

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA



PROYECTO FINAL DE GRADO

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

AUTORES:

MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO
NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ

TUTOR: PROF. ING. EVELIO RAMÓN MOLINAS
OCAMPOS

COTUTOR: PROF. ING. AGUSTIN JUNIOR VERA
GODOY

CORONEL OVIEDO, JUNIO DE 2025



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DERECHO DE AUTOR

Quien/es suscribe/n, Mario Rubén Rojas Figueredo y Naida Leticia Aguilera Lopez, autor/a/autores del trabajo de investigación titulado **“PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.”**, declara/n que voluntariamente cede/n a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los , del mes de del 2025

.....

.....

Firma/s



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: _____

ACTA N°: _____

FECHA : _____

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo, principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza en este proceso de obtener el anhelado sueño, brindándonos sabiduría, amor y paciencia. A nuestros padres porque ellos son la motivación de nuestras vidas y la razón de sentirnos orgullosos de llegar y culminar nuestra meta, gracias a ellos por confiar siempre en nosotros. Y a cada uno de nuestros seres queridos, quienes han sido nuestros pilares para seguir adelante.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias y Tecnologías.

A nuestro tutor Ing. Evelio Molinas Ocampos.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESUMEN

Este proyecto propone un sistema de automatización de iluminación para el Aeropuerto "Cap. Walter Gwynn" en Coronel Oviedo, Paraguay, con el objetivo de modernizar las ayudas visuales y permitir operaciones nocturnas, actualmente limitadas a horario diurno (categoría HJ). El diseño se basa en normativas aeronáuticas nacionales (Ley N° 1860, regulaciones DINAC) e internacionales (OACI), seleccionando luminarias LED por su eficiencia energética y bajo mantenimiento.

El sistema emplea un PLC Siemens S7-1200, complementado con unidades ET200SP para gestión descentralizada, comunicadas vía PROFINET. El control se realiza mediante un SCADA (WinCC Advanced), que incluye interfaces para monitoreo en tiempo real, gestión de alarmas y ajuste de brillo (10%, 30%, 100%) mediante reguladores MCR.

Se seleccionan luces para pista (Aproximación, PAPI, borde, eje, umbral) y helipuerto (Aproximación, TLOF, FATO), con circuitos intercalados para garantizar redundancia. Además, se propone la activación segmentada de luces de rodaje para guía automatizada. El presupuesto asciende a 697.443 USD, cubriendo equipos, instalación y SCADA.

Palabras Clave: Control y Automatización Industrial, Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9)



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ABSTRACT

This project proposes a lighting automation system for the “Cap. Walter Gwynn” Airport in Coronel Oviedo, Paraguay, with the objective of modernizing the visual aids and allowing night operations, currently limited to daylight hours (category HJ). The design is based on national (Law N° 1860, DINAC regulations) and international (ICAO) aeronautical standards, selecting LED luminaires for their energy efficiency and low maintenance.

The system uses a Siemens S7-1200 PLC, complemented with ET200SP units for decentralized management, communicated via PROFINET. The control is done through a SCADA (WinCC Advanced), which includes interfaces for real-time monitoring, alarm management and brightness adjustment (10%, 30%, 100%) through MCR dimmers.

Runway (Approach, PAPI, edge, axis, threshold) and heliport (Approach, TLOF, FATO) lights are selected, with interleaved circuits to ensure redundancy. In addition, segmented activation of taxi lights for automated guidance is proposed. The budget amounts to USD 697,443, covering equipment, installation and SCADA.

Keywords: Industrial Control and Automation, Industry, Innovation and Infrastructure (SDG 9)



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	2
Objetivos (general y específicos)	5
METODOLOGÍA.....	6
1. Relevamiento de datos del Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn”	6
1.1. Infraestructura del Aeropuerto	6
1.2. Sistema de luces portátiles actuales	7
2. Normativas técnicas de sistema de iluminación de pista.....	10
2.1. Código Aeronáutico (Ley N° 1860)	10
2.2. Reglamentos de la DINAC	10
2.2.1. Reglamento DINAC R 14 AERÓDROMOS Volumen I - Diseño y operaciones de aeródromos [8]......	10
2.2.2. Reglamento DINAC R 14 AERÓDROMOS Volumen II HELIPUERTOS [9].	12
2.2.3. Manual de diseño de aeródromos, Parte 4 - Ayudas visuales [10]	13
2.2.4. Manual de diseño de aeródromos, Parte 5 - Sistemas eléctricos [11]	18
3. Diseño del sistema de control de iluminación de pista mediante sistema SCADA para el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn”.....	22
3.1. Selección de Controladores y Componentes	22
3.1.1. Controlador Lógico Programable	22
3.1.2. Módulo de interfaz descentralizada	23
3.1.3. Sistema SCADA WinCC Advanced	24
3.2. Selección de tecnología de iluminación de pista	24
3.2.1. Sistema de regulación de niveles de brillo	25



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

3.3. Sistemas de luces seleccionados.....	26
3.3.1. Sistema de luces para pista de aviación.....	27
3.3.2. Sistema de luces para helipuerto.....	27
3.3.3. Intercalación de los circuitos de iluminación de aeródromo.....	28
3.3.4. Conmutación selectiva de los circuitos de calle de rodaje.....	29
3.4. Diseño de la Arquitectura de comunicación.....	30
3.5. Descripción de la interfaz gráfica del SCADA.....	31
3.5.1. Inicio de Sesión.....	31
3.5.2. Pantalla Principal.....	31
3.5.3. Control de Alarmas.....	32
4. Presupuesto de la propuesta de sistema electrónico de iluminación.....	34
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	35
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXOS.....	1
ANEXO I.....	1
A.1. Sistema de luces para pista de aviación.....	1
Luces de Aproximación.....	1
Luces PAPI.....	4
Luces de borde pista.....	5
Luces de eje de pista.....	7
Luces de umbral y final.....	9
Luces de rodaje.....	10
Luces de borde de calle de rodaje.....	12
Luces de espera (protección de pista).....	16



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ANEXO II	18
A.2. Sistema de luces para helipuerto	18
Luces de aproximación	18
Luces TLOF	18
Luces FATO.....	19
ANEXO III	21
A.3.1. Regulador de Corriente Constante controlado por Microprocesador	21
Módulo de interfaz [9].....	22
Conexionado eléctrico [9].....	24
A.3.2. Transformadores en serie para AGL [15].....	24
Diseño y características	26
Capacidades y especificaciones	27
Aplicación en circuitos en serie	27
Dispositivos de derivación de las lámparas	28
Instalación.....	28
Seguridad.....	29
Tecnología LED	29
Localización de averías.....	30
ANEXO IV.....	31
A.4. Memoria de Cálculo de Presupuesto.....	31
Presupuesto de Luminarias	31
Presupuesto de Instalación.....	32
Presupuesto de Sistema SCADA.....	33



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista satelital del Aeropuerto.....	6
Figura 2. Infraestructura civil y estación meteorológica.....	7
Figura 3. Pavimento tipo flexible.....	7
Figura 4. Luces portátiles a baterías.	9
Figura 5. Cargador de baterías para luces.	9
Figura 6. Controlador Lógico Programable S7-1200	23
Figura 7. Módulo de interfaz descentralizada SIMATIC ET200	23
Figura 8. Red Profinet.....	24
Figura 9. Vista representativa de los sistemas seleccionados.....	27
Figura 10. Intercalación de circuitos de iluminación [11].	28
Figura 11. Luces de borde, eje y zona de toma de contacto de la pista [11].....	29
Figura 12. Pantalla de inicio de sesión.	31
Figura 13. Pantalla Principal.....	32
Figura 14. Pantalla de Alarmas	33
Figura 15. Luces de Aproximación	1
Figura 16. Sistema de aproximación simple.	2
Figura 17. Sistema de montaje típico para luces de aproximación.....	3
Figura 18. Luces P.A.P.I.....	4
Figura 19. Presentación de señales de luces PAPI.....	5
Figura 20. Diagrama típico de cableado de luces PAPI	5
Figura 21. Luces de borde de pista	6
Figura 22. Montaje típico de luces de borde.....	7
Figura 23. Diagrama de bloques	7
Figura 24. Luces de eje de pista.....	8
Figura 25. Diagrama de información de ayudas visuales	9
Figura 26. Luces de umbral y final de pista.	10
Figura 27. Sistema de montaje típicos	10
Figura 28. Luces de rodaje.....	11
Figura 29. Montaje típico de luces de rodaje	11



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Figura 30. Diagrama de información de ayudas visuales.	12
Figura 31. Luces de borde de calle de rodaje.....	13
Figura 32. Diagrama de información de ayudas visuales	14
Figura 33. Luces de espera.	16
Figura 34. Luces de protección de pista.....	17
Figura 35. Luces de aproximación.....	18
Figura 36.Luces TLOF	19
Figura 37.Luces FATO	20
Figura 38. Transformador de AGL (Airfield Ground Lighting)	25
Figura 39. Método de instalación típico.	26



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clave de referencia de aeródromo – Tomado de OACI Doc. 9157	7
Tabla 2. Presupuesto de la propuesta	34
Tabla 3. Datos Técnicos	21
Tabla 4. Presupuesto de Luminarias	31
Tabla 5. Presupuesto de Instalación	32
Tabla 6. Presupuesto de Sistema SCADA	33



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Abreviaturas

Abreviatura	Término
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
DINAC	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Control, Supervisión y Adquisición de Datos)
MCR	Regulador de Corriente Constante controlado por Microprocesador

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Coronel Oviedo opera el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn” de la DINAC, el cual cuenta con una superficie de inmueble de 70 hectáreas, las dimensiones de la pista son de 1.400 metros de largo, 30 metros de ancho con pavimento tipo flexible. En el año 2022 en dicho Aeropuerto se realizaron 521 operaciones de llegada y salida y se atendió a 1062 pasajeros [1].

Según memorándum SGOV de fecha 01/11/2023 de la DINAC filiar COV, el inconveniente principal del Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn” radica en que no dispone de un sistema de iluminación robusta y moderna para las ayudas visuales; condición que lo limita a una escasa operatividad, por lo cual no es catalogado como aeropuerto sino como un aeródromo [2] [3] .

Según datos recabados, el sistema de iluminación del tráfico de aviones en pista de la estación aérea en cuestión carece de un sistema de guía y control del movimiento en la superficie, guía visual para estacionamiento y atraque, iluminación de la plataforma, señales y luces de obstáculos, luces de eje de pista, sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación, etc.

La falta de ayudas visuales luminosas hace que los aeropuertos funcionen en horario diurno desde la salida hasta la puesta del sol; por lo que, es necesaria la instalación de sistemas de iluminación en la pista para horarios nocturnos, que se actualicen o modernicen.

Ahora bien, cabe destacar que cada despegue y/o aterrizaje de una aeronave en un aeropuerto es una misión crítica y requiere que la iluminación de las pistas mantenga la seguridad de las operaciones en cualquier situación.

Por todo expuesto surge la necesidad de elaborar el diseño de un sistema de iluminación de pista con automatización del control del mismo a través de un sistema SCADA.

ANTECEDENTES

En 2014 **Falconí H. Renato D.** en su trabajo de graduación “**SISTEMA ELECTRÓNICO DE LUCES INDICADORAS DE PRECISIÓN DE PENDIENTE DE APROXIMACIÓN (P.A.P.I.-PRECISION APPROACH PATH INDICATOR) PARA LA OPERATIVIDAD DEL AEROPUERTO JUMANDY DE LA CIUDAD DEL TENA.**” [4] Mediante una investigación de campo y una investigación documental bibliográfica enfocada de manera cualitativa y cuantitativa; aplicada a una población por medio de entrevistas y la pertinente observación del grupo humano que trabaja en el Aeropuerto Jumandy concluyó que el 89% del personal Administrativo y de Operaciones del Aeropuerto Jumandy entrevistado, aseguró que el aeródromo necesitaba el Sistema Electrónico de luces PAPI para satisfacer en un 95% la ayuda visual aeronáutica al piloto para la aproximación y aterrizaje de la aeronave. Propuso la implementación de un sistema electrónico de luces PAPI y el diseño de las Ayudas Visuales para dicha terminal aérea, recomendó emplear equipos con conexión a tierra y las respectivas seguridades eléctricas para proteger todos los componentes del Sistema Electrónico de luces PAPI y emplear tecnología alternativa sostenible como: luces con alimentación de voltaje a través de paneles solares o energía eólica, mangas de viento con tratamiento anti rayos UV (ultravioletas) y repelencia al polvo, que pueda interactuar con los equipos ya existentes; evitando así gastos superfluos para el Aeropuerto Jumandy.

En 2019 **Diego A. Rivera C.** en su trabajo final de pasantía “**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA LOS SISTEMAS DE LUCES DE PISTA DE LOS AEROPUERTOS LA MINA Y PUERTO BOLÍVAR**” [5] diseñó un sistema de monitoreo y control, de los diferentes tipos de iluminación presentes en los aeropuertos, anteriormente mencionados. Para dicho sistema se planteó la integración de un Controlador Lógico Programable (PLC), con una Interfaz Humano Maquina (HMI), que permitió la comunicación con cada sistema, la interacción con los mismos, proporcionando a su vez, una interfaz gráfica donde se pueda controlar cada acción requerida por el operador y monitorear los diferentes estados de operación y/o fallas que se puedan presentar en estos sistemas de iluminación. Concluyó que antes de realizar la implementación de este sistema se debe realizar respectivas pruebas, con cada uno de los sistemas de luces de

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

pista, con el fin de corregir errores que se pudieran presentar y comprobar el correcto funcionamiento de todo el sistema en físico.

En 2015 **Luis A. Anchatipán N.** en su trabajo final de grado **“MODERNIZACIÓN, IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES LUMINOSAS PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL COTOPAXI”** [6] desarrolló el proyecto para el “Aeropuerto Internacional Cotopaxi”, dónde determinó la importancia de la navegación aérea para guiar al piloto de manera segura y eficaz durante la operación de aterrizaje y estacionamiento, por lo que se puso en investigación y ejecución el proyecto. En base a la experiencia en cuanto a mantenimiento correctivo y preventivo, ha sido necesario mencionar un compendio de principales tareas de inspección en los sistemas y equipos, con lo que se pretende ayudar a disminuir el tiempo de parada o la puesta fuera de servicio de las ayudas visuales, con la consecuencia de cerrar total o parcialmente el aeropuerto.

Una vez implementado la propuesta se pudo comprobar en el campo su funcionalidad, operación, nivel de seguridad y calidad en el Aeropuerto Internacional Cotopaxi con el cumplimiento de normativas y estándares de seguridad Internacionales.

En 2023 **Dayra Ivette Saurí Vázquez & Ariel Omar Cepero Díaz** presentaron el trabajo titulado **“José Martí” International Airport Runway Lights System Control and Monitoring** [7]. Este trabajo presentó la realización del telecontrol y monitorización del sistema de luces de pista del Aeropuerto Internacional “José Martí”. Dicho sistema estuvo conformado por 20 circuitos de luces conectados en 2 subestaciones. En cada subestación, se instaló un PLC que se comunicó mediante el protocolo Modbus TCP con 2 computadoras industriales redundantes ubicadas en la torre de control de tráfico aéreo (ACT) y con una computadora situada en la oficina del personal de mantenimiento del aeródromo.

En la ACT, se implementó un software de control remoto que permitió activar y ajustar el nivel de luminosidad de los reguladores de corriente constante (CCR) que alimentaban cada circuito del sistema de luces de pista, según los requerimientos de las operaciones de aterrizaje y despegue. Además, este software proporcionó una visualización en tiempo real del estado del sistema.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

Por su parte, en la computadora del personal de mantenimiento, se ejecutó un software de monitoreo diseñado para supervisar el estado operativo de los CCR, registrar históricamente los eventos de los reguladores (tanto principales como de reserva) y mostrar una representación sinóptica de los circuitos en funcionamiento.

Esta herramienta de monitoreo, orientada a la asistencia en mantenimiento, representó una innovación para el Aeropuerto Internacional “José Martí”, ya que agilizó la respuesta ante fallos, facilitó la labor de los técnicos en el mantenimiento del sistema de luces y evitó la adquisición de un costoso sistema de control ofrecido por los fabricantes de los reguladores. Asimismo, demostró ser compatible con múltiples modelos de CCR, lo que amplió su versatilidad y eficiencia.

Objetivos (general y específicos)

Objetivos Generales

- Proponer un sistema de automatización de iluminación de pista para el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn” de la ciudad de Coronel Oviedo.

Objetivos Específicos

- Revisar normativas técnicas que rigen la materia para determinar el tipo de sistema de iluminación en pista requerida para la estación aérea que nos ocupa.
- Analizar alternativas tecnológicas de iluminación de pista en aeropuertos bajo estándares internacionales, seleccionando aquellas de mayor factibilidad.
- Definir criterios para selección de alternativas y luego aplicarlas para seleccionar la alternativa más factible.
- Diseñar el sistema de control de iluminación de pista mediante sistema SCADA para el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn”.
- Realizar el presupuesto de la propuesta elaborada.

METODOLOGÍA

1. Relevamiento de datos del Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn”.

1.1. Infraestructura del Aeropuerto

En la ciudad de Coronel Oviedo opera el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn” de la DINAC, el cual cuenta con una superficie de inmueble de 70 hectáreas, las dimensiones de la pista son de 1.400 metros de largo, 30 metros de ancho con pavimento tipo flexible. En el se pueden realizar aterrizajes y despegues en ambos sentidos. También cuenta con un helipuerto diseñado para el aterrizaje y despegue de helicópteros.

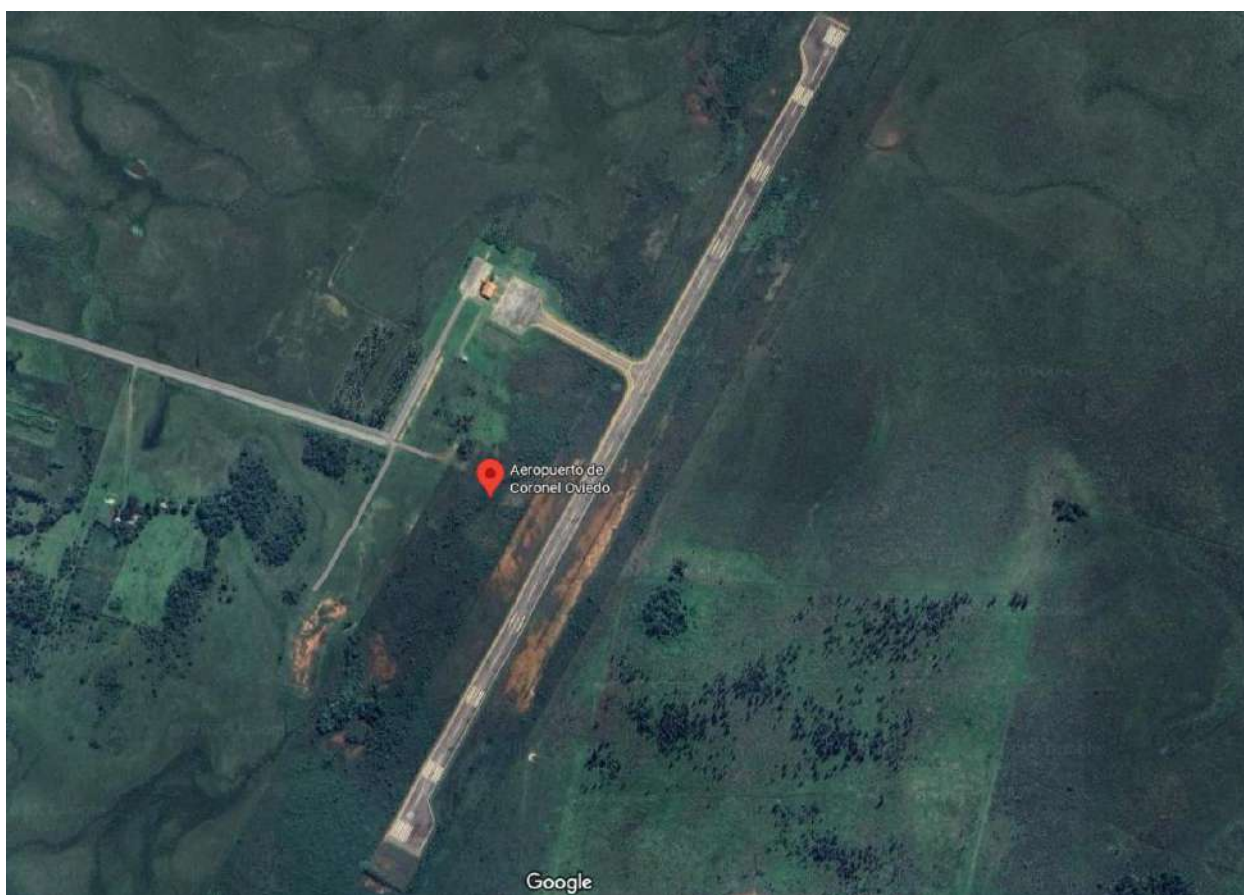


Figura 1. Vista satelital del Aeropuerto.

Según su horario de atención pertenece a la categoría HJ (Aeródromo que sólo atiende desde comienzo del crepúsculo hasta el fin de crepúsculo civil vespertino. HJ proviene del francés *Heure Jour*, que significa solo hora de día). Según la Tabla 1 la clave del aeródromo es 3C.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025



Figura 2. Infraestructura civil y estación meteorológica.



Figura 3. Pavimento tipo flexible.

Tabla 1. Clave de referencia de aeródromo – Tomado de OACI Doc. 9157

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Núm. 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.

1.2. Sistema de luces portátiles actuales

El aeródromo cuenta con luces portátiles para situaciones de emergencia de la Marca YOUYANG que se muestra en la Figura 4, seguidamente se presenta algunas características:

Conformidad con las normas:

- **OACI:** Anexo 14
- **FAA:**
 - AC 150/5345-49C (Equipo de radiocontrol)
 - AC 150-5345-50B (Luces portátiles de pista y rodaje)

Características:

Estas luces funcionan con baterías recargables, que pueden alimentarse mediante:

1. Energía eléctrica convencional mediante cargadores (Figura 5).
2. Módulos solares.

Modos de operación:

- **Control manual:** Permite encender/apagar las luces y ajustar tres niveles de brillo.
- **Control remoto por radiocontrol:**
 - Alcance de hasta 3 km.
 - Funcionalidad para encender/apagar y regular tres intensidades de luz.
 - Diseño portátil y ergonómico, ideal para uso en torres de control o cualquier ubicación con línea de visión hacia las luces.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025



Figura 4. Luces portátiles a baterías.



Figura 5. Cargador de baterías para luces.

2. Normativas técnicas de sistema de iluminación de pista

En Paraguay, la normativa relacionada con aeropuertos y aeródromos se encuentra principalmente regulada por el Código Aeronáutico de la República del Paraguay (Ley N° 1860), junto con los reglamentos emitidos por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). A continuación, se destacan los aspectos clave:

2.1. Código Aeronáutico (Ley N° 1860)

Aeródromos y aeropuertos: Define los aeropuertos como aeródromos públicos con infraestructura adecuada para la operación de aeronaves. Estos se clasifican según normas internacionales, y los aeropuertos internacionales deben cumplir con requisitos específicos para servicios de sanidad, aduana, migraciones y control de narcóticos.

Construcción y modificación: La construcción o modificación de aeródromos requiere autorización previa de la DINAC, ajustándose a las normas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y a las reglamentaciones municipales.

Operación: Las aeronaves deben operar en aeródromos públicos o privados, salvo en casos de emergencia. Los aeródromos privados requieren autorización del propietario para aterrizajes.

2.2. Reglamentos de la DINAC

La DINAC emite reglamentos específicos que complementan el Código Aeronáutico, incluyendo normas sobre seguridad, infraestructura, y operaciones en aeropuertos y aeródromos.

2.2.1. Reglamento DINAC R 14 AERÓDROMOS Volumen I - Diseño y operaciones de aeródromos [8].

El documento titulado DINAC R 14 Aeródromos Volumen I - Diseño y operaciones de aeródromos, es una regulación paraguaya emitida por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC). Esta séptima edición, aprobada en 2023, establece las normas y métodos recomendados para las características físicas, las superficies limitadoras de obstáculos, instalaciones y servicios técnicos de los aeródromos. Además,

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

aborda ayudas visuales para la navegación, señalización de obstáculos, sistemas eléctricos, servicios de salvamento y extinción de incendios, y el mantenimiento de las áreas de movimiento, incorporando referencias a normativas de la OACI y leyes paraguayas.

El documento "DINAC R 14 AERÓDROMOS Volumen I - Diseño y operaciones de aeródromos" hace referencia a varias normativas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y leyes paraguayas. A continuación, se citan las algunas referencias:

- **Convenio sobre Aviación Civil Internacional (Doc. OACI 7300):** El Estado Paraguayo es signatario de este convenio, según el Decreto N° 10.818/1945 y ratificado por la Ley N° 09/1948. El Convenio establece en su Capítulo 6 el Artículo 37, que compromete a los estados contratantes a colaborar para lograr la mayor uniformidad posible en las reglamentaciones, normas, procedimientos y organización relativos a las aeronaves, personal, aerovías y servicios auxiliares.
- **Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, Volumen I – Diseño y operaciones de Aeródromos:** Las normas y métodos recomendados relativos a aeródromos fueron adoptados inicialmente por el Consejo de la OACI y designados como Anexo 14. El presente Reglamento se desarrolla en armonización con este Anexo. La edición referenciada es la Novena Edición, Año 2022.
- **Vocabulario de Aviación Civil Internacional (Doc. OACI 9713):** Para cualquier definición que no figure en el reglamento DINAC R 14, se considera la establecida en este documento.
- **Manual de diseño de aeródromos (Doc. 9157):** Se refiere a información sobre la anchura de las calles de rodaje , instalaciones de deshielo/anti hielo , determinación de la intensidad efectiva de luces de obstáculos , determinación de la anchura de la placa frontal de los letreros, criterios sobre irregularidad de la superficie , márgenes de las calles de rodaje.
- **DINAC R 15 Servicio de Información Aeronáutica:** Especifica los requisitos de sintaxis para la difusión de información y disposiciones relacionadas con las bases de datos cartográficos de aeródromo. También se menciona en relación con las responsabilidades de los Estados respecto a la inclusión de diferencias con los procedimientos de la OACI en las publicaciones de información aeronáutica.

2.2.2. Reglamento DINAC R 14 AERÓDROMOS Volumen II HELIPUERTOS [9].

Este documento, parte del reglamento aeronáutico paraguayo, establece las normas y métodos recomendados para el diseño, operación y habilitación de helipuertos, incorporando las enmiendas del Anexo 14 Vol. II de la OACI (Quinta Edición, julio 2020). Entró en vigor el 5 de noviembre de 2020, reemplazando todas las versiones anteriores.

Alcance y Contenido

El reglamento abarca:

- Características físicas de los helipuertos.
- Superficies limitadoras de obstáculos.
- Instalaciones y servicios técnicos necesarios.

El diseño debe adaptarse al helicóptero de diseño crítico (mayor dimensión y masa máxima de despegue prevista). Aunque no regula operaciones aéreas, define términos clave como *helipuerto* y *obstáculo*, y adopta especificaciones de color del Volumen I salvo indicación contraria.

Estructura Principal

1. Capítulo 1: Generalidades

- Define tipos de helipuertos (*superficie, elevado, privado, público*).
- Establece sistemas de referencia (horizontal, vertical, temporal).

2. Capítulo 2: Datos de los Helipuertos

- Detalla datos aeronáuticos, coordenadas, elevaciones (TLOF, geoidal).
- Incluye distancias declaradas y requisitos de **Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI)**, con niveles de protección según categoría.

3. Capítulo 3: Características Físicas

- Requisitos para helipuertos en tierra, plataformas elevadas y buques.
- Dimensiones de **Áreas de Aproximación Final y Despegue (FATO)** y TLOF, zonas libres de obstáculos, y calles de rodaje.

4. Capítulo 4: Entorno de Obstáculos

- Regula superficies limitadoras (*aproximación, transición, ascenso*).
- Incluye figuras ilustrativas para distintos tipos de helipuertos.

5. Capítulo 5: Ayudas Visuales

- Señales obligatorias (*masa máxima admisible, valor D, estacionamiento*).
- Iluminación (*faro, luces de FATO, proyectores*), con referencias al Volumen I.

6. Capítulo 6: Respuesta de Emergencia

- Planificación para emergencias, categorización SSEI (*H0 a H3*).
- Cálculo de áreas críticas y cantidades mínimas de agentes extintores.

Apéndices y Anexos

- **Apéndice 1:** Normas para helipuertos con operaciones por instrumentos (PinS).
- **Apéndice 2:** Guía para **habilitación, renovación o cancelación** de helipuertos públicos/privados, con requisitos legales, planos y formularios.
- **Adjuntos:** Ejemplos gráficos de señalización, tablas de agentes extintores y modelos de formularios administrativos.

El **Volumen II** es una normativa integral, alineada con estándares OACI, que garantiza la seguridad y eficiencia en la infraestructura y operación de helipuertos en Paraguay. Su enfoque abarca desde diseño físico hasta protocolos de emergencia y trámites administrativos.

2.2.3. Manual de diseño de aeródromos, Parte 4 - Ayudas visuales

[10]

Este manual de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), específicamente la Parte 4 sobre Ayudas Visuales, ofrece pautas esenciales para el diseño, instalación y mantenimiento de la señalización y la iluminación en los aeródromos. Cubre desde las señales pintadas en las pistas y calles de rodaje hasta complejos sistemas de iluminación de aproximación y estacionamiento, detallando aspectos como los requisitos operacionales según la visibilidad y el tipo de aeronave, las características de las luces y letreros (incluyendo la frangibilidad de los obstáculos) y los procedimientos para asegurar su funcionamiento adecuado y conforme a las especificaciones para la seguridad aeronáutica.

El contenido del manual se estructura en capítulos y apéndices que cubren diversos aspectos de las ayudas visuales en aeródromos:

• **Capítulo 1.** Requisitos funcionales de las ayudas visuales de superficie: Introduce cómo los pilotos usan y dependen de las ayudas visuales. Discute factores operacionales, requisitos operacionales, los servicios que las ayudas visuales prestan a los pilotos, y la designación de luces de alta, media y baja intensidad. También se abordan temas como la dificultad de mantener una pendiente de aproximación precisa, la importancia de los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación, y la descripción de las "cuatro C" (configuración, color, candelas y cobertura) que caracterizan el sistema de iluminación del aeropuerto. Se detallan los requisitos para aeropuertos grandes, operaciones en condiciones de escasa visibilidad (RVR), la adquisición visual del aeropuerto, información para el aterrizaje (como indicadores de viento), guía de azimut, el enderezamiento y aterrizaje, guía para el vuelo en circuito, y la dependencia de instrumentos en condiciones de visibilidad reducida (Categorías I, II, IIIA, IIIB, IIIC). Se incluye información sobre la guía para el rodaje y la guía para el atraque y estacionamiento.

• **Capítulo 2. Señales y balizas:** Suplementa las especificaciones del Anexo 14 sobre señales y balizas, destacando la importancia de su ubicación, tamaño y color para la seguridad y eficiencia. Se abordan señales específicas como las de márgenes pavimentados, señales en la plataforma (guía en puestos de estacionamiento de aeronave) y balizas de borde de calle de rodaje. Se explica que las señales de puestos de estacionamiento se diseñan para que la rueda de proa siga la línea de guía. Se describen las características de las líneas de guía, como ser de trazo continuo, amarillas y de un ancho mínimo.

• **Capítulo 3. Área de señales y paneles de señalización:** Describe cuándo es necesario proporcionar un área de señales para la comunicación visual con aeronaves en vuelo, especialmente en aeródromos sin torre de control o para aeronaves sin radio. Se mencionan especificaciones del Anexo 2 y Anexo 14 sobre señales visuales terrestres.

• **Capítulo 4. Características de las luces para pistas y calles de rodaje utilizadas en condiciones de escasa visibilidad:** Analiza los factores que determinan la distribución requerida de las luces, las envolventes de trayectorias de vuelo (basadas en datos de isoprobabilidad), requisitos y hipótesis operacionales para diferentes categorías de visibilidad (Categoría I, II), y el análisis y especificaciones de diseño de las luces. Se

discuten las intensidades y coberturas de haz requeridas para luces de eje de calle de rodaje en diversas condiciones de RVR. Se considera la geometría de las luces y el espaciado en tramos rectos y curvas. También se mencionan las barras de parada.

- **Capítulo 5. Reglajes de la intensidad luminosa:** Proporciona tablas y figuras para ajustar la intensidad luminosa de diferentes sistemas de iluminación (eje de aproximación, borde de pista, etc.) en condiciones diurnas y nocturnas, en función del alcance visual en la pista (RVR) o la visibilidad, y la luminancia de fondo.

- **Capítulo 6. Sistema de luces de entrada a la pista:** Describe este sistema, incluyendo la necesidad de guía horizontal precisa en algunos lugares y una configuración característica.

- **Capítulo 7. Luces de guía para el vuelo en circuito:** Explica cómo se emplean estas luces en condiciones meteorológicas visuales (VMC) e instrumentales (IMC). Indica que deben diseñarse para ser visibles desde el tramo a favor del viento sin deslumbrar. Se discute cómo los sistemas de iluminación estándar cumplen los requisitos y cómo pueden mejorarse. Se mencionan las luces de destellos blancas recomendadas para umbrales de pistas sin aproximaciones de precisión para facilitar la identificación.

- **Capítulo 8. Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación:** Cubre los sistemas T-VASIS, AT-VASIS, PAPI y APAPI. Describe su emplazamiento, definiciones (como la configuración estándar y la altura de los ojos por encima del umbral), y cómo diseñarlos para que sean compatibles con sistemas ILS/MLS. Se abordan las características de los elementos del PAPI y APAPI, incluyendo la transición entre señales rojas y blancas y los reglajes de brillo. También se discute la altura mínima de los ojos sobre el umbral (MEHT) y las variaciones de los reglajes diferenciales para mayores ángulos de aproximación.

- **Capítulo 10. Sistemas de guía y control del movimiento en la superficie:** Define un sistema SMGC como una combinación de ayudas visuales, no visuales, comunicaciones y procedimientos para la guía y el control del tráfico en superficie. Se detallan las cuatro funciones básicas: guía, encaminamiento, control y vigilancia. Se describe la función de las ayudas visuales en estas funciones. Se enumeran los componentes visuales de un sistema SMGC, como señales de eje de pista/calle de rodaje/puntos de espera, letreros, luces de borde/eje de pista/calle de rodaje, barras de parada, luces de protección de pista y sistemas de guía para estacionamiento/atraque. Se abordan cuestiones de

implantación, como la arquitectura del sistema, la integración de ayudas visuales y la conmutación selectiva de luces para el encaminamiento y control. Se discuten específicamente las barras de parada y su instalación.

- **Capítulo 11. Letreros:** Trata los letreros de aeródromo, que son un componente importante de la seguridad. Incluye su diseño para perceptibilidad y legibilidad (tamaño, color, luminancia, letras). Se dan directrices para letreros de mensaje variable. Se describen los letreros con instrucciones obligatorias (como puntos de espera y prohibida la entrada) y los letreros de información. Se aborda su emplazamiento para que sean fácilmente visibles por pilotos y conductores de vehículos.

- **Capítulo 12. Sistemas de guía visual para estacionamiento y para atraque:** Describe sistemas para maniobras seguras y precisas en puestos de estacionamiento, especialmente con pasarelas de embarque. Presenta ejemplos de sistemas, como los que usan representación gráfica con sensores de posición láser (para guía en azimut, distancia y punto de parada) o la técnica Moiré y radar láser. Se mencionan la activación manual o automática y la posibilidad de interconexión con bases de datos de operaciones o sistemas de información de vuelo.

- **Capítulo 13. Iluminación de la plataforma con proyectores:** Proporciona orientación sobre la aplicación de la iluminación de la plataforma, definida como el área para estacionamiento, embarque/desembarque, abastecimiento de combustible, etc.. Se explica la necesidad de iluminación para operaciones seguras y eficientes durante la noche. Se discuten aspectos físicos (dimensiones, disposición) y eléctricos (sistema trifásico, iluminación de emergencia) del diseño. Se presentan ejemplos de promedios de luminancia vertical y horizontal, y la disposición de las luces para evitar deslumbramiento y reducir sombras.

- **Capítulo 14. Señales y luces de obstáculos:** Cubre la señalización de obstáculos tanto en el aeródromo como en su entorno. Se discute la determinación de la intensidad luminosa requerida basándose en la visibilidad. Se describen tipos comunes de obstáculos (mástiles, torres, cables). Se especifica que las luces de obstáculos deben ser visibles en todos los ángulos de azimut y tener una divergencia del haz vertical adecuada. Se indica la relación entre intensidad y distancia de perceptibilidad. Se presentan ejemplos de sistemas de luces para torres y cables.

• **Capítulo 15. Frangibilidad de las ayudas visuales:** Define la frangibilidad y especifica qué obstáculos y ayudas visuales (luces elevadas de pista/calle de rodaje/vía de parada, sistemas de luces de aproximación, VASIS, letreros, balizas) deben ser frangibles si están ubicados en ciertas áreas o penetran superficies limitadoras de obstáculos. Se menciona que hay orientación adicional sobre diseño frangible en la Parte 6 del manual.

• **Capítulo 16. Aplicación de sistemas de iluminación de aproximación y de pista:** Discute la aplicación de estos sistemas, desarrollados para operaciones todo tiempo. Se aborda el diseño, incluyendo las características del haz e intensidad según las condiciones operacionales. Se describen los sistemas para pistas con aproximación visual y no de precisión (sistema sencillo de iluminación) y para pistas con aproximación de precisión (Categoría I, II y III). Se explica la importancia de los ángulos de reglaje correctos. Se cubren las luces suplementarias (eje de pista, zona de toma de contacto) para operaciones en condiciones de menor RVR. También se considera la reducción de configuraciones de luces y la selección de configuraciones basándose en el escenario operacional más exigente. Se destaca la necesidad de información visual de pendiente de planeo.

• **Capítulo 17. Mantenimiento de la actuación de las luces:** Subraya la necesidad de mantener la actuación especificada de las ayudas luminosas para la seguridad y eficiencia operacional en todas las condiciones meteorológicas. Se mencionan los requisitos de mantenimiento y el control de la actuación basado en ángulos de visión y distancia de detección. Se destaca la importancia de la fiabilidad del suministro de energía eléctrica. Se ilustran los efectos del alineamiento erróneo. Se describe el equipo móvil de medición para verificar la intensidad luminosa.

• **Capítulo 18. Medición de la intensidad luminosa de luces fijas y de luces de destellos:** Aborda cómo medir la intensidad luminosa (en candelas) de las luces aeronáuticas de superficie, observadas como fuentes puntiformes. Se menciona el uso de diagramas de isocandelas y la medición de colores.

Además de los capítulos, el manual incluye apéndices con información complementaria:

• **Apéndice 1:** Requisitos operacionales para sistemas de guía visual para el atraque con la proa hacia adentro.

• **Apéndice 2:** Requisitos operacionales para sistemas de guía visual para el estacionamiento.

- **Apéndice 3:** Selección, aplicación y remoción de pinturas.
- **Apéndice 4:** Procedimientos de reglaje diurno de la intensidad luminosa, incluyendo el cálculo del tramo visual requerido y tablas para ajustes de intensidad basados en RVR y luminancia de fondo.
- **Apéndice 5:** Método utilizado para las presentaciones gráficas de las Figuras 5-1 a 5-3.
- **Apéndice 6:** Distancias verticales de los ojos del piloto a las ruedas y a la antena en diversos aviones.

El Manual de diseño de aeródromos, Parte 4 - Ayudas visuales, es una guía técnica detallada que complementa las normas y métodos recomendados de la OACI, proporcionando información esencial sobre el diseño, instalación, operación y mantenimiento de una amplia gama de ayudas visuales (señales, balizas, letreros, sistemas de iluminación de aproximación, pista, rodaje, plataforma, obstáculos, sistemas de guía para estacionamiento y atraque, VASIS, etc.) necesarias para la seguridad y eficiencia de las operaciones aéreas en los aeródromos, especialmente en condiciones de visibilidad reducida.

2.2.4. Manual de diseño de aeródromos, Parte 5 - Sistemas eléctricos [11]

Este manual, publicado por la OACI, tiene como propósito principal proporcionar **orientación sobre el diseño e instalación de sistemas eléctricos para la iluminación de los aeródromos**. La meta es asegurar el diseño, instalación y mantenimiento adecuados de los sistemas eléctricos de ayudas visuales para la navegación, que son **requisitos esenciales para la seguridad operacional, regularidad y eficiencia de la aviación civil**. Se busca una aplicación uniforme de las especificaciones del Anexo 14 — Aeródromos, Volumen I.

Los sistemas eléctricos de iluminación de aeródromos poseen **características únicas** que no suelen encontrarse en otras instalaciones eléctricas. Entre estas particularidades se destacan que la mayoría de los circuitos se instalan bajo tierra, se utilizan circuitos en serie para la mayoría de los sistemas de iluminación, se requiere una **elevada fiabilidad de las fuentes de alimentación**, y se necesita una **transferencia rápida y automática**

a la **alimentación secundaria** en caso de falla. El manual presupone que el lector tiene conocimientos de circuitos y diseño eléctrico, pero puede no estar familiarizado con las particularidades de los circuitos en serie en aeródromos. El contenido complementa las normas nacionales de seguridad operacional eléctricas. El manual no cubre sistemas eléctricos de edificios ni mantenimiento general (para mantenimiento, se remite al Manual de servicios de aeropuertos, Doc 9137, Parte 9).

Los **principios básicos de diseño** se presentan, sin entrar en detalles específicos de equipos o diseños exclusivos de un Estado. Un objetivo crucial es lograr un **elevado nivel de integridad y fiabilidad**. La fiabilidad se relaciona con el tiempo medio entre fallas (MTBF), mientras que la integridad se refiere a la supervivencia del sistema tras una falla. Factores que afectan la integridad y fiabilidad incluyen fallas en el circuito, la fuente de alimentación y el circuito de control. La fiabilidad de la energía se mejora con fuentes alternativas de arranque automático.

El manual aborda:

- **Suministro de energía eléctrica:** Se analiza la disponibilidad, capacidad, fiabilidad y viabilidad de fuentes (comerciales/públicas, generadores locales). Se definen "suministro normal" y "suministro de reserva" operacionales, distintos de "primaria" y "secundaria" para equipos. Se detallan los **tiempos máximos de conmutación** requeridos (15 segundos o 1 segundo, dependiendo de la categoría de aproximación/RVR), y se menciona el uso de unidades de alimentación eléctrica ininterrumpida (UPS/SUPU) para transferencias de 1 segundo. Se consideran los requisitos de combustible para generadores y la conmutación automática de transferencia. Se mencionan requisitos especiales para bóvedas de equipos eléctricos, como ventilación, acceso, drenaje y seguridad.
- **Distribución de energía eléctrica:** Se cubren principios generales, equipos para la transmisión de energía entre subestaciones y bóvedas/transformadores. Se mencionan líneas aéreas (a evitar cerca de áreas de maniobra) y subterráneas. Se discuten reguladores de tensión, conductores, transformadores, dispositivos de interrupción (disyuntores, cortacircuitos, restablecedores automáticos), protección contra descargas atmosféricas y distancias libres. Un aspecto crucial es la **puesta a tierra**, con referencia a códigos de seguridad y normas (como IEC 60364), detallando métodos (piquetes, resistencia requerida, conexiones).

- **Tecnologías y Cargas:** Se discuten los reguladores de corriente constante (CCR) como componente clave de los circuitos en serie. Se explica el **cálculo de la carga** para dimensionar los CCRs, incluyendo pérdidas en cables y eficiencia de transformadores. Se mencionan desafíos con cargas no lineales o fluctuantes como ciertos letreros y la creciente integración de **tecnología LED**, requiriendo consulta con fabricantes. Se cubren los transformadores en serie (AGL), su envolvente y cables.
- **Control y Vigilancia:** Se da un panorama general de los sistemas (ALCS). Se mencionan esquemas sinópticos (físicos o gráficos/táctiles), la capacidad de seleccionar la fuente secundaria de energía, páginas de datos para monitoreo y mantenimiento, y tableros relé de transferencia para el control entre estaciones. Se describe la tecnología de **luces direccionables** y los medios de comunicación asociados (portadora por línea eléctrica, fibra óptica, par trenzado). Se discute la importancia de la **compatibilidad electromagnética** con equipos existentes.
- **Sistemas Eléctricos Enterrados:** Se reconoce que la mayoría de los circuitos eléctricos se instalan bajo tierra. Se proporciona **orientación para la instalación de circuitos en serie enterrados**, complementando códigos locales. Se enfatiza la planificación previa (coordinación con control de tránsito aéreo, ubicación de servicios existentes). Se detallan las **profundidades mínimas de instalación de cables** (dentro y fuera de la propiedad del aeródromo, bajo pistas/calles de rodaje). Se describen la apertura de zanjas, el material de relleno y su compactación. Se aborda la puesta a tierra secundaria y la resistencia del suelo. Se dan indicaciones sobre la instalación de cables en conductos (tracción, esfuerzo), cajas de registro y agujeros de inspección (ubicación, espaciamiento, materiales), empalmes (tipos, procedimientos, necesidad de personal experimentado) y cortes de sierra en pavimentos. Se especifica el marcado e identificación de cables. También se detallan las instalaciones de bases para luces (profundas y poco profundas). Se describen las características de los **cables subterráneos** (tipos de aislamiento como XLPE, EPR, TPE, papel) y su incombustibilidad. La vida útil esperada de cables enterrados es de 10 a 20 años.
- **Pruebas de Aceptación y Mantenimiento:** Se describen los procedimientos para nuevas instalaciones antes de la puesta en marcha. Se recomienda una **garantía**

de al menos un año. Se enfatiza la **inspección visual** (durante y al final de la instalación) como crucial para detectar defectos. Se detallan las **pruebas de funcionamiento del sistema** (conmutación, operación continua a máxima intensidad). Las **pruebas eléctricas** en circuitos en serie requieren personal calificado debido a las altas tensiones. Se incluyen pruebas de continuidad, resistencia de aislamiento (con probador de alta tensión/megóhmetro, valores sugeridos, registro de datos), y pruebas de alta tensión (DC, niveles según tensión nominal, medición de corriente de fuga). Se subraya la seguridad operacional durante las pruebas. Se mencionan pruebas para otros equipos y sistemas de vigilancia.

- **Procedimientos de Resolución de Problemas:** Se proporcionan procedimientos generales para aislar fallas. La **seguridad operacional** es de principal importancia, requiriendo personal experimentado y precauciones de alta tensión. Se describen el uso de equipos como VOM/DMM. Se presenta el **ensayo de tierra intencional** como un método (potencialmente "destrutivo") para localizar fallas de tierra, aplicable cuando los métodos tradicionales son difíciles o el tiempo es crítico. También se menciona la utilidad de equipos de detección térmica (termómetros infrarrojos) para localizar fallas de tierra por el calor generado.
- **Equipo para Pruebas Eléctricas:** Se describen varios instrumentos esenciales para el mantenimiento, recomendando adquirir al menos un volt-ohmio-miliamperímetro (VOM) y un probador de aislamiento (megóhmetro). Otros equipos incluyen multímetros digitales (DMM), localizadores de cables y fallas subterráneos, pinzas amperimétricas (tipo RMS verdadera), trazadores de rutas de cable, probadores generadores de impulsos para localización de fallas, detectores acústicos y direccionales, y probadores de resistencia de tierra. Se enfatiza la importancia de la **seguridad operacional** al usar estos equipos, incluyendo el uso de equipo de protección personal (guantes aislantes).

El manual se organiza en capítulos que cubren diseño (Capítulos 2 a 14), ensayos de aceptación (Capítulo 15), y resolución de problemas y equipos de ensayo (Capítulos 16 y 17). La próxima edición incluirá recomendaciones de la futura Norma IEC 61820. Se solicitan sugerencias para mejorar el manual.

3. Diseño del sistema de control de iluminación de pista mediante sistema SCADA para el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn”.

En este apartado se detalla los controladores y componentes seleccionados para el sistema de control de iluminación de pista incluyendo el sistema SCADA.

3.1. Selección de Controladores y Componentes

3.1.1. Controlador Lógico Programable

Para este proyecto se empleó un PLC Siemens S7-1200, modelo CPU 1215C AC/DC/Rly, con las siguientes características técnicas:

- **Memoria de trabajo:** 125 KB.
- **Fuente de alimentación:** 120/240V AC.
- **Entradas/salidas digitales:**
 - 14 entradas digitales a 24V.
 - 10 salidas a relé.
 - 2 salidas analógicas.
- **Funciones avanzadas:**
 - 6 contadores rápidos.
 - 4 salidas de impulso integradas.
- **Expansión de E/S:**
 - Compatible con **Signal Board** para ampliar E/S integradas.
 - Soporte para hasta **8 módulos de señales** (ampliación de E/S).
- **Comunicaciones:**
 - Hasta **3 módulos de comunicaciones** para conexión serie.
 - 2 interfaces **PROFINET** (programación y comunicación).
- **Rendimiento:**
 - Velocidad de procesamiento: 0,04 ms por 1000 instrucciones.

Referencia del dispositivo: 6ES7 215-1BG40-0XB0.



Figura 6. Controlador Lógico Programable S7-1200

3.1.2. Módulo de interfaz descentralizada

Dado que no se conocen con exactitud las distancias entre el sistema central y cada uno de los conjuntos de luces de pista, se optó por utilizar módulos de interfaz descentralizada ET200 – IM 155-6PN BA (referencia: 6ES7155-6AR00-0AN0). Esta solución permite instalar un único módulo en cada sistema de iluminación, estableciendo comunicación con el PLC central mediante PROFINET.

De esta manera, es posible expandir la configuración agregando módulos de entradas y salidas específicos para cada sistema, lo que facilita un control individualizado y eficiente. Además, esta arquitectura garantiza una velocidad de comunicación adecuada a las necesidades operativas, optimizando el desempeño general de la instalación.



Figura 7. Módulo de interfaz descentralizada SIMATIC ET200

Para controlar cada sistema, se requería un máximo de tres salidas de relé a 120V, por lo que se implementaron módulos de relés normalmente abiertos RQ 4x120VDC/230VAC/5A (referencia: 6ES7132-6HD00-0BB1). Estos módulos cuentan

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

con cuatro salidas de relé, proporcionando un margen de capacidad adicional por si fuera necesario.

Además, su alimentación opera a 24V, lo que garantiza compatibilidad con el módulo de interfaz descentralizada ET200, simplificando así la integración eléctrica y manteniendo una configuración coherente en toda la instalación. Esta solución permite un control eficiente y seguro de las cargas conectadas, asegurando un funcionamiento óptimo del sistema.

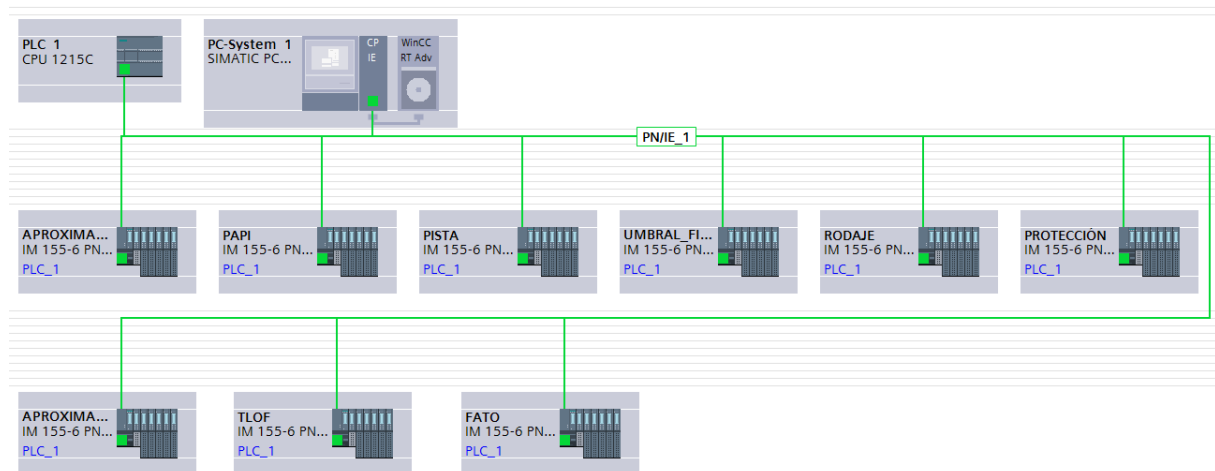


Figura 8. Red Profinet.

3.1.3. Sistema SCADA WinCC Advanced

Se elige un sistema SCADA WinCC Advanced, esta es una solución de Siemens para visualización y control en automatización industrial, orientada a tareas de visualización a nivel de máquina con un rendimiento alto y facilidad de uso. Está diseñado para usarse en PC como dispositivo HMI (interfaz hombre-máquina), permitiendo mostrar valores de sensores, animaciones y controlar procesos de manera eficiente. WinCC Advanced es más adecuado para proyectos que requieren un PC como HMI con capacidades de visualización y control más avanzadas que Comfort, pero sin llegar a la complejidad y coste de Professional.

3.2. Selección de tecnología de iluminación de pista

La selección de luminarias para pistas aeroportuarias es crucial y debe considerar [12]:
Normas de seguridad: Cumplir con los estándares de la OACI en intensidad, ángulo y uniformidad de la luz para garantizar seguridad operacional.

Tipo de luminaria: Las LED son las más eficientes, con mayor durabilidad y menor mantenimiento frente a las incandescentes o halógenas.

Potencia: Debe asegurar la intensidad lumínica requerida para la visibilidad en la pista.

Diseño: Debe distribuir la luz uniformemente, evitar deslumbramientos y ser resistente a condiciones climáticas adversas.

Mantenimiento: Priorizar luminarias de fácil acceso y reparación para minimizar riesgos y asegurar continuidad operativa.

Según el estudios técnicos de *Edgar Cajamarca & Wilson Zhumi* [13] y *David Moreno & Juan Caicedo* [12], las luminarias LED representan la opción más ventajosa frente a las halógenas, al ofrecer beneficios significativos en diversos aspectos. Económicamente, no solo presentan un menor consumo energético, sino que también reducen los costos de mantenimiento en comparación con las alternativas tradicionales.

Por lo anterior se propone la implementación de luminarias con tecnología LED.

3.2.1. Sistema de regulación de niveles de brillo

La regulación de los niveles de brillo se realiza mediante un MCR. Un **MCR** es un **Regulador de Corriente Constante controlado por Microprocesador**. Su propósito principal es el suministro de **circuitos serie de balizamiento aeroportuario a varios niveles de brillo**. Estos reguladores están diseñados para ser aplicados en circuitos serie de balizamiento aeroportuario, cumpliendo con especificaciones como las del Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI, Parte 5.

Características y componentes del MCR [14]:

- Controlado por microprocesador.
- Diseñado para funcionar en **circuitos serie de balizamiento aeroportuario**.
- Permite ajustar **varios niveles de brillo**.
- Disponible en un rango de potencias de **2.5 a 30 kVA**.
- Soporta diferentes rangos de voltaje de entrada (220 a 415 V \pm 15%) y frecuencias (50/60 Hz \pm 5%).
- La corriente estándar del circuito serie es de **6.6A**, aunque también hay modelos de 25 y 30 kVA que soportan 20A.

- Generalmente incluye un **módulo de potencia** (KSR43A o KSR110A), un **módulo de control**, un interruptor de entrada con fusible, y componentes de alto voltaje dentro de su recinto.
- Cuenta con un **panel frontal** que incluye una pantalla alfanumérica de 4 dígitos para visualizar información (como corriente de salida, paso de brillo, voltaje de salida, etc.) e indicadores LED para el estado del regulador (CCR ON, I-fault, Earth-fault, Lamp fault, Local operation).
- Permite **control remoto y monitoreo**, a menudo mediante un sistema multifilar de 24 o 48 V CC a través de un módulo de interfaz (PCB1448). También puede conectarse a un PC para configuración y monitoreo.
- Incorpora funciones de **monitoreo** para detectar condiciones como circuito abierto, sobrecorriente, bajo/sobrevoltaje de suministro, asimetría de corriente de salida y sobrecarga.
- Puede incluir **opciones** como:
 - Módulo de Detección de Falla a Tierra (EFD).
 - Módulo de Detección de Lámparas Quemadas (LFD).
 - Corta circuito SCO para aislar el circuito serie durante mantenimiento.
 - Contador horario.
- Utiliza **derivaciones** para adaptar la impedancia de la carga real, optimizando el factor de potencia, disminuyendo la corriente principal de entrada y el contenido de armónicas, entre otras ventajas.
- Requiere **mantenimiento**, incluyendo la verificación de parámetros, el reemplazo de módulos y la calibración de sus componentes. Para el reemplazo de componentes electrónicos, se deben usar repuestos originales suministrados por el fabricante.

En el ANEXO III se presentan otras características del MCR, los módulos de interfaz y conexión eléctrico.

3.3. Sistemas de luces seleccionados

Se opta por un sistema de iluminación sencillo, con los sistemas necesarios a implementar en una pista de las dimensiones descritas en el objeto, adicionalmente se

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

busca el sistema sea para vuelo visual sin instrumentos adicionales, sin requerir instrumentación avanzada como ILS, antenas u otros dispositivos ajenos a la iluminación. Esta elección se justifica porque muchos aeropuertos, especialmente los de menor escala, aún no incorporan estas tecnologías. Por ello, el diseño detallará la implementación de cada componente lumínico, asegurando que cumplan su función en la seguridad y operatividad de la pista. Cada tipo de luminaria desempeña un rol crítico, por lo que su selección debe ser precisa y adecuada a las necesidades del aeródromo. Los sistemas de luces seleccionados se dividen en luces para pista de aviación y helipuerto. A continuación, se detallan los sistemas programados:

3.3.1. Sistema de luces para pista de aviación

- Luces de Aproximación
- Luces PAPI
- Luces de borde pista
- Luces de eje de pista
- Luces de umbral y final
- Luces de rodaje
- Luces de espera

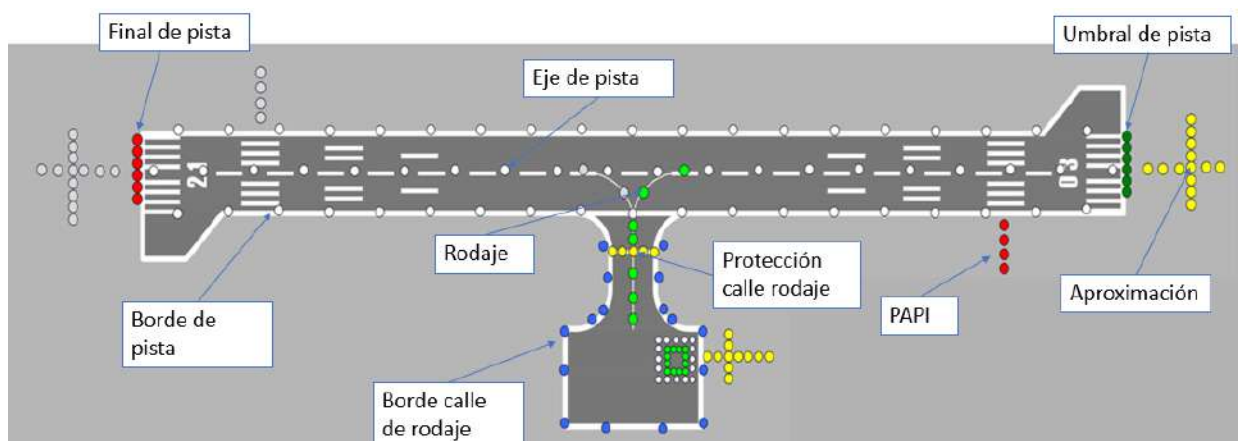


Figura 9. Vista representativa de los sistemas seleccionados.

3.3.2. Sistema de luces para helipuerto

- Luces de aproximación
- Luces TLOF

- Luces FATO

En el ANEXO I y II se presenta las características de cada sistema citado anteriormente.

3.3.3. Intercalación de los circuitos de iluminación de aeródromo

Según lo establecido en el Anexo 14, Volumen I, apartado 8.2, para pistas diseñadas para operar con alcance visual en pista (RVR) inferior a 550 metros, los sistemas eléctricos de alimentación, iluminación y control de luces deben estar configurados de manera que, ante una falla en un circuito, no se genere una guía visual incorrecta o información engañosa para el piloto [11].

Para garantizar esto, todos los sistemas de iluminación de aproximación y pista deben contar con al menos dos circuitos independientes. Cada circuito debe cubrir toda el área de servicio (por ejemplo, la longitud total de la pista) y distribuirse de forma que, incluso si uno o más circuitos fallan, se mantenga un patrón equilibrado y simétrico de iluminación.

Este diseño asegura que, en caso de contingencia, la disposición de las luces siga proporcionando una referencia visual adecuada para las operaciones de aterrizaje y rodaje.

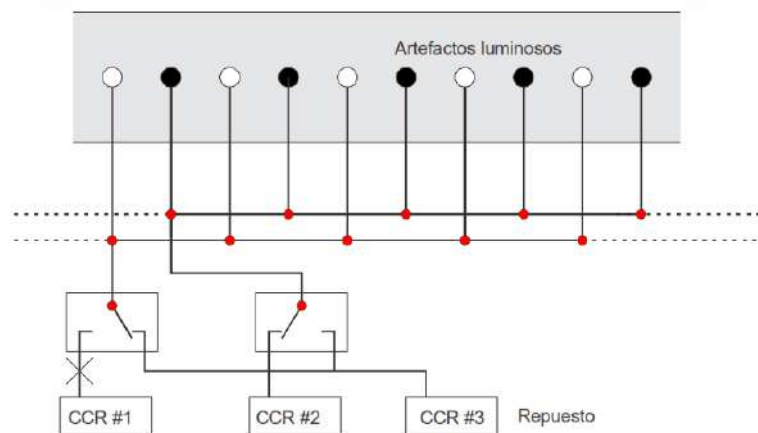


Figura 10. Intercalación de circuitos de iluminación [11].

Iluminación de eje de calle de rodaje

Los circuitos de iluminación de eje de calle de rodaje pueden intercalarse en las partes del sistema de calles de rodaje que se consideran esenciales en condiciones de

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

Categorías II/III pero, por razones económicas, puede utilizarse un único circuito para otras calles de rodaje [11].

Sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación

Cuando los indicadores de pendiente de aproximación se instalen únicamente a un lado de la pista, como ocurre con los PAPI y AT-VASI, deberían conectarse a un circuito algunas de las lámparas de cada elemento luminoso y el resto de ellas al otro circuito, para mantener la integridad de la configuración. Si falla una de las lámparas dentro de un elemento luminoso se reducirá la intensidad. Los sistemas visuales indicadores de pendiente de aproximación deberían desactivarse cuando la falla de un elemento luminoso completo pueda dar por resultado una señal equívoca [11].

Luces de guía de calle de rodaje/pista

Las luces verdes de guía de calle de rodaje/pista no necesitan estar intercaladas dado que la función de esta iluminación es proporcionar la confirmación de la instrucción oral para avanzar. No obstante, si están intercaladas, pueden proporcionárseles dos circuitos, como para una iluminación de eje de pista de un solo color, según se muestra en Figura 11 b) [11].

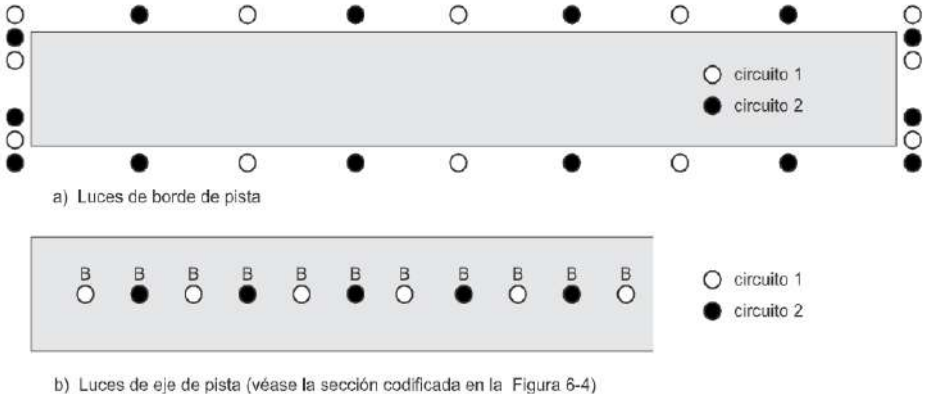


Figura 11. Luces de borde, eje y zona de toma de contacto de la pista [11]

3.3.4. Conmutación selectiva de los circuitos de calle de rodaje

Para garantizar una adecuada orientación a los pilotos durante las maniobras en tierra, el sistema de iluminación del eje de las calles de rodaje debe diseñarse con capacidad

de activación selectiva por segmentos. Esta funcionalidad puede implementarse mediante dos enfoques técnicos principales: utilizando reguladores de corriente constante independientes para cada tramo o conectando múltiples segmentos a un único regulador equipado con relés selectores, los cuales pueden ubicarse tanto en campo como en la salida del regulador principal [11].

Se opta por un sistema computarizado avanzado que, tras recibir los parámetros de pista de salida y puerta de destino, determina y activa automáticamente la secuencia óptima de segmentos iluminados para guiar eficientemente a la aeronave a su posición asignada.

Estos mecanismos buscan optimizar las operaciones en plataforma, reduciendo la carga de trabajo del control aéreo mientras se mantiene una guía visual clara y precisa para las tripulaciones en movimiento por el área de maniobras [11].

3.4. Diseño de la Arquitectura de comunicación

El sistema integrado de monitoreo y control está conformado por diversos componentes interconectados, cuyo esquema se detalla en el diagrama adjunto. En este diseño, el PLC y el sistema SCADA se comunican mediante PROFINET (PROFINET es un estándar de comunicación industrial basado en Ethernet, diseñado para la automatización de procesos y manufactura. Permite la transmisión de datos en tiempo real entre controladores, dispositivos, sensores y actuadores en entornos industriales, facilitando la interoperabilidad y el control eficiente de sistemas automatizados [15]), aprovechando su ubicación en la misma zona física. Dado que ambos dispositivos operan en red local, solo se requiere un switch de comunicaciones para establecer el enlace entre ellos, optimizando la infraestructura de red.

Para el control distribuido de los sistemas de luces de pista, se recomienda implementar módulos esclavos de E/S conectados al PLC central. Estos módulos permiten adaptar la configuración de entradas y salidas según los requerimientos específicos de cada conjunto de iluminación, facilitando un control modular y escalable. Esta arquitectura garantiza una operación eficiente, reduciendo la complejidad en el cableado y centralizando la gestión a través del PLC.

3.5. Descripción de la interfaz gráfica del SCADA

El sistema de control cuenta con una interfaz gráfica desarrollada en WinCC Advanced. Cada pantalla tiene un propósito particular y está configurada para controlar o visualizar el sistema de iluminación, permitiendo un monitoreo efectivo de los procesos de la planta. Las pantallas incluyen funcionalidades como la visualización de parámetros en tiempo real, el control de nivel de luminosidad de cada sistema de iluminación y la visualización de alarmas.

3.5.1. Inicio de Sesión

En la Figura 12 se presenta la pantalla de inicio de sesión del sistema SCADA, que permite el acceso exclusivo a los usuarios registrados. Para iniciar sesión, los usuarios deben ingresar su nombre y contraseña, y presionar el botón correspondiente.

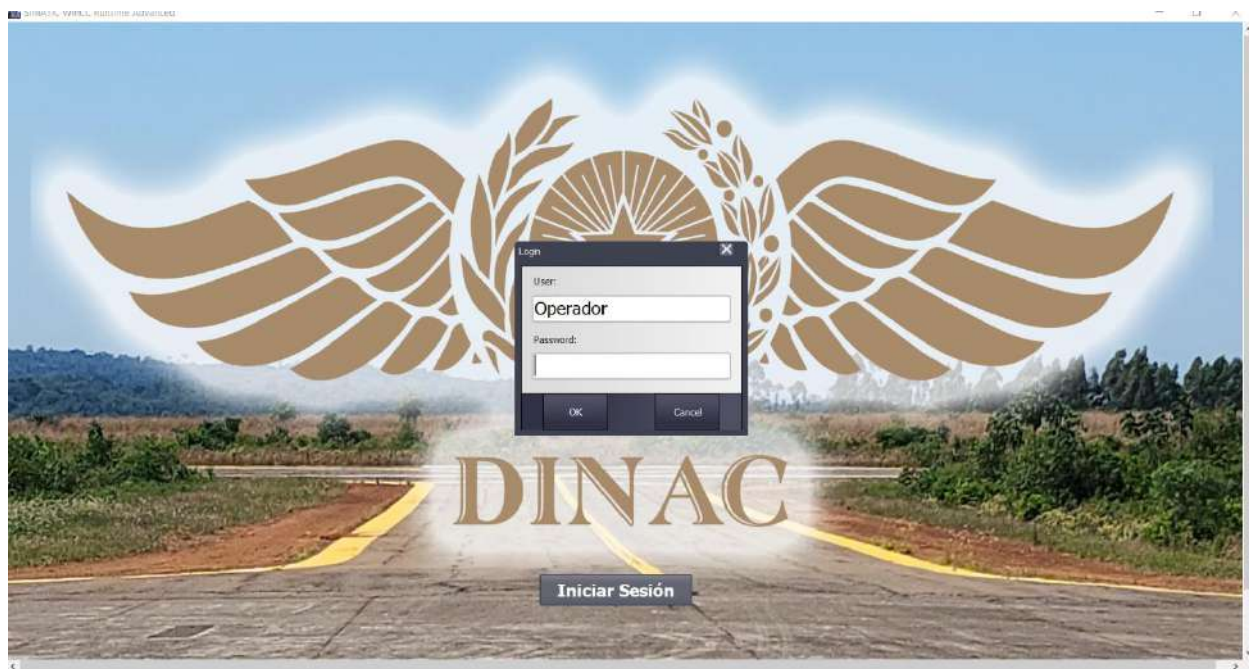


Figura 12. Pantalla de inicio de sesión.

3.5.2. Pantalla Principal

Esta interfaz proporciona una visión integral del estado del sistema de iluminación mostrando en tiempo real el estado de las luces del Aeródromo y el Helipuerto.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

Mediante botones se puede encender y apagar cada sistema, además se permite la selección de pista del Aeródromo (03 o 21).

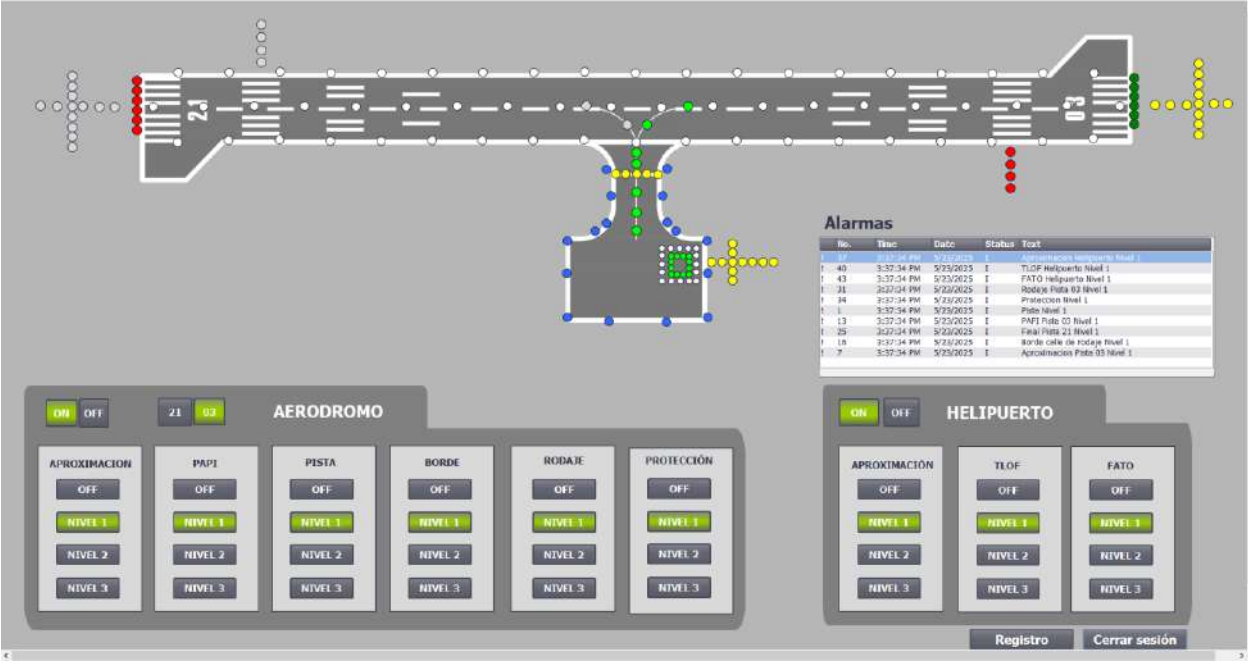


Figura 13. Pantalla Principal

3.5.3. Control de Alarmas

La interfaz de alarmas, representada en la Figura 14, constituye un elemento fundamental para el monitoreo operativo del sistema. Su diseño estratégico permite la identificación inmediata de eventos con hora y fecha exacta de ocurrencia y descripción del evento.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

REGISTRO DE ALARMAS ACTUALES					HISTORICO DE ALARMAS				
No.	Time	Date	Status	Text	No.	Time	Date	Status	Text
46	3:57:34 PM	5/23/2025	I	TLOF Aeropuerto Nivel 1	46	3:57:34 PM	5/23/2025	I	TLOF Aeropuerto Nivel 1
43	3:57:34 PM	5/23/2025	I	FATO Aeropuerto Nivel 1	43	3:57:34 PM	5/23/2025	I	FATO Aeropuerto Nivel 1
31	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Rodeaje Pista 03 Nivel 1	31	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Rodeaje Pista 03 Nivel 1
34	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Proteccion Nivel 1	34	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Proteccion Nivel 1
1	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 1	1	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 1
13	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 03 Nivel 1	13	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 03 Nivel 1
25	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 21 Nivel 1	25	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 21 Nivel 1
16	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Borde cable de rodeaje Nivel 1	16	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Borde cable de rodeaje Nivel 1
7	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Pista 03 Nivel 1	7	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Pista 03 Nivel 1
					46	3:57:34 PM	5/23/2025	I	TLOF Aeropuerto Nivel 1
					43	3:57:34 PM	5/23/2025	I	FATO Aeropuerto Nivel 1
					31	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Rodeaje Pista 03 Nivel 1
					34	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Proteccion Nivel 1
					1	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 1
					13	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 03 Nivel 1
					25	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 21 Nivel 1
					16	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Borde cable de rodeaje Nivel 1
					7	3:57:34 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Pista 03 Nivel 1
					7	3:56:45 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Pista 03 Nivel 1
					52	3:56:45 PM	5/23/2025	IO	FATO Aeropuerto OFF
					43	3:56:45 PM	5/23/2025	I	FATO Aeropuerto Nivel 1
					27	3:56:45 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Aeropuerto Nivel 1
					40	3:56:45 PM	5/23/2025	I	TLOF Aeropuerto Nivel 1
					51	3:56:45 PM	5/23/2025	IO	TLOF Aeropuerto OFF
					50	3:56:45 PM	5/23/2025	IO	Aproximacion Aeropuerto OFF
					49	3:56:41 PM	5/23/2025	IO	Proteccion OFF
					34	3:56:41 PM	5/23/2025	I	Proteccion Nivel 1
					48	3:56:40 PM	5/23/2025	IO	Rodeaje de Pista OFF
					21	3:56:40 PM	5/23/2025	I	Rodeaje Pista 03 Nivel 1
					46	3:56:39 PM	5/23/2025	IO	Borde de cable OFF
					16	3:56:38 PM	5/23/2025	I	Borde cable de rodeaje Nivel 1
					21	3:56:38 PM	5/23/2025	IO	Pista OFF
					1	3:56:38 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 1
					25	3:56:38 PM	5/23/2025	I	Pista Nivel 21 Nivel 1
					30	3:56:37 PM	5/23/2025	IO	PART OFF
					13	3:56:37 PM	5/23/2025	I	PAPA Pista 03 Nivel 1
					19	3:56:37 PM	5/23/2025	IO	Aproximacion OFF
					7	3:56:37 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Pista 03 Nivel 1
					56	3:55:02 PM	5/23/2025	I	Aproximacion Aeropuerto OFF
					27	3:55:02 PM	5/23/2025	IO	Aproximacion Aeropuerto Nivel 1
					51	3:55:02 PM	5/23/2025	I	TLOF Aeropuerto OFF
					46	3:55:02 PM	5/23/2025	IO	TLOF Aeropuerto Nivel 1
					52	3:55:02 PM	5/23/2025	I	FATO Aeropuerto OFF
					43	3:55:02 PM	5/23/2025	IO	FATO Aeropuerto Nivel 1
					48	3:54:41 PM	5/23/2025	I	Rodeaje de Pista OFF
					28	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Rodeaje Pista 21 Nivel 1
					49	3:54:41 PM	5/23/2025	I	Proteccion OFF
					24	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Proteccion Nivel 1
					21	3:54:41 PM	5/23/2025	I	Pista OFF
					1	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Pista Nivel 1
					20	3:54:41 PM	5/23/2025	I	PAPA OFF
					16	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	PAPA Pista 21 Nivel 1
					22	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Pista Nivel 03 Nivel 1
					46	3:54:41 PM	5/23/2025	I	Borde de cable OFF
					19	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Borde cable de rodeaje Nivel 1
					4	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Aproximacion OFF
					27	3:54:41 PM	5/23/2025	IO	Aproximacion Pista 21 Nivel 1
					46	3:54:40 PM	5/23/2025	I	TLOF Aeropuerto Nivel 1
					43	3:54:32 PM	5/23/2025	I	FATO Aeropuerto Nivel 1
					28	3:54:32 PM	5/23/2025	I	Rodeaje Pista 21 Nivel 1

Figura 14. Pantalla de Alarmas

4. Presupuesto de la propuesta de sistema electrónico de iluminación.

A continuación, se presenta un presupuesto del proyecto, que incluye el costo de los materiales necesarios y la mano de obra totalizando la suma de 697.443 dólares.

Tabla 2. Presupuesto de la propuesta

Ítem	Descripción	Precio Unitario (USD)
1	Sistema SCADA	159.207
2	Luminarias	413.864
3	Instalación de Luminarias	91.160
	Imprevistos (5%)	33.212
	TOTAL (USD)	697.443

En el ANEXO IV se presenta el cálculo de cada ítem.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como resultado fundamental de este proyecto final de grado, se ha propuesto un sistema de automatización de iluminación de pista para el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn” de la ciudad de Coronel Oviedo. Este diseño aborda la necesidad identificada por la DINAC de contar con un sistema de iluminación robusto y moderno para las ayudas visuales en dicho aeródromo. Actualmente, la falta de dicha infraestructura limita la operatividad del aeropuerto a la categoría HJ (solo operaciones diurnas), impidiendo operaciones nocturnas.

El desarrollo de la propuesta se cimentó en una revisión de la normativa aeronáutica vigente, incluyendo el Código Aeronáutico de la República del Paraguay (Ley N° 1860) y los reglamentos de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC), con un enfoque particular en DINAC R 14 Volumen I (Diseño y operaciones de aeródromos) y Volumen II (Helipuertos), así como el Manual de diseño de aeródromos Parte 4 (Ayudas visuales) y Parte 5 (Sistemas eléctricos) de la OACI.

Se llevó a cabo un análisis de las alternativas tecnológicas para la iluminación de pista, determinando que las luminarias con tecnología LED representan la opción más ventajosa. Esta conclusión se basa en estudios técnicos que destacan los beneficios significativos de las LED frente a las halógenas, principalmente en términos de menor consumo energético y reducción de costos de mantenimiento. Los sistemas de luces propuestos para la pista de aviación y el helipuerto son de tecnología LED.

Para este proyecto, se seleccionó un PLC Siemens S7-1200 (modelo CPU 1215C AC/DC/Rly), el cual ofrece características técnicas adecuadas, incluyendo memoria, entradas/salidas digitales y analógicas, contadores rápidos, salidas de impulso y capacidades de comunicación. Dada la posible distribución espacial de los sistemas de luces, se optó por complementar el PLC con unidades descentralizadas ET200SP (IM 155-6PN BA). Esta arquitectura modular permite expandir la configuración de entradas/salidas según las necesidades de cada sistema de iluminación y facilita la comunicación con el PLC central mediante el estándar industrial PROFINET. Se utilizaron módulos de relés (RQ 4x120VDC/230VAC/5A) para el control de las cargas.

El control y la supervisión del sistema se gestionan a través de un sistema SCADA. Se diseñó el sistema de control de iluminación de pista mediante WinCC Advanced, una

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

solución de Siemens adecuada para la visualización y control a nivel de máquina desde un PC. La interfaz gráfica del sistema SCADA incluye pantallas para inicio de sesión, operación principal (mostrando el estado en tiempo real de las luces) y control de alarmas (registrando eventos con hora y fecha exacta).

Se definieron y seleccionaron los sistemas de luces específicos a implementar. Para la pista de aviación, se programaron luces de Aproximación, PAPI (Precision Approach Path Indicator), borde de pista, eje de pista, umbral y final de pista, luces de rodaje (eje y borde) y luces de espera (protección de pista). Para el helipuerto, se contemplan luces de aproximación, TLOF (Touchdown and Lift-Off Area) y FATO (Final Approach and Take-Off area). Se optó por un sistema de iluminación sencillo, adecuado para vuelo visual sin instrumentos adicionales, reflejando la realidad de muchos aeródromos de menor escala.

En cuanto a la regulación del brillo de las luminarias, se plantea mediante reguladores de corriente constante controlados por microprocesador (MCR), que permiten ajustar el brillo en pasos discretos (10%, 30%, 100%).

Se diseñó el sistema eléctrico para incluir la intercalación de circuitos de iluminación, garantizando que la falla de un circuito no genere una guía visual incorrecta. Para los sistemas de luces de eje de calle de rodaje, se consideró la capacidad de activación selectiva por segmentos, implementable mediante reguladores independientes o un único regulador con relés selectores. Se propone un sistema computarizado para determinar y activar automáticamente la secuencia de segmentos iluminados para guiar a la aeronave, optimizando las operaciones en tierra.

Finalmente, el proyecto presenta un presupuesto detallado de la propuesta. Este presupuesto incluye el costo de los materiales necesarios (Sistema SCADA y Luminarias) y la mano de obra para la instalación, totalizando la suma de 697.443 dólares. Los anexos proporcionan el desglose de los costos asociados a las luminarias, la instalación y el sistema SCADA.

CONCLUSIONES

Se realizó una revisión de la normativa relacionada con aeropuertos y aeródromos, incluyendo el Código Aeronáutico de la República del Paraguay (Ley N° 1860) y los reglamentos de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC), haciendo énfasis en DINAC R 14 Volumen I y II, así como el Manual de diseño de aeródromos Parte 4 y 5 de la OACI.

Se analizaron las alternativas tecnológicas para la iluminación de pista, determinando que las luminarias LED son la opción más ventajosa frente a las halógenas.

Se seleccionó un PLC Siemens S7-1200 con unidades descentralizadas ET200SP con comunicación PROFINET para el sistema de control.

Se diseñó un sistema de control de iluminación de pista mediante sistema SCADA utilizando WinCC Advanced para el Aeropuerto “Cap. Walter Gwynn”. Este sistema incluye interfaces gráficas para inicio de sesión, operación y control de alarmas.

Los sistemas de iluminación seleccionados para la pista de aviación incluyen luces de aproximación, PAPI, borde de pista, eje de pista, umbral y final, borde de calles de rodaje y eje de calles de rodaje, y luces de espera (protección de pista). Para el helipuerto, se seleccionaron luces de aproximación, TLOF y FATO.

Se consideró la intercalación de circuitos de iluminación para garantizar que la falla en un circuito no genere una guía visual incorrecta, especialmente para pistas con bajo alcance visual en pista (RVR). Los circuitos de eje de calle de rodaje pueden intercalarse en partes esenciales del sistema de calles de rodaje.

Se diseñó el sistema de iluminación del eje de las calles de rodaje con capacidad de activación selectiva por segmentos, implementable mediante reguladores de corriente constante independientes o un único regulador con relés selectores. Se optó por un sistema computarizado para la activación automática de secuencias de segmentos iluminados.

Se presenta un presupuesto de la propuesta que incluye el costo de los materiales necesarios y la mano de obra, totalizando la suma de 697.443 dólares.

RECOMENDACIONES

- Actualmente no se dispone de una Torre Control de Tráfico aéreo (ATC) por lo que es necesario un proyecto civil.
- Considerar la futura integración del sistema de control SCADA con una potencial Torre de Control de Tráfico Aéreo (ATC).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. N. D. A. CIVIL, "Movimientos de Aeronaves 2022 DINAC," Coronel Oviedo, 2022.
- [2] D. N. D. A. CIVIL, "Memorándum SGOV 011/2023," Coronel Oviedo, 2022.
- [3] M. A. J. Vazquez, Interviewee, *Entrevista*. [Interview]. Enero 2023.
- [4] R. D. Falconí H., SISTEMA ELECTRÓNICO DE LUCES INDICADORAS DE PRECISIÓN DE PENDIENTE DE APROXIMACIÓN (P.A.P.I.-PRECISION APPROACH PATH INDICATOR) PARA LA OPERATIVIDAD DEL AEROPUERTO JUMANDY DE LA CIUDAD DEL TENA., 2014.
- [5] D. A. Rivera C., SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL PARA LOS SISTEMAS DE LUCES DE PISTA DE LOS AEROPUERTOS LA MINA Y PUERTO BOLÍVAR, 2019.
- [6] L. A. Anchatipán N., MODERNIZACIÓN, IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES LUMINOSAS PARA LA NAVEGACIÓN AÉREA EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL COTOPAXI, 2015.
- [7] D. I. Saurí Vázquez and A. O. Cepero Díaz, José Martí” International Airport Runway Lights System Control and Monitoring, Springer, 2023.
- [8] DINAC, DINAC R 14 Aeródromos Volumen I - Diseño y operaciones de aeródromos, 2023.
- [9] DINAC, DINAC R 14 – AERÓDROMOS VOL. II HELIPUERTOS., 2021.
- [10] OACI, Manual de diseño de aeródromos Parte 4 Ayudas visuales, 2004.
- [11] ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, Manual de diseño de aeródromos Parte 5 — Sistemas eléctricos, 2017.
- [12] D. A. Moreno Triviño and J. S. Caicedo Aragón, Diseño de iluminación de zonas exteriores para un aeropuerto nacional, Bogotá, 2023.
- [13] E. P. CAJAMARCA AYAVACA and W. G. ZHUMI LEÓN, ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA DE AYUDAS VISUALES EN EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR, PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE REEMPLAZAR EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN HALÓGENO POR TECNOLOGÍA LED, Cuenca, 2023.

**PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL
AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.
NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025**

[14] ADB, Regulador de Corriente Constante controlado por Microprocesador, Belgium.

[15] Inst Tools, "Profinet Communication – Specifications, Example, Advantages,"
Editorial Staff, 2025. [Online]. [Accessed Abril 2025].

[16] CONGRESO DE LA NACION PARAGUAYA, LEY N° 1860, Asunción, 2002.

ANEXOS

ANEXO I

A.1. Sistema de luces para pista de aviación

Luces de Aproximación

El objetivo principal de este sistema es ofrecer una guía visual clara y continua a lo largo de una trayectoria de aproximación definida.

Se recomienda su instalación en pistas de vuelo visual con número de clave 3 o 4 que operen de noche, siempre que sea técnicamente viable. No obstante, puede prescindirse de su uso si la pista solo se emplea en condiciones de buena visibilidad y existen otras ayudas visuales que proporcionen una orientación adecuada.

En el caso de pistas para aproximaciones no de precisión, su instalación es obligatoria cuando sea factible. Al igual que en las pistas de vuelo visual, puede omitirse si la pista opera exclusivamente con visibilidad favorable y otras señales visuales garantizan una guía suficiente para las aeronaves.



Figura 15. Luces de Aproximación

Se propone un sistema de aproximación simple que se muestra en la Figura 16 (A- UNA SOLA LUZ).

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

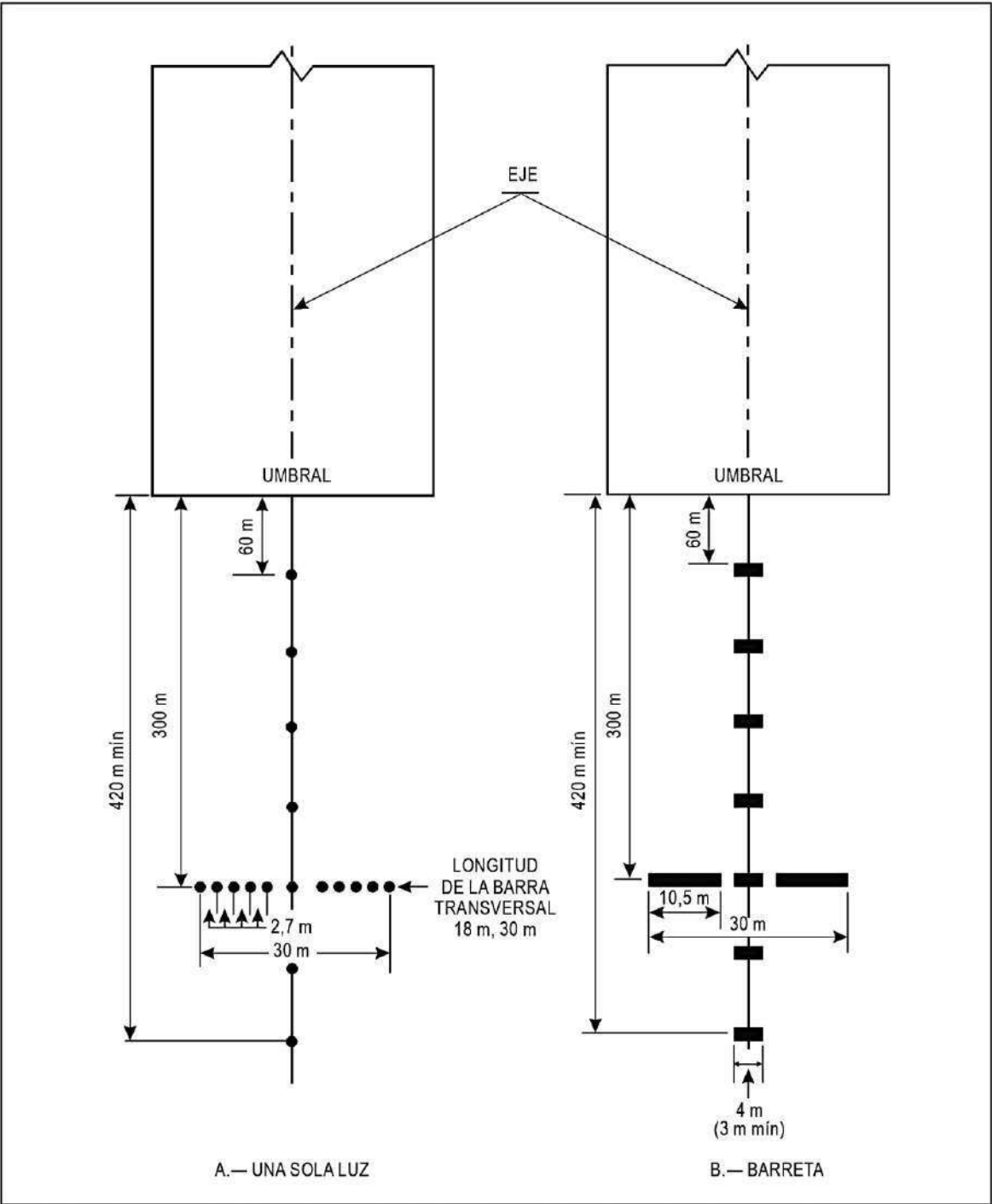


Figura 16. Sistema de aproximación simple.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

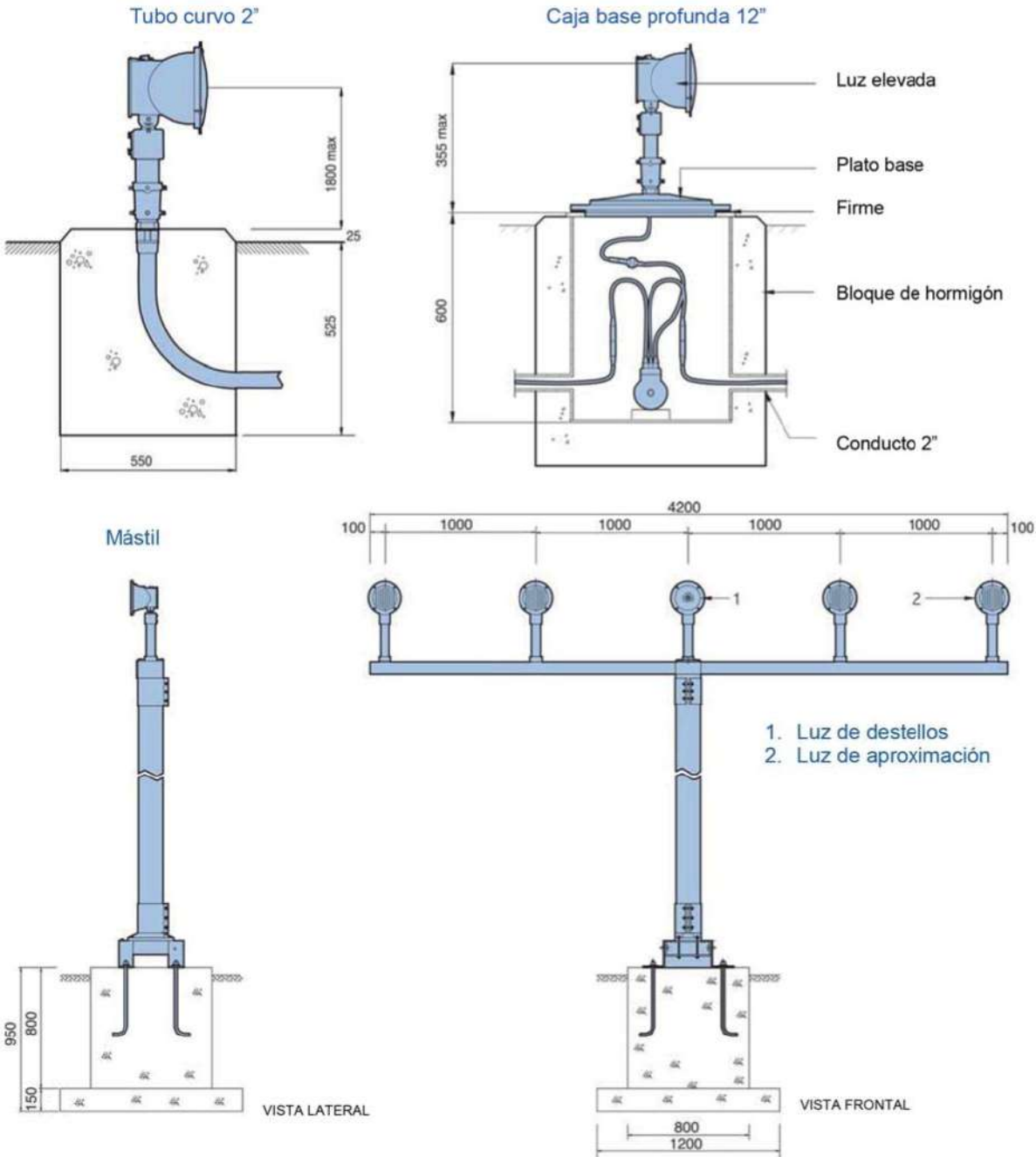


Figura 17. Sistema de montaje típico para luces de aproximación.

Luces PAPI

El sistema PAPI (Precision Approach Path Indicator) es una ayuda visual luminosa instalada en los aeropuertos para proporcionar a los pilotos una referencia precisa sobre su posición vertical respecto a la senda de aproximación ideal durante la fase final del aterrizaje.

Características técnicas

- El PAPI está compuesto por 2 o 4 unidades de luces alineadas, generalmente ubicadas al costado izquierdo de la pista.
- Cada unidad emite luz blanca en la parte superior y roja en la inferior, gracias a un sistema óptico basado en la Lente de Fresnel.
- La combinación de luces observada por el piloto indica si la aeronave está por encima, en, o por debajo de la senda de aproximación establecida (usualmente 3°).

Interpretación de las luces

- 4 blancas: demasiado alto.
- 3 blancas y 1 roja: ligeramente alto.
- 2 blancas y 2 rojas: en la senda correcta.
- 1 blanca y 3 rojas: ligeramente bajo.
- 4 rojas: demasiado bajo.



Figura 18. Luces P.A.P.I.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

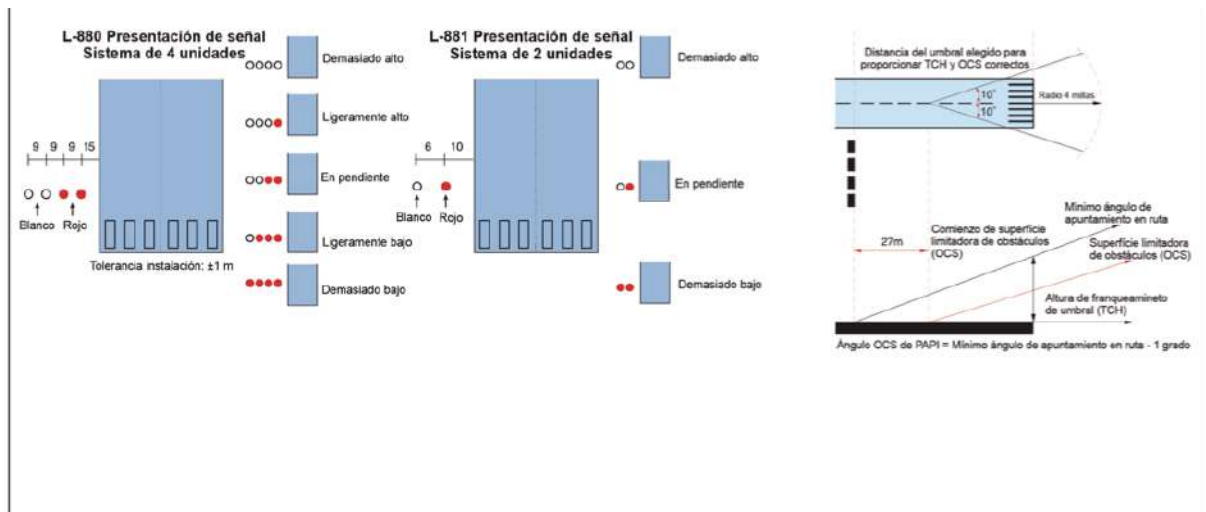


Figura 19. Presentación de señales de luces PAPI.

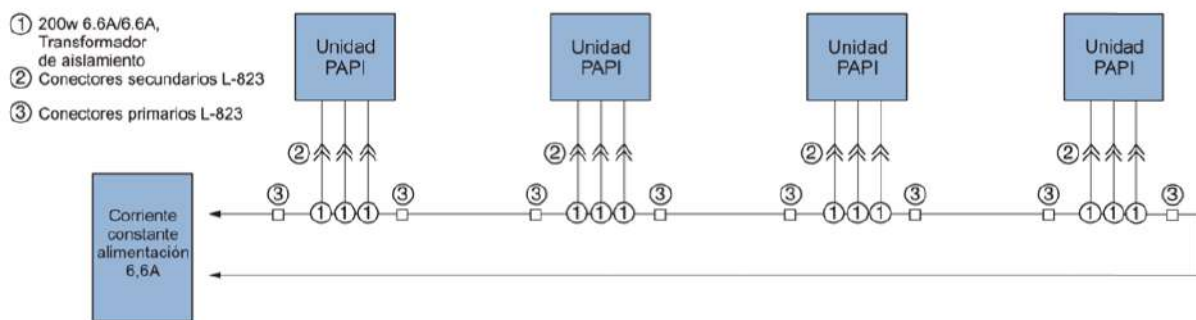


Figura 20. Diagrama típico de cableado de luces PAPI

Luces de borde pista

El sistema de luces de borde de pista, según la documentación de la OACI, es un conjunto de luces instaladas a lo largo de ambos lados de la pista para definir visualmente sus límites durante operaciones nocturnas o en condiciones de baja visibilidad. Estas luces son fundamentales para proporcionar a los pilotos una referencia clara del ancho y la orientación de la pista durante el despegue y aterrizaje.

La iluminación de borde de pista debe ser continua y estar compuesta por luces blancas, con una intensidad que puede ser alta, media o baja, siendo las de intensidad alta y media regulables para adaptarse a las condiciones ambientales. En pistas equipadas con sistemas de aterrizaje por instrumentos (ILS), las luces de borde se vuelven amarillas

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

en los últimos 600 metros o en la mitad final de la pista si esta es menor a 1200 metros, para alertar visualmente al piloto sobre la proximidad del final de la pista.

El espaciamiento entre las luces de borde debe cumplir con estándares internacionales, situándose generalmente a intervalos no mayores a 60 metros para pistas con vuelo por instrumentos, y hasta 100 metros para pistas sin este tipo de operaciones. La intensidad mínima recomendada para estas luces es de 50 candelas para asegurar una visibilidad adecuada, aunque puede reducirse a un mínimo de 25 candelas para evitar deslumbramientos, sin comprometer la seguridad.

Además, la instalación de luces de borde es obligatoria en pistas destinadas a uso nocturno o para aproximaciones de precisión, así como en aquellas con mínimos de visibilidad reducidos para despegues diurnos. Estas luces forman parte de un sistema integral que incluye también luces de umbral, luces de extremo de pista y luces de línea central, todas reguladas bajo las normas del Anexo 14 de la OACI para garantizar la seguridad operacional en aeródromos a nivel mundial.



Figura 21. Luces de borde de pista

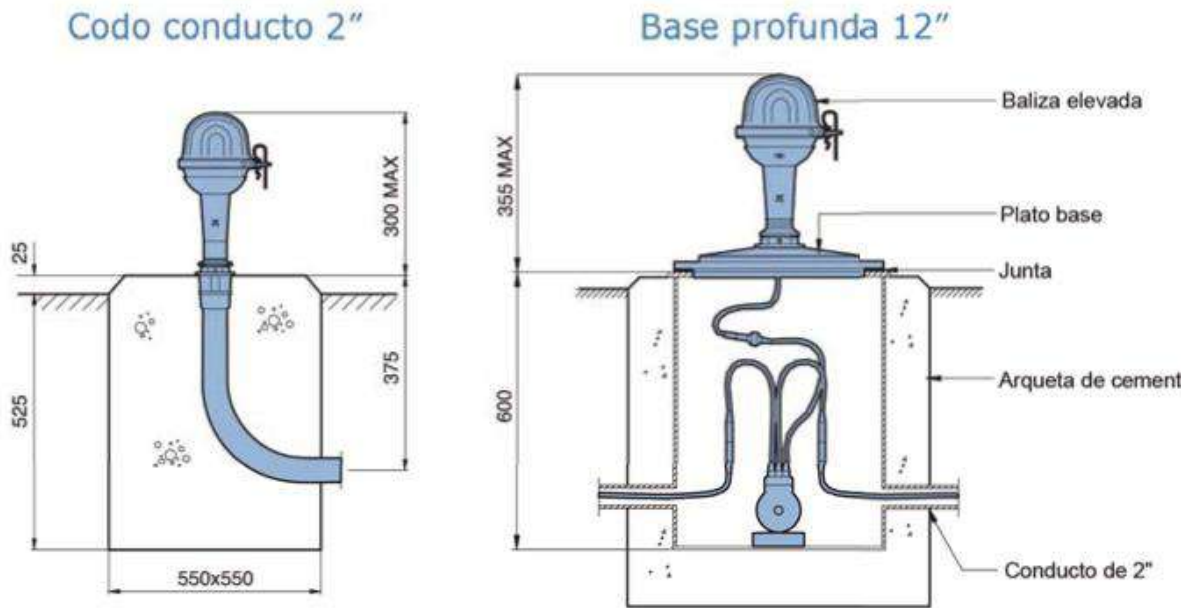


Figura 22. Montaje típico de luces de borde.

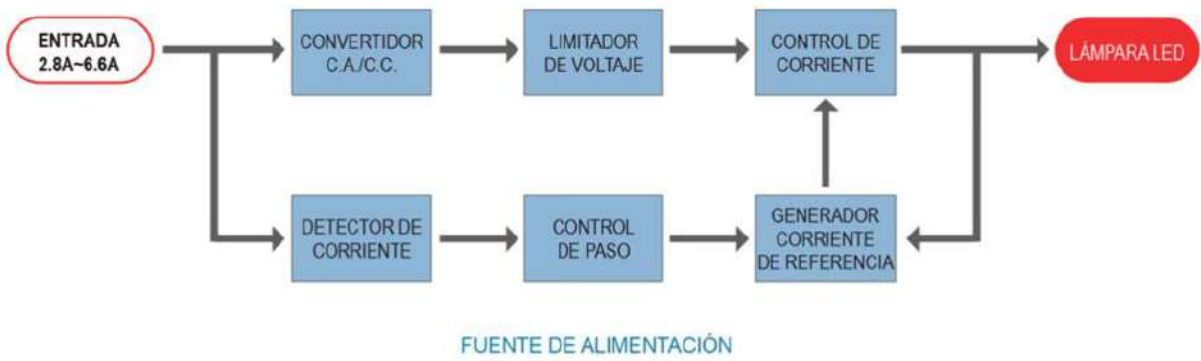


Figura 23. Diagrama de bloques

Luces de eje de pista

El sistema de luces de eje de pista, según la documentación de la OACI, consiste en una serie de luces instaladas a lo largo del centro de la pista para proporcionar una guía visual precisa a los pilotos durante la aproximación y el aterrizaje, especialmente en condiciones de baja visibilidad. Estas luces están diseñadas para facilitar el alineamiento correcto de la aeronave con el eje de la pista, contribuyendo a la seguridad operacional. La OACI establece que las luces de eje de pista deben instalarse obligatoriamente en pistas que soportan aproximaciones de precisión de Categoría II o III, y también en pistas de Categoría I cuando se utilicen para aeronaves con velocidades de aterrizaje elevadas

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

o cuando la separación entre las luces de borde sea superior a 50 metros. Estas luces se disponen en una línea continua a lo largo del eje de la pista, con un espaciamiento regular que permite una referencia clara y constante al piloto.

En cuanto a su color, las luces de eje de pista son blancas en la mayoría de su extensión, pero en los últimos 900 metros o 3000 pies antes del final de la pista, según el tipo de aproximación, cambian a una secuencia alternada de blanco y rojo para indicar la proximidad al extremo de la pista. En los últimos 300 metros o 1000 pies, las luces son rojas, advirtiendo al piloto que está muy cerca del final de la pista.



Figura 24. Luces de eje de pista

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

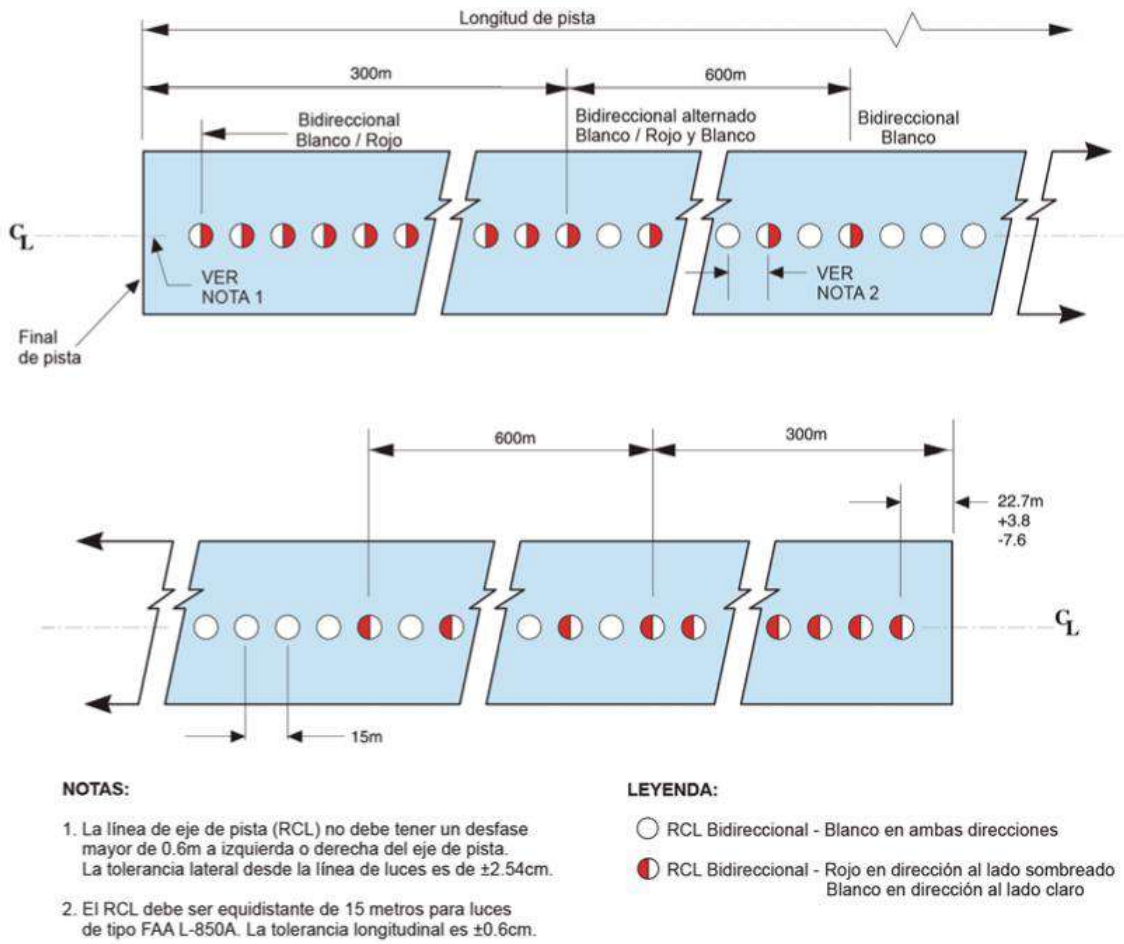


Figura 25. Diagrama de información de ayudas visuales

Luces de umbral y final

El sistema de luces de umbral y final de pista, según la documentación de la OACI, está diseñado para proporcionar una clara identificación visual del inicio y el término de la pista, facilitando la orientación de los pilotos durante las maniobras de aterrizaje y despegue, especialmente en condiciones de baja visibilidad o nocturnas. Las luces de umbral son luces verdes, fijas y unidireccionales, dispuestas uniformemente cada 3 metros a lo ancho de la pista, que marcan el punto donde comienza la zona destinada a la toma de contacto del aterrizaje. En pistas con aproximación de precisión Categoría I y II, estas luces se mantienen fijas y no variables, mientras que en Categoría III pueden ser variables pero siempre mantienen la unidireccionalidad.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

Adyacentes al umbral, se instalan las luces de barra de ala, que consisten en cinco luces verdes fijas alineadas transversalmente para reforzar la identificación del umbral. Por otro lado, las luces de final de pista son rojas, fijas y unidireccionales, ubicadas a lo ancho del extremo opuesto de la pista, visibles desde el interior de la pista para indicar el límite final. En pistas Categoría I y II se utilizan seis luces rojas, mientras que en Categoría III se emplean nueve, incrementando así la visibilidad y seguridad en condiciones más exigentes.



Figura 26. Luces de umbral y final de pista.

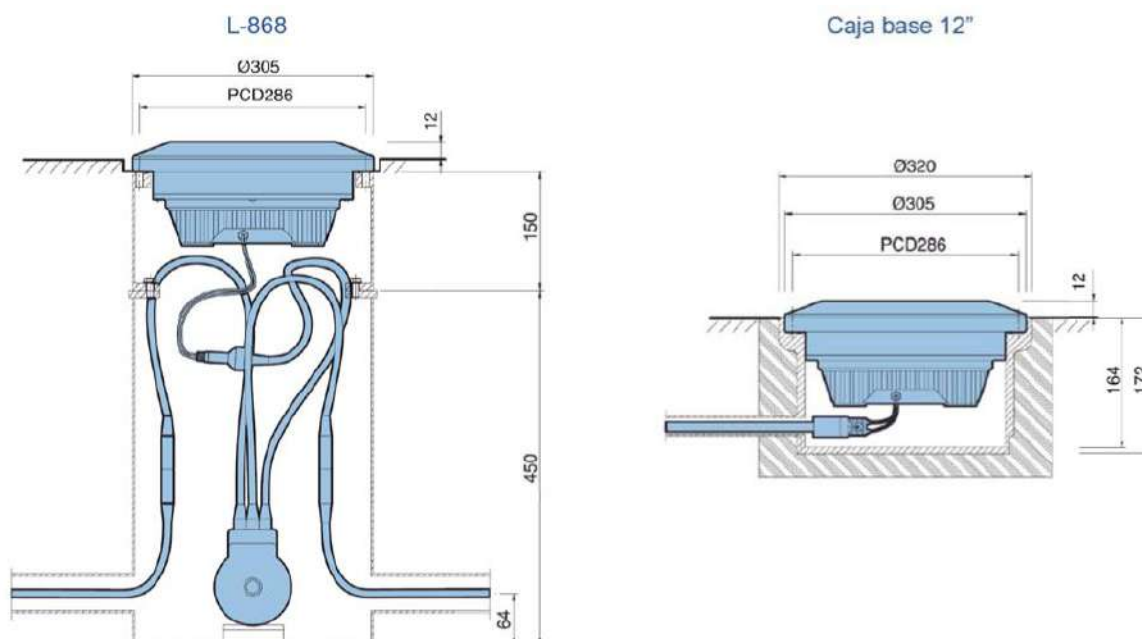


Figura 27. Sistema de montaje típicos

Luces de rodaje

El sistema de luces de rodaje, según la documentación de la OACI, está diseñado para guiar visualmente a las aeronaves durante las maniobras de rodaje en el aeropuerto, especialmente en condiciones de baja visibilidad o nocturnas. Estas luces delimitan las

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

calles de rodaje y proporcionan una referencia clara para que los pilotos puedan desplazarse de manera segura entre la pista, las plataformas y otras áreas operativas. Las luces de eje de calle de rodaje son de color verde y se instalan a lo largo del centro de las calles de rodaje para ofrecer una guía continua desde la pista hasta las posiciones de estacionamiento o áreas de espera. Además, las luces de borde de calle de rodaje, que son de color azul, delimitan los extremos de estas calles, ayudando a evitar salidas no intencionadas fuera de la superficie pavimentada.

La OACI establece que estas luces deben ser frangibles (se refiere a los dispositivos o estructuras que están diseñados para romperse o ceder fácilmente al impacto, minimizando daños a las aeronaves en caso de colisión) y cumplir con especificaciones de intensidad y espaciamiento para garantizar su visibilidad sin causar deslumbramiento. Su instalación es obligatoria en calles de rodaje utilizadas durante la noche o en condiciones de visibilidad reducida, y se recomienda especialmente en intersecciones complejas y en calles de salida rápida para aumentar la conciencia situacional del piloto.



Figura 28. Luces de rodaje

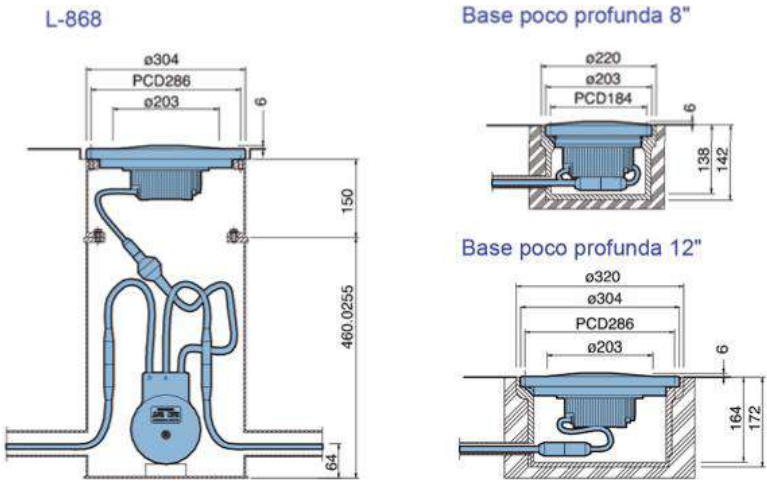


Figura 29. Montaje típico de luces de rodaje

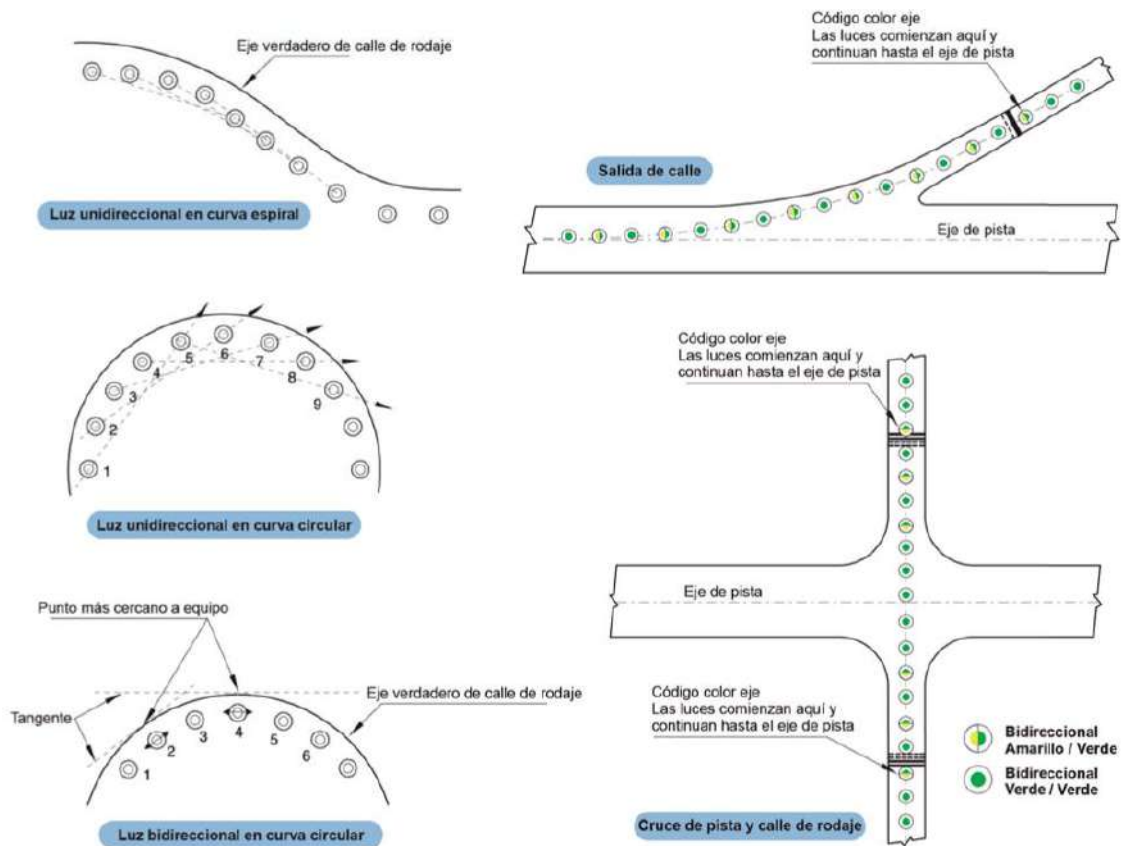


Figura 30. Diagrama de información de ayudas visuales.

Luces de borde de calle de rodaje

Las **luces de borde de calle de rodaje** son un tipo de ayuda visual importante en los aeródromos. Aquí se detalla su aplicación, emplazamiento y características:

Aplicación

- Se deben instalar luces de borde de calle de rodaje en los bordes de varias áreas que se utilizarán de noche, incluyendo plataformas de viraje en la pista, apartaderos de espera, instalaciones de deshielo/antihielo, y plataformas.
- También se deben instalar en las calles de rodaje que **no dispongan de luces de eje de calle de rodaje** y que estén destinadas a usarse de noche.
- No es necesario instalar estas luces cuando se pueda obtener una guía adecuada mediante iluminación de superficie u otros medios, considerando la naturaleza de las operaciones.

- Se deben instalar luces de borde de calle de rodaje en las pistas que formen parte de rutas normalizadas para el rodaje y que estén destinadas al rodaje durante la noche, cuando la pista no cuente con luces de eje de calle de rodaje.
- Las especificaciones para las luces de eje y borde de calle de rodaje del DINAC R 14 Volumen I, ítem 5.3.17 y 5.3.18, son igualmente aplicables a las calles de rodaje destinadas al rodaje en tierra de los helicópteros.



Figura 31. Luces de borde de calle de rodaje.

Emplazamiento

- En la parte rectilínea 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 pueden disponerse con un **espaciado longitudinal uniforme que no exceda de 60 m**.
- En las **curvas**, las luces pueden estar espaciadas a **intervalos inferiores a 60 m** para proporcionar una clara indicación de la curva.
- En los apartaderos de espera, las instalaciones de deshielo/antihielo, las plataformas, etc., las luces de borde de calle de rodaje deberían disponerse con un espaciado longitudinal uniforme que no exceda de 60 m.
- En una plataforma de viraje en la pista, las luces de borde de calle de rodaje pueden disponerse con un espaciado longitudinal uniforme que no exceda de 30 m.
- Las luces pueden estar instaladas lo más cerca posible de los bordes del área correspondiente (calle de rodaje, plataforma de viraje, apartadero de espera, instalación de deshielo/antihielo, plataforma o pista, etc.) o al exterior de dichos bordes a una **distancia no superior a 3 m**.

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

- Cuando sea necesario delimitar los bordes de la calle de rodaje, por ejemplo, en calles de salida rápida, en calles de rodaje estrechas o cuando haya nieve, esto puede lograrse mediante luces o balizas de borde de calle de rodaje.
- En muchos aeródromos, una alta concentración de luces de borde de calle de rodaje puede crear una masa confusa de luces azules, conocida como el "**mar azul**", lo que dificulta la identificación correcta de los límites de la calle de rodaje, especialmente en configuraciones complejas con curvas de pequeño radio.
- Este problema puede mitigarse con el uso de luces de eje de calle de rodaje, reduciendo la necesidad de luces de borde en la mayor parte del sistema de calles de rodaje.
- Sin embargo, las luces de borde se instalan normalmente en partes curvas de las calles de rodaje, en intersecciones de calles de rodaje y en intersecciones de pistas y calles de rodaje.
- Se pueden proporcionar **balizas de borde de calle de rodaje** en calles de rodaje cuyo número de clave sea 1 ó 2 y en aquellas que no tengan luces (de eje o de borde) o balizas de eje de calle de rodaje. Estas balizas son una alternativa a las luces para delinear los bordes, particularmente de noche en aeródromos pequeños.
- Las balizas de borde de calle de rodaje sin pavimentar pueden instalarse cuando la calle de rodaje no esté claramente indicada por el contraste de su superficie con el terreno adyacente.
- Las balizas de borde de calle de rodaje deberían instalarse al menos en los mismos emplazamientos donde se instalarían las luces de borde de calle de rodaje.
- Las balizas de borde de calle de rodaje deben ser de **color azul retroreflectante**. La superficie señalizada debería verse como un rectángulo con un área mínima visible de 150 cm².
- Las balizas deben ser **frangibles** y tener una altura lo suficientemente baja para ser franqueadas por hélices y góndolas de motores a reacción.
- En calles de rodaje pavimentadas para helicópteros, la señal de eje consiste en una línea amarilla continua. En calles de rodaje sin pavimentar para helicópteros, el eje se señalizará con balizas amarillas empotradas. Las balizas de borde de

calle de rodaje para helicópteros serán de **color azul**. Deben estar separadas no más de 15 m en tramos rectos y 7,5 m en curvas en calles de rodaje para helicópteros. No deben sobresalir de un plano específico relacionado con la altura y distancia del borde. Si se usan de noche, deben tener iluminación interna o ser retrorreflectantes.

Luces de espera (protección de pista)

El sistema de luces de espera, conforme a la documentación de la OACI, está diseñado para indicar a las aeronaves el punto exacto en el que deben detenerse antes de ingresar a una pista o calle de rodaje, garantizando la seguridad en las operaciones terrestres y evitando incursiones no autorizadas en la pista. Estas luces se instalan en los puntos de espera, que son áreas delimitadas donde la aeronave debe detenerse y esperar autorización para continuar.

Las luces de espera son generalmente de color amarillo y unidireccionales, orientadas hacia la aeronave que se aproxima, para que sean claramente visibles desde la posición de espera. Su configuración típica consiste en un grupo de tres luces amarillas dispuestas en línea, que alertan al piloto sobre la proximidad a la pista o a un área crítica. Estas luces complementan las señales visuales y las marcas pintadas en el pavimento, reforzando la indicación de detención obligatoria.

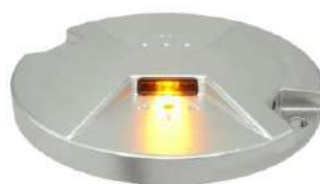


Figura 33. Luces de espera.

Las luces de protección de pista tienen como objetivo principal advertir a los pilotos y conductores de vehículos que están a punto de ingresar a una pista. Son una medida eficaz para prevenir incursiones en la pista y aumentar la perceptibilidad del punto de espera en la pista.

Existen dos configuraciones normalizadas de luces de protección de pista, ilustradas en la Figura 34: Configuración A (elevadas) y Configuración B (empotradas en el

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

pavimento). El haz luminoso de ambas configuraciones debe ser unidireccional en el sentido de aproximación hacia el punto de espera de la pista.

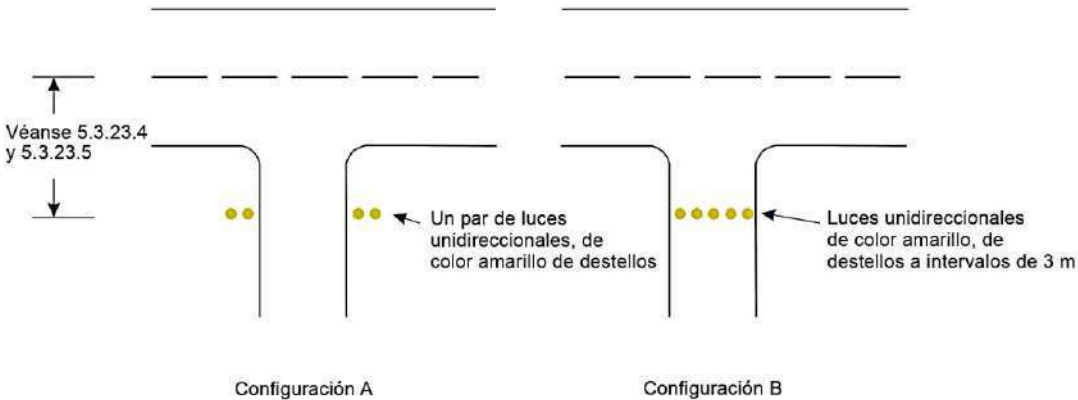


Figura 34. Luces de protección de pista.

ANEXO II

A.2. Sistema de luces para helipuerto

Luces de aproximación

El sistema de luces de aproximación para helipuertos, según la documentación de la OACI, está diseñado para proporcionar una guía visual clara y precisa a los pilotos durante la fase final de aproximación, facilitando la alineación y descenso seguro hacia la plataforma de aterrizaje. Este sistema se instala en línea recta a lo largo de la dirección preferida de aproximación y puede incluir luces que indican la trayectoria óptima de descenso, ayudando a evitar obstáculos y garantizando un aterrizaje seguro en condiciones diurnas o nocturnas.

La OACI también recomienda el uso de faros de helipuerto, que emiten patrones luminosos distintivos para facilitar la identificación del helipuerto desde larga distancia, especialmente en entornos con iluminación ambiental compleja. Estos sistemas deben cumplir con los estándares de intensidad, color y visibilidad establecidos en el Anexo 14, Volumen II, para asegurar su efectividad y seguridad durante las operaciones.



Figura 35. Luces de aproximación

Luces TLOF

El sistema de luces de TLOF (Touchdown and Lift-Off Area) en un helipuerto, según la documentación de la OACI, está diseñado para delimitar y señalar visualmente el área destinada al aterrizaje y despegue de helicópteros, garantizando seguridad y precisión durante estas maniobras críticas. La TLOF es la superficie pavimentada o preparada

donde el helicóptero toca tierra y despegar, y su iluminación es fundamental para operaciones nocturnas o en condiciones de baja visibilidad.

El sistema de iluminación de la TLOF consiste principalmente en luces de perímetro que rodean el área de aterrizaje, las cuales son de color blanco y unidireccionales, orientadas hacia el centro de la zona para evitar deslumbrar al piloto. Estas luces deben estar instaladas con un espaciamiento y una intensidad que aseguren una visibilidad clara y continua del contorno de la TLOF. Además, en helipuertos elevados o plataformas, el sistema puede incluir luces adicionales para mejorar la percepción del espacio y la profundidad.

La normativa OACI, contenida en el Anexo 14, Volumen II, establece que el sistema de luces de TLOF debe cumplir con parámetros específicos de intensidad luminosa, color, y resistencia a condiciones ambientales, asegurando su funcionamiento confiable. Este sistema es obligatorio en helipuertos que operan durante la noche o en condiciones meteorológicas que reduzcan la visibilidad, y forma parte integral del conjunto de ayudas visuales que incluyen las luces de aproximación, guía de alineación y perímetro del helipuerto.



Figura 36. Luces TLOF

Luces FATO

El sistema de luces de FATO (Final Approach and Take-Off area) en helipuertos, según la documentación de la OACI, está destinado a delimitar visualmente el área donde el helicóptero completa la maniobra final de aproximación y realiza el despegue. La FATO es un espacio definido que debe ser suficientemente amplio para contener un círculo con un diámetro mínimo acorde al helicóptero más grande previsto para operar en el

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.

NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

helipuerto, garantizando así la seguridad en las maniobras críticas de aterrizaje y despegue.

La iluminación de la FATO consiste principalmente en luces de perímetro de color blanco fijo, orientadas hacia el interior del área para evitar deslumbrar al piloto, que marcan claramente los límites de esta zona. Estas luces deben tener una intensidad y espaciamiento adecuados para asegurar su visibilidad en condiciones nocturnas o de baja visibilidad, conforme a los estándares establecidos en el Anexo 14, Volumen II de la OACI. Además, en helipuertos elevados o heliplataformas, la iluminación de la FATO puede complementarse con reflectores o luces adicionales para mejorar la percepción del área de toma de contacto y elevación inicial (TLOF).

El sistema de luces de FATO contribuye a la seguridad operacional al proporcionar una referencia visual clara que ayuda a los pilotos a mantener la trayectoria correcta durante la aproximación final y el despegue, minimizando riesgos de incursiones fuera del área segura. Asimismo, la señalización e iluminación de la FATO deben integrarse con otras ayudas visuales del helipuerto, como la señal de identificación, el indicador de dirección del viento y las luces de guía de alineación, para ofrecer un entorno visual coherente y seguro conforme a las recomendaciones internacionales de la OACI.



Figura 37. Luces FATO

ANEXO III

A.3.1. Regulador de Corriente Constante controlado por Microprocesador

El **MCR de ADB** es un regulador de corriente constante controlado por microprocesador, diseñado específicamente para alimentar circuitos en serie de balizamiento aeroportuario con distintos niveles de brillo. Su fabricación cumple rigurosamente con las siguientes normativas [9]:

- **OACI:** Manual de Diseño de Aeródromos, Parte 5, párrafos 3.2.1.4/5/6.
- **FAA:** Recomendación Circular AC 150/5345-10E y L-829.
- **Europa:** Normas EMC EN 50081-2 y EN 50082-2 para entornos industriales.
- **Francia:** Aprobación STNA.

Estos reguladores han sido desarrollados para circuitos de balizamiento en serie, asegurando el cumplimiento de todas las especificaciones técnicas mencionadas. Sin embargo, operar fuera de los límites de diseño establecidos puede afectar su rendimiento, dañar componentes o incluso generar condiciones peligrosas.

Los reguladores están destinados a uso en interiores, con un rango de temperatura ambiente que va desde **-20°C** (o **-40°C** en versiones especiales) hasta **+55°C**. Cuentan con un sistema de enfriamiento pasivo por aire, sin ventiladores. Es crucial evitar operarlos fuera de estos rangos térmicos, ya que podría ocasionar fallas. Además, se recomienda garantizar una ventilación adecuada, especialmente cuando se trabaje cerca del límite superior de temperatura para evitar sobrecalentamientos.

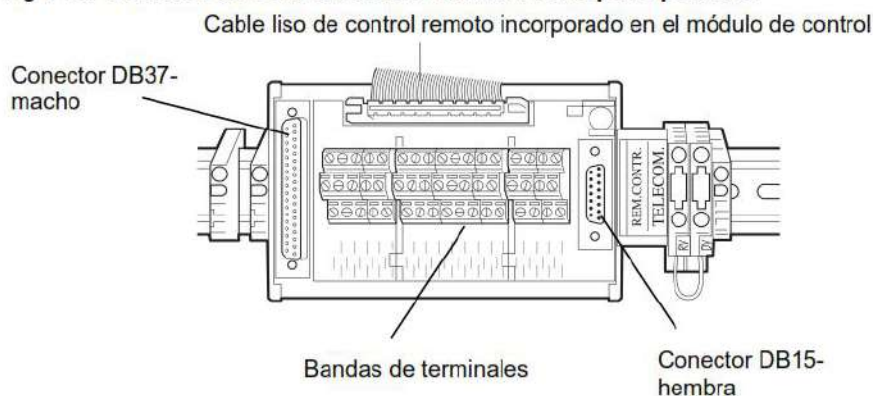
Tabla 3. Datos Técnicos

Rango de potencias	2.5/ 4/ 5/ 7.5/ 10/ 12.5/ 15/ 20/ 25/ 30 kVA.
Rango de voltaje de entrada	220/ 230/ 240/ 380/ 400/ 415 V ($\pm 15\%$) (*)
Frecuencias disponibles	50/ 60 Hz ($\pm 5\%$).
Corriente de circuito serie	Estándar: 6.6A; también 20 A para 25 y 30 kVA.
Control Remoto y Monitoreo	24 o 48 V CC multifilar

Módulo de interfaz [9]

Gráfica

Fig 1-16: Conexión de Control Remoto Multifilar en la parte posterior



Correas y Puentes en PCB1448

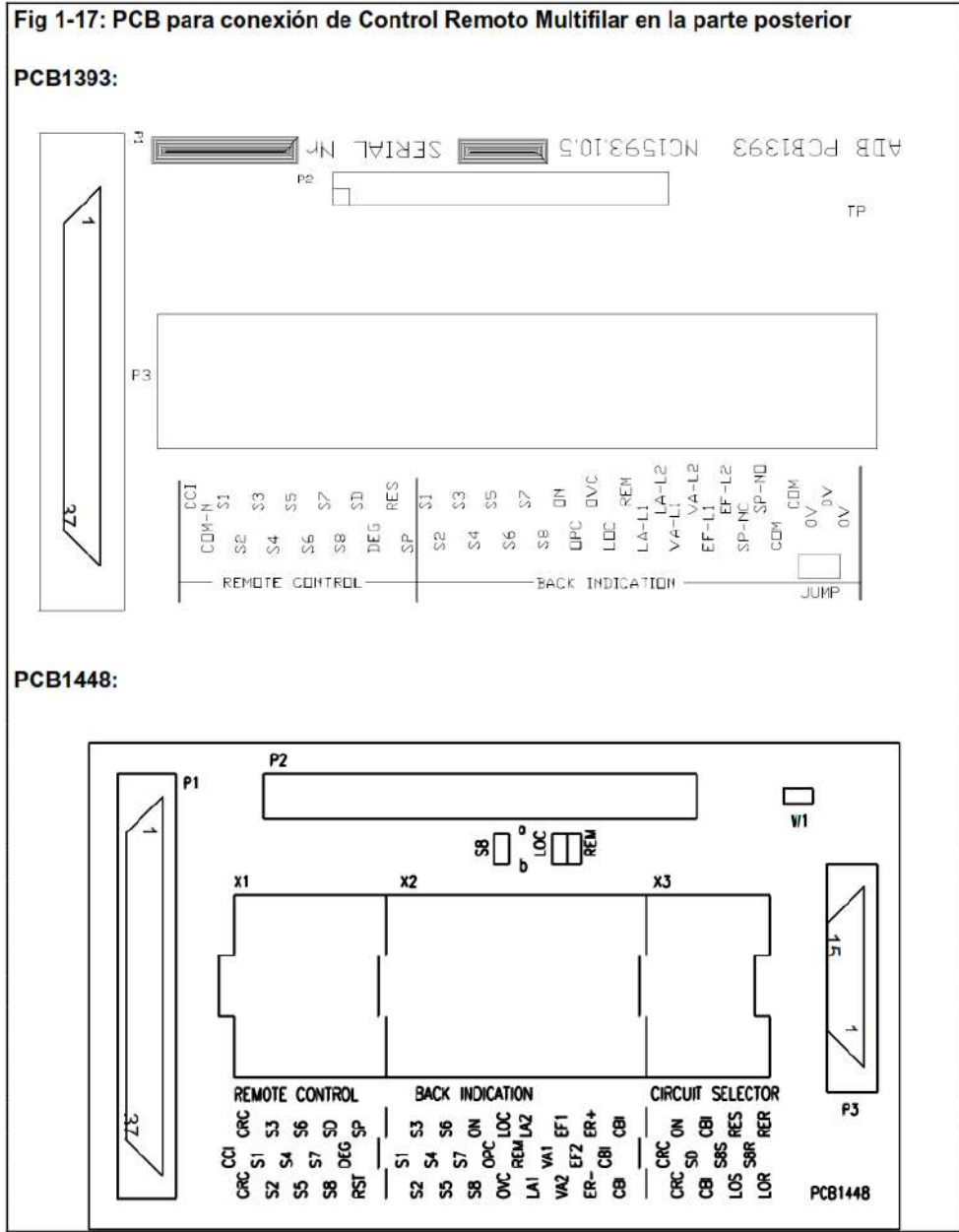
Posición de las correas en PCB 1448			
Correa	MCR sin contador horario	MCR con contador horario	MCR con selector de circuito CSM
S8	a	b	b (a)
LOC	a	a	b
REM	a	a	b

Correa S8: MCR con CSM

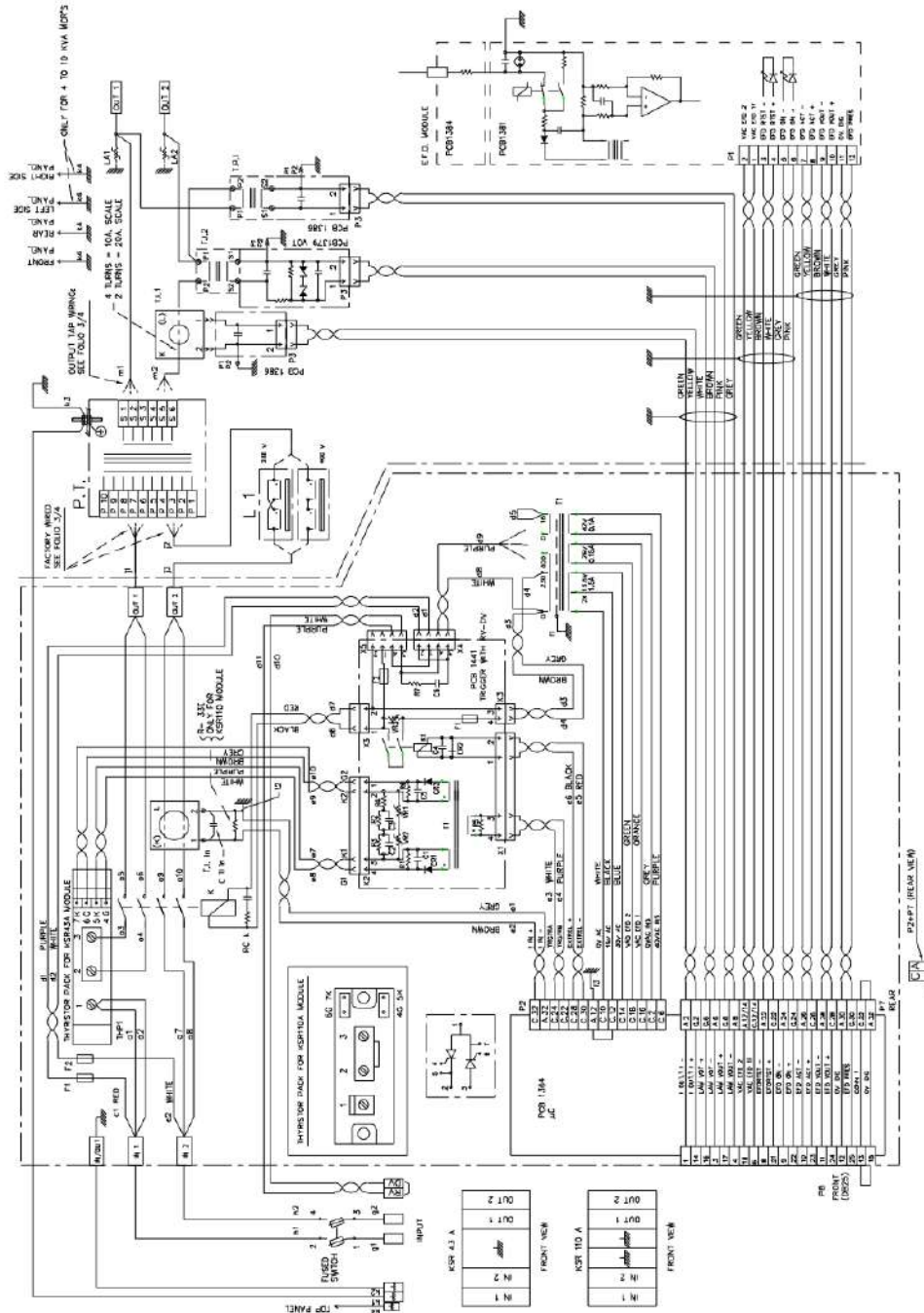
- Cuando el contador horario en el CSM es activado por una señal externa (EXT), la correa S8 debe estar en posición **a**!
- S8 es activado únicamente cuando el parámetro "Back indication for maximum step always S8" (*Retro-indicación para el paso máximo siempre S8*) (véase párr. 7.4.5) está fijado en "YES".

Cuando el puente W1 está conectado, la cápsula detonante de los conectores P1 y P3 está puesta a tierra.

Módulo de Interfaz



Conexión eléctrico [9]



A.3.2. Transformadores en serie para AGL [15]

Los transformadores en serie para iluminación de superficie de aeródromo (AGL) (*Airfield Ground Lighting*, es decir, "iluminación en tierra de aeródromos") son

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

componentes fundamentales dentro de los sistemas de iluminación de aeródromos, especialmente aquellos que utilizan **circuitos en serie**. Están tratados en la norma IEC 61823.

Sus **funciones principales** son dos:

Proporcionar continuidad al circuito de modo que la falla de una lámpara no produzca un circuito abierto. En un circuito en serie convencional, la falla de una lámpara interrumpe el paso de corriente por todo el bucle; el transformador AGL, al aislar eléctricamente la lámpara del circuito primario en serie, permite que el circuito primario continúe funcionando incluso si la lámpara (o el circuito secundario) falla.

Proporcionar un **grado de seguridad operacional** al generar **baja tensión** en el lado del secundario o de la lámpara. Esto contrasta con la alta tensión del circuito primario en serie. Sin embargo, esta seguridad puede verse comprometida por una falla de cortocircuito entre los arrollamientos primario y secundario.

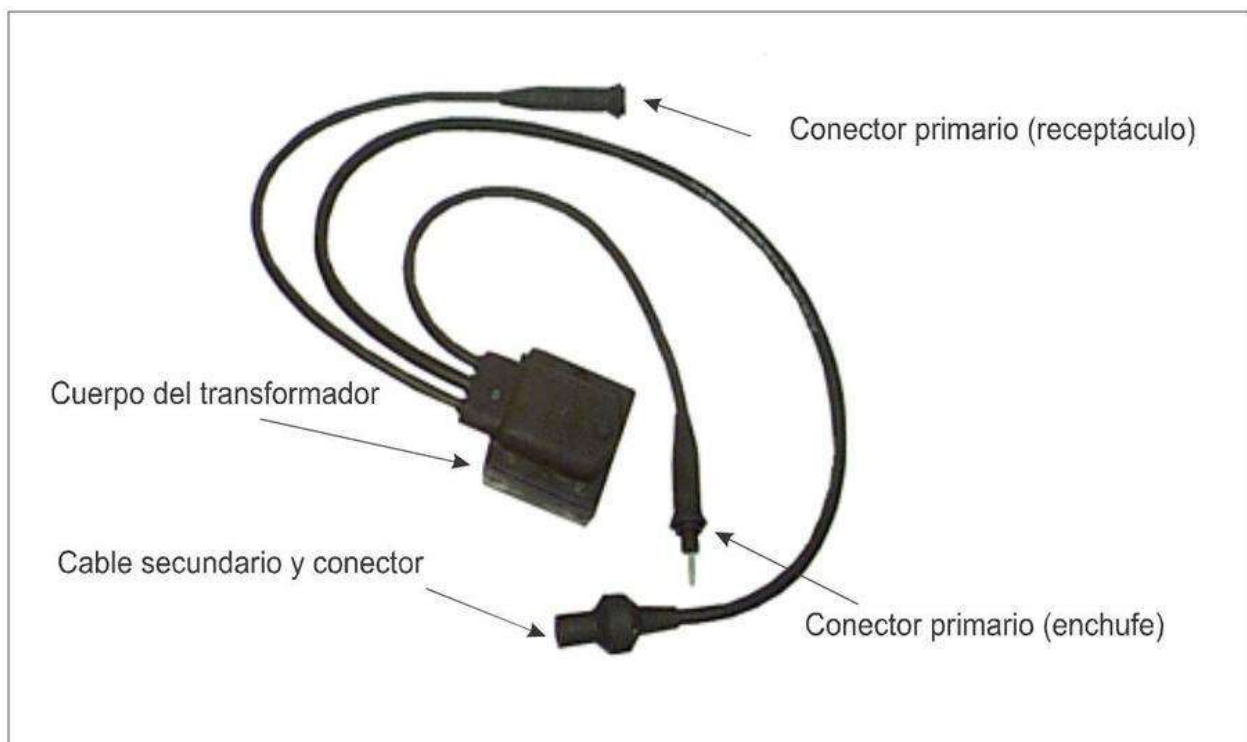


Figura 38. Transformador de AGL (Airfield Ground Lighting)

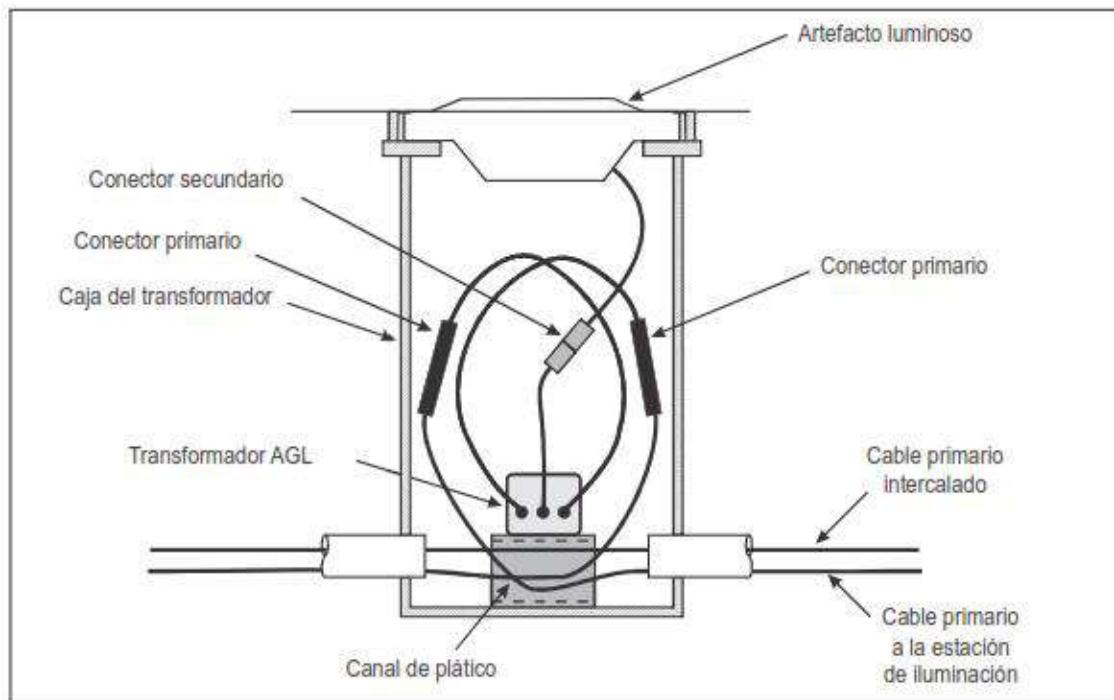


Figura 39. Método de instalación típico.

Diseño y características

Consisten en un **arrollamiento primario y otro secundario** bobinados sobre un núcleo magnético.

La **relación de vueltas** del arrollamiento primario al secundario es comúnmente **1:1**, lo que significa que la corriente de la lámpara es la misma que la corriente del cable primario proveniente del regulador de corriente constante (CCR). No obstante, pueden usarse otras relaciones.

Los arrollamientos **primario y secundario están aislados eléctricamente** pero asociados por el circuito magnético. El lado secundario opera a un potencial eléctrico menor.

El **núcleo del transformador** normalmente **no está saturado magnéticamente**. Si las lámparas fallan o el secundario se abre, el núcleo se satura, manteniendo la integridad del circuito primario. Si la lámpara se cortocircuita, el transformador queda en condición de ausencia de carga con mínimo efecto en el circuito en serie.

Deben ser capaces de funcionar **permanentemente bajo carga nominal, circuito abierto o cortocircuito sin sufrir daños**.

Para luces que se controlan individualmente (luces direccionables), el diseño debe permitir la **comunicación a través del transformador** del circuito.

Capacidades y especificaciones

Se expresan en **potencia de salida, corriente del primario/secundario, frecuencia y tensión de aislamiento** del primario/secundario.

Potencias comunes: 30/45, 65, 100, 200, 300, 500 vatios; a veces 1000 y 1500 vatios. Para aplicaciones **LED**, potencias de 10/15 y 20/25 vatios.

Corrientes comunes (relaciones primario/secundario): 6,6/6,6, 20/20, 6,6/20 y 20/6,6 amperios.

Frecuencia común: 50 y 60 Hz.

Aislamiento común: 5000 voltios en el primario y 600 voltios en el secundario. Transformadores de mayor potencia pueden requerir mayor aislamiento secundario debido a mayor tensión en circuito abierto.

Deben operar en temperaturas ambiente de **entre -55°C y $+65^{\circ}\text{C}$** .

Aplicación en circuitos en serie

Los circuitos en serie se utilizan principalmente en **grandes aeródromos con pistas largas y muchas calles de rodaje**.

Aunque los transformadores AGL **umentan los costos de instalación** de los circuitos en serie, son esenciales para mantener la continuidad del circuito y permiten el uso de lámparas de baja tensión.

Alimentación de múltiples lámparas:

Idealmente, **cada luz debería ser alimentada por su propio transformador** de aislamiento.

En ocasiones, para reducir costos o complejidad del cableado, **varias lámparas pueden conectarse en serie a un único transformador**. Esta configuración presenta el inconveniente de que si falla una lámpara, las otras del grupo no funcionarán a menos que se usen **dispositivos de derivación** adecuados.

Efectos del secundario en circuito abierto:

La mayoría de los transformadores AGL limitan la **tensión RMS del secundario en circuito abierto a 200 voltios o menos**, pero la tensión instantánea puede ser considerablemente mayor.

Las altas tensiones RMS en circuito abierto requieren mayor aislamiento secundario y presentan **mayores riesgos de descarga eléctrica**. Sin embargo, también pueden hacer **más fiable la activación de los seccionadores de película**.

La reactancia de los transformadores con secundarios abiertos puede **distorsionar la forma de onda** de las corrientes primarias, lo que podría afectar la regulación de algunos tipos de CCR.

Dispositivos de derivación de las lámparas

Para mantener el circuito en serie operativo cuando falla el filamento de una lámpara (ya sea conectada directamente o en un grupo en serie), se necesita un dispositivo de derivación entre los terminales de la lámpara averiada.

Tradicionalmente se han usado **seccionadores de película de fusible**. Si la lámpara falla, la tensión aumenta rápidamente para perforar la película y cortocircuitar los terminales, restableciendo la continuidad del circuito primario antes de que actúe la protección del CCR. Se necesita un nuevo seccionador al reemplazar la lámpara. Sin embargo, la tensión en circuito abierto de algunos transformadores (100-200V o menos) podría no ser suficiente para activar estos dispositivos de forma fiable.

Un desarrollo más reciente es el **relé cortocircuitador**, más costoso pero más seguro.

Instalación

Los transformadores AGL son uno de los cinco componentes fundamentales de los sistemas eléctricos enterrados.

Se pueden instalar en **cajas especiales (bases de luces)**, enterrados directamente, o en gabinetes adosados.

La instalación en **cajas** es preferible al enterramiento directo para facilitar el mantenimiento. Estas cajas pueden ser metálicas o no metálicas y a menudo se instalan sobre una base de hormigón.

La práctica común en cajas es colocar el transformador sobre un ladrillo o fijarlo a la pared (con estante o colgador) para **elevarlo y protegerlo del agua** que pueda acumularse.

Para las conexiones de cables a los transformadores, se recomienda el uso de **juegos de conectores** apropiados en lugar de empalmes, lo que ahorra tiempo y facilita la localización de averías. La mayoría de los transformadores vienen con conectores.

Seguridad

Aunque proporcionan baja tensión en el secundario, un cortocircuito en los arrollamientos del transformador es peligroso, especialmente al manipular luces empotradas mientras el circuito está activado, ya que el electricista puede convertirse en un trayecto de baja resistencia a tierra.

Se recomienda un **punto a tierra** que conecte la base de la luz al terminal de tierra dentro de la base para mitigar este peligro.

Es la **mejor práctica desactivar el circuito** antes de manipular lámparas o elementos luminosos. Siempre se deben usar **guantes aislantes**.

La puesta a tierra de un extremo del arrollamiento secundario puede reducir el peligro en el caso de luces elevadas rotas, pero depende de que la conexión a tierra sea efectiva.

Tecnología LED

Con la llegada de la tecnología LED, los transformadores AGL **siguen siendo parte de la infraestructura típica del circuito en serie** para iluminación LED.

En este caso, la luz LED incluye un **transformador de relación** (a veces integrado con el AGL transformer) y un **rectificador de puente** para convertir la corriente AC del secundario a DC.

Los reguladores de corriente constante (CCR) están especificados para operar correctamente incluso con hasta un 30% de secundarios abiertos, por lo que **no se necesita un dispositivo de derivación** en el lado del secundario para las luces LED empotradas o elevadas en este circuito tradicional.

En una **infraestructura alternativa** para LED, se utiliza un suministro de energía especializado con modulación de impulsos en anchura (PWM) en lugar de un CCR

convencional, pero **todavía se necesitan transformadores AGL** para proporcionar aislamiento entre el elemento luminoso y el circuito en serie. En esta alternativa, sí se requiere un dispositivo de derivación para los **elementos elevados** para evitar secundarios abiertos que afecten la forma de onda del circuito primario; no se necesita para las luces empotradas.

Los transformadores AGL pueden funcionar bien con la menor carga de un elemento LED, especialmente si se usa un transformador de menor potencia adecuado para la carga.

El diseño debe considerar la compatibilidad de la carga no lineal o reactiva de los dispositivos LED con el CCR y el transformador.

Localización de averías

Las fallas de cortocircuito en los arrollamientos del transformador AGL pueden no causar un mal funcionamiento evidente del circuito.

Dos cortos a tierra en un circuito en serie, a través de la rotura del cable o el transformador, pueden generar calor por arco eléctrico. Los termómetros infrarrojos pueden usarse para detectar puntos calientes en los artefactos luminosos y localizar estas fallas, ahorrando tiempo en la investigación.

ANEXO IV

A.4. Memoria de Cálculo de Presupuesto

Presupuesto de Luminarias

Tabla 4. Presupuesto de Luminarias

Ítem	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Luminarias Pista				
1,1	Luminarias PAPI	UN	4	21.170,0	84.680,0
1,2	Luminarias de Aproximación	UN	17	936,4	15.919,0
1,3	Luminarias de umbral de Pista	UN	12	1.651,6	19.819,1
1,4	Luminarias eje de Pista	UN	47	1.651,6	77.624,7
1,5	Luminarias borde de Pista	UN	56	1.651,6	92.489,0
2	Luminarias Calle de Rodaje				
2,1	Luminarias borde de calle de rodaje	UN	29	765,3	22.194,6
2,2	Luminarias centro de calle de rodaje	UN	21	1.651,6	34.683,4
2,3	Luminarias de protección de Pista	UN	6	1.651,6	9.909,5
3	Luminarias Helipuerto				
3,1	Luminarias aproximación	UN	11	936,4	10.300,5
3,2	Luminarias TLOF	UN	12	1.651,6	19.819,1
3,3	Luminarias FATO	UN	16	1.651,6	26.425,4
				TOTAL	413.864,4

PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO. NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025

Presupuesto de Instalación

Tabla 5. Presupuesto de Instalación

Ítem	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
1	LUM INARIAS PISTAS Y CALLES RODAJE				
1,1	INSTALACIÓN LUMINARIAS PAPI	UN	4	1.721	6.885
1,2	INSTALACIÓN LUMINARIAS DE APROXIMACIÓN	UN	17	1.242	21.108
1,3	INSTALACIÓN LUMINARIAS DE UMBRAL DE PISTA	UN	12	459	5.508
1,4	INSTALACIÓN LUMINARIAS EJE DE PISTA	UN	47	212	9.942
1,5	INSTALACIÓN LUMINARIAS BORDE DE PISTA	UN	56	267	14.952
2	LUM INARIAS CALLES RODAJE				
2,1	INSTALACIÓN LUMINARIAS BORDE CALLE DE RODAJE	UN	29	267	7.743
2,2	INSTALACIÓN LUMINARIAS CENTRO CALLE DE RODAJE	UN	21	212	4.442
2,3	INSTALACIÓN LUMINARIAS DE PROTECCIÓN DE PISTA	UN	6	212	1.269
3	LUM INARIAS HELIPUERTO				
3,1	INSTALACIÓN LUMINARIAS APROXIMACIÓN	UN	11	183	2.009
3,2	INSTALACIÓN LUMINARIAS TLOF	UN	12	618	7.415
3,3	INSTALACIÓN LUMINARIAS FATO	UN	16	618	9.887
				TOTAL (USD)	91.160

**PROPUESTA DE SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE ILUMINACIÓN DE PISTA DEL
AEROPUERTO “CAP. WALTER GWYNN” DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO.
NAIDA LETICIA AGUILERA LOPEZ & MARIO RUBÉN ROJAS FIGUEREDO - 2025**

Presupuesto de Sistema SCADA

Tabla 6. Presupuesto de Sistema SCADA

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio Unitario (USD)	Subtotal
1	1	PLC Siemens S7-1200	649	649
2	9	ET 200 SP, IM 155-6 PN ST	398	3.582
3	16	DQ 4x24..230VAC/2A ST	220	3.520
4	3	Fuente 24V	246	738
5	1	Software TIA Portal	3.500	3.500
6	1	PC	1.000	1.000
7	1	Rollo de Cable Profinet TPE	4.058	4.058
8	16	Controlador CCR	8.885	142.160
			TOTAL (USD)	159.207