



Universidad
Inca Garcilaso de la Vega

**FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS,
COMPUTO Y TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**ACTUALIZACION DEL SISTEMA SCADA DEL SISTEMA
DE AYUDAS LUMINOSAS DE LAS PISTAS DE
ATERRIJAZE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL
JORGE CHAVEZ PARA MEJORAR LAS OPERACIONES
EN LAS PISTAS DE ATERRIJAZE**

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero de Sistemas y Computo

Autor:

Bach. CORDERO FALCON, LEANDRO MELCHOR

Asesor:

Mg. Ing. Diaz Flores, Paul Alberto

Lima - Perú

2023

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ACTUALIZACION DEL SISTEMA SCADA DEL SISTEMA DE AYUDAS LUMINOSAS DE LAS PISTAS DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ PARA MEJORAR LAS OPERACIONES EN

INFORME DE ORIGINALIDAD

5 %
INDICE DE SIMILITUD

5 %
FUENTES DE INTERNET

0 %
PUBLICACIONES

1 %
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 tesis.ipn.mx 1 %
Fuente de Internet

2 cdn.www.gob.pe 1 %
Fuente de Internet

3 Submitted to Universidad Inca Garcilaso de la Vega < 1 %
Trabajo del estudiante

4 portal2.corpac.gob.pe < 1 %
Fuente de Internet

5 aeropuertorosario.com < 1 %
Fuente de Internet

6 www.boe.es < 1 %
Fuente de Internet

7 www.ptolomeo.unam.mx:8080 < 1 %
Fuente de Internet

www.proteccioncivil.org

DEDICATORIA

Lamento haberme demorado en dar este paso en mi vida profesional y no lograr hacerte sonreír y hasta llorar, porque era tu anhelo verme terminar esta etapa, lamento no haberte entendido y pensar que teníamos tiempo, espero que desde el cielo puedas verme y saber que todo mi trabajo está dedicado a ti, mi madre que desde pequeño me enseñaste a trabajar y que lo importante era tener los conocimientos y aplicarlos, te dedico este trabajo a ti mi madre que gracias a ti y a tu esfuerzo soy lo que soy.....!!!



AGRADECIMIENTO

Agradezco a cada Supervisor y jefe que me toco conocer en mi carrera profesional, a los buenos y a los complicados, porque con ellos el reto fue mayor para lograr romper los paradigmas que se tenían, incluso los límites que ellos mismo ponían al desarrollo profesional del personal, hizo que siempre busque aprender más.

Agradecer a mi familia por apoyarme y darme el tiempo necesario para lograr mis objetivos profesionales, sin el apoyo y paciencia de mis motores, mis hijos Leandro, Eliana y Leonardo, de mi amiga y esposa Guissela, de mi hermano Luis y desde el cielo mi madre y mi hermana Giova no hubiera podido llegar aquí.

Agradecer a todos los profesionales que colaboraron en este proyecto de Actualización del Sistema SCADA que sin ellos este trabajo no podría haberse realizado, a los colegas nacionales y por sobre todo a los de fábrica y de los contratistas de USA, España, Alemania, Francia, Italia y Bélgica.



Pruebas Finales de todo el Sistema SCADA y Equipos AGL en la Segunda Pista AIJCH con Ingenieros de Fabrica ADBSafegate (Bélgica – USA) y SAMPOL (España).

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	7
ABSTRACT AND KEYWORDS.....	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I: INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.....	11
1.1 DATOS GENERALES.....	11
1.1.1 Razón social.....	11
1.1.2 RUC.....	11
1.1.3 Dirección	11
1.1.4 Contacto.....	11
1.2 ACTIVIDAD PRINCIPAL.....	11
1.2.1 Servicios	12
1.2.1.1 Servicios Aeronáuticos.....	12
1.2.1.2 Servicios Aeroportuarios.....	14
1.2.2 Organigrama.....	15
1.2.2.1 Organigrama General de CORPAC	15
1.2.2.2 Organigrama de la Gerencia Central de Navegación Aérea.....	16
1.2.2.3 Organigrama de la Gerencia de Tecnología Aeronáutica	17
1.2.3 Certificaciones	18
1.2.4 Premios y Reconocimientos.....	18
1.3 RESEÑA HISTÓRICA Y REALIDAD PROBLEMÁTICA	19
1.3.1 Reseña Histórica de la Empresa..... 1964.....	19
1.3.2 Realidad Problemática de la Empresa.....	19
1.3.3 PROBLEMA GENERAL.....	20
1.3.4 PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	20
1.3.5 OBJETIVOS GENERAL.....	21
1.3.6 PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	21
1.4 MISIÓN, VISIÓN Y VALORES	22
1.4.1 Misión	22
1.4.2 Visión	22
1.4.3 Valores.....	22
1.5 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE EL BACHILLER REALIZÓ SUS ACTIVIDADES	23
1.5.1 Gerencia de Tecnología Aeronáutica	23
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	24
2.1 MARCO TEORICO GENERAL	24

2.1.1	<i>Antecedentes Internacionales</i>	24
2.1.2	<i>Antecedentes Nacionales</i>	26
2.2	MARCO TEORICO ESPECIFICO	28
2.2.1	<i>Sistema SCADA</i>	28
2.2.1.1	Arquitectura de un Sistema SCADA	29
2.2.1.2	HMI.....	31
2.2.1.3	Funcionalidades del HMI.....	32
2.2.2	AEROPUERTO	33
2.2.2.1	Torre de Control	34
2.2.2.2	Pista.....	34
2.2.2.3	Calle de Rodaje.....	34
2.2.2.4	Plataforma	35
2.2.2.5	Terminal.....	35
2.2.3	<i>Pista de Aterrizaje</i>	36
2.2.3.1	Configuración de Pista	36
2.2.3.2	Partes de Pista.....	38
2.2.3.3	Tipos de Pista	39
2.2.3.4	Categoría de Pista.....	40
2.2.4	<i>Sistema de Ayudas Luminosas (AGL)</i>	41
2.2.4.1	Aproximación	41
2.2.4.2	Luces PAPI.....	41
2.2.4.3	Eje de Pista.....	42
2.2.4.4	Borde de Pista	42
2.2.4.5	Umbral de Pista.....	42
2.2.4.6	Fin de Pista.....	42
2.2.4.7	Zona de Toma de Contacto	42
2.2.4.8	RETIL.....	42
2.2.4.9	Eje de Rodaje.....	42
2.2.4.10	Borde de Rodaje.....	43
2.2.4.11	Barra de Parada.....	43
2.2.4.12	Letreros.....	43
2.2.4.13	Protección de Pista	43
2.2.4.14	Transformadores de Aislamiento	43
2.2.5	<i>Operaciones en Pistas</i>	44
2.2.5.1	Despegue	44
2.2.5.2	Salida	45
2.2.5.3	En Ruta	45
2.2.5.4	Descenso.....	45
2.2.5.5	Aproximación	45
2.2.5.6	Aterrizaje	45
CAPITULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL		46

3.1	CONTEXTO LABORAL – SITUACIONAL	46
3.2	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL BACHILLER.....	47
a.	<i>Gestión de Proyectos para cambio de Tecnología en los sistemas</i>	47
b.	<i>Gestión del Mantenimiento de los Sistemas asignados</i>	47
c.	<i>Asignación y Supervisión de Tareas</i>	47
d.	<i>Supervisión y control de los Sistemas Informáticos Productivos y SCADA</i>	48
e.	<i>Logística de Materiales e Insumos para los proyectos</i>	48
f.	<i>Control de Personal, terceros y subcontratistas</i>	48
g.	<i>Elaboración de informes técnicos, estadísticas, resultados de gestión e indicadores</i>	49
CAPITULO IV: APLICACIÓN PRACTICA.....		50
4.1	DESARROLLO PRACTICO DE LAS CONTRIBUCIONES PLANTEADAS POR EL BACHILLER EN LA EMPRESA.....	50
4.1.1	<i>SINTESIS DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA</i>	51
4.1.1.1	ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA HMI SCADA DE AYUDAS LUMINOSAS.....	53
4.1.2	<i>SOLUCIÓN PLANTEADA PARA RESOLVER LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</i>	59
4.1.2.1	ARQUITECTURA DEL SISTEMA SCADA.....	63
4.1.3	<i>DESARROLLO DE ACTUALIZACION Y ANÁLISIS</i>	65
4.1.3.1	TOPOLOGIA DEL SISTEMA.....	65
4.1.3.2	ARQUITECTURA DE SOFTWARE.....	66
4.1.3.3	ARQUITECTURA DE HARDWARE.....	80
4.1.3.4	HMI INTERFACE HOMBRE MAQUINA.....	82
4.1.3.5	ESTACIONES HMI.....	95
4.1.3.6	SERVIDORES SCADA.....	96
4.1.3.7	PLC MASTER SIMATIC S7-400H.....	97
4.1.3.8	CONTROLADORES DE SUBESTACIÓN PLC SIEMENS S7-1200 Y PLC S7-300	99
4.1.3.9	ILCMS SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LAMPARA INDIVIDUAL.....	102
4.1.3.10	COMUNICACIONES.....	104
4.1.3.11	EQUIPOS AGL.....	114
4.1.3.12	EQUIPOS AUXILIARES AGL.....	122
4.1.4	<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ACTUALIZACION DEL SISTEMA SCADA</i>	124
CONCLUSIONES.....		130
RECOMENDACIONES.....		132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		135
INDICE DE FIGURAS.....		137
INDICE DE TABLAS.....		140
ANEXOS		141

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El propósito del presente trabajo es analizar la actualización del Sistema SCADA de los equipos de ayudas luminosas para mejorar las operaciones en las pistas de vuelo del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, considerando la gran importancia que tiene para el país como parte del eje económico para las actividades comerciales y de turismo, y para aprovechar esas oportunidades económicas y de integración se requiere tener un aeropuerto robusto y eficiente, el cual se encontraba con la capacidad colapsada y con una proyección de crecimiento de operaciones que no podrían ser soportadas, esto generó que se ejecute la ampliación del aeropuerto y con ello la construcción de una nueva torre de control, una pista adicional y un nuevo terminal para aumentar la capacidad operativa.

Para gestionar ambas pistas y el incremento de área de operaciones se necesita una tecnología que pueda soportar los sistemas que aun funcionan en la pista antigua y a la vez toda la infraestructura tecnológica de ayudas luminosas nueva, el trabajo muestra el análisis del estado actual de los equipos en pista y el análisis tecnológico de la propuesta de un Sistema de Supervisión y Control (SCADA) para los equipos de ayudas luminosas con características que aseguren un aeropuerto moderno, robusto y de clase mundial.

Se describe la tecnología de grado industrial para procesos críticos usado en la implementación de la arquitectura SCADA de control distribuido, revisando el hardware, software, PLC, sistemas de control y la integración de equipos de ayudas luminosas de última generación con equipos existentes para el control de la pista antigua, todos estos componentes sobre una red redundante con fibra óptica.

El trabajo describe también la implementación del software del sistema SCADA que será un componente fundamental en las operaciones en pista y que se caracteriza por ser seguro, confiable, de alta disponibilidad y redundante. Los controladores de torre tendrán una herramienta de control distribuido efectivo, con supervisión multiusuario y con sistemas inteligentes de integración y gestión de alarmas.

Palabras Claves: Sistemas SCADA, Control Distribuido, Redundancia, Equipos AGL y Pista de Aterrizaje

ABSTRACT AND KEYWORDS

The purpose of this work is to analyze the update of the SCADA System of the airfield ground lighting equipment to improve operations on the runways of the Jorge Chávez International Airport, considering the great importance it has for the country as part of the economics for the activities commercial and tourism, and to take advantage of these economic opportunities and integration it is necessary to have a robust and efficient airport, which had collapsed capacity and this expansion of operations of the airport was projected a growth of operations that could not be supported, that is the reason of execution the expansion of the airport and with it the construction of a new control tower, an additional runway and a new terminal to increase operational capacity.

To manage both runways and the increase in the area of operations, a technology is needed that can support the systems that still function on the old runway and at the sametime the entire new airfield ground lighting technology infrastructure, this work shows the analysis of the current state of the AGL equipment on the runway and the technological analysis of the proposal for a Supervision and Control System (SCADA) for airfield ground lighting equipment with characteristics that ensure a modern, robust and world-class airport.

The industrial grade technology for critical processes used in the implementation of the distributed control SCADA architecture is described, reviewing the hardware, software, PLC, control systems and the integration of state-of-the-art airfield ground lighting equipment with existing equipment for control of the old runway, all these components on a redundant network with fiber optics.

The work also describes the implementation of the SCADA system software that will be a fundamental component in runway operations and is characterized by safe, reliable, highly available and redundant. The tower controllers will have an effective distributed control tool, with multi-user supervision and intelligent integration and alarm management systems.

Keywords: SCADA Systems, Distributed Control, Redundancy, Airfield Ground Lighting Equipment and Runway.

INTRODUCCIÓN

El Aeropuerto Internacional Jorge Chávez es el aeropuerto más importante del país, es la puerta principal al país, de entradas y salidas de pasajeros, así como de la carga nacional e internacional como eje para la economía de la industria nacional, desde el año 2001 desde que se concesiono el AIJCH, el Perú se posiciona como un país con su economía sólida, ganador de premios internacionales como “Mejor destino culinario de Sudamérica”, “Mejor destino cultural de Sudamérica” y “Mejor destino líder de Sudamérica” , por ello y otros factores económicos se presentó un crecimiento agresivo del aeropuerto, es por ello que se consideró dentro del plan de crecimiento al ampliación del aeropuerto, ya en el año 2014 la curva de crecimiento subía anualmente y desborda la capacidad de operaciones llegando a 15.6 Millones cuando la capacidad del aeropuerto era de solo 10 millones de pasajeros.

En el 2017 con 20.6 Millones de pasajeros usando la colapsada infraestructura, se comienza el proyecto de ampliación con los estudios de impacto ambiental y de ingeniera para plantear el diseño del nuevo aeropuerto, que consideraba una ampliación de superficie adicional de 7,000 Ha., donde se construiría la nueva torre de control como centro de operaciones con infraestructura moderna y con sistemas actualizados, por otro lado para aumentar la capacidad operativa de los vuelos se construiría una nueva pista, áreas de almacenes, almacenes de combustible y ampliación de zona de carga.

Como parte de la ampliación, se requería la actualización del sistema de control de las ayudas luminosas en pista para las operaciones aeronáuticas en pista, un proyecto de cambio tecnológico de esta envergadura tanto por su importancia directa sobre las operaciones aeronáuticas como por la implementación en si de tecnología industrial de un Sistema SCADA de alta gama con características muy especiales orientados a la supervisión, control y gestión de alarmas de los equipos de ayudas luminosas, con funciones de control distribuido, manejo de base de datos y redundancia.

El presente trabajo intenta transmitir esta experiencia para ser referente para profesionales que se orienten a la automatización de procesos y sistemas de control distribuido, es por ello que el trabajo se ha distribuido de la siguiente manera:

Capítulo I: Comprende los Datos Generales de la Empresa como las actividades principales, servicios, descripción del área, su reseña histórica y la realidad problemática de la cual trata este trabajo, asimismo considera los problemas identificados y los objetivos que deseamos documentar en este trabajo.

Capitulo II: Comprende el Marco Teórico, incluyendo los antecedentes nacionales e internacionales, así como las bases teóricas orientadas a dar el fundamento para entender los conceptos de sistemas SCADA, de la infraestructura y características de un aeropuerto, de las características de las pistas de vuelo, de las operaciones aeronáuticas en pista y de las características de los equipos de luces de pista.

Capitulo III: Comprende una descripción de mi perfil profesional para evaluar mi compatibilidad para el desarrollo del trabajo, el contexto laboral en la que me desarrollo y la experiencia profesional desarrollada mediante una descripción de las actividades que he realizado, la cual se resume en años de experiencia en el desarrollo de proyectos de cambios tecnológicos.

Capitulo IV: Comprende la Aplicación Práctica, donde se describe el desarrollo del análisis de la realidad problemática para entender la situación actual del sistema de control de las luces de pista y de la documentación de la solución que fue la actualización del sistema SCADA, revisando los aspectos orientados al análisis del hardware, software, equipos de control y comunicaciones que formaron parte de la implementación del Sistema SCADA.



CAPITULO I: INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1.1 DATOS GENERALES

1.1.1 Razón social

Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A. - CORPAC

1.1.2 RUC

20100004675

1.1.3 Dirección

Av. Elmer Faucett S/N - Aeropuerto Internacional "Jorge Chávez",
Callao 1 – Perú

1.1.4 Contacto

José Alberto Díaz Zegarra
Gerente Central de Navegación Aérea (e)
Teléfono: 978471356

1.2 ACTIVIDAD PRINCIPAL

Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A. llamado CORPAC es una empresa estatal sujeta al régimen privado, que gestiona los aeropuertos y brinda el soporte de navegación aérea para los vuelos que están dentro del país.

CORPAC está en una constante modernización que busca la transformación digital y la reorganización interna centrándose en la excelencia y en cumplimiento a los estándares nacionales e internacionales siendo considerado uno de los más altos de la región, para así lograr metas de mayor capacidad de operaciones de vuelos, consolidando y fortaleciendo el crecimiento de la integración aerocomercial del Perú.

CORPAC se encarga de la gestión del tránsito aéreo nacional y de brindar comunicaciones, información meteorológica y aeronáutica a cada uno de los aviones que vuelan sobre territorio nacional en tránsito o vaya aterrizar o despegar en algún aeropuerto peruano.

Para ello establece, administra y conserva los servicios que ayudan a la aeronavegación, las radiocomunicaciones aeronáuticas, las ayudas luminosas en pista y otros servicios necesarios para la seguridad de las operaciones aéreas.

Asimismo, opera, controla y equipa los aeropuertos comerciales abiertos al tránsito aéreo, incluyendo las dependencias, los servicios, las instalaciones y los equipos requeridos por la aeronáutica, de acuerdo con las normas internacionales.

1.2.1 Servicios

Los Servicios prestados por CORPAC son los orientados a salvaguardar las actividades aeronáuticas, tanto para las aeronaves como para los pasajeros, en este contexto se dan las directivas y los lineamientos a fin de mantener las actividades con altos niveles de modernización ya que el mercado aeronáutico requiere actualización tecnológica constante.

Dividiéndose en:

1.2.1.1 Servicios Aeronáuticos

Son las actividades realizadas a las aeronaves asegurando la seguridad de los vuelos que cruzan espacio aéreo peruano.

Determina leyes, normas y procedimientos para el tránsito y operaciones aéreas de modo seguro, brindando también información meteorológica requerida para que los sistemas de vuelo y pilotos realicen sus maniobras. Se divide en:

1.2.1.1.1 Control de Tránsito Aéreo

Mediante el control de las rutas aéreas, del desplazamiento en zonas del aeropuerto y las operaciones de despegue y aterrizaje mediante herramientas, personal y sistemas, se asegura a las aeronaves, carga y pasajeros. Para lo cual se usa el radar que nos permite ver aeronaves y monitorear su trayecto, rumbo, altura siendo estas fundamentales para las operaciones exitosas.

Mediante lo antes comentado se puede realizar la planificación de las rutas, separaciones y secuencias requeridas para las distintas operaciones.

1.2.1.1.2 Servicios de Meteorología

Se brinda toda la información meteorológica necesaria para las funciones aeronáuticas, así las aeronaves y operadores reciben esta información que asegura que los sistemas consideren estos valores para realizar las operaciones de modo seguro.

La información meteorológica se comparte mediante múltiples medios de comunicaciones de radio y digitales logrando que en tiempo real las aeronaves y operadores tengan los valores como velocidad de viento, temperaturas, dirección de viento, visibilidad, imágenes de satélites meteorológicos, asimismo información con protocolos estándares a nivel mundial para tener el pronóstico en cada aeródromo y así validar las operaciones.

EL servicio tiene una red de telecomunicaciones meteorológicas conectando algo de 30 aeropuertos a nivel nacional, asimismo está conectada a la red internacional de telecomunicaciones aeronáuticas y a la red de telecomunicaciones meteorológicas de la Organización Mundial de Meteorología – OMM.

1.2.1.1.3 Servicio de Comunicaciones Fijas

Se brinda la administración y supervisión del correcto funcionamiento de la Red de Telecomunicaciones Fijas Aeronáuticas, para el ámbito nacional e internacional, siguiendo los lineamientos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La red de telecomunicación aeronáutica (ATN) permitirá la interconexión a nivel mundial entre usuarios finales, sobre diferentes enlaces de comunicaciones aire/tierra y tierra/tierra.

1.2.1.1.4 Área de Normas y Procedimientos

Se encarga de establecer los procedimientos, rutas de vuelo, y normativas necesarias para la ejecución de las operaciones aeronáuticas dentro de nuestro país.

1.2.1.1.5 Radio Ayudas

Se brinda las señales de radio las cuales con información orientan a la aeronave en el procedimiento de aproximación y aterrizaje.

Los sistemas que actualmente se operan son el Radiofaro no direccional (NDB) que son antenas que emiten una señal de radio en frecuencias de larga distancia la cual el piloto detecta y puede orientarse, el Radiofaro Omnidireccional VHF (VOR) similar al NDB, pero en alta frecuencia con lo cual el sistema de aeronave detecta y tiene una orientación más exacta y el Sistema de Aterrizaje Instrumental (ILS) que es un sistema más moderno y que esta normalizado internacionalmente para que los sistemas de control de la aeronave pueda ser direccionado de manera exacta para el procedimiento de aterrizaje.

1.2.1.1.6 Sistemas Radar de Vigilancia

El RADAR es un sistema de radiolocalización, en el cual, mediante un pulso de radio enviado al aire, es capaz de determinar la posición, la distancia, ángulo y velocidad de una aeronave.

El Sistema de Radar está compuesto por una red de información de 8 radares los cuales ubicados estratégicamente se logra integrar la data de los radares de todo el país, así los controladores de cada aeródromo disponen de la información actual de las aeronaves en vuelo en el espacio aéreo peruano.

1.2.1.1.7 Servicio de Información Aeronáutica

Se encarga de distribuir la información, normas y procedimientos a todos los usuarios aeronáuticos a nivel nacional a fin de manejar la misma información para asegurar las operaciones en aire y aeropuertos.

1.2.1.1.8 Ayudas Luminosas

Son los servicios que proporcionan en cada aeropuerto a fin de dar ayuda visual a los operadores aeronáuticos para las operaciones en pista para lograr que la aeronave tenga la trayectoria de aproximación, de aterrizaje y del movimiento desde la pista hacia plataforma y viceversa. Se cumple estándares internacionales para el uso de equipos normados en tamaños, colores, patrones y posiciones, de acuerdo a la categoría de cada aeropuerto, asimismo de los sistemas complementarios como los soportes adecuados, equipos de energía, subestaciones y sistemas de control.

1.2.1.2 Servicios Aeroportuarios:

Son los servicios dados en cada sede aeroportuaria con el fin de garantizar la seguridad en las instalaciones tanto de las personas que estén en las instalaciones como de los pasajeros y de las aeronaves.

Son los siguientes:

1.2.1.2.1 Seguridad Aeroportuaria

Cada sede posee una área a fin de garantizar la seguridad de las personas, para ello se dispone de niveles según el área en donde se encuentre, a esto se asocia la interrelación con instituciones complementarias como Policía, Antidrogas, Migraciones, Explosivos, Salud, Aduanas y Control de ingreso a Salas entre otros, así como personal propio asignado a controles entre áreas de personas, pasajeros y zonas de plataforma, teniendo así protocolos y procedimientos para cada situación que se pudiera presentar.

1.2.1.2.2 Salvamento y Extinción de Incendios

Ante cualquier siniestro se dispone de un grupo de personal de salvamento y bomberos que garantizan una rápida y eficiente reacción, así se dispone en distintas partes del aeropuerto estaciones de salvamento y que están listos a actuar ante cualquier evento, más aún en cada operación aeronáutica.

1.2.2 Organigrama

1.2.2.1 Organigrama General de CORPAC

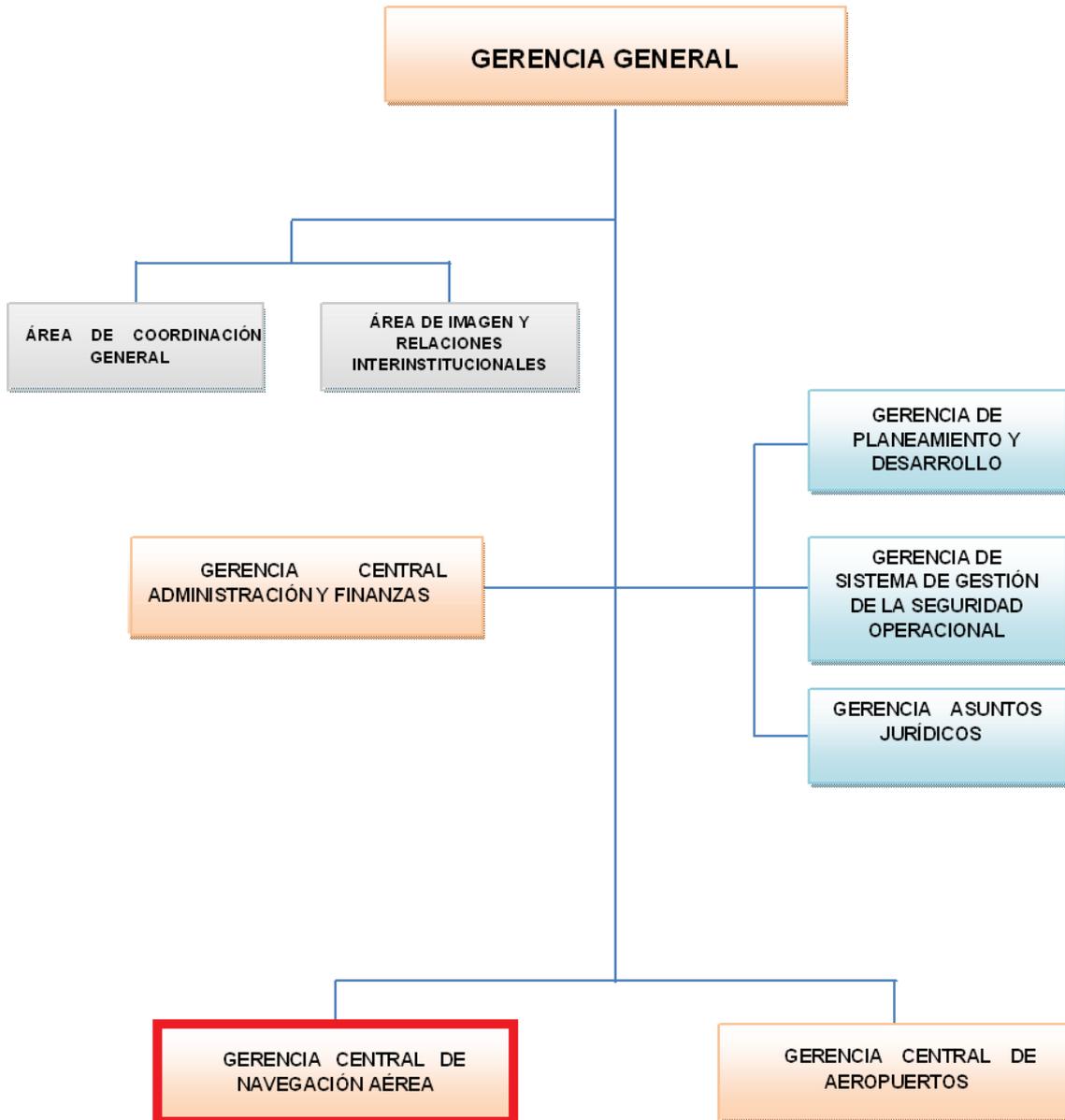


Figura 1.1: Organigrama General de CORPAC (Fuente: Manual de Organización y Funciones del Gerente General CORPAC – 2020)

1.2.2.2 Organigrama de la Gerencia Central de Navegación Aérea

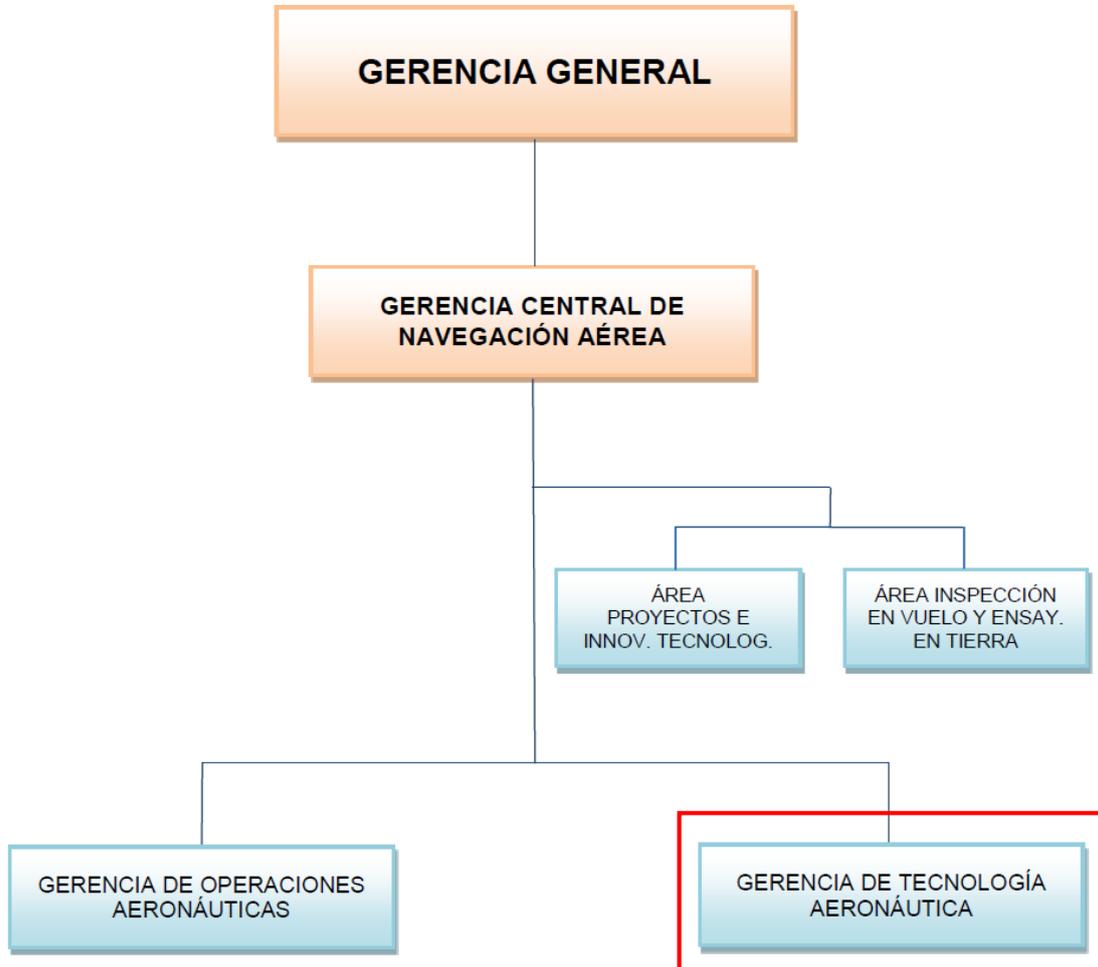


Figura 1.2: Organigrama Gerencia Central de Navegación Aérea (Fuente: Manual de Organización y Funciones del Gerente Central de Navegación Aérea CORPAC – 2019)

1.2.2.3 Organigrama de la Gerencia de Tecnología Aeronáutica

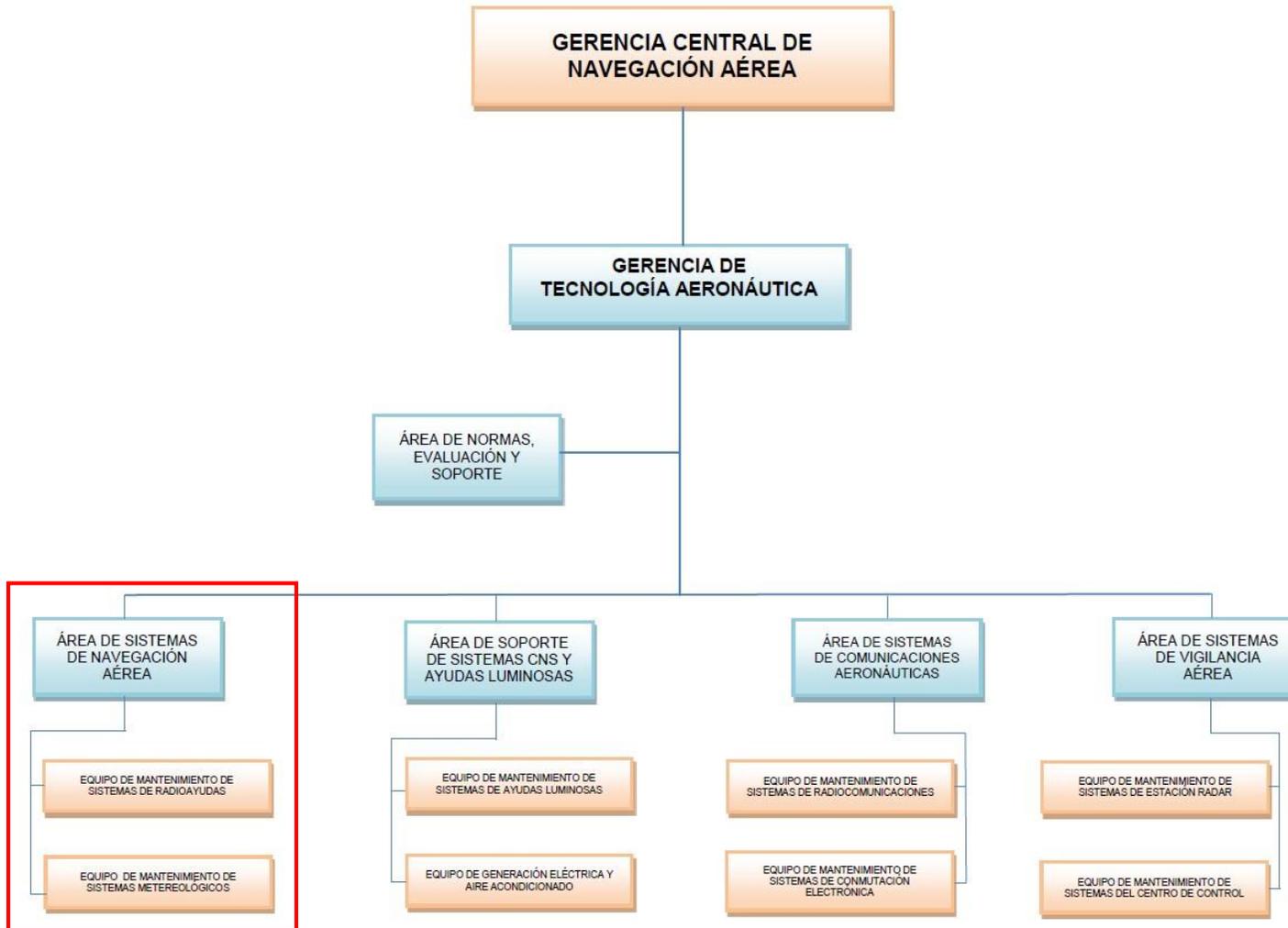


Figura 1.3: Organigrama Gerencia de Tecnología Aeronáutica (Fuente: Manual de Organización y Funciones del Gerente Tecnología Aeronáutica CORPAC – 2019)

1.2.3 Certificaciones

- **ISO 9001-2015**

Obtenido en el año 2007, revalidado en varias oportunidades y vigente hasta el 2024.

- **ISO 14001-2015**

Obtenido en el año 2004, revalidado en varias oportunidades y vigente hasta el 2024.

- **ISO 45001-2018**

Obtenido en el año 2013, revalidado en varias oportunidades y vigente hasta el 2024.

1.2.4 Premios y Reconocimientos

- **World Travel Awards**

Los World Travel Awards son los premios más reconocidos para el sector aeroportuario, allí se evalúa los servicios brindados a los pasajeros y operadores. El Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, ocupó el primer lugar en 6 oportunidades, como el Aeropuerto Líder de Sudamérica.



Figura 1.4: Premios del Aeropuerto (Fuente: Pagina Web de los Premios World Travel Award)

1.3 RESEÑA HISTÓRICA Y REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.3.1 Reseña Histórica de la Empresa

Se fundó el 25 de junio del año 1943, en el distrito de San Isidro llamándose inicialmente Compañía Administradora de Aeropuerto (CADA) funcionó como área en donde aviones comerciales, de carga, correspondencia, e incluso de pasajeros realizaban sus actividades.

Debido al crecimiento de la ciudad y del turismo, se optó por buscar una nueva área más amplia que permita las actividades con mayor cantidad de personas, del mismo modo permita el ingreso de aeronaves cada vez más grandes, así en los años 60, se construye el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, dejando de funcionar la sede original de CORPAC como aeropuerto comercial.

1.3.2 Realidad Problemática de la Empresa:

Desde el año 2001 en la cual el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez fue concesionado el manejo de las operaciones de pasajeros a Lima Air Partner LAP, el crecimiento ha sido fuerte y agresivo al punto que en el año 2016 el aeropuerto llegó al colapso de operaciones y tener dificultades de capacidad tanto de terminal, como de maniobras en pista. A pesar de las ampliaciones realizadas por LAP en el Aeropuerto, la capacidad de pasajeros solo era de 10 Millones / Año, llegándose al 2016 con casi 19 Millones.

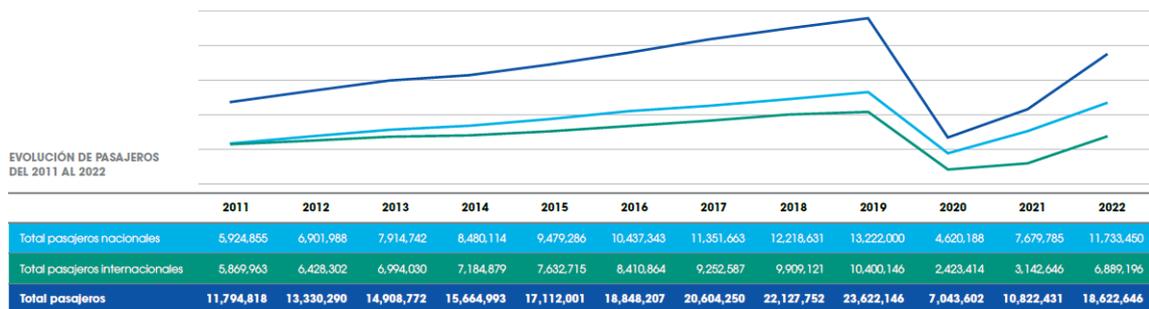


Figura 1.5: Cuadro de Evolución de Pasajeros del 2011 al 2022 (Fuente: LAP)

Ante esa situación se realizó el Proyecto de Ampliación del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez el cual consistía en:

- Ampliación del Área física del Aeropuerto, expropiando áreas agrícolas y reubicando a poblaciones aledañas.
- Construcción de una Nueva Torre de Control.
- Construcción de una Nueva Pista y Campo de Vuelo.
- Construcción de un Nuevo Terminal de Pasajeros.
- Construcción de Áreas de Almacenaje, Combustible y Auxiliares.



Figura 1.6: Vista General del Proyecto Ampliación AIJCH (Fuente: LAP)

Para poder operar el Sistema de Ayudas Luminosas para las operaciones de las aeronaves se cuenta con un sistema SCADA básico el cual maneja los sistema de la Pista Actual, mediante un sistema antiguo basado en comunicaciones seriales para la comunicación desde el HMI de Torre de Control a Sala de Control lo cual no aseguraba los tiempos de respuesta del sistema, presentándose problemas para la supervisión, control, alarmas y no se tenía redundancia ya que al caer cualquier elemento del sistema actual, generaba fallas de control.

1.3.3 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo la actualización del Sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para mejorar las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje?

1.3.4 PROBLEMAS ESPECIFICOS

¿Como la actualización del sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mejora la supervisión en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje?

¿Como la actualización del sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mejora el control en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje?

¿Como la actualización del sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mejora el sistema de alarmas en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje?

¿Como la actualización del sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez mejora la redundancia en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje?

1.3.5 OBJETIVOS GENERAL

Actualizar el Sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para mejorar las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje.

1.3.6 PROBLEMAS ESPECIFICOS

Actualizar el Sistema SCADA del sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para mejorar la supervisión en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje.

Actualizar el Sistema SCADA del sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para mejorar el control en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje.

Actualizar el Sistema SCADA del sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para mejorar el sistema de alarmas en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje.

Actualizar el sistema SCADA del sistema de Ayudas Luminosas de las Pistas de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez para mejorar la redundancia en las Operaciones en las Pistas de Aterrizaje.

1.4 MISIÓN, VISIÓN Y VALORES

1.4.1 Misión:

"Gestionar los Servicios de Navegación Aérea y Aeroportuarios con seguridad, eficiencia, calidad y responsabilidad ambiental, contribuyendo al desarrollo socioeconómico del país"

1.4.2 Visión:

"Ser una empresa reconocida, líder en la gestión y provisión de los Servicios de Navegación Aérea y Aeroportuarios; con innovación, sostenibilidad y formación del talento humano"

1.4.3 Valores:

- **Excelencia en el servicio:** Se busca que la gestión de los procesos y servicios aeronáuticos brindados a todos los usuarios sean excelentes y se logre superar las metas trazadas.
- **Compromiso:** El crecimiento y desarrollo de los colaboradores, los ciudadanos y de las comunidades es el compromiso de la gerencia, vigilando la sostenibilidad de las iniciativas y el cumplimiento responsable de sus compromisos.
- **Integridad:** El eje de las actividades están basados en principios éticos, siendo honestos, veraces, equitativos, y justos. Se respeta la diversidad en todos sus sentidos, de creencias y opinión.
- **Innovación:** Se incentiva la creatividad y promovemos el desarrollo de nuevas ideas mediante la cooperación y trabajo en equipo, en busca de la mejora continua logrando la calidad y excelencia de los servicios orientados a la generación de valor
- **Seguridad:** Se busca mejorar la cultura de la seguridad y la gestión de los riesgos, para así producir resultados en los servicios que brinda nuestra organización, considerando las expectativas de nuestros grupos de interés.
- **Sostenibilidad:** Contribuimos al desarrollo de una cultura orientada a la sostenibilidad integral, manteniendo equilibrado los sistemas ambientales, sociales y económicos, como un medio para conseguir la prosperidad del ser humano y la comunidad en todas sus formas. Promovemos el desarrollo sostenible y la responsabilidad ambiental, como medios para conseguir la prosperidad de nuestra sociedad actual y futura.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DONDE EL BACHILLER REALIZÓ SUS ACTIVIDADES

1.5.1 Gerencia de Tecnología Aeronáutica

Es el área encargada de gestionar las actividades de mantenimiento técnico en los equipos aeronáuticos y de las instalaciones, asimismo define los planes y procedimientos para la ejecución de los presupuestos del área a fin de garantizar la operatividad de los sistemas y equipos de navegación aérea, meteorología, ayudas luminosas y de soporte, que son la base de las operaciones aeronáuticas.

Las funciones principales de la Gerencia son:

- *“Gestionar la planificación, dirección, supervisión y evaluación de las tareas de operación, mantenimiento de los sistemas de navegación aérea (vigilancia aérea, comunicaciones aeronáuticas, navegación aérea, meteorología, ayudas luminosas y de sus sistemas de soporte) en todo el Perú de acuerdo a las normativas y regulaciones vigentes tanto nacionales como internacionales”.* (Manual MOF G. Tec. Aeronáutica CORPAC, 2018, p. 16).
- *“Supervisar el cumplimiento de las normas establecidas por los organismos internacionales relacionadas con la aeronáutica y las comunicaciones aeronáuticas (Organismo de Aviación Civil Internacional-OACI, CCITT, Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT y Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones-CCIR)”.* (Manual MOF G. Tec. Aeronáutica CORPAC, 2018, p. 16).
- *“Dirigir y supervisar las actividades técnicas en tierra, para la ejecución de las inspecciones en vuelo y ensayos en tierra verificando la correcta operatividad de los sistemas y equipos de navegación aérea aplicables, controlando la implementación de las recomendaciones y observaciones resultantes”.* (Manual MOF G. Tec. Aeronáutica CORPAC, 2018, p. 16).
- *“Gestionar los estudios, investigación, planificación e implementación técnica de gastos de capital relativos a las inversiones de reposición, rehabilitación, modernización y ampliación y otros, asignados a la Gerencia, de la plataforma tecnológica para brindar un eficiente servicio, acorde con los planes de navegación aérea y/o requerimientos operacionales, supervisando la elaboración de las especificaciones técnicas, términos de referencia y expedientes técnicos para los procesos de contrataciones de bienes, servicios y obras, así como sus correspondientes aprobaciones”.* (Manual MOF G. Tec. Aeronáutica CORPAC, 2018, p. 16).

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 MARCO TEORICO GENERAL

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Molina Araujo, Manuel Eduardo (2018). Sistema SCADA para la supervisión en tiempo real de medidores industriales de energía en la empresa Novacero S.A. Universidad Técnica de Ambato. Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones. Ambato, Ecuador.

El trabajo aborda la problemática de la Empresa Novacero S.A., empresa dedicada a productos metalúrgicos de fundición y moldeo frente a la realidad de la industria ecuatoriana y los retos de la modernidad para lograr establecerse como una empresa moderna y eficaz, con ello la manufactura moderna tiene que lograr reducción de tiempos de proceso o recambio de recetas, sin con ello perder los estándares de calidad exigidos por lo clientes, para así no tener mermas en los aspectos productivos.

Es en este contexto en la cual las herramientas de Supervisión y Control son fundamentales para la adquisición en tiempo real de las variables de producción y mediante aplicación de software estadístico lograr mejorar los indicadores productivos en tiempos cada vez más eficientes, logrando incluso predecir tendencias y que se pueda tomar decisiones gerenciales que logren tener la empresa enfocada en mejora constante.

Los procesos en planta tradicionalmente han estado relegados a informes mensuales o semanales en la cual después de acopiar los reportes manuales, pasar a hojas Excel y resumirse, para así tener las estadísticas y evaluar decisiones, la competitividad necesaria hoy hace que se busque explotar al máximo las herramientas de Redes, Base de Datos y Software para así mediante algoritmos se logren tener los datos estadísticos y de toma de decisiones en tiempo real, esto gracias a una buena implementación del Sistema SCADA.

Siendo los procesos principales en planta los equipos de fundición y moldes, una de las variables más importante es la evaluación de los consumos eléctricos, es por ello que el objetivo del trabajo se centra en la implementación de un SCADA para la Supervisión en Tiempo Real de los medidores de energía, con lo cual se evalúa las herramientas de supervisión necesarias, así como la implementación del hardware y comunicaciones en planta.

La implementación logro aprovechar la capacidad instalada de los medidores eléctricos los cuales se comunicaron en red, integrándolas a la infraestructura informática y al SCADA para la supervisión en tiempo real de los consumos eléctricos en planta, obteniendo reportes actualizados de cada proceso.

Se logro integrar los equipos antiguos al nuevo sistema aprovechando la vida útil de dichos equipos.

Cristian Alejandro Vásquez Catalán (2017). Diseño y puesta en marcha de aplicación SCADA para empresa CMPC Maderas, planta Plywood. Universidad de Concepción. Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Electrónico. Concepción, Chile.

El trabajo aborda la problemática de una planta de fabricación de placas contrachapadas de la empresa Plywood, CMPC Maderas S.A., ubicada en la localidad de Mininco para realizar el desarrollo de una actualización de la aplicación SCADA en sus procesos de producción como solución a los problemas de control y supervisión en el sistema actual, que por el tiempo han quedado obsoletos y no presentan las características necesarias para supervisar los procesos actuales.

El sistema actual fue desarrollado por versión antigua del WinCC de Siemens, y no tiene considerado las interfaces graficas necesarias para controlar los procesos según las nuevas normativas, asimismo es lento, sin capacidades de tolerancia a fallos y si un adecuado manejo de alarmas.

Se realizo un estudio en todos los procesos y sus variable, observando que los programas de los controladores no requieren modificaciones, sin embargo en HMI actual no se ajustaba a los requerimientos de los procesos, del mismo modo se requería dar una herramienta rápida y efectiva para manejarse entre los procesos, se realizo el estudio y programación de las nuevas interfaces apoyándose en las normativas ISA101 en la cual mediante usa sola pantalla mostraría al operador las principales variables del proceso, alarmas y accesos según atributos del usuario.

El nuevo sistema aumento la rapidez de acceso a las pantallas de los procesos, acceso a alarmas y tendencias que antes no se tenían, asimismo se pudo dar lógicas programables de fácil acceso con el rediseño de las pantallas de acceso, los menús implementados ayudaban a los operadores a un manejo más fácil y ergonómico, asimismo se aplicó colores según las normas que ayudaban mediante el uso de semáforos evaluar rápidamente estados de alarmas, procesos y tendencias.

El trabajo demostró que el uso adecuado de las herramientas SCADA permite tener una supervisión y control eficiente de los procesos, ayudando a mejorar la producción mediante acciones inmediatas gracias al acceso inmediato de tendencias, alarmas e históricos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Caycho Ayala, Jannina Magaly (2021). Migración de Sistema SCADA Independiente a un Sistema SCADA Cliente Servidor para la Planta Refinería de Aceite en una Empresa. Universidad Ricardo Palma. Trabajo de Suficiencia Profesional previo a la obtención del título de Ingeniero Informático. Lima, Perú.

El trabajo aborda la problemática de la Empresa de Elaboración de Aceites y Grasas de Vegetales y Animales con nombre reservado, el cual desde su instalación en Perú desde el año 2012 ha venido creciendo en sus procesos y volúmenes de producción, en la actualidad cada uno de los 8 procesos son manejados con sistemas stand alone de monitoreo y control, al ser sistemas independientes, estos no comparten información, estando en esta situación se presentan los riesgos de caída de sistemas, falta de alarmas, falta de reportes, perdidas de data de producción, así como la falta de integridad de información de los procesos ya que son los operadores lo que al final controlan y manejan el sistema en cada proceso como islas de información.

La situación de la seguridad de los sistemas por riesgos de virus, la antigüedad del hardware y software usados, y para poder analizar los datos de producción para efectos de planeamiento o gestión generaba que los operadores tengan que disponer de la PC para estas labores administrativas generando pérdidas de tiempo y retrasos en la toma de decisiones gerenciales.

La migración del sistema en un SCADA Cliente Servidor es determinante para la consolidación de los procesos de producción, lograr supervisar y controlar de manera efectiva con características de sistemas distribuidos que garantizan un trabajo efectivo y permanente, así como la recolección de datos de producción y estadísticas de manera rápida con información confiable asegurar una buena disposición de data para la toma de decisiones gerenciales.

Al realizar la migración en relación a sistemas de más de 10 años de antigüedad, se aprovechó las tecnologías de base de datos, elaboración de HMI, alarmas y reportes modernos e integrados en servidores lo cual asegura el acceso de manera horizontal e inmediato según el nivel o jerarquía del usuario, esto garantizara mecanismos modernos de información y gestión de la planta.

Fuentes Campos, Gianmarco Ricardo, Jannina Magaly (2020). Diseño de un Sistema automático HMI / SCADA para el control del tanque dasaireador del área de calderos de la Empresa Agroindustrial Tumán S.A. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Trabajo de Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico. Lambayeque, Perú.

El trabajo aborda la problemática de la Empresa Agroindustrial Tumán S.A., empresa dedicada a la fabricación de azúcar, la cual tiene algunos sistemas antiguos, generando que algunos de los procesos puedan parar por fallas, así como no tener sistemas de adquisición de datos que puedan ayudar al monitoreo, control, reportes y alarmas que ayuden a tener un control moderno del proceso.

Los procesos que involucra la fabricación de la azúcar, a parte del tema mecánico del corte de caña y la molienda, son relacionados a procesos que se realizan fundamentalmente con vapor para así calentar el zumo de caña, evaporar los líquidos, secarlo y cristalizarlo, para ello el vapor generado por las calderas son críticas, sin embargo, el tanque desaireador sistema con casi de 20 años de antigüedad, tenía los instrumentos y equipos obsoletos y algunos funcionando mal, sin comunicaciones o medios modernos de adquirir la información y monitorear su funcionamiento.

Para garantizar mejor control y estabilidad de temperatura en los calderos, se requería modernizar las funciones del tanque aireador, actualizando los instrumentos, así como instalar un SCADA como medio de tener un sistema de control y monitoreo moderno, garantizando así la estabilidad de las temperaturas en los distintos procesos.

Se logro implementar el SCADA para el monitoreo y control del proceso, se implementó algoritmos de control de la válvula de nivel, logrando así trabajo estable de los calderos. Mediante la implementación se observa que se logró mejorar el control del sistema, así como se obtuvo los datos del sistema en tiempo real, logrando así obtener mejorar en el proceso.

1964

2.2 MARCO TEORICO ESPECIFICO

2.2.1 Sistema SCADA

Sistema SCADA acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition* o Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos, son sistemas utilizados para controlar, monitorear y analizar procesos y dispositivos críticos en industrias.

Está compuesto por componentes de hardware y software, el hardware adquiere o controla los datos de los sistemas de control en campo y lo comunica al software, mediante este se logra procesar, estructurar, analizar y presentar los datos de los equipos en tiempo real para así según la lógica programática tomar el control de equipos y condiciones. El software presentará la información mediante la interfaz Hombre-Maquina (HMI) y en esta se podrá ver el estado del proceso, los datos y definir alarmas.

De este modo las organizaciones pueden tomar e implementar decisiones fundamentados en datos en tiempo real con respecto a sus procesos, se aplica a cualquier tipo de proceso e industria. (Rodríguez Penin, 2012, p.19).

Según Rodríguez (2012) los sistemas SCADA tiene las siguientes características:

La Monitorización

Representación de los datos en tiempo real para que los operadores puedan ver los datos interpretados o directos de los sensores o controladores, esto permite tener una visión del proceso ya sea grafica o numérica de lo que esta ocurriendo en los procesos.

La Supervisión

La supervisión de los valores que se tienen en el proceso y mediante la gestión para la toma de decisiones permite elaborar reglas, disparadores y programación para ejecutar acciones y modificar lo controles bajo ciertas circunstancias así evita la supervisión humana.

Control

Los operadores pueden cambiar valores y datos claves del proceso directamente de desde su estación, actuándose directamente en el control de los equipos de campo.

La Adquisición de Datos de los procesos en observación.

Los datos son adquiridos mediante el uso de sensores, actuadores y/o controladores, de este modo el estado o los valores son llevados a los registros de los controladores para su procesamiento o visualización por los sistemas.

La Visualización de estados de las señales del sistema (Alarmas y Eventos)

Conocimiento inmediato de los eventos excepcionales de la planta y su inmediata presentación al operador para su acción correctiva. Estos eventos y acciones serán registrados y formarán parte del histórico.

Grabación de Acciones o Recetas

Algunos procesos tienen una combinación de variables que se pueden agrupar, permitiendo configurar por grupos, asimismo de acuerdo a tipos de procesos se pueden ejecutar comandos agrupados para cambios de material, de tiempo de proceso entre otras generando lo que se conoce recetas.

Garantizar la Seguridad en los datos y accesos.

El acceso a los datos debe ser protegidos mediante roles o usuarios, registrando el acceso de los usuarios y sus acciones a fin de poder analizar los históricos de cambios en el proceso.

2.2.1.1 Arquitectura de un Sistema SCADA

Según McCrady (2013), la arquitectura del sistema SCADA se divide en:

- Software de Adquisición de Datos y Control (Software SCADA)
- Sistemas de Control
- Sistemas de Adquisición
- Sistemas de Comunicaciones.

2.2.1.1.1 Software de Adquisición de Datos y Control

EL software representa dos aspectos importantes en un sistema SCADA, la representación gráfica del proceso mediante los HMI, y la lógica de control mediante la programación de los datos adquiridos y como será su tratamiento, mediante la aplicación de estaciones múltiples se puede lograr esquemas de control distribuido y cada operador puede tener el control sobre su proceso.

En la actualidad existen software de distintos fabricantes, que ofrecen interfaces y compatibilidad con los controladores, abriendo posibilidades de entornos con opciones de menor coste, los sistemas SCADA de alta gama son conocidos en el mercado y estos se centran en pocas empresas con Siemens y Allen Bradley como empresas as robustas en el desarrollo de software y hardware para sistemas SCADA.

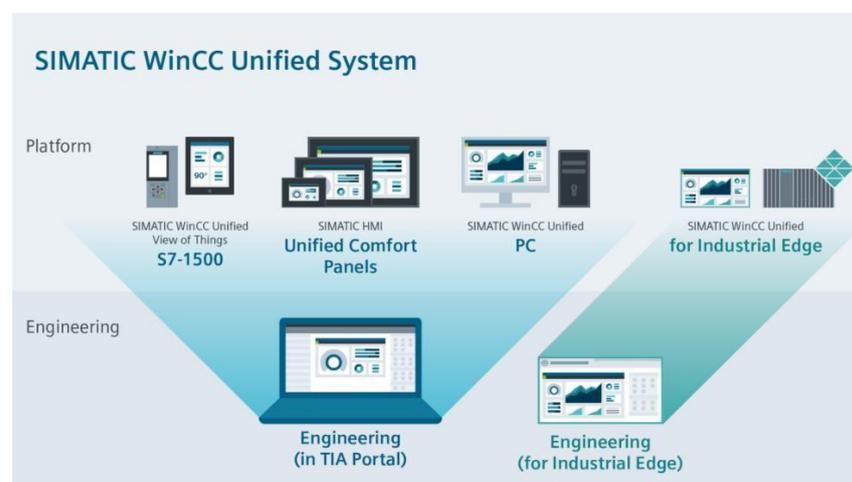


Figura 2.1: Modelo de Software del SCADA WinCC de Siemens (Fuente: Siemens)

2.2.1.1.2 Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit)

La unidad de Control Central, llamada MTU es la encargada de centralizar el mando del sistema, mediante el uso de medios de comunicación abiertas que permita la interconexión con otros sistemas permite la operación multiplataforma y permite la comunicación con sistema remotos, sus funciones son:

- Gestionar las comunicaciones.
- Recopilar los datos de los sistemas remotos.
- Comunicación con los operadores.
- Análisis.
- Gestión de Reportes.
- Visualización de Datos.
- Control.
- Seguridad.

2.2.1.1.3 Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit)

Son las unidades dedicadas a tareas de control y/o supervisión que están alejados del sistema central y están comunicados por algún medio de comunicación.

Se puede dividir en:

- ***RTU (Remote Terminal Unit)***
Unidades remotas que adquieren datos y los envían a la unidad central, son equipos con características especiales de rangos de temperatura y eléctricas más robustas.
- ***PLC (Programmable Logic Controller)***
Los controladores lógicos programables eran sistemas de control dedicados al control de máquinas e instalaciones mediante su lógica programable que buscaba reemplazar la lógica cableada de relay, con el avance en la tecnología se incorporan módulos de comunicación incorporando las funcionalidades de los RTU en estos equipos.
Los PLC a su vez pueden tener un control distribuido mediante módulos de ampliación mediante comunicaciones con buses de campo especialmente diseñados para ampliar el control.
- ***IED (Intelligent Electronic Devices)***
Son los periféricos inteligentes con capacidad de decisión propia ya que incorporan programación básica sobre el valor adquirido, incluso solo se puede poner un punto de disparo como temperatura de disparo para el caso de un sensor de temperatura. Puede ser un sensor, variados de velocidad, temporizador, entre otros.

2.2.1.1.4 Sistemas de Comunicaciones

Para que los sistemas de control puedan realizar el intercambio de información se requiere de una infraestructura que permita dicho intercambio, esto es un medio de comunicación que puede ser físicos o inalámbrico como es el caso de los cables de red y la red wifi, y también se requiere de un protocolo de comunicación que será el método para interpretar las señales y transformarlos en ordenes o información, que sea compatible y estandarizado entre los equipos.

Son las unidades dedicadas a tareas de control y/o supervisión que están alejados del sistema central y están comunicados por algún medio de comunicación.

2.2.1.2 HMI

El Interface Hombre Maquina o HMI es un software que utiliza datos de un sistema en red para proporcionar a los operadores una interfaz o representación gráfica del proceso que permite monitorear los distintos procesos en varios equipos.

Tiene los siguientes componentes:

CONSOLA DE OPERADOR

La consola es donde el operador monitorea y controla el sistema, es de gran importancia e incluye las pantallas, el teclado alfanumérico, el cursor, la comunicación. Las pantallas de múltiples tecnologías proporcionan al operador una visualización de múltiples ventanas. Para el control del cursor se usa la tecnología táctil de la pantalla, asimismo dependiendo del tipo de aplicación se podría usar un mouse. El operador puede tener desde una a más pantallas para una planificación adecuada y múltiples vistas, y las pantallas deben tener capacidad gráfica completa con función de zoom. Las alarmas audibles son una característica destacada de la consola del operador donde se informa al operador de la gravedad de un evento en el sistema. EL puesto del operador debe ser ergonómico considerando la mesa y la silla del operador, para que se sienta cómodo durante el período de servicio.

CUADRO DE DIÁLOGO DEL OPERADOR

Los cuadros de dialogo son los cuadros que aparecen al operador para comunicar eventos o pedir alguna acción, así el operador tomara conocimiento de lo que ocurre en el sistema. También se pueden programar acciones a teclas de funciona para que el operador tome acción ante cualquier estado.

DIAGRAMA MÍMICO

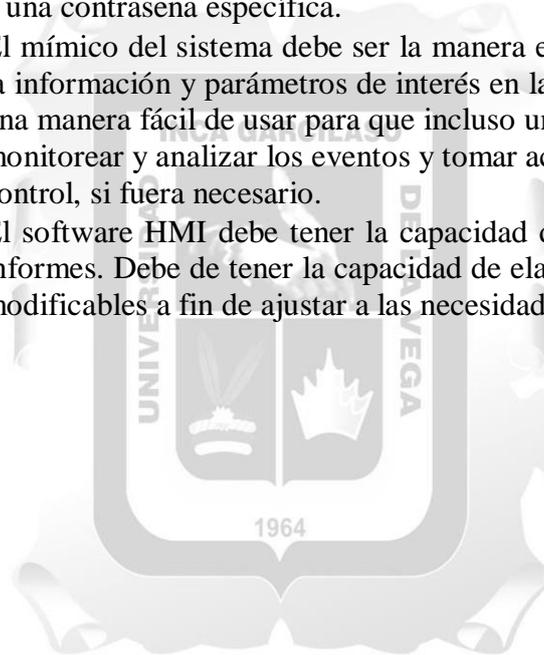
El diagrama mímico es una parte principal de cualquier aplicación SCADA o centro de control donde el operador y el personal a cargo obtienen una visión general de la planta / proceso bajo control.

Se puede tener una pantalla grande con operatividad SCADA completa con múltiples pantallas posibles. Dependiendo del tamaño de los procesos incluso se puede utilizar un mosaico de pantallas.

2.2.1.3 Funcionalidades del HMI

Según Manoj (2019), la selección del software HMI normalmente comienza con un análisis de las especificaciones y características del producto. Las consideraciones clave pueden incluir la arquitectura del sistema, los requisitos de rendimiento, la integración y los costos, se describen algunas:

- Las estaciones HMI debe tener un control de acceso de seguridad basado en permisos y privilegios para proteger el acceso no autorizado al sistema. Como la estación HMI son nodos finales del sistema SCADA, se deben utilizar una identificación de usuario (ID) y una contraseña específica.
- El mímico del sistema debe ser la manera efectiva de mostrar toda la información y parámetros de interés en la HMI. Este debe ser de una manera fácil de usar para que incluso un operador nuevo pueda monitorear y analizar los eventos y tomar acciones correctivas y de control, si fuera necesario.
- El software HMI debe tener la capacidad de preparar históricos e informes. Debe de tener la capacidad de elaborar informes y de ser modificables a fin de ajustar a las necesidades del cliente.



2.2.2 AEROPUERTO

El aeropuerto o aeródromo es aquel terreno que tiene instalaciones y pistas destinadas a operaciones como despegue, aterrizaje y tráfico de aeronaves, asimismo tiene áreas adjuntas para funciones como embarque y desembarque de pasajeros, carga de combustible, mantenimiento, carga, etc.

Según Wells (2004) indica que:

Un aeropuerto es una instalación de transporte compleja, diseñada para atender aeronaves, pasajeros, vehículos de carga y de superficie. Cada uno de estos usuarios es atendido por diferentes Componentes de un aeropuerto. Los componentes de un aeropuerto normalmente se dividen en dos categorías.

El *lado aire (airside)* de un aeropuerto se planifica y gestiona para acomodar el movimiento de aeronaves alrededor del aeropuerto, así como hacia y desde el aire. El lado aire se categorizará como parte del espacio aéreo local o el campo de vuelo. El lado aire incluye todas las instalaciones ubicado en la propiedad del aeropuerto para facilitar las operaciones de las aeronaves, donde maniobran las aeronaves, después del despegue, antes del aterrizaje, o incluso simplemente para pasar de camino a otro aeropuerto.

El lado *tierra (landside)* de un aeropuerto se planifican y gestionan para acomodar el movimiento de vehículos terrestres, pasajeros y carga. Estos clasificarán para reflejar los usuarios específicos que se atienden. El lado tierra está diseñado principalmente para facilitar el movimiento de pasajeros y equipaje desde el lado tierra hasta las aeronaves en el lado aire. El terminal brindará acceso de los vehículos terrestres hacia y desde el área metropolitana circundante, así como entre los edificios que se encuentran en el aeropuerto.

No importa cuál sea el tamaño o la categoría de un aeropuerto, cada uno de los componentes anteriores es necesario para trasladar adecuadamente a las personas de un área metropolitana a otra utilizando el transporte aéreo. Los componentes de un aeropuerto se planifican en una manera que permita el "flujo" adecuado de un componente a otro. (Wells, 2004, p. 100)

Desde la perspectiva funcional el aeropuerto requiere los siguientes componentes que interactúan entre ellos:

2.2.2.1 Torre de Control

Es un edificio dentro del lado aire, desde donde el personal de controladores supervisa y controla el flujo de las aeronaves en plataforma, en calles de rodaje y gestiona el uso de las aeronaves de la pista de vuelo para las operaciones de aterrizaje y despegue.

El grupo de controladores maneja la información meteorológica, radares, comunicaciones tierra-tierra y tierra-aire con las aeronaves, así como verificar que los sistemas de ayudas luminosas y radioayudas estén operando. (RAP314, 2021, p. 1-6).

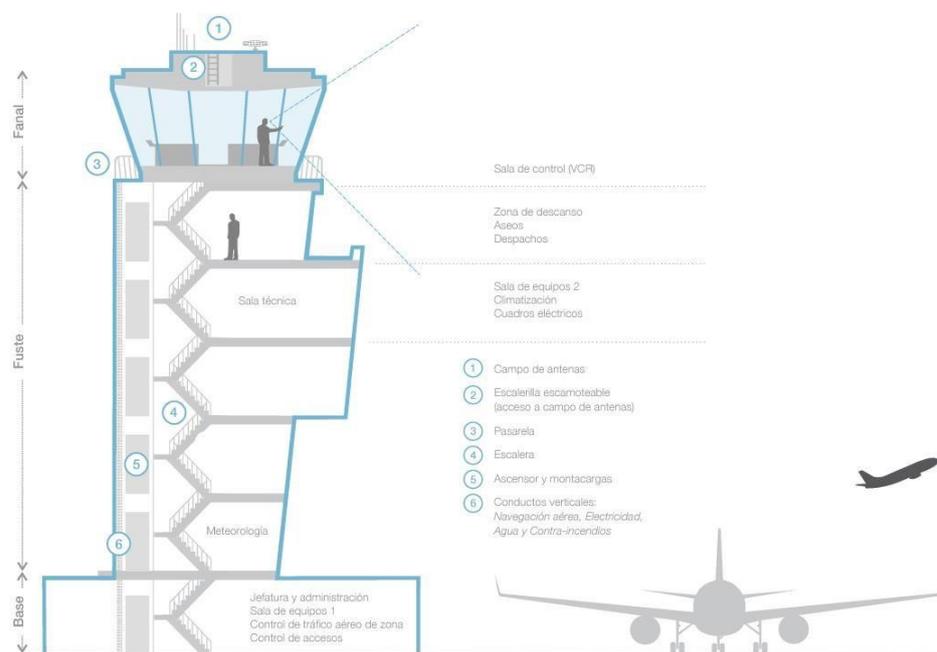


Figura 2.2: Esquema de una Torre de Control (Fuente: OACI)

2.2.2.2 Pista

Es el componente más importante el campo de vuelo, que debe ser gestionada y planificada adecuadamente para garantizar las operaciones. Por ello se aplican una serie de procedimiento y protocolos estrictos a fin de garantizar la seguridad de las aeronaves y pasajeros en las operaciones de aterrizaje y despegue en la pista, que en resumen se define como “Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves”. (RAP314, 2021, p. 1-6).

2.2.2.3 Calle de Rodaje

Se denomina así a las pistas auxiliares diseñadas para tránsito principalmente de aeronaves para darle acceso para transportarse a y desde la pista de vuelo a otras áreas del aeropuerto. Los tipos de calles de rodaje son calles de rodaje paralelas, calles de rodaje de entrada, calles de rodaje de salida.

Una calle de rodaje paralela está en paralelo a una pista de vuelo adyacente, mientras que las calles de rodaje de entrada y salida por lo general están orientadas perpendicularmente a la pista de vuelo, conectando la calle de rodaje paralela con la pista. Calles de rodaje de entrada están ubicados cerca de los extremos de las pistas; Las calles de rodaje de salida están ubicadas en varios puntos a lo largo de la pista para permitir que las aeronaves que aterrizan salgan rápidamente de la pista de vuelo después del aterrizaje.

Las calles de rodaje paralelas normalmente se identifican mediante designadores alfabéticos. La letra utilizada para designar una calle de rodaje es arbitraria, algunos aeropuertos simplemente designan calles de rodaje paralelas en orden alfabético de un extremo al otro.

Las calles de rodaje de entrada, salida y desvío suelen estar designadas por las calles de rodaje paralela, junto con un número que identifica la calle de rodaje específica.

Las calles de rodaje se planifican considerando lo siguiente:

1. Las aeronaves que acaban de aterrizar no deben interferir con el rodaje de aeronaves para despegar.
2. Las rutas de las calles deben proporcionar la distancia más corta entre el estacionamiento de aeronaves áreas y pistas.
3. En aeropuertos muy concurridos, las calles de rodaje normalmente se ubican en varios puntos a lo largo pistas para que las aeronaves que aterrizan puedan abandonar las pistas lo más rápido posible.
4. Son diseñadas para permitir velocidades de salida altas así reduce el tiempo que el avión está en la pista durante el aterrizaje. Estas calles de rodaje se denominan calles de rodaje de salida de alta velocidad o salidas rápidas y normalmente el ángulo de la conexión es de 30 a 45 grados entre la pista con la calle de rodaje paralela.
5. Siempre que sea posible, las calles de rodaje se diseñan de modo que no crucen una pista activa.

2.2.2.4 Plataforma

Es el área entre las calles de rodaje y el terminal, donde las aeronaves estacionan para que los pasajeros realicen la subida y bajada, asimismo el equipaje y cargar aérea.

Las geometría y configuración, dependerá del tráfico aéreo que tiene el aeropuerto, de la distancia que tiene que haber entre los aviones, su tamaño y la operatividad necesaria para la carga y descarga.

2.2.2.5 Terminal

Es el área designada para la interacción entre el lado tierra y lado aire, en la cual los pasajeros mediante los controles adecuados abordaran y arribaran en las aeronaves ya sea mediante escaleras o puentes de abordajes, asimismo los equipajes y carga mediante controles de seguridad pasaran normalmente mediante sistemas de carga o fajas a o desde las aeronaves. Siendo el terminal el punto de ingreso o salida de la ciudad o país, tiene arreas de comercio, restaurantes y servicios relacionados a las actividades aeronáuticas.



Figura 2.3: Componentes de un aeropuerto (Fuente: OACI)

2.2.3 Pista de Aterrizaje

La pista de aterrizaje se define como “Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves” (OACI Anexo 14 V I, 2016, p. 1-7).

Una pista estará establecida dentro de un aeródromo preparada para el aterrizaje (cuando los aviones toman tierra y frenan) y despegue (cuando los aviones aceleran hasta llegar a la velocidad que les permite comenzar vuelo) de aeronaves. Las pistas pueden ser superficies artificiales de asfalto o concreto o superficies naturales (césped, tierra, arena o sal).

Para el diseño de las pistas se considera una serie de factores, para el tema de longitud y ancho, estará determinado por un estudio de las necesidades de cada tipo de aeronave que se piensa operará, para ello se considera factores como distancia mínima para alcanzar la velocidad de despegue en función a las cargas de la aeronave, asimismo el estudio del espacio requerido para el frenado.

2.2.3.1 Configuración de Pista

“El termino de configuración de pista se refiere al número y la orientación relativa de una o más pistas en el campo de vuelo. Existen muchas configuraciones de pista, muchas son combinaciones de las configuraciones básicas. Las configuraciones básicas son pista única, pistas paralelas, pistas intersecadas y pistas en V abiertas” (Robert Horonjeff y otros, 2010, p.177).

Así las pistas en los Aeropuertos están codificadas de tal modo que el piloto al llegar a un aeropuerto podrá identificar claramente la pista asignada a sus maniobras de aterrizaje ya que la nomenclatura asignada estará disponible visualmente en los extremos de la pista, así como asignado a los sistemas de radioayuda, del mismo modo cuando va despegar una aeronave, se le asigna una pista para su maniobra, y esta estará asignada a dicha aeronave hasta el término de su operación, esto sincronizado con factores de estudio de vientos para lograr mejoras aerodinámicas según se requiera.

2.2.3.1.1 Cabecera u Orientación

Para el despegue o aterrizaje para las aeronaves es muy ventajoso realizarla en contra de la dirección del viento, para así mejorar la eficiencia de vuelo, consumo de combustible y estabilidad, es por ello que para definir la dirección de pista se hace un estudio de áreas libres para la aproximación y despegue, así como el factor meteorológico con respecto a los vientos, en el caso de aeropuertos con pocas pistas la orientación será respecto a viento predominante.

2.2.3.1.2 Nombre

El nombre de la pista puede ser de 1 a 36, y es el valor de los grados del ángulo magnético que tenga la orientación dada a la pista debido a viento dominante en decagradados. Así por ejemplo si el viento dominante está en 220° la pista tendría el nombre de Pista 22, las pistas pueden usarse en ambos sentidos y para poder identificar qué lado es el que se usaría el otro extremo tendría el nombre de los grados del viento dominante más 180° , del mismo modo en decagradados, para el ejemplo dado sería la otra cabecera de la Pista 22, sería $220^\circ + 180^\circ = 40^\circ$, por lo que la otra cabecera sería la Pista 04

2.2.3.1.3 Sufijo

En los casos donde haya más de una pista con la misma orientación, se adiciona una letra que indica su posición relativa respecto al ángulo del viento, de este modo podría presentarse estos casos R (Rigth) para cuando este a la derecha, L (Left), cuando este a la izquierda y si hay 3 pistas se usara la C (Center), cuando este en el centro.



Figura 2.4: Configuración de aeropuerto Atlanta en Georgia USA, con 5 pistas con cabeceras P1 (8L-26R), P2 (8R-26L), P3 (9L-27R), P4 (9R-27L) y P5 (10-28), es el aeropuerto con mayor tránsito de vuelos y pasajeros llegando a 110 Millones antes de pandemia. (Fuente IATA)

2.2.3.2 Partes de Pista

Las secciones o partes de una pista tienen su función específica en las operaciones aeronáuticas, estas son bien definidas y están normadas internacionalmente en cuanto a su ubicación, dimensiones, equipos de ayudas luminosas y pintado para su reconocimiento por parte del piloto.

2.2.3.2.1 Aproximación

Son luces que ofrecen una referencia visual del alineamiento y elevación que debe tener la aeronave durante la fase de aterrizaje en casos de poca visibilidad o de noche están en la parte antes del inicio de la pista asfaltada o asentada, en la cual se colocan por lo general en unos postes unas luces blancas en un patrón específico por lo general en líneas de 4 o 5 luces.

La longitud por lo general es de 900 Mt, pero puede llegar hasta 420 Mt. en espacios reducidos o pistas pequeñas, dependiendo de la categoría del aeropuerto puede ser incluso que esta sección no se tenga, o se tenga en un solo lado de la pista, estos equipos se ponen sin importar la superficie o desnivel del terreno.

Asimismo, en estos sistemas va una luz complementaria que se llama Sistema de Luces Flashing, que son luces en el centro de cada poste, y que su característica es que es una luz estroboscópica de alto brillo para casos en que la visibilidad sea poca o haya neblina.

2.2.3.2.2 Pista

Es la superficie pavimentada o asentada con características específicas para que una aeronave pueda aterrizar o despegar. Un aeropuerto puede tener una o más pistas en paralelo o en diferentes ángulos entre ellas.

La longitud estará en función a la distancia requerida por las aeronaves planificadas a operar en ella, y pueden ser de unos cientos de metros hasta unos 5000 Mt., el ancho puede ser entre 30 a 60 Mt. Y la superficie puede ser tierra, concreto o asfalto.

2.2.3.2.3 Umbral

Es la parte que indica el comienzo de la parte usable de la pista para aterrizar, esto se puede identificar con marcas pintadas de manera paralela en inicio de pista, asimismo tiene unas luces empotradas en pista de color verde, por lo general coincide con el inicio de pavimento. Si el umbral no coincide con el inicio de pista se le llama a esa configuración de pista tener un “Umbral Desplazado”.

2.2.3.2.4 Borde de Pista

Son marcas pintadas y/o con luces blancas a lo largo de los lados de la pista indicando los límites laterales de la pista.

2.2.3.2.5 Barra de Parada

Son marcas pintadas y/o con luces al ingreso a la pista a través de una calle de rodaje, son de color rojo dispuestos a lo ancho de la entrada a pista. Sirve para que ninguna aeronave ingrese a pista mientras haya maniobras, una vez autorizado las luces se apagan y la aeronave puede ingresar.



Figura 2.5: Partes de una Pista de Vuelo (Fuente: AERTEC Solutions)

2.2.3.3 Tipos de Pista

Los tipos de pista se definen según el modo de operación, se tiene:

2.2.3.3.1 Pista de Vuelo Visual (Visual Flight Rules - VFR)

Son pistas en la que se realizan operaciones con procedimientos visuales para la aproximación de la aeronave, esta se realiza con procedimientos en condiciones meteorológicas favorables para las maniobras durante la aproximación final.

2.2.3.3.2 Pista de Vuelo por Instrumento (Instrumental Flight Rules - IFR)

Son pistas en las que se realizan operaciones con procedimientos para la aproximación de aeronaves por instrumentos. Dependiendo a los sistemas implementados se define una categoría a la pista, la cual define características de operación en función al nivel de precisión en la aproximación.

2.2.3.4 Categoría de Pista

Según Galíndez y el OACI (2016) indica que:

Según el grado de precisión requerida en la aproximación por la aeronave y el nivel de tecnología implementado tanto en pista que soporte a la aeronave se puede definir la categoría, esta categoría estará en función a la precisión de los instrumentos para la aproximación, así como la necesidad de confirmación visual en cuanto a menos distancia de confinación y de visibilidad. Se tendría la siguiente categorización:

2.2.3.4.1 Pista para Aproximaciones de No Precisión.

La pista debe contar con ayudas visuales y una ayuda no visual que proporcione al menos una guía direccional adecuada para la aproximación directa. Podría ser el VOR/DME u otros sistemas de radioayudas para la aproximación final. Se debe tener una visibilidad no menor a 1000 Mt.

2.2.3.4.2 Pista para Aproximaciones de Precisión de Categoría I.

La pista con instrumentos ILS y con ayudas visuales para operaciones con una altura de decisión no inferior a 60 m (200 ft) y con visibilidad de no menos de 800 m o con un alcance visual en la pista no inferior a 550 m.

2.2.3.4.3 Pista para Aproximaciones de Precisión de Categoría II.

La pista de vuelo debe de contar con instrumentos ILS o MLS y con ayudas visuales destinadas a operaciones con una altura de decisión inferior a 60 m (200 ft) y no inferior a 30 m (100 ft) y con un alcance visual en la pista no inferior a 300 m.

2.2.3.4.4 Pista para Aproximaciones de Precisión de Categoría III.

Pista de vuelo debe contar con instrumentos ILS o MLS hasta la superficie de la pista y a lo largo de la misma, se subdivide en:

Categoría III A

Se puede realizar operaciones con una altura de decisión inferior a 30 Mt. (100 ft), o sin altura de decisión y un alcance visual en la pista no inferior a 200 Mt.

Categoría III B

Se puede realizar operaciones con una altura de decisión inferior a 15mt. (50 ft), o sin altura de decisión, y un alcance visual en la pista inferior a 200 Mt. pero no inferior a 50 m.

Categoría III C

Se puede realizar operaciones sin restricciones de altura y de alcance visual en la pista de vuelo. Los instrumentos ILS de Categoría III C pueden controlar que el avión aterrice de manera totalmente automática sin operación del piloto, por temas de procedimientos de seguridad no se aplica.

2.2.4 Sistema de Ayudas Luminosas (AGL)

El Sistema de Ayudas Luminosas o conocido como AGL (Airfield Ground Lighting), es el nombre general para todo grupo de luminarias instaladas en distintos lugares del aeropuerto destinados a ser empleados como ayudas y guía visual para los pilotos de aeronave y otros operadores en pista para los distintos procedimientos requeridos en las operaciones aeronáuticas, son considerados el corazón de las operaciones aeronáuticas.

El sistema de Ayudas Luminosas está formado por una serie de luces aeronáuticas que cumplen estándares internacionales en cuanto a forma, color, intensidad de brillo, disposición, modo de operar y están dispuestos en patrones precisos, para ello cuenta con componentes de soporte como sistemas de alimentación especiales y controles integrados a sistemas SCADA.

Dependiendo el nivel de tecnología pueden ser desde luces halógenas, led y hasta luces inteligentes que se pueden encender y apagar de acuerdo al sistema de control por segmentos o individuales, esto permite optimizar el guiado de las aeronaves en maniobras o tránsito en el aeropuerto.

Los tipos de equipos AGL son variados, los más usados son:

2.2.4.1 Aproximación

Son luces que ofrecen referencia de alineamiento y elevación al piloto durante la fase de aterrizaje. Son equipos que están elevados con un ángulo que por lo general es de 3° hacia la zona del umbral de pista. Son de color blancas y rojas dependiendo su configuración y tienen una longitud de 420 Mt hasta 900 Mt.

2.2.4.2 Luces PAPI

Las luces PAPI guían al piloto en una trayectoria específica durante la aproximación, este es la mejor ayuda para el aterrizaje, ya que el equipo proporciona mediante luces una guía precisa de la trayectoria ya que el equipo cuenta con lentes ópticos que hacen que la luz tenga un ángulo específico, de estar fuera de ella la luz cambiara de color.

Se instalan 4 equipos con una variación de ángulo tal que teniendo por lo general el eje en 3° habrá 2 equipo que estarán por encima y a la vez desplazados y dos por debajo y también desplazados, así el piloto si ve las 4 luces blancas estará muy alto, si ve las 4 rojas estará muy bajo, debe de ver 2 blancas y dos rojas para estar en el ángulo correcto de aproximación.



Figura 2.6: Vista de las Luces PAPI durante aproximación (Fuente: ADBSafegate)

2.2.4.3 Eje de Pista

Son luces que se instalan en el centro de la pista de vuelo y van empotradas al nivel del asfalto, deben de ofrecer características especiales ya que debe soportar los aterrizajes y despegues de las aeronaves, la longitud puede variar y su ancho va desde 30Mt. a 60MT. Son luces de color blancas y en los últimos 900 Mt. se ven combinaciones de blanco y rojo, y en los últimos 300 Mt. será luces rojas, esto para advertir al piloto que la pista se estaría acabando a fin de controlar su despegue.

2.2.4.4 Borde de Pista

Son luces blancas que se instalan en los bordes a lo largo de la pista para indicar los límites laterales de la pista. En los últimos 600 Mt. se instalan luces amarillas indicando que se aproxima el fin de pista.

2.2.4.5 Umbral de Pista

Son luces verdes que se instalan al comienzo de la pista a lo ancho para indicar el inicio de la pista usable para aterrizar.

Hay configuraciones en las cuales las luces se instalan en parte de la pista a ello se denomina Umbral desplazado y es una configuración cuando se tiene poco espacio de pista.

2.2.4.6 Fin de Pista

Son luces rojas que se instalan al final de pista a través de la pista indicando el fin de la pista.

2.2.4.7 Zona de Toma de Contacto

Son luces blancas que se instalan después del umbral y van por ambos lados del eje de pista para indicar la zona en la que las aeronaves deben tomar contacto con la pista en el aterrizaje.

2.2.4.8 RETIL

Son luces amarillas dispuestas al costado del eje de pista de tal modo que se observe tres luces, después dos y después una indicando la llegada de una salida rápida para que la aeronave tenga una salida de la pista de vuelo disponibles.

2.2.4.9 Eje de Rodaje

Son luces verdes que se instalan a lo largo de las calles de rodaje en el centro, son empotradas y ayudan al piloto a moverse hasta las plataformas.

2.2.4.10 Borde de Rodaje

Son luces azules que se instalan en los bordes a lo largo de las calles de rodaje, para indicar los limites laterales de las calles de rodaje.

2.2.4.11 Barra de Parada

Son luces rojas que se instalan a través de la pista en zonas donde la aeronave debe detenerse y coordinar con torre para la autorización para continuar, por lo general se instalan antes de las callas que dan acceso a las pistas de vuelo y en zonas donde por precaución se requiere el acceso controlado de las aeronaves.

2.2.4.12 Letreros

Los letreros son luces que se instalan en las calles de rodaje y sirven de señalización para dar instrucciones e información a fin de poder desplazarse entre las diferentes calles rumbo al terminal o a la pista.

Los letreros al estar elevados deben de cumplir normas de su construcción que básicamente deben ser frangibles, ósea de estructuras por lo general de aluminio y son bases diseñadas que ante algún esfuerzo se rompan para evitar daños en la aeronave.

2.2.4.13 Protección de Pista

Dependiendo del grado de visibilidad en algunos casos se necesitará aumentar el nivel de seguridad a las barras de parada, para ello se instalar a los extremos de las barras de parada unas luces intermitentes rojas que son elevadas y que sirven para indicar que se llega a una zona de control para acceso a pistas.

2.2.4.14 Transformadores de Aislamiento

Son equipos AGL que sirven para transmitir la corriente proveniente de los reguladores CCR, la corriente que sale del secundario va a los equipos de luces. Los transformadores tendrán sus conexiones a la parte de los circuitos primarios que son los que llegan desde el CCR y tendrán un lado secundario que va a los equipos de luces AGL.



Figura 2.7: Equipos AGL que se instalan en Pista de Vuelo (Fuente: ADBSafegate)

2.2.5 Operaciones en Pistas

Son parte de las operaciones aeronáuticas las cuales son realizadas en pista, se centran en las actividades desde que la aeronave sale del terminal hacia la pista a través de la plataforma y calles de rodaje y despega, hasta que la aeronave llega a otro aeropuerto y aterriza y se transporta a través de las calles de rodaje hasta la plataforma llegando al terminal.

Según Galíndez (2016) indica que:

“Las pistas y el espacio aéreo se utilizan para realizar vuelos de aeronaves que pueden ser controladas y no controladas; los vuelos no controlados se realizan mediante Reglas de Vuelo Visual: VFR (Visual Flight Rules) que realizan los pilotos utilizando sus propios sentidos, principalmente el de la vista. Estos vuelos pueden ser observando y a estimas; están restringidos únicamente a las horas diurnas y condiciones de buen tiempo atmosférico, y a velocidades bajas de aeronaves conocidos como no compatibles, que son las propulsadas por motores de pistón y turbohélice, con velocidades de crucero menores a 250 nudos.

Los vuelos controlados o de precisión se pueden realizar a cualquier hora del día o de la noche, con poca o con mucha visibilidad, con buen o con mal tiempo, mediante Reglas de Vuelo por Instrumentos: IFR (Instrumental Flight Rules) cuyos datos esenciales para la navegación y para el manejo del avión proceden del tablero de instrumentos del avión y del funcionamiento de los equipos en tierra, se realizan en un espacio aéreo controlado, dividido en espacios y niveles, delimitado en tres dimensiones: largo, alto y ancho, que proporcionan tres tipos de separación: vertical, por espacios y por tiempos, para que las aeronaves puedan realizar sus regímenes de ascenso y descenso, al tomar o dejar una aerovía en sus vuelo total”. (Galíndez, 2016, p. 83).

Las operaciones podrían agruparse en:

2.2.5.1 Despegue

Es el procedimiento mediante el cual se da la autorización a una aeronave para inicie su movimiento desde plataforma, asignándole la ruta a través de las calles de rodaje que debe seguir para llegar a la salida próxima a la cabecera asignada, llegando a este punto se hará una espera en la barra de parada hasta recibir la autorización para que ingrese a pista, una vez que el controlador de torre haya verificado el tráfico aéreo, las condiciones meteorológicas, que la pista este libre, verificado de pista por los vehículos supervisores de pista y sea el momento oportuno con el tiempo necesario para que el avión tome la pista y logre desarrollar la velocidad de despegue y se eleve.

2.2.5.2 Salida

Una vez que la aeronave está en vuelo, se le estará monitoreando mediante radar y comunicaciones las maniobras de ascenso y rumbo dentro de su ruta asignada hasta una distancia de 9 Km, asimismo la aeronave ascenderá hasta su altitud de crucero para tomar rumbo a su destino.

2.2.5.3 En Ruta

El controlador de torre pasara la supervisión de vuelo al área de control de tránsito aéreo o centro de control, los cuales con radares secundarios seguirán monitoreando que la aeronave siga la ruta asignada.

2.2.5.4 Descenso

Cuando el avión llegue a unos 90 Km. Del aeropuerto de destino, la supervisión de la ruta de vuelo será pasado al controlador de aproximación y se comenzará a planificar su aproximación verificando el tráfico existente en el aeropuerto destino y asignándole su cabecera. Se comienzan a realizar los protocolos de maniobras y verificar instrumentos.

2.2.5.5 Aproximación

El controlador de aproximación orientara a la aeronave para que se dirija a la cabecera asignada, y se monitoreara su velocidad, rumbo e inclinación, llegando a los 9 km. Se le pasara la supervisión al controlador de torre.

2.2.5.6 Aterrizaje

El controlador de torre supervisará la aproximación final de la aeronave hasta que este toque pista en la zona de contacto, para ello a su vez tendrá a todas las aeronaves en espera y manteniendo libre la pista de vuelo hasta el termino de las maniobras de aterrizaje. Ya en tierra se pasará el control a controlador de tierra para su asignación de calles de rodaje necesarias para que llegue a la plataforma a su puerta o puesto asignado.

Estacionado la aeronave se realizan los procedimientos de liberación de calles, estado de aeronave y se autorizara el desembarque, declarándose así el fin de vuelo.



Figura 2.8: Esquema de las Fases de las Operaciones en Pista (Fuente: ADBSafegate)

CAPITULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL

3.1 CONTEXTO LABORAL – SITUACIONAL

Desde el año 2000 he laborado en el área de automatización industrial, trabajando en proyectos de implementación de nuevas tecnologías en los campos de automatización industrial, programación de PLC, Servidores industriales y tecnologías a fines, tanto en la implementación como en el mantenimiento, es así como en el 2010 comienzo a trabajar en sistemas aeronáuticos, donde los sistemas siendo críticos se complementaron con los conocimientos y experiencia en ramo de automatización industrial, controles industriales y electrónica programable aplicando al ramo aeronáutico.

Como jefe del área técnica y proyectos, he venido aplicando mi experiencia, desarrollando proyectos nuevos, con tecnología traída del exterior y desarrollos propios, aplicada en diversos proyectos en aeropuerto de provincia y de lima, siendo el encargado del desarrollo de los proyectos, de su planeamiento, ejecución y capacitación a los usuarios finales, con la interacción con personal directo de CORPAC, terceros y subcontratistas para el logro de estos proyectos.

Con la ejecución de los proyectos se ha logrado actualizar la tecnología, solucionar sistemas con fallas y/o falta de repuestos por obsolescencia, mejorando así la operatividad del área y mejorando los servicios aeronáuticos en las distintas sedes aplicadas.

El año 2020, se inicia los trabajo de Ampliación del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, con la experiencia previa se me asigna estar a cargo de este proyecto, en lo que respecta a los Sistemas de Ayudas Luminosas, desarrollando la Etapa WP1, que consistía en la modificación de la Pista Actual y la construcción de nuevas calles de rodaje denominadas L3, L5 y VRS4 para el acceso de la pista actual a la infraestructura de calles de rodaje y nueva pista, lo que requería modificar los circuitos actuales de la pista y crear los nuevos circuitos para la nuevas calles rodaje, involucrando esto modificaciones en los sistemas y circuitos relacionados a Sistemas de Toma de Contacto, Eje de Pista, Borde de Pista, Borde de Rodaje y Eje de Rodaje, realizándose los trabajos íntegramente en trabajos nocturnos teniendo operando la pista en los otros horarios, la criticidad de estos trabajos fueron altos ya que se debía desarmar los circuitos durante las amanecidas para los trabajos de excavación, relleno, asfaltado e instalación por nuevos ductos, este trabajo se debía realizar todas las amanecidas acompañando a los trabajos de obra civil hasta el término del asfaltado de las nuevas calles para así poder instalar los nuevas luces y reconectar en los nuevos ductos los circuitos, al término de cada amanecida se reponían de manera temporal todos los circuitos para la operación de la pista en los vuelos diarios.

En el año 2021 se inicia la Etapa WP2, que consistía en Construcción de la Nueva Pista de Vuelo, Nueva Torre de Control, nuevas calles de rodaje y toda la infraestructura auxiliar de lado aire, en lo que respecta a los sistemas de ayudas luminosas, involucra la instalación de todos sistemas en pista para las ayudas luminosas, conexión de cada luz, sistemas de energía, cableado y salas de reguladores. En lo que respecta a los sistemas de control, se debía instalar y configurar el nuevo sistema SCADA como parte de la actualización del sistema de

control actual el cual no podría soportar la ampliación para comunicarse con los nuevos sistemas ya que la tecnología era antigua, los protocolos no soportaban los actuales y no había opciones de ampliación.

Así se inicia el proyecto en su Etapa WP2, y nace el motivo de este trabajo que es la Actualización del Sistema SCADA del Sistema de Ayudas Luminosas.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL BACHILLER

Como jefe de Área Técnica y de Proyectos, se tiene actividades relacionadas a la gestión administrativa y operativa de los proyectos, liderando a los grupos de trabajos ya sean de personal propio, terceros o subcontratistas, tanto nacionales como extranjeros, para gestionar el esfuerzo de cada grupo y así lograr cumplir los objetivos de cada etapa, se tiene las siguientes funciones:

a. Gestión de Proyectos para cambio de Tecnología en los sistemas

Gestión del proyecto para cambio tecnológico, mediante el cual se hace el seguimiento a los proyectos, calendarios, entregables, y las coordinaciones con todos los usuarios y contratistas relacionados a fin de cumplir los cronogramas establecidos. Dependiendo de la magnitud del proyecto esto va de la mano de la documentación de calidad y seguridad, así como el seguimiento de la ejecución, planificación y supervisión de las actividades diarias, para así asegurar el cumplimiento de los objetivos a través del tiempo.

b. Gestión del Mantenimiento de los Sistemas asignados.

Gestión del mantenimiento de los equipos asignados, se busca la eficiencia de las operaciones de los sistemas, mediante una planificación estratégica de los mantenimientos en los sistemas y equipos, ya sea mediante la aplicación de acciones preventivas o correctivas, así como la exploración de métodos predictivos para así asegurar la vida útil de los sistemas o equipos en uso, esto a la vez genera oportunidades de proyectos de renovación tecnológica, así como incluso la aplicación de nuevas tecnologías.

Para ello se debe liderar al grupo de ingenieros, técnicos y especialistas en el logro de objetivos de la aplicación del mantenimiento, se busca también la especialización y actualización del personal mediante capacitaciones locales o internacionales que ayuden al personal a tener el knowhow para el desarrollo de sus actividades.

c. Asignación y Supervisión de Tareas.

En el día a día, y el avance de los proyectos se debe evaluar el estado de los avances y la programación diaria de las actividades y de los grupos de trabajos, es por ello que parte de mis actividades es la de reuniones diarias con los supervisores y personal a fin de programar las actividades diarias, asimismo poder dar mayor esfuerzo o reasignar tareas a fin de llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos generales.

Asimismo, en caso de proyectos grandes esta reunión se hace con el personal de seguridad y calidad a fin de considerar las perspectivas de ellos en la asignación de tareas.

Por otro lado, en el caso de actividades críticas o muy especializadas se hace las coordinaciones para estar presente en dichas tareas a fin de asegurar los resultados ya sea por el monitoreo preciso de la actividad o de ser el caso ejecutarlo a fin de evitar contratiempos por la criticidad del sistema

d. Supervisión y control de los Sistemas Informáticos Productivos y SCADA

Gestión del control, estado y mantenimiento de los sistemas informáticos productivos y SCADA, para lo cual se lleva una planificación de evaluación de los estados de los distintos sistemas de servidores y estaciones a fin de mantenerlos en operación y proponer su cambio de acuerdo al estado de los equipos o su nivel de obsolescencia, asimismo de acuerdo a cambios o ampliaciones que se pudieran requerir.

El manejo del tiempo de vida del hardware y del software es crítico ya que esta debe estar acompañada por la garantía de soporte de fabrica en cuento a repuestos, licencias, y soporte sobre las versiones utilizadas tanto en los Sistemas Operativos, aplicaciones y cantidad de nodos usados.

Esta actividad se lleva con los fabricantes, distribuidores, representantes de las distintas familias de hardware y software utilizados en los distintos sistemas.

e. Logística de Materiales e Insumos para los proyectos.

Esta actividad es la gestión de logística, la cual se basa en la selección de proveedores, compras y pago de los materiales, insumos y herramientas requeridas para las actividades según el proyecto, esta debe ser acompañada con una gestión del flujo de caja a fin de asegurar la continuidad de las actividades de los proyectos y la caja para el pago de las compras, asimismo asegurar que el insumo, material o herramienta sea de óptimas condiciones y que cumple con las especificaciones aprobadas para el uso según su aplicación, asimismo que cumpla las especificaciones para el uso en aeropuerto y normativas vigente relacionadas.

El tiempo de aprovisionamiento también se convierte en crítico mas aun cuando son partes o insumos de procedencia extranjera ya que debe asegurarse los tiempos de despacho, llegada y aduanas a fin de su arribo a tiempo a fin de no retrasar alguna tarea.

f. Control de Personal, terceros y subcontratistas.

En todos los proyectos relacionado a nuestras actividades estará directamente relacionado a personal propio, de terceros, subcontratistas nacionales o extranjeros, estos hace que dichas actividades dependerán de la ejecución y cumplimiento de ellos, en contraparte la empresa deberá pagarles su trabajo según el mecanismo acordado ya se esté mediante el pago de horas extras, cumplimiento de contratos, adicionales y labores específicas, es así que la gestión de las actividades de cada persona o subcontrata es necesaria para la continuidad de los proyectos a fin de no parar actividades por disconformidades de pagos por horas extras o cumplimientos de contratos no cerrados y pagados.

Mis actividades incluyen la elaboración de reportes de horas extras para el pago de personal, actas de cumplimiento de servicios para terceros, actas de recepción de obras para subcontratas, y actas de aceptación y pruebas para subcontratas extranjeras.

g. Elaboración de informes técnicos, estadísticas, resultados de gestión e indicadores.

Cualquier evento, incidente o no aceptación por parte del cliente genera una inconformidad de una actividad, esto nos lleva a reuniones de coordinación a fin de levantar la no conformidad para ello es necesario la elaboración de informes técnicos, estadísticas y cualquier herramienta que ayude a la aclaración a fin de aclarar la no conformidad y poder plantear acciones ya sea de mantenimiento, logística o del proyecto en si a fin de subsanar las observaciones.



CAPITULO IV: APLICACIÓN PRACTICA

4.1 DESARROLLO PRACTICO DE LAS CONTRIBUCIONES PLANTEADAS POR EL BACHILLER EN LA EMPRESA

La ejecución de un proyecto de actualización tecnológica de esta magnitud, que en muchos casos son considerados como “Megaproyectos”, por el grado de complejidad, de compleja interacción entre especialistas, de interdisciplinas asociadas, nos lleva a revisar en resumen el desarrollo de la ampliación del aeropuerto desde los aspectos civiles, medioambientales, estratégicos de crecimiento de país, y tecnológicos para lograr esta renovación tecnológica.

Una renovación de tecnología y más aún una ampliación de aeropuerto no es una actividad que se haga frecuentemente, es más por lo general se hace cada 10 a 15 años e involucra la capacidad de todo el grupo humano a realizar trabajos que son modernos y que en muchos casos nunca se implementó en el país.

Mi participación en el “*Proyecto de Ampliación del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez*” se centró en la ejecución y supervisión de las actividades directamente relacionadas en todas sus fases a la instalación del Sistema AGL que incluía la actualización del sistema SCADA, por la criticidad ya que el aeropuerto debía seguir trabajando se subdividió en partes llamados paquetes, en resumen:

Paquete WP1: Modificación de la Pista Actual y Construcción de Calles de Rodaje L3, L5 y VSR4, se construyó nuevas calles de rodaje que permite la conexión de la pista actual a las nuevas calles y caminos hacia la nueva pista, para ello a parte de los trabajos de obra civil y asfalto, se realizó trabajos de modificación de los circuitos de luces de pista, estos trabajos debido a que debía operar el aeropuerto se realizaban en paradas programadas desde las 01.30 hasta las 04.30 de la mañana durante 9 meses principalmente de amanecida, estuve a cargo directamente de las actividades relacionadas a las modificaciones del AGL, la interacción con los clientes, planificación y reuniones de trabajos para las actualizaciones.

Paquete WP2: Construcción de Nueva Torre, Nueva Pista, Calles de Rodaje V, R, Q, L, Sistemas de Ayudas Luminosas AGL, Sistema SCADA de AGL e Islas de Plataforma Temporales, este paquete realmente constituyó el hito para el funcionamiento de la nueva Torre de Control y de la Segunda Pista la cual se inauguró su funcionamiento oficialmente el 01 de Abril 2023, después de casi 3 años de su inicio de obras que consistió en la construcción principalmente de la torre de control, segunda pista y las calles de rodaje asociadas para el movimiento de las aeronaves entre terminales y ambas pistas, denominadas Calles de Rodaje L, M, R, Q y V, asimismo plataformas para estacionamiento de aeronaves de modo temporal, por otro lado también consistió en la instalación completa de todos los sistemas de luces de pista para todo lo nuevo construido, así como los sistemas de control, comunicaciones y servidores, tanto en salas de control como en el campo, asimismo la integración del nuevo sistema SCADA para el control de la pista actual. Mi labor como Supervisor de Obra fue directa en cada una de las actividades en este paquete relacionadas a los sistemas AGL y SCADA.

Paquete WP3: Construcción del Nuevo Terminal, Plataformas AMA para Aeronaves y Calles de Rodaje de Plataformas, este paquete está en ejecución y consiste principalmente en la construcción del nuevo terminal y su plataformas para las aeronaves, asimismo de las calles de rodaje necesarios para la unión con las calles ya existentes del paquete WP2 para así estar interconectado para tránsito y operación del nuevo terminal, del mismo modo la ampliación de los sistemas de luces necesarios en las calles de rodaje y plataforma para el guiado de las aeronaves.

Para todo el grupo de profesionales que trabajamos, nos representó retos personales, de esfuerzo de conocimientos, de esfuerzo físico para trabajos de amanecida y también satisfacciones de logros al ver cada hito ir avanzando, en este contexto presento el desarrollo de lo ejecutado.

4.1.1 SINTESIS DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

ACTUALIZACION DEL SISTEMA SCADA DEL SISTEMA DE AYUDAS LUMINOSAS DE LAS PISTAS DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGUE CHAVEZ PARA MEJORAR LAS OPERACIONES EN LAS PISTAS DE ATERRIZAJE.

El Aeropuerto Jorge Chávez desde su concesión en Febrero 2001 creció exponencialmente, tanto en tránsito de aeronaves y el consecuente incremento de pasajeros para satisfacer la demanda de lo que se consideró a Lima como hub de la región, por distintos aspectos como el turismo, comercio, gastronomía, entre otros, llevándolo a un estado en el cual desbordaba su capacidad, llegando el 2016 a ser usado por 18.8 millones de pasajeros y el año 2019 antes de la caída de vuelos por el COVID se llegó a tener 23.6 Millones de pasajeros, siendo la capacidad real de solo 10 Millones, colapsando instalaciones de pasajeros y las operaciones en sí ya eran críticas por la cantidad de vuelos requeridos.

El incremento de las operaciones aéreas no se soportaba teniendo que parquear aviones en zonas militares, tener retrasos por limitaciones de espacio, colas y horas de congestión de pasajeros para el abordaje y de aviones en vuelo, falta de capacidad de puertas de embarque, limitaciones de operaciones en pista por solo contar con una pista, entre otros problemas reportados.

Debido a esta situación y como parte del compromiso de la concesión del AIJCH, LAP como operador tenía que ampliar el aeropuerto, después de los acuerdos referente a entregas de terrenos para la ejecución de la ampliación la cual llevo tiempo por parte del MTC debido a la expropiación de las zonas agrícolas y litigios de algunos que no deseaban salir, las áreas fueron entregados a LAP en el año del 2018, comenzando así la ampliación del aeropuerto.

Este proyecto considera la ampliación del área útil del aeropuerto de 2 Millones a 9 Millones de metros cuadrados, asimismo se considera áreas como una nueva torre de control, nueva pista de vuelo, áreas logísticas, almacenes, áreas de hangares, depósitos de combustible, nuevo terminal, área de hoteles y comercio entre otras.

La nueva pista de vuelo tendrá una longitud de 3480 Mt. y longitud de las calles de rodaje en total aproximadamente de 10 km., asimismo se tendrá áreas dentro del nuevo terminal para el comercio y sistemas logísticos de combustible y de carga, lo que ampliará la capacidad de trabajo para vuelo de pasajeros a 30 Millones pasajeros / año.



Figura 4.1: Proyecto Ampliación Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. (Fuente: LAP)

El sistema de control para las operaciones en pista se basan en sistemas electrónicos de luces de pista denominados AGL o Luces de Superficie de Pista, en CORPAC esto se denomina Ayudas Luminosas, los cuales son los equipos de luces según su función en pista tienen diferentes formas, colores y potencias, estas interconectadas con accesorios eléctricos como cables y transformadores, alimentados por unos reguladores de corriente llamados CCR, y estos controlados por un PLC que mediante una comunicación serial a la torre, en la cual hay un sistema HMI SCADA que controla el operador de torre para controlar las funciones según se requiera la activación de algún sistema para ayudar la aproximación, despegue o tránsito de la aeronave. Ante la ampliación física del aeropuerto y la necesidad de ampliar los sistemas de control de las luces en la nueva pista, calles de rodaje y control en la nueva torre, el sistema actual instalado en el año 2005, con 18 años de antigüedad, no tiene la capacidad de crecimiento debido al uso de sistemas operativos antiguos, sistema de integración HMI obsoleto, medios de comunicación basados en comunicación modem DSL entre PLC de poco alcance, no tener capacidad de poder crear más estaciones de trabajo, y con una serie de características que en resumen no garantizaban la estabilidad, seguridad, redundancia e integración mediante las versiones actuales del HMI de ambas pistas, por lo que se requería un nuevo replanteamiento del sistema de Supervisión y Control del Sistema de Ayudas Luminosas.

4.1.1.1 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA HMI SCADA DE AYUDAS LUMINOSAS.

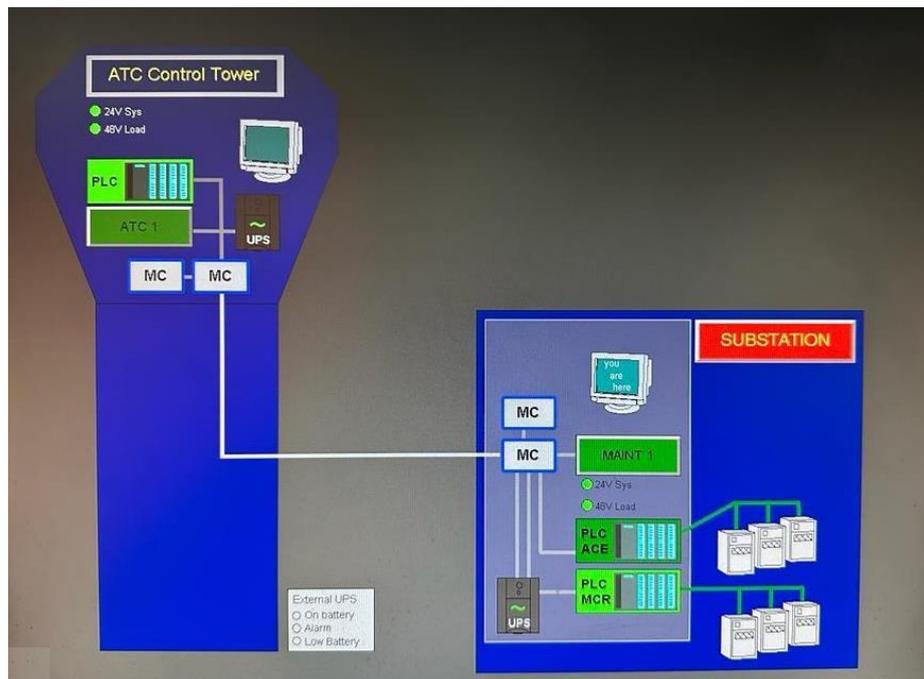


Figura 4.2: Diagrama del Sistema de Control actual del AIJCH (Fuente: CORPAC)

El sistema HMI SCADA tiene componentes, los cuales están conformados por:

Software HMI SCADA, en software que se utiliza en el aeropuerto es desarrollado por la empresa ADBSafegate basado en la plataforma WINCC de Siemens, marca líder en el desarrollo de plataformas SCADA, tanto en software y hardware de control mediante PLC de alta gama para el control de procesos críticos. El sistema está montado en dos estaciones, una en la Torre de Control y otra en la Sala de Reguladores, la cual es para labores de mantenimiento, así como en caso de falla de la estación de torre de control, se podría realizar el control de las luces desde esta estación. Desarrollado con una versión del año 2007 sin soporte actualmente, asimismo sin la capacidad de conexión a base de datos requerido para el soporte de registro de alarmas e históricos, lo cual el sistema actual no posee. Asimismo, el HMI actual no posee capacidades de ampliación por limitaciones de software y hardware de los equipos actuales. Como se puede observar en la Figura 4.3 el diseño de la interface requiere una modificación a fin de considerar la ampliación, el medio de comunicación con la sala de reguladores es a través de modem lo cual hace que la aplicación se actualice con retrasos, esto hace que no tenga capacidad para manejar y comunicarse con los equipos modernos de la ampliación, tampoco tiene capacidad de reportes de alarmas.

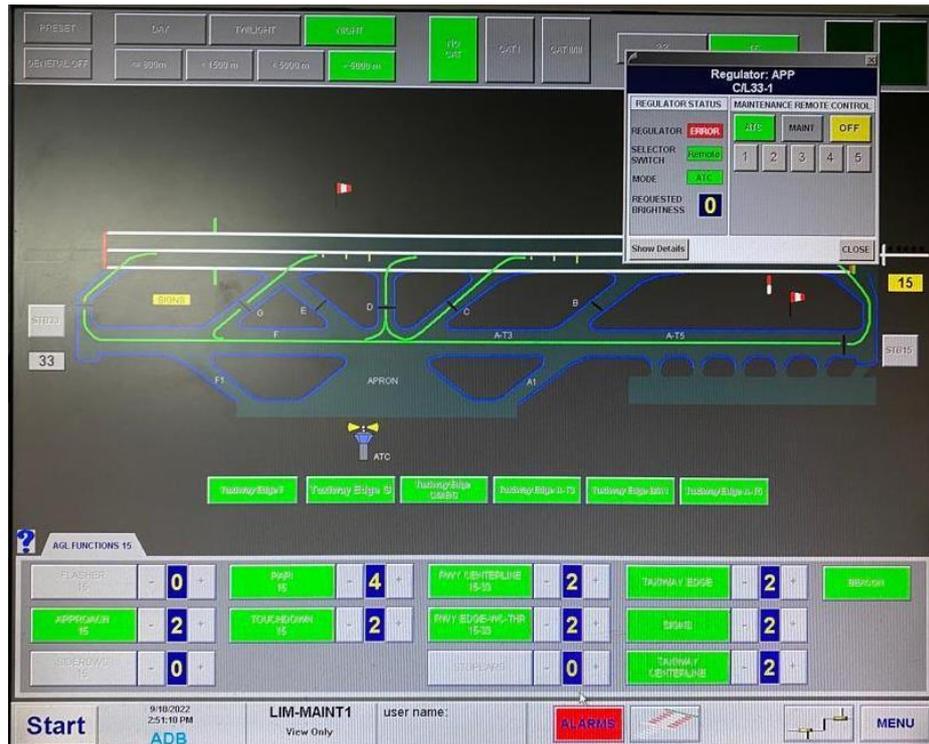


Figura 4.3: Vista de HMI actual del Aeropuerto AIJCH (Fuente: CORPAC)

Estaciones SCADA, el hardware de las estaciones son PC HP Compaq Modelo HP dx2200 con procesador Pentium 4 del año 2006 con sistema operativo Windows XP, el hardware esta ya discontinuado y ante una falla de pc esta no podría reemplazarse, el sistema no tiene mayor redundancia ante fallos. Ante falla de hardware, torre no tendría posibilidad de control del sistema de ayudas luminosas, y debería de coordinar con personal de mantenimiento para que desde la estación en la sala de reguladores pueda realizar el control.

Control Central, el sistema de control está conformado por dos PLC comunicados por enlace serial mediante media converter. Los PLC son de la serie S7-300 con 4 módulos de comunicación JBus para la comunicación con los CCR y dos módulos de E/S Digitales para el control de equipos auxiliares. Esta configuración está hecha en base a lo requerido en el aeropuerto y si bien podría ampliarse en módulos, pero por su antigüedad no soportaría las comunicaciones requeridas por los nuevos CCR, la capacidad de sus módulos de comunicaciones estaría completa no teniendo opción de ampliación, no hay redundancia, ante una caída del PLC en sala de reguladores, se perdería el control desde torre, teniendo que controlarlo en forma manual con personal en sala prendiendo según requerimiento de torre, lo que podría ocasionar problemas en las operaciones en pista, asimismo que al tener esta falla el aeropuerto debería notificar la falla a los organismos de control y estos a la vez a la red aeronáutica pudiendo generar la cancelación de vuelos nocturnos o de poca visibilidad y penalidades económicas.

Red de Comunicaciones, el sistema actual consta de dos estaciones en red, una en la torre de control y otra en la sala de reguladores, la comunicación es a una distancia de 950 Mt. aproximadamente para ello se usa un sistema de doble enlace de Media Converter HDSL BLACKBOX Etherlink mediante enlace telefónico. La velocidad de transmisión es lenta llegando en este modo HDSL a 1.54 Mbps. y eso hace que se priorice las comunicaciones de control, más las comunicaciones de alarmas y eventos quedan reducidas para evitar el tráfico de señales.

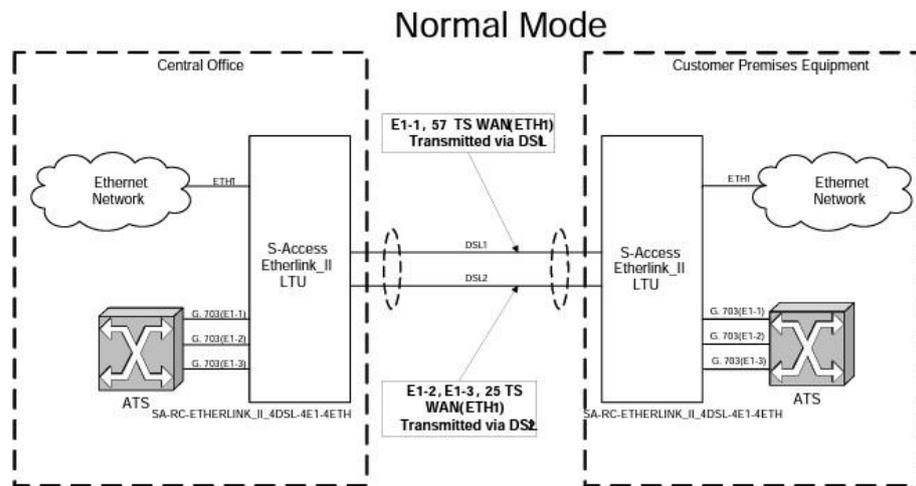


Figura 4.4: Diagrama de enlace red vía Modem HDSL (Fuente: BLACKBOX Etherlink)

En adición a la comunicación lenta, se tiene que, ante un siniestro, las líneas de comunicación van por el mismo camino por lo que si bien es cierto se tiene dos modem como redundancia, ante un evento en ductos la comunicación total caería generando un fallo completo de comunicaciones, generando retrasos y coordinaciones con personal de mantenimiento para el control manual de los equipos.

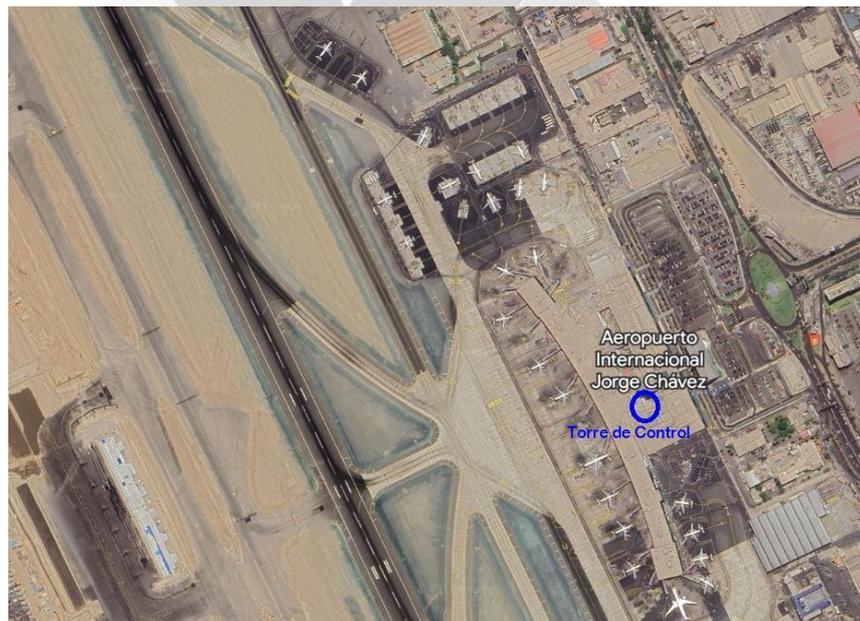


Figura 4.5: Vista general de comunicación entre Torre y Estación (Fuente: E. Propia)

Control Distribuido, el control del sistema se realiza mediante PLC, con módulos de comunicación JBus para la comunicación con los reguladores CCR y Módulos E/S Digitales para el control de sistemas auxiliares y señales de control directo. EL PLC usado para el control es el PLC Siemens Modelo S7-300.



Figura 4.6: Vista general del PLC S7-300 (Fuente: Siemens)

Este PLC fue durante años fue el PLC de entrada para sistemas de control medianos, sin embargo, para la capacidad requerida de comunicaciones y control de los nuevos equipos no tendría capacidad de procesamiento, del mismo modo por su tiempo en mercado está por discontinuarse por lo cual no tendría capacidad de uso, asimismo tenía limitaciones en sistemas grandes en los cuales se requería otro modelo superior.

Reguladores de Corriente CCR, estos equipos usados actualmente debido a la antigüedad del aeropuerto se tiene varias familias, la característica de estos equipos es que pueden manejar cierta cantidad de luces lo cual estaría en función a su Potencia de Trabajo, asimismo la tecnología usada en algunas de ellas ya estaría obsoleta y a su máxima capacidad de trabajo, no pudiendo ser empleados para alguna ampliación.



Figura 4.7: Reguladores existente en AIJCH Modelo CCT (1998), Modelo MCR5000 (2000) y Modelo MCR3 (2010). (Fuente: ADBSafegate)

Los CCR que se usan actualmente se comunican con los PLC a través de un bus de comunicación con un protocolo tipo ModBus RS485, sin embargo, por lo crítico del control tiene una modificación en sus comandos convirtiéndose en un Protocolo JBus. Los CCR poseen esta opción de comunicación, pero por la antigüedad de algunos equipos estos solo tienen un canal de comunicación limitando así la capacidad de redundancia ante una falla de comunicaciones. Se muestra la *Tabla 4.1* donde se muestra la descripción de los Reguladores CCR que actualmente se cuenta, su potencia de trabajo de cada equipo, los cuales están en su máxima capacidad por lo que no se tendría capacidad de ampliación.

	Circuit	POT	MOD	AÑO	DB nam	Jbus 1	Jbus 2	JBus3	JBus4
1	APPROCH CENTER LINE 15 (16L)	25 KW	MCR 5000	2000	APP301	1			
2	APPROCH CENTER LINE 15 (16L)	25 KW	MCR 5000	2000	APP302		17		
3	APPROCH SIDEROW	10 KW	MCR 5000	2000	ASR301	3			
4	APPROCH SIDEROW	10 KW	MCR 5000	2000	ASR302		19		
5	PAPI (includes CSM)	4 KW	MCR 5000	2000	PAP301	4			
6	THRESHOLD, RUNWAY EDGE, WINDCONE 33 (34R)	20 KW	MCR 5000	2000	RWE301		21		
7	THRESHOLD, RUNWAY EDGE, WINDCONE 15 (16L)	20 KW	MCR 5000	2000	RWE302	6			
8	SIGNS	10 KW	MCR 5000	2000	SGN301			34	
9	STOP BARS 33 (34R)	4 KW	MCR 5000	2000	STB302		26		
10	Stopbar 15 (16L) - 1	2.5 KVA	MCR 3	2010	STB303			35	
11	Stopbar 15 (16L) - 2	2.5 KVA	MCR 3	2010	STB304			36	
12	Stopbar B-C-D-E-G - 1	4 KW	MCR 5000	2000	STB305		22		
13	Stopbar B-C-D-E-G - 2	4 KW	MCR 5000	2000	STB306	7			
14	Lead on Alpha - 1	4 KW	MCR 5000	2000	TCL301		20		
15	Lead on Alpha - 2	4 KW	MCR 5000	2000	TCL302	5			
16	T1 (Taxiway)	7.5 KW	MCR 5000	2000	TWE301		23		
17	T2 (Taxiway)	4 KW	MCR 5000	2000	TWE302	8			
18	T3 (Taxiway)	4 KW	MCR 5000	2000	TWE303		24		
19	T4 (Taxiway)	4 KW	MCR 5000	2000	TWE304	9			
20	T5 (Taxiway)	10 KW	MCR 5000	2000	TWE305		25		
21	T6 (Taxiway)	7.5 KW	MCR 5000	2000	TWE306			33	
22	RUNWAY CENTER LINE	10 KW	MCR 5000	2000	RCL401				3
23	RUNWAY CENTER LINE	10 KW	CCT	1998	RCL402				4
24	Taxiway Centerlines & rapid Exit - 1	4 KW	CCT	1998	TCL401				5
25	Taxiway Centerlines & rapid Exit - 2	4 KW	CCT	1998	TCL402				6
26	TOUCH DOWN ZONE	4 KW	CCT	1998	TDZ401				1
27	TOUCH DOWN ZONE	4 KW	CCT	1998	TDZ402				2

Tabla 4.1: Descripción de Reguladores CCR en el AIJCH actuales. (Fuente: CORPAC)

Otro aspecto es el año de fabricación de los equipos que define su tecnología y velocidad de procesamiento, para el caso de los CCR tipo CCT de 1998, son equipos ferro resonantes para el control de corriente, esto quiere decir que ante cambio de intensidad el sistema conmuta bobinas de transformadores para aumentar o disminuir según se requiera, esto genera ruido eléctrico y forma parte de la tecnología más antigua en lo que respecta regulación de corriente, asimismo no son muy eficiente. Los CCR tipo MCR5000 del año 2000, son los primeros modelos a base de tiristores para el control de corriente y usan tarjetas con microprocesador para el control del equipo, estos si podrían venir con dos canales de comunicación, pero por las limitantes de la configuración de los CCT se tenía que mantener la configuración de un solo canal. Los CCR tipo MCR3 son más modernos salieron en el año 2010 y fue parte de una ampliación hecha al sistema en ese año a fin de ampliar los equipos de luces a fin de cumplir los requerimientos para las Categoría III en el aeropuerto.

Circuitos de Energía en Campo Vuelo, o simplemente circuitos de luces, son los componentes necesarios para llevar la energía a los equipos de luces, cada funcionalidad de luces es independiente por lo general, eso significa que habrá un circuito por cada grupo o tipo de luces. Dependerá de las necesidades y configuración para poner un solo tipo de luces como las Luces de Aproximación, pero el circuito de Calles de Rodaje podrá estar segmentadas o en un solo circuito, e incluso asociada a este circuito otras luces más con otras funcionalidades como por ejemplo las luces de protección de pista que se agrupan al mismo circuito de calle de rodaje.

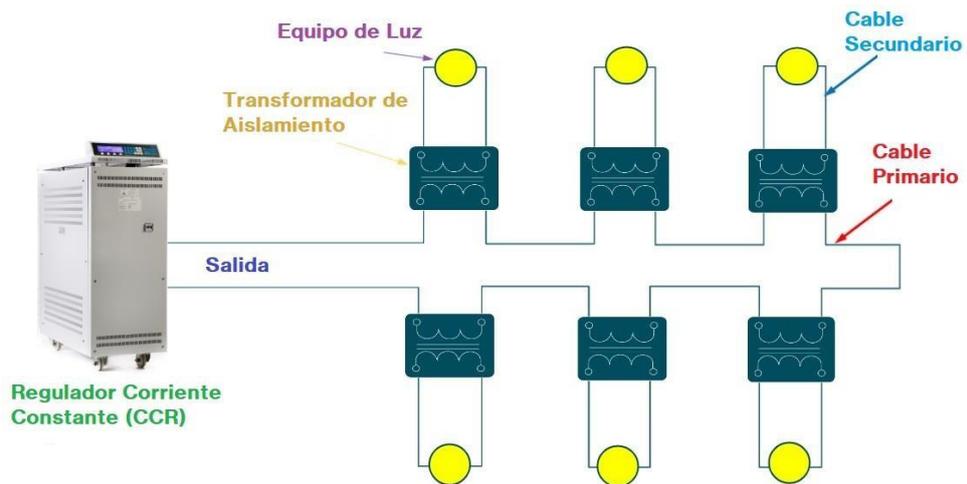


Figura 4.8: Esquema de componentes de circuito básico de campo. (Fuente: ADBSafegate)

En la *Figura 4.8*, muestra los componentes básicos, **El Regulador CCR**, genera una corriente constante que va desde 2.4 A. hasta 6.6, en 5 pasos, esta corriente variará de acuerdo al brillo requerido por las condiciones del ambiente o luminosidad, esta corriente se transmitirá través de **Cable Primario**, que es un cable eléctrico con características especiales de resistencia a la corriente y voltaje, asimismo una característica será la protección mecánica del cable que permitirá su trabajo en zona de ductos, enterrados o incluso bajo agua, con resistencias a materiales abrasivos. La corriente circulara por el cable primario y regresara al regulador pasando a treves de los **Transformadores de Aislamiento**, se instalaran tantos transformadores se necesite para alimentar cada equipo de luz, mediante un circuito serie pasara de corriente, su función es mantener la corriente funcionando así haya falla en el equipo de luz, el transformador generara una corriente por inducción en su otro bobinado, llevando así corriente a treves del **Cable Secundario**, llegando la corriente al **Equipo AGL**, y prendera todas las lámparas del circuito mostrando distintos valores de brillo en proporción a la corriente aplicada, los equipos AGL generalmente son de 5 niveles de brillo, ósea 5 pasos de corriente.

En el AIJCH los cables primarios en su gran mayoría han sido enterrados dificultando la reparación o reemplazos de tramos que pudieran fallar, esto genera un problema para ampliación ya que no hay ducterías donde realizar empalmes de los cables primarios para los nuevos circuitos.

4.1.2 SOLUCIÓN PLANTEADA PARA RESOLVER LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.

La solución planteada debía ser de un SCADA capaz de soportar la integración de los nuevos sistemas requeridos para el funcionamiento de la nueva pista y torre bajo estándares actuales de control, con tecnología de punta y sistemas que garantice la seguridad de funcionamiento y con niveles altos de disponibilidad, supervisión, monitoreo y alarmas sobre una plataforma redundante a falla, integrando a los equipos actuales, los retrasos generados por que el proyecto se llevó a cabo en pleno COVID genero retrasos debido a la complejidad mundial respecto a materiales y mano de obra, asimismo que en obra el personal al contagiarse generaban retrasos dependiendo de su función.

Se realizo un cronograma inicial el cual según la planificación la actualización del SCADA debía entregarse el 19 mayo 2022.

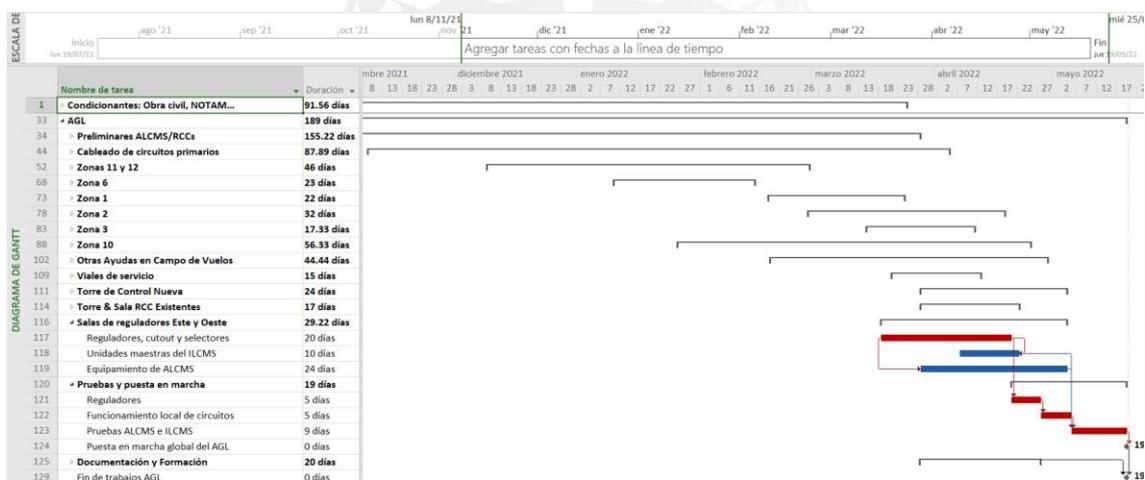


Figura 4.9: Gantt del proyecto de Actualización del Sistema SCADA de AGL. (Fuente: Elaboración Propia)

Para la solución se plantearon varios frentes, esto debido a que se acompañaría a las obras de infraestructura física y obra civil que deberían estar realizadas para poder realizar las actividades relacionadas a la solución planteada.

Las tareas previas de infraestructura física se resumen en:

- Movimiento de tierras.
- Construcción de Nueva Torre de Control y Salas de Control.
- Procesos para Pavimentación de Pista de Vuelo RWY.
- Procesos para Pavimentación de Calles de Rodaje V, R, Q U, L y M en zonas 1,2,3,6,10 11 y 12.
- Procesos para Pavimentación de Vías de Servicio.
- Canalización para AGL en Pista y Calles de Rodaje.
- Cimentación para equipos AGL en pista y calles de rodaje.

Las tareas para la implementación del SCADA se resumen en:

- ***Cableado de Circuitos Primarios, Secundarios y Fibra Óptica***

A medida que vayan habilitando las canalizaciones en las distintas zonas como torre, subestaciones, pista, calles de rodaje, vías auxiliares se ira instalando los cables primarios que van a lo largo de todas las instalaciones mediante buzones, se verifica los planos para las interconexiones, para el caso de los cables secundarios que van desde los buzones a las posiciones finales de los equipos AGL donde se instalan previamente bases y la instalación de los conectores necesarios.

Por otro lado, la Fibra Óptica se tendera de tal modo que no haya empalmes en los puntos intermedio entre cada ambiente donde se vaya instalar una caja de interconexión u Opticom, construyendo así el doble anillo de fibra óptica para la comunicación del sistema.

- ***Instalación de Cajas de Equipos AGL en asfalto***

Para la instalación de los equipos AGL, se requiere unas bases de aluminio que se instalan al nivel del asfalto, para ello dependiente del tamaño o función del equipo puede ser bases de 8” o de 12”.

Se debe perforar es asfalto en una posición especifica y definida por personal de topografía los cuales después de validar con planos marcaran con GPS con precisión donde se hará la perforación.

Después de la perforación se limpiará y mediante accesorios de nivelación y orientación dependiendo del equipo se pegará la base al asfalto con un pegamento epóxido de alta resistencia mecánica y con certificaciones para uso en aeropuertos. En casos excepcionales se deberá de cortar el pavimento para pasar hacer el canal por donde pasaran los cables eléctricos hacia la caja.

- ***Instalación de Transformador y Conexión en Buzones AGL***

En cada buzón AGL de acuerdo a los planos de equipos, se instalará los transformadores de aislamiento en la cantidad y potencia necesaria según requiera los equipos AGL que se instalará en dicho buzón. Los cables primarios y secundarios de los equipos AGL según el circuito que corresponda se interconectara mediante la instalación de conectores primarios y secundarios según sea el caso. Asimismo, se instalará la conexión a tierra de los transformadores y equipos AGL.

- ***Instalación de Equipos AGL en Pista y Calles de Rodaje***

Dependiendo del tipo de equipo la instalación de los equipos AGL serán empotrados en las bases instaladas, serán elevados que se fijan a la pista con soportes perforados igualmente marcados con GPS por topografía como luces de borde de pista, serán también en bases de concreto como letreros, serán en alto en postes o serán en bases espaciales.

También habrá equipos auxiliares o especiales como los conos de viento, letreros, luces PAPIS, semáforos de control vehicular, faro entre otros.

- ***Instalación de Reguladores CCR***

Se construye dos subestaciones o salas de reguladores llamadas Este y Oeste, en las cuales se instalará los reguladores que controlan los distintos circuitos de luces, a estas salas dependiendo el circuito llegarán mediante las canalizaciones los cables primarios de cada circuito y se interconectará con los CCR.

Del mismo modo cuando el equipamiento del SCADA se instale se dispondrá de los gabinetes de control donde los CCR deberán comunicarse vía cables ethernet.

- ***Instalación de Sistema ILCMS (Servidores, Maestros y Remotos) y Sistema de Sensores CCBox***

En las subestaciones se instalará como equipo adicional a los CCR, los equipos del sistema ILCMS para el control de las luces inteligentes, los cuales estarán interconectados por cables ethernet según planos de diseño, y la parte de fuerza en los circuitos involucrados se conectarán los Master ILCMS a los CCR de los circuitos manejados por el sistema ILCMS.

Como sistema complementario al ILCMS están los sensores de presencia de aeronave en las barras de parada, para ello se instalarán en las cercanías a las barras que poseen esta opción el gabinete CCBox los cuales se interconectarán a las subestaciones mediante enlaces de fibra óptica.

- ***Instalación Equipamiento del Sistema SCADA***

En cada ubicación o sala definida para los controles, estaciones y servidores se realizará la instalación de los componentes del SCADA a fin de interconectar todos los equipos por ethernet o fibra óptica según diseño.

Las ubicaciones donde se deberá instalar son la Torre Actual, Torre Nueva, Sala Técnica, Subestación Existente, Subestación Este, Subestación Oeste, Sala Localizador, Sala Glide Path y ubicaciones de Sensores en Pista se instalarán los gabinetes de control, estaciones y servidores. Se hará las conexiones de alimentación eléctrica, las conexiones de control multifilar, las conexiones ethernet necesarias y las interconexiones de fibra óptica.

- ***Configuración y Personalización de Programación HMI SCADA***

Se verificará las funcionalidades de software tanto del HMI como de los programas de los PLC, modificando las aplicaciones que se requieran a fin de configurar de acuerdo a los requerimientos y la infraestructura instalada.

- ***Pruebas Técnicas y Puesta en Marcha del Sistema SCADA***

Se realizará las pruebas y encendidos iniciales de los equipos de manera progresiva, desde los ***equipos de control local*** para verificar las funciones individuales de control local como los CCR, los Papis, Conos, Faro y Destellos, así se valida eléctricamente y funcional cada equipo AGL.

Se realizarán las pruebas de red mediante el encendido inicial de la infraestructura de **comunicaciones** verificando y validando que haya interconectividad entre todos los switches y se logre tener el anillo, verificando las comunicaciones y las pruebas de corte de fibra simuladas y caídas para validar las redundancias de las comunicaciones.

Se realizan las pruebas de los gabinetes de control local y su comunicación en la red validando su interconexión, se realizará simulaciones de caída de energía y comunicaciones para validar las redundancias.

Se prueba la plataforma de cómputo energizando los Servidores SCADA y Estaciones HMI verificando las comunicaciones, pruebas de energía y comunicaciones para validar redundancias, y se probará la instalación del software y las aplicaciones en estaciones y servidores verificando la comunicación y funcionalidades.

Se conecta y se configura el software del Sistema ILCMS interconectándolo al sistema SCADA igualmente con pruebas.

Después de las pruebas individuales de los sistemas, se realiza unas pruebas globales con todos los sistemas interconectados asimismo después de levantar observaciones que pudiera haber, se realiza pruebas de estabilidad y pruebas de esfuerzo dejando el sistema en funcionamiento durante varias horas y días continuos.

- ***Puesta en Marcha en Prueba de Operación y Capacitaciones***

Terminado las pruebas técnicas se realizará las pruebas operativas acompañadas de capacitación a los operadores que serán los Controladores de Torre ATC y personal de Mantenimiento.

Con el fin de realizar los protocolos de entrega del sistema, se validará con los usuarios, de tener algunas observaciones se valida y se ajustarán la configuración o modificación del programa de los sistemas, serán validados nuevamente para la puesta en marcha en servicio del sistema.

En esta etapa se estará trabajando con dos sistemas de control, el nuevo para los equipos nuevos, y el sistema antiguo que maneja la pista actual.

- ***Integración de Pista Actual al Nuevo Sistema y Actualización de Sistema SCADA con la integración.***

Con el sistema ya en producción, se debe integrar las funciones del sistema antiguo, función que ya se consideró dentro del proyecto, se realizará el cambio de control de gabinete nuevo para controlar los equipos que funcionan en la pista actual. Del mismo modo se actualizará el HMI para controlar la pista actual.

Se saca fuera de servicio el sistema antiguo ya que en este punto no podría controlar los nuevos equipos y no tenía capacidad de integración.

Se diseñó que el nuevo sistema debería considerar la siguiente arquitectura:

4.1.2.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA SCADA

Se evaluó las características necesarias del SCADA a fin de poder solucionar los problemas y limitaciones del sistema antiguo, considerando las características actuales de un sistema moderno, distribuido, robusto, redundante y tolerante a fallo, a fin de asegurar el funcionamiento del aeropuerto con altos estándares de disponibilidad.

Se conceptualizó y se dio el nombre al Sistema SCADA denominándolo ALCMS (Airfield Lighting Control and Monitoring System), Sistema de Control y Monitoreo de Luces de Campo de Vuelo, siendo un SCADA para aplicación aeronáutica, el cual se basa en las características de un SCADA.

Se consideró dividir el sistema en 4 capas para una adecuada instalación, y conceptualización, como se muestra en la *Figura 4.10*.

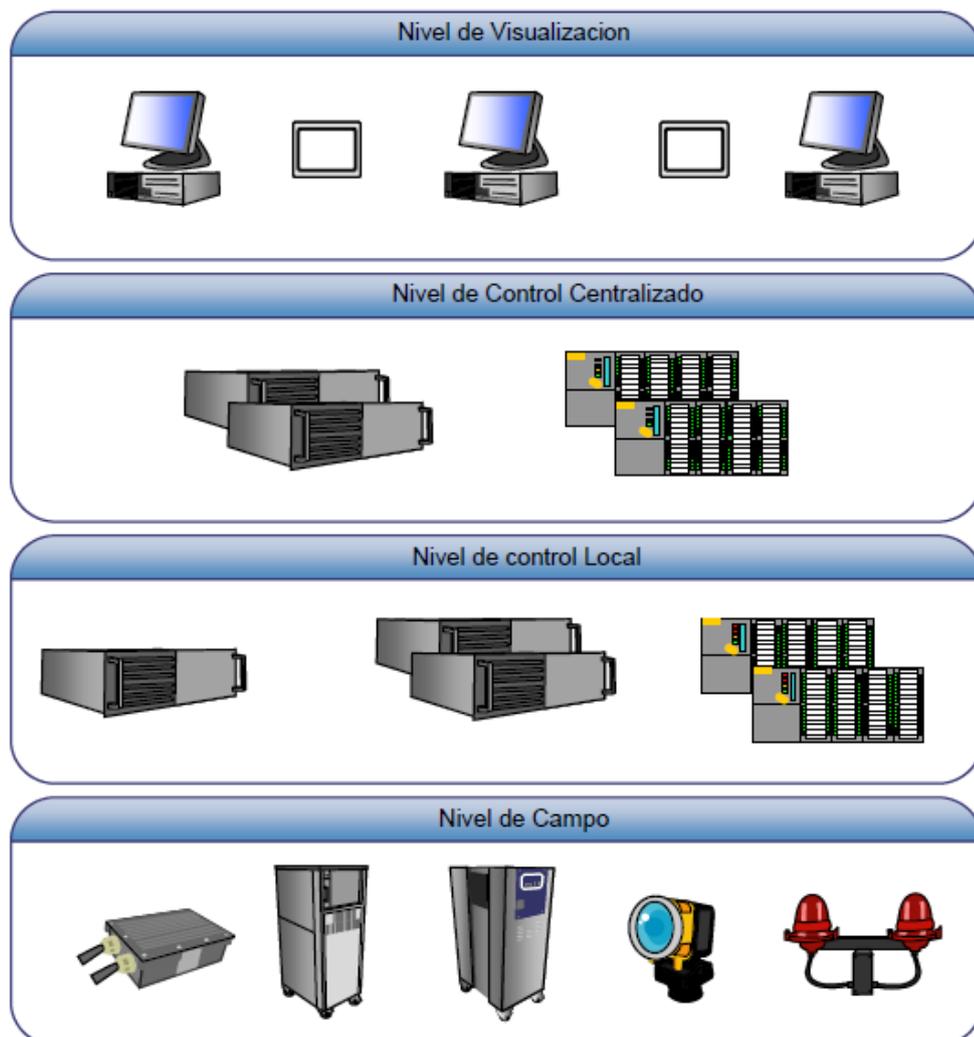


Figura 4.10: Capas del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)

La primera capa ***Nivel de Visualización***, agrupa a los componentes de alto nivel y los HMI para la visualización de las funcionalidades de control y monitoreo, como las Estaciones para ambas torres la actual y la nueva, así como estaciones de mantenimiento que se ubicarían en la sala de reguladores actual y en las dos salas nuevas llamadas Sala 1240 Este y Oeste.

La segunda capa ***Nivel de Control Centralizado***, consiste de los Servidores SCADA bajo una configuración de servidores redundantes, así como el PLC Master, también bajo una configuración de PLC Redundante, los cuales son usados para centralizar y consolidar la información proveniente de los grupo de los equipos de control local agrupados a su vez en funciones o segmentos lógicos de luces, almacenando la data usada por el nivel de visualización, contiene también la base de datos de eventos y alarmas.

La tercera capa ***Nivel de Control Local o Ejecución***, son los equipos de control que gobernarán los equipos en campo, son los PLC, Sistemas de ILCMS (Control de Luces Individual), Sistemas Master de control de Segmentos de Luces, Reguladores CCR entre otros.

La cuarta capa ***Nivel de Campo o Equipos AGL***, agrupa a todos los equipos que trabajan directamente en campo de vuelo, luces inteligentes y control remoto, las bases de los equipos, las lámparas mismas de las distintas luces y todos los sistemas auxiliares AGL asociados, como cables, transformadores, conectores entre otros.

El ***enlace*** entre las diferentes capas es realizado mediante distintos medios de comunicación, debido a la criticidad del sistema, estos medios de comunicación serán de grado industrial para garantizar la estabilidad, continuidad y robustez de las comunicaciones, el enlace entre la primera, segunda y tercera capa se realiza mediante una red Ethernet dedica de grado industrial, asimismo se usa un esquema de VLans para aislar los flujos, mejorar la velocidad de respuesta y la seguridad del sistema. El enlace de la tercera y cuarta capa se realiza mediante diferentes medios dependiendo el tipo de equipo AGL, este podría ser Ethernet, Fielbus, TCP Serial, control multifilar, comunicaciones tipo power line, Jbus, Modbus, RS485 entre otros.

4.1.3 DESARROLLO DE ACTUALIZACION Y ANÁLISIS

El desarrollo del proyecto se llevó de manera programada en función a la habilitación de los espacios físicos a medida que el área de infraestructura liberaba las áreas terminadas.

De acuerdo a la solución planteada de acuerdo a la arquitectura presentada se tiene el siguiente desarrollo:

4.1.3.1 TOPOLOGIA DEL SISTEMA

Está dividido en 4 niveles:

1. Nivel de Control

Computadoras HMI para el Grupo de Operadores de Torre ATC y Grupo de Mantenimiento, nivel superior de visualización y comando, permite las funcionalidades de control y monitoreo para los operadores de torre, retroalimentación grafica detallada de los equipos AGL del aeropuerto para el personal de mantenimiento.

2. Nivel de Control Centralizado

Servidores centralizados y PLC master, trabajando en redundancia *Hot Standby* es el elemento clave en la configuración del sistema, en este nivel se interpretará las órdenes del HMI y se enviarán al nivel de control local y viceversa. Asimismo, se almacenan en la base de datos los valores de estados, configuración, alarmas e histórico de valores del proceso.

3. Nivel de Control Local

Servidores Redundante ILCMS, PLC Redundantes, Reguladores CCR y Master ILCMS a los que se conectan los equipos de campo. En este nivel se ejecutará los comandos y las programaciones desde los niveles superiores a los equipos de campo.

4. Nivel de Campo

Son los equipos y componentes dedicadas a realizar tareas específicas y lograr realizar la función requerida logrando el grado de rendimiento requerido, aquí están todos los equipos AGL, equipos auxiliares, letreros, luces PAPI, luces destellos, entre otros.

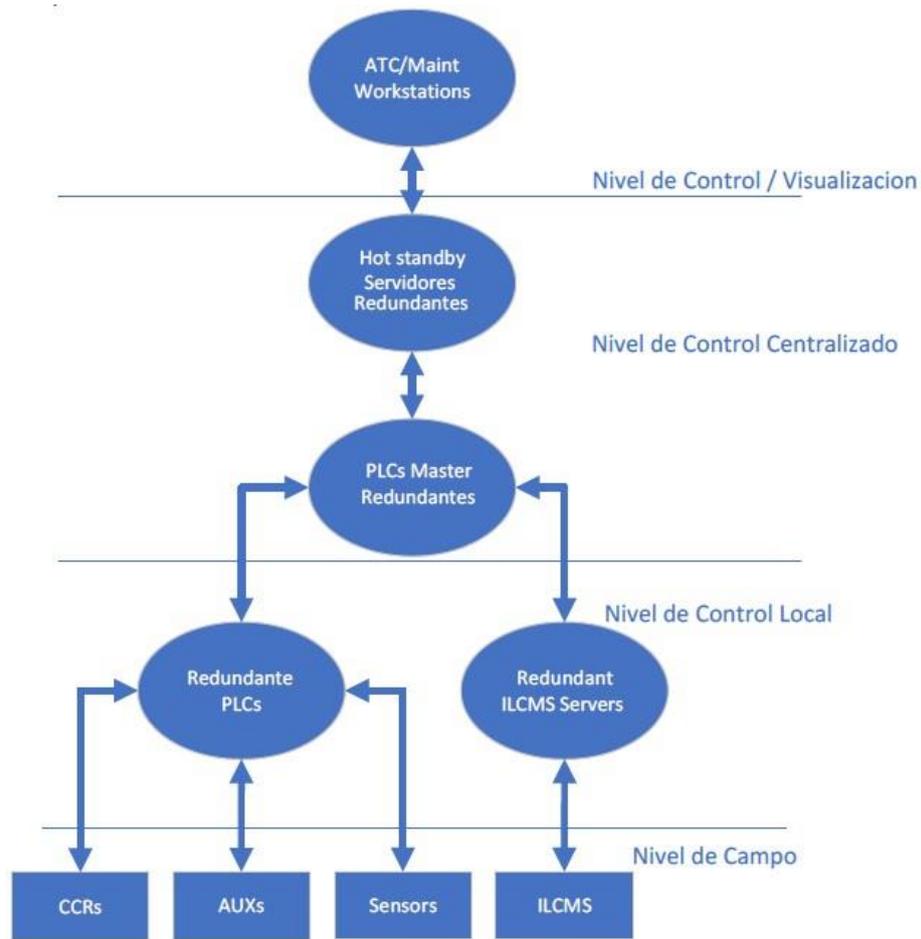


Figura 4.11: Topología del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)

4.1.3.2 ARQUITECTURA DE SOFTWARE

Está dividido en 3 niveles:

4.1.3.2.1 Software de Desarrollo de HMI SIMATIC WinCC V7 SCADA

El HMI se implementó con el Software de Siemens WinCC V7, esta plataforma de desarrollo SCADA es un software escalable desde aplicaciones HMI básicas monousuario hasta aplicaciones redundantes distribuidas multiusuario en plataformas con múltiples servidores redundantes para ambientes críticos.

El software tiene numerosas funciones de monitoreo y control en todas las industrias de procesos automáticos. El sistema ofrece completas funcionalidades SCADA para tareas de visualización, eventos de alta complejidad, hasta las últimas soluciones para plantas inteligentes.

Las funcionalidades del sistema pueden adaptarse completamente a las necesidades a través de las opciones que se ajustan en capacidades, cantidad de mensajes, de usuarios y estaciones.

La conectividad a las Base de Datos esta incorporado y el usuario no requiere conocer sentencias SQL para las consultas, estas se harán mediante las herramientas de visualización, alarmas, tendencias o reportes mediante una programación grafica de manera sencilla.



Figura 4.12: Imagen de entorno con SIMATIC WinCC SCADA. (Fuente: Siemens)

El sistema WinCC es un entorno de desarrollo robusto con una presencia en el mercado por más de 25 años, líder en el rubro y las industrias con procesos más críticos escogen WinCC como plataforma de desarrollo de su SCADA y HMI. Con soporte de todos los protocolos Industria 4.0, protocolos industriales e interfaces para sistemas MRP, MES e inteligencia de datos con integración con Power BI.

Las características fundamentales del sistema son:

Eficiencia, sistema robusto, estable y de ingeniería eficiente con grabación de datos de alta performance y máxima seguridad de datos. Esto nos proporciona la base para una gestión eficiente de las operaciones y análisis inteligente de la producción o proceso.

Escalabilidad, se puede usar estaciones o móviles para el control de los procesos con seguridad garantizada. No importa si los requerimientos son pequeños o grandes, el sistema se adaptará a las necesidades con más de 25 años de experiencia en el desarrollo de plataformas de creación de Sistemas SCADA.

Innovación, soluciones en entornos móviles, uso de formato SVG en el desarrollo permite el uso de los HMI en multiplataforma, así como el uso de HTML5 e interfaces para PowerBI hacen que el sistema tenga las tendencias tecnológicas al día para un integración real y efectiva.

Sistema Abierto, se puede implementar fácilmente la integración con cualquier sistema propietario o de otros proveedores, gracias a la facilidad de programación ya sea en C o VB.

WinCC es modular, y se puede visualizar el proceso y configurar el HMI, esto es debido a la comunicación directa con los controladores, mediante etiquetas o tag se realiza el intercambio de datos, teniendo las siguientes posibilidades:

- WinCC permite **monitorear** el proceso, el proceso se ve gráficamente, ante un evento de cambio de estado del proceso, este se actualizará en el gráfico.
- WinCC permite **controlar** el proceso, desde el gráfico del proceso es posible modificar un estado, y este podría prender un equipo.
- WinCC permite **supervisar** el proceso, al monitorear el proceso, estos estados pueden asociarse a estados críticos y de cambiar su estado, esto podría alarmar al sistema según la programación desde una alerta en pantalla con cambio de color, activación de sirena, control automático de la variable, o mail para que tomar una acción.
- WinCC permite **archivar** el proceso, se tiene las opciones para imprimir, mandar mail, o archivar los avisos, alarmas o valores del proceso, logrando así documentar el proceso en tendencias, históricos y reportes del proceso.

El desarrollo se realiza mediante la creación de un Proyecto, que es la base del HMI en WinCC, estos son los componentes de WinCC:

a. WinCC Explorer

Los proyectos se crean con el componente WinCC Explorer, que es la herramienta de configuración del WinCC, con este se administran los proyectos que al ejecutarlos se convierten en los HMI.

En WinCC Explorer se representa toda la estructura del proyecto, y se abren los distintos editores para la elaboración del proyecto. Cada editor es un subsistema de WinCC, dentro de los principales se tiene:

Subsistema	Editor	Función
Sistema gráfico	Graphics Designer	Configurar imágenes
Sistema de avisos	Alarm Logging	Configurar avisos
Sistema de ficheros	Tag Logging	Archivar datos
Sistema de informes	Report Designer	Crear diseños
Administración de usuarios	User Administrator	Administrar usuarios y sus derechos
Comunicación	Administración de variables	Configurar la comunicación

Tabla 4.2: Tabla de Editores principales de WinCC Explorer. (Fuente: Siemens)

b. WinCC Runtime

Es el componente que ejecuta el proyecto en modo producción o también llamado “Runtime” ejecutando toda la programación realizada según los enlaces de tags realizados, no se puede modificar o ejecutar algún editor en este estado ya que se encuentra en ejecución, comunicándose con los PLC mediante los enlaces de los tags.

WinCC Runtime permite monitorear y controlar el proceso, realizando las siguientes tareas:

- Interpretar los datos de configuración que están en la base de datos de configuración.
- Mostrar plantillas de imágenes en formas de pantallas que interactúan entre ellas mediante el uso de botones, pudiéndose tener una única imagen o múltiples imágenes en el HMI.
- Archivar datos en el momento de algún evento, interacción manual o automática para usarse en otros procesos o almacenarse como históricos.
- Controlar el proceso, mediante la interacción con el HMI, botones u opciones automáticas como temporizadores o lógica de eventos, intercambiando tags con los PLC para la activación en campo según la lógica programada.

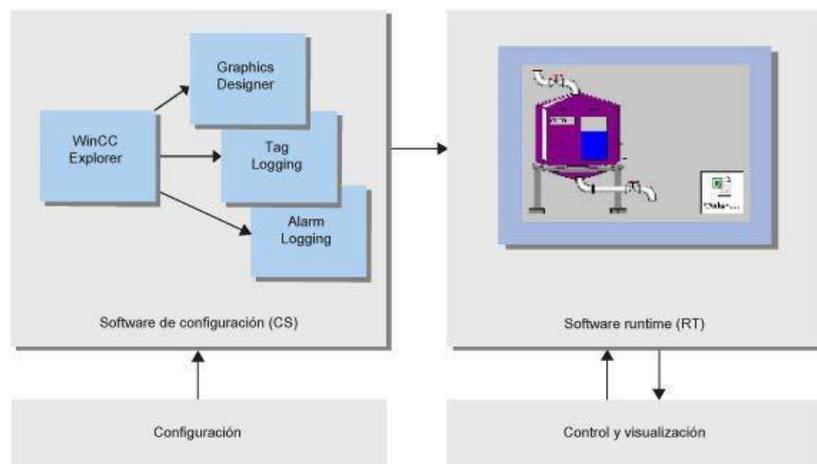


Figura 4.13A: Características de los Componentes del WinCC. (Fuente: Siemens)

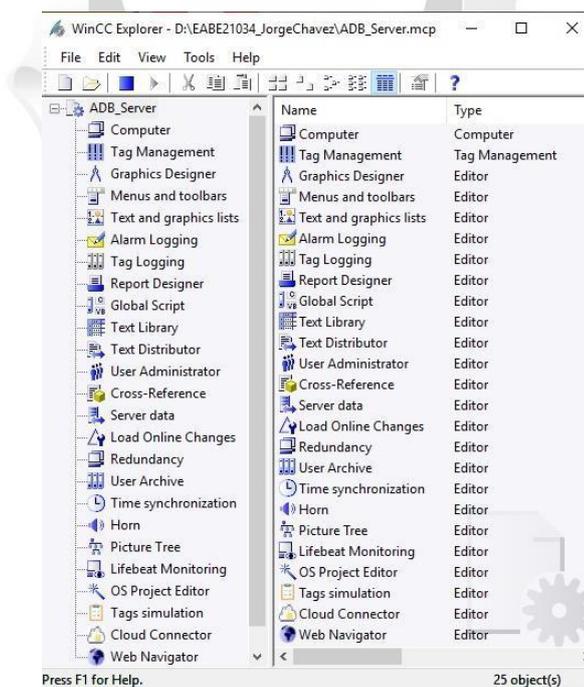


Figura 4.13B: Vista del WinCC Explorer. (Fuente: E. Propia)

WinCC Explorer tiene 25 Editores que se complementan para desarrollar proyectos simples hasta los más complejos y el uso de ellos dependerá del tipo de procesos, tipo de datos, modo de control, entre otros. Se describe el uso de algunos editores:

a. Editor COMPUTER

En el Editor Computer, se configura las características de la estación, la ruta donde ejecutara el proyecto, la configuración de la seguridad para proteger el HMI para que el operador no pueda acceder al Sistema Operativo o haga alguna combinación de teclas para desactivar el HMI y la forma en que se ejecutara el Componente WinCC Runtime.

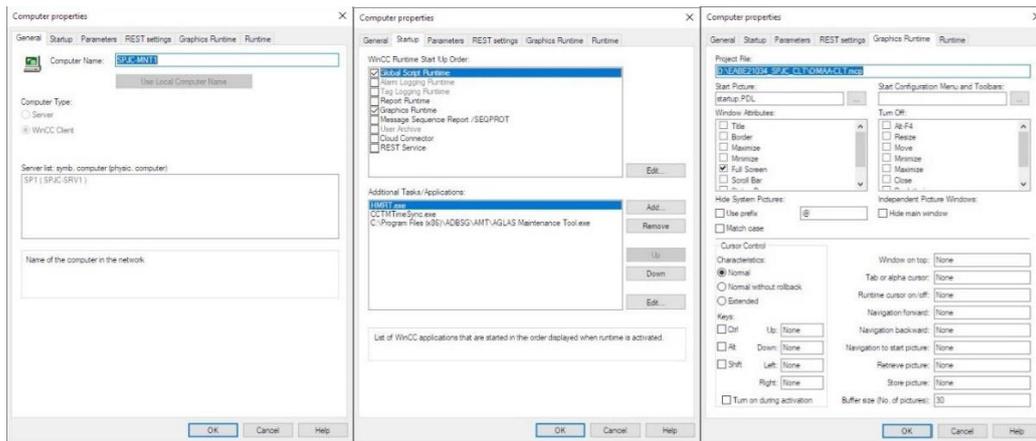


Figura 4.14: Pantalla del Editor Computer. (Fuente: Siemens)

b. Editor TAG MANAGER – Administración de Variables

El editor de administración de Tag o Variables es el puente entre los tags del proceso en los PLC y los tags del HMI, mediante este se crea el vínculo entre un tag de la aplicación HMI y el estado de una variable del PLC, de este modo al relacionarlo con una imagen se podrá ver el estado de dicha variable, del mismo modo al relacionarlo con un botón, y al cambiar su estado se cambiaría el estado en el PLC, controlando así un equipo. Existen tags internos y tag externos de proceso que son los valores en tiempo real que se tiene en el PLC ósea los valores en campo.

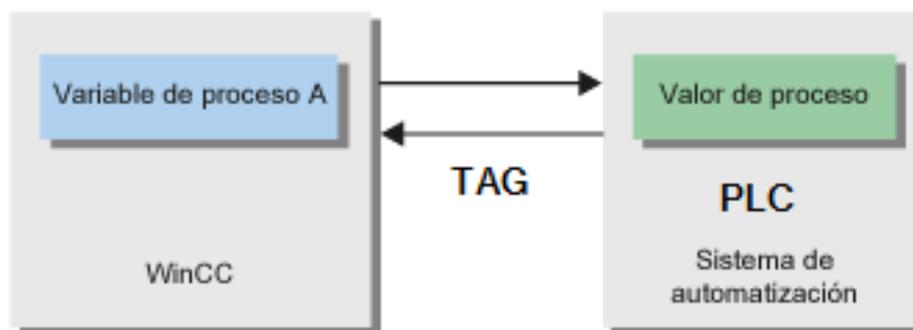


Figura 4.15: Esquema de uso de Tag Externo en WinCC. (Fuente: Siemens)

Cada tag externo representa un valor del proceso en la memoria de algún PLC, es por ello que también se dice que son Tag de Proceso, cuando el proyecto está en “Runtime” el sistema intercambia los valores de los procesos entre el HMI y el PLC según la lógica programada, gracias a ello se representa los valores en la interface gráfica y se puede controlar o monitorear los estados en campo. Los tags internos no están conectadas al proceso y sirven para la lógica interna del HMI. Para mantener un orden los tags se agrupan en grupos de acuerdo a su aplicación para un mejor entendimiento del uso del tag.

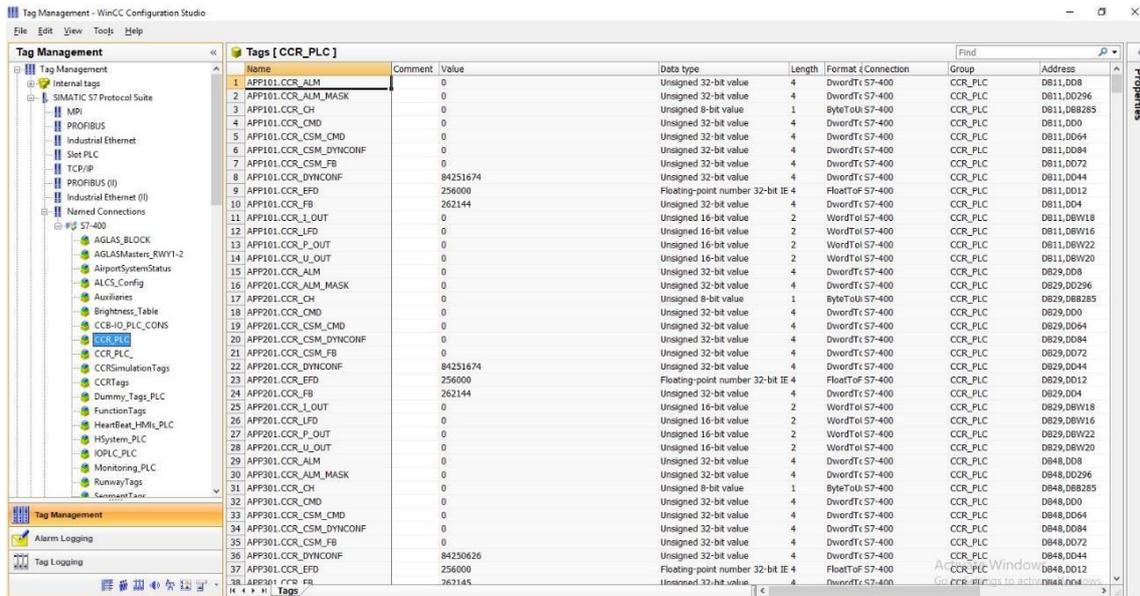


Figura 4.16: Pantalla del Editor Tag Manager. (Fuente: E. Propia)

c. Editor GRAPHICS DESIGNER

La representación gráfica del proceso es el modo rápido de entender el proceso y es la herramienta más potente para la gestión del proceso, son la clave del proyecto, el grafico representa un proceso y permite el control y monitoreo de dicho proceso.

Los gráficos o mímicos se desarrollan con este editor y permite crear y configurar el sistema grafico del HMI en WinCC. Los mímicos se desarrollan mediante elementos gráficos que se ponen en una plantilla y estos objetos son de varios tipos que tienen propiedades que reaccionan o muestran propiedades según se programe, entre ellos se tiene:

- **Objetos estáticos**, su función decorativa, informativa o de complementación del diseño permanecen invariables en el Runtime.
- **Objetos dinámicos**, estos cambian en función a los valores del proceso, puede ser una imagen, un cuadro de texto, entre otros.
- **Objetos manejables**, permiten controlar el proceso, pueden ser botones, controles deslizantes, campos de E/S entre otros.

Un proyecto podría tener un mímico, pero dependiendo de la complejidad del proceso a controlar y supervisar, por lo general se tiene múltiple mímicos para cada etapa del proceso o configuración de este.

La función del “Runtime” es la de representar todos los objetos estáticos y manejables en HMI, por otro lado, es la de actualizar el estado de los objetos dinámicos para representar el estado en tiempo real del valor equivalente del proceso, y reaccionar a los controles sobre los objetos que se hagan.

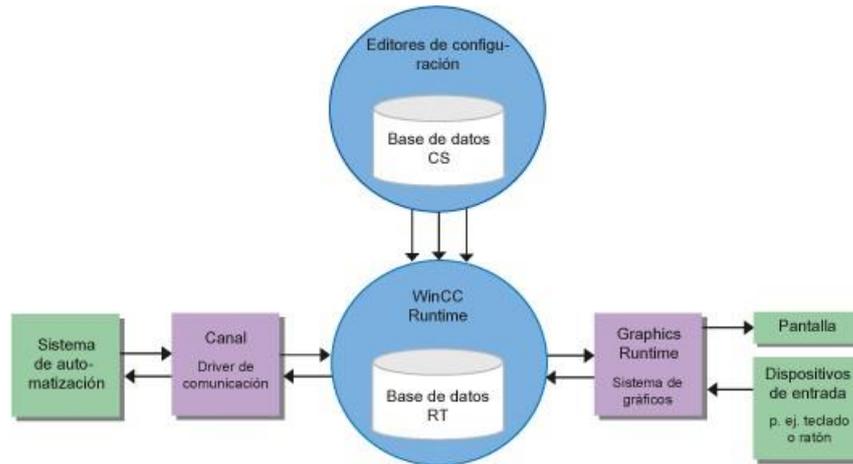


Figura 4.17: Esquema del Runtime y el Editor para uso de Grafico WinCC. (Fuente: Siemens)

Para el desarrollo del HMI del aeropuerto se ha utilizado cerca de 300 plantillas graficas para cada uno de los controles, a manera demostrativa se ilustrará las pantallas más representativas.

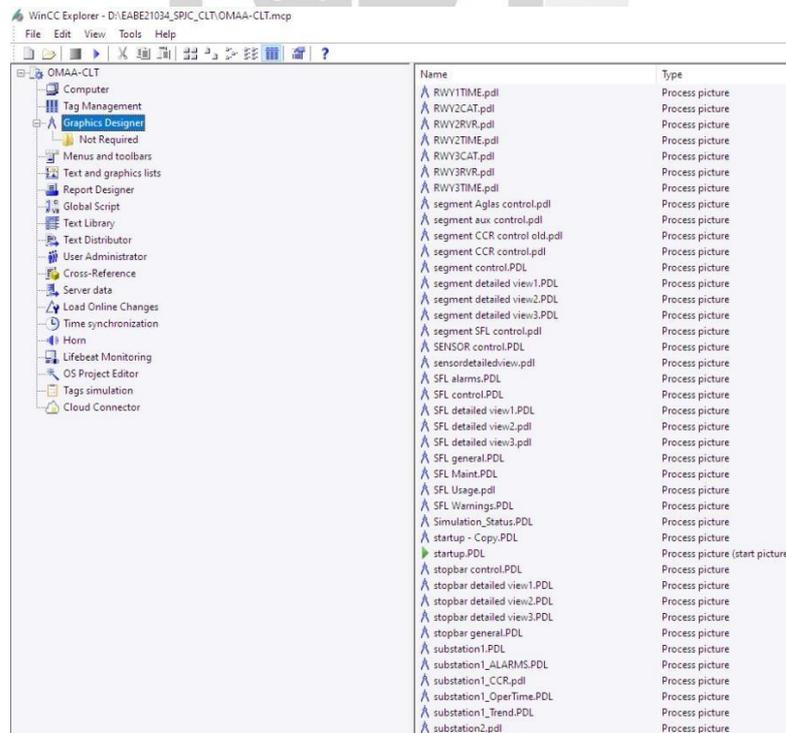


Figura 4.18: Vista parcial de mímicos desarrollados para el HMI del Aeropuerto. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.2.2 Desarrollo de mímico de Vista General de Aeropuerto

Como se muestra en la *Figura 4.19*, el entorno desarrollo de los mímicos es el Graphic Designer es similar a un programa de diseño gráfico en la cual se ponen los objetos gráficos y se tiene una paleta de herramientas gráficas, dentro de ellas hay librerías graficas con imágenes prediseñadas o también se puede importar imágenes propias.

Dentro de las herramientas están los controles como los botones y controles de E/S como cuadro de texto, todos los objetos tienen propiedades en parte baja, que se pueden modificar propiedades básicas de color, valores de texto, aspecto, y animaciones, estas propiedades pueden modificarse de manera fija en la programación, o puede darse cambios automáticos de acuerdo a reglas de programación.

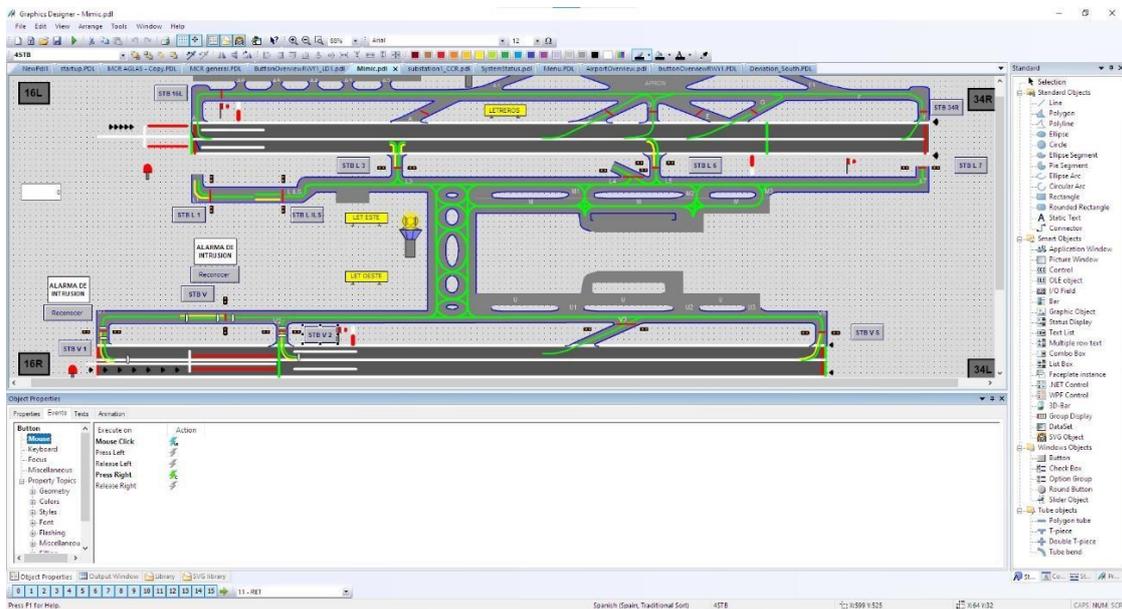


Figura 4.19: Vista Modo Diseño del Mímico Vista General del Aeropuerto. (Fuente: E. Propia)

La parte que da una funcionalidad de programación para controlar los procesos son los temporizadores, triggers y eventos, los eventos nos permite controlar el comportamiento de las variables según la acción manual o automática sobre un objeto, para ello se selecciona el objeto, se va a la pestaña eventos y se puede elegir realizar la programación mediante 3 modos, Programación en C, Programación en VBScript y Programación Directa sobre Variable.

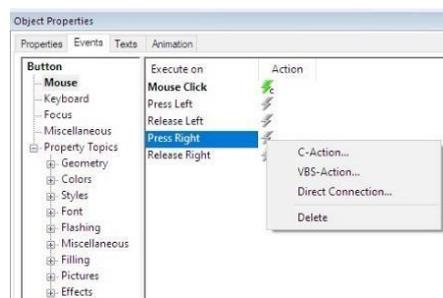


Figura 4.20: Modo de Programación de Evento. (Fuente: E. Propia)

Esto nos permite una flexibilidad para el desarrollador ya que nos da la libertad según la experiencia para lograr el desarrollo de la aplicación. Se muestra la Figura 4.21, donde se muestra una ventana de programación de evento de un botón.

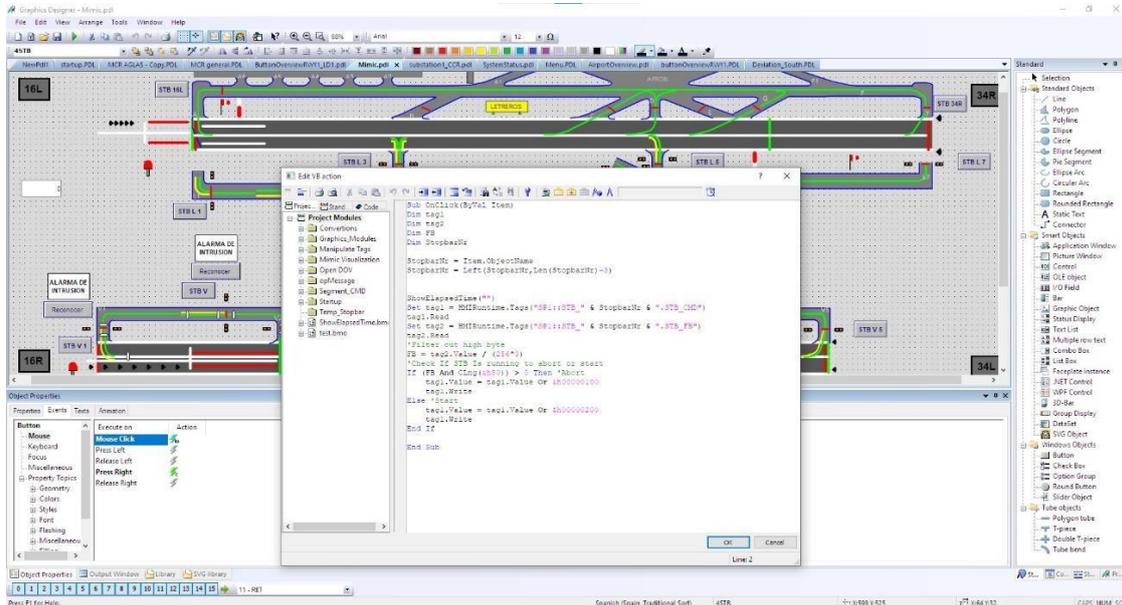


Figura 4.21: Vista de ventana de programación de evento de un botón en VBScript. (Fuente: E. Propia)

Para el caso demostrativo de programación de conexión directa como se muestra en la Figura 4.22, se debe seleccionar de la lista de tags disponibles y definir el valor que se desea enviar, pero al no ser programable tiene limitaciones ya que no se puede aplicar alguna lógica programática ya que solo permite pasar valores fijos.

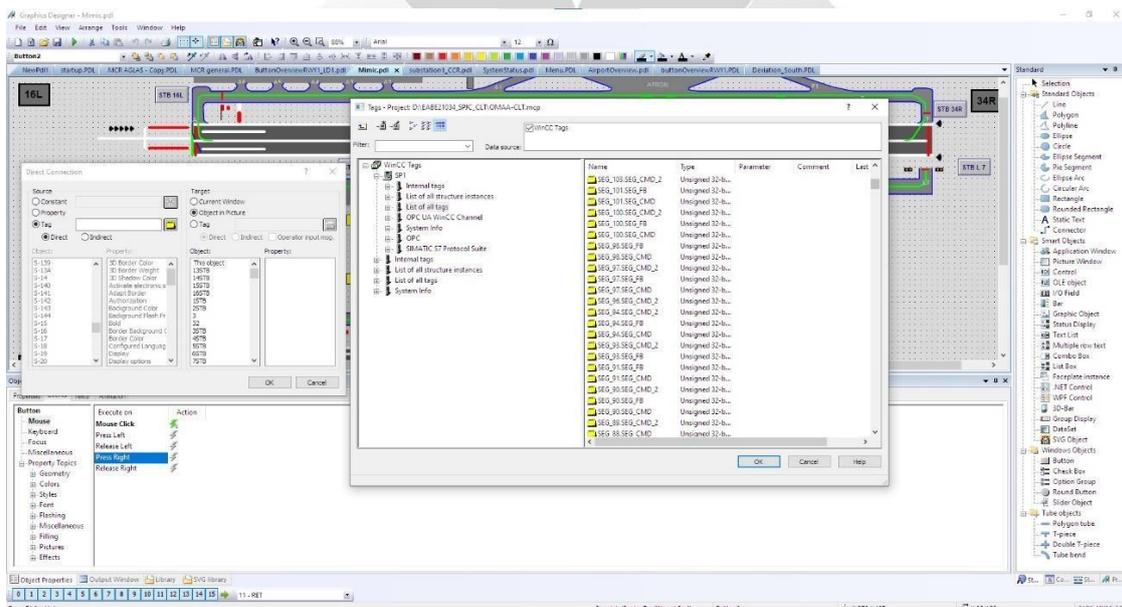


Figura 4.22: Vista de ventana de programación de un botón en Conexión Directa. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.2.3 Software Programación Controladores PLC SIMATIC STEP 7

El Portal de Automatización de Integración Total de Siemens llamado TIA PORTAL V17 es la plataforma para la programación de todos los controladores PLC, los Controladores de Servomotores, Paneles HMI, Controles de Energía y Drives de Motores, antiguamente se tenían software para cada componente de control, con esto se ha logrado varias ventajas de programación e integración, la comunicación entre los distintos componentes de control se vuelve práctica y sencilla sin tener que estar viendo temas de drives de software, configuraciones o compatibilidades, así el programador se centra en la lógica del sistema. TIA Portal es la plataforma flexible, rápida e innovadora herramienta de simulación logrando una ingeniería integrada, para soluciones de programación de equipos de control.

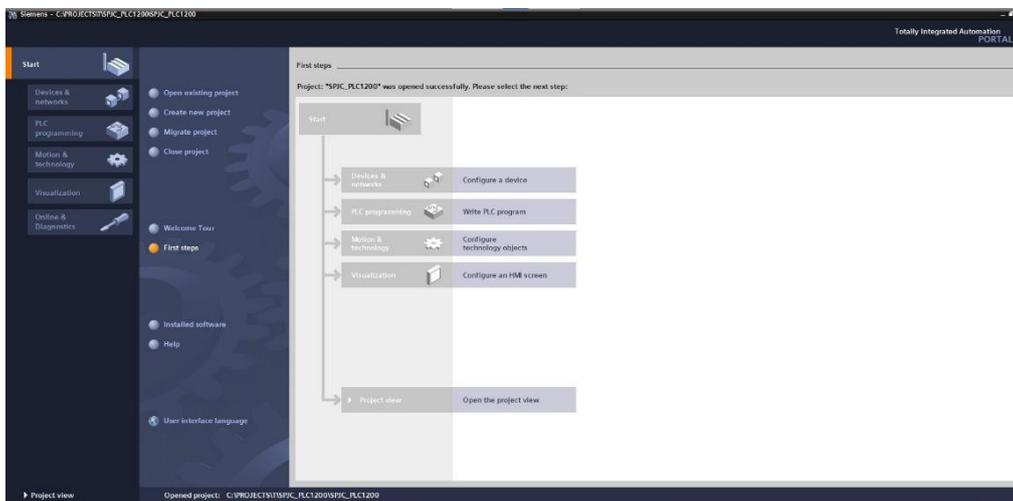


Figura 4.23: Vista de la plataforma TIA PORTAL. (Fuente: E. Propia)

Dentro del TIA PORTAL estarán los componentes para la programación de los distintos equipos, el componente para programar los PLC es el STEP 7, para programar cualquier PLC el esquema de trabajo es el mismo, se escoge el Modelo del PLC dentro de la lista de controladores y una vez establecida comunicación con el controlador se configura los módulos que tenga y se tendrá listo para comenzar la programación.

Con el STEP7 se podrá configurar, programar, diagnosticar y simular todos los PLC en sus distintas variantes.

Las características del STEP 7 son:

Editor Central para Configuración de Hardware y Redes

El editor de STEP 7 (TIA Portal), soporta la configuración de todos los controladores en un solo editor, mejorando la eficiencia y velocidad de configurar los equipos. Asimismo, permite ver gráficamente la red de controladores y el estado de la red.

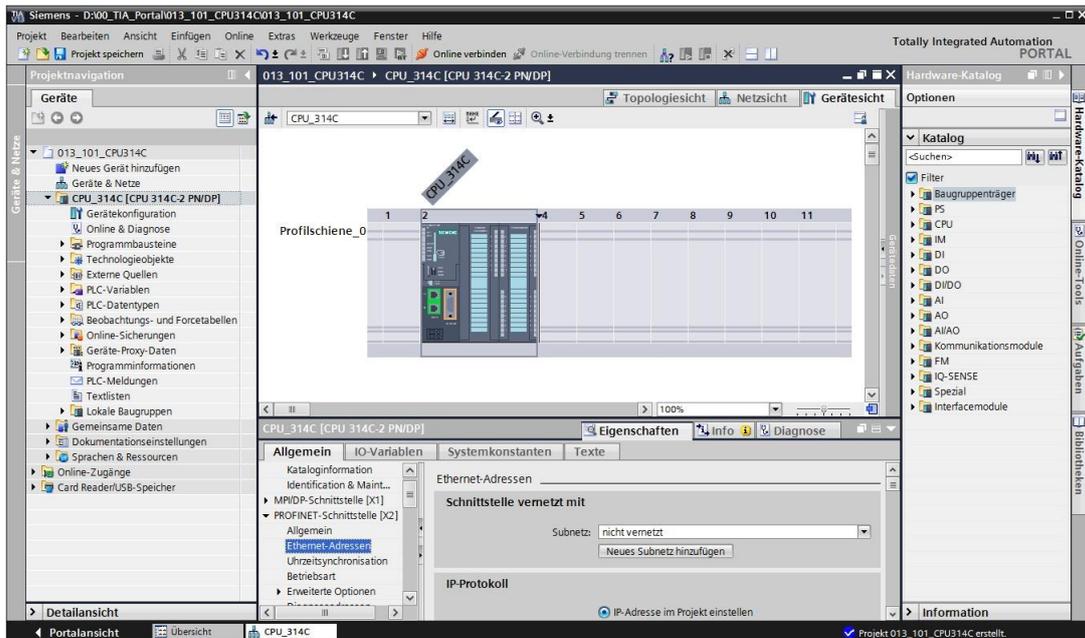


Figura 4.24: Vista del Editor de Configuración STEP 7 (TIA Portal). (Fuente: Siemens)

Editor Central para Programación

El editor de STEP 7 (TIA Portal) soporta todos los lenguajes de programación gráfica, esto asegura un incremento en la eficiencia de la ingeniería cuando los programas son creados. El editor ofrece opciones de copiar y pegar, lista cruzada de E/S, autocompletar, entre otras que ayudan a la creación eficiente de programas.

Integra los diferentes lenguajes como LAD, FBD, SCL y STL en un entorno de trabajo común asegurando que toda la data esta disponible para el usuario.

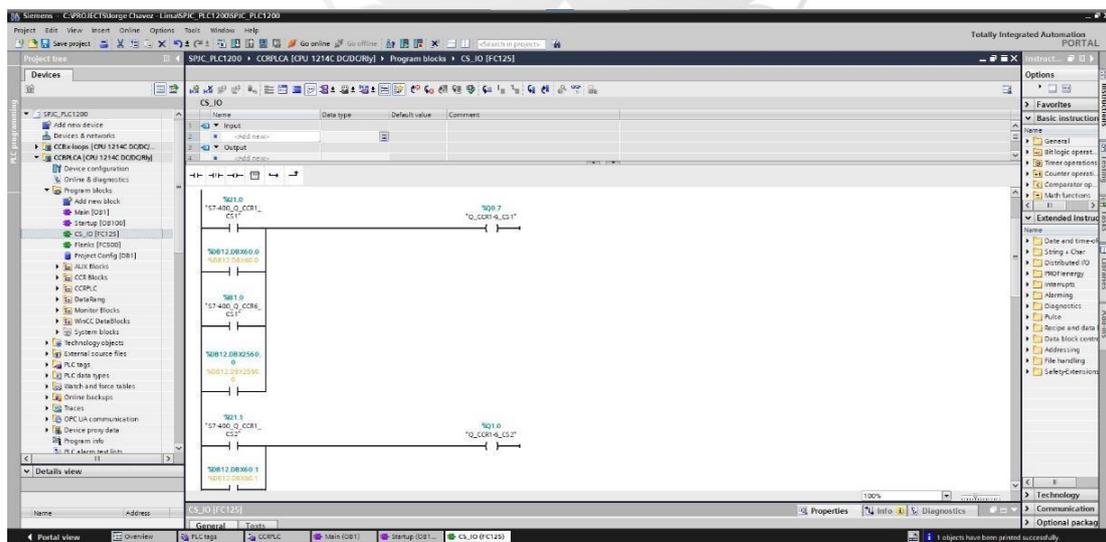


Figura 4.25: Vista del Editor de Programación STEP 7 (TIA Portal). (Fuente: E. Propia)

Funciones de Diagnóstico y Soporte Online

La función de diagnóstico del sistema del controlador es una parte integral del STEP 7 y no requiere algún licenciamiento adicional. Durante la fase de ingeniería las funciones de diagnóstico se activan solo con un click. Es una función potente ya que al generarse una alarma esta es llevada inmediatamente a las alarmas del HMI, Web o TIA Portal, sin mayor programación ya esta incorporado en el sistema el manejo de esto.

Gracias a la función de trazado en tiempo real, todos los programas pueden ser diagnosticados y optimizados, y con la ayuda de funciones “online” una gran cantidad de información puede ser intercambiada y actualizada reutilizando la basa de conocimientos.

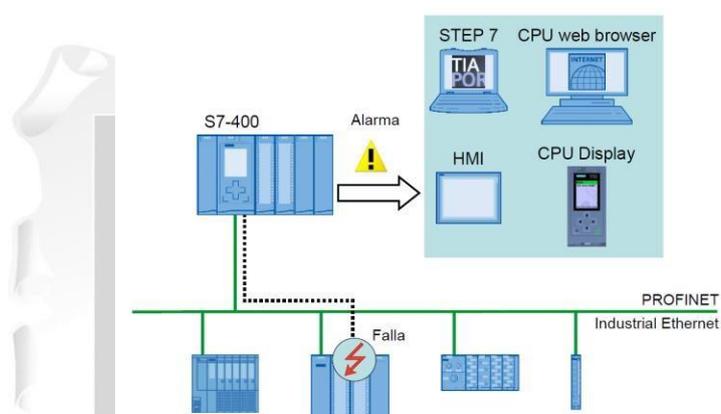


Figura 4.26: Esquema de la Alarma en STEP 7 (TIA Portal). (Fuente: Siemens)

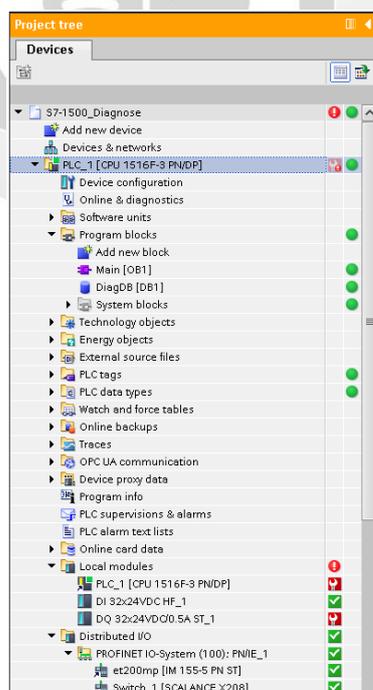


Figura 4.27: Vista del Diagnóstico en Tiempo Real durante Programación STEP 7. (Fuente: Siemens)

4.1.3.2.4 Redundancia del Sistema SCADA

Se implemento distintos niveles de redundancia para evitar tiempos de parada por caída del sistema ante algún fallo, la figura X muestra como los diferentes niveles interactúan para prevenir una falla del sistema.

En el *Nivel de Control*, el sistema este compuesto de múltiples estaciones, cada estación tiene las mismas capacidades y puede ser usado para reemplazar alguna defectuosa. Del mismo modo cada estación se conecta a ambos servidores, en casos de fallo de un servidor, la estación automáticamente se direcciona al servidor backup y continua en operación, esto es automático mediante watchdog de sistema que monitorean el estado de cada componente del sistema.

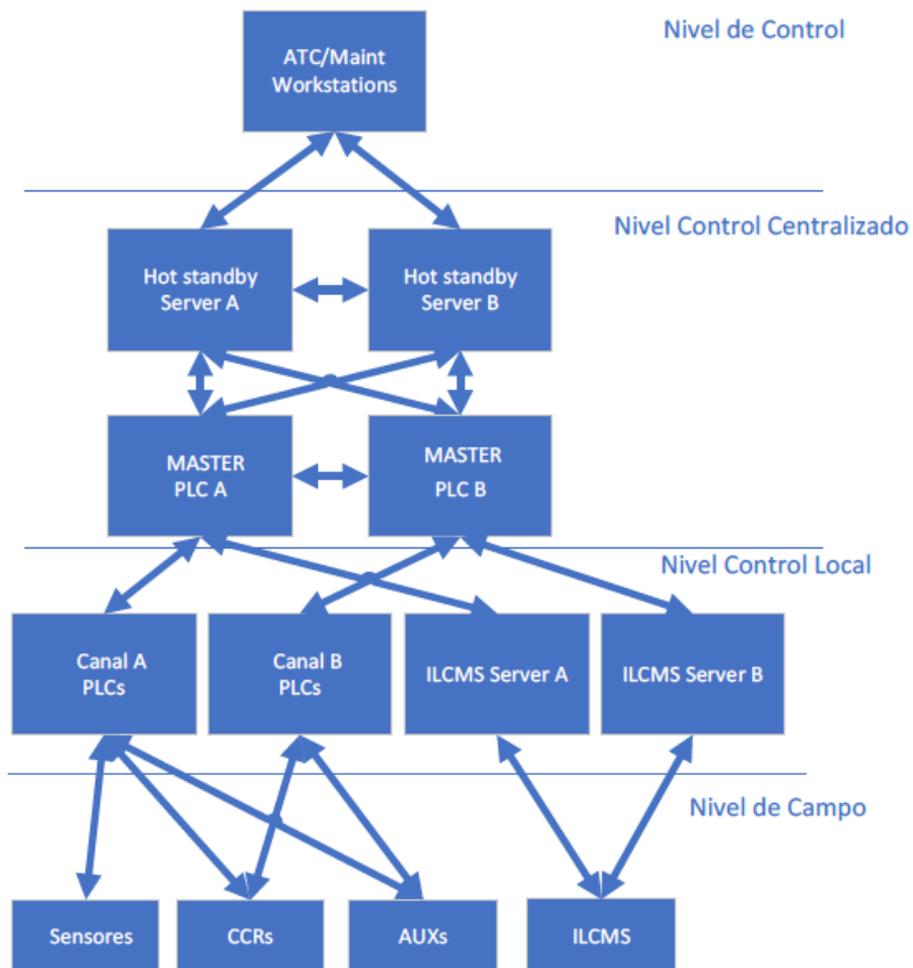


Figura 4.28: Arquitectura de Redundancia del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)

En el *Nivel de Control Centralizado*, hay dos servidores, ellos son completamente redundantes, se actualizan ellos mismos con la información del que tenga el rol de master, para así asegurar el cambio instantáneo, en caso de falla del servidor de rol primario o master.

También está instalado dos PLC Centralizadores de alta gama para procesos con alta intensidad de data y procesamiento, y aplicaciones prueba de fallos y redundantes. Cada PLC mantiene la comunicación con ambos servidores, con los PLC en el nivel de control local, los Reguladores CCR y los servidores ILCMS.

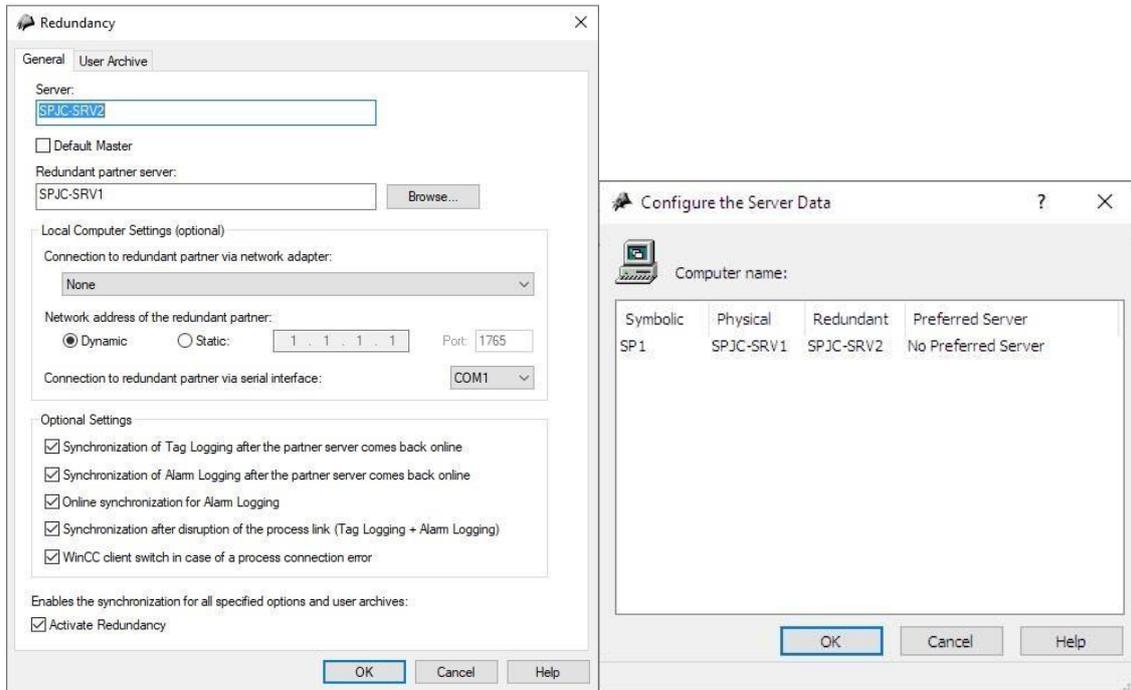


Figura 4.29: Configuración Redundancia del Servidor SCADA SVR2. (Fuente: ADBSafegate)

En el **Nivel de Control Local**, hay dos grupos lógicos de PLC en cada subestación que trabajan en paralelo, cada grupo de PLC direcciona a los equipos AGL por un medio de comunicación distinto para asegurar las comunicaciones con el campo en caso haya falla del medio de comunicación, esto aplica para todos los Reguladores CCR, equipos auxiliares entre otros.

En el **Nivel de Campo**, se tiene la redundancia en los circuitos principales de luces como las luces de eje de pista, borde de pista, barras de parada, eje de rodaje, salidas rápidas, aproximación, umbral, entre otros, mediante un arreglo en el diseño de instalación, así cada equipo de luz está instalado de tal manera que esta alternado la posición, por ejemplo en el eje de pista esta alternados las luces del circuito Eje 1 con Eje 2, así de falla el Regulador CCR de Eje de Pista el otro seguiría prendido y habría eje de pista con luces prendidas alternadamente, para efectos operacionales aunque con limitaciones servirán para que el piloto pueda aterrizar. Incluso ante una falla de una sala completa, se tiene una sala alterna para garantizar este esquema de redundancia.

4.1.3.3 ARQUITECTURA DE HARDWARE

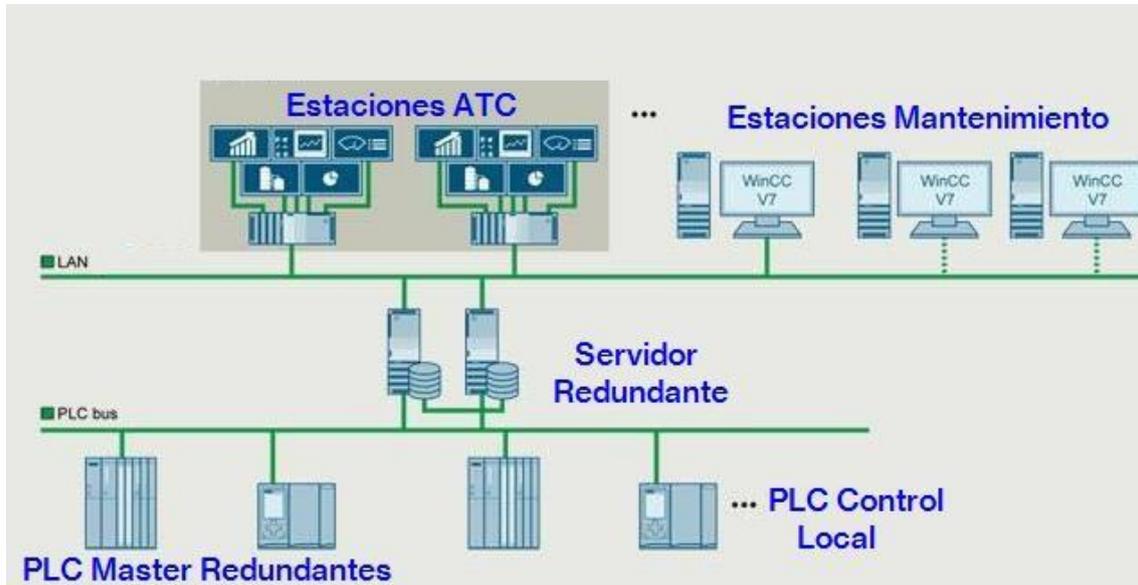


Figura 4.30: Arquitectura de Hardware del Sistema SCADA. (Fuente: Siemens)

1. Configuración de Sistema SCADA

Se agrupa por salas funcionales, las principales características son:

Sala Técnica Torre ATC

- Servidores SCADA de grado industrial Siemens SIMATIC, para la supervisión, control y gestión de DB.
- PLC Master Siemens S7-400
- PLC S7-1200 para control local.
- Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300 con convertor FO para conexión a red de FO.

Sala Control Visual de Torres

- Estaciones HMI con PC DELL Optiplex 7000
- Monitor Industrial Táctil de 27"
- UPS Online redundante de sala.
- Gabinete de Control ATC con:
 - Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200 con convertor FO para conexión a red de FO.
 - PLC Siemens S7-1200 de control de Faro Torre.

Salas auxiliares

- Gabinete de Control con:
 - Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200 con convertor FO para conexión a red de FO.
 - PLC Siemens S7-1200 para control local.

Subestaciones

- Estaciones HMI con PC DELL Optiplex 7000.
- UPS Online redundante interno.
- Gabinete de Control con:
 - Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200 y XR300 con convertor FO para conexión a red de FO.
 - PLC Siemens S7-300 y S7-1200 para control local de Reguladores CCR de sala antigua y control de equipos auxiliares de pista antigua.



4.1.3.4 HMI INTERFACE HOMBRE MAQUINA

El sistema de control es informatizado, la interface HMI entre el operador y los equipos AGL es manejado por computadoras. La interface HMI puede separarse en dos tipos de usos: Las Estaciones de Control y las Estaciones de Mantenimiento.

Las Estaciones de Control de Torre ATC son los terminales de control principal para el sistema SCADA, es usado por el ATC (Controlador de Tráfico Aéreo) para comandar los distintos grupos de equipos AGL, las Estaciones de Mantenimiento son terminales de vigilancia e intervención. Las estaciones de mantenimiento pueden ser usada como estaciones de control ante cualquier incidente.

Se describe las características del HMI desarrollado para el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, siendo las siguientes:

4.1.3.4.1 Concepto Funcional del HMI

1. Normativa OACI.

OACI como organismo normalizador de la aviación civil, da normas y procedimientos que se deben ejecutar y respetar a nivel internacional para el desarrollo de las actividades y operaciones aeronáuticas, como tal entrega tablas normadas para las compatibilidades de las intensidades de brillo de las funciones de los equipos AGL para las operaciones en las pista de vuelo, asimismo existen normativas de las características visuales de colorimetría, espectro y candelas de los sistemas que deberán ser certificadas con procedimiento de inspecciones de espectrometrías. En tal sentido el HMI debe cumplir la automatización de dichas tablas.

2. Control de Operación.

La operación del HMI es realizado por diferentes tipos de usuarios, es por ello que se considera las funcionalidades necesarias para permitir que cada usuario realice sus actividades adecuadamente en el aeropuerto. Se tiene dos grupos principales de usuarios los controladores de tráfico aéreo ATC y los usuarios de mantenimiento.

El SCADA está diseñado para facilitar las funciones del controlador ATC agrupando los comandos de acuerdo con las recomendaciones de OACI, asimismo para permitir al personal de mantenimiento aislar un equipo AGL para su análisis.

Para facilitar la operación de los usuarios ATC, las estaciones donde normalmente ingresaran están provistas de una pantalla táctil, la cual facilita mediante la operación táctil de pantalla la operación y selección de las distintas funcionalidades del HMI.

El personal de mantenimiento para trabajos de mantenimiento preventivo o análisis de fallas necesita controlar el equipo AGL individualmente si afectar a las operaciones de ATC, es por ello que se tiene el modo de desconectar un equipo, y así poderlo controlar y monitorear según los procedimientos requeridos.

Se tiene tres niveles de control para enviar comandos al equipo AGL mostrados en la *Figura 4.31*.



Figura 4.31: Niveles de Control para enviar comandos a los Equipos AGL. (Fuente: E. Propia)

Control Automático basado en Table de Brillos según OACI (Nivel Aeropuerto) 1964

En este nivel se controla todas las funciones que integran una pista en uso, ingresando parámetros de condiciones climáticas como alcance visual en pista y visibilidad del ambiente, del mismo modo se considera el tipo de categoría de pista. Esto en el sistema también se considera una interface al sistema de Meteorología para obtener esos valores de manera automática y que la pista se configure automáticamente con la aceptación de ATC de acuerdo a las condiciones climáticas. Este nivel es para usuarios ATC.

Permite apagar o prender todas las funciones AGL las cuales cambiarán a los valores de brillo predefinidos en las Tablas de Brillo que son configurados de acuerdo a lo recomendados por OACI y que dependiendo de las condiciones del aeropuerto los supervisores ATC pueden modificar.

Control Individual de Brillo (Nivel Grupo)

En este nivel se controla una función AGL de la pista en uso, la función AGL puede tener más de un regulador CCR. Este nivel de control permite activar/desactivar funciones AGL individuales y también permite variar el paso de brillo actual para un ajuste, a petición de los pilotos o variación local del clima. Este nivel es para usuarios ATC y al usarlo puede causar desviaciones de los valores preestablecidos, el usuario será alertado de esta condición.

Modo Mantenimiento (Nivel Individual)

En este nivel se controla individualmente cada regulador independientemente de las otras configuraciones, desconectando el regulador del sistema de control de ATC y controlarlo de forma individual, pasando a un estado de bloqueo llamado MAINT, los comandos de ATC se ignoran y se generan alarmas del regulador con este estado el cual es informado en el HMI de ATX.

3. Seguridad y Privilegios de Usuarios.

La operación del sistema está protegida por un esquema de inicio con usuario y contraseña, al validar su ingreso el usuario tendrá disponible las funciones permitidas para el tipo de usuario que accedió.

4. Roles de Usuarios en el Sistema SCADA.

Los roles son:

a. Usuario ATC

Es utilizado por los controladores de tráfico aéreo llamados ATC, el usuario puede tomar el control de áreas y controlar las luces dentro de esas áreas. Recibirá alarmas operativas y también podrá reconocerlas. El estado de todas las luces del aeropuerto estará representado por un mímico que representa la distribución física del aeropuerto. Las alarmas operativas relacionadas con las funciones de los equipos AGL serán directamente visibles a través del mímico.

El estado operativo del sistema será visible para el usuario.

Entre las funciones de ATC se tiene:

- Control general de las funciones AGL para cada dirección de aterrizaje en función del clima y la visibilidad.
- Control de funciones AGL agrupadas de ajustes de brillo.
- Control de avance para la gestión del tráfico en pista.
- Supervisión de funciones AGL agrupadas.
- Manejo de Alarmas Actuales.
- Evaluación del estado del sistema ALCMS.

b. Usuario Mantenimiento

El personal de mantenimiento podrá observar en los mímicos el estado de los equipos AGL similar a los usuarios ATC con mayor detalle de alarmas viendo las alarmas técnicas de los equipos podrían generar.

Los usuarios de mantenimiento no pueden controlar funciones AGL o acciones grupales, solo control individual de los equipos AGL. Cada vista para este usuario está diseñada con el propósito de facilitar el proceso de mantenimiento preventivo o solución de fallas.

Las alarmas técnicas se animarán correspondientemente en varias vistas, para brindar al usuario una representación gráfica correspondiente de la alarma. Se encuentran disponibles vistas detalladas de mantenimiento de CCR y se puede realizar un control de mantenimiento de ciertos equipos, para equipos configurados en modo de mantenimiento.

Entre las funciones de Mantenimiento están:

- Vigilancia de equipos AGL.
- Control individual de equipos.
- Manejo de Alarmas Técnicas Actuales.
- Análisis del registro de eventos y evaluación del estado del sistema ALCMS.
- Herramientas del Sistema ALCMS.

c. Usuario Supervisor ATC

Similar al usuario ATC, adicionalmente de derechos que permiten cambios de configuración en el sistema.

d. Usuario Supervisor Mantenimiento

Similar al usuario Mantenimiento, adicionalmente de derechos que permiten cambios de configuración en el sistema.

4.1.3.4.2 Descripción de Operación del HMI

Se describe las diferentes ventanas que se tienen en las estaciones ATC y Mantenimiento, se explicara las funcionalidades, se tiene:

1. VENTANA MENÚ.

El HMI está desarrollado en el entorno Windows con menús y pantallas de fácil acceso que muestran toda la información. La ventana de inicio es el Menú, que permite ingresar directamente a cada página del sistema. Esta ventana muestra varios botones para la navegación. Al presionar esos botones se muestra la pantalla correspondiente, se describirá en los siguientes párrafos.



Figura 4.32: Ventana de Menú del HMI del Sistema SCADA en el AIJCH. (Fuente: E. Propia)

El sistema tiene dos maneras de acceder a las distintas ventanas, desde el Menú y desde la secciona de navegación que está en la parte inferior de la pantalla y es fija, mediante la cual se tienen botones con las opciones mayormente usadas del Menú. Las distintas ventanas tienen una función orientas según el usuario, teniendo la siguiente distribución:

Para los usuarios ATC, para control de los equipos AGL:

- Vista General del Aeropuerto
- Ventana Alarmas

Para los usuarios Mantenimiento, para monitorear los equipos AGL:

- Ventana de Estado de Sistema
- Ventanas de Subestaciones
- Ventana Alarmas y Eventos
- Ventana de Herramientas de Sistema

2. VENTANA VISTA GENERAL DEL AEROPUERTO.

Esta ventana será de uso exclusivo para el control de pista y calle de rodaje por parte de ATC. Se divide en 4 secciones:



Figura 4.33: Ventana Vista General del Aeropuerto del Sistema SCADA AIJCH. (Fuente: E. Propia)

2.1 SECCIÓN CONDICIONES GENERALES

La parte superior de la pantalla se utiliza para el control general enviando comandos a todos los circuitos de equipos AGL de acuerdo con tablas modificables preestablecidas según OACI. Cada circuito de iluminación del Aeropuerto debe ser alimentado con la intensidad de corriente adecuada (paso) dependiendo de las condiciones de visibilidad y el brillo de los demás circuitos.

Esta sección tiene las siguientes partes:

Selección de Control de Pista

Cada HMI con el usuario ATC puede tomar el control de las operaciones AGL del aeropuerto controlando los reguladores y circuitos auxiliares. Al presionar el botón “Tomar el control”, aparece una ventana emergente con la posibilidad de tomar o liberar el control. También muestra el nombre de la estación que está en Control.

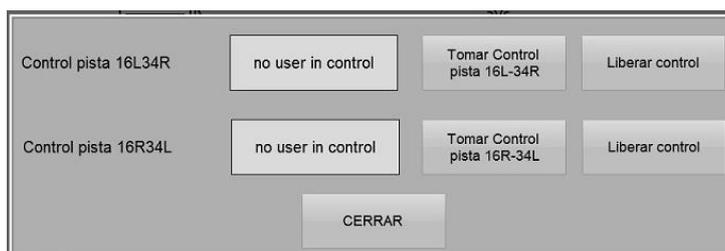


Figura 4.34: Ventana emergente “Tomar el Control” del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

Selección de Condiciones de Visibilidad.

Se tiene dos grupos de botones, el primer grupo es de la Iluminación de Ambiente con tres botones [DÍA], [CREPÚSCULO] y [NOCHE]. Estos botones están entrelazados solo se puede activar un botón por grupo.



Figura 4.35: Grupo de Iluminación de Ambiente del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

El grupo de Visibilidad con cuatro botones mostrados [≤ 800 m], [< 1500 m], [≤ 5000 m] y [> 5000 m]. Estos botones están entrelazados solo se puede activar un botón por grupo.

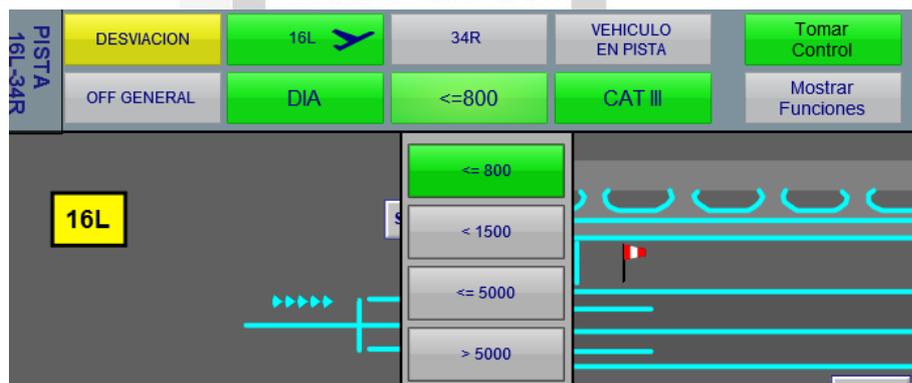


Figura 4.36: Grupo de Visibilidad Meteorológica del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

Selección de Categoría de Pista.

Permite la selección de la categoría operacional de cada pista.

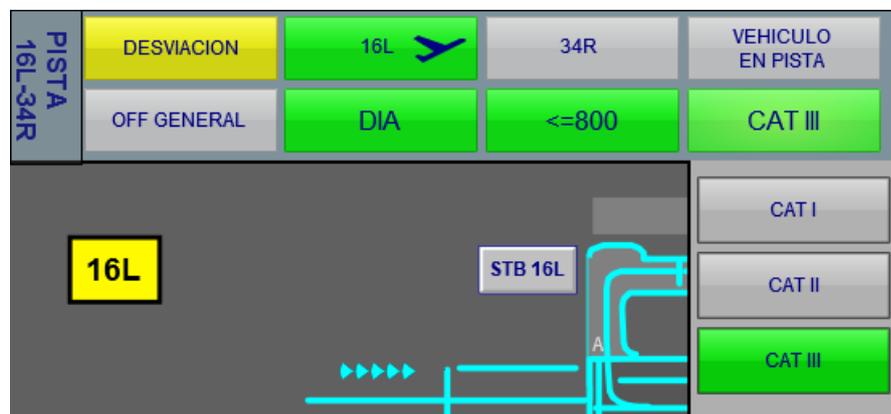


Figura 4.37: Grupo de Categoría de Pista del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

Selección de Dirección de Aterrizaje y Despegue.

Cada pista tiene dos cabeceras en el caso del Aeropuerto Jorge Chávez tiene la Pista 16L-34R y la Pista Nueva 16R-34L, por lo que hay dos botones de dirección de aterrizaje y despegue disponibles por pista.

Presionando uno de los botones de dirección de aterrizaje o despegue, aparece una ventana emergente para seleccionar el modo de operación deseado.



Figura 4.38: Selección de Dirección de Operaciones en Pista del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

Las opciones posibles son:

Aterrizaje: la dirección de aterrizaje se establecerá en modo aterrizaje, activando todas las funciones AGL necesarias para permitir las operaciones de aterrizaje.

Despegue: la dirección de aterrizaje se establecerá en modo despegue, manteniendo todas las funciones AGL relacionadas con las operaciones de aterrizaje en OFF.

Modo Mix: Funciones de aterrizaje y despegue combinadas.

Cancelar: cancela el cambio de dirección de aterrizaje.

Selección de Control General

El botón [DESVIACIÓN] permite volver a las condiciones predeterminadas después de un cambio manual. Al presionar este botón se abre la ventana de desviación.

El botón [GENERAL OFF] permite apagar todos los circuitos del sistema de iluminación AGL de la pista en uso. Una ventana emergente de confirmación (Confirmar/Cancelar) evita hacer la selección accidental.

2.2 SECCIÓN MIMICO GRAFICO

La sección "Mímico Gráfico" presenta una imagen "en vivo" del aeropuerto. Proporciona al operador una visión del estado real de los equipos AGL en el campo.

Será utilizada por los controladores de tránsito aéreo ATC y los usuarios de mantenimiento, proporciona retroalimentación verdadera para ambos usuarios, pero dependiendo del tipo de usuario, el mímico reaccionará de manera diferente.



Figura 4.39: Vista de Mímico del Sistema Monitoreando los Segmentos de Pistas. (Fuente: E. Propia)

El mímico gráfico proporciona una imagen "en vivo" de la pista y las calles de rodaje, proporcionando el estado real de cada segmento individual.

Cada segmento o grupo lógico AGL está representado gráficamente en el mímico para permitir hacerle su seguimiento. El usuario verá objetos gráficos que representan los Segmentos y Funciones de cada Dirección de Aterrizaje y Calle de Rodaje del aeropuerto controlado por el Sistema SCADA.

Como se puede ver en la Figura 4.39, se muestra el estado de los distintos equipos AGL de ambas pistas, se puede ver líneas verdes que representan a las calles de rodaje encendidas, asimismo los bordes y ejes de pista de color blanco también encendidos entre otros.

3. VENTANA DE ESTADO DEL SISTEMA.

Proporciona una representación gráfica del sistema de control remoto completo (sin dispositivos AGL). Es el punto de inicio del trabajo de mantenimiento y solución de problemas ya que permite fácilmente ubicar una falla, pero también es útil para el operador. Tiene 3 funciones básicas:

Estado de las Estaciones HMI, las estaciones serán representadas por colores el estado, así se puede determinar el estado.

Estado de los Gabinetes de Control en cada Sala, los gabinetes de control serán representadas por colores el estado, así se puede determinar el estado. En gabinetes donde haya PLC también habrá el gráfico de estado de los PLC, asimismo algunos componentes críticos del gabinete podrían ser monitoreado y representado su estado, entre ellos:

- PLC
- Fuente de Poder de 24V DC
- Fuente de Poder de 48V DC
- Alimentación principal de 230 VCA
- Estado Bypass de UPS
- Temperatura del gabinete

Estado de las Comunicaciones Ethernet y Fibra Óptica, las conexiones ethernet y de fibra óptica son representadas mediante hilos los cuales también monitorean los enlaces, de haber algún problema será fácilmente detectable.

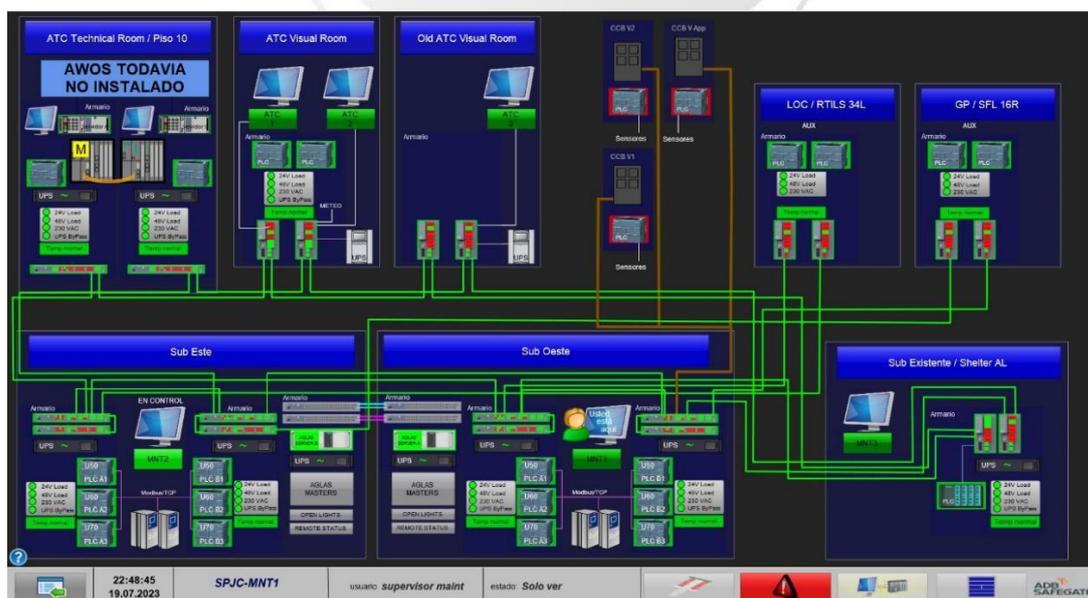


Figura 4.40: Vista de la Ventana de Estado del Sistema del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

4. VENTANA DE SUBESTACIÓN (PARA MANTENIMIENTO).

Nos da una representación gráfica de los equipos AGL instalados, controlados y monitoreados por el SCADA dentro de la Subestación seleccionada.



Figura 4.41: Vista de la Ventana de Subestación del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

La ventana tiene lengüetas para ubicarse en la subestación requerida, dentro de la subestación se tiene los equipos distribuidos por bloques lógicos según grupos como:

Aproximación, para controlar todos los CCRs que pertenecen a las funciones de aproximación.

Pista Aterrizaje, para controlar todos los CCR que pertenecen a las funciones de pista.

Calles de Rodaje, para controlar todos los CCR que pertenecen a la calle de rodaje: CCR de Línea Central de Calle de Rodaje, CCR de Bordes de Calle de Rodaje y Barras de Parada.

Auxiliares, para controlar los equipos auxiliares como Conos de Viento, Faro, Luces Destellos, entre otros.

Se tiene botones para controlar todo el grupo, esto permite pasar a mantenimiento, fuera de servicio o poner bajo control de ATC. Esto permite en pruebas técnicas pasar todos los CCR del grupo a mantenimiento y después probar su pase a Paso 2 con el botón para ese fin.

Para ver el estado e información adicional del Regulador CCR que se esté examinando se dará doble click y se abrirá la ventana de detalle del equipo.

Como se muestra en la Figura 4.42, la ventana de detalle tiene 7 secciones:

Estado, donde se ve el estado del CCR.

Modo, donde se puede cambiar el modo del CCR, pasar a fuera de servicio, mantenimiento o ATC.

Comando, estando en el modo Mantenimiento, se habilitará esta sección en la cual se podrá prender o apagar el CCR, estando prendido se puede cambiar el valor de paso (intensidad de brillo) en el CCR, con esto permite probar el control de los CCR.

General, donde se puede ver información como corriente, voltaje, potencia, resistencia a tierra y estado del CCR.

Alarmas, donde se puede ver las alarmas que pudiera tener el CCR en tiempo real.

Eventos, donde se puede ver información de eventos almacenados para ver histórico de fallas.

Estadísticas, donde se puede ver el resumen estadístico de eventos en el CCR.

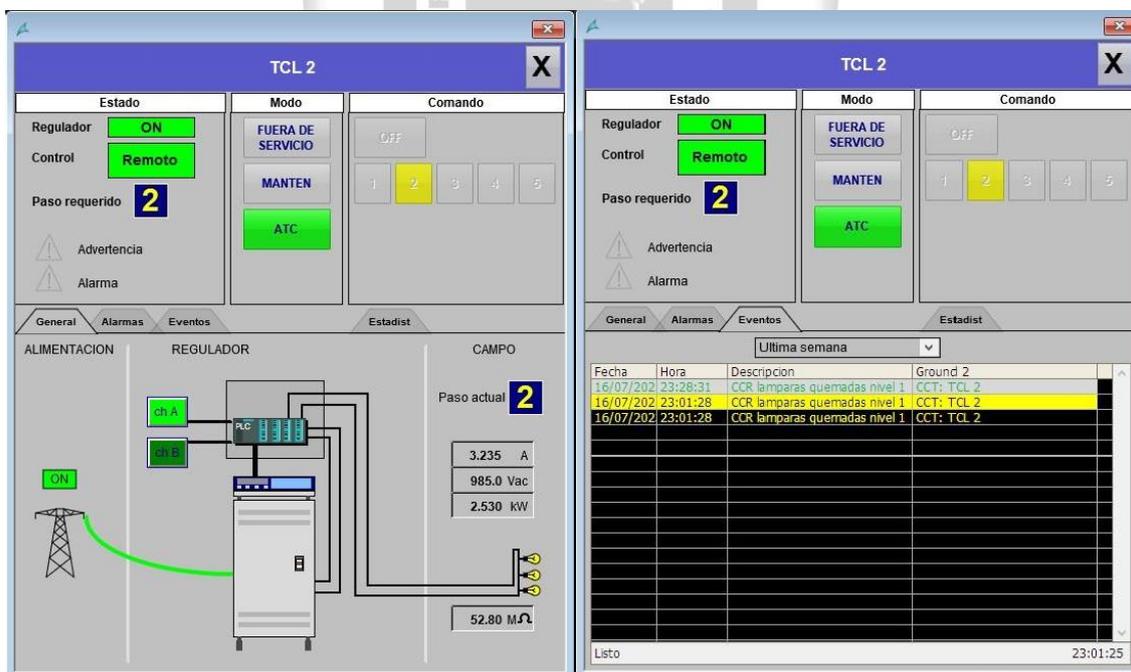


Figura 4.42: Vista de la Ventanas de Detalle de Equipo CCR del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

Del mismo modo los equipos auxiliares dependiendo del nivel de comunicación ver información detallada, sino puede ser menos secciones.

4.1.3.5 ESTACIONES HMI

Los operadores ATC y Mantenimiento tienen el control y monitoreo de todos los equipos AGL mediante un programa de aplicación gráfica. Esto se logra con las 6 Estaciones HMI.

Sólo se permite que una HMI tome "en control" de cada pista en un momento específico, con opción de delegarse el control según privilegios de usuario mediante opciones "tomar control". La estación HMI en control envía las instrucciones al PLC Master para su ejecución mediante los PLC de Control Local.

Las estaciones HMI instaladas en el proyecto son PC profesionales, de alta gama con disponibilidad de repuestos y compatibilidad de hardware.

Las estaciones HMI tienen las siguientes características:

- PC Dell OptiPlex Serie7000
- Intel® Core i7-10700
- 16 GB de RAM DDR4
- SSD de 512 GB
- Windows 10 (Profesional) como sistema operativo común.
- Software Siemens – Windows Control Center (WinCC) como aplicación de visualización para la interfaz gráfica del ALCMS.
- La aplicación WinCC para proyectos aeroportuarios implementado por ADB Safegate, personalizada para el Aeropuerto.



Figura 4.44: Vistas de PC DELL Optiplex Serie 7000. (Fuente: Dell Computer)



Figura 4.45: Estación HMI en ATC Torre Actual. (Fuente: Elaboración Propia)

4.1.3.6 SERVIDORES SCADA

Además de las estaciones de control y supervisión se instala un conjunto de servidores, los servidores son usados para centralizar de modo redundante con los PLC Master S7-400H toda la información relativa al sistema SCADA como el enlace al Control, Base de Datos de Alarmas y Eventos, así como a las rutinas y programaciones de los datos.

Los Servidores también reciben la información de las distintas capas y la distribuyen, almacena históricos de alarmas y eventos del sistema.

Para proporcionar una alta confiabilidad y disponibilidad lo más alta posible, los servidores están trabajando modo redundante, en caso de falla de uno, el segundo se encargará de los procesos.

Las características de los Servidores son:

- Servidor Siemens IPC
- Intel® Xeon W
- Disco duro de 1 TB y 32 GB de RAM DDR4
- Fuente de poder doble redundante y KVM
- Windows Server 2016 como sistema operativo.
- Software Siemens – Windows Control Center (WinCC) como aplicación de visualización para la interfaz gráfica del ALCMS.
- La aplicación WinCC para proyectos aeroportuarios de ADB Safegate, personalizada para el Aeropuerto.



Figura 4.46: Servidor Siemens SIMATIC IPC. (Fuente: Siemens)

4.1.3.7 PLC MASTER SIMATIC S7-400H

Los PLC Master, son usados para centralizar en modo redundante junto al servidor de ALCMS toda la información del sistema y de su enlace con el nivel de control.

Los PLC Master están a cargo de procesar la información de las diferentes capas y distribuir los datos a las capas correspondientes del control o supervisión. Ellos almacenan la configuración del aeropuerto.

Para proporcionar una alta confiabilidad y disponibilidad lo más alta posible, los PLC Master están trabajando modo redundante, en caso de falla de uno, el segundo se encargará de los procesos.

El PLC S7-400 es usado en esta configuración como PLC Master, son PLC de alta gama usados en aplicaciones donde la información es crítica por lo que soporta trabajos en modos de redundancia, de datos de alta intensidad de transferencia y en aplicaciones industriales con seguridad y disponibilidad con máxima flexibilidad y rendimiento, por lo que son ideales para la aplicación en aeropuertos.

Tiene soporte garantizado por más de 20 años y son adecuados en aplicaciones escalables de largo plazo.



Figura 4.47: PLC Master S7-400H. (Fuente: Siemens)

El PLC Master S7-400H es el PLC más poderoso de la familia de controladores SIMATIC de Siemens, proporciona soluciones eficientes en plataformas de automatización en procesos de producción y procesos, se caracteriza por su modularidad y alto rendimiento.

Características:

- PLC potente para aplicaciones de gama alta.
- Amplia gama de módulos para la adaptación al proceso requerido.
- Flexible para entornos de control centralizado y distribuido.
- Comunicaciones eficientes para redes y protocolos industriales.
- Escalable y múltiples opciones de ampliación.

- **Multiproceso**, mediante opciones modulares se puede trabajar con un CPU, de ser necesario se incorporan más CPU a fin de distribuir el procesamiento y asignar tareas como procesamiento de los lazos de control, procesamiento de comunicaciones, procesamiento de las E/S o segmentar tareas.
- **Modularidad**, la potencia de la base de interface de bus y de las comunicaciones en ella, conectan directamente al CPU a las funciones de alto rendimiento de una gran cantidad de líneas de comunicaciones, logrando dividir funciones y abrir canales de comunicaciones independientes para la programación, gestión del HMI, control de procesos de alto rendimiento, gestión de la E/S, del mismo modo que se gestiona las comunicaciones con sistemas MRP y ERP.
- **Ingeniería**, tiene una configuración extremadamente eficiente, dispone de programación en lenguajes de alto nivel como el SCL, herramientas graficas para controles secuenciales, programación en bloques y programación clásica en lenguaje escalera.
- Diseño con opción redundante con capacidad de automatización de sistemas con tolerancia a fallos incorporadas en los núcleos.
- Para uso en aplicaciones con requerimientos de seguridad contra fallas, procesos críticos, de altos costos de parada.
- Múltiples opciones de configuración de E/S
- Puede trabajar hasta con 8 módulos en la unidad central base y se puede conectar hasta 21 unidades de expansión, pudiendo ampliarse en total hasta 176 Módulos de ancho simple.
- Hot stand-by: cambio automático al modo activo del CPU sin necesidad de operación manual en caso de un evento de avería o fallo.



Figura 4.48: Servidor Siemens SIMATIC IPC547J y PLC Master S7-400H instalado en Gabinete ATC.
(Fuente: E. Propia)

4.1.3.8 CONTROLADORES DE SUBESTACIÓN PLC SIEMENS S7-1200 Y PLC S7-300

El nivel de interface de equipos de control es la capa de enlace de los equipos AGL y el sistema SCADA. La interface se realiza a través de Controladores Lógicos Programables PLC de control local que son conectados al PLC Master usando la red ALCMS y a los equipos AGL por medio de diferentes tipos de interfaces como Fieldbus, Jbus, Modbus, Serial 485 o multifilar.

Para garantizar una alta disponibilidad, los principales PLC se duplican y cada par funciona en paralelo haciéndose un arreglo lógico llamado Canal A y Canal B. Si falla un PLC local en un nodo, el segundo canal continúa controlando y monitoreando el equipo.

Para el control local se usó los PLC Siemens de la familia S7-1200, permitiendo el control y monitoreo de los diferentes equipos mediante protocolos TCP/IP o E/S digitales.



Figura 4.49: PLC Siemens S7-1200 en gabinetes de Sala Oeste. (Fuente: E. Propia)

Cada PLC está cargado con el software ALCMS, estos PLC están ubicados en el gabinete ALCMS, con las protecciones de fusibles, relés de interfaz y clasificación necesarios para la interfaz con el equipo AGL.

PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C DC/DC/Relay

El controlador PLC usado en el proyecto para el control local en todos los gabinetes de control nuevos es el S7-1200, por sus características de seguridad fue el considerado dentro del proyecto.

Es el controlador de gama básica y compacto para control de procesos industriales de alta precisión, su diseño es modular y escalable, se ajusta a cualquier proceso o tarea gracias a su flexibilidad y fácil configuración. Se aplica a controles locales o como parte de una red de controladores en un esquema de control y arquitectura distribuida, la comunicación integrada ethernet ayuda a que desde el módulo más básico este integrado a los procesos.

Este controlador altamente adaptable según las necesidades sencillas o complejas del proceso, con su modularidad en E/S y comunicaciones se aplica a cualquier entorno y necesidad.

Se tiene modelos con opciones a prueba de fallos, y no se requiere programación para saber el estado del controlador, estas ya está incluidas como parte de la programación estándar, asimismo se puede verificar mediante el servidor web incorporado el estado del controlador sin necesidad de entrar en programación esto es de gran ayuda para el personal de mantenimiento.



Figura 4.50: PLC Siemens S7-1200. (Fuente: Siemens)

Características:

- Alta capacidad de procesamiento, calculo a 64 bits, ciclo de 0.1 uS.
- 14 entradas digitales y 10 Salidas digitales (relay) integradas.
- Interface Ethernet y Profinet integrado.
- 02 entradas análogas integradas.
- Programación mediante lenguajes SLC, Bloques y escalera.
- Modular con capacidad de ampliación de hasta 8 Módulos E/S (SM), hasta 3 Módulos Comunicación (CM), Tarjeta de Señales, Tarjeta de batería o tarjeta de comunicación.

PLC Siemens S7-300 CPU 315-2 PN/DP

El controlador PLC S7-300 es usado únicamente en el Gabinete de la Subestación Existente, como puente de enlace a los Reguladores CCR antiguos los cuales por su cantidad de equipos se requería un PLC de gama media para el control, como el controlador es también modular permitió configurarlo con 04 Módulos de Comunicación RS485 para los 4 buses de J-Bus necesarios para integrar los CCR antiguos al nuevo sistema SCADA. También se instaló 02 Módulos de E/S para el manejo de los equipos auxiliares que maneja la subestación como Luces Destellos, Luces RETIL, Conos de Viento, entre otros.



Figura 4.51: PLC Siemens S7-300 CPU 315-2. (Fuente: E. Propia)

Características:

- Controlador para procesos de performance medio.
- Alta capacidad de procesamiento en calculo binario y de punto flotante.
- Modular con amplia gama de opciones para escalar y adaptarse a requerimientos de procesos de tamaño medio.
- Uso flexible para aplicaciones de control distribuido y en entornos de redes.
- Programación mediante lenguajes SLC, Bloques y escalera.
- Modular con capacidad de ampliación de hasta 8 Módulos E/S (SM) en la unidad central base y soporta hasta 3 unidades de expansión lo que permite tener hasta un máximo de 32 módulos.
- Comunicación Ethernet incorporado en el CPU.

4.1.3.9 ILCMS SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE LAMPARA INDIVIDUAL

Este sistema es un desarrollo de ADBSafegate que controla y monitorea lámparas individuales.

El sistema ILCMS usa el circuito serie de energía de los equipos como portadora de comunicación, no necesitando cable extra de comunicación. Las unidades de control remoto son unidades direccionables teniendo una única dirección, permitiendo el control de la luz conectada. El control puede ser individual o grupal. Cada control remoto informa su estado, así como el de los dispositivos conectados.

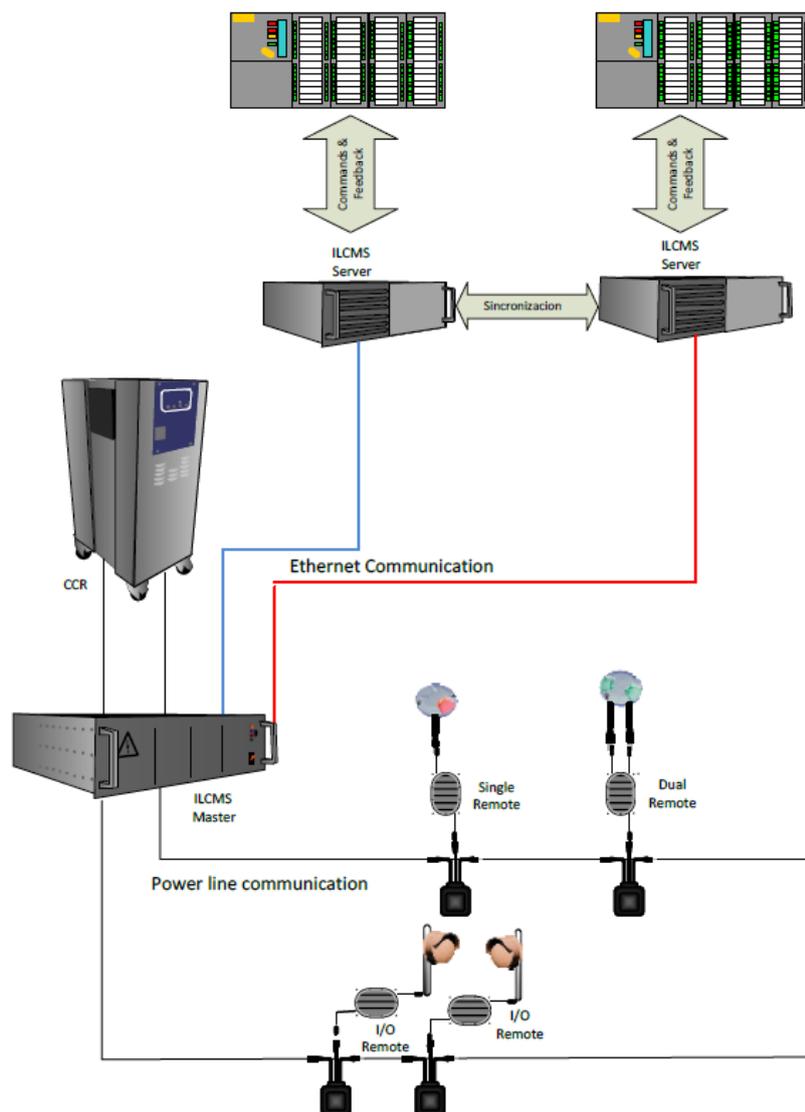


Figura 4.52: Diagrama General de Sistema ILCMS Linc360. (Fuente: ADBSafegate)

El sistema tiene los siguientes componentes:

4.1.3.9.1 Servidor ILCMS

Es un componente del control local del sistema SCADA. Su función principal es la de establecer enlace entre los Master ILCMS y el SCADA, transfiriendo el control y estatus de un lado a otro, de este modo el SCADA puede tener el control y saber el estado de cada luz mediante la comunicación a través de los Master que controlan los remotos y actualizan el estado de cada lampara o grupo. Los Servidores ILCMS son de tipo industrial, montado en rack, con medios de comunicación con el SCADA y los Master.

El software es desarrollado por ADBSafegate y se maneja con licencias mediante dongles.

Los servidores tienen las siguientes características:

- Servidor Industrial Siemens IPC
- Intel® Xeon W con 32 GB de RAM DDR4
- Disco duro de 1 TB
- Windows Server 2016 como sistema operativo.
- El software ADBSafegate específico para el seguimiento y control de ILCMS, personalizado para el Aeropuerto

4.1.3.9.2 Master ILCMS LINC 360

Su función es transmitir las instrucciones del Servidor ILCMS a los Controles Remotos instalados en el campo, la comunicación viaja a través del cable de la línea eléctrica usada como portadora de señal de comunicaciones sin necesidad de realizar algún cableado especial. Asimismo, evalúa el estado de cada control remoto, logrando así saber el estado de cada remoto y de su luz o luces conectadas.

Puede controlar hasta 300 Controles Remotos por circuito y la comunicación puede llegar hasta los 20Km de longitud.

Mediante la aplicación de este sistema se proporciona inteligencia distribuida en diversas aplicaciones en la pista de vuelo, las cuales podrían ser:

- Dar capacidad avanzada al sistema para control y dirección del movimiento en pista.
- Control y monitoreo de Barras de Parada, enrutando las aeronaves para operaciones más eficientes y seguras sobre las calles de rodaje.
- Identificación, detección y ubicación de equipos dañados.
- Control y monitoreo selectivo programable de forma individual o grupal sobre la lógica de trabajo de los equipos AGL.
- Proporciona información relevante para el personal de mantenimiento.



Figura 4.53: Master ILCMS Linc360. (Fuente: ADBSafegate)

4.1.3.9.3 Remoto ILCMS

Son módulos electrónicos fijos, que se instalan entre el transformador y la luz, permitirá el monitoreo y control individual del equipo conectado. Son dispositivos de campo inteligentes energizados por la línea de energía de las luces que trabaja en lado secundario del transformador de aislamiento de la luz. Sirven como nodos remotos en una configuración de red de Controlador Master – Remoto.



Figura 4.54: Remoto ILCMS Linc360. (Fuente: ADBSafegate)

4.1.3.10 COMUNICACIONES

Las comunicaciones del sistema se dan entre ambientes que están distribuidos en el aeropuerto según sus funciones, se tiene las torres de control la actual y la nueva, las subestaciones o salas de reguladores que son los equipos que manejan las luces en pista, se tienen 3 una subestación existente y dos nuevas llamadas Este y Oeste, hay dos salas de control de equipos auxiliares una llamada Sala Localizador en lado sur de la pista y otra llamada Sala Glide Path, todas ellas interconectadas mediante fibra óptica.

Las comunicaciones en el sistema se dividen en dos tipos principales, las comunicaciones entre los componentes del SCADA y las comunicaciones con los equipos AGL en campo.

Los Servidores, las Estaciones HMI y los PLC están comunicados por una red Ethernet. A su vez esta red ethernet esta agrupada mediante VLans para que la data de cada componente sea privada con los componentes relacionados así se optimiza el uso de puertos y se garantiza seguridad de accesos. Se tienen Vlan para estaciones HMI con Servidores, Vlan para Servidores y PLC Master, Vlan de PLC Master y PLC Locales, Vlan de comunicaciones con equipos auxiliares.

Las comunicaciones en el nivel de campo, pueden ser:

- J-Bus para los Reguladores CCR antiguos de la pista actual.
- TCP-IP para Reguladores CCR Nuevos de Subestación Este y Oeste.
- Ethernet para los Servidores y Master ILCMS.
- Modbus RS485 para conexión con sistema meteorológico.
- Multifilar para los equipos auxiliares.

4.1.3.10.1 Comunicaciones del Sistema SCADA

La red usada para la infraestructura principal es basada en el estándar internacional Ethernet (IEEE 802.3). EL objetivo de la arquitectura es mantener la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad del sistema, las comunicaciones se harán usando TCP/IP sobre Ethernet Industrial Óptico. La arquitectura se realizó usando módulos ópticos media converter y cables de fibra óptica en modo Monomodo con doble anillo de fibra, garantizando así largas distancias ante necesidad de ampliación.

El protocolo Ethernet Industrial mantiene una validación adecuada para recibir los datos (checksum, crc, etc). Si los datos no se reciben correctamente, se pedirá un reintento hasta que se declare que existe un fallo de comunicación entre los respectivos nodos de estación y se muestra una falla en la HMI.

Todos los equipos que forman parte del sistema SCADA (HMI, Servidores, PLC Master, PLC, Reguladores CCR, etc) se comunican vía un anillo doble de fibra óptica dedicado.

La topología de anillo es usada para crear una forma de conexión con los distintos equipos mediante dos vías diferentes creando así redundancia en el medio de comunicación y aumentando la disponibilidad de las comunicaciones. Ante una falla o incidente sobre una fibra el sistema seguirá trabajando incluso dañándose la comunicación por ambos anillos esta comunicación segura funcionando por el brazo activo.

Asimismo, la integridad y confiabilidad de la comunicación esta asegurada por los switches de grado industrial que permiten comunicaciones a 100Mbps bajo el uso del protocolo ethernet estándar (IEEE 802). El diseño también considera que en cada ubicación del anillo se tendrá doble switch para garantizar la mayor disponibilidad de todo el sistema.

EL sistema SCADA se comunicará a través de dos anillos de red de fibra dedicados, llamados Anillo1 y Anillo 2. Los componentes del SCADA, incluidas estaciones de trabajo, servidores (ALCMS y ILCMS), PLC y UPS, se conectarán tanto al anillo 1 como al anillo 2.

El sistema utiliza ambos anillos al mismo tiempo, de este modo el sistema no se afecta por problemas o fallos en uno de los anillos o switch.

De este modo no se tiene retrasos o tiempos muertos por conmutación de canales como otros sistemas evaluados. Al trabajar con ambos canales no habrá ningún problema del sistema y este trabajará sin que el operador quede sin medios de control o supervisión de la pista de vuelos.

La configuración que se tiene es:

a. Anillo entre cada ubicación

- 1x Fibra para Anillo 1 (RX+TX) Se uso cable de 24 hilos
- 1x Fibra para Anillo 2 (RX+TX) Se uso cable de 24 hilos

b. Equipos de Comunicación en cada ubicación

- Sala Técnica con 2 Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300
- Subestación Este: Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300
- Subestación Oeste: Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300
- Gabinete Servidor ILCMS Este con Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300
- Gabinete Servidor ILCMS Oeste con Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300
- Subestación Actual: Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200.
- Sala Control ATC 1: Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200.
- Sala Control ATC 2: Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200.
- Sala Control Aux 1: Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200.
- Sala Control Aux 2: Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200.
- Gabinete CCBox en Campo para Sensores (5 Gabinetes) con 1 Switch Industrial de Campo Siemens RUGGEDCOM RMC40.

c. Equipos de Comunicaciones

Se tienen instalado los siguientes equipos de comunicaciones:

- **Switch Industrial Siemens SCALANCE XR300**

Los Switch de la serie SCALANCE XR300 WG son diseñados y optimizados para aplicaciones industriales y control crítico, orientados a trabajos en workgroup. Tiene puertos modulares que se pueden instalar módulos SFP ópticos para la interface con fibra óptica y puede implementarse en cualquier momento.

Son administrables de Capa 2, y viene con opciones redundantes en módulos ópticos, ethernet y fuentes de alimentación lo que lo hace en un switch de alto grado de confiabilidad. Soporta protocolos industriales como PROFINET y compatibilidad para comunicación con PLC S7.



Figura 4.55: Vista de Switch Siemens SCALANCE XR-300 (Fuente: Siemens)

Características:

- Switch administrable con gestión por consola y por web.
- Compatible para comunicación con PLC S7.
- Gestión de VLANs y protocolo HRP para Redundancia de Alta Velocidad.
- 24 puertos RJ45 de 10/100 Mbps.
- 4x puertos combo RJ45 de 10/100/1000 Mbps.
- 4x slots de transceiver óptico insertable SFP con 1000 Mbps.
- 2 x 24 VDC, alimentación doble para redundancia.

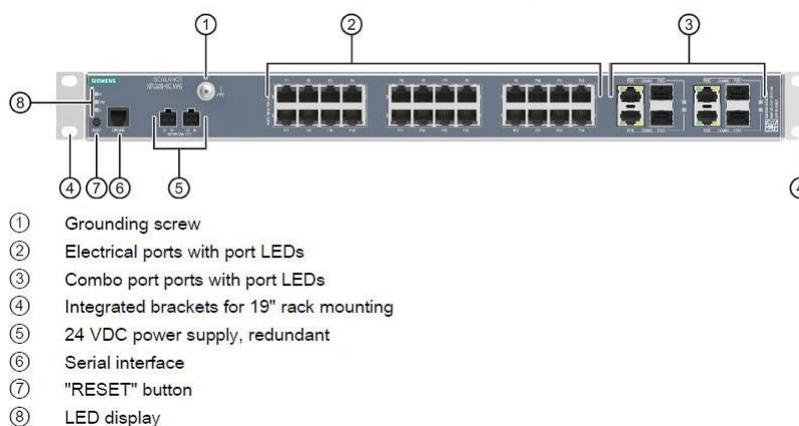


Figura 4.56: Vista frontal de Switch Siemens SCALANCE XR-328-4C WG (Fuente: Siemens)

- **Switch Industrial Siemens SCALANCE XC200**

Los Switch de la serie SCALANCE XC200 forma parte de la línea de Switch Industrial Compacto son diseñados y optimizados para aplicaciones industriales y control crítico, con protocolos PROFINET y compatibilidad con PLC S7, posee características para trabajos en ambientes de seguridad y de disponibilidad con opciones de redundancia de alta velocidad.



Figura 4.57: Switch Siemens SCALANCE XC200. (Fuente: Siemens)

Características:

- Switch administrable con gestión por consola y por web.
- Compatible para comunicación con PLC S7.
- Gestión de VLans
- Protocolo HRP para Redundancia de Alta Velocidad.
- puertos RJ45 de 10/100 Mbps.
- 1x slots de transceiver óptico insertable SFP con 1000 Mbps.
- Alcance de hasta 200 Km. de señal óptica monomodo.
- Posee verificación de señal óptica con Monitoreo de Fibra.
- 2 x 24 VDC, alimentación doble para redundancia.
- Temperatura de trabajo -40°C hasta +70°C

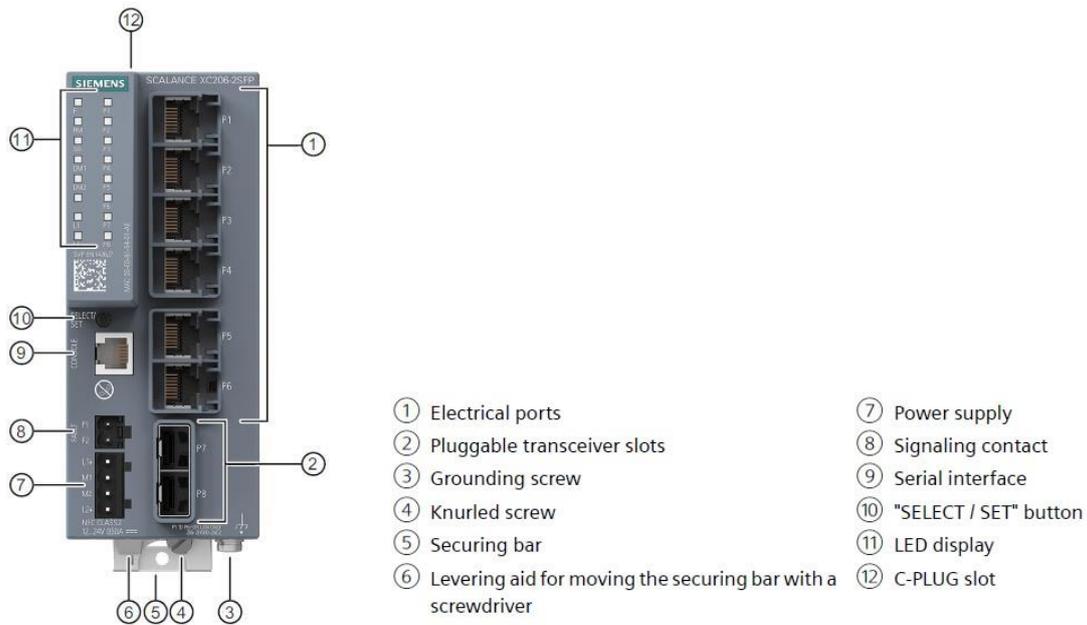


Figura 4.58: Vista frontal de Switch Siemens SCALANCE XC206-2SFP (Fuente: Siemens)

- **Switch Industrial Siemens RUGGEDCOM RMC40**

Los Switch de la serie RUGGEDCOM RMC40 son la línea de Switch Industrial Compacto de campo no administrables que ofrecen conversión de fibra a ethernet en velocidades de 10 Mbps y 100 Mbps. Son específicamente diseñados para trabajar en entornos agresivos de climáticos y eléctricos de manera confiable, por eso son adecuados para trabajo en aplicaciones de procesos críticos.

Son diseñados para montaje en riel DIN de tamaño compacto y soporta temperaturas extremas de trabajo.



Figura 4.59: Switch Siemens RUGGEDCOM RMC40 (Fuente: Siemens)

Características:

- No administrable
- 2 puertos RJ45 de 10/100 Mbps.
- 2 puertos ópticos FX con conector ST de 100 Mbps.
- Puede trabajar con Fibras Multimodo o Monomodo.
- Alcance de señal óptica hasta 90 Km.

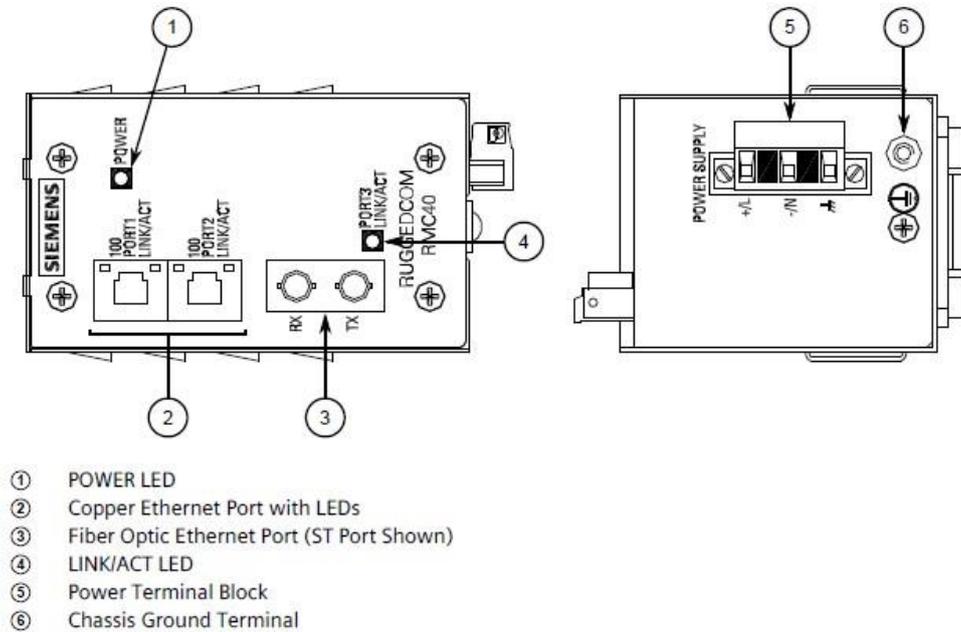


Figura 4.60: Vista frontal de Switch Siemens RUGGEDCOM RMC40 (Fuente: Siemens)

d. Cables y Conectores

El cable de fibra óptica está compuesto por cables de 24 Hilos de fibra, de este modo se garantiza repuestos en caso de ser necesario. La longitud máxima de 1 segmento será inferior a 10 Km. para fibra monomodo.

Los conectores son los estándares para el uso en fibra, y se usaran conectores del Tipo LC en la mayoría de equipos y en los CCBox se usará lo de Tipo SC.

Las características de la fibra son:

- Monomodo, índice-gradiente: 125 μm .
- Diámetro del núcleo: 9 +/- 1,0 μm .
- Diámetro del revestimiento: 125 +/- 1 μm .
- Diámetro del recubrimiento: 250 +/- 10 μm
- No circularidad del revestimiento < 1,5%.
- Atenuación máxima de la señal a 1310 nm < 0,4 dB.
- Coeficiente de dispersión a 1310 nm < 3,5 ps/nm.
- Atenuación máxima de la señal a 1550 nm < 0,23 dB.
- Coeficiente de dispersión a 1550 nm < 18 ps/nm.
- Longitud de onda de corte <1280 nm.

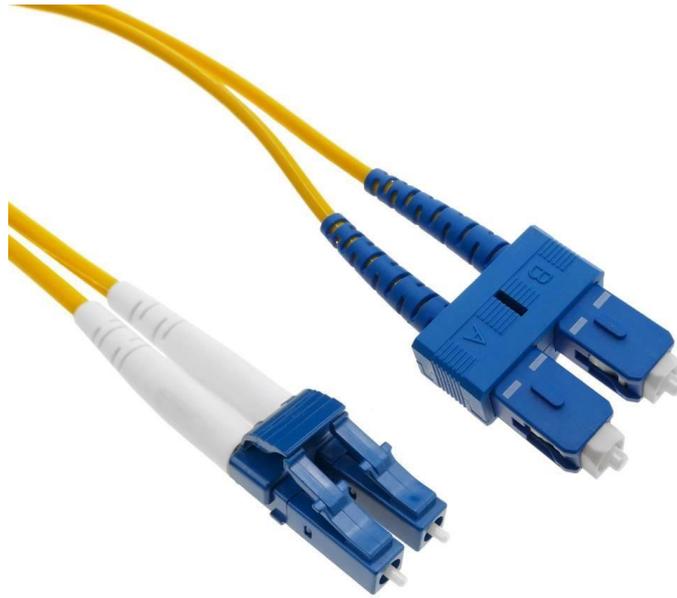


Figura 4.61: Vista de Conector LC (Izquierda) y Conector SC (Derecha) (Fuente: ADBSafegate)

e. Direccionamiento de Red

En una red Ethernet cada equipo tiene su propio nombre y dirección específica, esta es única por equipo. La dirección es usada en el protocolo TCP-IP para la comunicación entre los equipos en la red. En el caso del sistema SCADA esta dirección es estática y por ello es importante nunca cambiarlo. El formato usado es IPv4.

Se tiene la lista de los IP y nombres asignados a los distintos equipos en la red del sistema SCADA, por temas de seguridad se mostrará una muestra sin los IP.

IP address	Equipment name	Location
	ALCMS PC: SPJC-ATC1 (teaming)	ATC Visual Room
	ALCMS PC: SPJC-ATC2 (teaming)	ATC Visual Room
	ALCMS PC: SPJC- ATC3 (teaming)	Old ATC Visual Room
	ALCMS PC: SPJC-MNT1 (teaming)	Substation Oeste
	ALCMS PC: SPJC-MNT2 (teaming)	Substation Este
	ALCMS PC: SPJC-MNT3 (teaming)	Substation Existing
	ILCMS PC: SPJC-AGL1 to S7-400	Substation Oeste
	ILCMS PC: SPJC-AGL1 Master LAN A	Substation Oeste
	ILCMS PC: SPJC-AGL1 to ALCMS HMI	Substation Oeste
	ILCMS PC: SPJC-AGL2 to S7-400	Substation Este

Figura 4.62: Muestra de Lista de IP y Nombres de equipos del Sistema SCADA (Fuente: ADB)

4.1.3.10.2 Comunicaciones de los Equipos AGL

Todos los equipos controlados y monitoreados por el sistema SCADA tiene comunicaciones típicas de acuerdo a su desarrollo, tecnología o fabricante, entre las cuales se puede describir:

a. TCP-IP de Reguladores CCR

Los reguladores CCR para las subestaciones nuevas, cuentan con varios medios de comunicaciones, tienen multifilar, RS485, JBus y TCP-IP. Para todos los reguladores nuevos se está usando el medio de comunicación más actual que sería el TCP-IP, cada regulador tiene configurado 02 Puertos con lo cual permite que cada puesto se pueda conectar a un anillo para así tener redundancia.



Figura 4.63: Conexión de Cables Ethernet en Reguladores CCR (Fuente: E. Propia)

b. J-Bus Serial de Reguladores CCR (Antiguos)

Los reguladores CCR de la subestación existente que controlan las luces de la pista actual, son de tecnología antigua y no manejan comunicaciones IP, son solo de J-Bus que es una comunicación serial de campo de tipo industrial proveniente del protocolo Modbus sobre RS485 como medio físico.

Esta comunicación es lenta ya que es serial, asimismo es en modo Maestro-Esclavo, en donde el maestro envía mensaje a un esclavo específico y se espera la respuesta para poder enviar un nuevo mensaje, asimismo solo se puede tener 16 Equipos en un bus, de tener más equipos se tiene que tener varios buses según la necesidad ya sea por temas de redundancia o de cantidad de equipos.

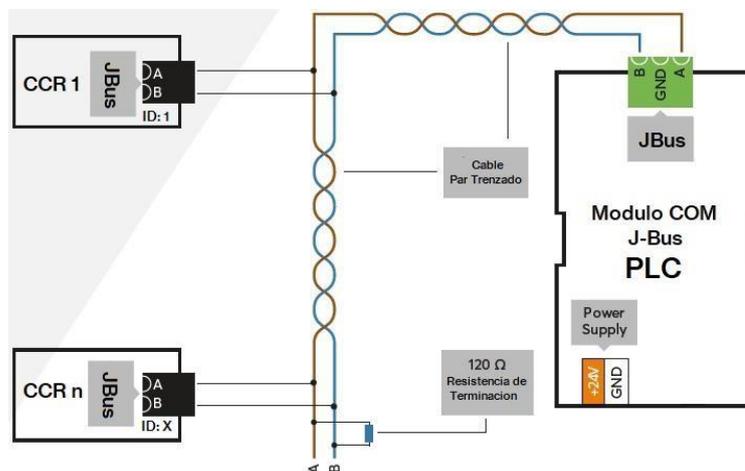


Figura 4.64: Diagrama J-Bus sobre RS485 de Reguladores CCR Antiguos (Fuente: E. Propia)

Los equipos solo disponen de un bus, no disponen de redundancia en comunicaciones. Otra de las desventajas es que al ser un sistema serial, de tener alguna falla un equipo podría hacer caer las comunicaciones de ese brazo perdiéndose el control de los CCR amarrados a ese brazo. El direccionamiento se hace mediante un ID que es un número único.

Nr	Client Device Name	ADBSG Name	Address JBUS 1	Address JBUS 2	Address JBUS 3
1	APP C/L 16L (15)-1	APP301	1		
2	APP C/L 16L (15)-2	APP302		17	
3	ASR 16L (15)-1	ASR301	3		
4	ASR 16L (15)-2	ASR302		19	
5	PAPI	PAP301	4		
6	RWE WC THR 1	RWE301		21	
7	RWE WC THR 2	RWE302	6		
8	SIGNS	SGN301			34
9	STB (not used)	STB301			
10	STB 34R (33)	STB302		26	

Tabla 4.3: Tabla parcial de CCR J-Bus con su ID y Bus (Fuente: E. Propia)

c. Control y Monitoreo de Auxiliares Multifilares

El control y monitoreo de los equipos auxiliares es a través de conexiones multifilares, los PLC Locales tienen las E/S digitales que permiten mediante cableado físico el control y monitoreo de los equipos auxiliares.

Para mantener el esquema de redundancia este control y monitoreo se hace en paralelo con dos PLC así se puede saber el estado y controlar el equipo por los dos PLC o por uno en caso fallara alguno, también trabajan bajo el esquema de que ambos PLC están funcionando en paralelo de modo constante.

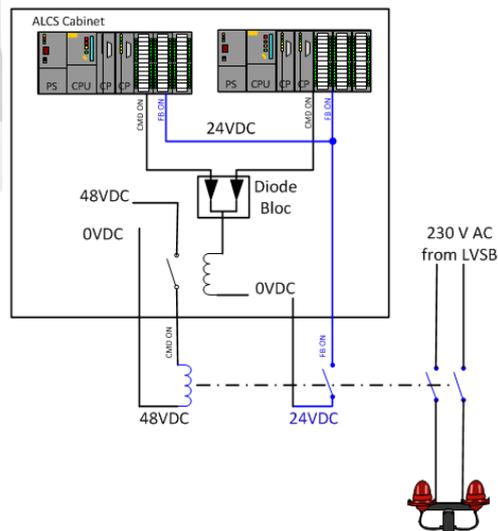


Figura 4.65: Diagrama Control y Monitoreo Multifilar de Luz de Cono Viento (Fuente: ADB)

Nr	Tipo de Equipo	Nombre de Equipo	Steps	Feedback
1	SFL 16R Luces Destello	SFL801	3	2
2	Cono de viento GP 16R	WIC801	1	1

Tabla 4.4: Tabla de Equipos Auxiliar Multifilar en Sala Glide Path (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11 EQUIPOS AGL

Los equipos de iluminación de superficie del aeropuerto o AGL son todos los equipos que se controlan y ubican en los diferentes nodos que se compone el sistema SCADA.

Dentro de los equipos AGL tenemos:

4.1.3.11.1 Regulador de Corriente Constante – CCR.

Los reguladores de corriente constante CCR, son equipos electrónicos que proporcionan corriente constante y se puede regular en intensidades de corriente por lo general en 5 pasos, para alimentar las luces o equipos AGL. Los valores normalizados en la industria aeronáutica son de 2.8 A. a 6.6. A. y con el avance de la tecnología son controlados por sistema remotos mediante control de comunicaciones.

Los equipos instalados son los CCR de la Marca ADB Safegate Modelo VIS y de potencias variadas según el circuito a alimentar. Del mismo modo se debía integrar los equipos CCR actuales de CORPAC para el control del sistema SCADA, por lo que se hará una referencia a los modelos actuales. Se describe cada modelo:

ADBSafegate CCR Modelo VIS

Es un equipo de última generación con onda sinusoidal pura, diseñado para aplicaciones críticas en aeropuertos para control a varios niveles de intensidades.

Tiene alta velocidad de proceso permitiendo controlar cargas no lineales, como equipos de eje de calles de rodaje, electrónica LED y módulos ILCMS. Su electrónica de control se basa en la tecnología con IGBT de última generación, el VIS ofrece control y regulación de alta precisión totalmente digitalizados con procesador de alta velocidad que ayudan a compensar los cambios de la temperatura, el voltaje u otros parámetros físicos.

Incluye capacidades remotas de control, monitoreo y diagnóstico de red y está equipado con una interfaz hombre-máquina (HMI) integrada basada en menús que admite la configuración completa en el sitio sin ningún equipo adicional.

El control y monitoreo de estos equipos se realiza mediante comunicaciones en protocolos Ethernet, Jbus, RS485 y Multifilar, pudiendo configurarse con doble canal para redundancia.

Las características de CCR VIS son:

- Salida de onda sinusoidal pura y nivel de armónicos bajos.
- Alta precisión de regulación y de respuesta dinámica gracias a la tecnología PWM - IGBT de alta frecuencia.
- Tecnología de gestión de energía de última generación con DSP (Procesador de Señal Digital) y control de procesamiento integrado por microprocesador.
- Control y regulación de alta precisión totalmente digitalizados, a través de parámetros procesados de forma numérica para superar la afectación por temperatura, voltaje u otros parámetros físicos.
- Adaptable a configuraciones de circuitos que consisten en cargas no lineales como luces LED de nueva tecnología, remotos ILCMS y equipos de calles de rodaje con luz distintas a las lámparas halógenas.
- Funcionalidad remota de control, monitoreo y diagnóstico de red.



Figura 4.66: Vista del Regulador CCR ADBSafegate Modelo VIS (Fuente: ADBSafegate)



Figura 4.67: Subestación Oeste con Reguladores CCR VIS en Instalación (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.2 Luces de Aproximación.

Son equipos destinados a guiar la aproximación de la aeronave, son potentes para que el piloto pueda verlos en su camino al aeropuerto, se instalan de acuerdo a la configuración de la pista por lo general en un largo de 900 Mt. antes del umbral, dependiendo del terreno y la ubicación del umbral habrá equipos elevados y empotrados.

Asimismo, los elevados se pondrán sobre unos mástiles con una altura relativa que hagan un plano de inclinación que por lo general es 3°.

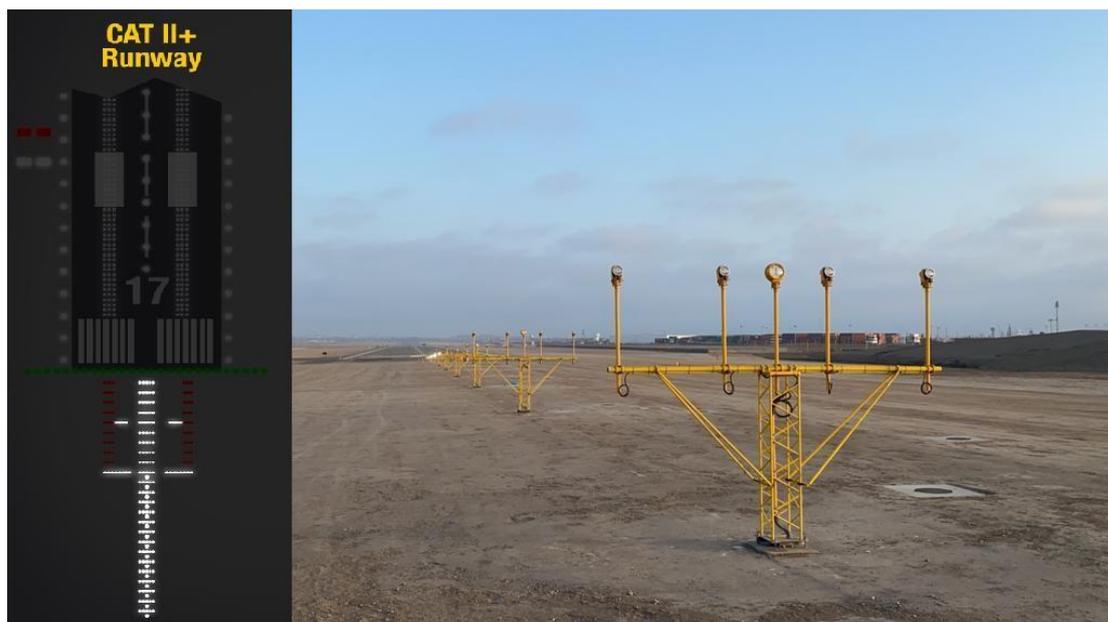


Figura 4.68: Vista de Luces de Aproximación instalados en AIJCH (Fuente: ADBSafegate)

Son de color blanco y rojo, se disponen según recomendación OACI y se han usado de tecnología LED, asimismo como se comentó se usaron del tipo elevado y empotrado.



Figura 4.69: Equipos de Luces de Aproximación Elevadas y Empotradas (Fuente: ADBSafegate)

4.1.3.11.3 Luces PAPI.

Las luces PAPI son luces de ayuda también para la aproximación de las aeronaves, son 4 equipos instalados a la altura de la zona de toma de contacto al lado izquierdo de la pista, y tiene un arreglo de lentes especiales que hace que al estar por encima de su eje se vea una luz blanca y al estar por debajo se vea rojo.

Los 4 equipos se ponen con un desface de ángulo de tal modo que se tenga un eje central dos quedan elevados con desface entre ellos y dos por debajo con desface.



Indicador de la trayectoria de aproximación de precisión para una pendiente de planeo típica de 3°.

Figura 4.70: Esquema del uso de las Luces PAPI en aproximación a pista. (Fuente: ADBSafegate)

Las Luces PAPI instaladas son ADBSafegate de tecnología LED en cada unidad de luz para proporcionar al piloto información visual precisa, lo que permite realizar el procedimiento de aproximación con la máxima precisión y seguridad.



Figura 4.71: Vista del Equipo PAPI y la instalación de las Luces PAPI. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.4 Luces de Eje de Pista.

Son luces empotradas en el centro y a lo largo de la pista, se instalan en la pista espaciadas 15 Mt. al igual que las marcas de la línea central de la pista, las luces de eje de pista pueden estar desplazada uniformemente lateralmente al mismo lado de la línea central física de la pista por un máximo de 75 cm.

Cuando se ven desde el umbral de aterrizaje, las luces del eje de pista son blancas hasta los últimos 900 Mt., donde comienzan a alternar rojo y blanco durante 600 Mt. y, finalmente, rojo fijo durante los últimos 300 Mt.



Figura 4.72: Luces de Eje de Pista en la instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.5 Luces de Borde de Pista.

Las luces de borde de pista tienen un espacio máximo de 60 Mt. entre cada luz y deben estar de 0.6 Mt. a 3 Mt. del borde de la pista totalmente pavimentado.

Las luces del borde de pista son blancas, hasta que comienza a acercarse al final de salida de la pista. En las pistas con categoría las luces de borde son amarillas en los últimos 600 Mt., o la mitad de la longitud de la pista, lo que sea menor. Esto forma una zona de precaución para aterrizajes en pistas instrumentales durante la noche.



Figura 4.73: Luces de Borde Pista en la instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.6 Luces de Umbral / Fin de Pista.

Las luces de umbral son luces verdes que se ven desde la aproximación, a una distancia de centros de 1.5 Mt. que se extienden a lo largo del umbral de la pista y hacia afuera a una distancia de aproximadamente 13 Mt. desde los bordes de la pista, definen el comienzo de la pista útil de aterrizaje.

El umbral de una pista es el final de pista de la cabecera contraria, por lo que esa luz se suele utilizar para ambas funciones por el lado de aproximación de la cabecera se verá verde y por el otro lado de uso de pista sería el fin de pista de la cabecera contraria se verá rojo.



Figura 4.74: Equipo y Luces de Umbral / Fin de Pista en la instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.7 Luces de Zona de Toma de Contacto TDZ.

Son usadas en las pistas disponibles para su uso en condiciones de baja visibilidad para una mejor identificación del área de aterrizaje. Esta considerado dentro de las normativas de OACI, y son luces blancas encendidas de forma constante que debe extenderse desde el umbral de aterrizaje desde los 30 Mt. durante 900 metros o hasta el punto medio de la pista, lo que sea menor, distribuidos en dos filas de barras de luz transversales dispuestas simétricamente con respecto a la línea central de la pista.



Figura 4.75: Equipo y Luces de Zona de Toma de Contacto instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.8 Eje y Borde de Calle de Rodaje.

El propósito de las calles de rodaje es que tanto la tripulación de vuelo como los conductores de vehículos sigan las rutas correctas de las calles de rodaje durante la noche y en condiciones de baja visibilidad y se detengan correctamente según los límites de autorización de ATC. Las luces empotradas en el eje de rodaje o que marca el borde siguen las normativas de la OACI.

Los aeropuertos que operan con poca visibilidad tienen iluminación de color verde en los ejes y azul en los bordes de las calles de rodaje.

Cuando las calles de rodaje están cerca de una pista entonces esa parte de la iluminación de la línea central se marcará con luces alternas de color verde y amarillo y las aeronaves y los vehículos no deberían detenerse en dichas áreas sin obtener la aprobación explícita del ATC.

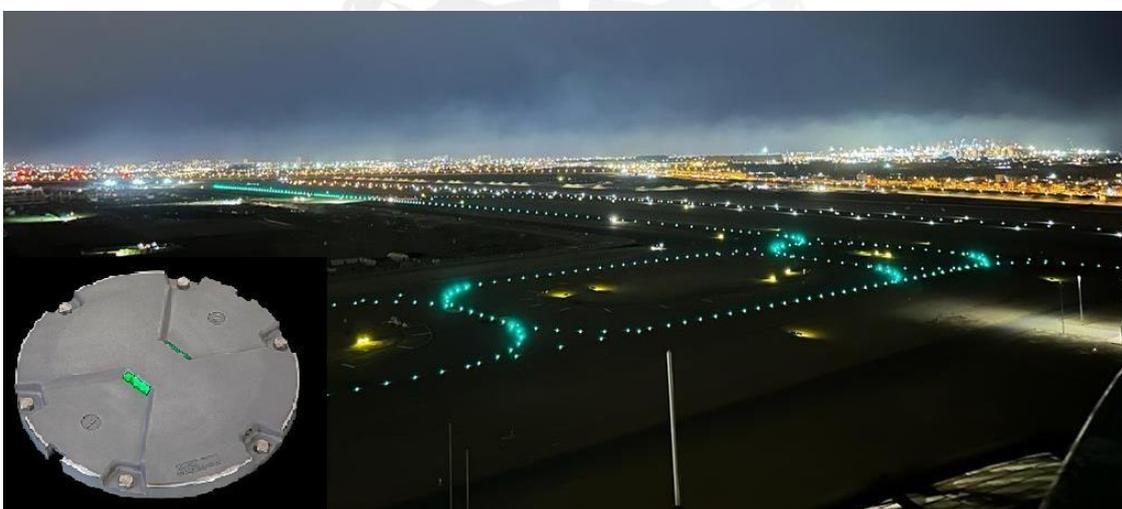


Figura 4.76: Equipo y Luces de Eje de Calle de Rodaje instalados en el AIJCH. (Fuente: E. Propia)



Figura 4.77: Equipo y Luces de Borde de Calle de Rodaje instalados en el AIJCH. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.11.9 Luces de Barra de Parada.

Es una serie de luces rojas unidireccionales, empotradas en el pavimento, en ángulo recto con respecto a la línea central de la calle de rodaje, en el punto de espera de la pista asociado, las luces están espaciadas a 3 metros a lo largo de la calle de rodaje ubicada 0,3 metros antes de las líneas del punto de espera.

Cuando están encendidas, se iluminan en rojo hacia una aeronave que se aproxima, se ubican antes de todas las intersecciones de calles de rodaje con pista de vuelo y también pueden instalarse en otros puntos apropiados dentro del sistema de calles de rodaje. En algunos aeropuertos donde una barra de parada está ubicada en una curva de una calle de rodaje o cerca de ella, se pueden colocar luces rojas elevadas adicionales justo más allá de cada borde de la calle de rodaje para mejorar el conocimiento de la ubicación de la barra de parada.

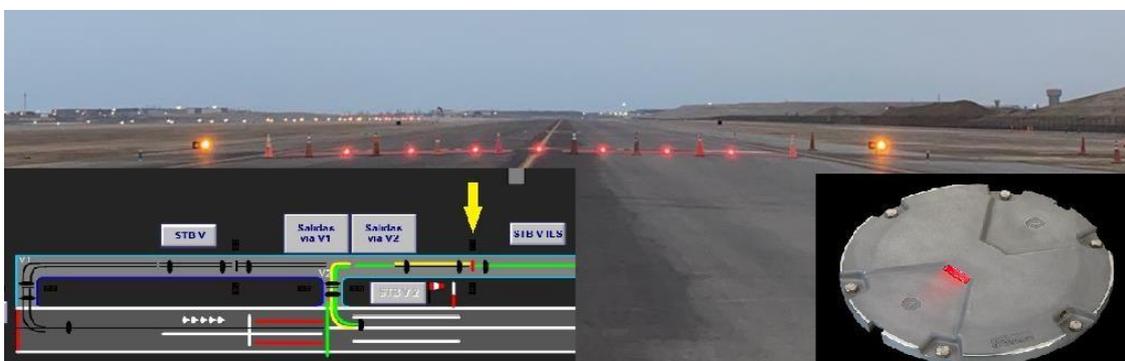


Figura 4.78: Equipo y Luces de Barra de Parada instalados en el AIJCH. (Fuente: E. Propia)

Para operaciones mixtas, es fundamental el uso de la barra de parada para controlar el flujo de aeronaves para su ingreso a pista para el despegue, para ello cuando ATC autorice el ingreso se apagar y la aeronave pasara a pista. 1964

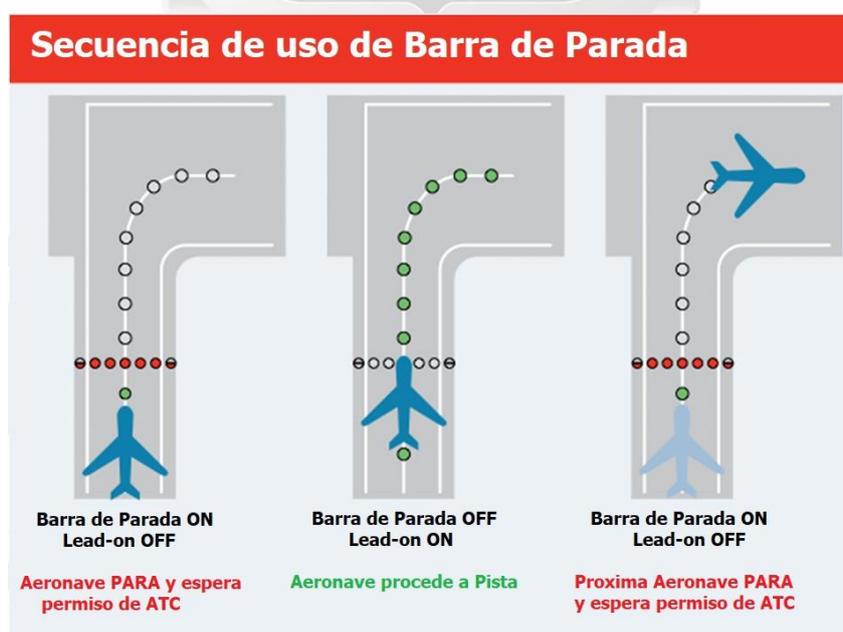


Figura 4.79: Diagrama de Secuencia de Uso de Barra de Parada. (Fuente: IATA)

4.1.3.12 EQUIPOS AUXILIARES AGL

Existen equipos auxiliares AGL que son de apoyo, igualmente están distribuidos en los diferentes nodos que se compone el sistema SCADA. Dentro de los equipos auxiliares AGL tenemos:

4.1.3.12.1 Letreros.

Los letreros brindan información útil para el piloto durante el despegue, el aterrizaje y el rodaje mejorando la seguridad y la eficiencia.

Los letreros usados son iluminadas por LED y están diseñadas para proporcionar guía y control sencillos del movimiento en la superficie, especialmente en operaciones nocturnas o de baja visibilidad.

Hay dos tipos de letreros, *los de instrucciones obligatorias* que tienen caracteres blancos sobre un fondo rojo y requieren una autorización de ATC específica hasta un punto más allá de ellas antes de pasarlas y *los de información* que tienen una combinación de marcas amarillas y negras y se proporcionan a discreción del operador del aeropuerto para brindar orientación adicional a las aeronaves en rodaje.



Figura 4.80: Letreros de Instrucción Obligatoria (arriba) y de Información (Abajo). (Fuente: E. Propia)

4.1.3.12.2 Faro de Torre.

Su propósito principal es encender luces brillantes y marcar la ubicación de un aeropuerto por la noche o en condiciones de baja visibilidad, se instalarán en la parte alta del fanal de la torre de control. Se utilizan luces giratorias que simulan destellos, como un faro y son de color verde - blanco.



Figura 4.81: Vista de ubicación de Faro en la Torre de Control. (Fuente: E. Propia)

4.1.3.12.3 Cono de Viento.

El cono de viento es una ayuda visual básica para el piloto para ver la dirección y velocidad del viento, si bien es cierto en la actualidad se tiene información digital enviada a las aeronaves referente a las condiciones del viento de manera automática, por temas de seguridad antes falla de dichos sistemas, se mantiene este sistema de ayuda. Asimismo, por normativa deben estar iluminados para operaciones nocturnas.



Figura 4.82: Vista de Cono de Viento instalado en AIJCH. (Fuente: E. Propia)

4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA ACTUALIZACION DEL SISTEMA SCADA

La Ampliación de Aeropuerto Internacional Jorge Chávez como proyecto nacional responde a mejorar la capacidad de operaciones la cual desde que LAP recibió la operación del aeropuerto en el 2001, se encontraban ya en los límites y tras las ampliaciones de infraestructura se logró ampliar su capacidad a 10 Millones de movimientos de pasajeros ampliando así su capacidad y las actividades comerciales y turísticas impulsaban año a año el crecimiento de las operaciones, las cuales estaban ya previstas en el acuerdo de concesión.

A partir del 2011 las operaciones del aeropuerto aumenta agresivamente con lo que la infraestructura colapsa como se observa en la *Figura 4.82*, desde el año 2014 cuando las operaciones estaban en 15.6 Millones, se realiza el estudio de impacto del proyecto y desde el 2017 se comienza a elaborar los diseños de ingeniería con una capacidad proyectada de 35 Millones, ya en el 2019 que fue el pico de 23.6 Millones se inicia la obra, con la llegada del COVID todas las operaciones cayeron ya que hubo inmovilización de pasajeros llegando al punto más bajo en el 2020 con 7 Millones.

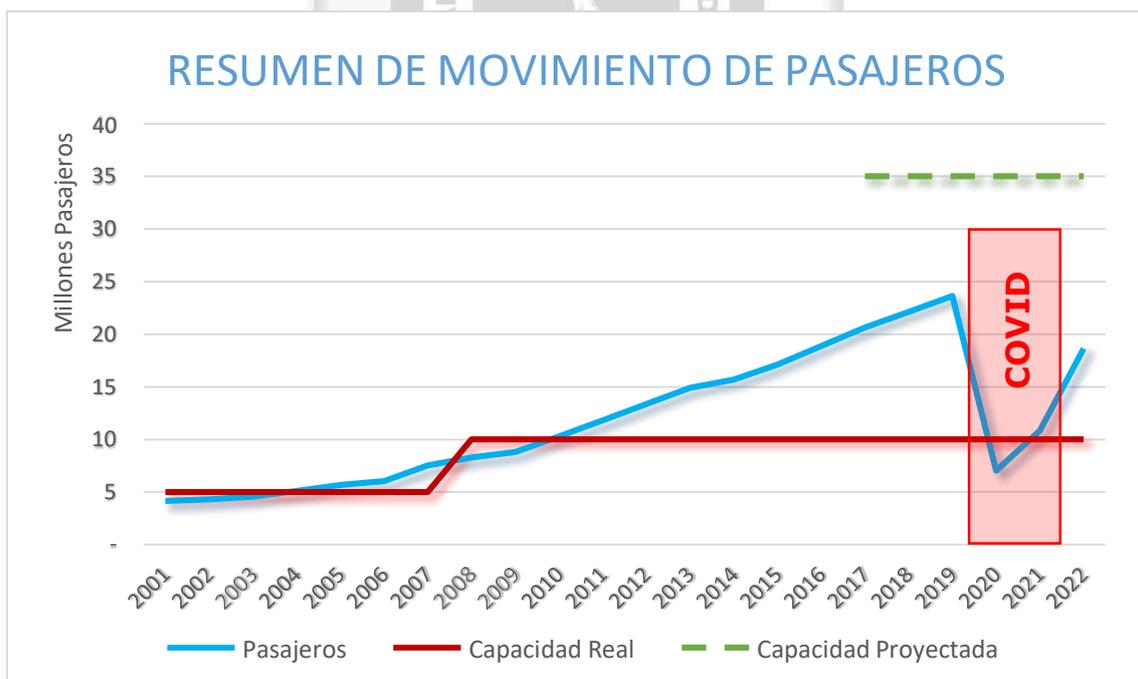


Figura 4.83: Operaciones de Movimiento de Pasajeros en el AIJCH. (Fuente: E. Propia)

El proyecto se vio retrasado por la entrega de los terrenos por parte del estado y por el COVID, este último represento retrasos en obra tanto locales como de materiales, insumos y equipos ya que afecto a nivel mundial.

El proyecto inicial planteaba inicio de operaciones con ambas pistas, la antigua incluso renovada, y funcionamiento del nuevo terminal para el cuarto trimestre del 2024 como se muestra en la Figura XX, los retrasos han cambiado la fecha del hito para operar la nueva terminal con la nueva pista y pendiente la renovación de la pista antigua para enero del 2025.

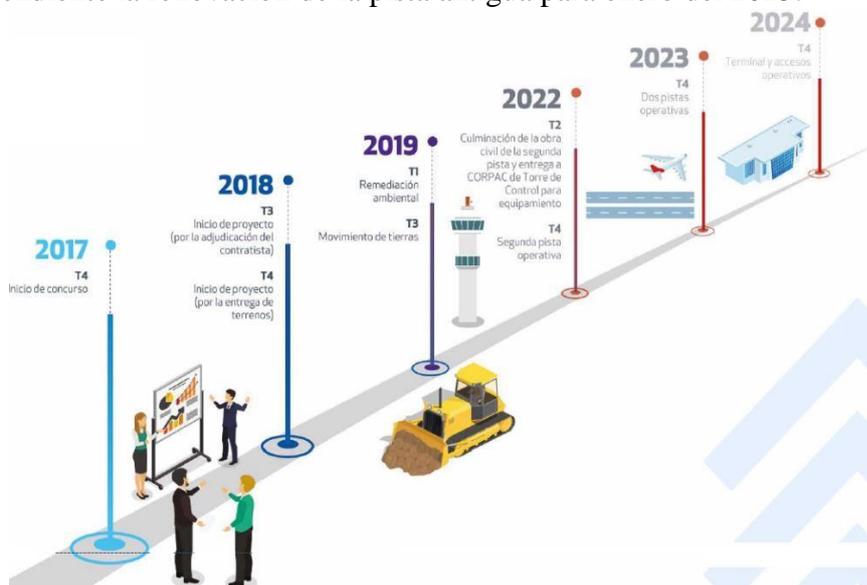


Figura 4.84: Hitos del Proyecto de Ampliación del Aeropuerto proyectado el 2017. (Fuente: LAP)

La Segunda Pista entro en operaciones el 03 de abril del 2023, realizándose vuelos con restricción de horario hasta que personal de ATC adquiera la experiencia y entrenamiento en manejo de 2 Pistas, así hasta que el nuevo terminal no esté operando no se podría incrementar más vuelos, por lo que las operaciones son alternadas por el momento.

La Figura 4.84 muestra las operaciones de movimiento de aviones y en el 2019 se encontraba casi por llegar a la máxima capacidad, actualmente con la Segunda Pista ya la capacidad ha aumentado más del doble.

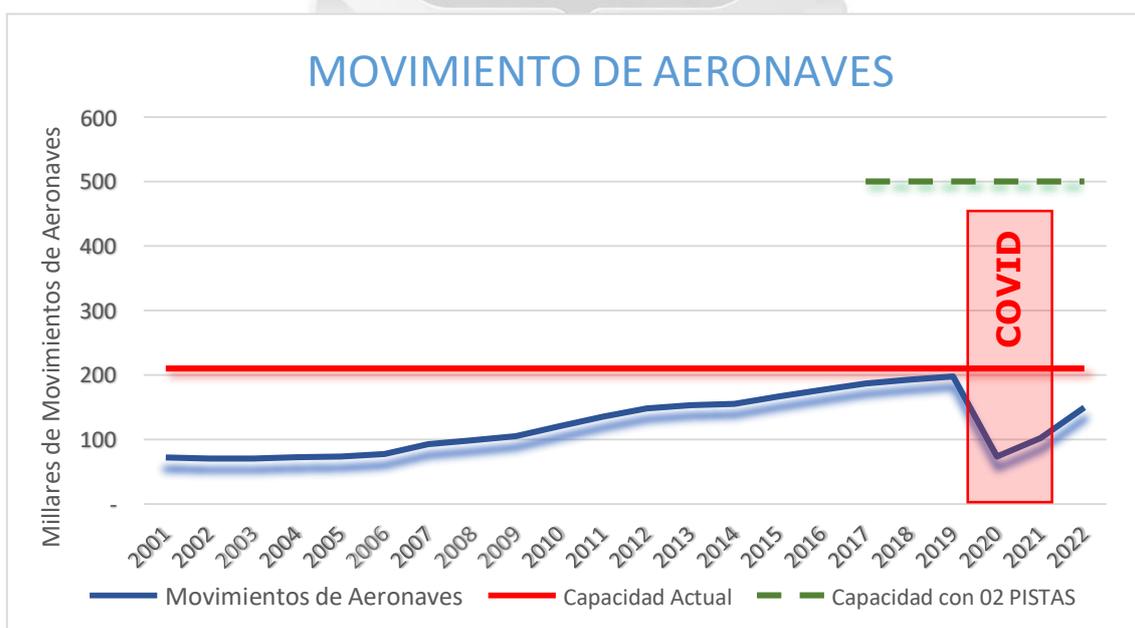


Figura 4.85: Operaciones de Movimiento de Aeronaves del Aeropuerto AIJCH. (Fuente: E. Propia)

El mejoramiento de las operaciones en pista y el incremento de la **capacidad operativa del aeropuerto** con la operación de la segunda pista se está realizando con eficiencia y ha demostrado una mayor capacidad operativa y de fluido de pasajeros, con la actualización tecnológica a los distintos sistemas implementados en la nueva torre incluyendo el Sistema SCADA de los Equipos AGL los controladores tiene sistemas eficientes, oportunos, con capacidad de supervisión y control desde múltiples estaciones, así como el monitoreo y alarmas de los sistemas en tiempo real y con herramientas modernas que permiten fácilmente interpretar el estado de los sistemas.

Incrementando la capacidad de operaciones a algo de 35 Millones de pasajeros y algo de 500 Mil operaciones en pista el aeropuerto se pone como un hub de la región con capacidad de crecimiento y a la vez se convierten en más complejas y críticas las operaciones, pero con sistemas de alta velocidad de procesamiento y sistemas inteligentes en pista los controladores ATC tiene las herramientas para una reacción inmediata de cambio de dirección y gestión de tránsito de las aeronaves, asimismo la garantía de tener un sistema tolerante a falla y redundante a nivel de equipos AGL, de gabinetes, de estaciones, de servidores y de comunicaciones, e incluso con la segunda pista en sí, hacen que se tenga un aeropuerto con capacidad redundante lo cual le da la seguridad y robustez de clase mundial.

En términos generales se tiene la *Tabla 4.5* que resume las mejoras después de la ampliación del aeropuerto.

CUADRO COMPARATIVO DE MEJORAS CON AMPLIACION

COMPONENTE	SITUACION ANTES DE AMPLIACION	SITUACIÓN CON AMPLIACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE SCADA
Capacidad de Movimiento Pasajeros	10 millones	35 millones
Torre de Control	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología antigua sin supervisión y alarmas de sistemas. • 04 Posiciones para ATC • Puede gestionar 35 Vuelos / Hora 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología moderna, con sistemas SCADA redundantes. • 10 Posiciones para ATC • Puede gestionar 80 Vuelos /Hora
Cantidad de Pistas	1	2
Área Total	2'000,000 m ² .	9'000,000 m ² .
Puentes de Embarque	19	51
Estacionamientos de Aeronaves	52	112

Tabla 4.5: Comparativo General de Ampliación de Aeropuerto. (Fuente: E. Propia)

Con la actualización del sistema SCADA y de la tecnología de sus componentes se ha logrado mejorar las capacidades de supervisión, control, reportes de alarmas y redundancia a los sistemas de los Equipos AGL, se integró la pista actual al SCADA, asimismo se ha dado integraciones con sistemas aeronáuticos de meteorología y de supervisión integral del aeropuerto que es un SCADA que alarma a las aeronaves en tiempo real antes un falla, problemas de seguridad, ataque terrorista o incendio, así la aeronave está informada del estado del aeropuerto.

Se resume las mejoras obtenidas con la actualización del Sistema SCADA de los Equipos AGL para mejorar las operaciones en pista.

CUADRO COMPARATIVO DE MEJORAS CON LA ACTUALIZACION DEL SISTEMA SCADA

Nº	COMPONENTE	SITUACION ANTES DE ACTUALIZACION	SITUACIÓN ACTUAL CON ACTUALIZACIÓN DE SCADA
1	Tecnología SCADA	<ul style="list-style-type: none"> • Solo estación HMI con PLC. 	<ul style="list-style-type: none"> • SCADA de Control Distribuido. • Servidores Industriales SCADA redundantes y Hardware tolerante a fallos. • PLC Master Industrial de alta gama, alto procesamiento y redundante. • Redundancia en todos los niveles del sistema y equipos AGL. • Base de Datos de sistema, alarmas, procesos. • Múltiples Estaciones HMI. • Integración con otros SCADA.
2	INTERFACE HOMBRE MAQUINA HMI	<ul style="list-style-type: none"> • Solo funciones de control. • 2 Pantallas para control ATC y Mantenimiento. • Acceso limitado. • Lento. • Sin alarmas. • Sin monitoreo de estado de equipos. • Con fallas. • Sin opción ampliación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Múltiples estaciones para operación. • ATC puede controlar ambas pistas o delegar a otras estaciones. • Supervisión y Control en todos los niveles de equipos. • Funciones de Alarmas en tiempo real. • Funciones de Estado de Sistema para monitorear los equipos en un solo mímico. • Funciones de Mantenimiento para comunicación con todos los equipos del sistema. Alarmas a nivel de equipo. • Tolerante a fallos. • Integración con Sistemas Meteorológicos para configuración de pista de acuerdo a valores visibilidad. • Flexible, escalable y opción de ampliación. • Gestión de configuraciones por Supervisor.
3		<ul style="list-style-type: none"> • No posee 	<ul style="list-style-type: none"> • Redundancia en todos los niveles del sistema en HMI, DB, Servidores, Estaciones HMI, Master PLC, Controles, PLC,

	Redundancia de Sistema SCADA		Gabinetes, Comunicaciones, Alimentación eléctrica, Fuentes de Alimentación.
Nº	COMPONENTE	SITUACION ANTES DE ACTUALIZACION	SITUACIÓN ACTUAL CON ACTUALIZACIÓN DE SCADA
4	Software HMI SCADA	<ul style="list-style-type: none"> • Versión del año 2007, sin soporte discontinuado. • Sin opción ampliación. • Sin conexión DB. • Sin alarmas e históricos. • Sin redundancia. • Lento con COM Serial. • Programación por código. 	<ul style="list-style-type: none"> • Versión actual del software Siemens WinCC SCADA. • Escalable y con múltiples opciones de ampliación a futuro. • Conexión a DB SQL para configuraciones, alarmas, históricos. • Integración con otros SCADA y terceros. • Con redundancia en caliente. • Comunicación Ethernet, FO y todos los protocolos COM industriales. • Opción de envió mail para alarmas. • Comunicación directa con los PLC para programación rápida y sencilla. • Programación de Grafica, con opción de código en C y VBS.
5	Software de Controlador PLC	<ul style="list-style-type: none"> • Cerrados y sin acceso • Sin opción a ampliación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Versión actual de plataforma de desarrollo. • Abierto, escalable y con opción de ampliación. • Programación en todos los lenguajes de PLC como LAD, FBD, SLC y STL. • Función integrada al sistema de diagnóstico de PLC.
6	Hardware del Sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Sin redundancia, con fallas. • 02 PC obsoletas. • 02 PLC de gama media. • 02 Gabinetes de control 	<ul style="list-style-type: none"> • Todo el Hardware configurado con Redundancia. • 04 Servidores Industriales de alta gama. • 02 PLC Master de alta gama. • 06 Estaciones HMI para uso de ATC / Mantenimiento. • 03 Estaciones con pantalla táctil para manejo sencillo para ATC. • 36 PLC de Control Distribuido. • 28 Gabinetes de Control con UPS.
7	Control Central	<ul style="list-style-type: none"> • 1 PLC de gama media. • No soporta ampliación. • No soporta procesamiento alto. • No soporta COM con nuevos CCR. • Sin Redundancia. 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 PLC de gama alta. • Multiprocesador. • Redundante a todo nivel de procesador y de comunicaciones con doble comunicación redundante (4 canales). • Soporta escalamiento y ampliación hasta 176 Módulos / en uso 6. • Comunicación Giga Ethernet y todos los protocolos industriales. • Doble fuente de alimentación.
8	Control Distribuido	<ul style="list-style-type: none"> • 1 PLC de gama media. • Control de CCR por COM Serial. • No soporta ampliación. • No soporta COM con nuevos CCR. • Sin Redundancia. 	<ul style="list-style-type: none"> • En total 36 PLC distribuidos para alta performance de gama media. • Alta capacidad de procesamiento. • Redundante a todo nivel. • Cada PLC soporta escalamiento y ampliación hasta 32 Módulos / en uso 2.

Nº	COMPONENTE	SITUACION ANTES DE ACTUALIZACION	SITUACIÓN ACTUAL CON ACTUALIZACIÓN DE SCADA
			<ul style="list-style-type: none"> • Comunicación Ethernet y todos los protocolos industriales.
9	Sistema ILCMS para Luces Inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> • NO Posee 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control inteligente para encendido segmentos de luces para guiado de aeronaves en zona críticas y entradas a pista. • Control individual de Barras de Parada. • Control individual de Segmentos de Guías de Acceso a pista con múltiples entradas. • 02 Servidores ILCMS. • 08 Master ILCMS.
10	Red de Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Enlace por comunicación Serial. • Ethernet por Media Converter Serial de 1.54Mbps. • Baja velocidad de datos. • Redúndate. • Comunicación de un segmento no tolerante a falla. 	<ul style="list-style-type: none"> • Doble Anillo de FO Monomodo de largo alcance con FO de alta protección. • Ethernet Giga, de alta velocidad. • Hardware de comunicaciones de alta gama. • Anillo por ducterías separadas. • Redundante a todo nivel. • Monitoreado por el SCADA. • Switch Industriales Siemens de alta gama. • 14 Switch SCALANCE XR328-4C WG. para gabinete control en salas. • 10 Switch SCALANCE XC206-2SFP para Gabinetes en campo. • 05 Switch RUGGEDCOM RMC40 para paneles en pista.
11	Reguladores CCR	<ul style="list-style-type: none"> • CCR de tecnología antigua, algunos modelos ya obsoletos. • Tecnología ferresonante y tiristores no eficientes. • Potencia sin capacidad de aumentar luces y al máximo de capacidad. • No soporta ampliación. • Comunicación Serial RS485 lenta. • Solo un bus de comunicación. 	<ul style="list-style-type: none"> • CCR de tecnología con multiprocesador. • Tecnología de alta velocidad IGBT. • Generación de onda sinusoidal pura. • Por la tecnología puede trabajar con baja carga para ampliación. • Potencia con capacidad de más luces. • Soporta escalado y ampliación. • Comunicación Ethernet redúndate y todos los protocolos de CCR. • No requiere configuraciones en transformador es electrónico.
12	Tecnología de Equipos AGL de Campo	<ul style="list-style-type: none"> • Luces de alta corriente de filamento Halógeno. • Genera calor y se desgastan. • Alto mantenimiento y recambio. • De alta potencias, requiere transformadores de alta potencia. • Espectro de luz difuso y bajo brillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Luces de muy baja corriente, tecnología LED. • No genera calor y mayor duración. • Libre de mantenimiento. • Baja potencias, sus accesorios también son de baja potencia. • Espectro de luz de alto brillo y claridad.

Tabla 4.6: Cuadro Comparativo de Mejoras con la Actualización del SCADA. (Fuente: E. Propia)

CONCLUSIONES

A través del presente trabajo se ha comprobado que la Actualización del Sistema SCADA de los Equipos AGL del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez ha mejorado **las Operaciones de las Pistas de Vuelo** y es parte de un mega proyecto que se realiza cada 15 o 20 años cuando se hace la renovación y ampliación integral de un aeropuerto, +ha involucrado el esfuerzo de alrededor de 15,000 personas entre profesionales y obreros trabajando en múltiples especialidades, con maquinarias de movimiento de tierra, eléctricas, de asfalto, de alto voltaje y que de manera sincronizada cumpliendo los objetivos de la ampliación, todo ello con la pista antigua en operación y con los vuelos. Para un orden y sectorización la ampliación se dividió en paquetes o WP como se muestra en la Figura xx, el proyecto completo tiene 6 Paquetes y que dependiendo su complejidad se han subdividido. Los paquetes que se han ejecutado que están relacionados al Sistema SCADA y los Equipos AGL de las pistas son el Paquete 1, Paquete 2.1, Paquete 2.2, Paquete 2.3, Paquete 3 y Paquete 5 pendiente por los retrasos.



Figura 4.86: Paquetes de Proyecto de Ampliación del Aeropuerto Jorge Chávez. (Fuente: LAP)

La implementación de la Actualización del Sistema SCADA de los Equipos AGL del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez se terminó con éxito con la integración de la pista antigua y sus equipos AGL existentes, la torre, las pistas y las calles de rodaje están operando con el Sistema SCADA y ha **mejorado las Operaciones de las Pistas de Vuelo** desde el 03 de Abril del 2023 que fue inaugurado y comenzó su uso por los vuelos comerciales, el sistema SCADA está supervisando y contralando las operaciones aeronáuticas desde ambas torres gracias a las múltiples estaciones, a la fecha ya van utilizando la pista 9 mil aeronaves en operaciones mixtas de despegue y aterrizaje, transportando a más de 1.2 Millones de pasajeros.

La mejora de las operaciones de las pistas, gracias a los sistemas instalados no solo se refleja en las operaciones de pistas, sino en mejoras de las operaciones en general al tener procesos más flexibles, precisión y eficientes con ahorros de tiempo por colas en secuencias de despegue, reflejándose así objetivos mayores.

La capacidad de movimientos de aeronaves con los sistemas de control de pista ha logrado subir de 35 Vuelos / Hora a una capacidad de 80 Vuelos / Hora, incrementándose a más de la mitad la capacidad operativa del aeropuerto, esto se traduce en la capacidad de hacer más vuelos y recibir más empresas aéreas, del mismo modo la situación problemática

general de haber colapsado en infraestructura y que solo se tenía una capacidad de 10 Millones de pasajeros, y que el pico del 2019 llegó a 23.6 Millones de pasajeros, ahora la capacidad es de 35 Millones cuando el terminal quede terminado en Enero del 2025.

Las operaciones con dos pistas involucra factores críticos en su gestión y tiene variables como la reacción inmediata ante situaciones en pista, variaciones de la visibilidad, intervenciones de personal operativo o mantenimiento en pista, problemas en el propio vuelo y que todo esto hace que las herramientas de **Supervisión** del HMI del Sistema SCADA ayuden al controlador ATC a tener esas variables bajo control en un sistema centralizados e integrado a los sistemas meteorológicos para ayudar en las operaciones aeronáuticas diarias. La torre tiene 3 estaciones para el control y supervisión de las funciones de los Equipos AGL y gracias a la interface grafica diseñada facilita que en la pantalla de Vista General del Aeropuerto el operador ATC pueda supervisar e interpretar del estado de alarmas, cambios meteorológicos o de intrusión en pista, asimismo la velocidad de procesamiento hace que todo lo que suceda se refleje en tiempo real dándole herramientas potentes para la supervisión de los equipos AGL. Del mismo modo el personal de mantenimiento tiene acceso a 3 estaciones y puede supervisar el estado de los servidores, estaciones y de los equipos AGL con una vista desde la Ventana de Estado del Sistema donde el mímico está orientado a presentar la información técnica de todos los equipos en la red del sistema SCADA.

La actualización del Sistema SCADA de los equipos AGL da herramientas de **control** efectivas y eficientes a los operadores ATC y personal de mantenimiento, brindándole múltiples accesos para poder controlar desde un estación ambas pistas y todos los equipos AGL de manera sencilla o de múltiples estaciones controlar según tomen el control segmentado, del mismo modo mantenimiento podría estar interviniendo en distintas subestaciones ya sea por mantenimientos preventivos o revisión de fallas, cualquiera sea el escenario el Sistema SCADA permite el control en múltiples estaciones para tareas ATC o Mantenimiento. Todo los controles y realimentación de estados o diagnósticos en tiempo real.

La actualización del Sistema SCADA ahora integra potentes Base de Datos SQL para las **alarmas e históricos** soportados en los servidores y sistema redundante, sin embargo podría producirse una corte de energía, falla o romperse algún equipo en pista por alguna mala maniobra vehicular, cualquier evento generar una alarma que alertara en todas las ventanas de trabajo con lo que no se requiere de verificación constante la ventana de listado de alarmas, así dependiendo el tipo de usuario vera las alarmas relacionadas a su rol en el sistema.

Presentado la alarma el operador ATC podría llamar a mantenimiento o incluso el de mantenimiento haber recibido la alarma en su estación y verificar si requiere atención, todas las alarmas una vez revisadas pasan a un histórico, donde los supervisores podrían revisar las alarmas y eventos del turno o incluso auditar, ya que estas alarmas estarán en el sistema de manera segura como herramienta de ayuda para realizar planes de mantenimiento de ser el caso.

La actualización del Sistema SCADA considera las exigencias y criticidad de las operaciones aeronáuticas, más aún en operaciones con múltiples pistas los sistemas AGL deben estar disponibles en todo momento, estos tipos de aeropuertos trabajan casi 24 x 7, teniendo tiempos de parada cortos mayormente de amanecida.

El sistema completo se ha diseñado tolerante a fallo y **redundante** en todos los niveles de hardware, software, PLC, comunicaciones, anillos de fibra óptica, fuentes de

alimentación, gabinetes, reguladores CCR y equipos de luces AGL dispuestos con doble circuitos alternados para garantizar una redundancia real, minimizando así la probabilidad de fallo.

RECOMENDACIONES

Las operaciones aeronáuticas han aumentado su capacidad, gracias a los nuevos sistemas instalados y a la construcción de la nueva pista, ahora cuentan con un nuevo Sistema SCADA para la supervisión y control de los equipos AGL que ayudan directamente en las operaciones de las aeronaves.

Con el incremento de pista e infraestructura para controlar el sistema SCADA se han convertido en un elemento fundamental en las operaciones aeronáuticas, ya que ayudan a mantener la eficiencia, procesando datos para tomar decisiones más inteligentes y rápidas, comunican los problemas del sistema en tiempo real para disminuir el tiempo de inactividad de algún componente, todo esto con la tecnología de TI y control que se ha instalado.

Considerando estas variables, se recomienda:

1. Elaborar un Plan de Mantenimiento Preventivo de la Infraestructura de TI

Todo el sistema SCADA está fundamentado en hardware y software, se debe implementar una estrategia de Mantenimiento Preventivo en la arquitectura de TI y Control para encontrar problemas y mitigarlos antes de que generen grandes pérdidas y caídas del sistema.

Para ello se debe comprender que el nuevo sistema trae mejoras, pero para ello esta una tecnología que debe soportarse y mantenerse en el tiempo para mantener su funcionalidad y sus características de redundancia.

COMPARATIVO CONSOLIDADO DE TECNOLOGIA DE TI Y CONTROL

SALAS	SERVIDORES	MASTER PLC	ESTACIONES HMI	PLC	GABINET	SWITCH	TOTAL X SALA
ALCMS			3	12	4	8	27
VR ATC			2	2	1	2	7
VR ATC OLD			1	0	1	2	4
SERVER	2	2	2	4	2	2	14
ILCMS	2		2		2	2	8
LOC				2	10	2	14
GP				2	2	2	6
CCBOX				5	5	5	15
SISTEMA NUEVO	4	2	10	27	27	25	95
SISTEMA ANTIGUO	0	0	2	2	2	0	6

Tabla 4.7: Comparativo de Tecnología de TI y Control en el Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)

Como se observa en la Tabla 4.7, el sistema SCADA actual tiene una serie de tecnologías de TI y de control, tecnologías que no se tenían antes y que para lograr el control distribuido se ha incrementado la cantidad de equipos para soportar el incremento de equipos AGL en pistas, en total aumento a 95 entre servidores,

estaciones HMI, PLC y principalmente la tecnología de comunicaciones y control, frente a los 6 equipos del sistema antiguo.

La nueva plataforma de TI y Control debe de tener un plan de Mantenimiento Preventivo Estratégico para el Hardware y Software para asegurar la disponibilidad y continuidad de los sistemas.

Los ambientes o salas de control son ambientes aislados, y muchas veces no reciben un mantenimiento o limpieza diaria, esto genera polución que se podría trasladar a los equipos, asimismo la ubicación de aeropuerto a cercanías del mar hace que las condiciones ambientales sean a veces de ambientes salitrados siendo este uno de los principales enemigos de los equipos electrónicos, siendo así otro aspecto que refuerza la necesidad de un esquema de mantenimiento periódico que asegure la funcionalidad de los distintos equipos.

2. Actualización de los Reguladores CCR antiguos

En el proyecto inicial, se tenía considerado en el WP5 la actualización de la pista antigua, eso significaba la reconstrucción íntegra de la pista y el cambio de los equipos AGL antiguos incluyendo los reguladores CCR. Por los retrasos comentados esto no se podría hacer hasta el año 2026 o 2027.

Los reguladores CCR de la pista antigua son 28, de ellos 6 son del año 1998 y controlan los circuitos más críticos de la pista como el eje de pista y toma de contacto, y 20 son del año 2020, esto significa que se tiene 26 reguladores con casi 25 años de servicio y que hasta la fecha de cambio podrían llegar a cumplir 30 años, estos reguladores ya están obsoletos por fábrica sin repuestos y sin soporte.

Es por ello que se debe de tener un plan de contingencia de renovación o equipos backup que puedan soportar la caída de algún CCR hasta el cambio de los equipos.

3. Gestión de Cambio Tecnológico y Empoderamiento del Personal de Mantenimiento de Equipos AGL.

El sistema SCADA será eficiente en la medida que el personal que le da el soporte tenga el conocimiento que le dará la confianza para dar el soporte al sistema, en este momento debido a que el sistema es nuevo y no tiene fallos, sin embargo a medida que el tiempo pase el sistema podría requerir intervenciones, para ello el personal debe adquirir el conocimiento y experiencia, para ello se debe entender que se ha producido un cambio tecnológico grande y que el perfil del personal de mantenimiento podría requerir mayores conocimientos en equipos de automatización, servidores y PLC, esto trae a veces cierta resistencia por personal antiguo por el desconocimiento de los nuevos sistemas, es por ello que debe evaluarse y acompañar al personal mediante charlas técnicas y capacitaciones a fin de consolidar al grupo a fin de que adquiera estos nuevos conocimientos y puedan tener la seguridad y tranquilidad para dar el soporte.

Como se observó en la *Tabla 4.7*, de consolidado de tecnología, los equipos de control han aumentado casi 10 veces más, esto también requiere que el grupo de mantenimiento considere una ampliación de su staff a fin de poder tener la capacidad para los mantenimientos, de este modo incluso permite ingreso de

profesionales jóvenes, pero con los conocimientos de la tecnología actual y la ventana de adaptación sea menor.

4. Tercerización de Soporte del Sistema SCADA por periodo de adaptación.

Tras un cambio tecnológico de esta magnitud, y el sistema antiguo con una brecha de 25 años de desfase hace que la ventana de adaptación del personal o la integración de nuevo personal tenga un tiempo de maduración que podría ser no menos de un año, es por ello que se recomienda que se evalúe un esquema de soporte tercerizado del sistema a nivel de fallos que se junte con el de garantía de los equipos así permitirá que el personal de mantenimiento pueda estructurarse y definir el momento que se puedan hacer cargo de la infraestructura tecnológica del sistema SCADA.

Estos esquemas están considerados en las empresas integradoras, para ello debe evaluarse y considerarse en los presupuestos a fin de habilitar los procesos administrativos que permitan su ejecución.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Rodríguez Penin, A. (2012). Sistemas SCADA (2da. Edición). Marcombo.
- ✓ K. S. Manoj. (2019). Industrial Automation with SCADA: Concepts, Communications and Security. Notion Press.
- ✓ McCrady, S. G. (2013). Designing SCADA Application Software: A Practical Approach. Netherlands: Elsevier Science.
- ✓ Look, B. G. (2016). Handbook of SCADA/Control Systems Security. United States: Taylor & Francis.
- ✓ Mehra, R. (2012). PLCs & SCADA : Theory and Practice. India: Laxmi Publications.
- ✓ Blokdyk, G. (2018). SCADA Supervisory Control and Data Acquisition Third Edition. (n.p.): Emereo Pty Limited.
- ✓ Siemens (2023). SIMATIC SCADA Software.
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada.html>
- ✓ Siemens (2023). SIMATIC Software WinCC V7.
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7.html>
- ✓ Siemens (2023). SIMATIC STEP7 Software Controlador PLC.
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal/software/step7-tia-portal.html>
- ✓ Siemens (2023). SIMATIC Controlador PLC S7-400.
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-400.html>
- ✓ Siemens (2023). SIMATIC Controlador PLC s7-1200.
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- ✓ Robert Horonjeff, Francis X. McKelvey, William J. Sproule y Seth B. Young. (2010). Planning and Design of Airports (5ta. edición). McGraw-Hill (Primera Edición 1962).
- ✓ Demetrio Galíndez López. (2016). Aeropuertos. Asociación Mexicana de Ingeniería.

- ✓ Alexander T. Wells, Seth B. Young. (2004). Airport Planning & Management (5ta. edición). McGraw-Hill (Primera Edición 1986).
- ✓ Organización de Aviación Civil Internacional – OACI. (2016). Anexo 14 Volumen I, Diseño y Operaciones de Aeródromos (6ta. edición). www.icao.int (1ra. Edición 1990).
- ✓ Dirección General de Aeronáutica Civil – DGAC. (2021). RAP 314 Volumen I Diseño y Operaciones De Aeródromos. Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú.
- ✓ Molina Araujo, Manuel Eduardo (2018). Sistema SCADA para la supervisión en tiempo real de medidores industriales de energía en la empresa Novacero S.A. Universidad Técnica de Ambato. Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones. Ambato, Ecuador. Repositorio Universidad Técnica de Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28947>
- ✓ Cristian Alejandro Vásquez Catalán (2017). Diseño y puesta en marcha de aplicación SCADA para empresa CMPC Maderas, planta Plywood. Universidad de Concepción. Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Electrónico. Concepción, Chile. Repositorio de la Universidad de Concepción. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/364>
- ✓ Caycho Ayala, Jannina Magaly (2021). Migración de Sistema SCADA Independiente a un Sistema SCADA Cliente Servidor para la Planta Refinería de Aceite en una Empresa. Universidad Ricardo Palma. Trabajo de Suficiencia Profesional previo a la obtención del título de Ingeniero Informático. Lima, Perú. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3960>.
- ✓ Fuentes Campos, Gianmarco Ricardo, Jannina Magaly (2020). Diseño de un Sistema automático HMI / SCADA para el control del tanque dasaireador del área de calderos de la Empresa Agroindustrial Tumán S.A. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Trabajo de Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico. Lambayeque, Perú. Repositorio institucional Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8211>.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Organigrama General de CORPAC (Fuente: MOF CORPAC – 2020).....	14
Figura 1.2: Organigrama Gerencia Navegación Aérea (Fuente: MOF CORPAC – 2019)	15
Figura 1.3: Organigrama Gerencia Tecnología Aeronáutica (Fuente: MOF CORPAC – 2019)	16
Figura 1.4: Premios del Aeropuerto (Fuente: Web de los Premios World Travel Award).....	17
Figura 1.5: Cuadro de Evolución de Pasajeros del 2011 al 2022 (Fuente: LAP)	18
Figura 1.6: Vista General del Proyecto Ampliación AIJCH (Fuente: LAP)	19
Figura 2.1: Modelo de Software del SCADA WinCC de Siemens (Fuente: Siemens).....	28
Figura 2.2: Esquema de una Torre de Control (Fuente: OACI).....	33
Figura 2.3: Componentes de un aeropuerto (Fuente: OACI).....	35
Figura 2.4: Configuración de aeropuerto Atlanta Georgia USA, con 5 pistas (Fuente IATA).....	36
Figura 2.5: Partes de una Pista de Vuelo (Fuente: AERTEC Solutions).....	38
Figura 2.6: Vista de las Luces PAPI durante aproximación (Fuente: ADBSafegate).....	40
Figura 2.7: Equipos AGL que se instalan en Pista de Vuelo (Fuente: ADBSafegate).....	42
Figura 2.8: Esquema de las Fases de las Operaciones en Pista (Fuente: ADBSafegate)	44
Figura 4.1: Proyecto Ampliación Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. (Fuente: LAP)	51
Figura 4.2: Diagrama del Sistema de Control actual del AIJCH (Fuente: CORPAC).....	52
Figura 4.3: Vista de HMI actual del Aeropuerto AIJCH (Fuente: CORPAC)	53
Figura 4.4: Diagrama de enlace red vía Modem HDSL (Fuente: BLACKBOX Etherlink).....	54
Figura 4.5: Vista general de comunicación entre Torre y Estación (Fuente: E. Propia)	54
Figura 4.6: Vista general del PLC Siemens S7-300 (Fuente: Siemens).....	55
Figura 4.7: Reguladores existente en AIJCH CCT, MCR5000 y MCR3. (Fuente: ADB).....	55
Figura 4.8: Esquema de componentes de circuito básico de campo. (Fuente: ADBSafegate)	57
Figura 4.9: Gantt Proyecto Actualización del Sistema SCADA de AGL. (Fuente: E. Propia)	58
Figura 4.10: Capas del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)	62
Figura 4.11: Topología del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)	65
Figura 4.12: Imagen de entorno con SIMATIC WinCC SCADA. (Fuente: Siemens)	66
Figura 4.13A: Características de los Componentes del WinCC. (Fuente: Siemens)	68
Figura 4.13B: Vista del WinCC Explorer. (Fuente: Propia).....	68
Figura 4.14: Pantalla del Editor Computer. (Fuente: Siemens).....	69
Figura 4.15: Esquema de uso de Tag Externo en WinCC. (Fuente: Siemens)	69
Figura 4.16: Pantalla del Editor Tag Manager. (Fuente: Propia).....	70
Figura 4.17: Esquema del Runtime y el Editor de Grafico WinCC. (Fuente: Siemens)	71
Figura 4.18: Lista Mímicos desarrollados para el HMI del Aeropuerto. (Fuente: E. Propia)	71
Figura 4.19: Vista Modo Diseño de Mímico Vista General del AIJCH. (Fuente: E. Propia).....	72
Figura 4.20: Modo de Programación de Evento. (Fuente: E. Propia).....	72

Figura 4.21: Ventana de programación de evento de botón en VBScript. (Fuente: E. Propia) ..	73
Figura 4.22: Ventana de programación de botón en Conexión Directa. (Fuente: E. Propia)	73
Figura 4.23: Vista de la Plataforma TIA PORTAL. (Fuente: E. Propia)	74
Figura 4.24: Vista del Editor de Configuración STEP 7 (TIA Portal). (Fuente: Siemens)	75
Figura 4.25: Vista del Editor de Programación STEP 7 (TIA Portal). (Fuente: E. Propia)	75
Figura 4.26: Esquema de la Alarma en STEP 7 (TIA Portal). (Fuente: Siemens)	76
Figura 4.27: Vista Diagnostico en Tiempo Real en Programación STEP 7. (Fuente: Siemens)	76
Figura 4.28: Arquitectura de Redundancia del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)	77
Figura 4.29: Configuración Redundancia del Servidor SCADA. (Fuente: ADBSafegate)	78
Figura 4.30: Arquitectura de Hardware del Sistema SCADA. (Fuente: ADBSafegate)	79
Figura 4.31: Niveles de Control para enviar comandos a los Equipos AGL. (Fuente: Propia) ..	82
Figura 4.32: Ventana Menú del HMI del Sistema SCADA en el AIJCH. (Fuente: Propia)	85
Figura 4.33: Ventana Vista General del Aeropuerto del SCADA. (Fuente: E. Propia)	86
Figura 4.34: Ventana Emergente de “Tomar el Control” del SCADA. (Fuente: E. Propia)	86
Figura 4.35: Grupo de Iluminación de Ambiente del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)	87
Figura 4.36: Grupo de Visibilidad Meteorológica del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia) ...	87
Figura 4.37: Grupo de Categoría de Pista del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)	87
Figura 4.38: Selección de Dirección de Operaciones en Pista del SCADA. (Fuente: E. Propia)	88
Figura 4.39: Mímico del Sistema Monitoreando los Segmentos de Pistas. (Fuente: E. Propia) .	89
Figura 4.40: Ventana de Estado del Sistema del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)	90
Figura 4.41: Vista de la Ventana de Subestación del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)	91
Figura 4.42: Ventanas de Detalle de Equipo CCR del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia) ...	92
Figura 4.43: Vista de Ventanas de Alarmas del Sistema SCADA. (Fuente: E. Propia)	93
Figura 4.44: Vistas de PC DELL Optiplex Serie 7000. (Fuente: Dell Computer)	94
Figura 4.45: Estación HMI en ATC Torre Actual. (Fuente: Elaboración Propia)	95
Figura 4.46: Servidor Siemens SIMATIC IPC. (Fuente: Siemens)	95
Figura 4.47: PLC Master S7-400H. (Fuente: Siemens)	96
Figura 4.48: Servidor SIMATIC IPC y PLC Master instalado en ATC. (Fuente: E. Propia)	97
Figura 4.49: PLC Siemens S7-1200 en gabinetes de Sala Oeste. (Fuente: E. Propia)	98
Figura 4.50: PLC Siemens S7-1200. (Fuente: Siemens)	99
Figura 4.51: PLC Siemens S7-300. (Fuente: Siemens)	100
Figura 4.52: Diagrama general de Sistema ILCMS Linc360. (Fuente: ADBSafegate)	101
Figura 4.53: Master ILCMS Linc360. (Fuente: ADBSafegate)	103
Figura 4.54: Remoto ILCMS Linc360. (Fuente: ADBSafegate)	103
Figura 4.55: Vista de Switch Siemens SCALANCE XR-300 (Fuente: Siemens)	106
Figura 4.56: Vista frontal de Switch Siemens SCALANCE XR-300 (Fuente: Siemens)	106

Figura 4.57: Switch Siemens SCALANCE XC200. (Fuente: Siemens)	107
Figura 4.58: Vista frontal de Switch Siemens SCALANCE XC200 (Fuente: Siemens)	108
Figura 4.59: Switch Siemens RUGGEDCOM RMC40 (Fuente: Siemens)	108
Figura 4.60: Vista frontal de Switch Siemens RUGGEDCOM RMC40 (Fuente: Siemens)	109
Figura 4.61: Vista de Conector LC y Conector SC (Fuente: ADBSafegate)	110
Figura 4.62: Muestra de Lista de Nombres de equipos del Sistema SCADA (Fuente: ADB) ...	110
Figura 4.63: Conexión de Cables Ethernet en Reguladores CCR (Fuente: E. Propia)	111
Figura 4.64: Diagrama J-Bus sobre RS485 de Reguladores CCR Antiguos (Fuente: E. Propia)	111
Figura 4.65: Diagrama Control y Monitoreo Multifilar de Luz de Cono Viento (Fuente: ADB)	112
Figura 4.66: Vista del Regulador CCR ADBSafegate Modelo VIS (Fuente: ADBSafegate)	114
Figura 4.67: Subestación Oeste con Reguladores CCR VIS en Instalación (Fuente: Propia) ...	114
Figura 4.68: Vista de Luces de Aproximación instalados en AIJCH (Fuente: ADBSafegate) ...	115
Figura 4.69: Equipos de Aproximación Elevadas y Empotradas (Fuente: ADBSafegate)	115
Figura 4.70: Esquema de las Luces PAPI en aproximación a pista. (Fuente: ADBSafegate) ...	116
Figura 4.71: Vista del Equipo PAPI y la instalación de las Luces PAPI. (Fuente: E. Propia) ...	116
Figura 4.72: Luces de Eje de Pista en la instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia)	117
Figura 4.73: Luces de Borde Pista en la instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia)	117
Figura 4.74: Equipos de Umbral / Fin de Pista en instalación del AIJCH. (Fuente: E. Propia) ..	118
Figura 4.75: Equipos de Zona de Toma de Contacto del AIJCH. (Fuente: E. Propia)	118
Figura 4.76: Equipos de Eje de Calle de Rodaje instalados del AIJCH. (Fuente: E. Propia)	119
Figura 4.77: Equipos de Borde de Calle de Rodaje instalados del AIJCH. (Fuente: E. Propia) .	119
Figura 4.78: Equipo de Barra de Parada instalados en el AIJCH. (Fuente: E. Propia)	120
Figura 4.79: Diagrama de Secuencia de Uso de Barra de Parada. (Fuente: IATA)	120
Figura 4.80: Letreros de Instrucción Obligatoria y de Información. (Fuente: E. Propia)	121
Figura 4.81: Vista de ubicación de Faro en la Torre de Control. (Fuente: E. Propia)	122
Figura 4.82: Vista de Cono de Viento instalado en AIJCH. (Fuente: E. Propia)	122
Figura 4.83: Estadística Operaciones de Movimiento de Pasajeros AIJCH. (Fuente: E. Propia)	123
Figura 4.84: Hitos de Proyecto Ampliación del Aeropuerto proyectado 2017. (Fuente: LAP) ..	124
Figura 4.85: Estadística Operaciones de Movimiento Aeronaves del AIJCH. (Fuente: Propia)	124
Figura 4.86: Paquetes de Proyecto de Ampliación del AIJCH. (Fuente: LAP)	129

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Descripción de Reguladores CCR en el AIJCH actuales. (Fuente: CORPAC)	56
Tabla 4.2: Tabla de Editores principales de WinCC Explorer. (Fuente: Siemens)	67
Tabla 4.3: Tabla parcial de CCR J-Bus con su ID y Bus (Fuente: E. Propia)	112
Tabla 4.4: Tabla de Equipos Auxiliar Multifilar en Sala Glide Path (Fuente: E. Propia)	112
Tabla 4.5: Comparativo General de Ampliación de Aeropuerto. (Fuente: E. Propia)	125
Tabla 4.6: Comparativo de Mejoras con la Actualización del SCADA. (Fuente: E. Propia)	126
Tabla 4.7: Comparativo de Tecnología de TI y Control en el SCADA. (Fuente: E. Propia)	131





ANEXO 1

TABLA RESUMEN DE MOVIMIENTOS DE PASAJEROS, MOVIMIENTOS DE AERONAVES Y CARGA POR AÑOS DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ

(FUENTE: LAP)

AÑO	MOV. PASAJEROS	CAPACIDAD PASAJEROS	MOV. AERONAVES	CARGA TN	CAPACIDAD CARGA
2001	4,137,845	5,000,000	72,163	114,251	186,880
2002	4,314,328	5,000,000	70,326	136,694	186,880
2003	4,536,274	5,000,000	70,271	160,329	186,880
2004	5,073,486	5,000,000	72,338	171,538	186,880
2005	5,661,894	5,000,000	73,284	177,062	186,880
2006	6,038,922	5,000,000	77,325	196,930	186,880
2007	7,505,832	5,000,000	92,882	225,369	373,760
2008	8,285,688	10,000,000	98,734	239,112	373,760
2009	8,786,003	10,000,000	104,965	232,374	373,760
2010	10,281,369	10,000,000	120,496	271,793	373,760
2011	11,794,818	10,000,000	135,083	286,640	373,760
2012	13,330,290	10,000,000	148,326	293,675	373,760
2013	14,900,000	10,000,000	153,100	296,500	373,760
2014	15,664,993	10,000,000	155,094	302,405	373,760
2015	17,112,536	10,000,000	166,388	300,685	373,760
2016	18,848,207	10,000,000	176,865	287,826	373,760
2017	20,607,443	10,000,000	186,600	313,857	373,760
2018	22,118,454	10,000,000	192,694	285,636	373,760
2019	23,620,000	10,000,000	197,860	271,326	373,760
2020	7,040,000	10,000,000	73,256	190,365	373,760
2021	10,820,000	10,000,000	102,005	219,202	373,760
2022	18,622,646	10,000,000	149,793	218,566	373,760

ANEXO 2

INFOGRAFIA DE CARACTERISTICAS DE PISTA DE VUELO

(FUENTE: AERTEC)



EUROPE
LATAM
MIDDLE EAST
UNITED STATES

www.aerotecolutions.com

20th Anniversary
1997/2017

Las pistas más largas están en la Base Edwards

12 000 m

E+D+W

Pista de despegue y aterrizaje

La razón de ser de un aeropuerto

La pista es la protagonista absoluta del campo de vuelo. La señalización de su recorrido indica sus características y determina el tipo de aeronaves que allí podrán operar.

Marco de pista	Nº de barras	Longitud barras
18 m	4	24 m
23 m	6	24 m
30 m	8	30 m
45 m	12	30 m
60 m	16	30 m

Eje de pista
Es una línea discontinua dibujada a lo largo de todo el eje central de la pista de aterrizaje. Estas marcas tienen una longitud de 30 m y están separadas 30 m entre sí.

Superficie de las pistas

Las pistas pueden ser de tierra, tierra, nieve, agua, asfalto, etc. Incluso, pueden ser portátiles (portátiles).

En el caso de asfalto u hormigón, el grosor de la pista dependerá del tipo y tamaño de las aeronaves que vayan a operar en ella.

Pistas con marcas

No siempre la pista tiene todas la señalización, esto depende de sus dimensiones y de los sistemas de ayuda para la aproximación.

Designación de pista	Requerido
- Eje de pista	Requerido
- Marcas de umbral	No
- Punto de visada	Requerido
- Zona toma de contacto	No aplicable
- Borde de pista	No

Superficie de las pistas

Tipos de Pistas	Requerido
Pistas con aproximación visual-VFR	Requerido
Pistas con aproximación sin precisión	Requerido
Pistas con aproximación de precisión	Requerido

Designación de pista

Todas las pistas pavimentadas tienen una designación específica: un número de dos dígitos que indica la orientación (redondeado a intervalos de 10°). En el sentido opuesto se identifica con el número que indica el sentido contrario (-180°). Ej.: una pista orientada de Oeste a Este tendrá en un extremo el 09 y en el otro el 27.

Punto de visada

Punto de convergencia entre la senda de plano lateral y la pista. Ubicado a unos 300 m del umbral de la pista de aterrizaje. Estas marcas son independientes de la zona de toma de contacto e indican el punto de intersección entre el GIS o las luces PAPI/VAS con la pista.

Marcas de umbral desplazado

En ocasiones, las marcas de umbral no se encuentran al inicio de la pista, sino que están desplazadas hacia adelante. Esto puede deberse a una obstrucción, mantenimiento o nuevas infraestructuras y pueden tener carácter temporal o permanente. En ocasiones, también es necesario indicar que una pista, o parte de ella, ya no está en uso.

Código	Descripción
01/	DESPLAZADO PERMANENTE Se considera permanente cuando la duración del desplazamiento es de seis meses o más.
02/	DESPLAZADO TEMPORAL Se considera temporal cuando la duración del desplazamiento es por un periodo inferior a seis meses.
03/	ZONA CON RESTRICCIONES DE USO Únicas marcas en color amarillo, indican que esas áreas no se adecuadas para el movimiento de aeronaves, pero sí como zona de parada.
04/	PISTA SIN USO Las marcas indican que la pista no es apta ni para el movimiento de aeronaves ni para paradas. (Identifica pistas (o parte de ellas) cerradas).

Zona toma de contacto

Es el área donde las aeronaves deben tocar tierra. Las marcas consisten en pares de señales rectangulares de 45 m de longitud, separadas 150 m entre sí y amarillas respecto al eje de la pista.

Borde de pista

Es una línea blanca continua a lo largo de todas las pistas provistas de sistemas instrumentales y en aquellas donde la zona declarada de pista tiene un ancho inferior a la zona pavimentada.

Pistas paralelas

Si se aplica el mismo rumbo a más de una pista en paralelo, se asigna la "L" (left) a la paralela izquierda y la "R" (right) a la derecha. Si son tres pistas, a la central se le añade una "C" (center). Si hubiese más de tres pistas, la denominación va aumentando o disminuyendo una unidad respecto del número de designación. Ejemplos:

- 2 pistas paralelas: L 13 R 13
- 3 pistas paralelas: L 20 C 20 R 20
- Más de 3 pistas paralelas: L 10 R 60 L 60 R 80 L 80 R 80

¿De qué color son las marcas?

Las marcas siempre son blancas. La única excepción son las de las zonas con restricciones de uso.

En algunos aeropuertos de alto tráfico como J.F. Kennedy, las marcas son amarillas.

Las pistas se orientan para adaptarse a los vientos predominantes del lugar.

Aerotec Solutions. Los contenidos de este documento son propiedad intelectual de AERTEC Solutions. Se permite su uso copiar o difundir, siempre que se realice el documento de forma íntegra y conservando en todo momento el logotipo de AERTEC Solutions.

Descargar y compartir: www.aerotecolutions.com/infografias