11 000 m	828 km/h (Mach 0,78) a 11 000 m	511 km/h	300 KTAS / 556 km/h (95% MTOW, ISA, FL óptimo)	0,74 MACH
Alcance:	6100 km (3294 nmi; 3790 mi) (a plena carga).	Alcance: 6950 km, LR: 10 400 km, CI: 12 000 km		716 nm / 1326 km	2963 km (4:30 horas seco aprox. ERJ 145LR)
Techo de vuelo:	12 000 m (39 370 ft)	12 000 m (39 370 ft)	7600 m		11,278 metros (37,000 pies)
Carrera de despegue:	2090 m (a nivel del mar)	1950 m (a nivel del mar)			
Régimen de ascenso:				1851 ft/min / 9,40 m/s	2500 FPM (Pies por Minuto)
REFERENCIAS	https://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320#Especificaciones_(A320_CEO)	https://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A319	https://es.wikipedia.org/wiki/ATR_72#Especificaciones	https://es.wikipedia.org/wiki/ATR_42#Especificaciones_(ATR_42-600)	https://es.wikipedia.org/wiki/Familia_Embraer_ERJ#Especificaciones

Tabla 10. Aviones usados en los aeropuertos nacionales colombianos de ciudades no principales - (AEROCIVIL, wikipedia)



Figura 30. Airbus A319 - (Airbus, s.f.)



Figura 31. Airbus A320 (Airbus, s.f.)

El avión más empleado en los aeropuertos colombianos no internacionales corresponde al Airbus A320, el cual es necesario especificar las dimensiones, para determinar el tipo de pista y el reglaje de las luminarias de aproximación.

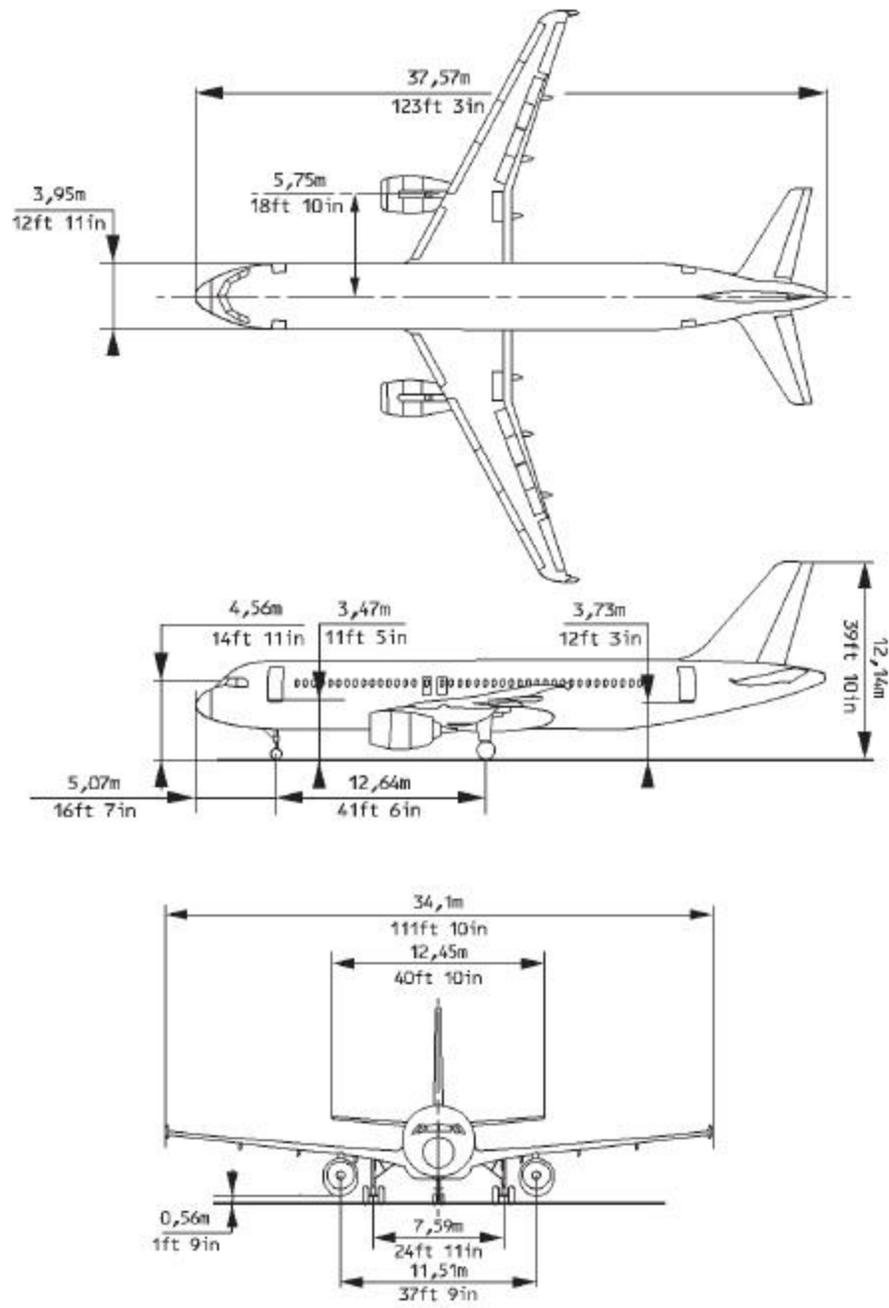


Figura 32. Airbus A320. Dimensiones. (Airbus, s.f.)

4.2.3 Clave de referencia de aviones empleados

En la tabla 6, se contempla la clasificación de aeronaves por su código y letra, de los aviones empleados en Colombia.

CLAVE DE REFERENCIA DE AERÓDROMO					
Fabricante	Modelo	Clave	Longitud de Campo de referencia del avión (m)	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (m)
Airbus	A320neo	3C	1 775	35.8	8.9
	A319neo	3C	1 735	35.8	8.9
Embraer	EMB-145	4B	2 269	20.0	4.1

Fuente: ICAO 9157. Part 1. Runways. Appendix 1. Aeroplane classification by code number and letter

Tabla 11. Clasificación de aeronaves por su código y letra. – ICAO 9157 Runways. Appendix 1.

4.3 Clave de referencia del aeródromo

Según la OACI mediante el documento 9157, se clasifica el aeródromo por clave de referencia, por ende, los aeropuertos con las características descritas anteriormente y se encuentran en las Tabla 7. Corresponden a una clave 4C y 4D

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Num. de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal ^a
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

a. Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Tabla 12. Clave de referencia de aeródromo. Tabla 2. OACI Doc 9157 - Manual de diseños de aeródromos Parte 1 - Tabla 1-1

Se verifica el ancho de las pistas corresponda al ancho de las ruedas del tren de aterrizaje principal de los aviones.

Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (OMGWS)				
Número de Clave	Hasta 4,5 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 15 m (exclusive)
1 ^a	18 m	18 m	23 m	-
2 ^a	23 m	23 m	30 m	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m
4	-	-	45 m	45 m

Tabla 13. Anchura de las pistas - Artículo. RAC 14. 14.3.3.1.9.2 Anchura de las pistas. La anchura de toda pista no debería ser inferior a la dimensión apropiada.

4.4 Selección de sistemas de iluminación

El sistema de iluminación a elegir será un sistema sencillo, con los sistemas necesarios a implementar en una pista de las dimensiones descritas en el objeto, adicionalmente se busca el sistema sea para vuelo visual sin instrumentos adicionales, debido que implica diferentes consideraciones al implementar un sistema ILS, antenas y otros dispositivos no concernientes a la iluminación. Así mismo, se presentan aeropuertos que aún no cuentan con estas herramientas. Debido a ello se presenta como se implementará cada uno de los sistemas de iluminación implementados en el diseño, ya que cada tipo de luminaria tiene un papel importante en la seguridad y operación del aeropuerto, y es crucial que se utilicen los tipos adecuados de luminarias.

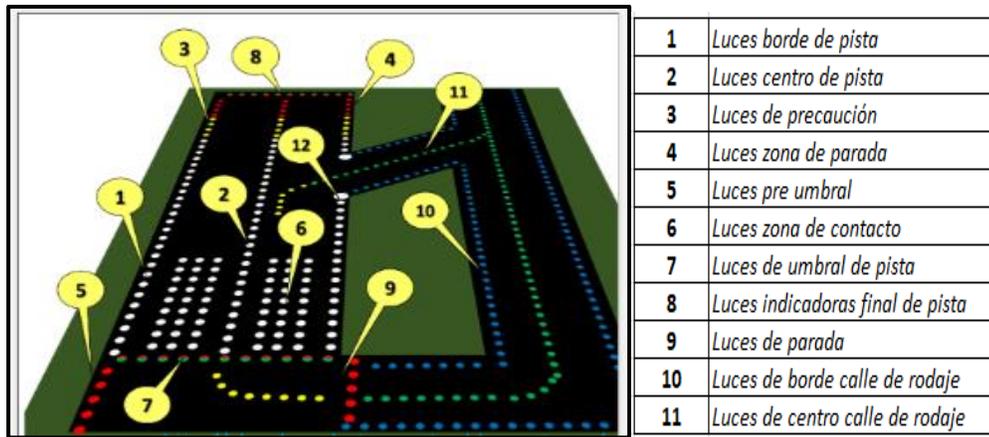


Figura 33. Tipos de sistemas de iluminación en pistas. (Delgado, 2014)

4.4.1 Sistemas de iluminación de aproximación

Según la OACI, la iluminación de aproximación, su principal objetivo es proporcionar una guía visual clara y precisa a las aeronaves durante la fase de aproximación y aterrizaje. Este sistema consta de una serie de luces de diferentes colores y características que se encuentran a lo largo de la pista de aterrizaje y sus alrededores. Estas luces, colocadas

en forma de hileras, permiten a los pilotos tener una referencia visual de la trayectoria correcta para un aterrizaje seguro.

Esta iluminación tiene diferentes categorías de complejidad y alcance visual, sus aplicaciones son:

1. Pista de vuelo visual: cuando el número de clave sea 3 ó 4 y destinada a ser utilizada de noche, salvo cuando la pista se utilice solamente en condiciones de buena visibilidad y se proporcione guía suficiente por medio de otras ayudas visuales.
2. Pista para aproximaciones de precisión de Categoría I
3. Pista para aproximaciones de precisión de Categoría II o III

4.4.1.1 Sistema sencillo de iluminación de aproximación

En el presente diseño se implementa un sistema sencillo de iluminación de aproximación debido a las características de la pista, se sigue con la indicación del RAC 14, artículo 14.3.5.3.4.2. Sistema sencillo de iluminación de aproximación:

- Emplazamiento. El sistema sencillo de iluminación de aproximación consistirá en una fila de luces, situadas en la prolongación del eje de la pista, que se extienda, siempre que sea posible, hasta una distancia no menor de 420m desde el umbral con una fila de luces que formen una barra transversal de 30m de longitud a una distancia de 300m del umbral.
- Las luces que formen la barra transversal estarán, siempre que sea posible, en una línea recta horizontal, perpendicular a la fila de luces de la línea central y bisecada por ella. Estos espacios vacíos se mantendrán reducidos al mínimo necesario para satisfacer las necesidades locales y cada uno de ellos no excederá de 6m.
- Las luces que forman la línea central se colocarán a intervalos longitudinales de 60m. La luz situada más próxima a la pista se instalará ya sea a 60m del umbral.
- Características. Las luces del sistema sencillo de iluminación de aproximación serán luces fijas y su color será tal que garanticen que el sistema pueda distinguirse.
- Cuando estén instaladas en una pista de vuelo visual, las luces deberán ser visibles desde todos los ángulos de azimut necesarios para el piloto durante el tramo básico y en la aproximación final. La intensidad de las luces deberá ser adecuada en todas las condiciones de visibilidad y luz ambiente para los que se haya instalado el sistema.

4.4.1.2 Sistema de iluminación de aproximación de precisión de Categoría I, II y III

La iluminación de aproximación para categorías I, II y III, según la OACI y el RAC 14, solicita para su emplazamiento 900 metros libres antes del umbral para la categoría I y una barra transversal de 30 m de longitud a una distancia de 300 metros del umbral de la pista.

En las categorías II y III, además de la barra transversal de la categoría I, se deben instalar barras transversales adicionales de luces situadas a 150 m, 450 m, 600 m y 750m.

Sin embargo, no se pueden implementar en todos los aeropuertos, ya que, en la mayoría de los aeropuertos nacionales en Colombia, no cuentan con las dimensiones y espacio libre antes de umbral para la ubicación e instalación de iluminación de aproximación categoría I, II y III, debido a su ubicación dentro de las ciudades solo cuentan con las dimensiones para un sistema de iluminación de aproximación sencillo.



Figura 34. Iluminación Pista de aterrizaje CAT I. - Tomado de: OACI (Chacin, 2016)



Figura 35. Iluminación Pista de aterrizaje CAT II y CAT III. - Tomado de: OACI (Chacin, 2016)

4.4.2 Sistemas de iluminación de Umbral de Pista

Se ubican en el diseño luces de identificación de umbral de pista, las luminarias se emplazarán simétricamente respecto al eje de la pista, alineada con el umbral según la figura 5-22 del anexo 14 de la OACI. Se seleccionará las pistas que no son de vuelo por instrumentos, al exterior de cada línea de luces de borde pista. Las luces serán fijas unidireccionales, de color verde, visibles solamente en la dirección de la aproximación a la pista. Las características de las luces de identificación de umbral de pista deben ser luces de destellos de color blanco, con una frecuencia de destellos de 60 a 120 por minuto.

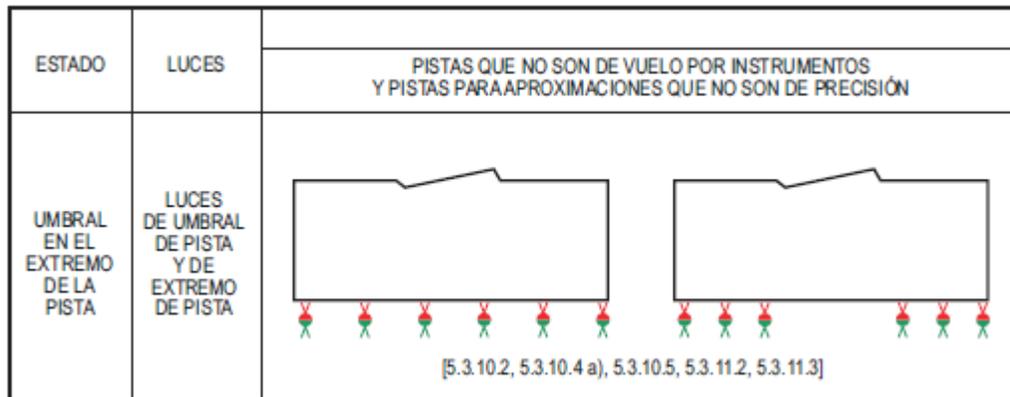


Figura 36. Disposición de las luces de umbral de pista y de luces de extremo de pista - Anexo 14 de la OACI. Figura 5-22.

4.4.3 Sistemas de iluminación de Luces de extremo de pista

Se emplazarán luces de extremo de pista, por lo menos 6 luces en una línea perpendicular al eje de la pista en el borde de pista, espaciadas uniformemente. Las luces de extremo de pista serán luces fijas unidireccionales de color rojo, visibles en la dirección de la pista y su intensidad y abertura de haz serán las adecuadas para las condiciones de visibilidad y de luz ambiente en las que se prevea que ha de utilizarse.

4.4.4 Sistemas de iluminación de borde de pista

Se diseñará con luces de borde de pista emplazadas en todo lo largo de la pista, en dos filas paralelas y equidistantes del eje de la pista, a lo largo de los bordes del área destinada a servir de pista, o al exterior de dicha área a una distancia que no exceda de 3m. Las luces estarán espaciadas uniformemente en filas, a intervalos de 60m. Las luces serán fijas y de color blanco variable. En el extremo de la pista, opuesto al sentido del despegue, las luces pueden ser de color amarillo en una distancia de 600 m o en el tercio de la pista, si esta longitud es menor.

4.4.5 Sistemas de iluminación de Luces de eje de pista

Se instalarán luces de eje de pista para tener despegues con un mínimo de utilización inferiores a un alcance visual en la pista del orden de 400m o una distancia mayor. Las luces se emplazarán a lo largo del eje de la pista. Las luces se emplazarán desde el umbral hasta el extremo, con un espaciado longitudinal aproximado de 30m. Las luces de eje de pista serán luces fijas de color blanco variable desde el umbral hasta el punto situado a 900m del extremo de pista; luces alternadas de colores rojo y blanco variable desde 900m hasta 300m del extremo de pista, y de color rojo desde 300m hasta el extremo de pista.

4.4.6 Sistemas de iluminación de Luces de zona de parada

Se instalarán luces de zona de parada en todas las zonas de parada previstas para uso nocturno. Se emplazarán luces de zona de parada en toda la longitud de la zona de parada, dispuestas en dos filas paralelas equidistantes del eje y coincidentes con las filas de luces de borde de pista. Se emplazarán también luces de zona de parada en el extremo de dicha zona en una fila perpendicular al eje de esta, tan cerca del extremo como sea posible y en todo caso nunca más de 3m al exterior del mismo. Las luces de zona de parada serán luces fijas unidireccionales de color rojo visibles en la dirección de la pista.

4.4.7 Sistemas de iluminación de Luces de eje de calle de rodaje

Se instalarán luces de eje de calle de rodaje en las calles de rodaje destinadas a ser utilizadas de noche en condiciones de alcance visual en la pista iguales a 350m o más. Las luces de eje de una calle de rodaje serán fijas de color verde y las dimensiones de los haces serán tales que sólo sean visibles desde aviones que estén en la calle de rodaje o en la proximidad de esta. Las luces de eje de calle de rodaje deberán emplazarse normalmente sobre las señales de eje de calle de rodaje. En un tramo rectilíneo debe estar espaciadas a intervalos longitudinales que no excedan de 30m. El espaciado de las luces en las curvas no podrá exceder de 15m, y en curvas de menos de 400m de radio, las luces deben espaciarse a intervalos no mayores de 7.5m. Este espaciado debe extenderse una distancia de 60m antes y después de la curva.

4.4.8 Sistemas de iluminación de Luces de borde de calle de rodaje

Se instalará luces de borde de calle de rodaje en los bordes de una plataforma de viraje en la pista, apartaderos de espera, plataformas, etc., que hayan de usarse de noche, y en las calles de rodaje que no dispongan de luces de eje de calles de rodaje y que estén destinadas a usarse de noche. En las partes rectilíneas de una calle de rodaje y en una pista que forme parte de una ruta normalizada para el rodaje, las luces de borde de las calles de rodaje deben disponerse con un espaciado longitudinal uniforme que no exceda

de 60m. En las curvas, las luces deben estar espaciadas a intervalos inferiores a 60m a fin de que proporcionen una clara indicación de la curva.

En los apartaderos de espera, plataformas, etc., las luces de borde de calle de rodaje deben disponerse con un espaciado longitudinal uniforme que no exceda de 60m. Las luces estarán instaladas tan cerca como sea posible de los bordes de la calle de rodaje, plataforma de viraje en la pista, apartadero de espera, plataforma o pista, etc., o al exterior de dichos bordes a una distancia no superior a 3m. Las luces de borde de calle de rodaje serán luces fijas de color azul.

4.4.9 Sistemas visuales indicadores de pendientes de aproximación PAPI

El sistema PAPI (Precision Approach Path Indicator) - Sistemas visuales indicadores de pendientes de aproximación, consistirá en una barra de ala de cuatro elementos emplazados a lo largo de una línea perpendicular a la pista, situado a la izquierda de la pista en dirección de aterrizaje, a una distancia D1 del umbral, con una distribución como lo indica la Figura. 37.

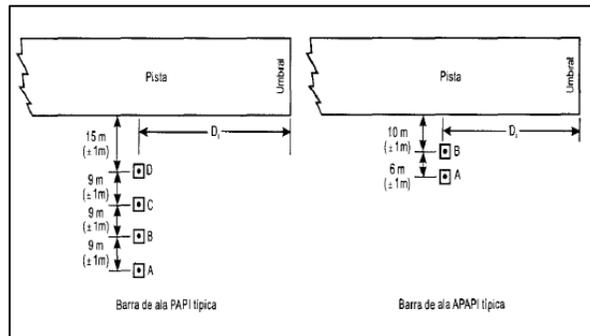


Figura 37. Emplazamiento del sistema PAPI. Figura 5-18. Anexo 14 OACI

En la figura 38, se puede apreciar una adecuada iluminación de aproximación a una pista de aterrizaje, en donde se puede observar luces de PAPI, luces de aproximación y luces de bordes de pista y centro de pista.



Figura 38. Iluminación en la pista de aterrizaje. - Tomado de: organización de aviación civil internacional (Chacin, 2016)

En la figura 39, podemos apreciar una distribución de perspectiva de la iluminación PAPI, en donde visto desde la aeronave dependiendo su altura se pueden distinguir unas luces en blanco. Según la OACI dos luces en blanco y dos luces en rojo determinan una altura y aproximación correcta a la pista de aterrizaje.



Figura 39. Iluminación de luces PAPI en aterrizaje. - tomado de: organización de aviación civil internacional (Chacin, 2016)

Los ángulos nominales para el reglaje de la pendiente de aproximación para el sistema PAPI, se pueden apreciar en la figura 40. La distribución de las luminarias A, B, C, D, su emplazamiento seguirá la distribución de la figura 37.

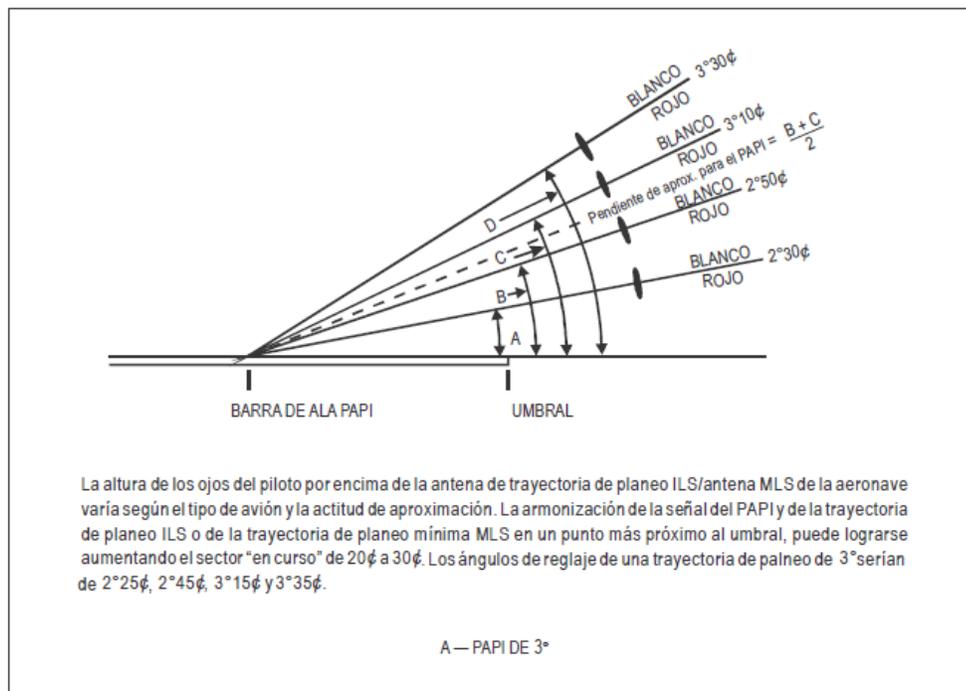


Figura 40. Haces luminosos y reglaje del ángulo de elevación del PAPI. Figura Doc 9157 parte 4. OACI

Los ángulos nominales de la pendiente de aproximación para un PAPI, éste será el ángulo $(B + C) \div 2$.

$$\frac{2^{\circ}50' + 3^{\circ}10'}{2} = 3^{\circ}$$

Alturas mínimas de la vista sobre el umbral de las señales de posición en pendiente. Para un PAPI éste será el ángulo de reglaje del tercer elemento a partir de la pista, menos 2', es decir, el ángulo B menos 2'. Se realiza la conversión a grados.

$$M = B - 2' = 2^{\circ}50' - 2' = 2^{\circ}48' = 2,8^{\circ}$$

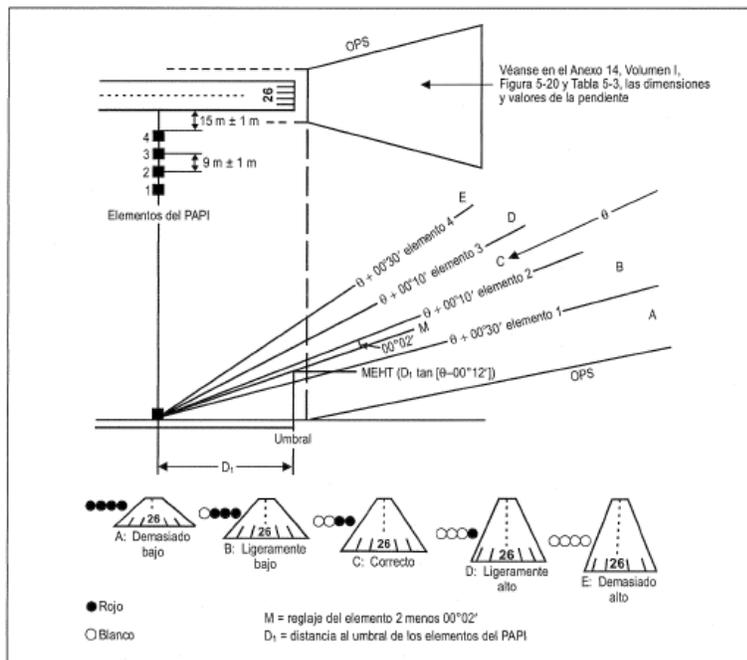


Figura 41. Disposición de los elementos del PAPI – Figura 8-6. Doc.9157 parte 4 OACI

Mediante la figura 41, permite identificar el ángulo M, el cual corresponde al ángulo que seguirá el ojo del piloto, en el límite del corredor de aproximación.

Como se puede observar en la figura 42. Se define como se compone la altura MEHT (Minimum Eye Height over Threshold) Altura mínima del ojo sobre el umbral, se compone de dos valores: el EWH (the eye to wheel height) altura del ojo a la rueda, más el WTH (wheel to threshold height) altura de la rueda al umbral.

$$\tan (M) = \frac{MEHT}{D_1}$$

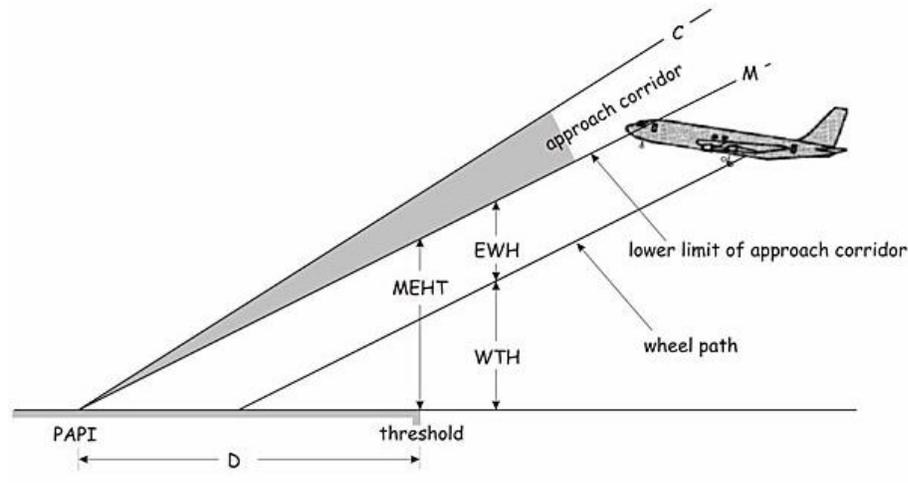


Figura 42. Acercamiento visual – (Canada, 2010)

La altura de los ojos del piloto respecto a las ruedas en la configuración de aproximación se tendrá en cuenta las dimensiones del avión A320, como se indica en la Figura 32. Airbus A320. La altura de las ruedas a los ojos del piloto del Airbus A320 es de 4,56 m, se seleccionará el rango de 5 m a 8 m, por el ángulo de inclinación del avión. Según la tabla 13. La altura EWH es entre 5 a 8 m y la altura WTH es 5 m

En la zona de umbral.

$$MEHT = EWH + WTH = (5 \text{ a } 8 \text{ m}) + 5 \text{ m} = 10 \text{ a } 13 \text{ m}$$

Altura de los ojos del piloto respecto a las ruedas en configuración de aproximación ^a	Margen vertical deseado de las ruedas (metros) ^{b,c}	Margen vertical mínimo de las ruedas (metros) ^d
(1)	(2)	(3)
Hasta 3 m (exclusive)	6	3 ^e
Desde 3 m hasta 5 m (exclusive)	9	4
Desde 5 m hasta 8 m (exclusive)	9	5
Desde 8 m hasta 14 m (exclusive)	9	6

Tabla 14. Margen vertical entre las ruedas y el Umbral para el PAPI – Tabla 5-2 Anexo 14, OACI.

Por lo tanto, la distancia D1, desde el umbral al emplazamiento de las luminarias PAPI, corresponde a:

$$D1 = \frac{MEHT}{\tan(M)} = \frac{10 \text{ a } 13 \text{ m}}{\tan(2,8^\circ)} = 205 \text{ a } 265 \text{ m}$$

4.4.10 Sistemas iluminación en plataformas

Según el artículo 14.3.5.3.23. del RAC 14, se suministrará iluminación con proyectores en las plataformas y en los puestos designados para estacionamiento aislado de aeronaves, destinados a utilizarse por la noche.

La iluminación media debe ser por lo menos la siguiente:

Puesto de estacionamiento de aeronave:

- ✓ Iluminación horizontal - 20 lux con una relación de uniformidad (media a mínima) no superior a 4:1;
- ✓ Iluminación vertical - 20 lux a una altura de 2m sobre la plataforma, en las direcciones pertinentes.

Otras áreas de la plataforma:

- ✓ Iluminación horizontal - 50% de la iluminación media en los puestos de estacionamiento de aeronave, con una relación de uniformidad (media a mínima) no superior a 4:1.

Mediante la norma **IES -37-20**

Recommended Maintained Illuminance Targets ^(a, b)																
Veiling Reflection Risk Light Level for Task or Area?		TS = Task Surface: Recommended illuminances are at height of task surface above finished floor (AFF)														
		Horizontal (E _h)						Vertical (E _v)								
		Target E _h @ Height AFF			Uniformity Ratio			Target E _v @ Height AFF			Uniformity Ratio					
		C	A	T	Max	Avg	Ratio	C	A	T	Max	Avg	Ratio			
APPLICATION TASK/AREA		Task High	or Med	Area Low	Lux @ m	(Fc @ Ft)	Min	Ratio	Basis	Lux @ m	(Fc @ Ft)	Min	Ratio	Basis		
EXTERIORS - AVIATION																
Aprons^{1,2}: Commercial, General Aviation, Cargo, Hangar																
Aircraft parking position		A			H	20 @ 0.00	(2 @ 0.0)	Avg	4:1	Avg:Min	H	20 @ 2.00	(2 @ 6.5)	Avg	4:1	Avg:Min
Aircraft service area ³		A			F	10 @ 0.00	(1 @ 0.0)	Avg	5:1	Avg:Min	F	10 @ 0.00	(1 @ 0.0)	Avg	5:1	Avg:Min
Aircraft stands: Group I or Code A		A			H	20 @ 0.00	(2 @ 0.0)	Avg	5:1	Avg:Min	H	20 @ 2.00	(2 @ 6.5)	Avg	5:1	Avg:Min
Cargo facility loading and unloading		A			K	50 @ 0.00	(5 @ 0.0)	Avg	4:1	Avg:Min	K	50 @ 2.00	(5 @ 6.5)	Avg	4:1	Avg:Min
Mechanical checks, maintenance, repair		A			H	20 @ 0.00	(2 @ 0.0)	Avg	4:1	Avg:Min	H	20 @ 2.00	(2 @ 6.5)	Avg	4:1	Avg:Min
Fueling operations		A			H	20 @ 0.00	(2 @ 0.0)	Avg	4:1	Avg:Min	H	20 @ 2.00	(2 @ 6.5)	Avg	4:1	Avg:Min

Tabla 15. Tabla de niveles de iluminancia y uniformidad recomendados de la norma IES-37-20

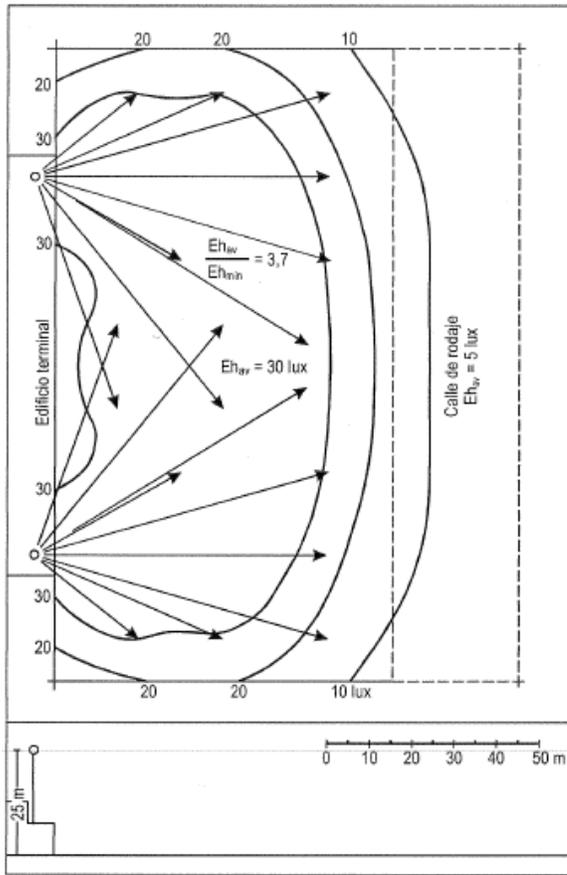


Figura 13-1. Curvas características de isolux para luminancia horizontal (Ejemplo A)

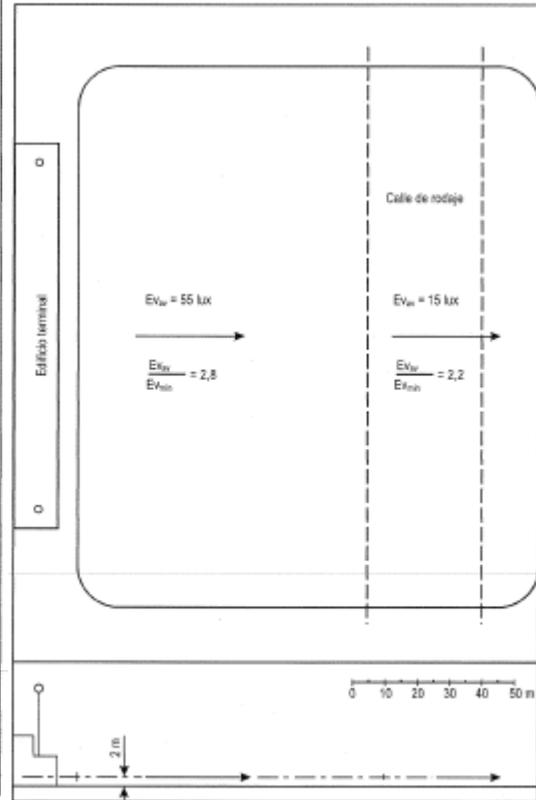


Figura 13-2. Promedio característico de luminancia vertical a 2 m de altura (Ejemplo A)

Figura 43. Disposición de iluminación en plataforma. – Figuras 13-1 y 13-2 de Doc. 9157 Parte 4 - OACI

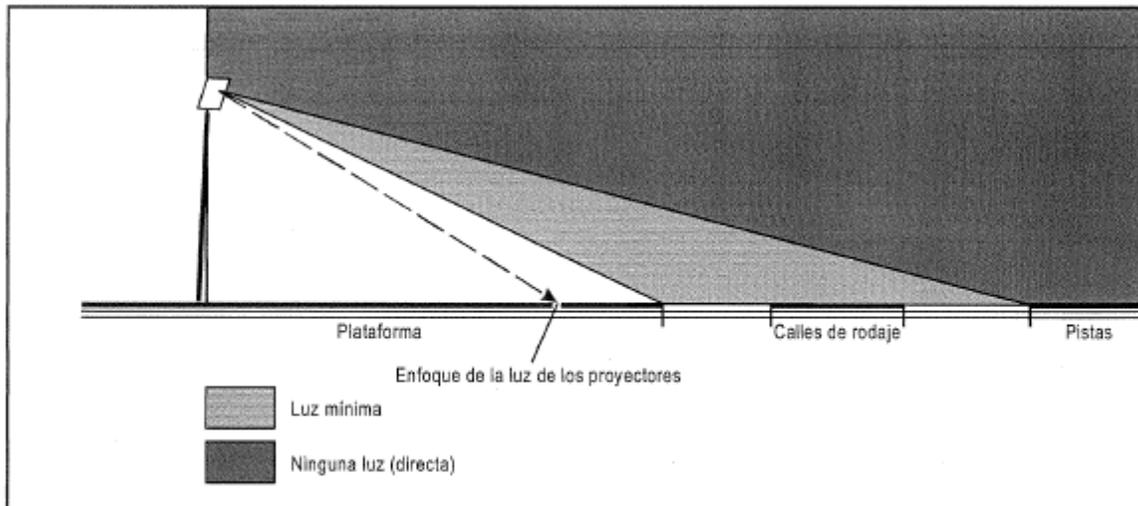


Figura 13-5. Enfoque de las luces para evitar el deslumbramiento

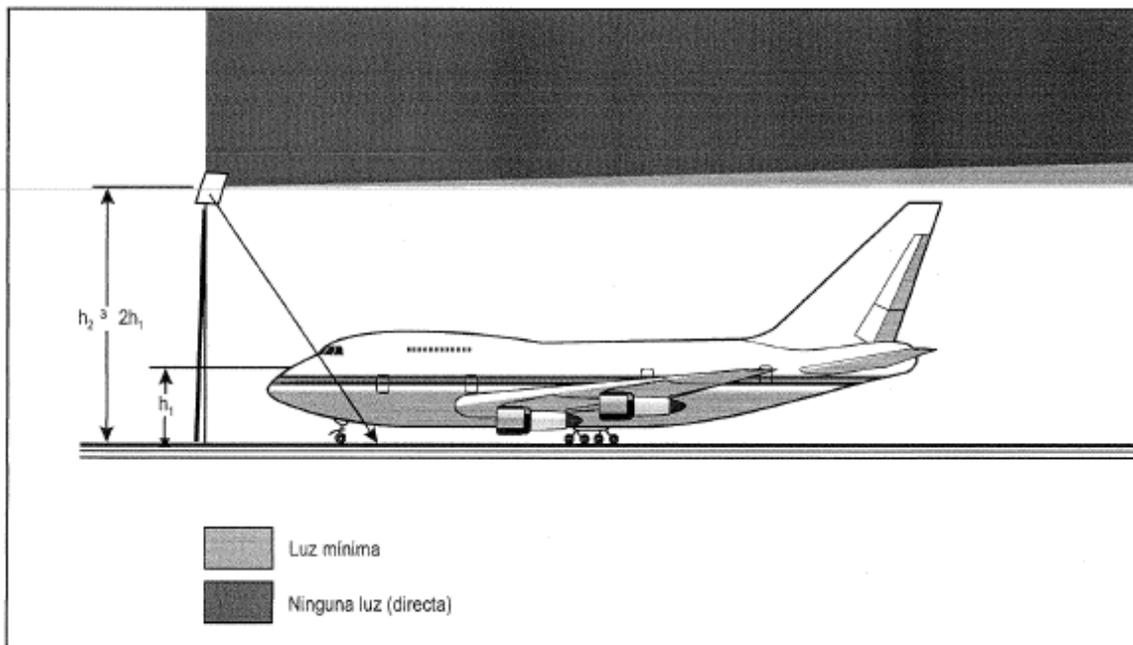


Figura 13-6. Altura de montaje para evitar el deslumbramiento

Figura 44. Altura de las luminarias en plataforma para evitar deslumbramiento. – Figuras 13-1 y 13-2 de Doc. 9157 Parte 4 - OACI

4.5 Montaje, soporte e instalación de las luminarias

Luces Elevadas:

Las luminarias y equipos elevados deberán ser frangibles, el cual está diseñado para quebrarse, deformarse o ceder al impacto, de manera que represente un peligro mínimo para las aeronaves.

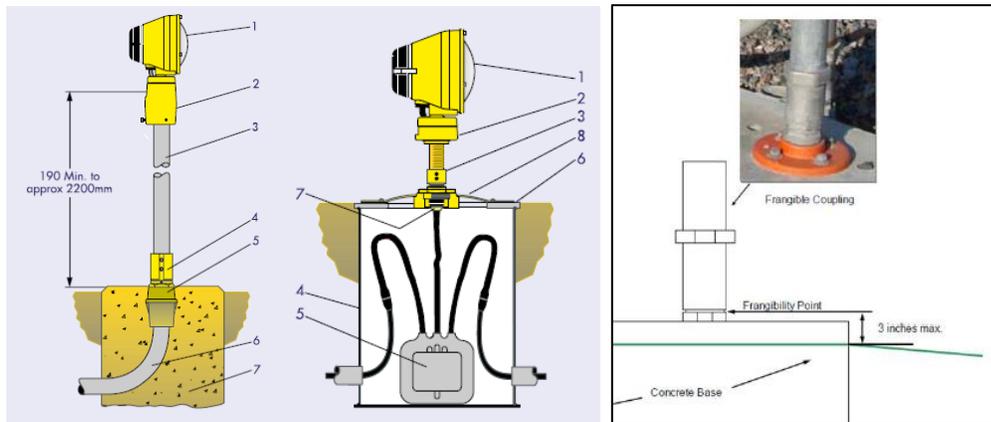


Figura 45. Luces Elevadas y elementos frangibles. (FlightLight, 2023)

Luces empotradas:

Las luces empotradas en la superficie de las pistas, zonas de parada, calles de rodaje y plataformas estarán diseñados y dispuestos de manera que soporten el paso de las medas de una aeronave sin que se produzcan daños a la aeronave ni a las luces.

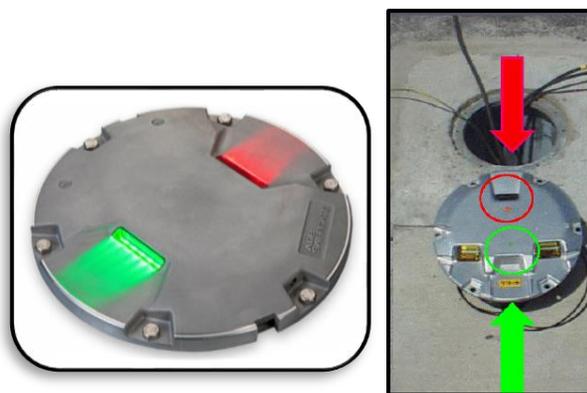


Figura 46. Luces Empotradas. (FlightLight, 2023)

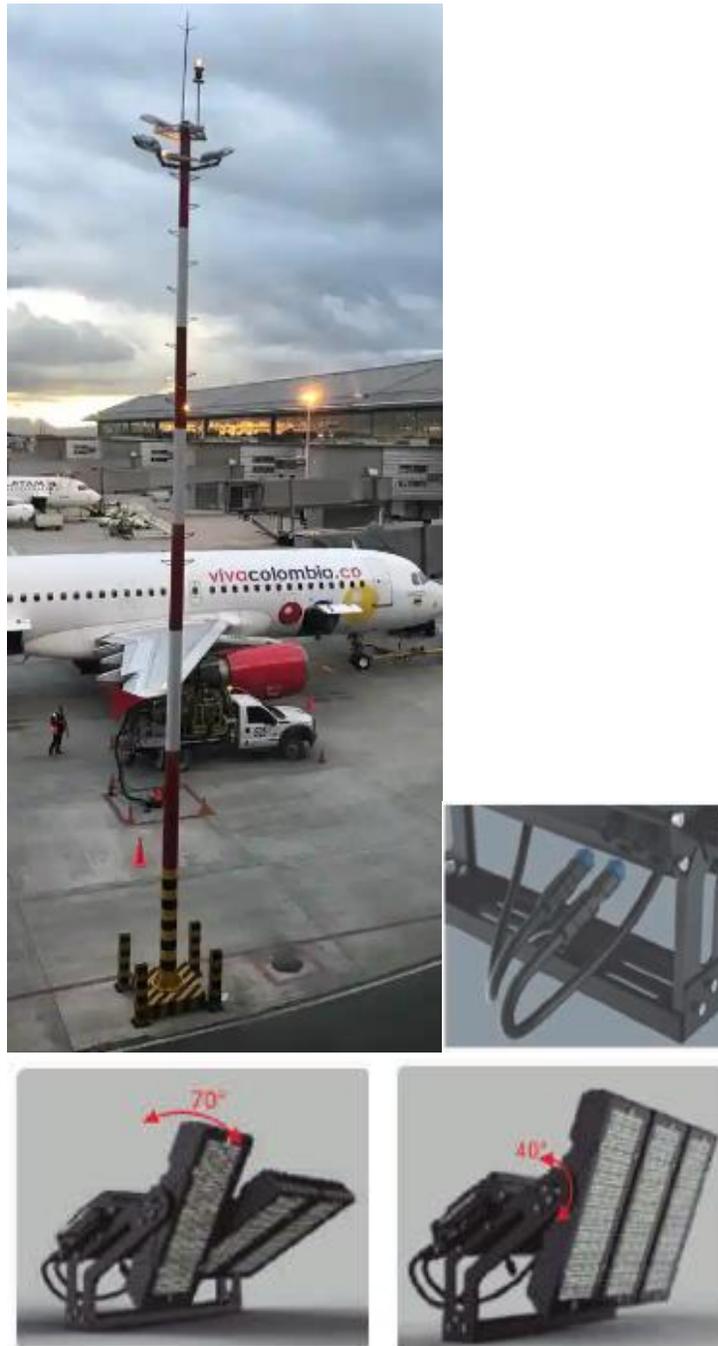
ESTRUCTURA PARA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN EN PLATAFORMA

Figura 47. Poste para aeropuerto marca Postelam y soporte de luminarias. (Postelam, 2023), (AES Airport Solution)

4.6 Sistemas de alimentación eléctrica

La alimentación eléctrica de las luminarias de pista de un aeropuerto se lleva a cabo mediante un sistema de suministro eléctrico y diseñado para garantizar la iluminación adecuada y confiable en la pista. Este sistema consta de varias etapas y componentes clave que aseguran el funcionamiento óptimo de las luminarias.

La redundancia y confiabilidad eléctrica son aspectos críticos que deben tener las luminarias de pista en un aeropuerto debido a la importancia de mantener una iluminación adecuada y constante para la seguridad de las operaciones aéreas. Para garantizar esto, se implementan medidas específicas.

En primer lugar, se utiliza un sistema de alimentación eléctrica redundante. Esto implica contar con múltiples fuentes de suministro eléctrico, como subestaciones eléctricas independientes o redes eléctricas separadas. Si una fuente de energía falla, automáticamente se activa otra fuente para asegurar que las luminarias de la pista sigan funcionando sin interrupciones. Esta redundancia minimiza el riesgo de apagones y asegura una continuidad en la iluminación de la pista.

Desde esta fuente, la electricidad se transmite a través de cables de alta tensión hasta un centro de distribución. Aquí se reduce la tensión eléctrica y se distribuye a diferentes áreas del aeropuerto, incluyendo la pista.

En segundo lugar, una vez que la energía eléctrica llega a la zona de la pista, se utiliza un sistema de cables subterráneos para llevarla a cada luminaria. Estos cables están diseñados para soportar condiciones adversas y proteger la integridad del suministro eléctrico. Además, suelen contar con sistemas de protección contra cortocircuitos y sobrecargas para garantizar la seguridad de la instalación.

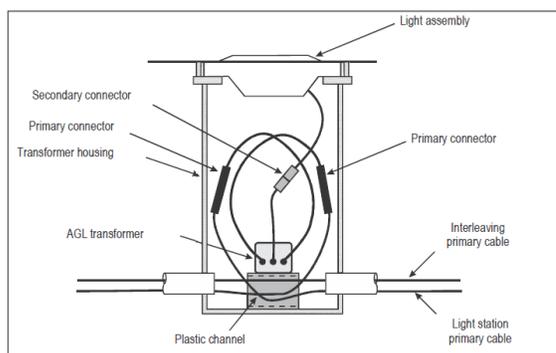


Figure 9-2. Use of plastic channel in housing

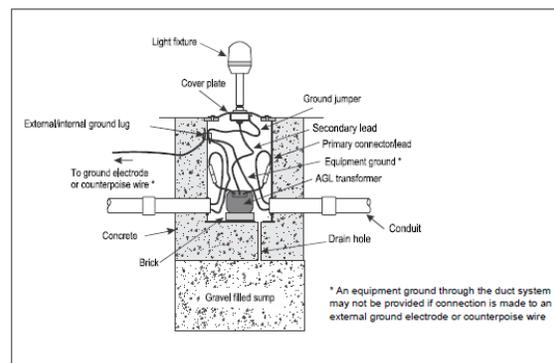


Figure 13-20. Light unit on transformer housing

Figura 48. Cajas de inspección de alimentación de la instalación eléctrica. Figuras tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.

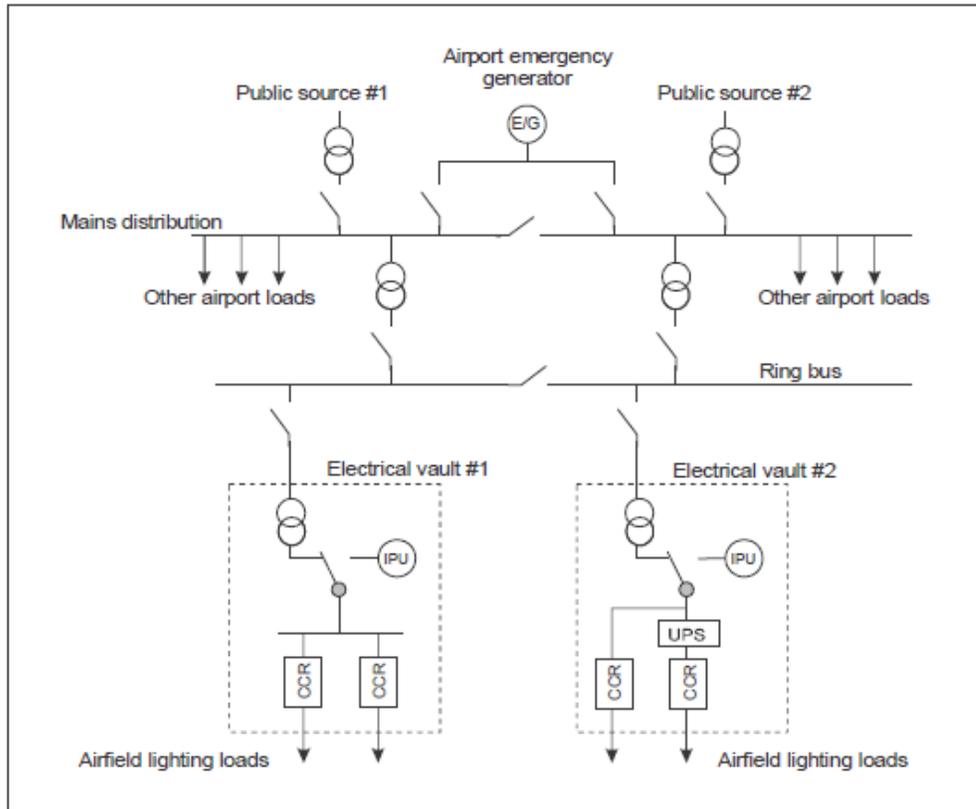


Figure 4-1. Power schematic

Figura 49. Sistema de alimentación eléctrica de la iluminación. Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.

Además de la redundancia en la fuente de alimentación, se implementan sistemas de respaldo. Estos sistemas suelen consistir en baterías de respaldo o generadores de emergencia que entran en funcionamiento en caso de una interrupción en el suministro eléctrico principal. Estos sistemas de respaldo garantizan que las luminarias continúen operando incluso en situaciones de fallo de energía prolongadas, asegurando una iluminación constante y evitando cualquier impacto negativo en las operaciones aéreas.

Finalmente, cada luminaria de pista está conectada a los cables subterráneos a 5kV través de conexiones plug & play y transformadores específicos que alimentan las luminarias con una corriente de 6.6 A. Estas conexiones permiten que la electricidad fluya desde los cables hasta la luminaria, alimentando sus lámparas y sistemas de control. Es común que se utilicen conectores impermeables y resistentes a la intemperie para evitar daños causados por la humedad y el clima.

Otro aspecto importante es la implementación de sistemas de monitoreo y control. Se utilizan sistemas de monitoreo continuo para detectar cualquier anomalía o falla en el suministro eléctrico a las luminarias. Además, se emplean sistemas de control centralizados que permiten supervisar y gestionar el funcionamiento de las luminarias de forma remota. Esto facilita la detección temprana de problemas y permite una respuesta

rápida ante cualquier situación que pueda comprometer la confiabilidad del suministro eléctrico.

Como lo indica la OACI Doc 9157, parte 5, artículo 3.3.1 y 3.3.2. “El objetivo de diseño para el sistema de iluminación es tal que, en caso de falla o mal funcionamiento del suministro “normal”, se realice la transferencia automática al suministro “de reserva” dentro de un período de tiempo específico.” “Es importante señalar que las designaciones de suministro “normal” y suministro “de reserva” son simplemente etiquetas que se aplican a las fuentes de energía según corresponda para el modo de operación y el tiempo de interrupción. Por lo general, un aeródromo tendría una fuente de energía pública y una unidad generadora diesel-eléctrica o unidad de energía interrumpible (IPU) para los sistemas de iluminación. Como se muestra en la Figura 3-2, en el caso de aproximación que no es de precisión y aproximación de precisión Categoría I, la IPU se etiquetaría como “en espera” y la fuente de energía pública como “normal”, ya que la IPU se puede iniciar y estabilizado dentro del período de tiempo máximo de 15 segundos.”

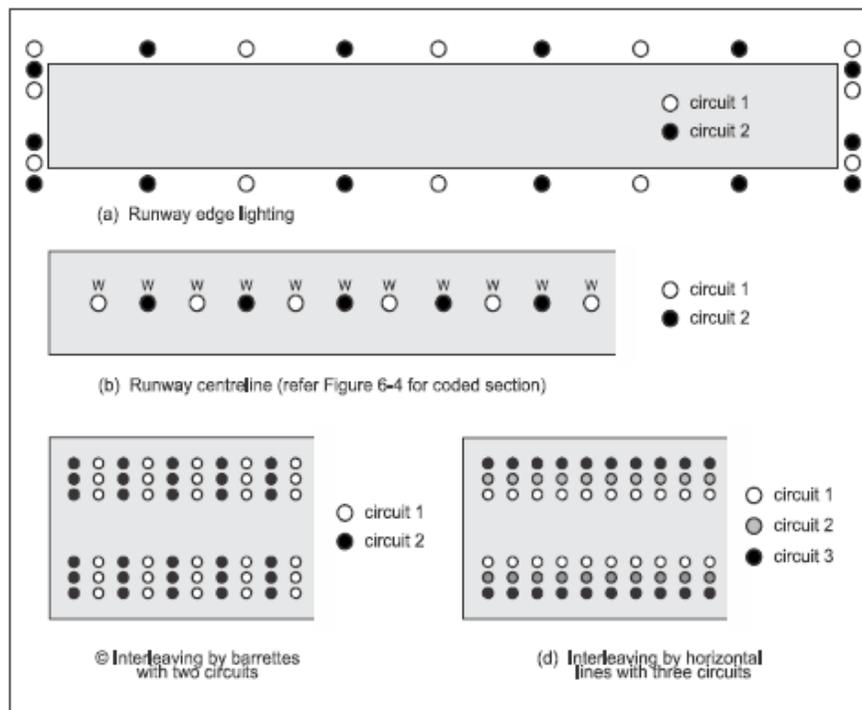


Figure 6-5. Runway edge, centreline and touchdown zone lighting

Figura 50. Distribución de circuitos de iluminación - Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.

4.7 Equipos para la instalación

TRANSFORMADORES:

Características de transformador para la alimentación de las luminarias.

Tens. Prim [V]	POTENCIA [W]	Hz	Sec.Corriente [A]	Eff. Min at 20°C
5000	10-500	60	6,6	70-90%

Figura 51. Características del transformador

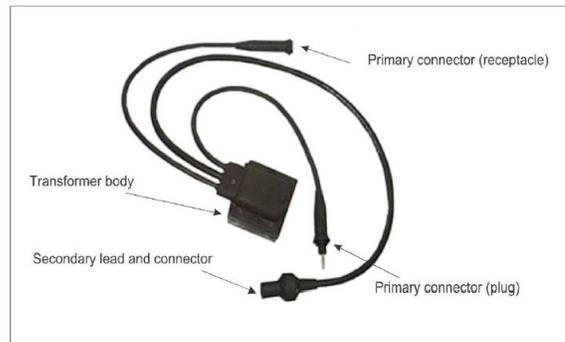


Figure 9-1. AGL transformer

Figura 52. Transformador de alimentación de las luminarias. Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.

LUCES HALÓGENAS:

Modelos de bombillas de recambio para luminarias halógenas en pista.



Figure 11-3. MR16 lamp with reflector (source: Genesis Lamp Corporation)



Figure 11-4. PK30 lamp (source: OSRAM GmbH)

Figura 53. Bombilla halógenas, empleada en las luminarias de pista. Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.

Partes de las luminarias:

En la siguiente figura, se muestran las diferencias entre las luminarias halógena y LED.

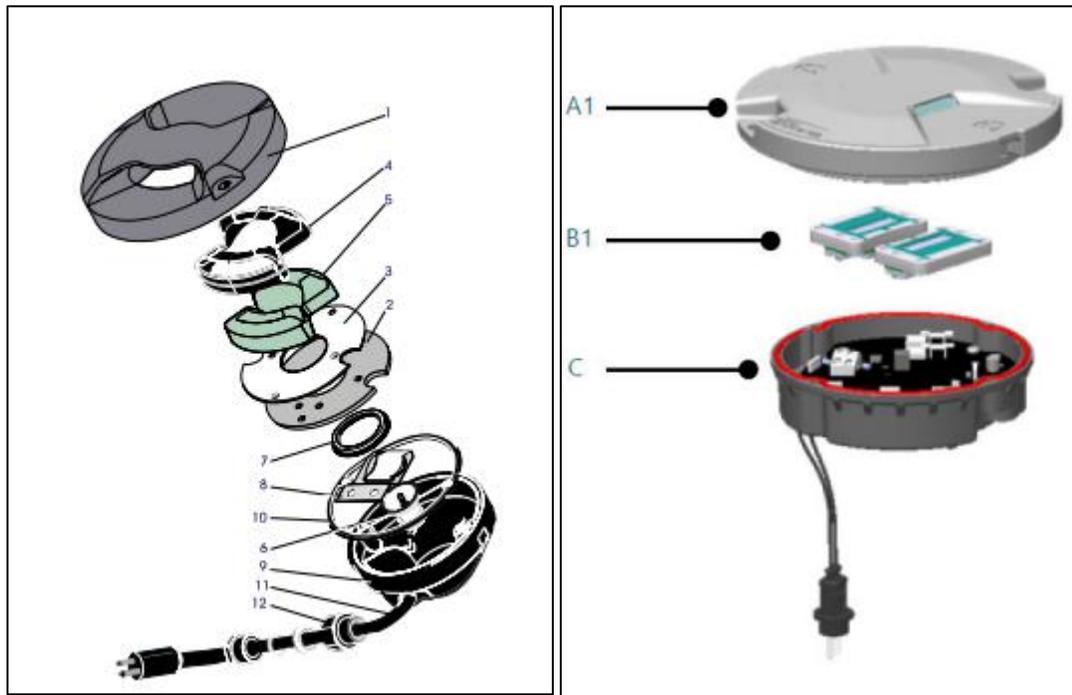


Figura 54. Ensamblaje de luminaria Halógena (Izquierda) y luminaria LED (Derecha),
Figura tomadas de OACI 9157, parte 5, sistemas eléctricos.

4.8 Esquema de mantenimiento

El esquema de mantenimiento de los aeropuertos colombianos se puede basar en la guía de la Aerocivil CI 018 - V1 - MANTENIMIENTO DE AYUDAS VISUALES, donde expresa diferentes mantenimientos preventivos y correctivos de las ayudas visuales

Requerimiento de Mantenimiento	D I A R I O	S E M A N A L	M E N S U A L	S E M E S T R A L	A N U A L	O T R O S
1. Chequeo del control de los circuitos para cada nivel de brillo.	X					

REQUERIMIENTO DE MANTENIMIENTO	D I A R I O	S E M A N A L	M E N S U A L	B I M E S T R A L	S E M E S T R A L	A N U A L	O T R O S
1. Inspección de Bombillos fundidos o con baja luminosidad.	X						
2. Reemplazo de lámparas dañadas y su mantenimiento.		X					
3. Limpieza de lámparas y lentes sucios			X				X
4. Realizar el análisis fotométrico del sistema de luces en la pista.			X				X
5. Verificación del torque de los pernos.				X			
6. Inspección de presencia de agua en las bases.					X		
7. Remover barro y otros elementos que perturban su función.							X
8. Inspección del cableado.							X

Tabla 16. Mantenimientos preventivos de ayudas visuales - Aerocivil CI 018 - V1 - Mantenimiento de ayudas visuales

5. Resultados de diseño

Se llevará a cabo el montaje del diseño de iluminación del aeropuerto utilizando los programas REVIT y DIALUX. Estas herramientas de diseño y cálculo de iluminación nos permitirán simular el entorno exterior de la pista.

Utilizaremos el programa REVIT para realizar un modelo 3D de la pista y plataforma del aeropuerto. A partir de este modelo, podremos diseñar el sistema de iluminación, situando las luminarias en las ubicaciones adecuadas según los reglamentos y ajustando las características de cada tipo de luminarias presentes en el diseño para cumplir con los estándares de iluminación requeridos.

Una vez completado el diseño en REVIT, exportaremos la simulación en 3D a DIALUX para realizar el cálculo fotométrico. Este software nos permitirá simular y evaluar el rendimiento de la iluminación de las diferentes áreas, teniendo en cuenta factores como la iluminancia, la uniformidad. Con la ayuda de DIALUX, podremos analizar la distribución de las luminarias en plataforma y ajustar los parámetros de iluminación para lograr una iluminación que requiere la pista.

5.1 Pistas

La pista de aeropuerto nacional tendrá unas dimensiones que constan de: una longitud de Recorrido de despegue disponible (TORA) de 2200 m, con un ancho de pista de 45 m. Cuenta con calle de rodaje, plataforma con estacionamiento de aeronaves. Alcance visual en la pista

- Recorrido de despegue disponible (TORA): 2,2 km.
- Ancho de pista: 45 m.
- Cuenta con:
 - Calle de Rodaje.
 - Estacionamiento de aeronaves: Plataforma
- Clave de referencia del aeropuerto: 4D.
- RVR: Visual

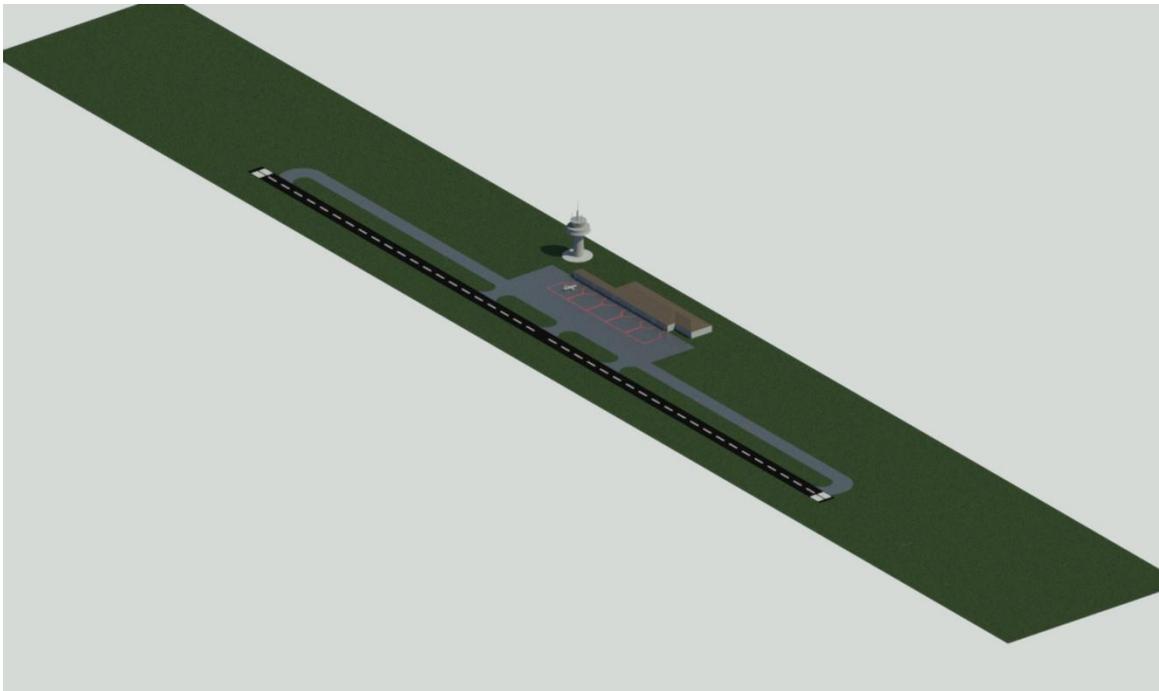


Figura 55. Aeropuerto Nacional Modelo - Tomado de: Simulación Revit del presente diseño. Elaboración propia.

5.2 Calle de rodaje

5.2.1 Consideraciones adicionales para el manejo de figuras y tablas

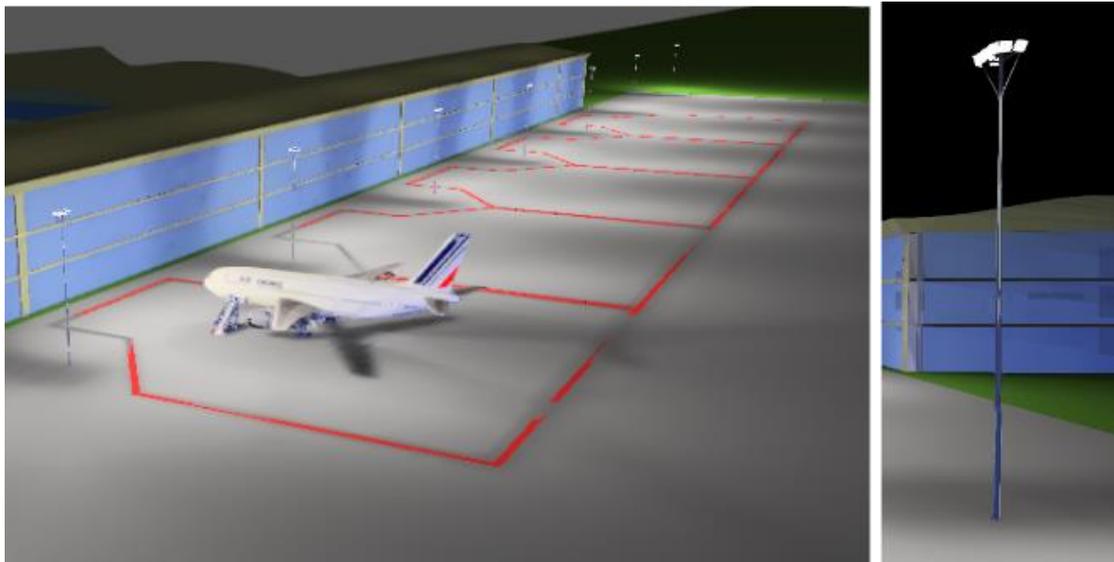


Figura 56. Plataforma de Aeropuerto Nacional Modelo - Tomado de: Simulación Dialux del presente diseño. Elaboración propia.

Cálculo de iluminación		Factores de mantenimiento	
Terreno		Área	Terreno 1
PLATAFORMA			Configuración DIALux predete
	63.9 lx		5.1.4 Estándar (área de tráns
		Factor de degradación	MF 0.68
VERTICAL PLATAFORMA		La asignación de luminarias a áreas influye también en la evaluación energética.	
	30.6 lx		

Tabla 17. Resultados de plataforma de aeropuerto nacional en Dialux, con su respectivo factor de mantenimiento. Elaboración propia.

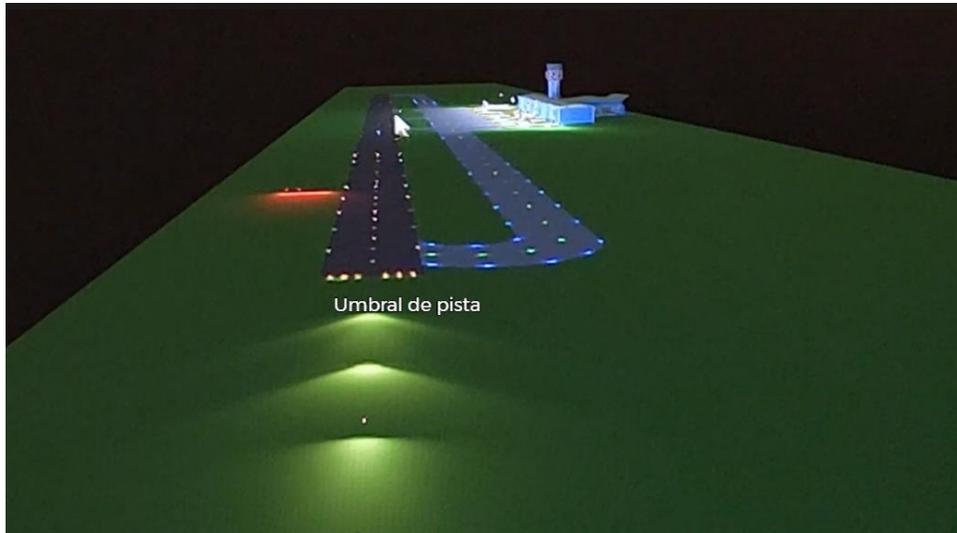


Figura 57. Simulación de iluminación en pista de aeropuerto en Dialux. Elaboración propia.

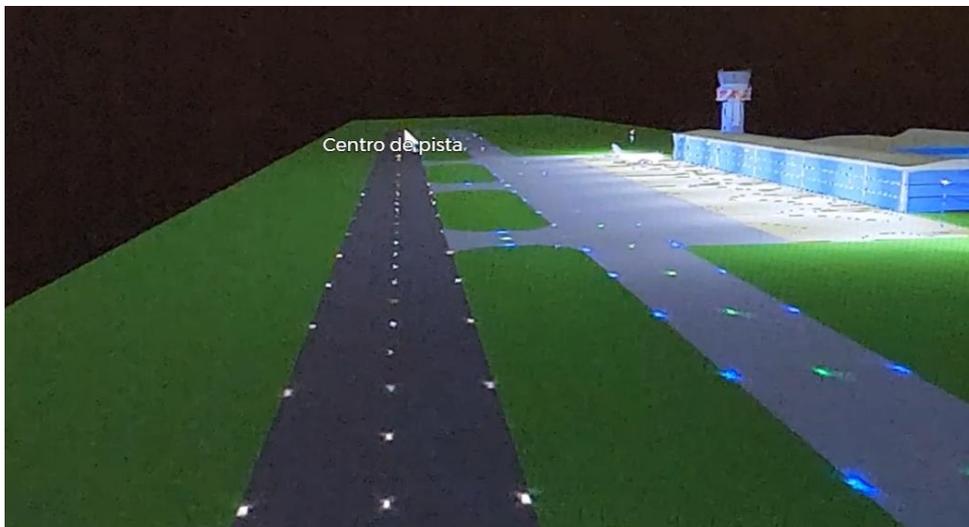


Figura 58. Simulación de iluminación en pista de aeropuerto en Dialux. Elaboración propia.

6. Luminarias Seleccionadas y propuesta Final

PISTA			
REFERENCIA DE LUMINARIA			
DESCRIPCIÓN	TIPO LUMINARIA	COLOR	LED
ILUMINACIÓN APROXIMACIÓN	ELEVADO	BLANCO	
ILUMINACIÓN UMBRAL DE PISTA	ELEVADO	BLANCO	
ILUMINACIÓN FINAL DE PISTA	ELEVADO	VERDE/ROJO	
ILUMINACIÓN EJE CENTRAL PISTA	INCRUSTADO	BLANCO/ROJO	
ILUMINACIÓN BORDE DE PISTA	ELEVADO	BLANCO/AMARILLO	
ILUMINACIÓN PAPI	ELEVADO	-	

CALLE DE RODAJE			
REFERENCIA DE LUMINARIA			
DESCRIPCIÓN	TIPO LUMINARIA	COLOR	LED
ILUMINACIÓN LINEA CENTRAL	INCRUSTADO	VERDE/VERDE	
ILUMINACIÓN BORDE DE CALLE RODAJE	ELEVADO	AZUL	

PLATAFORMA			
REFERENCIA DE LUMINARIA			
DESCRIPCIÓN	TIPO LUMINARIA	COLOR	LED
PLATAFORMA	EN MASTIL	4000 K*	

Tabla 18. Figuras de luminarias seleccionadas según su uso en aeropuerto. Elaboración propia.

7. Análisis económico

Para este proyecto se realizaron dos cotizaciones, con una empresa muy conocida mundialmente en el sector aeroportuario. Una de las cotizaciones fue realizada con luminarias halógenas y la segunda cotización fue realizada con luminarias LED.

Las dos cotizaciones presentan una diferencia del 35.79%, donde a continuación explicaremos cual es la mejor alternativa, referente a varios factores que pueden influir en una toma de decisión favorable para cualquier aeródromo.

SUMINISTRO LUMINARIAS PISTA Y CALLE RODAJE	
HALOGENAS	LED
\$372.709	\$580.527
<i>*Los Valores son en Dolares Americanos</i>	

SUMINISTRO LUMINARIAS PLATAFORMA
LED
\$74.288
<i>*Los Valores son en Dolares Americanos</i>

Tabla 19. Costos de adquisición de luminarias para pista de aeropuerto

INSTALACIÓN LUMINARIAS
\$656.584.334
<i>*Los Valores son en pesos Colombianos</i>

INSTALACIÓN LUMINARIAS
\$ 156.740
<i>*Valor en Dolares Americanos</i>

Tabla 20. Costo de instalación de luminarias. Elaboración propia.

L E D	TOTAL SUMINISTRO + INSTALACIÓN
	\$811.555
	<i>*Los Valores son en Dolares Americanos</i>
L E D	TOTAL SUMINISTRO + INSTALACIÓN
	\$3.399.602.046
	<i>*Los Valores son en Pesos Colombianos</i>
H A L O G E N A	TOTAL SUMINISTRO + INSTALACIÓN
	\$603.737
	<i>*Los Valores son en Dolares Americanos</i>
H A L O G E N A	TOTAL SUMINISTRO + INSTALACIÓN
	\$2.529.053.366
	<i>*Los Valores son en Pesos Colombianos</i>

Tabla 21. Costos de instalación de las luminarias de pista. Elaboración propia.

La diferencia entre el costo de adquisición de luminarias halógenas y LED, incluyendo las luminarias LED de plataforma se tiene un ahorro de \$870.548.681 pesos, si se compran luminarias halógenas para pista y calles de rodaje.

Valor dólar 08 junio 2023

\$	4.189
DIFERENCIA	\$870.548.681

MESES CAMBIO X 8 AÑOS	32
LUMINARIAS TOTALES	327
VALOR BOMBILLO	\$ 23 DOLARES
GASTO CADA 3 MESES	\$ 7.521 DOLARES
VALOR CAMBIO X 8 AÑOS	\$ 240.672 DOLARES
	\$ 1.008.175.008 PESOS

DIFERENCIA AHORRO POR 8 AÑOS	\$137.626.327
-------------------------------------	----------------------

Tabla 22. Diferencia en costo entre luminarias Halógenas y LED. Elaboración propia.

Sin embargo, las luminarias LED poseen una vida útil superior a las halógenas, de 75000 horas y 1500 - 3500 horas, respectivamente. El recambio de luminarias halógenas si son empleadas 24 horas al día, deberán cambiarse alrededor de cada 3 meses, mientras que una luminaria LED su recambio será cada 8 años. Debido a esto el cambio de luminarias halógenas corresponderá a un costo de \$1'008.175.008 pesos adicional que la adquisición de luminarias LED.

7.1 Análisis energético

El costo de energía se realizó durante un periodo de 8 años para la comparación energética equivalente a la vida útil de la luminaria LED. Asumiendo un costo de energía de \$ 730 pesos kW/h. Se presenta un ahorro energético al instalar luminarias LED en pista en vez de halógenas, representando un ahorro de \$1'421.896.570 pesos.

COSTO ENERGIA LED			
KVA		11,566	
HORAS		24	
DIAS		365	
VALOR KWH		730	
			X8
VALOR ENERGIA ANUAL	\$	73.962.257	\$ 591.698.054
COSTO ENERGIA HALOGENA			
KVA		39,36	
HORAS		24	
DIAS		365	
VALOR KWH		730	
			X8
VALOR ENERGIA ANUAL	\$	251.699.328	\$ 2.013.594.624
		AHORRO EN ENERGIA	\$ 1.421.896.570

Tabla 23. Ahorro energético entre la instalación de luminarias LED y Halógenas.
Elaboración propia.

7.2 Factor de Mantenimiento

Primero se debe tener en cuenta el tema de mantenimiento que se debe realizar a cada una de las luminarias instaladas en el aeródromo, y esto va de la mano con la vida útil que promete cada luminaria.

Primero se debe tener en cuenta el tema de mantenimiento que se debe realizar a cada una de las luminarias instaladas en el aeródromo, y esto va de la mano con la vida útil que promete cada luminaria.

Factor de Mantenimiento:

El factor de mantenimiento esta dado por la formula:

$$FM = FE \times DBL \times Fb$$

Donde:

- FM** Factor de manteneimto de la instalación
- FE** Depreciación de la luminaria por ensuciamiento
- DBL** Depreciación por disminución de flujo luminoso de la luminaria
- FB** Factor de balasto

La mayor pérdida de iluminación en una instalación proviene de la suciedad, que se deposita sobre las luminarias, reduciendo la disminución de luz de las mismas. La acumulación de polvo sobre las luminarias está afectada por el grado de ventilación, el ángulo de inclinación, el acabado de las superficies que forman las luminarias y el grado de contaminación del ambiente que las rodea.

PARA LUMINARIAS LED:

TECNOLOGÍA	DEPRECIACIÓN DE LA LUMINARIA POR ENSUCIAMIENTO	DEPRECIACIÓN POR DISMINUCIÓN DE FLUJO LUMINOSO	FACTOR DE BALASTO
LED	0,75	0,9	1

Tabla 24. Factores de depreciación LED para el cálculo del factor de mantenimiento.
Elaboración propia.

$$FM = 0,75 \times 0,9 \times 1$$

$$FM = 0,675$$

PARA LUMINARIAS HALOGENAS:

TECNOLOGÍA	DEPRECIACIÓN DE LA LUMINARIA POR ENSUCIAMIENTO	DEPRECIACIÓN POR DISMINUCIÓN DE FLUJO LUMINOSO	FACTOR DE BALASTO
HALOGENAS	0,75	0,7	0.9

Tabla 25. Factores de depreciación Halógenas para el cálculo del factor de mantenimiento. Elaboración propia.

$$FM = 0,75 \times 0,7 \times 0,9$$

$$FM = 0,4725$$

Según la especificación técnica, las luminarias LED prometen una vida útil de 75.000 mil horas mientras que las luminarias Halógenas solo prometen 2.000 horas, lo que equivale a 3 meses de funcionamiento contra 8 años con luminarias LED.

A pesar de la diferencia económica del 35.79% más para las luminarias Led, la mejor decisión sería este tipo de luminarias, ya que las halógenas, el bombillo como tal, pierde su vida útil a los 3 meses, y sabiendo que solo se debe cambiar el bombillo halógeno como tal, mas no la luminaria completa como sucedería en las Led, esto incrementaría los mantenimientos mensuales, bimestrales y trimestrales, generando un costo adicional en la logística para tal fin.

Otro punto importante es el consumo de energía, por ejemplo, para una luminaria de aproximación, en Halógeno la potencia sería aproximadamente 150W y para luminarias Led, ese mismo tipo de luminaria con las mismas características y especificaciones de luminancia, solo sería de 30W, lo que significa un ahorro especialmente grande en consumo de energía. Así mismo como en tamaño de subestaciones, conductores, protecciones etc.

Según la revista Airport Improvement en su publicación de octubre del 2014 donde destacan la implementación del cambio de iluminación halógena a led, en una de las pistas y calles de rodaje del aeropuerto de Orlando en estados unidos, donde especifican *“Que el aeropuerto usa solo el 40% de la energía que usaba anteriormente para la pista 18R-36L, señala Goodacre. En 2007, la carga de la bóveda eléctrica de la pista era de aproximadamente 228 kVA. Hoy, después de cambiar completamente a LED, la carga para la misma bóveda es de 89 kVA. “Este es un gran ahorro para el aeropuerto”* (Bradley, 2014)

Definitivamente la mejor opción en estos tiempos es la tecnología Led, por su mantenimiento, su vida útil y su costo beneficioso. Para este proyecto seleccionamos luminarias led especificadas en el punto anterior.

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Es fundamental el cambio de tecnología de luminarias halógenos por LED. Se presenta una reducción significativa en el mantenimiento, pasando de luminarias halógenas cuya vida útil está entre 1.500 h a 3.500 horas, a luminarias LED de 75.000 a 100.000 horas. El cambio de las luminarias halógenas se realizará cada 3 meses, en cambio las luminarias LED será cada 8 años.
- Disminución energética por cambio de tecnología de iluminación halógena a LED, presenta una reducción del orden del 73% en la carga instalada para el presente diseño. El ahorro es del 30 kW, se pasa de 41,8 kW de iluminación halógena a 11,2 kW LED.
- La eficacia en términos de intensidad cd/w, mejora en el orden del 34% al 80% dependiendo del tipo de luminaria, lo que representa menos de energía para tener la misma distribución de iluminación que requiere tener las pistas.
- La adquisición del producto se debe prever con detalle, para determinar cuáles son los dispositivos, accesorios y los equipos necesarios para la instalación de cada luminaria.
- La selección de iluminación que tendrá una pista de aeropuerto se debe realizar en conjunto con La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil o Aeronáutica Civil, el operador del aeropuerto y el diseñador de la iluminación, debido que no todos los sistemas de iluminación que pueden ser instalados en una pista, que mejoran las condiciones de visibilidad del piloto, son de obligatorio uso.
- La complejidad de estos documentos y la cantidad de información que contienen puede hacer que el conocimiento en iluminación de aeropuertos sea bastante técnico y especializado. Por lo tanto, es esencial que los diseñadores de

iluminación y los ingenieros aeronáuticos involucrados en el diseño de aeropuertos estén familiarizados con estos documentos para garantizar que los sistemas de iluminación cumplan con los estándares y requisitos de seguridad establecidos por la OACI.

- Se requiere capacitación constante debido a la revisión y actualización de los reglamentos es continua, lo cual repercute en los diseños e instalaciones. Se debe tener precaución en la lectura del RAC 14, debido que no todos los artículos del anexo 14 de la OACI fueron relacionados en el documento colombiano y difieren con el Doc. 9157 manual de diseño de aeródromos: parte 4 ayudas visuales de la OACI.
- El Reglamento RETILAP Borrador, como está redactado solamente tratará de las luminarias para balizaje y sistema de señalización de pistas, lo cual no incluye las ayudas visuales en pista y los diferentes sistemas de iluminación en pista y plataformas.

8.2 Recomendaciones

- Se recomienda modificar el reglamento RETILAP (Borrador), el Artículo 2.5.4. Luminarias para balizaje en aeropuertos (Sistemas de señalización de pistas), balizas en pista de aeropuertos y señalización de pista. Las luces y sistemas de iluminación de pista,
- Se recomienda a la Aerocivil mejorar la numeración y continuación de ítems referentes a las figuras, tablas, del anexo 14 de la OACI, debido que se pierde el hilo conductor y referenciación de artículo y guía de diseño.

9. ANEXOS

9.1 A. Anexo: Cromaticidad de las luminarias empleadas.

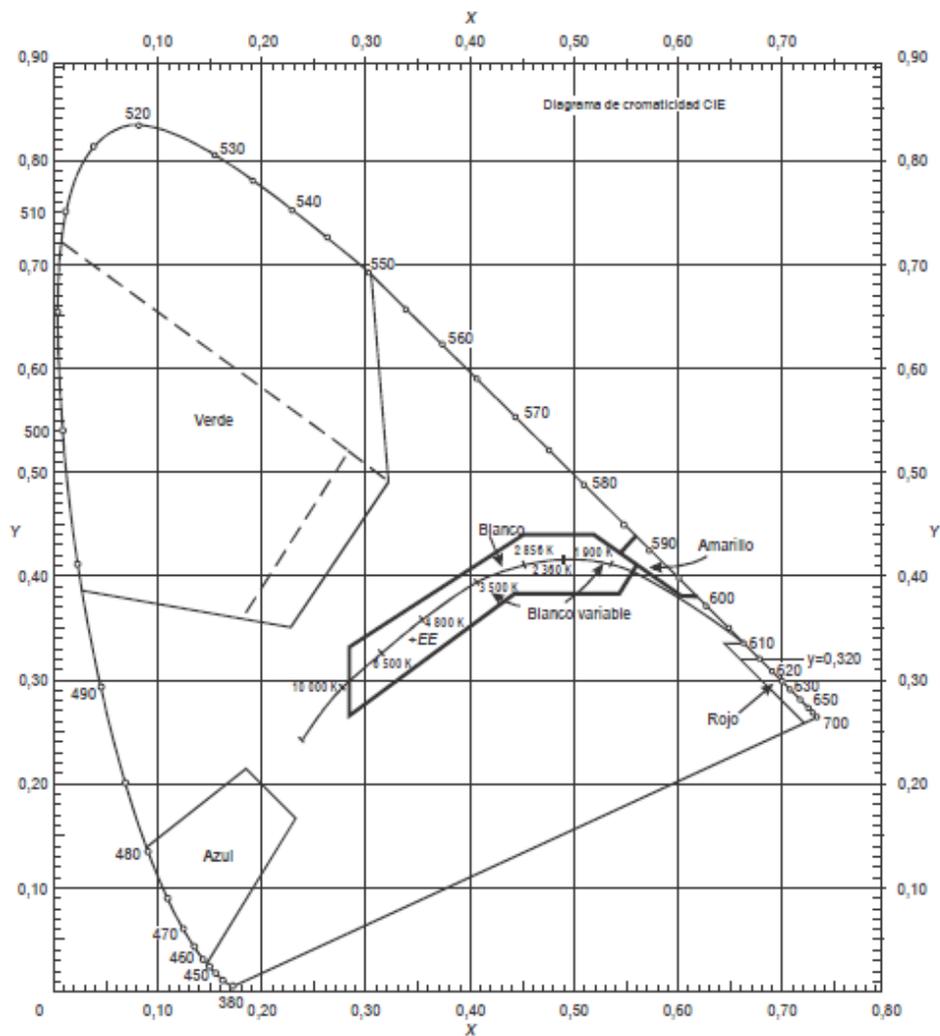


Figura 59. Figura A1-1a. Colores de luces aeronáuticas de superficie. Tomado Anexo 14 de la OACI.

(lámparas de tipo filamento)

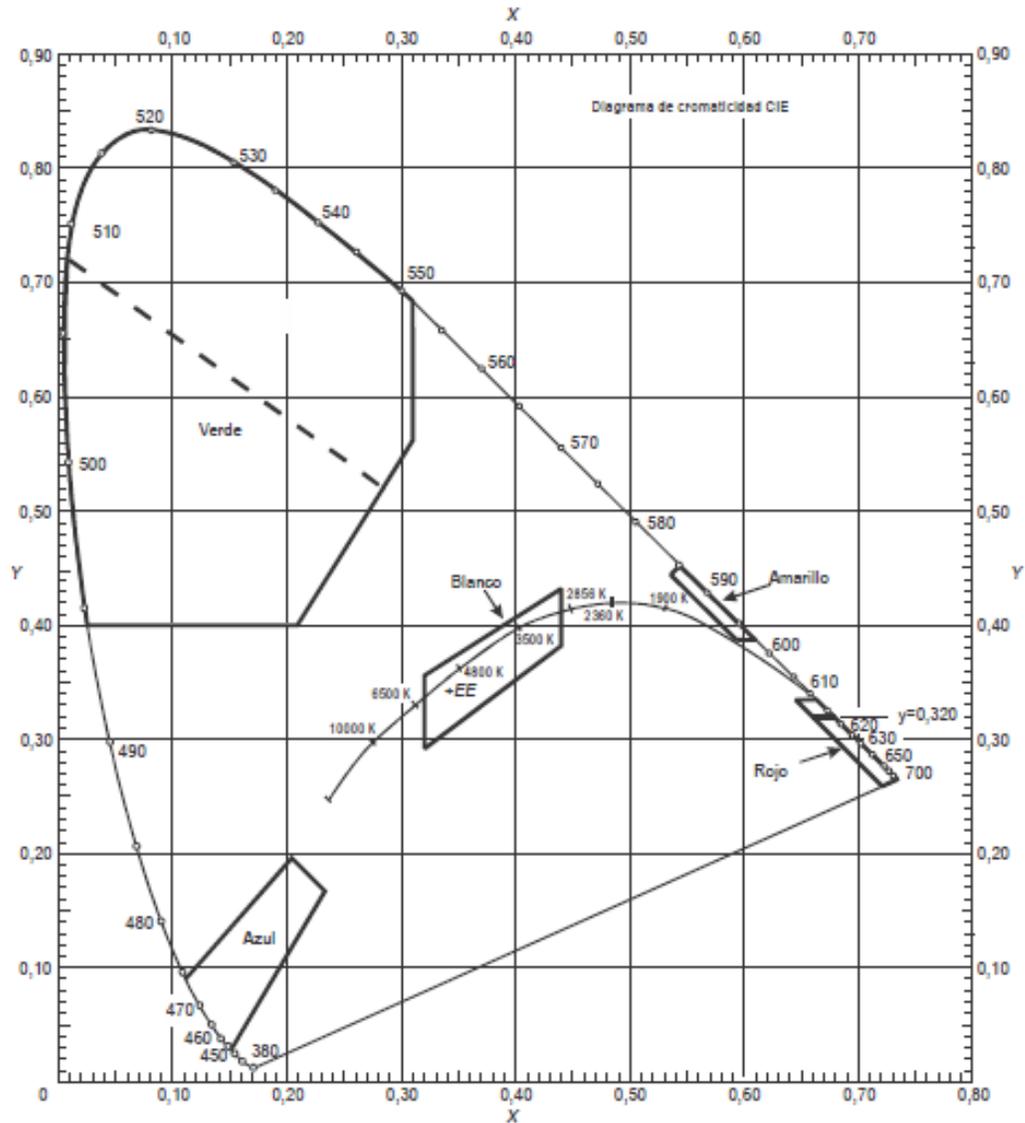


Figura A1-1b. Colores de luces aeronáuticas de superficie (iluminación de estado sólido)

Figura 60. Figura A1-1b. Colores de luces aeronáuticas de superficie (iluminación de estado sólido). Tomado Anexo 14 de la OACI.

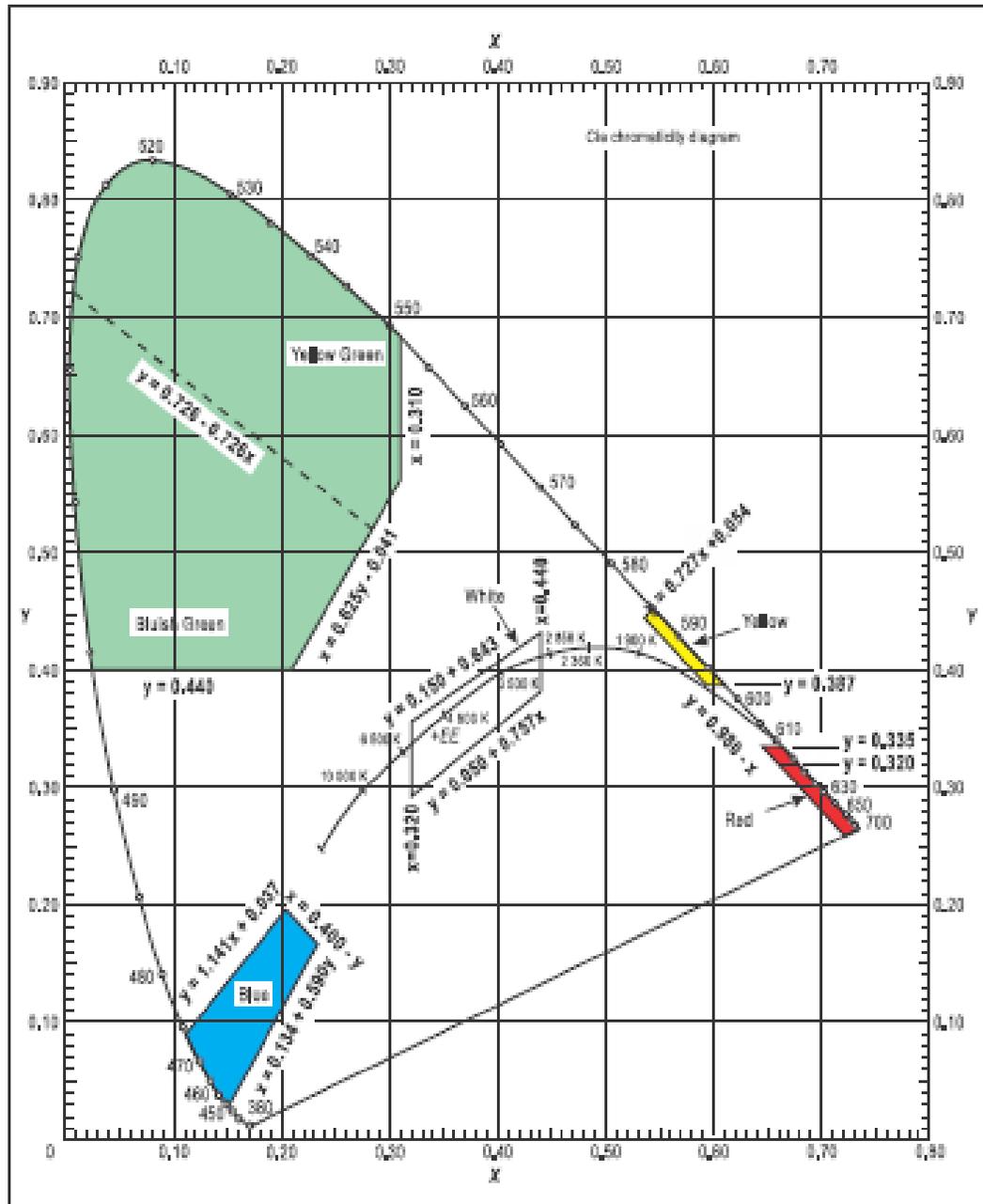


Figure 12-2. White and variable white for incandescent lighting

Figura 61. Figura A2. Luminarias incandescente – Ecuaciones CIE. Tomado Anexo 14 de la OACI.

9.2 B. Anexo: Presupuesto

PRESUPUESTO LUMINARIAS HALOGENAS - PISTA Y CALLE RODAJE

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Approach Light				
1.1	*80-ZA420 - ZA420 Uni-Directional Elevated Approach fitting - clear glass spreader, aviation yellow cast aluminium body, spun aluminium reflector, complete with 300mm `B` type plug lead. Lamp and mounting shown separately. Mounting options - M32 stem or 50/60mm socket.	UN	17	\$220,47	\$3.747,99
1.2	*80-M32 - ZA420 series M32 Stem	UN	17	\$121,08	\$2.058,36
1.3	LA-J1/83 - 150W 6.6A PK30d - with female leads Fig 34 for ZA420	UN	17	\$21,89	\$372,13
1.4	80-004073 - Pole Coupling for ZA420 0	UN	17	\$112,97	\$1.920,49
1.5	BA-1932G - L867B 12" Diameter Corten Baseplate (2" NPS) with neoprene gasket 1/8" and ground connection. FAA approved	UN	17	\$59,00	\$1.003,00
1.6	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	17	\$219,00	\$3.723,00
1.7	TR-L830-18 - 150W 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	17	\$159,00	\$2.703,00
1.8	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	17	\$23,00	\$391,00
2	ELEVATED RUNWAY THRESHOLD				
2.1	*80-ZA426G - ZA426 Uni-Directional Elevated Threshold fitting - clear glass refractor with green dichroic filter, aviation yellow cast aluminium body, spun aluminium reflector complete with 300mm `B` type plug lead. Lamp and mounting shown separately. Mounting options - M32 stem or 50/60mm socket.	UN	6	\$244,60	\$1.467,60
2.2	LA-J1/83 - 150W 6.6A PK30d - with female leads Fig 34 for ZA420	UN	6	\$21,89	\$131,34
2.3	*80-M32 - ZA420 series M32 Stem	UN	6	\$121,08	\$726,48
2.4	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	6	\$29,33	\$175,98
2.5	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	6	\$59,00	\$354,00
2.6	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	6	\$219,00	\$1.314,00
2.7	TR-L830-18 - 150W 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	6	\$159,00	\$954,00
2.8	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	6	\$23,00	\$138,00
3	RUNWAY EDGE				
3.1	*80-ZA163CC - ZA163 Bi-Directional High Intensity Elevated Runway Edge fitting - clear glass refractor, Pk30d lamp holder, aviation yellow painted body, M32 threaded mounting stem and 300mm `B` type plug lead. Includes 150W PK30d lamp	UN	54	\$392,00	\$21.168,00
3.2	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	54	\$29,33	\$1.583,82
3.3	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	54	\$59,00	\$3.186,00
3.4	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	54	\$219,00	\$11.826,00
3.5	TR-L830-18 - 150W 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	54	\$159,00	\$8.586,00
3.6	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	54	\$23,00	\$1.242,00
3.7	*80-ZA163CY - ZA163 Bi-Directional High Intensity Elevated Runway Edge fitting - clear/yellow, Pk30d lamp holder, aviation yellow painted body, M32 threaded mounting stem and 300mm `B` type plug lead. Includes 150W PK30d lamp	UN	20	\$479,00	\$9.580,00
3.8	*80-9017 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	20	\$29,33	\$586,60
3.9	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	20	\$59,00	\$1.180,00
3.10	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	20	\$219,00	\$4.380,00
3.11	TR-L830-18 - 150W 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	20	\$159,00	\$3.180,00
3.12	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	20	\$23,00	\$460,00

4	ELEVATED RUNWAY END				
4.1	80-ZA421 - Elevated Approach Light 200W Red Lamp and Coupling not included Yellow Body NOT FAA Approved	UN	12	\$244,60	\$2.935,20
4.2	LA-J180 - 100W 6.6A PK30d - L850 w with Male Connectors 64342 HLX-C 64342 **Limited to stock on Hand**	UN	12	\$33,91	\$406,92
4.3	*80-M32 - ZA420 series M32 Stem	UN	12	\$121,08	\$1.452,96
4.4	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	12	\$29,33	\$351,96
4.5	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	12	\$59,00	\$708,00
4.6	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	12	\$219,00	\$2.628,00
4.7	TR-L830-06 - 200 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	12	\$159,00	\$1.908,00
4.8	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	12	\$23,00	\$276,00
5	RUNWAY CENTRELINE				
5.1	*80-ZA181CC - ZA181 IEC Style Bi-Directional Inset Runway Centreline fitting - clear/clear lenses, 8" diameter, clear anodised finished body, 2 x 48W 6.6A reflector lamps and 1 x 300mm 'B' type plug lead.	UN	74	\$451,98	\$33.446,52
5.2	BA-L868BG-2QD - L868B Base 12"DiaX24"Deep, 11-1/4"BC 2 x 2" Grmmts @0&180 Internal/External Ground 3/4" Drain hole, Class 1A	UN	74	\$301,71	\$22.326,54
5.3	30-AA122820 - Adapter Ring for 12" L868 Base to 8" Diameter, 7.25"BC inset fixture; Galvanized to ASTM-A123/A123M-02. (6) Equally spaced, thru holes.	UN	74	\$179,88	\$13.311,12
5.4	TR-L830-04 - 100 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer (11683)	UN	74	\$136,00	\$10.064,00
5.5	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	74	\$23,00	\$1.702,00
6	TAXIWAY CENTRELINE				
6.1	*80-ZA280IEC - ZA280 IEC Style Bi-Directional Inset Taxiway Centreline fitting - straight section, clear lenses with green filters, clear anodised finished body w with 48W 6.6A reflector lamp and 300mm 'B' type plug lead.	UN	70	\$393,00	\$27.510,00
6.2	30-AA122820 - Adapter Ring for 12" L868 Base to 8" Diameter, 7.25"BC inset fixture; Galvanized to ASTM-A123/A123M-02. (6) Equally spaced, thru holes.	UN	70	\$179,88	\$12.591,60
6.3	BA-L868BG-2QD - L868B Base 12"DiaX24"Deep, 11-1/4"BC 2 x 2" Grmmts @0&180 Internal/External Ground 3/4" Drain hole, Class 1A	UN	70	\$301,71	\$21.119,70
6.4	TR-L830-01 - 30/45 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	70	\$93,00	\$6.510,00
6.5	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	70	\$23,00	\$1.610,00
7	ELEVATED TAXIWAY EDGE				
7.1	*80ZA216/16 - ZA216/16 Omni-Directional Low Intensity Elevated Taxiway Edge fitting - blue glass dome, aviation yellow painted body, PK30d lamp holder, M32 mounting stem and 300mm 'B' type plug lead. Lamp show n separately.	UN	70	\$182,34	\$12.763,80
7.2	LA-J176 - 45W 6.6A PK30d w with male lead 0	UN	70	\$25,22	\$1.765,40
7.3	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	70	\$29,33	\$2.053,10
7.4	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	70	\$59,00	\$4.130,00
7.5	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	70	\$219,00	\$15.330,00
7.6	TR-L830-01 - 30/45 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	70	\$93,00	\$6.510,00
7.7	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	70	\$23,00	\$1.610,00
8	PAPI				
8.1	80-ZA737/7 - ATG PAPI Unit. 3 x PK30D Type Lamp w/ Metal Cover finished in Aviation Yellow with 540mm 'B' Type Plug Leads, Mounting Base and 3 Frangible Legs. Includes 3 x 200w Lamps.	UN	4	\$4.919,41	\$19.677,64
8.2	LA-59080 - 200watts PK30D w with female flat leads 2000 hours life expectancy	UN	12	\$30,29	\$363,48

IVA

SUBTOTAL	\$ 313.201
19%	\$ 59.508
TOTAL	\$ 372.709

Tabla 26. Presupuesto de luminarias halógenas de pista. Elaboración propia.

PRESUPUESTO LUMINARIAS LED - PISTA Y CALLE RODAJE

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	APPROACH LIGHT				
1.1	*80-FX862AP - FX862AP Approach LED	UN	17	\$936,00	\$15.912,00
1.2	*80-FX862-M32 - FX862 M32 Stem Assy	UN	17	\$48,61	\$826,37
1.3	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	17	\$29,33	\$498,61
1.4	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC w with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	17	\$59,00	\$1.003,00
1.5	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	17	\$219,00	\$3.723,00
1.6	TR-L830-06 - 200 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	17	\$159,00	\$2.703,00
1.7	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	17	\$23,00	\$391,00
2	ELEVATED RUNWAY THRESHOLD				
2.1	*80-FX862THA - Threshold 2.3 Axial Green LED	UN	6	\$947,00	\$5.682,00
2.2	*80-FX862-M32 - FX862-M32 Stem Assy	UN	6	\$48,61	\$291,66
2.3	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	6	\$29,33	\$175,98
2.4	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC w with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	6	\$59,00	\$354,00
2.5	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	6	\$219,00	\$1.314,00
2.6	TR-L830-01 - 30/45 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	6	\$93,00	\$558,00
2.7	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	6	\$23,00	\$138,00
3	ELEVATED RUNWAY END				
3.1	*80-FX862REA - FX862REA R/w ay End Axial R LED	UN	12	\$947,00	\$11.364,00
3.2	*80-FX862-M32 - FX-862-M32 Stem Assy	UN	12	\$48,61	\$583,32
3.3	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	12	\$29,33	\$351,96
3.4	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC w with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	12	\$59,00	\$708,00
3.5	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	12	\$219,00	\$2.628,00
3.6	TR-L830-04 - 100 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer (11683)	UN	12	\$136,00	\$1.632,00
3.7	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	12	\$23,00	\$276,00
4	RUNWAY CENTRELINE				
4.1	*80-FX850A - FX850A R/w ay C/Line W/W Single Lead LED	UN	74	\$988,00	\$73.112,00
4.2	30-AA122820 - Adapter Ring for 12" L868 Base to 8" Diameter, 7.25"BC inset fixture; Galvanized to ASTM-A123/A123M-02. (6) Equally spaced, thru holes.	UN	74	\$179,88	\$13.311,12
4.3	BA-L868BG-2QD - L868B Base 12"DiaX24"Deep, 11-1/4"BC 2 x 2" Grmmts @0&180 Internal/External Ground 3/4" Drain hole, Class 1A	UN	74	\$301,71	\$22.326,54
4.4	TR-L830-04 - 100 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer (11683)	UN	74	\$136,00	\$10.064,00
4.5	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	74	\$23,00	\$1.702,00
5	ELEVATED RUNWAY EDGE				
5.1	*80-FX862C32WW051 - FX862C LED R/w ay Edge W/W	UN	54	\$850,00	\$45.900,00
5.2	*80-FX862-M32 - FX862M32 Stem Assy	UN	54	\$48,61	\$2.624,94
5.3	*80-9071 - Frangible coupling 32mm O/D	UN	54	\$29,33	\$1.583,82
5.4	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC w with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	54	\$59,00	\$3.186,00
5.5	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	54	\$219,00	\$11.826,00
5.6	TR-L830-06 - 200 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	54	\$159,00	\$8.586,00
5.7	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	54	\$23,00	\$1.242,00
5.8	*80-FX862C32WY051 - FX862C LED R/w ay Edge W/Y	UN	20	\$948,80	\$18.976,00
5.9	*80-FX862-M32 - FX862 M32 Stem Assy	UN	20	\$48,61	\$972,20
5.10	*80-9071 - Frangible Coupling 32mm O/D	UN	20	\$29,33	\$586,60
5.11	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC w with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	20	\$59,00	\$1.180,00
5.12	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	20	\$219,00	\$4.380,00
5.13	TR-L830-06 - 200 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	20	\$159,00	\$3.180,00
5.14	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	20	\$23,00	\$460,00

6		TAXIWAY CENTRELINE			
6.1	*80-FX852CT - FX852C Taxiway C/L (narrow) G/G LED	UN	70	\$988,00	\$69.160,00
6.2	30-AA122820 - Adapter Ring for 12" L868 Base to 8" Diameter, 7.25"BC inset fixture; Galvanized to ASTM-A123/A123M-02. (6) Equally spaced, thru holes.	UN	70	\$179,88	\$12.591,60
6.3	BA-L868BG-2QD - L868B Base 12"DiaX24"Deep, 11-1/4"BC 2 x 2" Grommets @ 0&180 Internal/External Ground 3/4" Drain hole, Class 1A	UN	70	\$301,71	\$21.119,70
6.4	TR-L830-06 - 200 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	70	\$159,00	\$11.130,00
6.5	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	70	\$23,00	\$1.610,00
7		ELEVATED TAXIWAY			
7.1	80-IR861TL7B010 - L861T LED Blue Taxiway Edge Less raiser and coupling FAA Approved	UN	70	\$342,00	\$23.940,00
7.2	*80-9071 - Frangible Couplig 32mm O/D	UN	70	\$29,33	\$2.053,10
7.3	BA-1935G - L867B Corten Baseplate 1.5" NF 12" Diameter 10.25"BC with Neoprene Gasket and Ground Connection. FAA Approved.	UN	70	\$59,00	\$4.130,00
7.4	30-L867BG-2QD - L867B 12"Diam X 24"Deep w/2 x 2"Grommets @ 0 & 180 deg.; Internal & External Ground Straps; 3/4" Drain Hole; Class 1A	UN	70	\$219,00	\$15.330,00
7.5	TR-L830-01 - 30/45 Watt 6.6/6.6 60Hz L-830 Transformer	UN	70	\$93,00	\$6.510,00
7.6	TRC-11805-01 - L823 Primary Connector Complete Kit; #8 AWG Min OD .300"; Max OD .400"	UN	70	\$23,00	\$1.610,00
8		PAPI			
8.1	AV-PAPI-2-PO-UM-12-0 - L881 LED PAPI 120/240VAC. 2 Box. Complete w/tilt switch, heated lenses FAA Orange. One inclinometer, legs, frangible couplings. floor flanges and interconnecting cables from PCU to LHA	UN	2	\$21.170,00	\$42.340,00

IVA

SUBTOTAL	\$ 487.838
19%	\$ 92.689
TOTAL	\$ 580.527

Tabla 27. Presupuesto de luminarias LED de pista. Elaboración propia.

PRESUPUESTO LUMINARIAS PLATAFORMA

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1		PLATAFORMA			
1.1	PROYECTOR 900W AES AIRPORT SOLUTIONS MEGAN 100 - 277 V - 50 - 60 HZVIDA UTIL 100.000 HORAS, IP66 TEMPERATURA DE TRABAJO DESDE -30°C HASTA 50°C, FLUJO LUMINOSO 130.500 LUMENES.	UN	56	\$655,52	\$36.709,12
1.2	POSTE METALICO 22 METROS CONICO CON UNIÓN CANASTILLA PARA BASE EN CONCRETO Y BASES PARA INSTALACIÓN DE PROYECTORES	UN	8	\$3.214,70	\$25.717,60

IVA

SUBTOTAL	\$ 62.427
19%	\$ 11.861
TOTAL	\$ 74.288

Tabla 28. Presupuesto de luminarias LED de Plataforma. Elaboración propia.

PRESUPUESTO MANO DE OBRA INSTALACIÓN

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	LUMINARIAS PISTAS Y CALLES RODAJE				
1.1	INSTALACIÓN LUMINARIAS PAPI	UN	4	\$7.176.315	\$28.705.260
1.2	INSTALACIÓN LUMINARIAS DE APROXIMACIÓN	UN	16	\$5.176.315	\$82.821.040
1.3	INSTALACIÓN LUMINARIAS DE UMBRAL DE PISTA	UN	6	\$1.913.460	\$11.480.760
1.4	INSTALACIÓN LUMINARIAS CENTRO DE PISTA	UN	74	\$881.913	\$65.261.562
1.5	INSTALACIÓN LUMINARIAS BORDE DE PISTA	UN	74	\$1.113.130	\$82.371.620
1.6	INSTALACIÓN LUMINARIAS FINAL DE PISTA	UN	12	\$1.913.460	\$22.961.520
2	LUMINARIAS CALLES RODAJE				
2.1	INSTALACIÓN LUMINARIAS BORDE CALLE DE RODAJE	UN	86	\$1.113.130	\$95.729.180
2.2	INSTALACIÓN LUMINARIAS CENTRO CALLE DE RODAJE	UN	86	\$881.913	\$75.844.518
3	LUMINARIAS PLATAFORMA				
3.1	MANO DE OBRA INSTALACION LUMNARIAS	UN	56	\$761.237	\$42.629.272
3.2	MANO DE OBRA INSTALACIÓN POSTES	UN	8	\$2.576.150	\$20.609.200

Administración
 Imprevistos
 Utilidad
 IVA

SUBTOTAL	\$ 528.413.932
12%	\$ 63.409.672
2%	\$ 10.568.279
4%	\$ 21.136.557
19%	\$ 4.015.946
TOTAL	\$ 627.544.386

Tabla 29. Presupuesto de mano de obra de instalación de luminarias. Elaboración propia.

9.3 C. Anexo: Características de las luminarias

LED									
PRODUCTO	CANTIDADES	REFERENCIA	Pot. LED [W]	P. Total [W]	Intensid. Max [Cd]	Horas [h]	Corriente [A]	Color	Annex 14
Luces de Aproximación	17	FX862AP	30	510	34041	75000	6,6	White	A1
Luces de Umbral	6	FX862THA	24	144	10824	75000	6,6	Green	A3
Luces de Borde de Pista	12	FX862REA	40	480	10000	75000	6,6	RED	A9
Luces de Eje de Pista	74	FX850A	37	2738	7400	75000	6,6	RED/WHT	A6
Luces de Borde de Pista	74	FX862C	48	3552	10938	75000	6,6	WHT/WHT	A9
PAPI: Indicador de trayectoria de aproximación de Precisión	4	L-881	178	712	15000	150000	6,6	RED/WHT	A2-23
Luces de Borde de calle de Rodaje	70	L-861T	25	1750	2000	75000	6,6	BLUE	A2-VARIOS
Luces de Eje de calle de Rodaje	70	FX852C	24	1680	200	75000	6,6	GRN/GRN	A13
P. Total [W]				11566					

Tabla 30. Tabla de referencias y características de las luminarias LED en pista.
Elaboración propia.

HALÓGENAS									
PRODUCTO	CANTIDADES	REFERENCIA	Pot. LED [W]	P. Total [W]	Intensid. Max [Cd]	Horas [h]	Corriente [A]	Color	Annex 14
Luces de Aproximación	17	ZA420	150	2550	33340	1500-3500	6,6	White	A1
Luces de Umbral	6	ZA426	200	1200	14866	1500-3500	6,6	Green	A3
Luces de Borde de Pista	12	ZA163	200	2400	15058	1500-3500	6,6	RED	A9
Luces de Eje de Pista	74	ZA181	200	14800	11919	1500-3500	6,6	RED/WHT	A6
Luces de Borde de Pista	74	ZA163CC	150	11100	17250	1500-3500	6,6	WHT/WHT	A9
PAPI: Indicador de trayectoria de aproximación de Precisión	4	ATG PAPI	200	800	15000	1500-3500	6,6	RED/WHT	A2-23
Luces de Borde de calle de Rodaje	70	ZA216	45	3150	2000	1500-3500	6,6	BLUE	A2-VARIOS
Luces de Eje de calle de Rodaje	70	ZA280	48	3360	266	1500-3500	6,6	GRN/GRN	A13
P. Total [W]				39360					

Tabla 31. Tabla de referencias y características de las luminarias Halógenas en pista. Elaboración propia.

LED										LED
PRODUCTO	CANTIDADES	REFERENCIA	Pot. LED [W]	P. Total [W]	Flujo [lm]	Horas [h]	Tensión [V]	Color [°K]	Annex 14	Eficacia [cd/w]
Plataforma	56	MEGAN 900	900	50400	110000	100000	120-277	4000	-	122,22

Tabla 32. Tabla de referencia y característica de las luminarias LED en plataforma. Elaboración propia.

Potencia Total LED [W]	11566
Potencia Total Halógena [W]	39360
DIFERENCIA CAMBIO DE HALÓGENO A LED	-71%

Tabla 33. Diferencia porcentual en potencia entre luminarias halógenas y LED. Elaboración propia.

HALÓGENAS	LED	CAMBIO
Eficacia Int. máx [cd/w]	Eficacia Int. máx [cd/w]	Diferencia Eficacia [%]
222,27	1134,70	80%
74,33	451,00	84%
75,29	300,00	75%
59,60	200,00	70%
115,00	227,88	50%
75,00	84,27	11%
44,44	80,00	44%
5,54	8,33	34%

Tabla 34. Comparación entre eficacias de intensidad máximas entre luminarias halógenas y LED. Elaboración propia.

Bibliografía

- (ICAO), I. C. (2013). Documento ICAO 9157 Parte 2 - Aerodrome Design Manual. Obtenido de <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/AerodromeDesignManualPart2.pdf>
- AEROCIVIL. (2021). *Aeropuertos de Colombia*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Aeropuertos_de_Colombia
- AEROCIVIL. (s.f.). *wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Aeropuertos_de_Colombia
- Aeronautico, M. (21 de Agosto de 2022). *Visibilidad y RVR - Meteorología*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=adKvkEC6ZTU>
- Aeronáutico, M. (21 ago 2022). Visibilidad y RVR - Meteorología [Grabado por M. Aeronáutico]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=adKvkEC6ZTU>
- Airbus. (s.f.). *Aircraft Airbus*. Obtenido de <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-the-most-successful-aircraft-family-ever/a319neo>
- Bradley, J. (Octubre de 2014). *Airportimprovement*. Obtenido de <https://airportimprovement.com/article/orlando-intl-slashes-power-consumption-led-airfield-lighting>
- Canada, G. o. (29 de 10 de 2010). Aviation Safety Regulatory Framework. (A. S. Framework, Ed.) *Aviation Safety Regulatory Framework, A 5408-1 U*. Obtenido de <https://tc.canada.ca/en/aviation/reference-centre/advisory-circulars/advisory-circular-ac-no-302-009>
- Cancilleria. (s.f.). *Cancilleria*. Obtenido de OACI: <https://www.cancilleria.gov.co/internacional/politica/economico/oaci>
- Ceron, J. (2006). *La iluminación aeronáutica*. *Revista Digital INVIAS*, 1, 1-6. Recuperado de. Obtenido de

- <https://www.invias.gov.co/documents/10180/227473/Revista+Digital+INVIAS+n.+1/65f51fa3-785b-4812-bf2e-b6cf7262e557>
- Chacin, E. (28 de Julio de 2016). *ICAO*. Obtenido de <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2016/AIMMETATM/AIMMETATM-P18ES.pdf>
- Delgado, C. (8 de septiembre de 2014). *EL VUELO POR INSTRUMENTOS*. Obtenido de <http://elvueloporinstrumentos.blogspot.com/2014/09/luces-de-pista-de-aterriaje.html>
- FlightLight. (2023). *Flight Light*. Obtenido de <https://flightlight.com/airfield-products/>
- Icontec. (20 de 10 de 2021). NTC 6519-2. Iluminación. Requisitos y aplicaciones de iluminación. Parte 2: espacios exteriores.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY. (2020). *ANSI/IES RP-37-20 - Lighting Airport Outdoor Environments*. ANSI/IES.
- Inc., F. L. (27 de Mayo de 2016). *Airport Lighting Products*. Obtenido de https://flightlight.com/airfield-products/?gclid=Cj0KCQiA1sucBhDgARIsAFoytUu739PE8-KukLSQ4nUJPIf9YbRQYaLYgqo7aAZQtJTzq1OXjS71M8laAglrEALw_wcB
- INSTRUMENTOS, E. V. (s.f.). *EL VUELO POR INSTRUMENTOS*. Obtenido de <http://elvueloporinstrumentos.blogspot.com/2015/10/sistema-de-aterriaje-por-instrumentos.html>
- INVIAS, I. N. (2021). *Historia de la iluminación aeroportuaria en Colombia. Recuperado de*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/documents/10180/120765/HISTORIA-DE-LA-ILUMINACIÓN-AEROPORTUARIA-EN-COLOMBIA.pdf/1d7b0fb8-18a5-4783-a3fa-5ed5a99811d7>
- LGH, C. R.-D. (05 de Diciembre de 2022). *laguajirahoy.com*. Obtenido de <https://laguajirahoy.com/la-guajira/mientras-aerolinea-reprograma-vuelo-aeronautica-civil-y-gobiernos-de-la-guajira-guardan-silencio.html>
- LGH, C. R.-D. (5 de diciembre de 2022). Mientras aerolínea reprograma vuelo, Aeronáutica Civil y gobiernos de La Guajira guardan silencio. *La Guajira Hoy*, págs. <https://laguajirahoy.com/la-guajira/mientras-aerolinea-reprograma-vuelo-aeronautica-civil-y-gobiernos-de-la-guajira-guardan-silencio.html>.
- MEJÍA, E. (02 de diciembre de 2022). Cancelan vuelos hacia Bogotá por falta de luces en aeropuerto de Riohacha. *EL TIEMPO*, págs. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cancelan-vuelos-hacia-bogota-por-falta-de-luces-en-aeropuerto-de-riohacha-722751>. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cancelan-vuelos-hacia-bogota-por-falta-de-luces-en-aeropuerto-de-riohacha-722751>

- Milde, M. (2008). *Derecho aeronáutico internacional y OACI*. Eleven International Publishing.
- Ministerio de Minas y Energía. (30 de Marzo de 2010). RETILAP 2010. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. *Resolución No. 180540*.
- Nororienté, C. P. (28 de 02 de 2020). *AEROCIVIL*. Obtenido de https://www.aerocivil.gov.co/aeropuertos/PublishingImages/E13-%20Resumen%20Ejecutivo%20SKVP%20Final_.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2004). OACI Doc 9157. Manual de diseño de aeródromos: parte 4 ayudas visuales. OACI.
- Postelam. (2023). *Postelam*. Obtenido de <https://postelam.com/postes/>
- S4GA. (s.f.). *S4GA*. Obtenido de <https://solutions4ga.com/>
- S4GA. (s.f.). *S4GA*. Obtenido de <https://solutions4ga.com/>
- SEMANA. (2022). Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/cartagena/articulo/el-aeropuerto-de-cartagena-esta-colapsado-no-hay-luz-en-la-pista-y-los-vuelos-estan-demorados/202248/>
- Semana. (14 de noviembre de 2022). El aeropuerto de Cartagena está colapsado, no hay luz en la pista y los vuelos están demorados. *Semana*, págs. <https://www.semana.com/nacion/cartagena/articulo/el-aeropuerto-de-cartagena-esta-colapsado-no-hay-luz-en-la-pista-y-los-vuelos-estan-demorados/202248/>.
- SEMANA. (14 de Noviembre de 2022). *SEMANA*. Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/cartagena/articulo/el-aeropuerto-de-cartagena-esta-colapsado-no-hay-luz-en-la-pista-y-los-vuelos-estan-demorados/202248/>
- TIEMPO, E. (13 de noviembre de 2022). Atención: avión que viajaba de Bogotá fue desviado por falla en aeropuerto. *EL TIEMPO*, págs. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/avion-que-viajaba-de-bogota-fue-desviado-por-falla-en-aeropuerto-717328>.
- TIEMPO, E. (02 de Diciembre de 2022). *www.eltiempo.com*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/cancelan-vuelos-hacia-bogota-por-falta-de-luces-en-aeropuerto-de-riohacha-722751>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2022, Abril). *RAC 14, Aeródromos, Aeropuertos y Helipuertos*. Reglamentos Aeronáuticos de Colombia.