



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN  
EL DISEÑO DE UN CONTROL REMOTO AUTOMATIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE  
FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE DEL SISTEMA DE  
AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

**Wellington Fernando de León Santizo**

Asesorado por el Maestro Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN  
EL DISEÑO DE UN CONTROL REMOTO AUTOMATIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE  
FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE DEL SISTEMA DE  
AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

POR

**WELLINGTON FERNANDO DE LEÓN SANTIZO**

ASESORADO POR MSC. ING. MARIO RENATO ESCOBEDO MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELÉCTRICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN  
EL DISEÑO DE UN CONTROL REMOTO AUTOMATIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE  
FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE DEL SISTEMA DE  
AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 30 de octubre de 2021.

**Wellington Fernando de León Santizo**



**EEPMI-PP-0181-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica**  
**Presente.**

**Estimado Ing. Rivera**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **APLICACIÓN DEL IOT EN EL DISEÑO DE UN CONTROL REMOTO AUTOMATIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE DEL SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Telecomunicaciones - Telecomunicaciones**, presentado por el estudiante **Wellington Fernando De León Santizo** carné número **200030324**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Telecomunicaciones.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtro. Mario Renato Escobedo Martínez  
Asesor(a)

ING. RENATO ESCOBEDO  
MEC-ELECTRICO  
COLEGIADO 3635

Mtro. Mario Renato Escobedo Martínez  
Coordinador(a) de Maestría



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería





EPP-EIME-0181-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **APLICACIÓN DEL IOT EN EL DISEÑO DE UN CONTROL REMOTO AUTOMATIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE DEL SISTEMAS DE AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA.**, presentado por el estudiante universitario **Wellington Fernando De León Santizo**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.327.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN EL DISEÑO DE UN CONTROL REMOTO AUTOMATIZADO PARA LA REDUCCIÓN DE FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE DEL SISTEMA DE AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA**, presentado por: **Wellington Fernando de León Santizo**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por regalarme el privilegio de existir.
<b>Mis padres</b>	Elfego Edmundo de León Camey y Guadalupe Santizo Rivera de De León. Su entrega fue siempre mi inspiración.
<b>Mi hija</b>	Dania Fernanda de León. Por generar en mí la energía que propició este triunfo.
<b>Mis hermanos</b>	Elfego Heyerdalth, Claudia Selene, Edwin Milton, Lizangela Anaid, Sucely Madeleyn de León Santizo. Por sus sacrificios.
<b>Mis abuelos</b>	Eustaquio Santizo (q.e.p.d), Manuela Rivera (q.e.p.d), Edmundo de León Robles (q.e.p.d), María Cecilia Camey de De León (q.e.p.d). Gracias por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por ser mi formadora profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme las herramientas necesarias para desarrollarme como persona; mi triunfo para su engrandecimiento.

**Mi esposa**

Lisbeth Calderón por enseñarme a ver la vida de otra forma, te amo.

**Mi jefe**

Marco Tulio Arias Fajardo por brindarme su conocimiento.

**Mi asesor**

Msc. Ing Mario Renato Escobedo Martínez por apoyarme en el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
2.1. Evolución de los aeródromos nacionales .....	5
2.2. Convenios internacionales en materia de aviación civil para Guatemala.....	6
2.3. Normativa nacional en temas de aviación nacional.....	7
2.3.1. Creación del ente rector .....	7
2.3.2. Decreto No. 93-200 .....	8
2.3.3. Reglamento de la ley de aviación civil .....	8
2.3.4. Regulación de Aviación Civil - RAC 14 volumen I ....	8
2.4. Infraestructura eléctrica del aeropuerto internacional la aurora .....	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1. Descripción general.....	11
3.1.1. Definición del problema .....	15
3.1.2. Especificaciones del problema .....	15
3.1.3. Delimitación del problema .....	16

3.1.4.	Pregunta principal de investigación.....	16
3.1.5.	Preguntas complementarias de investigación .....	17
4.	JUSTIFICACIÓN.....	19
5.	OBJETIVOS.....	23
5.1.	General .....	23
5.2.	Específicos.....	23
6.	NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	25
6.1.	Esquema de solución .....	25
6.2.	Ubicación del área de estudio .....	27
6.3.	Localización del lugar de estudio .....	27
7.	MARCO TEÓRICO .....	29
7.1.	El Internet de las cosas .....	29
7.2.	Aeropuerto Internacional la aurora .....	30
7.2.1.	Ubicación.....	30
7.2.2.	Características físicas de la pista .....	31
7.2.3.	Sala de reguladores .....	33
7.2.4.	Torre de control de tránsito aéreo .....	33
7.3.	Reguladores de corriente constante.....	33
7.4.	Fallas en los reguladores de corriente constante.....	35
7.4.1.	Fallas de circuito abierto.....	35
7.4.2.	Fallas de corto circuito.....	35
7.5.	Ayudas visuales eléctricas .....	36
7.5.1.	Luces de borde de pista .....	36
7.5.2.	Luces Indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación .....	37

7.5.3.	Luces de aproximación .....	39
7.5.4.	Luces de extremo de pista.....	40
7.5.5.	Luces de umbral de pista.....	40
7.5.6.	Faro de aeródromo .....	41
7.5.7.	Luces de borde de calle de rodaje .....	42
7.6.	Equipos eléctricos aeronáuticos .....	44
7.6.1.	Cables y conectores .....	44
7.6.2.	Transformadores de aislamiento .....	45
7.6.3.	Cortacircuitos de media tensión.....	46
7.6.4.	Reguladores de corriente constante .....	47
7.6.5.	Control remoto del sistema de ayudas visuales eléctricas.....	48
7.7.	Circuitos eléctricos para aeródromos .....	49
7.7.1.	Circuito eléctrico de luces de borde de pista .....	49
7.7.2.	Circuito eléctrico de luces de borde de calle de rodaje.....	49
7.7.3.	Circuito eléctrico de luces indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación.....	49
7.7.4.	Circuito eléctrico del faro de aeródromo .....	50
7.8.	Hardware y software industrial .....	50
7.8.1.	Software y Hardware .....	50
7.8.2.	Protocolo de comunicación.....	50
7.8.3.	Protocolo Modbus.....	51
7.8.4.	Interfaz hombre-maquina.....	51
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	53
9.	MARCO METODOLÓGICO .....	57
9.1.	Diseño metodológico .....	57

9.2.	Paradigma de la investigación .....	57
9.3.	Diseño de la investigación.....	58
9.4.	Tipo de investigación.....	58
9.5.	Enfoque de la investigación .....	58
9.6.	Resultados esperados.....	59
9.7.	Población y muestra.....	59
9.8.	Tipo de muestreo probabilístico .....	60
9.9.	Técnicas de recolección de datos .....	61
9.10.	Instrumentos de recolección de datos.....	61
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	63
11.	CRONOGRAMA .....	65
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	67
13.	REFERENCIAS .....	69

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Diagrama del circuito de un sistema de ayudas visuales eléctricas. ....	13
2.	Control remoto.....	14
3.	Pendiente longitudinal de la pista del aila .....	20
4.	Esquema de solución .....	26
5.	Ubicación del área de estudio .....	27
6.	Localización del lugar de estudio .....	28
7.	Datos geográficos y administrativos del aeródromo.....	31
8.	Características físicas de la pista de aterrizaje .....	32
9.	Regulador de reluctancia variable .....	34
10.	Regulador de estado sólido.....	34
11.	Regulador de estado sólido.....	35
12.	Luz de borde de pista.....	36
13.	Esquema de posición .....	37
14.	Luces p.a.p.i.....	38
15.	Instalación típica de luces indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación .....	38
16.	Luces de aproximación .....	39
17.	Luz de extremo de pista .....	40
18.	Luz de umbral de pista .....	41
19.	Faro de aeródromo.....	42
20.	Luz de borde de calle de rodaje .....	43
21.	Ubicación de luces .....	43
22.	Conectores .....	44
23.	Cable .....	45

24.	Transformador de aislamiento .....	46
25.	Corta circuitos .....	47
26.	Regulador de corriente constante .....	48

## TABLAS

I.	Cronograma de actividades .....	65
li.	Costos del estudio .....	67

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>K</b>	Kilo
<b>V</b>	Voltio
<b>VA</b>	Voltio amperio



## GLOSARIO

<b>Aeródromo</b>	Área definida de tierra o agua que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.
<b>Aeropuerto</b>	El aeropuerto es el aeródromo de uso público, que cuenta con edificaciones, instalaciones, equipos y servicios destinados de forma habitual a la llegada, salida y movimiento de aeronaves, pasajeros y carga en su rampa, donde se prestan normalmente servicios de aduana, sanidad, migración y otros complementarios.
<b>AILA</b>	Aeropuerto Internacional La Aurora
<b>Ayuda visual eléctrica</b>	Dispositivo que emite información de forma luminosa y que es alimentada por un conjunto de dispositivos eléctricos.
<b>Calle de rodaje</b>	Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo.

<b>Corta circuito</b>	Elemento disyuntor de circuitos de media tensión
<b>DGAC</b>	Dirección General de Aeronáutica Civil
<b>Faro de aeródromo</b>	Faro aeronáutico utilizado para indicar la posición de un aeródromo desde el aire.
<b>IoT</b>	Internet of things, el internet de las cosas.
<b>MICIVI</b>	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
<b>OACI</b>	Organización de Aviación Civil Internacional
<b>Pista</b>	Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.
<b>Plataforma</b>	Área definida en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.
<b>RAC</b>	Regulación de Aviación Civil
<b>RCC</b>	Regulador de corriente constante

<b>Umbral</b>	Comienzo de la parte de pista utilizable para el aterrizaje.
<b>Umbral desplazado</b>	Umbral que no está situado en el extremo de la pista



## RESUMEN

Las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad deben aprovecharse en muchas situaciones de la vida cotidiana, es tarea de los ingenieros identificar la viabilidad de estas tecnologías y aplicar los conocimientos necesarios hacer que los procesos que requieren intervención humana se realicen de forma automatizada.

Con este trabajo se propondrá la automatización del control del sistema de ayudas visuales para la detección de fallas. Esto facilitará en gran medida el trabajo de los controladores de tránsito aéreo, haciendo uso de las redes de comunicaciones, los enlaces de fibra óptica, la programación, los controles lógicos programables y las interfaces hombre máquina.

Para abordar la complejidad de esta problemática, se dividirá en tres fases; en la fase uno se hará una investigación documental y una revisión del historial de las fallas del sistema de ayudas visuales eléctricas, la investigación de la ocurrencia de fallas en los aeropuertos del territorio nacional de Guatemala y el análisis de los manuales técnicos de los equipos. En la fase dos una observación del funcionamiento de los reguladores de corriente constante y el control remoto de la torre de control y finalmente en la fase tres se diseñará un control remoto automatizado para operar el sistema de ayudas visuales eléctricas del Aeropuerto Internacional La Aurora -AILA-.



# 1. INTRODUCCIÓN

La aviación en Guatemala comienza aproximadamente a principios del siglo XIX, e inicia con fines militares, para luego evolucionar hacia el transporte de pasajeros y carga.

Los estándares actuales de seguridad en las operaciones con aeronaves, demandan la aplicación de regulaciones estrictas para el desarrollo de las mismas, El desempeño seguro de la aviación, involucra diversas áreas, para garantizar que las aeronaves utilicen de forma segura el aeródromo.

La seguridad operacional en el desarrollo de las actividades con aeronaves, no solo se enfoca a los aterrizajes y despegues, sino también a las áreas de maniobras, es decir los espacios designados para que las aeronaves se desplacen desde la puerta de abordaje de pasajeros o carga, hasta los lugares designados para los despegues y viceversa.

Las aeronaves han sido diseñadas para obtener la máxima eficiencia de desplazamiento en el aire, pero en tierra resulta difícil efectuar cualquier movimiento con una máquina de tal envergadura.

Un accidente de aviación se puede definir como un suceso en el que está asociada la operación de una aeronave que afecta o podría afectar a la seguridad de las operaciones.

La Dirección General de Aeronáutica Civil, es la Autoridad de Aviación Civil en Guatemala y se encarga de proporcionar las garantías adecuadas de seguridad para las aeronaves en general. En concordancia con lo anterior en la década de los 2000, se implementaron las ayudas visuales eléctricas de la pista de aterrizaje, estos dispositivos luminosos sirven para proporcionarle al piloto información visual acerca de las características físicas de la pista, la trayectoria de aproximación del aterrizaje, la pendiente de aproximación correcta, el ancho de la pista, el ancho y ubicación de las calles de rodaje, las ubicaciones de las intersecciones de pista, entre otras.

En el Aeropuerto Internacional la Aurora (AILA), actualmente están instaladas las siguientes ayudas visuales eléctricas; rótulos de intersección de pista, luces de borde de calle de rodaje, luces de borde de pista, luces de aproximación, luces indicadoras de la pendiente de aproximación de precisión, luces indicadoras de umbral de pista, faro de aeródromo. A excepción del faro de aeródromo, la alimentación de las luces depende de los reguladores de corriente constante y una falla en estos dispositivos provoca que se apaguen de forma inmediata.

El punto focal de este trabajo es la identificación de las fallas que se producen en los reguladores de corriente constante del AILA así como también, crear la infraestructura de software y hardware que permita la emisión de alarmas que puedan ocasionar fallas. Estas fallas pueden poner en peligro la seguridad de las personas, la infraestructura aeroportuaria y las aeronaves; pues los procedimientos de aterrizaje son procesos críticos en los que intervienen en gran medida los sistemas de ayudas visuales eléctricas. En varias ocasiones los reguladores de corriente constante, han presentado fallas que provocan que las ayudas visuales eléctricas se apaguen por completo; sin que se haya encontrado la causa que las genera, por tanto, es indispensable identificarlas o anticiparlas

para elevar en nivel de seguridad operacional, aumentar la fiabilidad de los sistemas de ayudas visuales eléctricas y evitar que un accidente, inutilice el aeropuerto más importante de Guatemala.

Dada la importancia que estos equipos tienen en la seguridad de las operaciones, se propone diseñar un control automatizado de los reguladores de corriente constante, de tal forma que permita en tiempo real detectar fallas, emitir alarmas y observar el funcionamiento de los mismos.



## **2. ANTECEDENTES**

Morales (1989) describe los elementos que para ese entonces componen los sistemas de ayudas visuales luminosas, su mayor aporte consiste en proporcionar una breve técnica de ingeniería en el campo de la aviación, para el diseño de sistemas eléctricos aeroportuarios. Como resultado de su trabajo se evidencia el cálculo de cables, protecciones eléctricas y protecciones a tierra. Los métodos y técnicas utilizados fueron entrevistas a profesionales del ramo y recopilación de información técnica.

No obstante, en Guatemala no existen estudios que ayuden a identificar las fallas que se producen en los reguladores de corriente constante, ni la adaptación de un control remoto automatizado.

A continuación, se hace un breve repaso de la evolución de la infraestructura y las leyes en el campo de la aviación.

### **2.1. Evolución de los aeródromos nacionales**

El primer aeródromo guatemalteco operó en la ubicación del actual Campo de Marte zona 10 de esta ciudad, con la pista totalmente cubierta de grama, a principios del siglo XX. En 1,911, dado el auge de esta actividad en el país, se evidencia la urgencia de ampliar el largo del área de aterrizaje y crear un órgano rector, cuya atribución sea la observación de la actividad con aeronaves en general. En 1,923, se trasladan las operaciones del aeródromo del Campo de Marte, a las instalaciones del actual Aeropuerto Internacional la Aurora. En la

década de los años treinta, se asentó en este lugar una base aérea, motivada por los menesteres de la Segunda Guerra Mundial.

En 1942, se construyó la primera pista pavimentada, para permitir la operación segura de las aeronaves, con una longitud de dos mil metros, que años después se extendió quinientos metros a cada extremo, esta fue en su mayoría destinada a operaciones militares. Después de la Segunda Guerra Mundial, el estado asume la responsabilidad de controlar todas las actividades aeronáuticas, concretándose esta acción el 28 de agosto de 1954.

Con estas disposiciones, el tráfico de aviones de propulsión a chorro se incrementó, y fue necesario construir una nueva terminal de pasajeros, este suceso inicia en 1,966 y se concluye en 1968; en el gobierno del licenciado Julio César Méndez Montenegro. El crecimiento de la actividad aeronáutica en el país, hizo necesario proporcionar las condiciones de seguridad operacional tanto para pasajeros, como para transporte comercial.

El escenario demandaba entonces las condiciones de seguridad, para recibir vuelos internacionales sin fines militares, normados por entidades internacionales.

## **2.2. Convenios internacionales en materia de aviación civil para Guatemala**

Para los años cuarenta, la aviación mundial crece a pasos agigantados, la organización de Naciones Unidas, considera necesaria la formación de un ente internacional que se especialice en vigilar el desempeño de esta incipiente actividad.

El 7 de diciembre de 1944, en la ciudad de Chicago, E.E.U.U, se crea la Organización de Aviación Civil Internacional –OACI-.

Las atribuciones de esta nueva organización son principalmente, contribuir al mejoramiento de la seguridad en la aviación mundial, fomentar el desempeño de sistemas sostenibles económicamente y reducir el impacto ambiental derivado de las acciones con aeronaves en el ámbito civil. Guatemala se convierte entonces en signatario del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, junto con 52 países miembros.

Este convenio, obliga a los Estados miembros a cumplir con una serie de requerimientos, referentes a la seguridad operacional de todas las maniobras que se ejecutan en las pistas de aterrizaje, aplicables de forma más estricta cuando se trata del transporte de pasajeros en vuelos internacionales.

En 1990, surge el anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, este documento contiene dos volúmenes, el volumen I se refiere al diseño de aeródromos y el volumen II a Helipuertos.

### **2.3. Normativa nacional en temas de aviación nacional**

A continuación, se describen las principales normativas en materia de aviación civil, aplicables al territorio de Guatemala.

#### **2.3.1. Creación del ente rector**

En fecha 11 de septiembre del año 1929; a través del Decreto 1032, se establece la DGAC, entidad anexa a la FAG en relación de mando inferior al

Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, bajo el mandato del presidente Lázaro Chacón.

### **2.3.2. Decreto No. 93-200**

Con fecha 7 de noviembre de 1997; el Congreso de Guatemala emitió el Decreto Numero 100-97 que contiene la Ley de Aviación Civil, cuyo objetivo es normar el funcionamiento de las acciones encaminadas a aeronáutica en el país. Esta ley empodera al estado de Guatemala a través de la DGAC, para que la misma tenga las facultades de vigilar, regir, todo lo relativo a estas acciones.

### **2.3.3. Reglamento de la ley de aviación civil**

Bajo el Acuerdo Gubernativo No. 384-2001, el presidente promulgó el reglamento de esta ley, para que sea congruente con las recomendaciones del ente internacional, en el desarrollo de cada una de las actividades en Guatemala.

### **2.3.4. Regulación de Aviación Civil - RAC 14 volumen I**

Por su parte la DGAC, crea el veintitrés de noviembre de dos mil tres, la primera edición de la Regulación de Aviación Civil - RAC 14 volumen I, Diseño de Aeródromos, en congruencia con los acuerdos consignados en el Convenio internacional antes mencionado. La segunda edición, se promulga con fecha diez de mayo de dos mil quince y el once de septiembre de dos mil diecisiete se aprueba la edición tres de la Regulación de Aviación Civil -RAC – número catorce Volumen I.

Esta regulación enmarca todas las disposiciones en materia de aviación civil, para el desarrollo de la infraestructura aeroportuaria y las operaciones en el país.

#### **2.4. Infraestructura eléctrica del aeropuerto internacional la aurora**

En 1983, se instala en el aeropuerto internacional la aurora, el primer sistema de ayudas visuales eléctricas, esto permitió la ampliación de las operaciones aéreas, puesto que ahora era posible utilizar las instalaciones aeroportuarias durante la noche o cuando las condiciones del clima lo ameritaban.

Tal avance propicio también, que las líneas aéreas calendarizaran sus vuelos mayormente en horario nocturno, que al día de hoy resultaría económicamente imposible reprogramarlos durante el día.

De esta forma, el sistema de ayudas visuales eléctricas constituye uno de los elementos más importantes dentro del desarrollo de la actividad económica de Guatemala.

La investigación realizada hasta el momento por la sección de ayudas visuales eléctricas de la DGAC, no refleja la existencia de controles automatizados para la reducción de fallas en los reguladores de corriente constante. El segundo aeropuerto internacional del país es el de Mundo Maya en el departamento de Petén y tampoco tiene un control automatizado.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En este capítulo se describen los aspectos propios de las consecuencias que producen las fallas en los reguladores de corriente constante.

#### **3.1. Descripción general**

En las maniobras de aterrizaje sobre la pista, el piloto debe identificar claramente el largo y ancho de la pista, la pendiente correcta de aproximación y el lugar por donde iniciara el descenso para el aterrizaje de la aeronave. Una vez en tierra, el piloto recibe instrucciones del controlador de tránsito aéreo, para que inicie su rodaje o desplazamiento hasta la plataforma de desembarque de pasajeros o de carga según sea el caso.

Lo mismo sucede cuando la aeronave realiza un despegue; adicionalmente a esto, las características particulares del Aeropuerto Internacional la Aurora, generan un grado de riesgo elevado para las operaciones de las aeronaves; el clima tropical de la región provoca condiciones de poca visibilidad, principalmente por niebla y lluvia y las indicaciones luminosas que suministran estas luces les proporcionan a los pilotos las guías visuales necesarias para operar de forma segura.

Resulta evidente, que la orientación de los pilotos para efectuar sus maniobras de aterrizaje y rodaje es de vital importancia, proveerle información visual acerca de las condiciones del área de maniobras también eleva el nivel de seguridad operacional del aeropuerto. Las actividades con aeronaves, deben

ejecutarse en el menor tiempo posible, un desalojo eficaz de la pista, permite realizar un número mayor de operaciones diarias. Estos son los aspectos relevantes para considerar el sistema de ayudas visuales eléctricas en conjunto con los controladores de tránsito aéreo, como parte medular del desarrollo de las actividades del Aeropuerto, pues juegan un papel importante también en la eficiencia y costo de las operaciones con aeronaves.

Las luces del sistema de ayudas visuales eléctricas, utilizan reguladores de corriente constante que modifican la potencia entregada a la carga. Elevan el voltaje hasta un máximo de 5 KV y generan una corriente constante que es seleccionable y oscila entre 2.8 y 6.6 amperios.

La selección del valor de corriente y por tanto el flujo luminoso emitido por las lámparas, se ajusta dependiendo de la visibilidad que el piloto obtenga de las luces. En presencia de lluvia, niebla o en horario nocturno, se suele utilizar una corriente de 6.6 amperios y en condiciones de buena visibilidad 2.8 amperios.

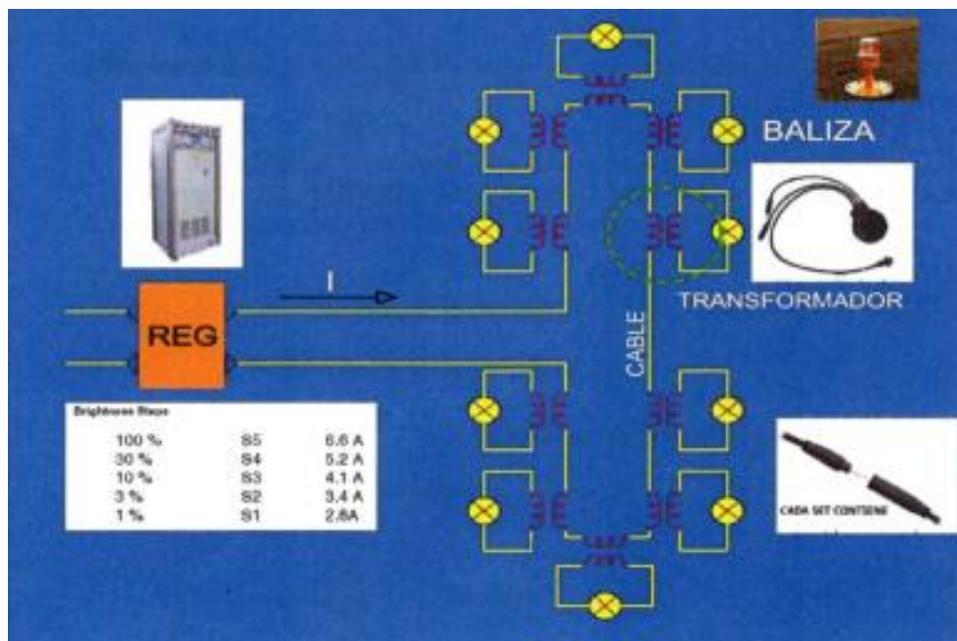
Las luminarias son de tipo halógeno de 45 watt para las calles de rodaje y 200 watt para la pista de aterrizaje, dispuestas cada 60 metros en los bordes longitudinales de ambas.

Los rótulos de intersección de pista, utilizan lámparas halógenas de 45 watt, las luces de aproximación también utilizan lámparas halógenas de 200 watt, y en similar situación las luces indicadoras de la pendiente de aproximación de precisión, se utiliza un transformador de aislamiento en cada luz y la conexión eléctrica se hace con cable de cobre con aislamiento para 5 Kilo voltios en calibre 8.

Lo particular de los reguladores de corriente constante, es que generan media tensión para el envío de la energía a lo largo de toda la instalación, alrededor de 7 kilómetros de longitud por cada circuito.

El sistema de ayudas visuales eléctricas, debe mantener una iluminación constante en todas las lámparas del circuito; la única forma de mantener una iluminación constante es colocarlas todas en configuración de circuito serie, eso garantiza que la corriente que circula por los conductores de ida y retorno sea la misma y por ende el voltaje que recibe cada una de ellas también; estos ajustes los realiza el regulador de corriente constante, mediante la manipulación del Angulo de disparo de rectificadores controlados de silicio.

Figura 1. **Diagrama del circuito de un sistema de ayudas visuales eléctricas**



Fuente: elaboración propia.

El nivel de iluminación es seleccionado por el controlador de tránsito aéreo, manipulando los selectores manuales que forman el control remoto. Los reguladores de corriente constante se encuentran a una distancia aproximada de un kilómetro de la torre de control, y las señales de control se envían por cables multi par hasta la sala de reguladores.

Figura 2. **Control remoto**



Fuente: [Fotografía de Wellington Fernando de León Santizo]. (Control de luces de pista de aterrizaje Aeropuerto Internacional la Aurora, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Actualmente no existe ningún monitor de funcionamiento de las luces y los reguladores de corriente constante, que muestre retro alimentación al controlador de tránsito aéreo del encendido, apagado o estado de estos elementos. La aplicación de este equipamiento se limita a aeropuertos que tengan varias pistas de aterrizaje, en donde la magnitud de la instalación eléctrica es muy compleja. El aeropuerto de la Ciudad de Incheon, Corea del Sur, es un ejemplo de la aplicación de esta tecnología. Depende también de la cantidad de operaciones diarias que se realicen en el aeropuerto, para el caso de Guatemala, la inversión de recursos públicos no se justifica con la cantidad de aeronaves que aterrizan y despegan, así que la inversión en un sistema completo no es factible.

El costo aproximado de un sistema completo que incluya el monitor remoto es de Q 24,000,000.00 millones de quetzales.

### **3.1.1. Definición del problema**

En este apartado se definen los componentes del problema como tal.

### **3.1.2. Especificaciones del problema**

Actualmente, se han observado fallas recurrentes, cuya naturaleza puede ser eléctrica, de control o de operación, que bloquean por completo la operación de los reguladores de corriente constante, estos equipos suministran la corriente eléctrica que alimenta todas las luces que conforman el sistema de ayudas visuales eléctricas de la pista de aterrizaje.

Este trabajo pretende resolver las fallas que se producen en el la red de comunicación de datos, la operación del control remoto en la torre de control y las que se produzcan por falta de alimentación eléctrica, dejando fuera las que corresponden al factor humano.

Imagínese un aterrizaje en horario nocturno, el piloto de la aeronave se aproxima a la pista y la ve claramente delimitada por las luces de borde de pista. Se enfila hacia ella y está a unos pocos metros de tocar tierra, cuando repentinamente se apagan todas las luces y con ello pierde su ubicación espacial en relación a la pista. Probablemente se encuentre viajando a una velocidad promedio de 250 kilómetros por hora, el tiempo para tomar decisiones es muy corto. Tal vez decida frustrar su aterrizaje y volver a elevar la aeronave, o puede que no tenga la destreza de hacerlo y colisione con la pista.

Esta situación hipotética enmarca justamente la confiabilidad que debe tener el funcionamiento correcto de las luces. Los accidentes en la aviación pueden generar pérdidas económicas, de infraestructura y de vidas humanas, así como inhabilitar por completo el aeropuerto.

Los reguladores de corriente constante son de vital importancia para el desarrollo de los aterrizajes, maniobras y despegues; así que se hace necesario realizar esta investigación con el fin de detectar las causas que provocan las fallas de estos equipos y diseñar un control remoto automatizado, que contenga los elementos tecnológicos disponibles para asegurar su correcto funcionamiento.

### **3.1.3. Delimitación del problema**

El estudio se pretende realizar en el AILA, entidad de la Dirección General de Aeronáutica Civil, dependencia del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, ubicado en la zona trece de esta ciudad capital.

### **3.1.4. Pregunta principal de investigación**

¿Cuál es el diseño adecuado del control remoto para que los reguladores de corriente constante funcionen de manera correcta?

### **3.1.5. Preguntas complementarias de investigación**

- ¿Cuáles son los requerimientos de software y hardware para diseñar un prototipo del control remoto del sistema de ayudas visuales eléctricas, utilizando el algoritmo de programación adecuado?
- ¿Cuáles son los componentes del algoritmo de programación que garanticen la operación adecuada de los elementos que conforman el sistema de ayudas visuales eléctricas?
- ¿Cuáles son las características que deben reunirse para la interpretación eficaz de las señales de control y operación de los reguladores de corriente constante?
- ¿Cómo funciona actualmente el control del sistema de ayudas visuales eléctricas de la pista de aterrizaje?



## 4. JUSTIFICACIÓN

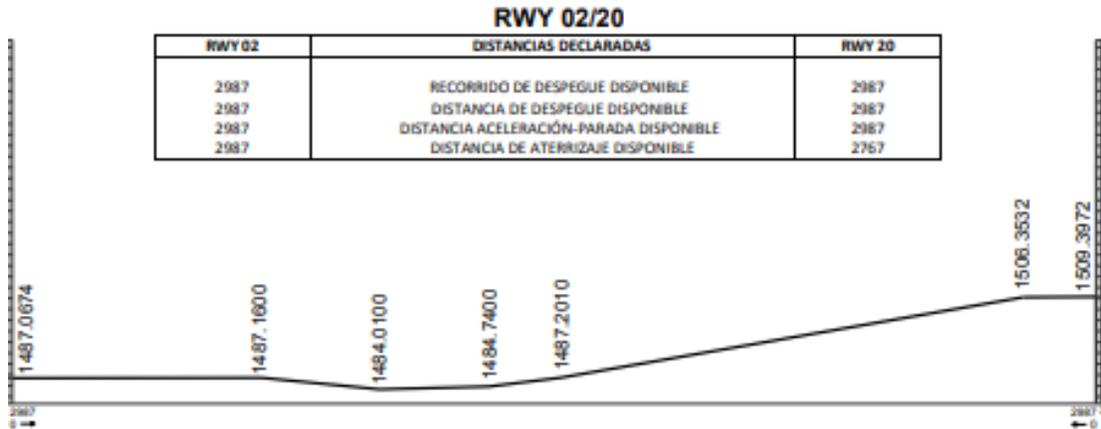
El sistema de ayudas visuales eléctricas, se instaló aproximadamente en la década de los ochenta, comienza entonces un mayor movimiento de aeronaves, porque ya es posible el despegue y aterrizaje de aeronaves durante la noche y en horario diurno o cuando las condiciones climáticas generan baja visibilidad.

Desde esa fecha, el control remoto del sistema de ayudas visuales eléctricas, no ha sufrido ningún cambio en su estructura de operación, no cuenta con indicadores visuales de funcionamiento, y mucho menos algún software de control.

Las ayudas visuales eléctricas tienen por finalidad proporcionarle al piloto información visual acerca de las características físicas de la pista de aterrizaje.

El Aeropuerto Internacional La Aurora es la principal terminal aérea internacional de Guatemala, también reúne características que lo hacen único en el mundo; dentro de estas características podemos mencionar que se encuentra casi en medio de la ciudad, no posee espacio suficiente a ambos lados de los umbrales, la iluminación de la ciudad dificulta la orientación de los pilotos, la avenida Hincapié es paralela a la pista de aterrizaje y en ocasiones ha sido confundida con la pista de aterrizaje por los pilotos, el clima tropical genera condiciones de poca visibilidad, principalmente por niebla y lluvia, la cinta asfáltica correspondiente a la pista de aterrizaje no tiene una pendiente longitudinal constante.

Figura 3. **Pendiente longitudinal de la pista del AILA**



Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil. *Servicio de Información Aeronáutica*.

Consultado el 17 de noviembre de 2021. Recuperado de

[https://dgac.gob.gt/aip\\_e/AIP\\_2000/Eurocontrol/GUATEMALA/2020-12-03-AIRAC/html/index-es-ES.html](https://dgac.gob.gt/aip_e/AIP_2000/Eurocontrol/GUATEMALA/2020-12-03-AIRAC/html/index-es-ES.html)

En Guatemala solo existen dos aeropuertos que tienen ayudas visuales eléctricas, Mundo Maya en Petén y La Aurora en la Ciudad Capital, eso no es atractivo para las empresas que comercializan con este tipo de sistemas de luces de pista; a consecuencia de ello, realizar una compra de emergencia o incluso programada resulta difícil, debido a que todos los proveedores están fuera del país y los costos para importar los materiales son elevados.

Todos estos factores se combinan, con la exigencia internacional por mantener un nivel de seguridad operacional elevado, en las maniobras con aeronaves; sin olvidar las responsabilidades económicas, penales y jurídicas que se derivan si se produce algún accidente o incidente con las aeronaves. La protección de la vida humana debe garantizarse con todos los medios posibles, a fin de que el responsable del manejo de las operaciones cuente con las herramientas que le permitan hacer su trabajo sin someterse a un estrés mayor.

La responsabilidad recae en los controladores de tránsito aéreo, pues son ellos los encargados de proporcionar las instrucciones a los pilotos de las aeronaves. Está demostrado científicamente que las funciones de estos puestos generan elevados niveles de estrés en las personas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, un control automatizado, facilitará que el controlador de tránsito aéreo se enfoque en otras actividades, confiando la gestión del sistema de ayudas visuales eléctricas a este conjunto de dispositivos automatizados.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Diseñar un sistema automatizado para que los reguladores de corriente constante funcionen de manera correcta, aprovechando la capacidad de transporte de datos de la red de comunicaciones interna del Aeropuerto Internacional la Aurora.

### **5.2. Específicos**

- Diseñar un prototipo compuesto por software y hardware, que contenga los requerimientos de operación necesarios para alojar el algoritmo de programación.
- Diseñar el algoritmo de programación que garantice la operación adecuada del control remoto, de la red de comunicaciones y de los reguladores de corriente constante.
- Proponer el modelo de lectura de las señales de control y operación de los reguladores de corriente constante, mediante un controlador lógico programable.
- Formular una propuesta para la implementación de un control automatizado que opere el sistema de ayudas visuales eléctricas de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional la Aurora.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

El Aeropuerto Internacional la Aurora, con base a las recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional, debe garantizar con todos los recursos posibles, la seguridad en las operaciones que se realizan en los espacios destinados como aeropuertos. Protegiendo de esta manera los recursos económicos, la infraestructura aeroportuaria y principalmente las vidas humanas.

### **6.1. Esquema de solución**

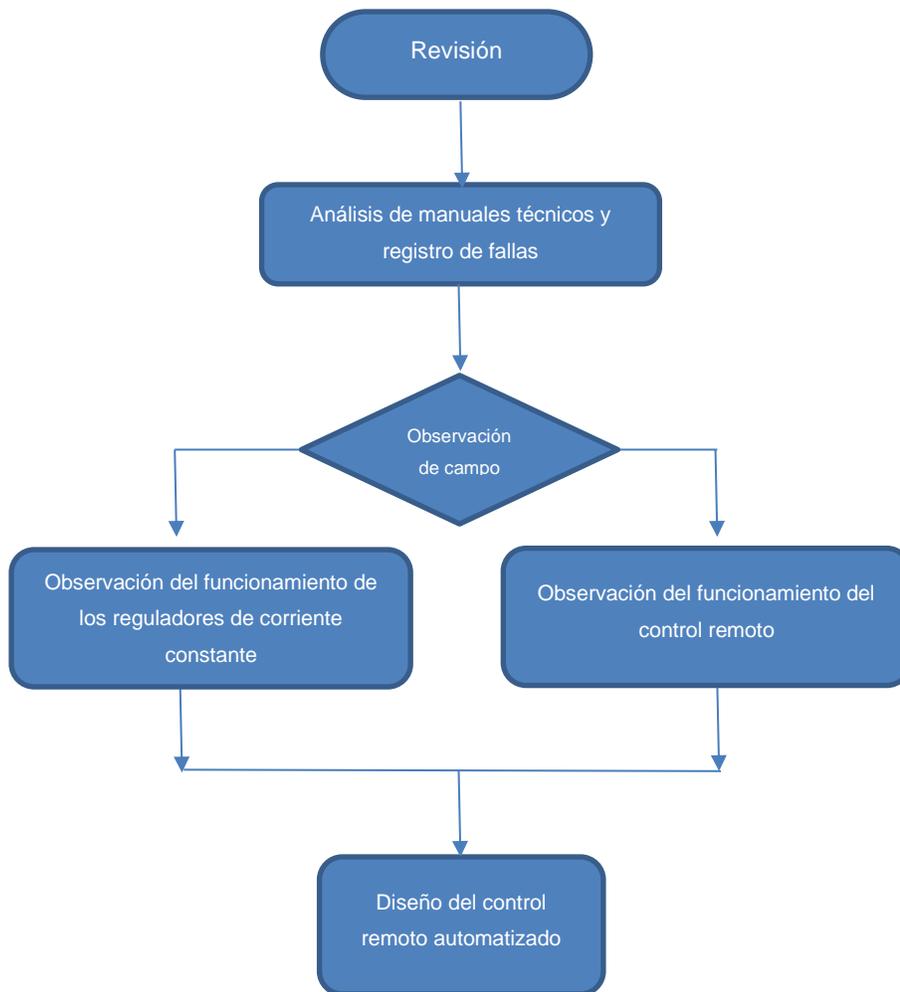
El esquema de solución de este problema se divide en tres fases.

La primera fase es la revisión documental de las fallas, la investigación de la ocurrencia de fallas en los aeropuertos del territorio nacional de Guatemala y el análisis de los manuales técnicos de los equipos.

En la segunda fase se observará en campo el funcionamiento de los reguladores de corriente constante, se realizarán mediciones de corriente de trabajo y de las señales de control y la forma de manipular el control remoto.

La tercera fase corresponde al diseño del control remoto automatizado utilizando la información recopilada y analizada en las dos fases previas.

Figura 4. **Esquema de solución**

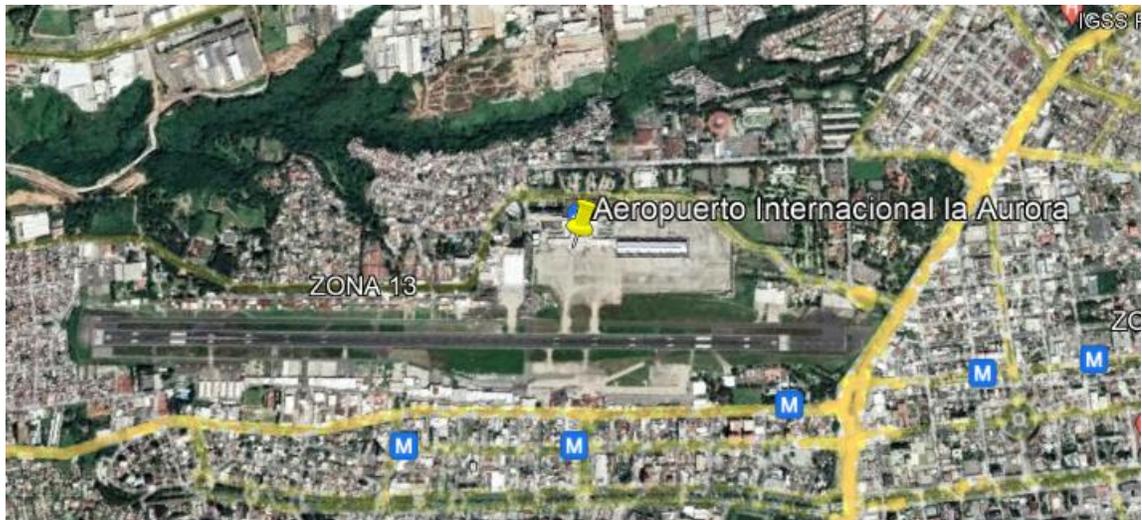


Fuente: elaboración propia.

## 6.2. Ubicación del área de estudio

La pista de aterrizaje del AILA, se ubica en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala.

Figura 5. Ubicación del área de estudio



Fuente: Google Earth Pro (2021). Consultado el 11 de marzo de 2022. Recuperado de <https://earth.google.com/web/@14.58259171,-90.5263108,1486.46437872a,2512.20145253d,35y,-72.98389197h,0.1942312t,0>

## 6.3. Localización del lugar de estudio

La localización del lugar de estudio se encuentra en la 9ª. Avenida 14-75 zona 13 de la ciudad Capital, a 1509.4 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas 14°35'00" Norte y 09°03'13.9" Este

Figura 6. Localización del lugar de estudio



Fuente: Google Earth Pro (2021). Consultado el 14 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://earth.google.com/web/@14.57755305,-90.52077187,1486.39181222a,4249.18155384d,35y,0h,0t,0r>

## **7. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presenta la teoría tomada como base, para un entendimiento más concreto de los aspectos involucrados en la actividad aeronáutica.

### **7.1. El Internet de las cosas**

El llamado internet de las cosas, es un concepto superior que se relaciona con la siguiente gran transformación del internet, ahora se expande a varios objetos cotidianos, sin dejar de lado, la comunicación entre personas y entre personas y datos.

En la interacción con el mundo real, este cambio supone la adquisición de datos por medio de sensores y la entrega de esta información a cualquier dispositivo actuador de uso cotidiano. Estos objetos son capaces de evaluar las condiciones del entorno físico para añadir valor a los usuarios de los servicios finales, pueden reconocer cambios y eventos, teniendo como finalidad desvanecer la barrera entre el mundo físico y el mundo digital. Esta integración tecnológica se hace posible gracias a las redes de datos y el internet.

Desde hace algunos años, esta realidad está presente en las sociedades; en la actualidad el Internet intercomunica no sólo computadoras, teléfonos inteligentes o las tabletas, sino también otros dispositivos, que van desde ropa tecnológica, relojes, lentes de realidad aumentada, electrodomésticos televisores, videoconsolas, automóviles, cámaras de seguridad, controles de

acceso, sensores de temperatura, edificios inteligentes, hasta medios de transporte masivo. Es el comienzo de la incorporación de capacidades inteligentes a todos estos objetos conocidos como pasivos, haciendo uso de la electrónica, el procesamiento de información y la comunicación.

En consecuencia, el internet de las cosas es un vasto proceso de recopilación de información. El IoT está íntimamente relacionado con la automatización, pues permite la interacción de hombre máquina a través de dispositivos comunes, y supone el nuevo paso en la industria 4.0.

## **7.2. Aeropuerto Internacional la aurora**

El AILA es la terminal aérea más importante de Guatemala. Se encuentra establecida dentro de los límites de la ciudad capital.

Es una institución Gubernamental, dependiente del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, bajo la Administración de la Dirección General de Aeronáutica Civil.

### **7.2.1. Ubicación**

El AILA, se ubica a 1509.4 metros sobre el nivel del mar, a 6400 metros del parque central. Las coordenadas son 14°35'00 Norte y 09°03'13.9 Este.

Figura 7. Datos geográficos y administrativos del aeródromo

**MGGT AD 2.2 DATOS GEOGRAFICOS Y ADMINISTRATIVOS DEL AERÓDROMO  
AERODROME GEOGRAPHICAL AND ADMINISTRATIVE DATA**

1	<b>Coordenadas del ARP en el AD:</b> <i>ARP Coordinates at AD</i>	143500N 0903139W
	<b>Emplazamiento en el AD:</b> <i>Site at AD</i>	1,491.468 METROS DEL UMBRAL EN CENTRO DE PISTA
2	<b>Dirección y distancia desde la ciudad:</b> <i>Direction and distance from (city)</i>	6.4 Km. del parque central de la Ciudad
3	<b>Elevación:</b> <i>Elevation</i>	1509.4 M (4952 FT)
	<b>Temperatura de referencia:</b> <i>Reference temperature</i>	19°C
4	<b>Ondulación Geoidal en AD PSN ELEV:</b> <i>Geoidal undulation at AD ELEV PSN</i>	NIL
5	<b>Variación magnética/Cambio anual:</b> <i>MAG VAR / Annual change</i>	1°E (2020) / -0.19°
6	<b>Administración:</b> <i>AD administration</i>	Ministerio De Comunicaciones Infraestructura Y Vivienda
	<b>Dirección:</b> <i>Address</i>	AEROPUERTO INTERNACIONAL LA AURORA, 9 AVE., 14-75, ZONA 13 C.P.01013 CIUDAD DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.
	<b>Teléfono:</b> <i>Telephone</i>	(502) 2260-6533 (502) 3045-8292
	<b>Fax:</b>	NIL
	<b>AFS:</b>	AFTN: MGGTYAYX
	<b>Web / Email:</b>	NIL
7	<b>Tipos de tránsito permitido:</b> <i>Types of traffic permitted</i>	IFR, VFR
8	<b>Observaciones:</b> <i>Remarks</i>	NIL

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil 2021. AD 2 AERÓDROMOS/AERODROMES.  
Consultado el 11 de septiembre de 2021. Recuperado de [https://dgac.gob.gt/aip\\_e/AIP\\_2101/Eurocontrol/GUATEMALA/2021-07-15-DOUBLE%20AIRAC/html/index-es-ES.html](https://dgac.gob.gt/aip_e/AIP_2101/Eurocontrol/GUATEMALA/2021-07-15-DOUBLE%20AIRAC/html/index-es-ES.html)

### 7.2.2. Características físicas de la pista

Con fines de ubicación y colocación, se entiende como inicio de pista, el umbral visto desde la aeronave y generalmente en el sentido de aproximación o aterrizaje.

La pista está conformada por una sola área, destinada al aterrizaje y despegue de aeronaves, con un largo de 2987 metros y 60 metros de ancho. Orientada en dirección norte sur. Posee dos calles de rodaje paralelas a la pista.

Los umbrales de la pista se designan como 20 para la pista que va de norte a sur y como 02 para la pista que va de sur a norte. Esta designación se hace en base a la orientación magnética del área destinada para la pista. Para el caso de la pista 02 su variación magnética es 017.30° se aproxima al entero superior y se toman los 2 primeros dígitos. Para la pista 20 su variación magnética es 197.30°, se aproxima al entero superior y se toman los primeros dos dígitos.

Los umbrales de la pista se designan como 20 para la pista que va de norte a sur y como 02 para la pista que va de sur a norte.

Figura 8. **Características físicas de la pista de aterrizaje**

**MGGT AD 2.12 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS PISTAS  
RUNWAY PHYSICAL CHARACTERISTICS**

Designador RWY NR <i>Designations RWY NR</i>	BRG GEO <i>True BRG</i>	Dimensiones de RWY (M) <i>Dimensions of RWY (M)</i>	Resistencia (PCN) y superficie de RWY y SWY <i>Strength (PCN) and surface of RWY and SWY</i>	Coordenadas THR RWY y coordenadas THR de ondulación geoidal <i>THR coordinates RWY end coordinates THR geoid undulation</i>	Elevación THR y elevación máxima de TDZ de precisión APP RWY <i>THR elevation and highest elevation of TDZ of precision APP RWY</i>
1	2	3	4	5	6
02	017.30° GEO 016.37° MAG	2987 x 60	PCN 79/F/C/X/T ASPH	143413.4296N 0903153.8064W ----- -	THR 1487.06M / 4879FT
20	197.30° GEO 196.37° MAG	2987 x 60	PCN 79/F/C/X/T ASPH	143539.3160N 0903126.1902W ----- -	THR 1506.33M / 4942FT

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil 2021, AD 2 AERÓDROMOS/AERODROMES.

Consultado el 11 de septiembre de 2021. Recuperado de [https://dgac.gob.gt/aip\\_e/AIP\\_2101/Eurocontrol/GUATEMALA/2021-07-15-DOUBLE%20AIRAC/html/index-es-ES.html](https://dgac.gob.gt/aip_e/AIP_2101/Eurocontrol/GUATEMALA/2021-07-15-DOUBLE%20AIRAC/html/index-es-ES.html)

### **7.2.3. Sala de reguladores**

La sala de reguladores es el recinto que alberga los reguladores de corriente constante, se localiza en el interior de la DGAC.

### **7.2.4. Torre de control de tránsito aéreo**

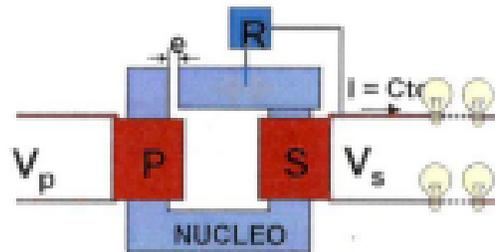
Es el área destinada del aeródromo para la ubicar a los controladores de tránsito aéreo. También aloja el control remoto del sistema de ayudas visuales eléctricas.

## **7.3. Reguladores de corriente constante**

Los reguladores de corriente constante, son equipos que suministran una corriente constante al circuito de luces de un aeródromo para mantener un nivel constante de corriente en todas las luces, esta corriente es de intensidad variable; en parte, para evitar el deslumbramiento de los pilotos.

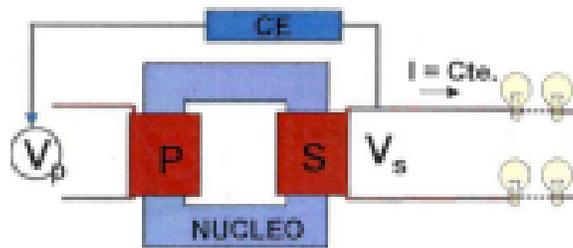
Las formas más usadas para variar la intensidad de corriente son por medio de reluctancia variable y los de estado sólido.

Figura 9. **Regulador de reluctancia variable**



Fuente: elaboración propia. realizado en Paint.

Figura 10. **Regulador de estado sólido**

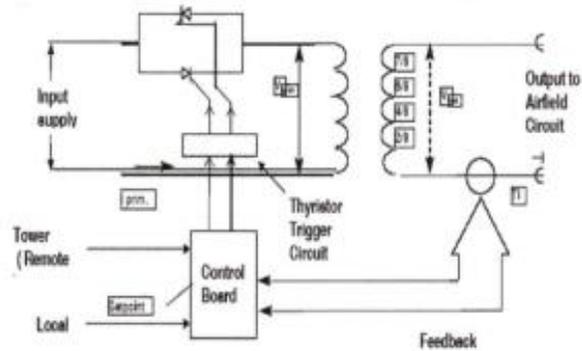


Fuente: elaboración propia, realizado en Paint

El valor de la intensidad de corriente se logra al colocar las luces en circuito en serie, esto garantiza la uniformidad en el brillo.

El esquema de conexión del regulador de corriente constante de estado sólido se ilustra a continuación.

Figura 11. **Regulador de estado sólido**



Fuente: elaboración propia.

Este tipo de regulador utiliza el principio de manipulación del ángulo de disparo de dos rectificadores controlados de Silicio.

#### **7.4. Fallas en los reguladores de corriente constante**

Las fallas en los reguladores de corriente constante, comprometen directamente el funcionamiento de las luces instaladas en la pista, a continuación, se describen los dos tipos de fallas más comunes que suceden en estos dispositivos.

##### **7.4.1. Fallas de circuito abierto**

Consiste en la apertura de la línea de transmisión de la energía eléctrica, conectada en la salida de los RCC.

##### **7.4.2. Fallas de corto circuito**

Suceden cuando los conductores de la línea de transmisión eléctrica se unen físicamente, debido a fallas en el aislante.

## 7.5. Ayudas visuales eléctricas

Las ayudas visuales eléctricas, son elementos que proporcionan información luminosa al piloto del avión. Ya sea que este se ubique a nivel de la tierra o en el aire. Se dividen en:

### 7.5.1. Luces de borde de pista

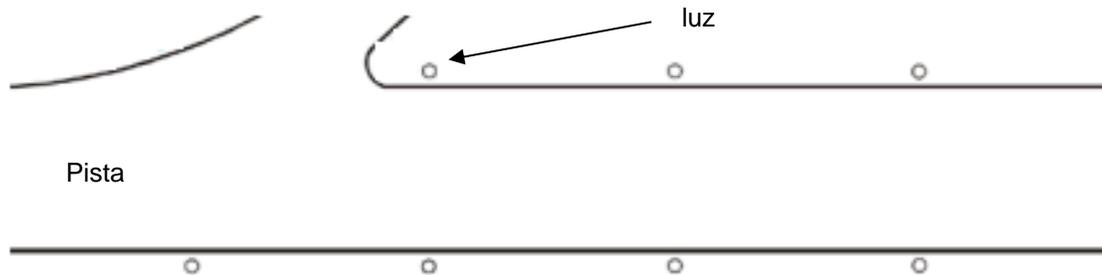
Se ubican en toda la longitud de la pista, cercanas a su borde, con un espaciamiento de 60 metros entre cada una, son de color blanco en el sector central y amarillo en el final, en el sentido de aproximación.

Figura 12. **Luz de borde de pista**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Lámpara elevada*. Consultada el 17 de noviembre de 2021.  
Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=el-eah-runway-edge-runway-end-runway-threshold>.

Figura 13. **Esquema de posición**



Fuente: elaboración propia.

### **7.5.2. Luces Indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación**

Están constituidas por cuatro cajas, como se observa en la figura siguiente, denotadas por las literales A, B, C y D, que contienen dos luces cada una, las cajas se sitúan del lado izquierdo en ángulo de noventa grados respecto de la longitud y en sentido de aproximación. La cantidad en metros la primera caja y el borde es de 15 metros y las restantes tres a cada 9 metros entre sí. Cada luz emite dos colores blanco y rojo. Este conjunto de luces se utiliza para indicarle al piloto el ángulo correcto para realizar un aterrizaje. A esto se le conoce como la trayectoria de aproximación.

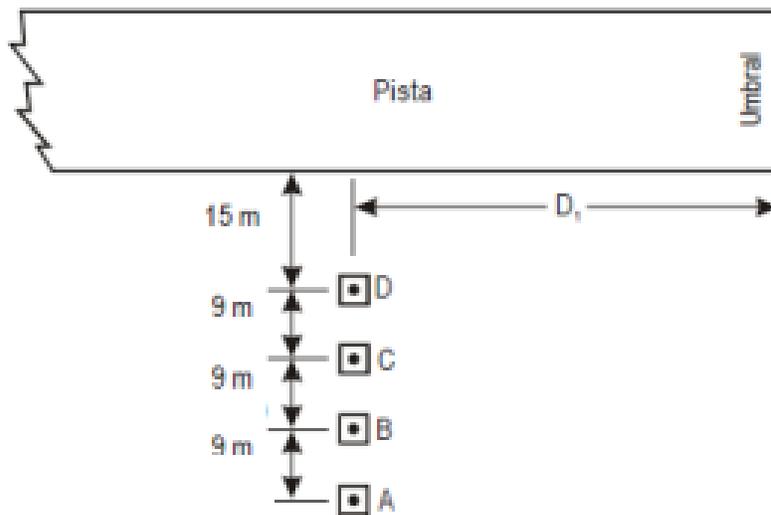
Para la pista 20, la trayectoria de aproximación es de 3.5 grados sexagesimales y para la pista 02, la trayectoria de aproximación es de 3.0 grados sexagesimales.

Figura 14. **Luces P.A.P.I**



Fuente: [Fotografía de Wellington Fernando de León Santizo]. (Pista de aterrizaje Aeropuerto Internacional la Aurora, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

Figura 15. **Instalación típica de luces indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación**



Fuente: elaboración propia.

### 7.5.3. Luces de aproximación

Están instaladas antes del umbral, son de color blanco. El propósito de estas luces es guiar al piloto hacia el centro de la pista.

Figura 16. **Luces de aproximación**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Luz de aproximación*. Consultada el 17 de noviembre de 2021.  
Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=frangible-masts>

#### **7.5.4. Luces de extremo de pista**

Emiten luz roja y se ubican al final de la pista, en el sentido de aproximación.

Figura 17. **Luz de extremo de pista**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Luz de extremo de pista*. Consultada el 11 de noviembre de 2021.  
Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=l-861se-incandescent-elevated-runway-threshold-end-light-clamp-band>

#### **7.5.5. Luces de umbral de pista**

Emiten luz en un solo color en tonalidad verde y se colocan al inicio de la pista, en el sentido de aproximación.

Figura 18. **luz de umbral de pista**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Luz de umbral de pista*. Consultada el 11 de noviembre de 2021.  
Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=l-861se-incandescent-elevated-runway-threshold-end-light-clamp-band>

### **7.5.6. Faro de aeródromo**

Se utiliza para identificar la posición de un aeródromo, tiene transiciones de color entre verde-blanco, con 20 destellos por minuto, este se sitúa a un costado del edificio de la DGAC.

Figura 19. **Faro de aeródromo**



Fuente: ADB-SAFEGATE. Faro de aeródromo. Consultada el 11 de noviembre de 2021.  
Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=refurbished--retrofitted-rotating-airport-beacon36>

### **7.5.7. Luces de borde de calle de rodaje**

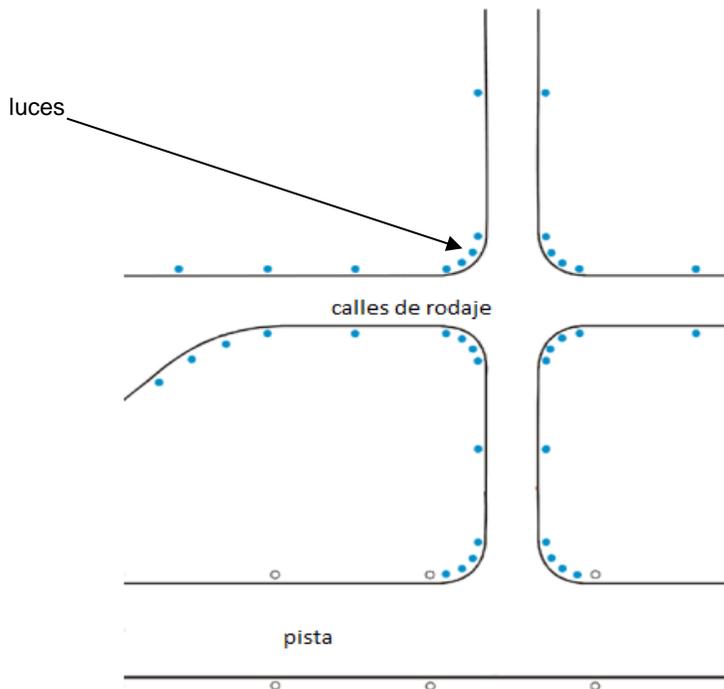
Se ubican en el sentido de la longitud de esta calle, próximas al borde, con la finalidad de marcar las rutas por la cual debe desplazarse la aeronave sobre la tierra, son de coloración azul y se emplazan longitudinalmente cada 60 metros en las partes rectas y en las curvas se colocan de forma tal que indiquen la trayectoria propia de la curva.

Figura 20. Luz de borde de calle de rodaje



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Luz de borde de calle de rodaje*. Consultada el 11 de noviembre de 2021. Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=el-eam-taxiway-apron-edge>

Figura 21. Ubicación de luces



Fuente: elaboración propia.

## 7.6. Equipos eléctricos aeronáuticos

Se entiende como equipo eléctrico aeronáutico a los dispositivos que sirven exclusivamente a la actividad aeronáutica, acá se describen las características de tales elementos.

### 7.6.1. Cables y conectores

Los circuitos de luces de pista operan con voltajes de hasta 5 kilo voltios, el cable utilizado es de calibre 8 AWG, sin blindaje. El aislante resiste las condiciones de intemperie y humedad de la pista. Actualmente está instalado en el complejo de fosas que se ubican a cada 60 metros distancia, la comunicación entre fosas se hace a través de tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro.

Los conectores utilizados se describen en la siguiente gráfica. Y se dividen en conector macho y conector hembra.

Figura 22. **Conectores**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Conectores primarios*. Consultada el 11 de noviembre de 2021.

Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=cable-leads>

Figura 23. **Cable**



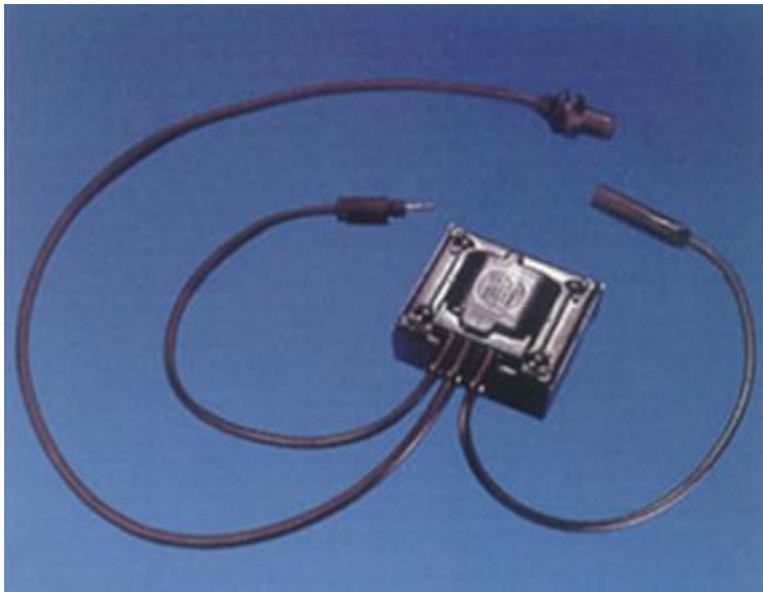
Fuente: [Fotografía de Wellington Fernando de León Santizo]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

### **7.6.2. Transformadores de aislamiento**

Los reguladores de corriente constante proveen un voltaje de salida que, dependiendo de la intensidad seleccionada, puede variar hasta un máximo de 5 kilo voltios. Para conectar cada luz a la línea al circuito, se utilizan un transformador de aislamiento, que, en el caso de las luces de aproximación, luces indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación y las luces de aproximación es de una potencia de 200 watt y en el caso de las luces de borde

de calle de rodaje es de 45 watt. El RCC produce un voltaje en media tensión, que dependiendo del fabricante puede llegar hasta los 5 Kilo voltios. Esta es una de las razones que hacen necesaria la conexión de la luz a través de un transformador de aislamiento.

Figura 24. **Transformador de aislamiento**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Transformador de aislamiento*. Consultada el 11 de noviembre de 2021. Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/discontinued/?prod=transformers>

### **7.6.3. Cortacircuitos de media tensión**

Es el elemento que se encarga de seccionar el circuito de media tensión, del regulador de corriente constante, también tiene la funcionalidad de cortocircuitar la salida para realizar pruebas de mantenimiento.

Figura 25. **Corta circuitos**



Fuente: ADB-SAFEGATE. *Corta circuitos*. Consultada el 11 de noviembre de 2021.  
Recuperada de <https://adbsafegate.com/product-center/airfield/?prod=sco-series-circuit-cutout>

#### **7.6.4. Reguladores de corriente constante**

Son los encargados de suministrar la energía eléctrica para el funcionamiento de las luces. La capacidad en vatios depende de uso para el que se destine y varía entre 5 a 30 kilo vatios.

Figura 26. **Regulador de corriente constante**



Figura: [Fotografía de Wellington Fernando de León Santizo]. (Sala de reguladores de pista de aterrizaje Aeropuerto Internacional la Aurora, Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

#### **7.6.5. Control remoto del sistema de ayudas visuales eléctricas**

El control remoto, como se menciona anteriormente, se localiza en el interior de la torre de control. Es el elemento que enciende, apaga y selecciona la intensidad de las luces.

## **7.7. Circuitos eléctricos para aeródromos**

A excepción del circuito eléctrico del faro de aeródromo, todos inician en la salida de los reguladores de corriente constante y se extienden según sea el caso, hacia la posición de cada luz.

### **7.7.1. Circuito eléctrico de luces de borde de pista**

Está conformado por dos circuitos intercalados entre sí, por lo tanto, al suceder una falla en alguno de los RCC, el otro circuito encenderá las luces cada 120 metros, esto hace que, en caso de falla de un regulador, no se apague por completo el sistema de luces en cuestión.

### **7.7.2. Circuito eléctrico de luces de borde de calle de rodaje**

Al igual que en el circuito anterior, existen dos circuitos eléctricos instalados en forma alterna para las luces.

### **7.7.3. Circuito eléctrico de luces indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación**

Estas luces si poseen un regulador de corriente constante para cada uno, cada sistema de luces puede operarse de forma independiente para las dos aproximaciones. Esta conexión permite que solamente se accione el circuito que va a ser utilizado en el aterrizaje.

#### **7.7.4. Circuito eléctrico del faro de aeródromo**

Este circuito a diferencia de los anteriores, tiene una alimentación de 208 voltios en corriente alterna. el faro generalmente está construido con un motor trifásico para mover la estructura completa.

### **7.8. Hardware y software industrial**

En esta sección, se aborda la parte correspondiente a los controladores lógicos programables, las redes protocolos de comunicación y las interfaces hombre máquina.

#### **7.8.1. Software y Hardware**

En un sistema informático, el software está constituido por todo el equipamiento lógico, que comprende el conjunto de recursos no tangibles de procesamiento de información. Recursos como el explorador de internet, los programas de cálculo, los procesadores de texto, los programas de lectura de datos e interpretación de señales pertenecen a esta clasificación.

Por otro lado, el hardware está definido como la parte física y tangible de un sistema tecnológicos, este incluye el propio computador, componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, redes físicas de transporte de información.

#### **7.8.2. Protocolo de comunicación**

El protocolo de comunicación, está conformado por una serie de reglas de comunicación entre dos o más dispositivos interconectados. Para procesos de automatización se requiere que exista una forma que permita el intercambio de información entre los dispositivos actuadores, los sensores, los elementos de

procesamiento y los operadores humanos. El protocolo de comunicación debe ser robusto y eficiente, debido a que por su medio se visualiza y manipula el estado del proceso.

### **7.8.3. Protocolo Modbus**

El protocolo Modbus utiliza el modelo de solicitud-respuesta, implementado mediante la relación maestro-esclavo. En este tipo de relación, la comunicación siempre se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el maestro) es responsable de iniciar cada interacción.

Es común utilizar como el maestro es una interfaz hombre máquina y el esclavo es un sensor o un controlador lógico programable. Para la comunicación entre los dispositivos se pueden implementar redes basadas en Ethernet, RS-485, RS-232, entre otros.

### **7.8.4. Interfaz hombre-maquina**

Es una interfaz de usuario que conecta a una persona con una máquina, sistema o dispositivo, generalmente en entornos industriales. Permite operaciones confiables en cada aplicación.

La interfaz hombre-máquina se comunica con los controladores lógicos programables y los sensores de entrada/salida para obtener y mostrar información para que el usuario los visualice.

La conexión a las redes locales y de internet, permiten a los operadores acceder a los datos y a la visualización desde dispositivos de en el sitio de

producción, además, cada vez es más común cargar los datos desde estas interfaces locales a la nube, donde se puede acceder a ellos y analizarlos de forma remota, al tiempo que se mantienen las capacidades de control en un nivel local.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEORICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEORICO

1.1 AYUDAS VISUALES ELÉCTRICAS

1.1.1 Luces de borde de pista

1.1.2 Luces Indicadoras de Precisión de la Pendiente de Aproximación.

1.1.3 Luces de aproximación

1.1.4 Luces de identificación de final de pista

1.1.5 Luces de identificación de umbral de pista

1.2 EQUIPOS ELÉCTRICOS AERONÁUTICOS

1.2.1 Cables y conectores

1.2.2 Transformadores de aislamiento

1.2.3 Cortacircuitos de media tensión

1.2.4 Reguladores de corriente constante

1.2.5 Control remoto de los sistemas de ayudas visuales eléctricas

- 1.2.6 Faro de aeródromo
- 1.3 CIRCUITOS ELÉCTRICOS PARA AERÓDROMOS
  - 1.3.1 Circuito eléctrico de luces de borde de pista
  - 1.3.2 Circuito eléctrico de luces de borde de calle de rodaje
  - 1.3.3 Circuito eléctrico de luces de aproximación
  - 1.3.4 Circuito eléctrico de luces indicadoras de precisión de la pendiente de aproximación
  - 1.3.5 Circuito eléctrico del faro de aeródromo
- 1.4 FALLAS EN LOS REGULADORES DE CORRIENTE CONSTANTE
  - 1.4.1 Reguladores de Corriente constante
  - 1.4.2. Fallas de circuito abierto.
  - 1.4.3. Fallas de alimentación eléctrica
- 1.5 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES
  - 1.5.1 Software y Hardware de control
  - 1.5.2 Protocolo de Comunicación
- 1.6 LECTURA DE SEÑALES
  - 1.6.1 Transformadores de corriente
  - 1.6.2 Control de los reguladores de corriente constante
  - 1.6.3 Lectura de señales de control de los reguladores de corriente constante
- 2. RECOLECCIÓN DE DATOS
- 3. ANÁLISIS DE DATOS

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. MARCO METODOLÓGICO**

### **9.1. Diseño metodológico**

Según Grajales (2000) la experimentación puede ser clasificada como experimental o no experimental, tomando como criterio el rol que desempeña en el investigador sobre los factores sujetos de estudio. Cuando un investigador se limita a observar los acontecimientos sin ejercer ninguna intervención, se desarrolla una investigación no experimental. El diseño metodológico propuesto es no experimental, porque se realizarán observaciones y mediciones de parámetros eléctricos en los elementos que conforman el control remoto, sin alterar los estados de operación; esto con el fin de identificar las condiciones en las que se producen las fallas.

### **9.2. Paradigma de la investigación**

Según Martínez (2013) el paradigma positivista posee entre uno de sus rasgos más importantes su naturaleza cuantitativa como fundamento para asegurar la precisión y rigidez propios de la ciencia. Se escoge este paradigma debido a que se ajusta a las características de la investigación, principalmente a la necesidad de obtener datos cuantitativos de las variables de funcionamiento de los reguladores de corriente constante.

### **9.3. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación transeccional, tiene como característica principal el análisis del estado o nivel de las variables en un momento dado. El diseño de investigación será transeccional, porque las observaciones y mediciones se realizarán en un único momento durante el tiempo destinado dentro del trabajo de tesis para este efecto.

### **9.4. Tipo de investigación**

Según Hernández (2014) para cualquier fenómeno que se someta a un análisis, es fundamental especificar sus propiedades. El tipo investigación será descriptivo porque únicamente se recolectarán los valores de las variables de funcionamiento de los reguladores de corriente constante, la información recopilada de las encuestas, se realizará una descripción de los datos y la información obtenida para finalizar, se propondrá un diseño del control remoto automatizado haciendo uso del IoT.

### **9.5. Enfoque de la investigación**

Para fines de este trabajo de investigación, se utilizará el enfoque mixto. La parte que corresponde al enfoque cuantitativo, involucra los reguladores de corriente constante. Y la parte que compete al enfoque cualitativo incluye a los controladores de tránsito aéreo del AILA y a los técnicos de la sección de ayudas visuales eléctricas de la DGAC.

Según Hernández (2014) en los dos enfoques se utilizan procesos sistemáticos que a su vez integran otros procesos para generar conocimiento. El autor además define que el enfoque cuantitativo se construye en forma

secuencial y no es posible eludir un paso, sin embargo, en el enfoque cualitativo las diferentes etapas interactúan entre sí y no están sujetas a una secuencia rigurosa.

## **9.6. Resultados esperados**

Se espera construir el algoritmo de programación que englobe todas las variables de programación, el software adecuado para realizar con éxito la detección de fallas, las causas que generan las fallas de los RCC. El hardware apropiado para las interfaces hombre-máquina, el hardware de control y los requisitos de la red de transporte de datos, así como la tabla de resultados de las señales de control y operación de los reguladores de corriente constante y finalmente diseñar el diagrama del control remoto automatizado de los reguladores de corriente constante.

## **9.7. Población y muestra**

En el análisis cuantitativo, se realizará una recopilación de datos mediante un análisis estadístico de las fallas de los seis reguladores de corriente constante.

La población para el análisis cualitativo la población está constituida por los técnicos que componen la sección de ayudas visuales eléctricas de la DGAC y por los controladores de tránsito aéreo del AILA.

Por lo tanto, se incluyen a 5 técnicos y 43 controladores, haciendo una población de 48 personas; para una distribución normal, con un nivel de confianza del 95%,  $Z=1.96$  y un margen de error de 3%, la muestra no probabilística estará definida por:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

$n$  = Muestra

$N$  = Tamaño de la población o universo

$Z_{\alpha}$  = Parámetro estadístico del nivel de confianza

$p$  = Probabilidad de que ocurra en evento en estudio

$q$  = Probabilidad de que no ocurra el evento en estudio

$e$  = Error de estimación máximo aceptado

Sustituyendo lo datos, se observa que el tamaño de la muestra es de:

$$n = \frac{48 * 1.960^2 * 0.5 * 0.5}{0.03^2 * (48 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 45.98 \cong 46 \text{ personas}$$

Para:

$N = 48$

$Z_{\alpha}^2 = 1.960$

$p = 50.00\%$

$q = 50.00\%$

$e = 3\%$

## 9.8. Tipo de muestreo probabilístico

Según Otzen y Manterola (2017) en el muestreo probabilístico aleatorio simple, existe la misma probabilidad de que cualquier elemento de la población sea incluido en la muestra. Para este caso se utilizará el muestreo probabilístico

será aleatorio simple debido a que la muestra se considera uniforme, respecto al nivel de conocimiento de las características de funcionamiento del control remoto.

### **9.9. Técnicas de recolección de datos**

Para este trabajo se utilizará la encuesta y la observación como técnicas de recolección de datos. La encuesta será aplicada a los Controladores de tránsito aéreo y a los técnicos de ayudas visuales eléctricas, la observación se realizará a los equipos instalados en la sala de reguladores y en la torre de control.

Según Casas et al., (2003), la técnica de la encuesta proporciona una forma rápida y eficaz de obtener datos de la muestra en estudio y es ampliamente utilizada como procedimiento de investigación.

Hernández (2014) refiere que la observación es la técnica de investigación que conlleva enfocarse a las interacciones y eventos o detalles de la muestra en cuestión.

### **9.10. Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento de recolección de datos para el análisis cualitativo será un cuestionario. Hernández (2014) refiere que el cuestionario está conformado por una serie de preguntas que hacen referencia a una o varias variables sujetas a medición. Para el análisis cuantitativo será una lista de cotejo.



## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

En la primera fase se hará una recopilación documental de los registros de fallas del sistema de ayudas visuales eléctricas, una recopilación documental de la ocurrencia de fallas en los aeropuertos del territorio nacional de Guatemala y el análisis de los manuales técnicos de los equipos con el fin de comprender la naturaleza de funcionamiento del conjunto de elementos involucrados.

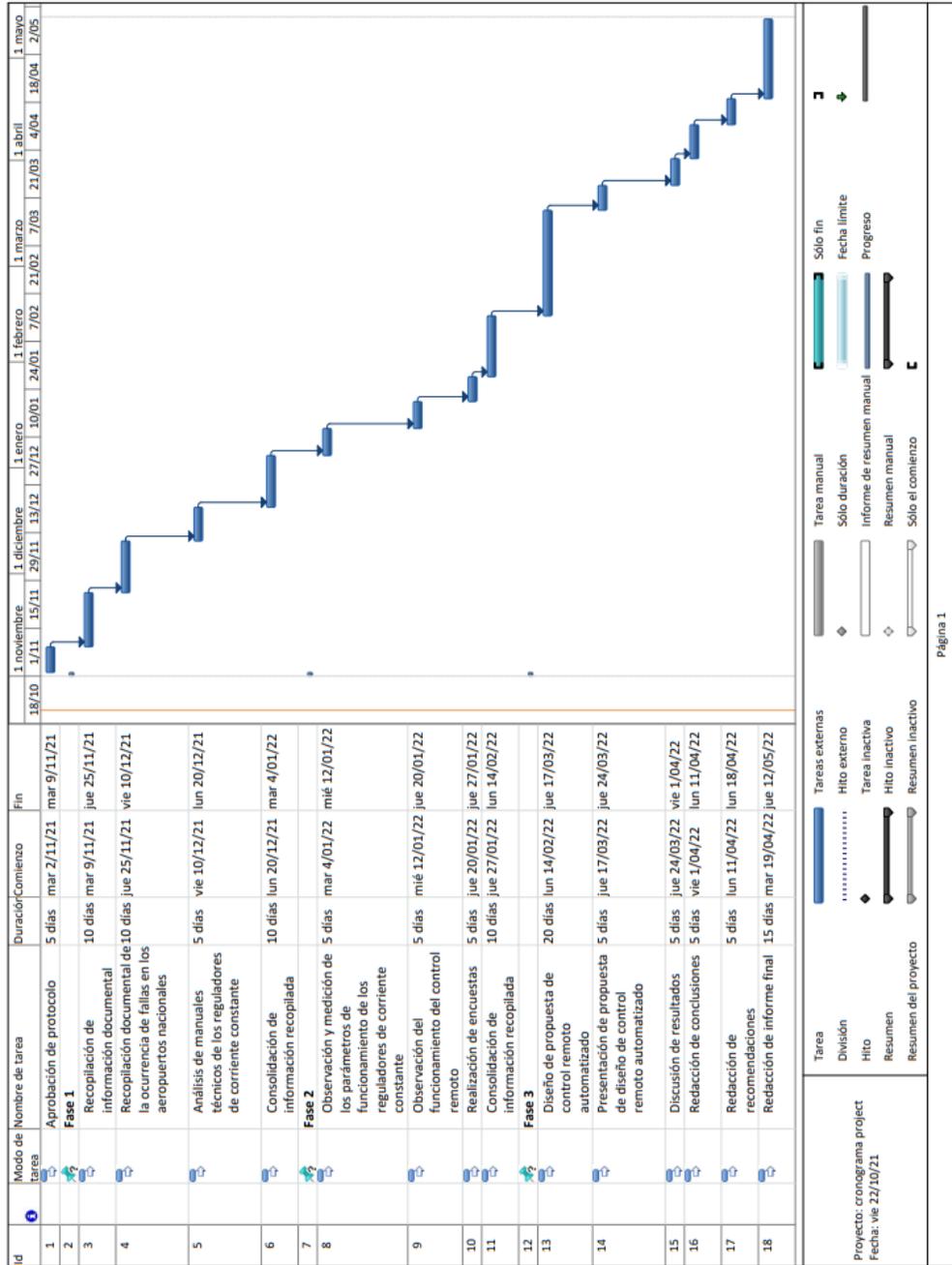
En la fase dos se hará un análisis cuantitativo y cualitativo, por medio de la observación del funcionamiento de los reguladores de corriente constante, el control remoto y los cuestionarios realizados.

Y en la fase tres se hará una consolidación entre los datos obtenidos en las fases anteriores. Esta información será utilizada para diseñar la propuesta de control remoto automatizado.



# 11. CRONOGRAMA

Tabla I. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La investigación será financiada por el investigador, solicitando a la Dirección General de Aeronáutica Civil un área de trabajo y el suministro de energía eléctrica para la computadora.

Tabla II. **Costos del estudio**

Recursos necesarios	Descripción	Costo
humanos	Investigador	Q5,000.00
Recursos Físicos	oficina	Q -
Recursos Tecnológicos	Acceso a internet y telefonía	Q1,000.00
	Computadora	Q3,500.00
	Analizador de fases	Q9,000.00
	Equipo de medición	Q6,000.00
	Multímetro	Q2,500.00
Misceláneos	Impresora	Q650.00
	Hojas de papel bond	Q250.00
	Lapiceros	Q15.00
	Transporte	Q500.00
	Alimentación	Q3,000.00
	Imprevistos	Q1,000.00
<b>Total</b>		<b>Q32,415.00</b>

Fuente: elaboración propia.



### 13. REFERENCIAS

1. Anexo 14 al convenio sobre Aviación Civil Internacional Aeródromos. Volumen I. Diseño y Operación de Aeródromos. OACI. 25 de noviembre de 2004.
2. Casas A. J., Repullo L. JR., J. Donado C. (mayo de 2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Elsevier* 38(1), 527-538. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-la-encuesta-como-tecnica-investigacion--13047738>
3. Convenio de Chicago. Convenio sobre aviación Civil Internacional. Argentina. 24 de septiembre de 1968.
4. Grajales, G. T. (27 de 03 de 2000). Tipos de Investigación [mensaje en un blog] recuperado de <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
5. Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México, México: Mc GRAW-HILL
6. Ley de Aviación Civil. Decreto Numero 93-200. Guatemala. 18 de diciembre de 2000.
7. Ley de Aviación Civil. Resolución Numero 05-2001. Guatemala. 23 de enero de 2001.

8. Martínez, G. V. L. (2013). Paradigmas de la Investigación [mensaje en un blog]. Recuperado de [academia.edu/34970524/Paradigmas\\_de\\_investigacion](http://academia.edu/34970524/Paradigmas_de_investigacion).
9. Martínez, J. J. (1989). Sistemas de Ayudas Visuales Luminosas Para la Navegación Aérea en el aeropuerto Internacional la Aurora. Guatemala (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
10. Otzen, T. y Manterola, C. (septiembre, 2016) Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1):227-232, Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>.
11. Palma, C. (abril, 2015). LOS RIZOS DE LA AVIACIÓN GUATEMALTECA Luces y sombras del transporte aereo del país. *D PRENSA LIBRE*, (560) 12,13.
12. Palma, C. (abril, 2015). LOS RIZOS DE LA AVIACIÓN GUATEMALTECA Luces y sombras del transporte aéreo del país. *D PRENSA LIBRE*, (560) 14,16.
13. Regulación de Aviación Civil 14 RAC 14 Volumen I Diseño de Aeródromos. Guatemala. 11 de septiembre de 2017.
14. Reglamento de la Ley de Aviación Civil. Acuerdo Gubernativo No. 384-2001. Guatemala. 14 de septiembre de 2001.

15. Universidad Autónoma de Hidalgo (2015). *Diseño no-experimental*. México: Autor.

