

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**UNIDAD DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“CONFIABILIDAD DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO EN EL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE  
SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

**AUTOR: JESÚS HUBER MURILLO MANRIQUE**

Callao, 2018

PERÚ

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jesús Huber Murillo Manrique', written over a circular stamp or seal.

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

### MIEMBROS DEL JURADO

<b>Dr.</b>	<b>: CIRO ITALO TERÁN DIANDERAS</b>	<b>PRESIDENTE</b>
<b>Dr.</b>	<b>: NICANOR RAÚL BENITES SARAIVA</b>	<b>SECRETARIO</b>
<b>Mg.</b>	<b>: HUGO FLORENCIO LLACZA ROBLES</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Dr.</b>	<b>: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ</b>	<b>MIEMBRO</b>
<b>Dr.</b>	<b>: FERNANDO JOSÉ OYANGUREN RAMÍREZ</b>	<b>ASESOR</b>

<b>Nº DE LIBRO</b>	<b>: 01</b>
<b>FOLIO</b>	<b>: 079</b>
<b>FECHA DE APROBACIÓN</b>	<b>: diciembre 27, 2018</b>
<b>RESOLUCIÓN DIRECTORAL</b>	<b>: 068-2018-DUPFIEE</b>

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, mi esposa y a mis hermanos que son el motivo y razón de mi esfuerzo, logros y superación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis hermanas Clelia, Nelly, Hilda, Lucy y Margarita por sus sabios consejos y ayuda incondicional en mi formación ético profesional.

Un especial agradecimiento a los Ingenieros de la Universidad Nacional del Callao, de la escuela profesional de Ingeniería Eléctrica, por brindarme los conocimientos durante mi formación profesional, en forma muy especial, al Ing. Fernando José Oyanguren Ramírez por su dirección, enseñanzas y consejos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE.....	iii
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE PLANOS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xii
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1.1. PROBLEMA PRINCIPAL .....	3
1.1.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS .....	3
1.2. ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	3
1.3. ANTECEDENTES LEGALES.....	4
1.3.1. Ley general de electricidad DL: 23406.....	4
1.3.2. Ley de concesiones eléctricas D.L. 25844.....	4
1.4. ANTECEDENTES SOCIALES .....	5
1.5. POLÍTICA GUBERNAMENTAL (2015 – 2021).....	5
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.7.1. OBJETIVO PRINCIPAL .....	8
1.7.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS .....	8
1.8. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
II. MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL .....	10
2.2. CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	11
2.2.1. Definición.....	11
2.2.2. Métodos de evaluación .....	13

2.2.3. Modos de falla y análisis de efectos .....	18
2.2.4. Índices de confiabilidad .....	18
2.3. SISTEMA INTEGRADO .....	19
2.3.1. Red principal .....	19
2.3.2. Red de respaldo en 10 kV .....	20
2.3.3. Red de emergencia .....	20
2.3.4. Sistemas de enclavamientos.....	21
2.3.5. Funciones de operación y protección.....	22
2.3.6. Condiciones de operación de los interruptores.....	24
III. VARIABLES E HIPÓTESIS .....	27
3.1. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES .....	27
3.2. HIPÓTESIS .....	27
3.2.1 Hipótesis principal .....	27
3.2.2. Hipótesis secundarias .....	28
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....	28
IV. METODOLOGÍA .....	29
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	29
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	30
4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	31
4.5. PROCEDIMIENTOS Y VALIDACIÓN EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	31
4.6. PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS .....	32
4.7. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA .....	33
4.7.1. Recepcionar las obras civiles - Instalación de bandejas a nivel sótano.....	33
4.7.2. Instalación de los nuevos tableros .....	34
4.7.3. Maniobras y retiro de cables subestación 60/10 kV.....	34
4.7.4. Instalación del cable de MT y BT. ....	35
4.7.5. Poner en servicio tableros ST- ATS-01 Y ST- ATS-02.....	36
4.7.6. Maniobras, conexiones y retiro de cables.....	37

4.7.7. Traslado de banco de baterías .....	38
4.7.8. Traslado y retiro de tableros.....	38
4.7.9. Traslado del transformador.....	40
4.7.10. Instalación de los tableros ST-SG-02 Y ST-SG-03.....	40
4.7.11. Acondicionamiento tableros ST-SG-02 Y ST-SG-03.....	40
4.7.12. Interface el nuevo sistema al BMS. ....	41
4.7.13. Instalación de cables de MT – Maniobras .....	41
4.7.14. Fuera de servicio barra B - Maniobras .....	42
4.7.15. Puesta en servicio barra B vía cable temporal.....	43
4.7.16. Transferir toda las cargas de la barra A hacia B.....	44
4.7.17. Fuera de servicio de la barra A y conexiones .....	44
4.7.18. Retiro de cables MT y BT de los G.E. ....	46
4.7.19. Retiro de cables MT Y BT del G.E. 01 .....	47
4.7.20. Instalación y acondicionamiento de las bombas de petróleo. ....	48
4.7.21. Retiro de grupos alquilados.....	49
4.7.22. Conexionado del cable MV-ST-06 a la celda 52-106.....	49
4.7.23. Pruebas y protocolos finales (según NEMA).....	50
V. RESULTADOS.....	52
VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	54
VII. CONCLUSIONES.....	56
VIII. RECOMENDACIONES .....	58
IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	60
X.- APÉNDICES .....	64
APENDICE N° 1. FLUJO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL DISEÑO DE DOCUEMTO TECNICO .....	65
APENDICE N° 2. FLUJO DEL PROCESO DE TOMA DE DATOS.....	67
APENDICE N° 3. FLUJO DEL PROCESO DE COORDINACIÓN DE LA PROTECCIÓN.....	68
APENDICE N° 4. DIGITAL MASTER CONTROL DMC300.....	70
APENDICE N° 5. POWER COMMAND PARALLELING SYSTEM.....	74
APENDICE N° 6. SECUENCIA DE OPERACIONES DEL DMC300 .....	81

APENDICE N° 7. BMS E INTERFACE CON EL SCADA.....	90
XI.- ANEXOS .....	95
ANEXO N° 1.- MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	96
ANEXO N° 2. REDES ELECTRICAS REDUNDANTES EN BAJA TENSION	97
ANEXO N° 3.- ENCLAVAMIENTOS EN MEDIA TENSION .....	109
ANEXO N° 4.- TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA .....	112
ANEXO N° 5.- REALIZACIÓN DE PROYECTOS Y OBRAS EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN EL AERÓPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ .....	123
ANEXO N° 6.- ÍNDICE DE PLANOS .....	125



## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1.1. Clasificación de los tipos de fuentes versus cargas.....	7
Tabla N° 1.2. Clasificación de los tipos de usuarios.....	7
Tabla N° 3.1. Dimensiones, indicadores y variables.....	28
Tabla N° B2.1.- Tabla de la máxima demanda de las subestaciones TE- ESU01 y PP-ESU-01 .....	98
Tabla N° B4.1.- Características técnicas del TTA.....	112
Tabla N° B4.2.- Protocolo de aislamiento y continuidad.....	114
Tabla N° B4.3.- Protocolo de medición de tensión.....	115
Tabla N° B4.1.- Leyenda.....	122
Tabla N° B5.1.- Proyectos realizados en el AIJCH.....	123
Tabla N° B5.2.- Obras realizadas en el AIJCH.....	124

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Componentes de la garantía de funcionamiento.....	12
Figura N° 2.2. Diagrama unifilar simplificado de una red confiable .....	13
Figura N° 2.3. Componentes en serie y paralelo .....	15
Figura N° 2.4. Red eléctrica enmallada .....	17
Figura N° 2.5. Distribución de contactos en los interruptores de 10 kV .....	24
Figura N° 2.6. Esquema de control de los interruptores de 10 kV .....	26
Figura N° A4.1.- Diagrama de bloques general del DMC300.....	80
Figura N° A4.2.- Diagrama de bloques especial del DMC300.....	81
Figura N° A4.3.- Diagrama unifilar del sistema de protección actual de la S.E del AIJCH.....	72
Figura N° A5.1.- Vista frontal del Power Command Digital Network .....	74
Figura N° A5.2.- Sistema de control del Power Command Digital Network ..	75
Figura N° A5.3.- Funciones de protección del Power Command Digital Network .....	77
Figura N° A5.4.- Funciones de protección del Power Command Digital Network .....	77
Figura N° A5.5. Sincronización del Power Command Digital Network.....	78
Figura N° A5.6. Diagrama de bloques del Power Command Digital Network	79
Figura N° A5.7. Control y gobierno de la carga del Power Command Digital Network.....	80
Figura N° A6.1.- Para trabajo en condiciones normales .....	95
Figura N° A6.2.- Falla y retorno al suministro normal .....	84
Figura N° A6.3.- Para suministro restringido em ambos lados .....	86

Figura N° A6.4.- Para la prueba de sincronización remota .....	88
Figura N° A7.1. Conexionado del sistema de data.....	92
Figura N° A7.2. Interconexión entre el BMS y DMC. ....	93
Figura N° B2.1. Unifilar general de 230 V proyectado .....	97
Figura N° B2.2.- Diagramas unifilares de los circuitos de fuerza actual .....	99
Figura N° B2.3.- Diagramas unifilares de los circuitos fuerza proyectado ...	99
Figura N° B2.4.- Tabla de verdad en el mando automático .....	100
Figura N° B2.5.- Lógica de control de red respaldo 230 V .....	101
Figura N° B2.6.- Características de la subestación TE-ESU-01 .....	102
Figura N° B2.7.- Características de la subestación PP-ESU-01.....	103
Figura N° B2.8.- Circuito de control - Enlace de respaldo 230 V .....	104
Figura N° B2.9.- Enlaces de fuerza y control respaldo 230 V .....	105
Figura N° B2.10.- Sistema de control respaldo 230 V .....	106
Figura N° B2.11.- Sistemas de borneras TE – ESU - 01 respaldo 230 V...	107
Figura N° B2.12.- Sistemas de borneras PP – ESU - 01 respaldo 230 V.	108
Figura N° B3.1.- Contactos secos ubicados en los interruptores de 10 kV.	111
Figura N° B4.1.- Diagrama multifilar del tablero transferencia automática..	116
Figura N° B4.2.- Diagrama de tensiones – controlador de redes eléctricas.	117
Figura N° B4.3.- Diagrama multifilar de alimentación auxiliar 230 Voltios,	118
Figura N° B4.4.- Diagrama de control mando motorizado QN y QR .....	119
Figura N° B4.5.- Diagrama de control señalización interruptores .....	120

Figura N° B4.6.- Diagrama de borneras de interconexión..... 121

## LISTA DE PLANOS

### CÓDIGOS DESCRIPCIÓN GENERAL

IE - 01	Leyenda de símbolos - 02 .....	126
IE - 02	Leyenda de símbolos - 02 .....	127
IE - 03	Leyenda de símbolos - 03 .....	128
IE - 04	Unifilar actual de la subestación principal .....	129
IE - 05	Unifilar proyectado de la subestación principal .....	130
IE - 06	DMC – Diagrama general actual .....	131
IE - 07	DMC – Diagrama general proyectado .....	132
IE - 08	Lógica de control - red respaldo 230 voltios.....	133
IE - 09	Lógica de control - red respaldo 480 voltios.....	134
IE - 010	Conectividad del DMC.....	135
IE - 011	Cargador de baterías.....	136

## LISTA DE ABREVIATURAS

AIJCH	Aeropuerto internacional Jorge Chávez.
ANSI	American national standards
BMS	Building management security.
BSC	Balance score card
BT	Baja tension
CSA	Canadian standars association
DMC300	Digital master control
EPCM	Engineering procurement and cosntruction management
G.E	Grupo electrógeno
IEEE	Institute of electrictric and electrónics engineers
ISO	International Organization for Standardization
IEC	International Electrotechnical Commission
LAN	Local area network
LAP	Lima airport partners
MT	Media tensión
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego
OSITRAM	Organismo supervisor de la inversión en infraestructura de transporte de uso publico
PLC	Controlador lógico programable
TTA	Tablero de transferencia automático
SED	Subestación de distribución
SET	Sistema eléctrico de transmisión
UL	Underwriters Laboratories
WAN	Wide Area Network

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar factores aceptables de confiabilidad basados en el desarrollo de los proyectos, procura, supervisión, obras y gerenciamiento del diseño e implementación de la topología de la subestación principal en 10 kV.

Las obras realizadas en las instalaciones del Aeropuerto internacional Jorge Chávez han sido supervisadas por OSITRAN y las áreas de Infraestructura y Mantenimiento esto nos ha permitido obtener niveles altamente aceptables de confiabilidad del sistema eléctrico de 10 kV. Dentro de la etapa de diseño se ha logrado implementar el cambio de la topología de la subestación principal y la nueva secuencia de actividades manejadas por el software del DMC300 haciendo posible que las tres fuentes de energía disponibles puedan suministrar energía eléctrica, cuando sea necesario, a las cargas eléctricas del sistema de 10 kV.

Para los trabajos de ingeniería ha sido relevante la aplicación de las normas internacionales ANSI/IEEE C37-06, ANSI/IEEE C37-012, ANSI/IEEE C37-09, ANSI/IEEE C37-1, IEEE Std. 399-1997, IEEE Std. 141-1993; así como la información técnica de las empresas EATON (fabricantes de accionamientos en media tensión) y CUMMINS (fabricantes de grupos electrógenos).

**Palabras clave:** Planeamiento y confiabilidad de sistemas eléctricos de potencia, cargas críticas, cargas no críticas, calidad del servicio, topología de la subestación principal, sistema eléctrico, tablero de transferencia automático y enclavamientos eléctricos.

## **ABSTRACT**

The objective of this study is to determine acceptable reliability factors based on the development of projects, procurement, supervision, works and management of the design and implementation of the top 10 kV substation topology.

The works carried out at the facilities of the Jorge Chávez International Airport have been supervised by OSITRAN and the Infrastructure and Maintenance areas, this has allowed us to obtain highly acceptable levels of reliability of the 10 kV electrical system. Within the design stage, it has been possible to implement the change of the topology of the main substation and the new sequence of activities handled by the DMC300 software making it possible for the three available energy sources to supply electrical power, when necessary, to the electrical charges of the 10 kV system.

The application of the international standards ANSI / IEEE C37-06, ANSI / IEEE C37-012, ANSI / IEEE C37-09, ANSI / IEEE C37-1, IEEE Std. 399-1997, IEEE has been relevant for engineering work. Std. 141-1993; as well as the technical information of the companies EATON (manufacturers of medium voltage drives) and CUMMINS (manufacturers of generators).

**Keywords:** Planning and reliability of electrical power systems, critical loads, non-critical loads, quality of service, topology of the main substation, electrical system, automatic transfer board and electrical interlocks.



# I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1. PROBLEMA PRINCIPAL

¿Cómo será el factor de confiabilidad del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez?

### 1.1.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS

P1: ¿Cómo será el diseño de la topología de la subestación del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez?

P2: ¿Cómo será la implementación de la topología de la subestación del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez?

## 1.2. ANTECEDENTES TÉCNICOS

Los temas de confiabilidad han estado dedicados a la generación y transmisión de sistemas eléctricos de potencia [1], [2]. Estos han surgido, inicialmente, con el interés de conocer la disponibilidad y la evaluación de los sistemas de energía eléctrica, calidad, confiabilidad de energía y potencia pero, posteriormente se han desarrollado trabajos sobre la confiabilidad de transmisión y distribución de sistemas eléctricos [6], desde entonces se estudian y desarrollan métodos y técnicas de cálculo referidos a la confiabilidad en redes eléctricas de distribución.

Para realizar el modelamiento del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez se ha tomado como referencia algunos estudios pertinentes [3], [4], los que desarrollan la evaluación de la

confiabilidad en sistemas de energía eléctrica.

### **1.3. ANTECEDENTES LEGALES**

#### **1.3.1. Ley general de electricidad DL: 23406**

Las disposiciones de la presente Ley, norman el aprovechamiento de los recursos energéticos con fines de producción de electricidad así como las actividades relativas a la generación, interconexión, transmisión, distribución, utilización y comercialización de la energía eléctrica.

Se constituye en servicio público de electricidad, al servicio de las actividades destinadas al abastecimiento regular de energía eléctrica para uso de la colectividad, en armonía con el interés social y económico y en apoyo de las actividades productivas, considerando las necesidades del desarrollo y la seguridad nacional, dándose la prestación del servicio a cargo de las empresas del servicio público de electricidad.

#### **1.3.2. Ley de concesiones eléctricas D.L. 25844**

Las disposiciones de la presente ley norman las actividades relacionadas con la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Estas últimas podrán ser desarrolladas por personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras.

La ley de concesiones eléctricas abarca todas las disposiciones que la ley presenta relacionadas con los agentes de energía eléctrica. Las concesiones definitivas y la autorización se otor-

garan por plazo indefinido para el desarrollo de las actividades eléctricas. El titular a cargo asume la obligación de realizar los estudios de factibilidad relacionados con las actividades de generación, transmisión y distribución cumpliendo un cronograma de estudios establecidos.

#### **1.4. ANTECEDENTES SOCIALES**

El aeropuerto internacional Jorge Chávez se ha convertido en el punto de partida y llegada aéreo, nacional e internacional, más importante de nuestro país, por ello merece ser modernizado con tecnología punta existente. Además, el transporte aéreo por su rapidez, seguridad y comodidad es el medio más viable para viajar de un sitio a otro dentro y fuera del país.

Los ciudadanos nacionales y extranjeros hacen uso de este medio en forma muy frecuente, en nuestro caso se puede constatar fácilmente que la capacidad del aeropuerto ha sido rebasada debido a la altísima demanda. Por eso, el gobierno central y el Concesionario LAP (Lima Airport Partners) están culminando los proyectos de una ampliación con nuevas pistas de aterrizaje y nuevos salones de envío y recepción de pasajeros.

#### **1.5. POLÍTICA GUBERNAMENTAL (2015 – 2021)**

El principal propósito del planeamiento estratégico consiste en la identificación sistemática de las oportunidades y peligros que surgen en el futuro, a su vez resume la orientación que asume la dirección del ministerio de transportes y comunicaciones para el periodo establecido con la finalidad de dar un marco de actuación equilibrado y visionario a

la organización. Este compromiso contiene los principales criterios que permitirán a nuestro país desarrollar el liderazgo que le corresponde como ente responsable de la regulación y supervisión en los sectores de energía y minas.

Con la finalidad de lograr el cumplimiento de los objetivos trazados en el Plan Estratégico se utilizó la metodología de Balance Scorecard (BSC). El Balance Scorecard facilita la implementación de la estrategia de la organización.

Los objetivos estratégicos son trazados en función de cuatro perspectivas: grupos de interés, procesos internos, desarrollo de recursos humanos, aprendizaje y tecnología y recursos financieros. El objetivo final de la utilización de esta herramienta es la correcta implementación de la estrategia a través de una disciplinada y óptima definición de objetivos, eficazmente relacionados y alineados en función de la misma.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se justifica en las siguientes razones:

Nuestro país cuenta con un solo aeropuerto internacional, por tanto es de vital importancia que este disponga de un suministro de energía confiable e ininterrumpido, para contar con este tipo de servicio se realizaron estudios de la subestación principal y redes internas de baja y media tensión, lo cual se explica en la presente investigación.

El aeropuerto actualmente cuenta con cuatro tipos de fuentes de energía para las cargas muy críticas, tres tipos de fuentes para las cargas críticas y una fuente para las cargas no críticas. Las cargas han sido clasificadas según su criticidad por un grupo de profesionales. Los

resultados de los tipos de fuentes y cargas pueden verse en la Tabla N° 1.1, así como en la Tabla N°1.2 se muestran los tipos de cargas según categoría: muy críticos, críticos y no críticos. Todos deben disponer de una buena calidad de energía tal como se menciona en este trabajo de investigación.

Tabla N° 1.1. Clasificación de los tipos de fuentes versus cargas

TIPO DE FUENTE	TIPOS DE CARGAS		
	MUY CRITICO	CRITICO	NO CRITICO
PRINCIPAL	X	X	X
STANDBY	X	X	
EMERGENCIA	X	X	
UPS	X		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 1.2. Clasificación de los tipos de usuarios

TIPO DE USUARIO	TIPOS DE CARGAS		
	MUY CRITICO	CRITICO	NO CRITICO
CATEGORIA 1	AEREOPUERTOS	HOTELES	EMPRESAS FABRILES
CATEGORIA 2	BANCOS	ESTADIOS	EMPRESAS MANUFACTURERAS
CATEGORIA 3	HOSPITALES	CINES	METALMECANICAS
CATEGORIA 4	ESTACIONES DE COMANDO	EDIFICIOS	OTROS

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo la investigación se justifica porque se fundamenta en la evaluación, análisis y operatividad de la confiabilidad del sistema eléctrico, parámetros que son aplicados, controlados y comandados por el DMC300 el cual cuenta con las certificaciones internacionales indicadas, permitiendo a realizar parcialmente los trabajos de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo para poder controlar la confiabilidad con los reportes emitidos por el área de mantenimiento y EDELNOR. El sistema registra los parámetros principales y derivados tales como: V, I, F, kW, KVARs, KVA, energías activa y reactiva mediante registros de carga y eventos, también reporta los niveles de calidad de energía; cuenta pantalla táctil, sistema de control, sistema de

historial de alarmas, servicio de información, componentes internos del sistema PLC, funciones de protección, control de potencia, dispone de las secuencias típicas de operación, sincronización y puesta en paralelo, la secuencia de parada normal, control de las transferencia de potencia, pérdida de la energía normal, gestión de la capacidad, bus de sobrecarga, modo de demanda, interfaz de control y medio ambiente, permitiendo utilizar tecnología punta en la configuración y operación del sistema y minimizar los costos de operación.

## **1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Determinar el factor de confiabilidad del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez

### **1.7.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS**

O1: Diseñar la topología de la subestación principal del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

O2: Implementar la nueva topología de la subestación del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

## **1.8. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Los alcances de la investigación en el nivel de la confiabilidad requerida por el aeropuerto internacional Jorge Chávez a su sistema eléctrico comprende la modificación de la topología de la subestación principal

para lo cual deben realizarse los siguientes trabajos:

- Diseño e implementación de la nueva topología, en media tensión, de la subestación principal.
- Diseño e implementación del sistema Digital Master Control 300 reforzado.
- Determinación de la lógica de sincronización necesaria para que los grupos electrógenos entren en paralelo entre sí y en paralelo con las fuentes principales y reserva.
- Inclusión de la opción, en la que el operador pueda controlar en forma local, remota y vía tele-comandando el sistema de media tensión, el cual es supervisado y controlado por el DMC300.
- Diseño e implementación de la subestación principal para trabajar en manual, por lo que es necesario y de gran importancia realizar los trabajos de los enclavamientos eléctricos al sistema de control y mando en media tensión.

## II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se define los conceptos básicos de los términos utilizados; así como se describe la base teórica de las variables de estudio como son la confiabilidad del sistema eléctrico y el sistema DCM300 utilizado en el desarrollo de la presente investigación

### 2.1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL

**Confiabilidad.-** Es la probabilidad de que un equipo o un sistema cumplan con su misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo [1].

**Fiabilidad.-** Es la aptitud de un sistema o equipo a funcionar correctamente durante la mayor parte de tiempo posible bajo condiciones establecidas.

**Teoría de la probabilidad básica.-** Consiste en describir algunos de los conceptos básicos de la teoría de la probabilidad esencial para la comprensión y el desarrollo de métodos de análisis de la confiabilidad.

**Espacio muestral.-** Es el conjunto de todos los resultados posibles de un fenómeno. Por ejemplo, considere un sistema de tres enlaces de distribución.

**Evento.-** Se definen un evento en el que dos o tres líneas están en el estado fallido. Suponiendo que se necesita un mínimo de dos líneas para la operación del sistema con éxito, este conjunto de estados también define el fallo del sistema.



**Probabilidad.-** Una manera simple y útil de considerar la posibilidad de una ocurrencia del evento es mediante el uso de un gran número de observaciones.

**Regla de adición de probabilidades.-** Dos eventos, A 1 y A 2, son mutuamente excluyentes si no pueden ocurrir juntos.

**Regla de Multiplicación de probabilidades.-** Si la probabilidad de ocurrencia del evento A1 se ve afectada por la ocurrencia de A2, a continuación, A1 y A2 no son eventos independientes.

**Función de distribución de probabilidad.-** Describe la variabilidad de una variable aleatoria.

## **2.2. CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO**

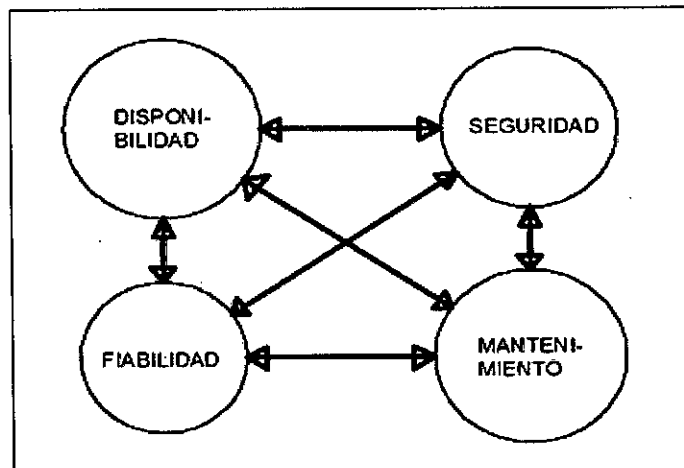
### **2.2.1. Definición**

La confiabilidad de los sistemas eléctricos, puede afectar negativamente la productividad y la seguridad de los procesos y personas en una empresa. Por esta razón, la disponibilidad del fluido eléctrico se ha vuelto un tema de vital importancia para las compañías manufactureras, de servicio e industriales.

La confiabilidad de un sistema está ligada a su aptitud para mantener la continuidad de servicio en caso de falla de alguno de los componentes que lo conforman. Depende directamente de la fiabilidad de los equipos instalados en él y del tiempo de reparación de los mismos en caso de falla. Un sistema confiable debe garantizar la seguridad de las personas y de los procesos críticos ante cualquier eventualidad.

El nivel de confiabilidad requerido por un sistema debe ser establecido de acuerdo con la criticidad de las cargas del mismo y debe basarse en estudios que contemplen las necesidades o características del proceso en términos de disponibilidad, seguridad, mantenimiento y fiabilidad.

Figura N° 2.1. Componentes de la garantía de funcionamiento



Fuente: Elaboración propia

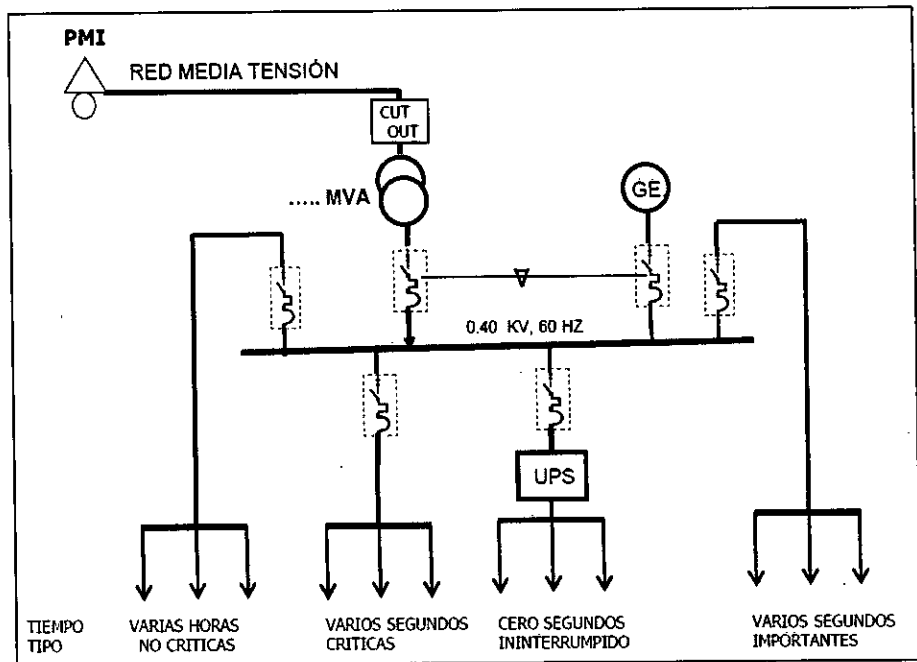
Así mismo la mantenibilidad se refiere a la aptitud del sistema a ser reparado rápidamente y la Seguridad es la probabilidad de evitar un suceso catastrófico que genere daños graves o ponga en riesgo la vida de las personas.

En la confiabilidad las cargas de un sistema se deben clasificar de acuerdo con su sensibilidad a la pérdida de continuidad de servicio, tal como sigue:

- Cargas que aceptan paradas prolongadas, 1 o más horas (No prioritarias ó no críticas).
- Cargas que aceptan paradas por varios minutos (prioritarias ó críticas moderadas).

- Cargas que deben alimentarse de nuevo en cuestión de segundos (esenciales ó críticas).
- Cargas que no aceptan ninguna interrupción (vitales ó cargas muy críticas).

Figura N° 2.2. Diagrama unifilar simplificado de una red confiable



Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2. Métodos de evaluación

Los valores numéricos de las medidas de confiabilidad se pueden obtener ya sea por métodos analíticos o mediante simulación digital. Sólo las técnicas analíticas se discuten aquí, una discusión sobre el enfoque de simulación se puede encontrar en [3]. Los tres métodos que se describen en este capítulo son el espacio de estados, la reducción de la red, y el método de corte. El método de espacio de estado es muy

general, pero se vuelve engorroso para sistemas relativamente grandes. El método de reducción de la red es aplicable cuando el sistema consta de serie y subsistemas paralelos. El método de corte establecido se ha convertido en el más popular en el análisis de la fiabilidad de las redes de transmisión y distribución y es el que se ha utilizado en el desarrollo del presente trabajo.

#### **2.2.2.1 Método mínimo corte - set**

El método de corte establecido se puede aplicar a sistemas de configuraciones simples o complejas, viene a ser una técnica muy adecuada para el análisis de la confiabilidad de los sistemas de distribución de energía. Un corte de conjunto es un "conjunto de componentes cuyo fallo solo provocará un fallo del sistema" y un recorte conjunto mínimo no tiene ningún subconjunto propio de los componentes cuya falla solo provocará un fallo del sistema. Los componentes de un conjunto mínimo de corte están en paralelo, ya que todos ellos deben fallar con el fin de causar el fallo del sistema y varios recortes de conjuntos mínimos están en serie como un recorte conjunto donde cualquier fallo mínimo puede causar un fallo del sistema.

Los algoritmos más formales están también disponibles en la literatura [3].

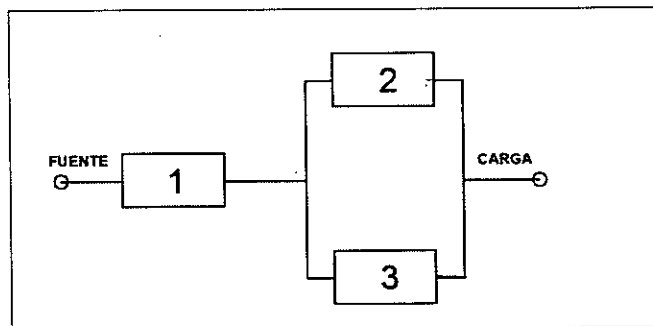
#### **2.2.2.2. Método de espacio de estado**

El método de espacio de estado es un enfoque muy general y puede ser utilizado cuando los componentes son independientes, asimismo para los sistemas que implican modos de fallo y reparación dependientes.

Las diferentes etapas de este enfoque se ilustran mediante un ejemplo sencillo de un componente en serie con dos compo-

nentes paralelos, como se muestra en la Figura N° 2.3.

Figura N° 2.3. Componentes en serie y paralelo.



Fuente: Elaboración propia

Para determinar probabilidades de estado cuando los componentes se puede suponer que son independientes, las probabilidades de estado se pueden encontrar por la regla del producto. Cuando, la dependencia estadística está implicada, un conjunto de ecuaciones simultáneas necesitan estar resueltas para obtener las probabilidades de estado [3].

Para determinar las medidas de fiabilidad se identifican los estados que contribuyen al fracaso o al éxito o cualquier otro evento de interés. Para el sistema que se muestra en la Figura N° 2.3, si los enlaces 2 y 3 son completamente redundantes, el fallo del sistema puede ocurrir, si falla cualquiera de los componentes 1 ó 2 y 3, o si todos los componentes fallan.

### 2.2.2.3. Método de reducción de Red

El método de reducción de la red es útil para sistemas que consisten en series y subsistemas paralelos. Este método consiste en reducir sucesivamente la serie y estructuras paralelas por los componentes equivalentes. El conocimiento de la

serie y fórmulas de reducción paralelas son esenciales para la aplicación de esta técnica.

#### **2.2.2.4. Sistema serie**

Los componentes se dice que están en serie cuando el fallo de cualquier componente provoca el fallo del sistema. Cabe señalar que los componentes no tienen que estar físicamente conectados en serie, es el efecto de fracaso que es importante.

#### **2.2.2.5. Sistema Paralelo**

Dos componentes se consideran en paralelo cuando cualquiera puede asegurar el éxito del sistema.

#### **2.2.2.6 Aplicación del método de cortes a la evaluación de la confiabilidad en redes eléctricas**

Una metodología muy utilizada en los procesos de evaluación de la confiabilidad de redes eléctricas es la aplicación de los conjuntos de corte y se utiliza principalmente para determinar los índices de confiabilidad: frecuencia y duración de fallas.

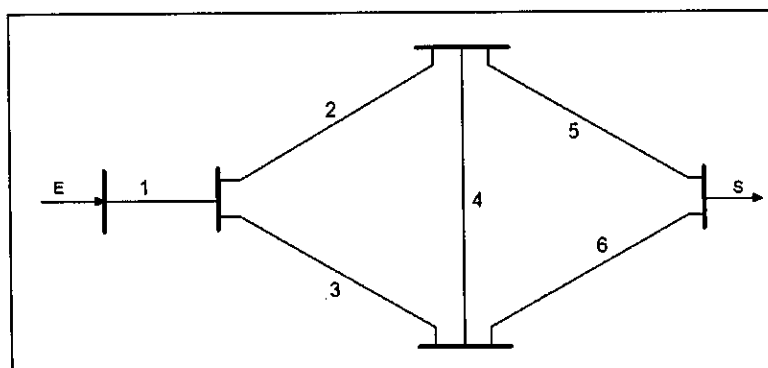
Utilizando como criterio de éxito la continuidad de servicio para los puntos de interés, se dice que un sistema está conectado si existe un camino entre la fuente y cada uno de los elementos que componen dicho sistema. La salida de los elementos que pertenecen al conjunto de corte mínimo produce la separación del sistema en dos subsistemas conectados, uno que contiene las entradas (fuentes) y otro que contiene el punto en estudio (normalmente este punto corresponde a un nodo de carga).

El método de los conjuntos de corte es una aproximación generalmente válida, atendiendo a la alta disponibilidad normalmente asociada a los componentes de un sistema eléctrico de

potencia. Si fallan todos los elementos de un conjunto o grupo de corte, el sistema fallará, sin importar el estado del resto de elementos del sistema. Un sistema puede tener un gran número de conjuntos de corte y un componente en particular pertenecer a más de uno de ellos.

A manera de ejemplo, considérese el sistema de la figura 2.4, una red eléctrica, compuesta por 6 elementos, la entrada E y la salida S.

Figura N° 2.4. Red eléctrica enmallada



Fuente: Billinton R. y Singh C.

La definición de corte mínimo como aquel que no posee un conjunto con la propiedad de "cortar" el sistema, implica que el grupo de corte nominal corresponde a más componentes que los necesarios para producir la falla del sistema.

En el grupo de corte los elementos deben conectarse en paralelo, ya que la falla se produce cuando todos esos elementos salen de la red. Los cortes, a su vez, deben conectarse en serie, ya que la ocurrencia de cualquiera de ellos asegura la desconexión del sistema.

Por lo tanto, el paso inicial en el análisis de cualquier sistema es la determinación de los conjuntos de corte mínimo para el punto

de carga en consideración, para luego analizar las contribuciones de cada corte mínimo a los índices de confiabilidad del punto en cuestión, empleando para ello ecuaciones que dependen de la naturaleza del evento que produce la falla.

### **2.2.3. Modos de falla y análisis de efectos**

Una técnica también empleada en la determinación de los modos comunes de falla y análisis de efectos, en donde se pretende reflejar con mayor realismo el comportamiento de un sistema eléctrico. Su implementación va acompañada de la determinación de conjuntos de corte mínimos. Esta técnica es particularmente adecuada para modelar fallas que involucran la acción de los dispositivos de protección. Como ya se ha establecido, el modelo del sistema para la evaluación de confiabilidad considera los conjuntos de corte mínimos conectados en cascada y solo se consideran contingencias simples y dobles, dado que es altamente improbable que ocurran en forma simultánea fallas en tres o más elementos a la vez. No obstante, un determinado tipo de falla puede inducir a la desconexión de otros elementos, produciendo la caída de servicio de un punto de carga. Este es el tipo de situaciones que se pretende reflejar al estudiar los efectos de las distintas formas de los componentes de una red eléctrica.

### **2.2.4. Índices de confiabilidad**

Los índices o parámetros de confiabilidad utilizados para redes eléctricas pretenden cuantificar la calidad del servicio que presenta la red en cualquier punto de consumo. En algunos casos, también, se definen índices globales para el sistema como un todo. Entre los cuantificadores más conocidos tenemos:



- **Tasa de falla ( $\lambda$ ):** Representa la cantidad de veces que un consumidor se ve privado del suministro de electricidad por unidad de tiempo. Generalmente se considera como unidad de tiempo el periodo de 1 año, puesto que la disponibilidad de electricidad normalmente es alta. El inverso de la tasa de falla se conoce como tiempo promedio entre fallas.
- **Tiempo de reparación ( $r$ ):** En este trabajo se utiliza como un nombre genérico que representa la acción de cambio o reparación del "elemento causante del problema". Es el tiempo promedio que dura una falla de suministro, expresado en horas. El inverso del tiempo de reparación se conoce como tasa de reparación.
- **Energía no suministrada (ENS):** Representa la cantidad de energía que la empresa de distribución pierde de vender. Este índice tiene gran relevancia para estas empresas, dado que puede utilizarse como parámetro de decisión al evaluar alternativas de mejoramiento de la calidad de servicio.
- **Carga promedio desconectada (L):** Es una cuantificación de la cantidad de consumidores afectados por los cortes de suministro.
- **Tiempo anual de desconexión esperado (U):** Es la indisponibilidad total de servicio durante un año y medido en horas. Se obtiene como la multiplicación de la tasa de falla por su duración promedio.

## 2.3. SISTEMA INTEGRADO

### 2.3.1. Red principal

La empresa concesionaria EDELNOR S.A.A. se compromete a

suministrar energía eléctrica al aeropuerto en el punto de diseño tal como se estipula en el contrato privado en los términos y fechas incluidas.

El aeropuerto se compromete a comprar el total de la potencia contratada y el total de la demanda de electricidad utilizada a EDELNOR en el punto de entrega fijado, en tensión nominal de 60 kV a la frecuencia de 60 Hz cuyo punto de entrega es la celda 60 kV de la SET Tomás Valle y el punto de entrega dentro de la subestación principal (de propiedad del aeropuerto), al mismo que se ha asignado el suministro N° 1897610, 60 kV, 60 Hz.

De no acordarse una modificación de las mismas al término de su vigencia mediante suscripción del respectivo adendum, éstas se renovarán automáticamente por periodos anuales sucesivos, es decir de enero a diciembre de cada año calendario.

### **2.3.2. Red de respaldo en 10 kV**

La empresa ccesionaria EDELNOR S.A.A. está obligada a mantener disponible la instalación de la SED 0565 en 4 MW, 10 kV, 60 Hz.

Para garantizar la operatividad con una moderada confiabilidad es necesario que el AIJCH mantenga en forma continua y de acuerdo a la estructura de precios, por tal motivo, ambas partes convienen en establecer los siguientes valores de potencia contratada:

En consecuencia EDELNOR S.A.A brindará respaldo en 10 kV desde la SED 565 ante alguna interrupción del servicio en el suministro N° 1897610 en 60 kV, 60 Hz.

### **2.3.3. Red de emergencia**

Por encargo del AIJCH, el consorcio AYESA - CPA ha realizado

los proyectos necesarios que contribuirán a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

En el plano IE - 05 presenta la barra de emergencia conformada por tres grupos de electrógenos marca CUMMINS, cada uno de 2 MVA, 480 V, 60 Hz, controlados mediante el Power Comand Paralleling System, supervisado por el DMC300. Este sistema genera una tensión de 480 V, 60 Hz, la misma que es elevada a 10 kV mediante sus respectivos transformadores de 2 MVA 10/0.48 kV para alimentar la barra de emergencia.

La barra de emergencia es conectada a la barra A mediante el interruptor 52 – 301, a la barra B mediante el interruptor 52 - 305. Además, la barra de emergencia alimenta las cargas prioritarias del aeropuerto internacional Jorge Chávez.

#### **2.3.4. Sistemas de enclavamientos**

El sistema de distribución tiene la posibilidad de ser alimentado por dos puntos. 60 y 10 kV. Al nivel 10 kV las tensiones y sus ángulos en los dos suministros no son exactamente iguales, por lo que si los unimos a través de algún cable del sistema de distribución del AIJCH, provocaríamos un flujo de energía activa y reactiva entre los dos puntos completamente fuera del control de la operación del sistema del aeropuerto.

Por la razón indicada en el punto anterior; para evitar daños al sistema del aeropuerto y a los cables de alimentación a 10 kV de Edelnor S.A.A se ha previsto la implementación de enclavamientos eléctricos que eviten que por cualquier motivo se establezca una conexión entre los dos suministros.

En el modo automático el control del sistema, a cargo del

DMC300; los enclavamientos pueden programarse electrónicamente para que no se produzca la conexión entre los dos puntos de alimentación.

En el caso de que el DMC300 falle o que se realicen operaciones en el modo manual, los programas del DMC300 no trabajan, por lo que debe instalarse un sistema cableado que asegure que no se cometan errores.

El diseño y la implementación de los enclavamientos responden a las siguientes necesidades:

- Tener una subestación con una flexibilidad en las operaciones que nos permita realizar trabajos de mantenimiento en las barras A y B.
- Implementar una barra del sistema de emergencia, con los grupos electrógenos, en la que se incluyan los enlaces adecuados que trabajen en coordinación con la línea principal y el backup.
- Provisionar a los tres transformadores de 2 MVA un sistema de ventilación natural.
- Hacer el diseño que nos permita tener desconectados a los transformadores de 2 MVA cuando los grupos electrógenos no funcionen.
- Ampliar la capacidad de operación del DMC300 actual, haciendo que cuando los grupos electrógenos trabajen, el DMC300 busque primero el suministro del backup.

### **2.3.5. Funciones de operación y protección**

Las funciones de operación en manual y automático son previstas por los sistemas de enclavamientos. Estos enclavamientos nos proporcionan las secuencias a seguir en las diversas

tareas encomendadas por el DMC300.

Las funciones de protección son previstas por separado, mediante:

- En el caso de las celdas de la barra de carga las funciones de protección existentes en cada celda blindada de media tensión son: 50, 51, 50N y 51N.
- En el caso de las celdas de la barra de emergencia las funciones de protección existentes en cada celda blindada de media tensión son: 50, 51, 50N, 51N y 32R.
- En el caso de las celdas de la utility y backup las funciones de protección existentes en la celda blindada de media tensión son: 50, 51, 50N, 51N y 32R.
- En el caso de las celdas de los grupos electrógenos las funciones de protección existentes en la celda blindada de media tensión son: 50, 51, 50N, 51N, 32R y 32I/U. Así mismo en el nivel de baja tensión el DMC300 cuenta con las funciones 50, 51, 50N, 51N, 32R y 25. Estas funciones residen en los controles del grupo electrógeno dentro del Power Command System, aunque el DMC300 y los relés ubicados en el medidor multifunción también coordinan entre ellos, por lo que decimos que estas funciones deben ser efectivamente redundantes, de modo que cada vez que un generador se conecta al bus de las funciones de protección todas queden disponibles.

Para la implementación, cambios y mejoras de la protección y servicio se cuenta con una herramienta de software, la misma que permite una rápida y consistente configuración de todas las funciones del sistema de protección o también pueden ajustarse

a través de los paneles de mando del grupo electrógeno o desde el mismo DMC300.

Figura N° 2.5. Distribución de contactos en los interruptores de 10 kV

Contactos auxiliares de los interruptores 52-A y 52-B, asignados a los circuitos de enclavamiento			
Plano ST-E-0104_revB.dwg			
Interruptor	Tipo de contacto auxiliar	contactos en los interruptores 52-A y 52-B	Asignados al enclavamiento del interruptor
52-A	NC	S17 - S18	52-B
	NO	S19 - S110	52-301
	NC	S111 - S112	52-301
	NO	S113 - S114	52-305
	NC	S115 - S117	52-305
52-B	NC	S17 - S18	52-A
	NO	S19 - S110	52-301
	NC	S111 - S112	52-301
	NO	S113 - S114	52-305
	NC	S115 - S117	52-305

Las conexiones al DMC se harán a los puntos que se definan en los planos definitivos de Cummins

Contactos auxiliares de los interruptores 52-301 y 52-305, asignados a los circuitos de enclavamiento			
Plano ST-E-0108_revA.dwg			
Interruptor	Tipo de contacto auxiliar	contactos en los interruptores 52-301 y 52-305	Asignados al enclavamiento del interruptor
52-301	NC	S13 - S14	52 - A
	NC	S17 - S18	52 - B
	NC	S111 - S112	52 - 305
52-305	NC	S17 - S18	52 - A
	NC	S19 - S110	52 - B
	NC	S111 - S112	52-301

Las conexiones al DMC se harán a los puntos que se definan en los planos definitivos de Cummins

Enclavamiento de cierre de los interruptores 52-A y 52-B entre sí y con los interruptores 52-301 y 52-305			
Plano ST-E-0104_revB.dwg			
Del interruptor	Al interruptor con que se enclava	contacto auxiliar tipo	Contacto del interruptor con que se enclava
52-A	52-B	NC	S17 - S18
	52-301	NC	S13 - S14
	52-305	NC	S17 - S18
52-B	52-A	NC	S17 - S18
	52-301	NC	S17 - S18
	52-305	NC	S17 - S18

Enclavamiento de cierre de los interruptores 52-301 y 52-305 entre sí y con los interruptores 52-A y 52-B			
Plano ST-E-0108_revA.dwg			
Del interruptor	Al interruptor con que se enclava	contacto auxiliar tipo	Contacto del interruptor con que se enclava
52 - 301	52 - B	NO	S19 - S110
	52 - A	NO	S19 - S110
	52 - A	NC	S111 - S112
	52 - B	NC	S111 - S112
	52 - 305	NC	S111 - S112
52 - 305	52 - A	NO	S17 - S18
	52 - B	NO	S19 - S110
	52 - B	NC	S115 - S117
	52 - A	NC	S115 - S117
	52 - 301	NC	S111 - S112

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.6. Condiciones de operación de los interruptores:

El master control debe recibir tensión de los transformadores de tensión en barras y en el lado de alta de los transformadores de tensión de los grupos.

El master control determinará la lógica de enclavamientos que evite el cierre de interruptores sin verificar paralelismo.

Por las razones antes indicadas es que se ha realizado los trabajos de ingeniería necesaria para el cambio de topología del sistema eléctrico del AIJCH, la cual incluye básicamente la independización de los grupos electrógenos.

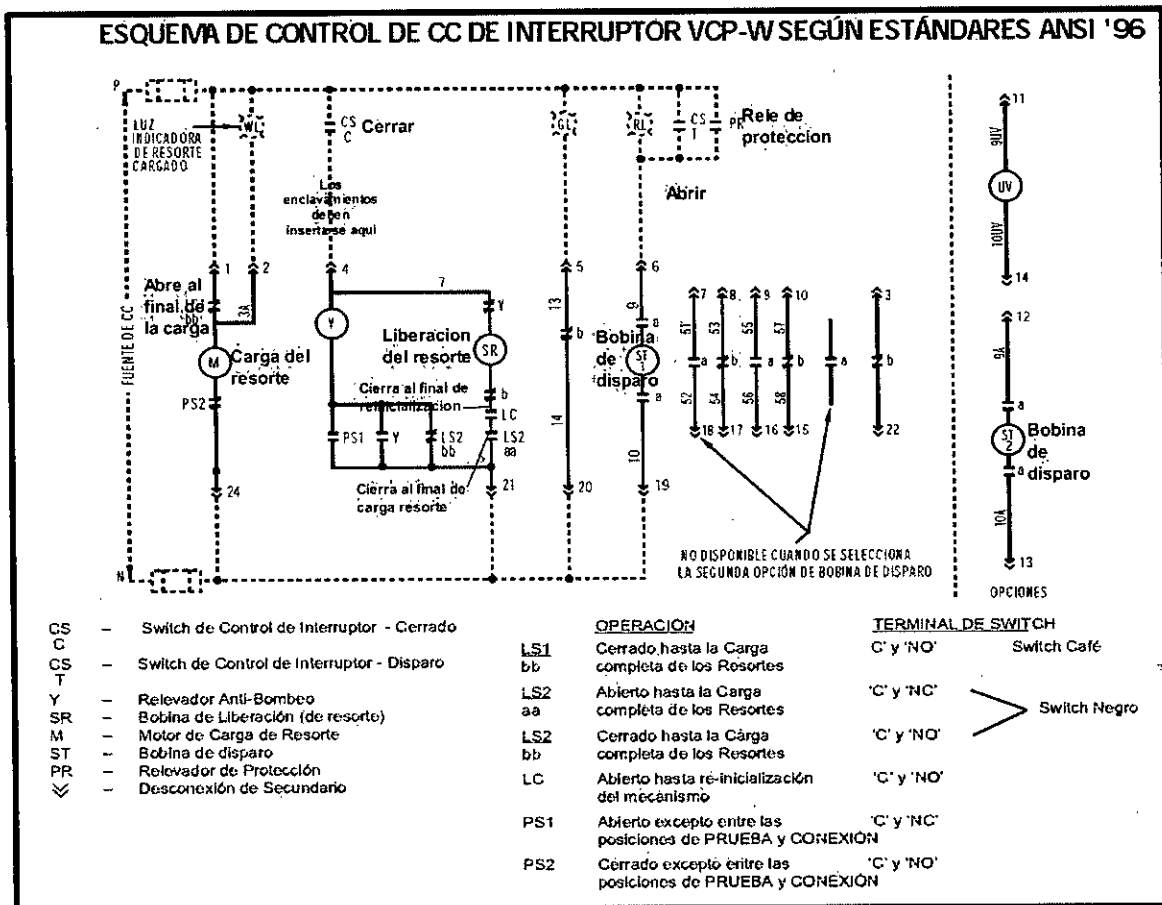
Los tre grupos electrógenos serán conectados a la barra de emergencia la misma que se halla conectado a la barra A y a la barra B mediante interruptores idénticos a los demás.

Se ha seleccionado esta topología debido a su gran flexibilidad en su operación permitiendo realizar los trabajos e mantenimiento en la fecha y hora que sea programada.

El circuito utilizado es el plano IE – 05 el mismo que ha tenido su respectiva aprobación por los profesionales del aeropuerto y OSITRAN.

Con la topología presentada en el IE – 05, el DMC300 ampliado, modificación del software y hardware se ha logrado una óptima operatividad en la subestación principal 10 kV.

Figura N° 2.6. Esquema de control de los interruptores de 10 kV.



Fuente: EATON Powering Business Worldwide



### III. VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Para determinar el factor de la confiabilidad en el desarrollo de la presente investigación se han definido e identificado las siguientes variables:

Variable Independiente: Digital Master Control - DMC300

Indicadores:

Secuencia operaciones del DMC300	X1
Enclavamientos eléctricos DMC300	X2
Paralelismo en baja y media tensión	X3

Variable dependiente: Confiabilidad del sistema eléctrico

Indicadores:

Factor de confiabilidad	Y1
Diseño de la topología	Y2
Implementación de la topología	Y3

#### 3.2 HIPÓTESIS

##### 3.2.1 Hipótesis principal

El factor de confiabilidad será altamente significativo con la implementación de la nueva topología de la subestación principal del sistema eléctrico de 10 kV. del aeropuerto internacional Jorge Chávez

### 3.2.2. Hipótesis secundarias.

H1. La nueva topología de la subestación principal diseñada bajo estándares internacionales será altamente confiable para el sistema eléctrico de 10 kV. del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

H2. La óptima implementación de la nueva topología de la subestación principal será altamente confiable en la operación del sistema eléctrico de 10 kV. del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

A continuación presentamos la operacionalización de las variables.

Tabla N° 3.1. Dimensiones, indicadores y variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
INDEPENDIENTE Digital Master Control- DMC300	El DMC300 es un componente de sistema paralelo basado en microprocesador, diseñado para interactuar directamente como comando de potencia con grupos electrógenos en paralelo, proporciona flexibilidad para satisfacer requisitos en aplicaciones específicas, facilidad de uso del operador, funcionalidad óptima y fiabilidad del sistema .	Comando de potencia con grupos electrógenos en paralelo	Secuencia de operaciones	X1
		Funcionalidad óptima y fiabilidad del sistema .	Enclavamientos eléctricos	X2
			Paralelismo en baja y media tensión	X3
DEPENDIENTE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELECTRICO	La confiabilidad de un sistema eléctrico de distribución es la capacidad que tienen la red para proporcionar el servicio de energía eléctrica a los clientes en forma ininterrumpida	Capacidad de la red eléctrica	Factor de confiabilidad	Y1
		Servicios de energía de forma ininterrumpida	Diseño de la topología	Y2
			Implementación de la topología	Y3

Fuente: Elaboración propia

## **IV. METODOLOGÍA**

### **4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Es una investigación aplicada de tipo descriptiva de corte transversal, como menciona Selitiz (15), en esta clase de estudios el investigador debe ser capaz de definir qué se va a medir y cómo se va a lograr precisión en esa medición y es de corte transversal porque las mediciones son hechas en una sola ocasión (aun cuando ésta sola ocasión puede ser unos minutos, una hora, un día, un mes o mayor tiempo); en este sentido la investigación está basada en la medición de la confiabilidad de la implementación del nuevo diseño de la topología en la subestación principal de 10 kV del AIJCH.

### **4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de la investigación es experimental tal como lo explica Hernández Sampieri (9), porque se manipula la variable dependiente para medir los resultados en la variable independiente

El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para responder a las preguntas de la investigación Hernández Sampieri (9).

En consecuencia para el desarrollo de la investigación se plantean las etapas siguientes:

1. Tomar muestras de los diagramas de cada una de las cargas de la subestación principal para determinar la máxima demanda.
2. Considerar la parametrización del comportamiento actual del DMC300.

3. Verificar la secuencia de operaciones del DMC300 actual y proyectar las operaciones a ser implementadas.
4. Realizar el estudio del Power Command Paralleling System.
5. Realizar el levantamiento de datos del BMS e interface con el sistema scada.
6. Cambiar la topología de la subestación principal.
7. Dimensionar y seleccionar los cables tipo N2XSY unipolar 18/30 kV.
8. Respetar los procedimientos a seguir en el cambio de topología de la subestación principal.
9. Diagramar el flujo del proceso de toma de datos
10. Diagramar el flujo del proceso de la coordinación de la protección.
11. Diagramar el flujo de los documentos técnicos en diseño, obra y asbuilt.

#### **4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Latorre, Rincón y Arnal, (10) expresan: que la población es el conjunto de todos los individuos (objetos, personas, eventos, etc.) en los que se desea estudiar el fenómeno. Éstos deben reunir las características de lo que es objeto de estudio. El individuo, en esta acepción, hace referencia a cada uno de los elementos de los que se obtiene la información. Los individuos pueden ser personas, objetos o acontecimientos.

Para nuestra investigación la población considerada como objeto de estudio es el sistema eléctrico de 10 kV ubicada en el aeropuerto Internacional Jorge Chávez, por lo tanto la población es igual a la muestra ya que en nuestro país se cuenta con un solo aeropuerto internacional

#### **4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Rojas Soriano, (12) señala al referirse a las técnicas e instrumentos para recopilar información como la de campo, lo siguiente: Que el volumen y el tipo de información - cualitativa y cuantitativa - que se recaben en el trabajo de campo deben estar plenamente justificados por los objetivos e hipótesis de la investigación, o de lo contrario se corre el riesgo de recopilar datos de poca o ninguna utilidad para efectuar un análisis adecuado del problema.

En este sentido, por la naturaleza de la investigación se ha considerado utilizar los instrumentos siguientes:

- a. Planos Técnicos
- b. Equipos de medida
- c. Tabla de protocolos

#### **4.5 PROCEDIMIENTOS Y VALIDACIÓN EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para Hernández Sampieri y otros (9), la validez de un instrumento mide el grado de confianza que se tiene donde los resultados del experimento se interpreten adecuadamente, sostiene que la validez es el grado en que un instrumento mide lo que pretende medir.

La validación de la recolección de datos de la presente investigación fue verificada y certificada por las siguientes áreas:

1. Área de Mantenimiento electromecánico del AIJCH.
2. Área de Infraestructura del AIJCH.
3. Área de Seguridad del AIJCH.

Así mismo la información de las pruebas fue validada por las siguientes entidades:

1. Empresa Cummins - Perú (distribuidor autorizado de equipamiento y grupos electrógenos).
2. Empresa Cummins Power Generation LTD England - Fabricante de DMC300 y BMS software y hardware.
3. OSITRAN (Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público).
4. EATON (Fabricante de celdas, transformadores e interruptores de potencia).
5. EDELNOR S.A.A. (concesionario de la energía eléctrica)

Los instrumentos validados nos proporcionan la siguiente información:

En los **planos técnicos** se levantaron los esquemas de fuerza y control para ser contrastados con los módulos existentes en operación.

Con los **equipos de medida**, se tomaron las mediciones y registros de calidad de energía el cual incluye registro de eventos, así como para verificar la regulación de los equipos de accionamiento existentes.

En la **tabla de protocolos**, se muestra la información real para el estudio de corto circuito global y específico en cada celda.

#### 4.6 PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS

El procedimiento y análisis de datos se realizaron utilizando los siguientes diagramas de flujo:

Diagrama de Flujo del proceso de toma de datos.

Diagrama de Flujo del proceso de la coordinación de la protección.

Diagrama de Flujo de los documentos técnicos en diseño, obra y asbuilt.

#### 4.7 DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

Teniéndose en cuenta que las cargas de AIJCH no admite cortes, se planifico la secuencia de actividades para el cambio de topología del sistema eléctrico en 10 kV, considerando lo siguiente:

- Hacer de conocimiento del contratista de la secuencia de actividades planificadas y de la responsabilidad que cada uno de los involucrados está obligado a considerar.
- Recepcionar las obras civiles tales como ductos, enlace de canales, rampas, tuberías empotradas y distancias mínimas realizadas por el contratista en la nueva construcción.
- Verificar que los sistemas de ventilación estén operativos.
- Considerar que antes de dar inicio a las actividades planificadas, el área de mantenimiento del AIJCH deberá realizar pruebas a los sistemas de respaldo existentes entre las barras A y B.
- Solicitar el suministro de los tableros adecuados y equipados.
- Solicitar al área de mantenimiento del AIJCH la verificación del buen estado del interruptor de potencia JCH2.

A continuación se describe cada una de las actividades planificadas, razón de la presente investigación.

##### **4.7.1. Recepcionar las obras civiles - Instalación de bandejas a**

### **nivel sótano**

Suministro e instalación de bandejas y toda ferretería electromecánica. Se realizara según dimensiones y niveles según plano y características técnicas aprobadas.

En el suministro, instalación y conexiones a la malla de puesta a tierra, el contratista instalará barras de cobre en toda la canalización debajo del piso, de tal manera que se pueda poner a tierra cualquier equipo eléctrico enlazando a la malla de puesta a tierra ya existente.

#### **4.7.2. Instalación de los nuevos tableros**

En los tableros fabricados acompañar las especificaciones técnicas adecuadas.

**Fabricación de las bases metálica.-** Se deberá fabricar bases metálicas para los tableros ST-SG-02 y ST-SG-03. Tomando sus dimensiones que inicialmente se encontrarán en el almacén de LAP, se deberá tener como referencia las características, forma y modelo de la base del tablero existente ST-SG-01. Instalación de las bases metálicas en las áreas indicadas.

#### **Canalización e instalación de cables MT y BT**

Consiste en suministro de materiales, canalización, instalación, rotulación de cables por cada circuito / fase y pruebas eléctricas previas a los cables en los tramos instalados.

#### **4.7.3. Maniobras y retiro de cables subestación 60/10 kV**

En la sala del transformador de 60/10kV existe un tablero de transferencia; para realizar la maniobra será coordinada con el



área de mantenimiento y el EPCM considerando lo siguiente:

**Transferencia de carga.**

La carga del transformador de servicios auxiliares (ubicado en el primer piso – subestación principal) se deberá transferir para que el transformador de 113 KVA alimente toda la carga del tablero de servicios auxiliares del segundo piso (código asignado ST-PB-04) verificado la tensión de alimentación en dicho tablero,

**Maniobra en MT.**

Apertura del seccionador tripolar de potencia que controla al transformador de 100 KVA.

**Desconectar, retirar cable de MT.**

Verificada la ausencia de tensión y aterramiento de equipos, el contratista deberá desconectar y retirar el cable de MT desde el seccionador hasta los bornes de MT del transformador ST-XF-02, luego llevar al almacén de LAP.

**Desconectar, retirar cable de BT.-** El contratista deberá retirar los cables que enlaza bornes de BT del transformador con el tablero de transferencia ubicado en el 1er piso de la subestación principal 60/10 kV.

**4.7.4. Instalación del cable de MT y BT.**

Antes de iniciar los trabajos se debe verificar el bloqueo del seccionador; posteriormente el contratista deberá instalar los siguientes tramos de cable:

**MV-ST-25.-** Instalar cable de MT entre los bornes de alta del transformador ST-XF-02 y seccionador. (LAP suministrara el cable y las terminaciones).

**P-XF02-01.-** Instalación de cable, entre el transformador ST-XF-02 lado de BT y el tablero ST-ATS-02,

**P-ATS02-03.-** El cable será tendido por la canalización existente desde el tablero de transferencia ST-ATS-02 ubicado en el segundo piso subestación principal 60/10 kV hacia el tablero ST-PB-03 ubicado en la sala del transformador de 60/10 kV.

**Rotulado de los cables instalados.-** Los cables serán rotulados por circuito /fase.

**Realizar conexiones.-** Conexiones en puntos resaltados (puntos rojos).

**Realizar pruebas eléctricas.-** El contratista deberá realizar todas las pruebas eléctricas a los cables.MV-ST-25 (cable de MT) y P-XF02-01.

**Presentación de protocolo de pruebas.-** El contratista presentara el protocolo de pruebas de cables MV-ST-25 y P-XF02-01.

#### **4.7.5. Poner en servicio tableros ST- ATS-01 Y ST- ATS-02**

Con el fin de energizar dichos tableros de transferencia se tendrá que haber terminado los siguientes trabajos.

**Verificación ST-ATS-02.-** Acondicionamiento del tablero verificando la correcta operación.

**Verificación ST-ATS-01.-** Acondicionamiento del tablero verificando la correcta operación.

**Cables de control.-** Verificación, pruebas eléctricas y conexiones.

**Verificación de conexiones.-** Se deberá verificar la correcta conexión de los cables de fuerza.

**Maniobras.-** Cerrar el seccionador del circuito con el fin de tensionar al transformador ST-XF-02 con esta maniobra tendremos energizado el tablero ST-ATS-02

**Verificación de tensiones.-** Se deberá verificar tensiones en los tableros ST-ATS-02 y ST-ATS-01 suministrados del transformador ST-XF-02.

**Puesta en servicio de forma parcial.-** Se verificara la operatividad del sistema entre los tableros de transferencia con energía suministrada del transformador ST-XF-02.

#### **4.7.6. Maniobras, conexiones y retiro de cables.**

Se deberá coordinar con mantenimiento para interrupción de energía en los tableros involucrados por un tiempo mínimo para realizar las conexiones. Como ya se puso en servicio los tableros de transferencia de forma parcial se deberá tener en cuenta la presencia de tensión en los tableros ST-ATS-01 y ST-ATS-02.

**Conexiones P-ATS02-02 y pruebas eléctricas.-** Desconectar los cables antiguos en el tablero ST-PB-04, luego conectar los cables nuevos **P-ATS02-02** en ambos extremos verificando la secuencia de fases, realizar pruebas eléctricas y puesta en servicio del tablero ST-PB-04 por la nueva ruta.

**Adecuación del tablero ST-PB-03.-** El tablero será adecuado aumentando más interruptores según unifilar del plano.

**Conexiones P-ATS02-03 y pruebas eléctricas.-** El cable indicado deberá ser conectado en ambos extremos verificando la secuencia de fases, pruebas eléctricas y puesta en servicio tablero ST-PB-03.

**Presentación de protocolo de pruebas.-** El contratista deberá presentar el protocolo de las pruebas eléctricas de los siguientes cables. P-ATS02-02, P-ATS02-03, P-PB01-01, P-PB01-02.

#### **4.7.7. Traslado de banco de baterías**

Pruebas eléctricas a los cables.- Se deberá realizar las pruebas de continuidad y aislamiento a los siguientes tramos de cable sin conectar a sus extremos. CABLE DC TEMPORAL, P-BA01-01 y P-EB02-01.

Conectar el CABLE DC TEMPORAL.- La conexión será entre ST-EB-04 y ST-SG-01.

Traslado de baterías.- Desconectar el cable existente del tablero antiguo luego se deberá trasladar las baterías a su nueva ubicación.

Conexiones P-BA01-01.- El banco en su nueva ubicación se conectará al tablero ST-EB-01.

Conexiones P-EB02-01.- Como ya se tiene el cable instalado P-EB02-01 se deberá conectar en el tablero ST-EB-02 y ST-SG-01 en este lado sin desconectar el cable DC temporal. Luego ya conectado en ambos extremos se pondrá en servicio la tensión por la nueva ruta.

#### **4.7.8. Traslado y retiro de tableros**

Fuera de servicio tablero T-PTC-01.- Evaluado las condiciones y efectos cuando se saca fuera de servicio el tablero T-PTC-01 con el objetivo que el master no dependa de dicho tablero.

Traslado del tablero T-PTC-01.- El tablero T-PTC-01 es alimentado del tablero ST-PB-02.

Apertura del interruptor que controla el tablero T-PTC-01, en el

tablero ST-PB-02 (previa coordinación con CUMMINS).

Desmontaje el tablero T-PTC-01.

Instalación del tablero T-PTC-01 en su nueva ubicación.

Prueba de continuidad y aislamiento del cable P-PB01-06.

Las conexiones del cable P-PB01-06 en ambos extremos.

Puesta en servicio tablero T-PTC-01.- CUMMINS deberá poner en operación el enlace entre el tablero T-PTC-01 y ST-CP-01 (master DMC-300).

Fuera de servicio alimentador del BMS.- Existe un circuito del tablero ST-PB-02 de deberá coordinar para sacar el cable.

Puesta en servicio alimentador del BMS.- El personal especializado pondrá en operación el sistema BMS.

Retiro tablero ST-EB-01 (antiguo).- El tablero del cuarto de baterías deberá ser desmontado al igual de su cable y canalización.

Traslado de materiales almacén LAP.- Desmontado cables, canalización, tableros y otros todos ellos bajo inventario deberán ser trasladados al almacén de LAP.

Maniobras y retiro de cables.

Apertura del 52- 205.- En el tablero ST-SG-01 abrir el interruptor que controla al transformador ST-XF-01 boquear el interruptor.

Retiro del cable de MT.- El cable de media tensión que alimenta al transformador deberá ser desconectado y retirado a los almacenes de LAP.

Retiro de materiales restantes.- Se desmontara los cables con el objetivo de liberar todo material suspendido en la pared a demoler.

#### **4.7.9. Traslado del transformador**

##### **Desconexión de los cables del BMS.**

**Traslado transformador ST-XF-01.-** El contratista deberá presentar el plan de trabajo exclusivo para esta actividad. Se realizara el traslado del transformador a la nueva ubicación.

#### **4.7.10. Instalación de los tableros ST-SG-02 Y ST-SG-03.**

Empotrando las bases metálicas en el piso el contratista deberá realizar las siguientes tareas:

**Instalación del tablero DMC-300.-** Se realizara coordinaciones previas con el personal de CUMMINS evaluando los contratiempos que se puede presentar. Instalación del tablero adyacente al DMC-300.

#### **4.7.11. Acondicionamiento tableros ST-SG-02 Y ST-SG-03**

Verificado la instalación mecánica de los tableros de ST-SG-02 y ST-SG-03.

Instalación del cable P-EB03-02.- Instalar tramo de cable entre los tableros ST-SG-02 y ST-SG-03.

Prueba de aislamiento a los cables alimentadores.- Antes de conectar estos tramos de cable se deberán de verificar el aislamiento de los cables: P-EB03-01 y P-EB03-02.

Conexiones de los cables.- Realizar las conexiones a los cables P-EB03-01 P-EB03-02 de acuerdo al gráfico.

Verificación y pruebas eléctricas a las celdas.- Consiste en verificar y realizar las pruebas de acuerdo a la norma NEMA.

Instalación de los cables para los enclavamientos.- Consiste en la instalación de los cables para el enclavamiento del sistema.

Interfase medición ST-SG-01, ST-SG-03 y ST-SG-02.- Instalación de los cables de data para el interface de los tableros ST-

SG-01, ST-SG-02 y ST-SG-03.

Configuración de equipos EATON nuevos.- Realizar configuraciones a los equipos nuevos según parámetros del sistema el FP5000, relé 50/51 y otros

Instalación de bandejas suspendidas en el techo.- El contratista deberá suministrar las bandejas y todo ferretería electromecánica para su instalación que van suspendidas en el techo enlazando los tableros ST-SG-01, ST-SG-02 y ST-SG-03.

Bandejas de mayor dimensión.- El contratista deberá instalar las bandejas suspendidas en el techo de acuerdo a las dimensiones y dejar acondicionado para la instalación de los cables.

Bandejas de menor dimensión.- Esta canalización incluye hasta el nivel de piso y dejar acondicionado para la instalación de los cables.

#### **4.7.12. Interface el nuevo sistema al BMS.**

Instalación de los cables señales de estado del ST-SG-01, ST-SG-02 y ST-SG-03 AL BMS.- El contratista deberá realizar la instalación de los cables para la señal de estado de los interruptores al BMS.

Instalación de los cables señales de los transformadores y otros equipos involucrados al BMS.- Consiste en la instalación de los cables para las señales de los transformadores elevadores en su ubicación final. Coordinaciones para el Conexión y configuración. Conexiones y configuración al BMS.

#### **4.7.13. Instalación de cables de MT – Maniobras**

En la S.E TE-ESU- 01, transferir las cargas del tablero TE –SB-

01 al tablero TE-SB-02 a través del TIE existente en barra de 230 V. Apertura el interruptor 52-P en MT (celda provisional marca Ornazabal).

Apertura el interruptor JH2 y bloquearlo.

Verificar ausencia de tensión en la salida del interruptor JCH2.

Instalación de cable MT alimentador temporal.- Consiste en tender el cable del interruptor JCH2 hasta el interruptor 52-306. Realizar conexiones en ambos extremos instalando las terminaciones. Rotulado de los cables de cada fase y en forma individual.

Instalación de cable MV-ST-18.- Consiste en instalar el cable del interruptor 52-301(conectar) hasta la celda CO6A, se tendrá disponible para conectar a la barra A (no conectar). Se rotulará los cables por circuito y por cada conductor.

Instalación de cable MV-ST-19.- Consiste en tender el cable del el interruptor 52-305(conectar) hasta la celda CO7A, CO7B se tendrá disponible para conectar a la barra B. (no conectar). Se rotulara los cables por circuito y por cada conductor.

Instalación de cable MV-ST-23.- Consiste en tender el cable del el interruptor 52-306(conectar) hasta la celda CO7A, CO7B se tendrá disponible para conectar a la barra B. (no conectar).

Se rotulara los cables por circuito y por cada conductor.

#### **4.7.14. Fuera de servicio barra B - Maniobras**

Apertura los interruptores de la barra B del 52-201 al 52-208 y bloquear todos estos interruptores.

Apertura el TIE 52-109 y retiro el interruptor de su gabinete para su adecuación como interruptor de carga. Boquear el interruptor



52-B.

Eliminación de enclavamiento.- Eliminar el enclavamiento eléctrico existente entre el interruptor 52-B, el TIE y el 52-A; liberando los contactos secos usados del 52-B.

Apertura y bloquear el interruptor 52-306.

Apertura y bloquear el interruptor 52-305.

Verificar ausencia de tensión en la barra B.

Procedimiento de puesta a tierra de las barras B con propósitos de mantenimiento.

Adecuación del conector de cobre en barra B para su acoplamiento.- TJCASTRO retirará la barra de cobre correspondiente al enlace entre las barras A y B. Luego instalará los conectores de cobre en la barra B (uñas) en la celda CO7A y CO7B.

Adecuación del TIE.- El interruptor desconectado deberá ser adecuado para que trabaje como interruptor de carga.

Conexiones.- El contratista deberá realizar las conexiones con sus respectivas terminaciones y alimentadores MV-ST-19 y MV-ST-23 en las celdas CO7A y CO7B del tablero ST-SG-01.

Modo manual DMC - 300.- De ahora en adelante; SOLO SE REALIZAN OPERACIONES EN FORMA MANUAL; hasta reconfigurar el DMC300.

#### **4.7.15. Puesta en servicio barra B vía cable temporal**

Se verificar nuevamente que los grupos alquilados estén completamente operativos (conectados, probado su sistema de sincronización con la barra B, con combustible diario y semanal.)

**Maniobras.-** Verificar tensión en el cable alimentador temporal

al ingreso del interruptor 52-306.  
Verificar el bloqueo del interruptor 52-B.  
Verificar el bloqueo del interruptor 52-305.  
Cerrar el interruptor 52-306.  
Verificar tensión en la barra B.  
Verificación de la secuencia de fases en la barra B.  
Cerrar los interruptores del 52-201 al 52-207.  
Verificar tensiones en cada alimentador de la barra B.

#### **4.7.16. Transferir toda las cargas de la barra A hacia B**

Se realizaran las coordinaciones con mantenimiento para transferir cargas desde la barra A hacia la B (estas cargas están en BT y MT). Obsérvese que las barras B están energizadas mediante el cable alimentador temporal y su respaldo son los generadores alquilados y el Buc Kup.

##### **Maniobras.**

Verificar el bloque del interruptor 52-B.  
Verificar tensión en la barra B.  
Transferir la red MT cerrar el interruptor 52-208 y Apertura del interruptor 52-105. Verificar la transferencia de cargas entre las subestaciones.

**Transferir las cargas en BT.-** Se realizara la transferencia para que todas las cargas del AIJCH sean alimentadas de la barra B. En estos momentos toda la carga está siendo suministrada de la barra B a través de sus redes de respaldo en BT y MT.

#### **4.7.17. Fuera de servicio de la barra A y conexiones**

Se verificara la secuencia de fases existente. Para conectar el

enlace entre el tablero de emergencia ST-SG-02 y las barras A, se requiere sacar fuera de servicio a estas barras. Con este fin energizamos las barras B y al mismo tiempo transferimos cargas de la barra A hacia la B como se describe en el punto anterior.

### **Maniobras**

Verificar que todas las cargas de la barra A estén alimentadas de la barra B.

Verificado lo anterior se debe apertura los interruptores 52-101 al 52-108 y luego bloquearlos.

Apertura el interruptor 52-A. y luego bloquear.

Apertura el interruptor JCH1 y luego bloquear.

Verificar ausencia de tensión en la barra A.

Proceder con el procedimiento de puesta a tierra de barras A con propósito de mantenimiento.

**Adecuación e instalación del conector de cobre (uñas) en barra A.-** Para la instalación de los conectores de cobre (uñas) en barra A en la celda CO6A.

**Reemplazo de transformadores de corriente en la barra A.-** Desmontaje de los transformadores actuales y montaje de los transformadores nuevos de corriente en el interruptor 52-A. Verificar la correcta conexión de los transformadores de corrientes y pruebas.

**Conexiones.-** El contratista deberá realizar las conexiones con sus terminaciones los cables MV-ST-18 verificando fases, en las celdas CO6A del tablero ST-SG-01.

**Mantenimiento al interruptor JCH1.-** El contratista deberá realizar el mantenimiento del interruptor JCH1 ya que estará fuera de servicio.

**Adecuación de los interruptores 52-107 y 52-108.-** Como se tiene fuera de servicio la barra A se deberá aprovechar la adecuación de los interruptores para que trabajen como interruptor de carga.

#### **4.7.18. Retiro de cables MT y BT de los G.E.**

El contratista deberá realizar los siguientes trabajos.

##### **Desmontaje de cables**

Verificar el bloqueo los interruptores 52-107 y 52-108.

Bloquear los interruptores 52-G2 y 52-G3.

Desmontaje de los cables MT y BT que llegan a los transformadores. Desconexión y retiro de los cables de MT MV-ST-21 y MV-ST-22. Desconexión y retiro de los cables de BT P-STSB-02 y P-STSB-03.

Todos los materiales serán llevados al almacén de LAP.

##### **Puesta en servicio barra A**

Verificar el bloque del interruptor 52-301.

Verificar el bloque del interruptor 52-305.

Retirar dispositivos de puesta a tierra de barras A.

El interruptor 52-106 deberá estar bloqueado.

El interruptor JCH1 deberá estar completamente terminado el mantenimiento.

Cerrar el JCH1.

Cerrar el interruptor 52-A

Verificar tensión en la barra A

Cerrar los interruptores 52-101 al 52-105.

Restablecer las cargas en la barra A.

Traslado de transformadores ST-TL-03 Y ST-TL-02

Evaluación y acondicionamiento de la ruta.- El contratista deberá evaluar la ruta y acondicionar para el libre desplazamiento de los transformadores.

Retiro de los cables BMS del transformador ST-TL-03

Traslado del transformador ST-TL-03.- Traslado del transformador deberá ser tomado en cuenta las medidas de seguridad.

Retiro de los cables del BMS del transformador ST-TL-03.

Traslado del transformador ST-TL-02.- Traslado del transformador deberá ser tomado en cuenta las medidas de seguridad.

Instalación de bandejas debajo de nivel de piso

Instalación de bandejas.- Una vez liberado los cables de MT, BT y reubicado los dos transformadores de las tareas anteriores, tendremos el espacio para instalar las bandejas pendientes en tramo de la figura, el contratista deberá adecuar y enlazar a las bandejas existentes.

Instalación de cables de MT y BT para los G.E.

Maniobras.- Bloquear los interruptores 52-303 y 52-304 y bloquear los interruptores 52-G2 y 52-G3.

Instalación de cables de media tensión.

Conexiones.- Se realizaran conexiones en ambos extremos de los cables de medi tensión.

Pruebas eléctricas a los cables.- Realizar los protocolos de prueba de tensión aplicada.

#### **4.7.19. Retiro de cables MT Y BT del G.E. 01**

Maniobras.- Bloquear el interruptor 52-106.

Desmontaje de los cables MT y BT.- Los cables de MT que une

el interruptor de 10 kV y el transformador deberán ser desconectados y retirados. Al igual los cables de BT del interruptor de 480 V (52-G1) y el transformador ST-TL-01.

Adecuación del interruptor 52-106.- El interruptor deberá ser adecuado para que trabaje como interruptor de carga.

Traslado del transformador ST-TL-01 y conexiones.

El contratista deberá realizar los siguientes.

Traslado del transformador ST-TL-01.

Conexiones del cable de MT MV-ST-20

Pruebas a los cables instalados.

Desplazamiento del tablero ST-SB-01

Identificación y señalización de los cables a desconectar.

Desmontaje de los cables.- Al ingreso del interruptor.

Desplazamiento del tablero.

Conexión P-GE01-01.- El extremo del cable indicado que llega al interruptor 52-G1.

Conexiones del cable de BT P-STSB-01

Pruebas bajo norma LAP.

#### **4.7.20. Instalación del tablero ST-PP-04 y acondicionamiento de las bombas de petróleo.**

**Instalación del tablero ST-PP-04.-** Terminado el desplazamiento del tablero ST-SB-01 el contratista deberá instalar el tablero ST-PP-04 (suministrado por LAP). Conexión del cable P-PB01-08. El cable ya está instalado identificando la secuencia de fase el contratista realizará las conexiones en ambos extremos.

#### **4.7.21. Transferir todas las cargas de la barra B a la barra A**

Se realizaran las coordinaciones con mantenimiento para transferir cargas de la B hacia la A (en BT y MT).

Transferencia de cargas.- Se realizara la transferencia para que todas las cargas del AIJCH sean alimentadas de la barra A.

Acondicionamiento final en la barra B - Maniobras.

Apertura el interruptor 52-208.

Apertura de los interruptores del 52-201 al 52-208.

Apertura del interruptor 52-306.

Puesta en servicio "barra B" a través de ST-SG- 02

Se deberá haber terminado con los trabajos de reconfiguración del DMC300. El contratista deberá haber terminado sus trabajos de instalación de cables para los circuitos de enclavamiento de los interruptores y del DMC.

Bloquear el interruptor 52-306 se tendrá tensionado agua arriba del interruptor indicado.

Verificar bloqueo interruptor 52-B.

Verificar la ausencia de tensión de la barra B.

Cerrar los interruptores 52-301 y 52-305 con esta acción se tiene tensionado la barra B a través del tablero ST-SG-02.

Verificar tensión en la barra B. Cerrar los interruptores del 52-201 al 52-208 en forma progresiva.

Restablecer las cargas a la barra B ya que están siendo alimentadas de la barra A vía líneas de respaldo.

#### **4.7.22. Conexión del cable MV-ST-06 a la celda 52-106**

Terminado los trabajos anteriores se tendrá que conectar el alimentador de la sub estación TE-ESU-01 a su interruptor 52-

106 ubicado en el tablero ST-SG-01.

Realizar transferencia de carga en barras de BT en la subestación terminal TE-ESU-01. Verificado la correcta alimentación de todas las cargas críticas.

Apertura del seccionador de potencia T-PS-02 ubicado en la subestación TE-ESU-01.

Apertura del interruptor 52-P de la celda provisional en el 2do piso de la subestación principal.

#### **Desmontaje**

Verificación de ausencia de tensión en la red y aterrizar el circuito involucrado.

Desconectar el cable MV-ST-06 conectado al interruptor 52-P de la celda provisional.

Retirar tramo de cable MV-ST-06 que va al 2do piso subestación principal hasta la sala de 10 kV del 1er piso (aprox. 45 m).

**Conexionado.-** Conexionado del cable MV-ST-06 al interruptor 52-106 pero antes verificar la secuencia de fases.

**Traslado de materiales al almacén.-** El tramo de cable retirado deberá ser llevado al almacén de LAP.

#### **4.7.23. Pruebas y protocolos finales (según NEMA).**

##### **Retiro de equipos y cables provisionales.**

Verificado el correcto funcionamiento del sistema se deberá.

**Maniobras.-** Apertura del interruptor JCH2 y bloquear.

**Desmontaje.-** Desconexión del cable alimentador temporal en los interruptores JCH2 y 52-306.

Desconexión del cable temporal en los interruptores JCH2 y 52-P de la celda provisional.



Retirar los cables alimentador temporal y llevarlos al almacén de LAP.

Retiro del cable entre el interruptor JCH2 al interruptor 52-P y llevarlo al almacén de LAP.

Retiro de la celda provisional y llevarlo al almacén de LAP.

## V. RESULTADOS

El diseño e implementación, bajo estándares internacionales, de la topología de la subestación principal nos ha permitido obtener un nivel altamente significativo de la confiabilidad del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Esta nueva topología nos ha permitido atender a las cargas de la barra A, B ó ambas a partir de las fuentes de energía principal, reserva ó emergencia. Así mismo podemos hacer el conexionado en paralelo de las siguientes fuentes: principal y emergencia; reserva y emergencia.

También queda prohibido hacer el paralelo de las fuentes principal y reserva (ambas fuentes tienen sus frecuencias y tensiones fijas que podrían ser diferentes en cuyo caso provocaríamos fuertes perturbaciones en el sistema eléctrico).

También se ha diseñado e implementado un nuevo hardware y software del digital master control (DMC300) estos trabajos han sido realizados por la empresa Cummins del Perú.

Para el caso que el sistema eléctrico trabaje en manual se ha diseñado e implementado un sistema de enclavamientos los mismos que responden a la secuencia de operaciones planteadas en el anexo N° 3. Cabe indicar que la integración de estos contactos secos del sistema de enclavamiento quedan interconectados al DMC300, incluyendo a todos los interruptores de potencia nuevos instalados los mismos que también se hallan interconectados al BMS.

En el AIJCH no están permitidos los cortes de energía, debido a que el flujo de la información, control, protección de máquinas eléctricas y equipos,

vigilancia, entre otros es completamente digitalizada y manejada vía el sistema scada mediante el BMS; para esto se ha requerido hacer trabajos aguas debajo de la subestación principal los mismo que responden al paralelismo en media y baja tensión, implementación de tableros de transferencia automáticos.

También se ha trabajado en la Adecuación del BMS (building management security) al sistema eléctrico correspondiente a la nueva topología, es decir todo el equipamiento instalado debe ser comandado por el BMS centralizado. Para lograr niveles aceptables de Confiabilidad del Sistema Eléctrico en el AIJCH se han desarrollado los proyectos, procuras, supervisión y gerenciamiento de las tareas antes mencionadas.

Finalmente podemos afirmar que habiendo realizado los trabajos antes descritos y dado la tecnología punta utilizada se ha logrado obtener un nivel altamente significativo de la confiabilidad del sistema eléctrico en el Aereopuerto Internacional Jorge Chávez.

## VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para contrastar y demostrar las hipótesis general y específicas y con los datos de campo recogidos se ha hecho el modelamiento del sistema eléctrico actual y proyectado y sobre ello se ha realizado el análisis de los siguientes temas:

- Estudio de las componentes del sistema eléctrico del AIJCH.
  - Estudio profundo del principio de funcionamiento del DMC300.
  - El cálculo y análisis de las contingencias más frecuentes.
  - Planificación de la secuencia de operaciones del DMC300.
  - Revisión de la automatización del Power Command paralleling system.
  - Contingencias en la etapa crítica del cambio de topología.
- A. Para la hipótesis principal: El factor de confiabilidad es altamente significativo dado el diseño e implementación de la nueva topología de la subestación principal del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez.
- B. Para la hipótesis H1: El diseño de la topología de la subestación principal se ha realizado bajo estándares internacionales siendo altamente significativo para el sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Cabe indicar que para realizar estos trabajos se han utilizado los planos existentes como base (IE - 04 y IE- 06) y sobre éstos planos se han proyectado los nuevos planos (IE - 05 y IE- 07) los cuales contienen los requerimientos y procedimientos necesarios para que el factor de confiabilidad sea incrementado.
- C. Para la hipótesis H2: La óptima implementación de la nueva topología de

la subestación principal resultó significativa en la operación del sistema eléctrico de 10 Kv del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, para lo cual se han tenido que hacer profundas modificaciones en la secuencia de operaciones del DMC300 y BMS.

D. Para evitar los cortes de energía eléctrica es necesario utilizar las redes especiales construidas anteriormente, que permiten hacer el paralelismo en baja y media tensión; con esta condición se pueden realizar los trabajos de mantenimiento sin interrupciones. Las cargas quedarán conectados siempre en las barras: A, B ó ambas.

E. Con la implementación de una nueva topología en la subestación principal se ha optimizado la operación del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez, toda vez que en adelante el sistema eléctrico puede consumir energía de tres fuentes tal como se describe a continuación:

- En trabajo normal estaría conectado a la fuente principal.
- Apenas falla la fuente principal ingresa la fuente de reserva.
- Si las fuentes antes mencionadas fallan ingresa la fuente de emergencia (esta fuente siempre se halla habilitada para ingresar en el momento que se requiera).

Así mismo, para optimizar la operatividad estas tres fuentes están preparadas para trabajar en paralelo como sigue:

- Fuente principal y emergencia.
- Fuente reserva y emergencia.
- Por diseño no se pueden conectar en paralelo las fuentes principal y reserva.

## VII. CONCLUSIONES

La presente investigación referida al diseño e implementación de la nueva topología de la subestación principal en 10 kV del aeropuerto internacional Jorge Chávez, nos permite concluir en lo siguiente:

1. La fuente de reserva ha sido reactivada y repotenciada con una máxima demanda de 4 MW, 10 kV, 60 Hz (SED 0565 ubicada dentro del predio), con esto estamos suministrando energía al 100% de las cargas críticas en un lapso de 2 a 4 segundos. Con el cambio de topología de la subestación principal se ha mejorado la operatividad del sistema eléctrico permitiendo realizar los trabajos de mantenimiento, a las barras críticas, no críticas y de emergencia cuando sea necesario. Se dispone de la posibilidad de trabajar en paralelo con las siguientes fuentes:

Fuente principal (fijo) y fuente emergencia (variable).

Fuente reserva (fijo) y fuente emergencia (variable).

Únicamente la fuente de emergencia.

2. Para realizar la puesta en paralelo de los tres grupos electrógenos (fuente de emergencia) se utiliza el Power Command Digital Network el cual se halla interconectado con el DMC300, interruptores de transferencia y el equipo de monitorización remota. Este tipo de interconexión garantiza un arranque automatizado de los grupos electrógenos los cuales alimentan a la barra de emergencia en un tiempo máximo de 14 segundos (tiempo regulado por OSITRAN).
3. La inclusión de la nueva secuencia de operaciones y sistema de enclavamientos comandada y controlada por el DMC300, el cual tiene

nuevo hardware y software ampliado e integrado para la operación local y remota nos conduce a garantizar un excelente servicio logrando amplios márgenes de confiabilidad, fiabilidad y estabilidad del sistema eléctrico. Para tener una protección integral se ha demostrado que los enclavamientos eléctricos comandados por el DMC300 siempre estarán haciendo frente a múltiples ausencias de energía (fuentes principal, reserva y emergencia) y para velar por la integridad de los circuitos y equipos periféricos es que se han instalado modernos relés de protección. Respecto a las comunicaciones del sistema, los equipos de control, protección, regulación, DMC300 y BMS cuentan con un puerto serial donde se conecta una interface hombre máquina (IHM), que me permite interactuar con un computador. Teniendo la información ON LINE en el puesto de trabajo puedo controlar, programar, abrir o cerrar cualquier circuito en forma remota y/o local.

Finalmente podemos concluir que los resultados descritos anteriormente se han logrado gracias a la inclusión precisa y adecuada de cada uno de los componentes electrónicos, eléctricos, DMC300, BMS, interfaces, equipos y máquinas modernas adquiridas para este fin y con los trabajos antes descritos, estamos demostrando que el sistema eléctrico del AIJCH ha incrementado sustancialmente su confiabilidad.

## VIII. RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos en la investigación tanto en el diseño como en la implementación de la nueva topología de la subestación principal en 10 kV del aeropuerto internacional Jorge Chávez, nos permitimos recomendar lo siguiente:

1. Para mantener la operatividad de la fuente de reserva de 4 MW, 10 kV, 60 Hz es necesario utilizarlo en forma programada mensualmente y durante por lo menos dos horas, para lo cual se deberá coordinar con EDELNOR S.A.A. Con la implementación del cambio de la nueva topología de la subestación principal queda prohibido poner en paralelo las fuentes: Principal y reserva por tener parámetros fijos.
2. Para realizar la puesta en paralelo de los tres grupos electrógenos (fuente de emergencia) se utiliza el Power Command Digital Network el cual se halla interconectado con el DMC300, interruptores de transferencia y el equipo de monitorización remota. Este tipo de interconexión garantiza un arranque automatizado de los grupos electrógenos los cuales alimentan a la barra de emergencia en un tiempo máximo de 14 segundos (tiempo regulado por OSITRAN).
3. Dado que la nueva topología de la subestación principal ha sido cambiada es necesario capacitar a los responsables de su manejo en manual y automático. De esta manera se asegurará los márgenes de confiabilidad, fiabilidad y estabilidad planificados y proyectados. El cambio de topología de la subestación principal ha permitido ampliar las funciones del DMC y BMS el cual se puede visualizar en el computador. En tanto se recomienda la capacitación, por parte de



Cummins, de los responsables de la ingeniería de los equipos de control, protección, regulación, DMC300, BMS y redes de comunicaciones.

## IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ayoub, A. K. & Patton, A. D. (1976). *A frequency and duration method for generating system reliability evaluation*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems.
- [2] Billington R. & Allan R. (1997). *Reliability evaluation of power system*. Perseus Publ. New York.
- [3] Billinton, R. and Singh, C. (1977). *System Reliability Modelling and Evaluation*. London, England: Hutchinson Educational.
- [4] Billington, R. (1991). *Applied reliability assessment in electrical power systems*. IEEE Press, New York.
- [5] Billinton, R., Wacker, G. and Wojczynshi, E.(1984). *Interruption cost methodology and results - A Canadian commercial and small industry survey*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, N°. 2.
- [6] Billinton, R. & Grover, M. S.(1975). *A sequential method for reliability analysis of distribution and transmission systems, proceedings of the 1975 Annual Reliability and Maintainability Symposium*.
- [7] Cluley J. C. (1993), *Reliability in Instrumentation and Control*, Tuttermorth - Heinemann, Boston.
- [8] Endrenyi J. (1978), *Reliability Modeling in Electrical Power Systems*, Wiley, New York.
- [9] Hernandez Sampietri Roberto, Fernández Collado Carlos, Baptista Lucio María del Pilar (2010) *Metodología de la investigación*. McGraw Hill. Quinta Edición. México.
- [10] Latorre,A; Rincón,D; & Arnal,J. (2003) *Bases Metodológicas de la Investigación educativa: Etapas del Proceso Investigador -Población y Muestra*. Barcelona:GR92
- [11] Ramakumar R. (1993), *Reliability Engineering: Fundamentals and Application*", Prentice-Hall, Englewood, Cliffs.

- [12] Rojas R. (2013) Guía para realizar investigaciones sociales Plaza y Valdes Editores
- [13] Shooman, L. M. (1968), Probabilistic Reliability: An Engineering Approach, New York: McGraw-Hill.
- [14] Salinas, H (2013). Diseños de investigación. EUPG
- [15] Selltiz, C. Jahoda, M. (1965). Métodos de Investigación en las Relaciones Sociales. Madrid: Ed. RIALP, S.A. Capítulos 3 y 4; pp. 67-169.

## **NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL**

- 1.- ANSI C37-06 (1987) Standard for switchgear AC High Voltage Circuit Breakers rated on a symmetrical current basis. Preferred ratings and related capabilities.
- 2.- ANSI/IEEE C37-012 (1979) Application guide for capacitance current switching for AC High Voltage circuit breakers rated on a symmetrical current.
- 3.- ANSI/IEEE C37-09 (1979) Standard test procedure for AC High Voltage circuit breakers rated on a symmetrical current basis.
- 5.- ANSI/IEEE C37-1 (1987) "Definition, specification, and analysis of systems used for supervisory control, data acquisition, and automatic control", IEEE, New York, 1987.
- 6.- IEEE Brown Book, IEEE Std. 399-1997 , IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis.
- 7.- IEEE Red Book, IEEE Std. 141-1993, IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.

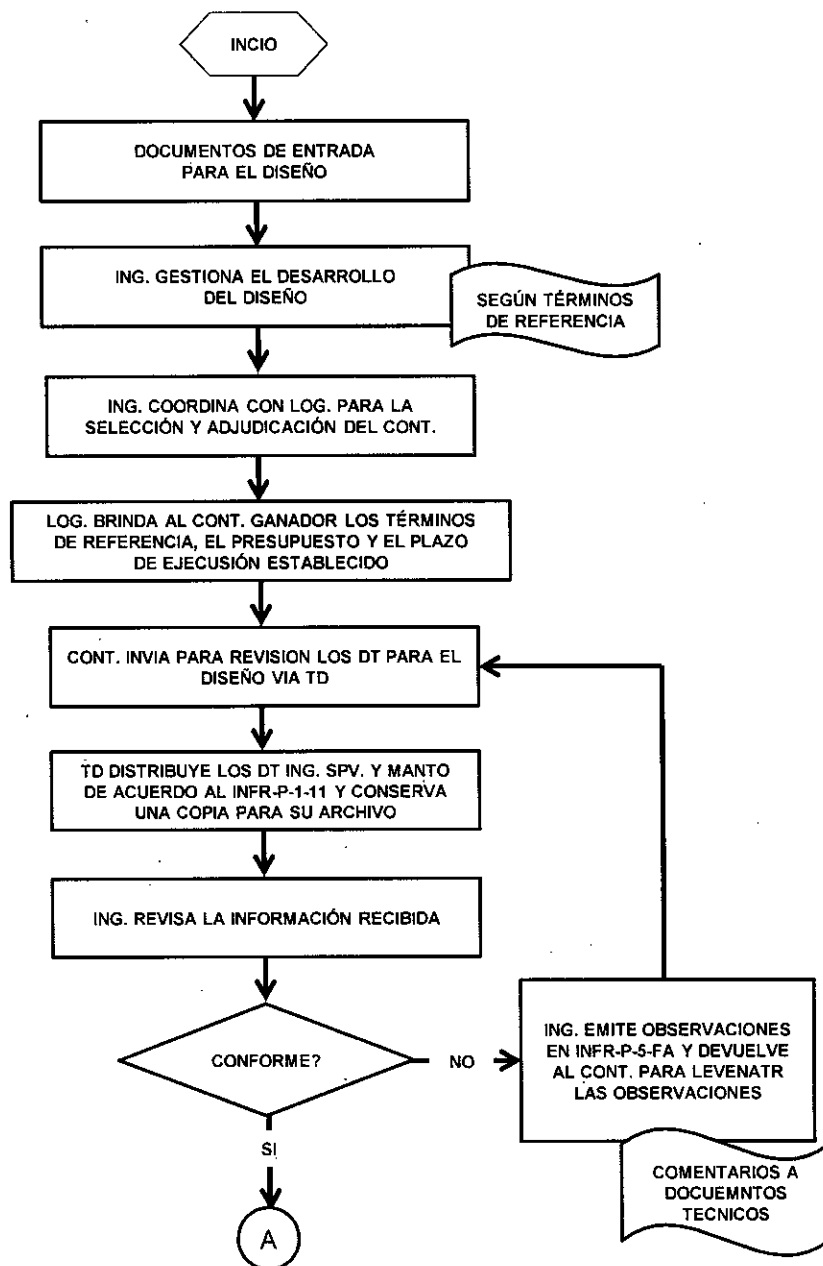
## CERTIFICACIONES INTERNACIONALES:

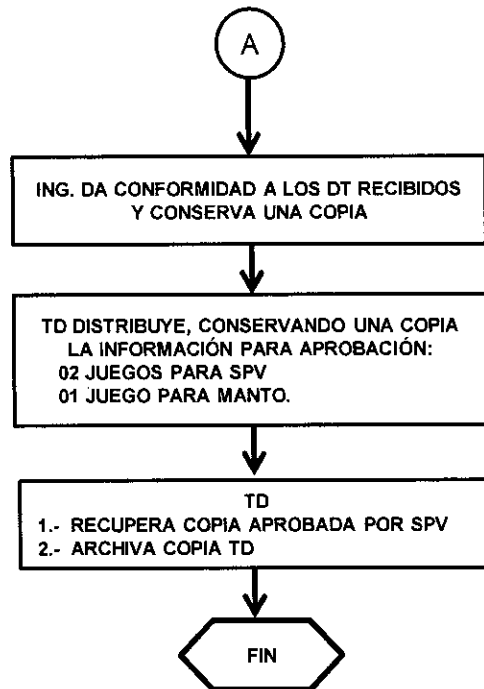
El DMC300 y Power Command system cumple o supera los requisitos de los siguientes códigos y normas:

1. ANSI C62.41 : sobretensión no disruptiva
2. CSA C282 - M1999 Cumplimiento y CSA 22.2 No. 14 Controles Industriales M91
3. CSA - Este producto está certificado por CSA.
4. ISO 8528-4: 1993, Cumplimiento de Controles y Conmutación de Equipos
5. ISO 7637, pulsos # 2b, 4; DC prueba de picos de tensión de alimentación.
6. ISO9001 - Este conjunto de productos se ha diseñado y fabricado en instalaciones certificadas.
7. UL - El grupo electrógeno está en la lista UL508 y adecuado para su uso en sistemas de generador que se enumeran a UL 2200, motor parado.
8. UL 508 El control PowerCommand - Categoría NITW7 para el uso en EE.UU. y Canadá.
9. UL508 Listed, Categoría NIWT7 para EE.UU. y Canadá.
10. IEC 801.2, 3, 4, 5: para la susceptibilidad llevó a cabo y las emisiones electromagnéticas radiadas.

## **X.- APÉNDICES**

## APENDICE N° 1. FLUJO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA ELABORACIÓN, REVISIÓN Y APROBACIÓN DEL DISEÑO DE DOCUMENTOS TECNICOS





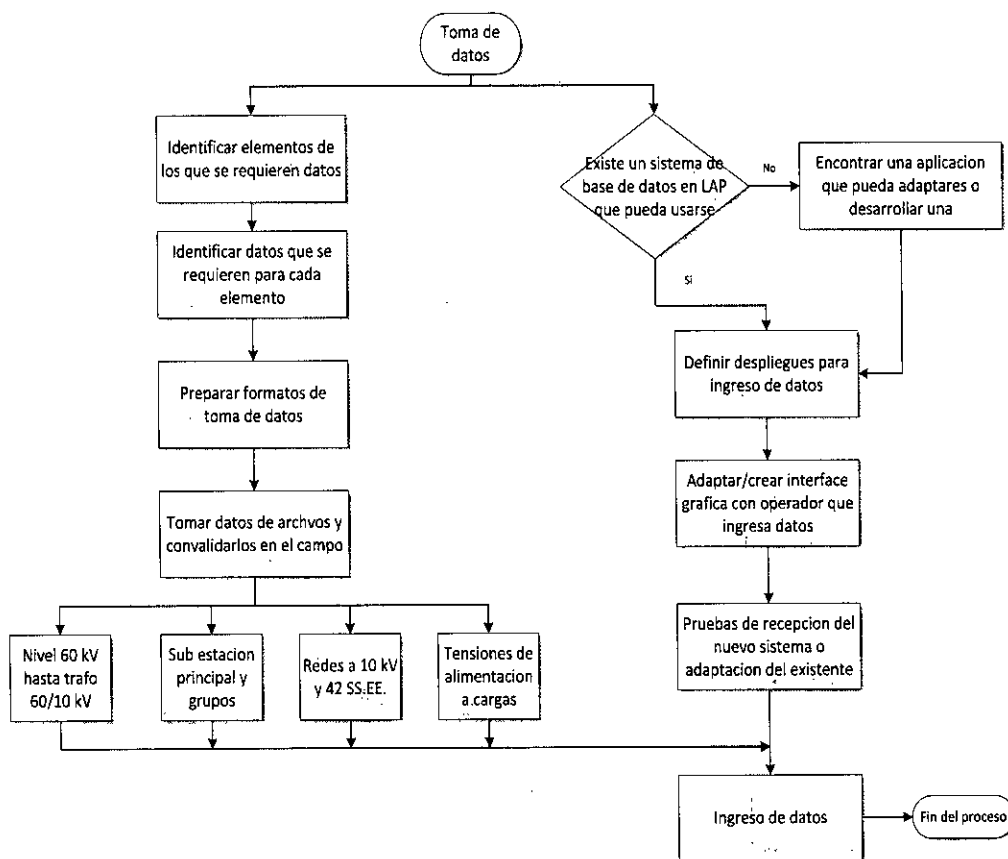
LEYENDA
ING. INGENIERÍA
LOG. LOGISTICA
TD. TRAMITE DOCUMENTARIO
CONT. CONTRATISTA
MANTO. MANTENIMIENTO
SPV SUPERVISIÓN
DT. DOCUMENTO TECNICO

Fuente: Elaboración propia



## APENDICE N° 2. FLUJO DEL PROCESO DE TOMA DE DATOS

El flujo del proceso de toma de datos puede representarse en forma simplificada mediante el siguiente diagrama.

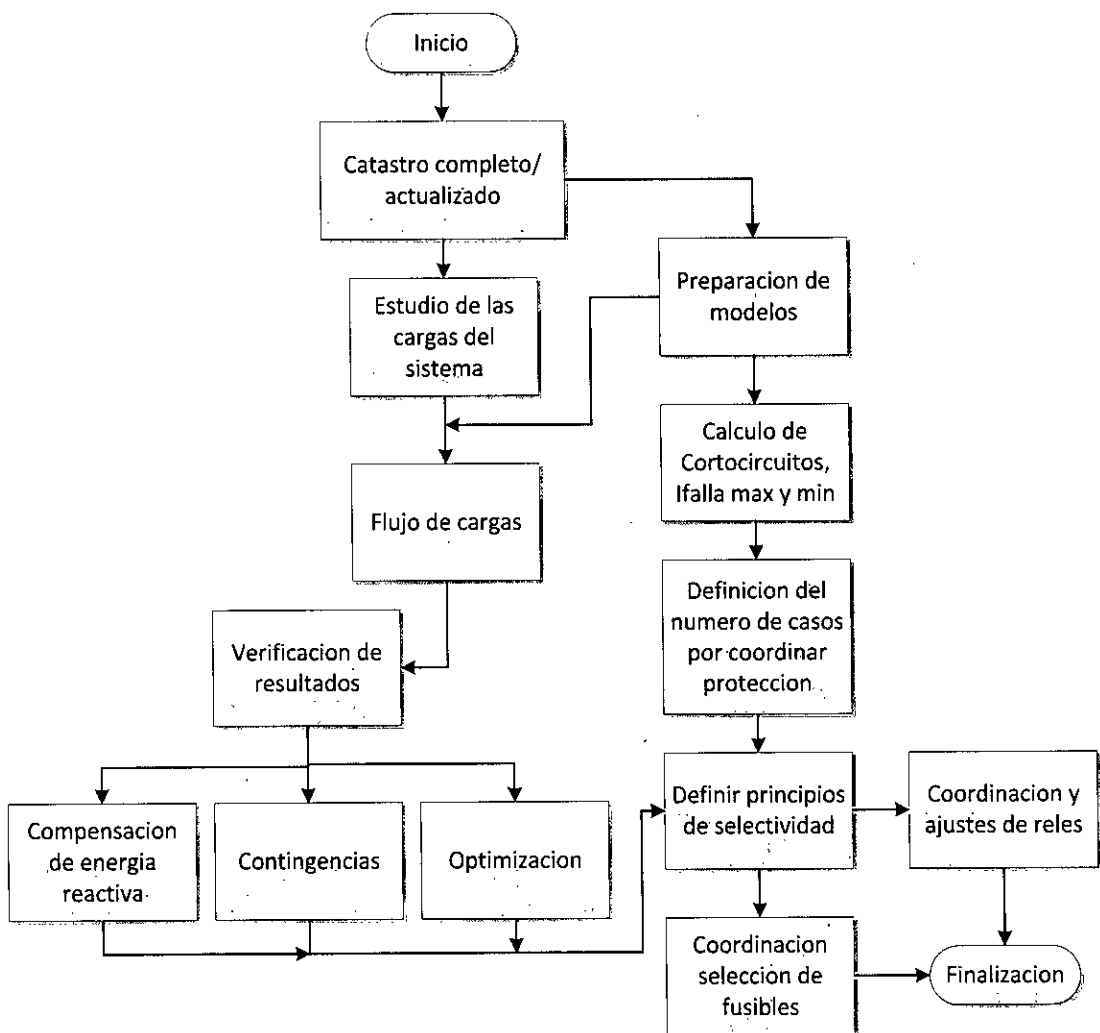


Fuente: Elaborado por Msc Ing. Víctor Ortega Polo

Cabe recalcar que al nivel en que estamos, las tareas correspondientes a la implementación del sistema de manejo computarizado de datos depende en gran medida de la capacidad de adaptación de los sistemas que se tengan operando en el AIJCH.

### APENDICE N° 3. FLUJO DEL PROCESO DE COORDINACIÓN DE LA PROTECCIÓN

El proceso de coordinación de la protección del sistema del AIJCH, puede simplificarse tal como se presenta en el diagrama de flujo que se muestra a continuación:



Fuente: Elaborado por Msc Ing. Víctor Ortega Polo

Con los datos obtenidos/verificados en campo y la base de información actualizada se podrán preparar los modelos para representar la línea a 60 kV, el transformador 60/10 kV, todos los circuitos de 10 kV y circuitos a nivel de tensión secundaria.

Es importante mencionar que tanto para la obtención de datos como para la elaboración de modelos, el sistema puede fraccionarse en partes a fin de controlar mejor los costos de los trabajos y definir su extensión.

Cuando se trata de contratar servicios para la realización de estudios y ajustes, es imperativo cuantificar con la mayor claridad posible, la extensión de los trabajos.

Por este motivo a este nivel de elaboración de modelos se debe cuantificar el número de nodos, circuitos, elementos de protección en serie y tipos de elementos de protección entre otros.

## APENDICE N° 4. DIGITAL MASTER CONTROL DMC300

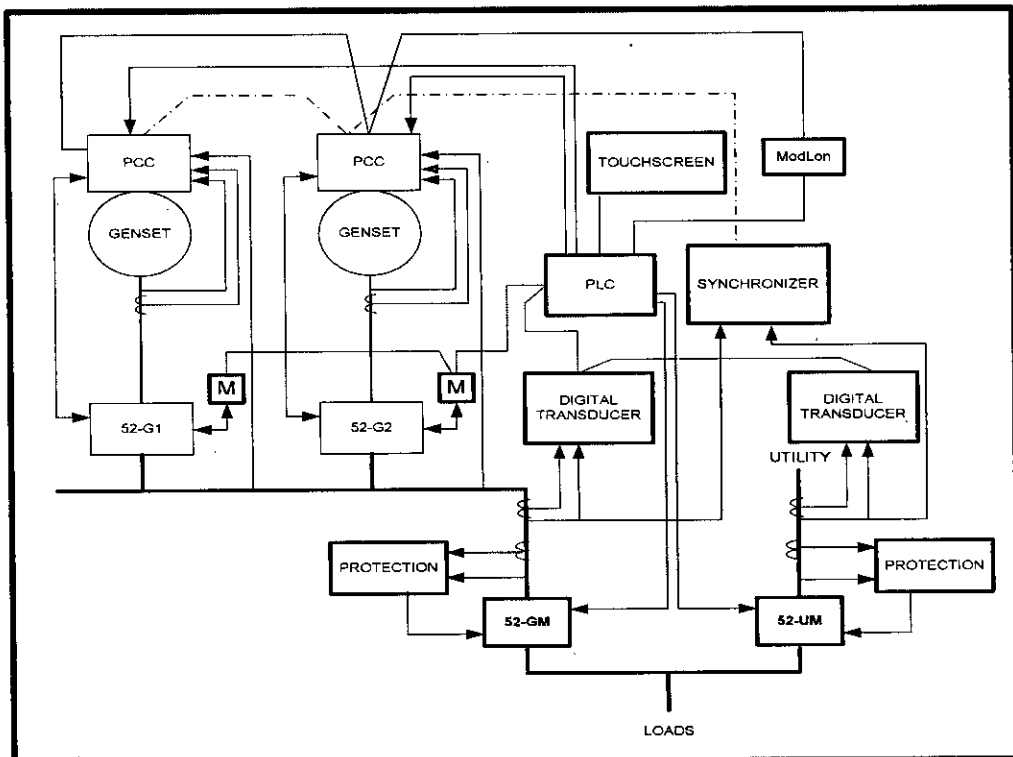
El sistema de control digital cumple con requerimientos muy severos y sofisticados de trabajo automático.

### 4.1. DMC300 ACTUAL

Actualmente el AIJCH dispone de un sistema eléctrico de media tensión tal como el que se muestra en IE – 06.

### 4.2. DMC 300 PROYECTADO

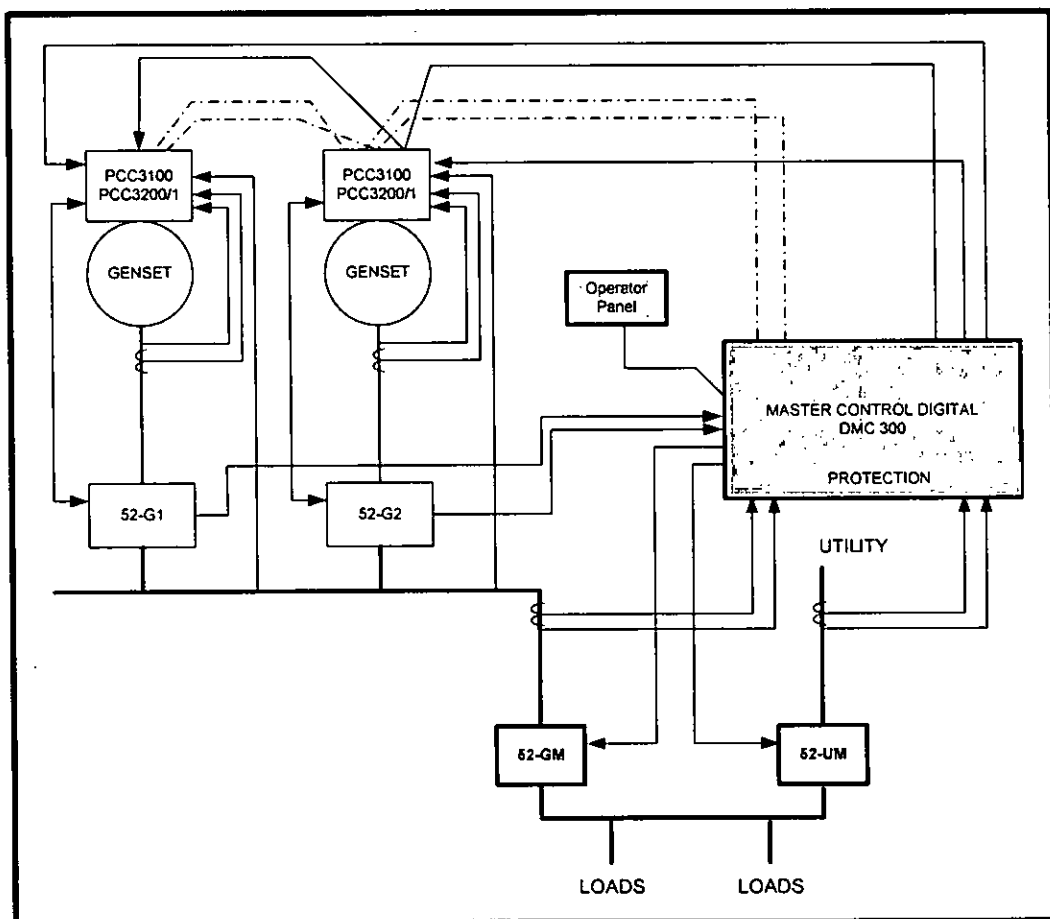
Figura N° A4.1.- Diagrama de bloques general del DMC300 proyectado



Fuente: Cummins Generation LTD England

El equipo actual presenta deficiencias en su programación para las operaciones del paralelismo de la red principal y los grupos electrógenos. Para brindarle darle mayor confiabilidad al sistema eléctrico del aeropuerto se ha desarrollado una nueva topología de la subestación principal. Por seguridad todos los enclavamientos de seguridad requeridos por el sistema se implementarán en forma cableada en los tableros. El diagrama de la conectividad del DMC300 y los periféricos se puede ver en IE – 10.

Figura N° A4.2.- Diagrama de bloques especial del DMC300



Fuente: Cummins Generation LTD England

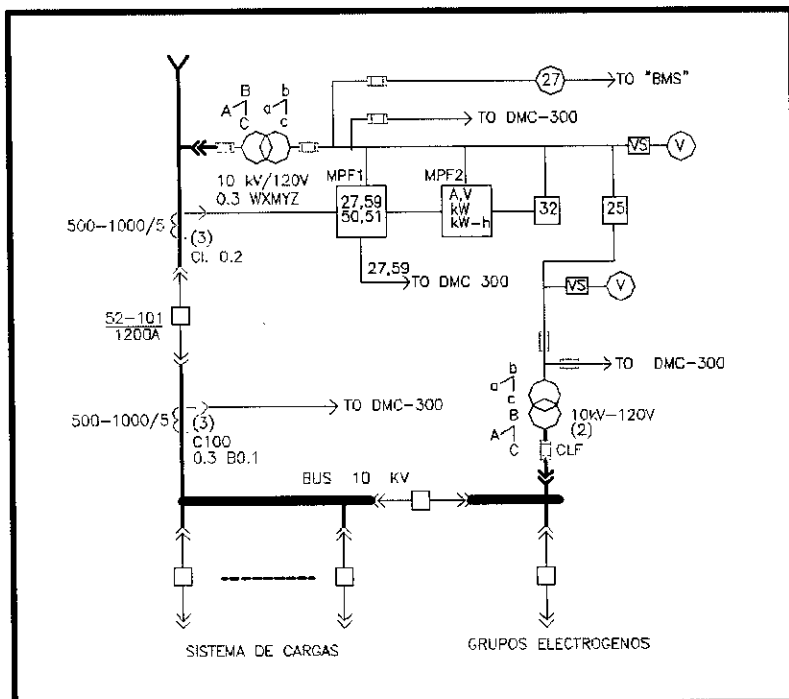
### 4.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Este sistema de control ofrece una amplia gama de funciones de visualización digital de control y modo personalizado de la operatividad del sistema eléctrico.

Las principales características de control incluyen:

- Función de control principal para realizar paralelismo.
- Alta resolución a color gráfica táctil.
- Carga automática de la adición y eliminación.
- Estrecho vínculo del DMC300 y el Power Command Digital Network.
- Interfaz de usuario local y remota.

Figura N° A4.3.- Diagrama unifilar del sistema de BT DMC300.



Fuente: Cummins Generation LTD England

#### **4.4. SISTEMA DE CONTROL**

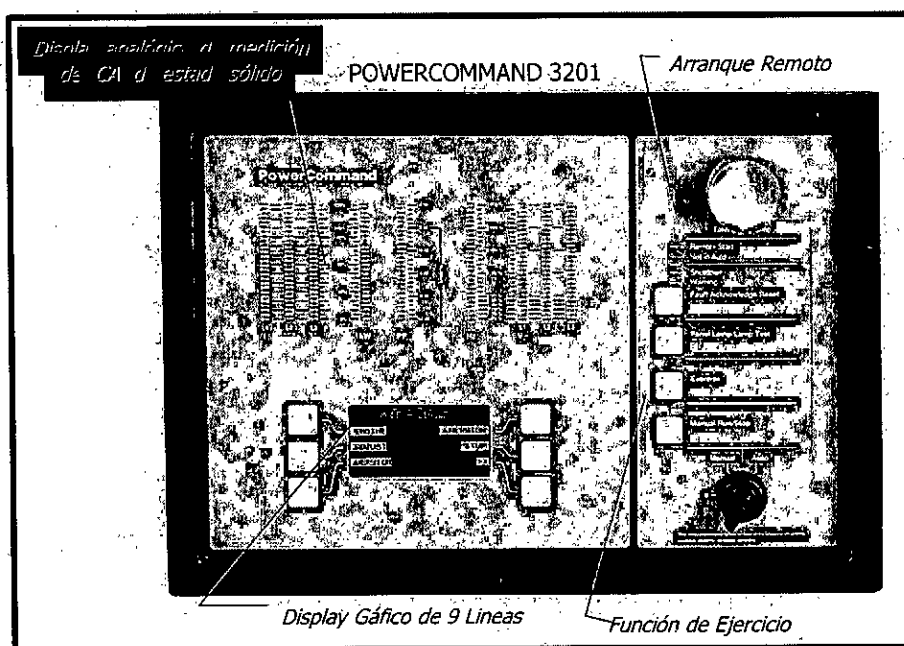
El HMI disponible del sistema proporciona al operador la capacidad de activar o desactivar las siguientes operaciones:

- De la carga (generalmente de la máxima demanda).
- Ver y establecer la secuencia de carga.
- Iniciar las pruebas con o sin carga.
- Rechazo de carga.
- Secuencia de operaciones a elegir.
- Elección de los casos de trabajo.
- Ensayos a máxima demanda de cada generador.

## APENDICE N° 5. POWER COMMAND PARALLELING SYSTEM

El Power Command y el Digital Master Control es un sistema de alto nivel diseñado para interactuar directamente con la fuente de potencia en paralelo con el Power Command de los grupos electrógenos. El DMC300 incluye una lógica completa distribuida del sistema de control de complejos y exigentes sistemas eléctricos de potencia en los que la fiabilidad, rendimiento y flexibilidad son primordiales.

Figura N° A5.1.- Vista frontal del Power Command Digital Network



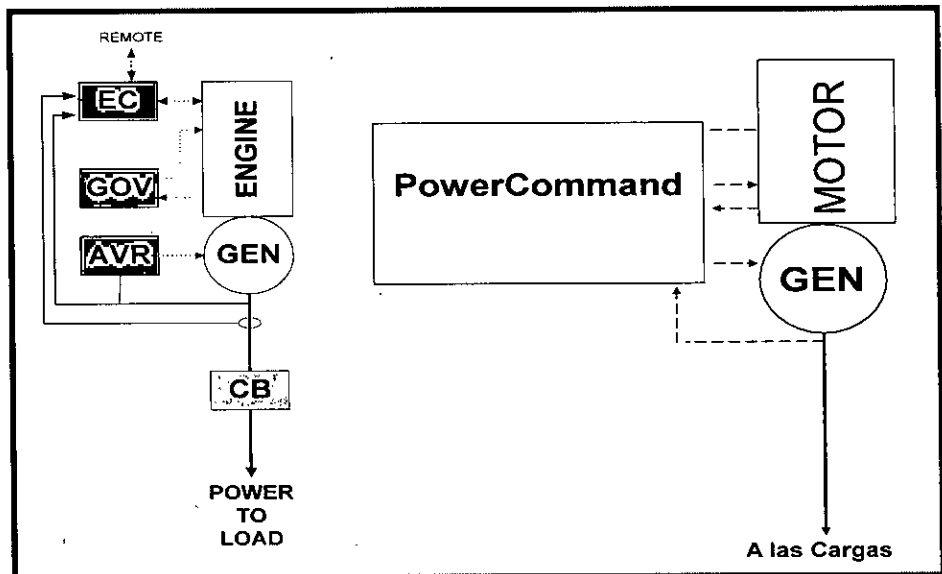
Fuente: Cummins Generation LTD England

El Power Command (ver figura N° A5.1) es un sistema que controla y comanda los grupos electrógenos en paralelo donde el generador establece controles programados en disposición con todas las funciones paralelas incluyendo el control, protección y sincronización del grupo eléctrico,



primero en el bus lógico, la carga compartida (para operación de bus aislado con otros grupos electrógenos) y la carga gobierno (para la red interconectada - operación).

Figura N° A5.2.- Sistema de control del Power Command Digital Network



Fuente: Cummins Generation LTD England

Para el sistema historial de alarmas (ver figura N° A5.2) el maestro de control de pantalla táctil registra la fecha, hora y la naturaleza de todas las condiciones de alarma y de parada informa sobre el estado del sistema. Este registro incluye todas las alarmas presentes en el conjunto generador – motor y todo el control maestro y funciones de la red conectada.

### 5.1. LOS COMPONENTES INTERNOS SISTEMA PLC

Las funciones de paralelismo y control son suministradas por este equipo el cual establece las condiciones de la puesta en paralelo.

El sistema de la lógica de control tal como añadir y/o rechazar carga se

realiza por un PLC.

A continuación se incluyen las características del PLC:

- **On-line cambios.-** Puede ser interconectado a unas secuencias de ordenadores personales de control y puede ser modificada sin necesidad de apagar el sistema.
- **Almacenamiento de programa EEPROM.-** El programa del PLC almacena en la memoria EEPROM con batería de reserva adicional de la RAM los ajustes de configuración del sistema.
- **Indicadores LED de estado.-** Incluyen indicadores LED de estado para la visualización del estado del sistema y el diagnóstico de fallos.
- **E/S de bloques supresores de sobretensiones.-** Las entradas y salidas del PLC se conectan a través de supresores de sobretensión integrales.

## 5.2. FUNCIONES DE PROTECCIÓN Y CONTROL

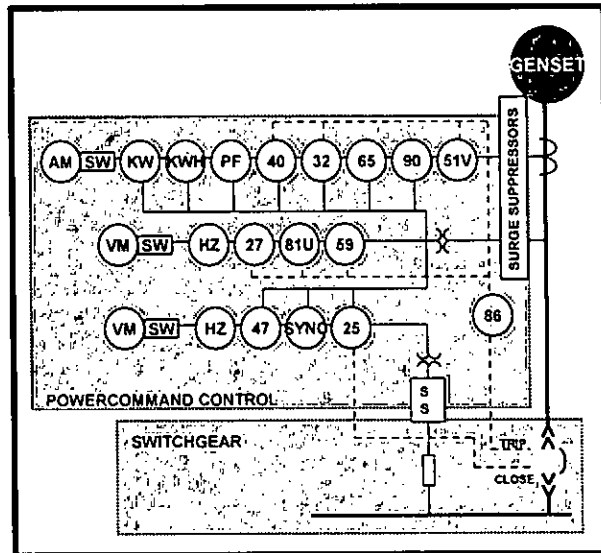
La protección del sistema son suministradas por las funciones tal como se presenta en la figura N° A5.3

Este equipo cuenta con todas las funciones del sistema de protección, o se pueden ajustar a través de los paneles de mando del grupo electrógeno.

El equipo es aliemntado del banco de baterías de 24 V CC. Las baterías de la estación y sus respectivos cargadores respaldan la disponibilidad de la fuente del sistema de control.

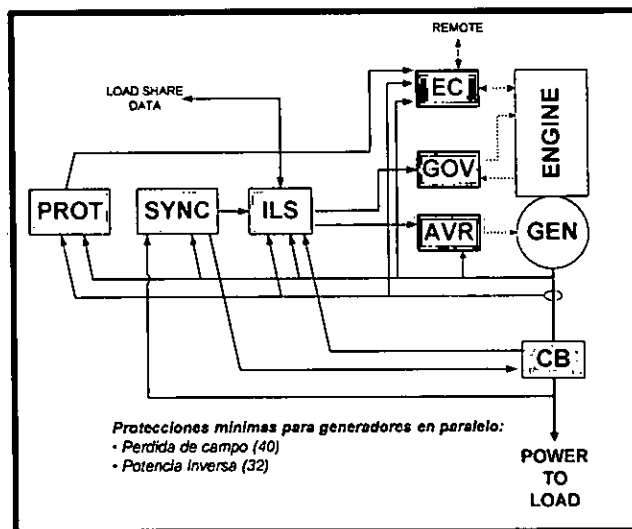
El nivel del sistema de protección es suministrado en el software proporcionado por el fabricante según el grado de complejidad del sistema eléctrico.

Figura N° A5.3.- Funciones de protección del Power Command Digital



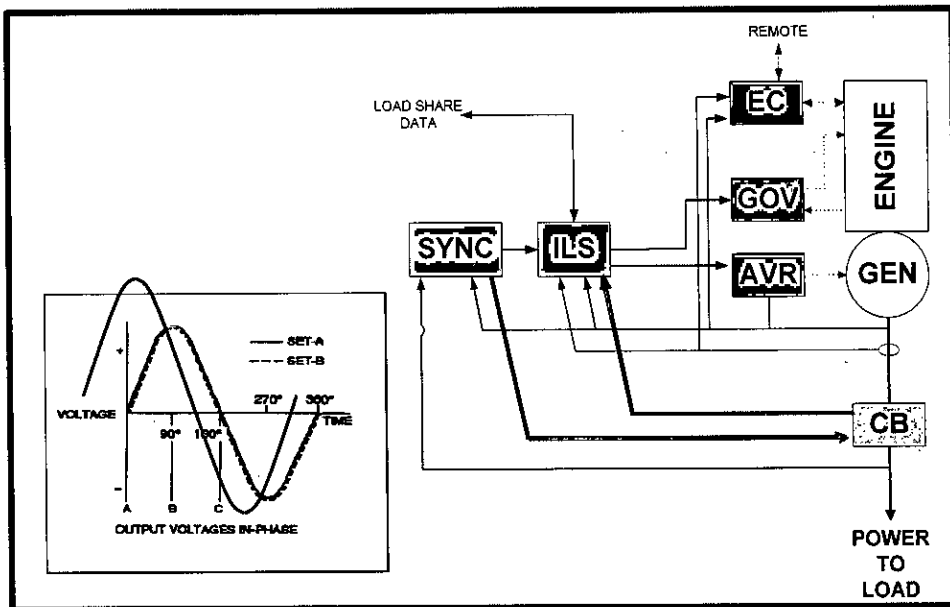
Fuente: Dr. J. Charles Mozima

Figura N° A5.4. Diagrama de bloques del Power Command Digital



Fuente: Cummins Generation LTD England

Figura N° A5.5. Sincronización del Power Command Digital



Fuente: Cummins Generation LTD England

El equipo del sistema controla la transferencia mediante los interruptores de potencia e indican que grupo es el maestro y los esclavos.

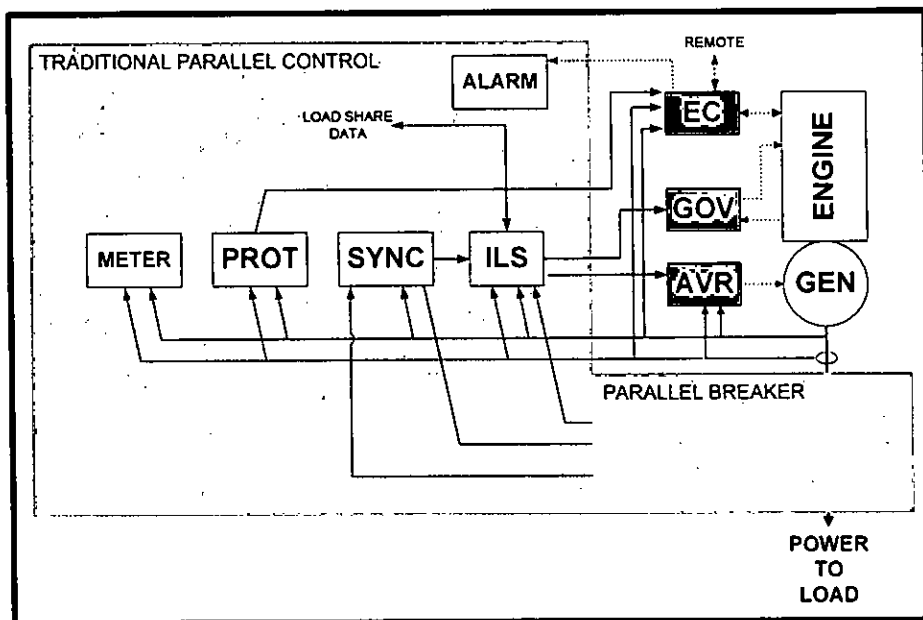
Cuando recibe una señal, cada grupo electrógeno es controlado automáticamente y de forma independiente cada generador comienza acelerar hasta la frecuencia nominal y se va incrementando hasta la tensión nominal.

Después que se enciende la primera unidad se cierra el bus, y los generadores restantes disponibles automáticamente se enciende. Al mismo tiempo, el sincronizador controla a cada grupo electrógeno para sincronizar con el bus del sistema y después cerrarla en el momento deseado y apropiado.

### 5.3. CONTROL DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA

El DMC300 y los interruptores de potencia proporcionan alimentación al sistema de control de transferencia automática. Así mismo también se puede visualizar en la figura N° A4.3 como el DMC300 recibe la señal de control de las barras donde se ubican las fuentes de control AC y DC.

Figura N° A5.6. Diagrama de bloques del Power Command Digital



Fuente: Cummins Generation LTD England

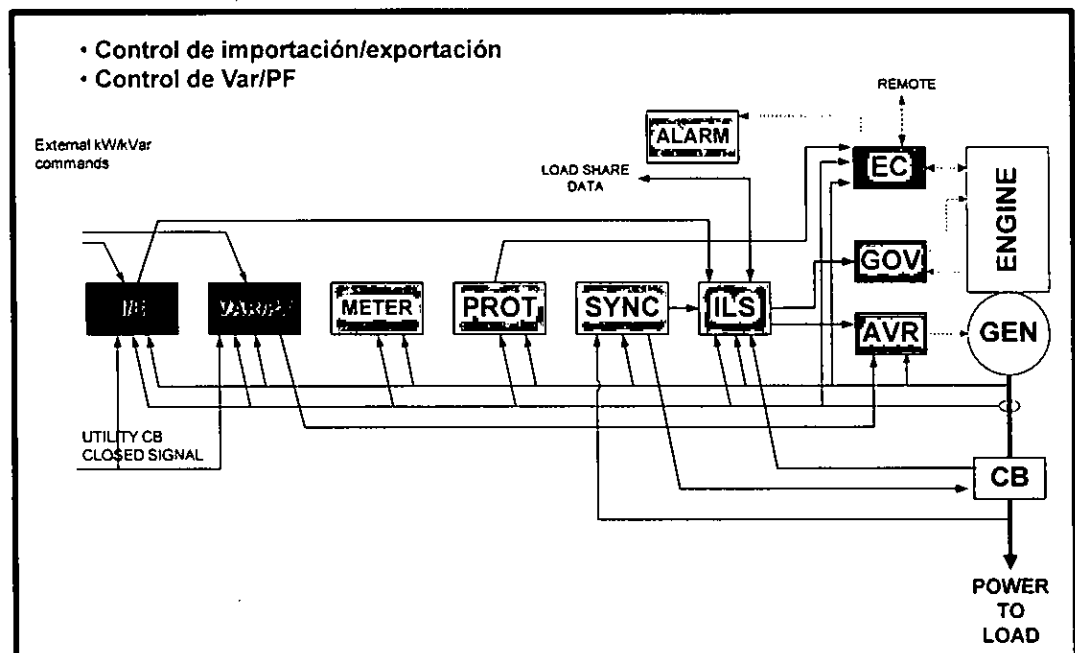
El DMC300 puede controlar la operación de transmisión de energía de hasta una capacidad adecuada disponible para servir suministrar carga a los consumidores conectados.

En operación manual el sistema de control está disponible para que el operador controle la transferencia para poder adecuarse a la potencia que la carga requiere.

#### 5.4. GESTIÓN DE LA CAPACIDAD DE DEMANDA

Cuando exista la falta de energía normal, será detectado por el DMC300, y este realizará la transferencia a la fuente de reserva en el menor tiempo posible, esto en forma automática. Inmediatamente después la fuente de reserva se pondrá en paralelo con los grupos electrógenos. El proceso de retransferencia, ya sea en lazo cerrado o abierto del modo de transición, según lo seleccionado por el operador.

Figura N° A5.7. Control y gobierno de la carga - Power Command Digital



Fuente: Cummins Generation LTD England

Si se ejecuta en el modo de lazo cerrado, el sistema sincroniza los grupos electrógenos y se cierra para la fuente de servicio. El sistema operará lo más rápidamente posible en 100 milisegundos o menos

## **APENDICE N° 6. SECUENCIA DE OPERACIONES DEL DMC300**

El digital master control, es el equipo inteligente que realiza la gestión de: Control, mando, protección, rechazo de carga, selecciona las fuentes principal y reserva y enlaza a la fuente de emergencia según los requerimientos del usuario, el cual presentamos a continuación:

### **CASO1.- CONDICIONES NORMALES**

En condiciones normales el sistema operará con sus interruptores tal como se les define a continuación:

- Interruptor 52-A cerrado.
- Interruptor 52-B abierto.
- Barras A y B conectadas mediante los interruptores de acoplamiento 52-301 y 52-305 cerrados.
- Todas las cargas de las barras de las barras A y B se hallan alimentadas.
- Los interruptores 52-302 a 304 abiertos.
- Los interruptores 52-G1 a 52-G3 abiertos.
- Los generadores pueden emplearse como reserva de las barras A y B.
- El sistema cuenta con enlaces en la subestación mecánica y Nueva sur a nivel 10 kV y aguas abajo a nivel 230 y 480 V.

### **CASO 2.- MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE BARRAS A**

Este mantenimiento se programará y realizará según procedimientos de mantenimiento y seguridad de LAP.

La desenergización de la barra A se hace realizando la transferencia de las cargas de la barra A a la B (para lo cual ya existe un procedimiento).

- Si se va a abrir el interruptor de suministro normal, se debe rechazar carga.
- Siguiendo las prioridades dadas por LAP, el DMC300 inicia el rechazo de carga en la barra B, hasta que la potencia entregada por la alimentación A sea cero.
- El DMC300 abre el interruptor de acoplamiento 52-301.
- El DMC300 sincroniza los generadores con el suministro de back up.
- El DMC cierra el interruptor 52-B.
- El DMC300 restablece toda la carga en la barra B reconecta los alimentadores en la barra B.
- El DMC300 descarga en forma automática los generadores hasta que la carga por el suministro de back up alcanza los 4 MW.
- El DMC300 abre el 52-A
- El sistema es ahora alimentado desde el suministro de back up y los 3 generadores diesel.
- Mientras el DMC300 se encuentre operando en este modo el comando de cierre de los interruptores 52-A y 52-301 permanecerá bloqueado.
- Mantenimiento pone la sólida puesta a tierra de la barra A.

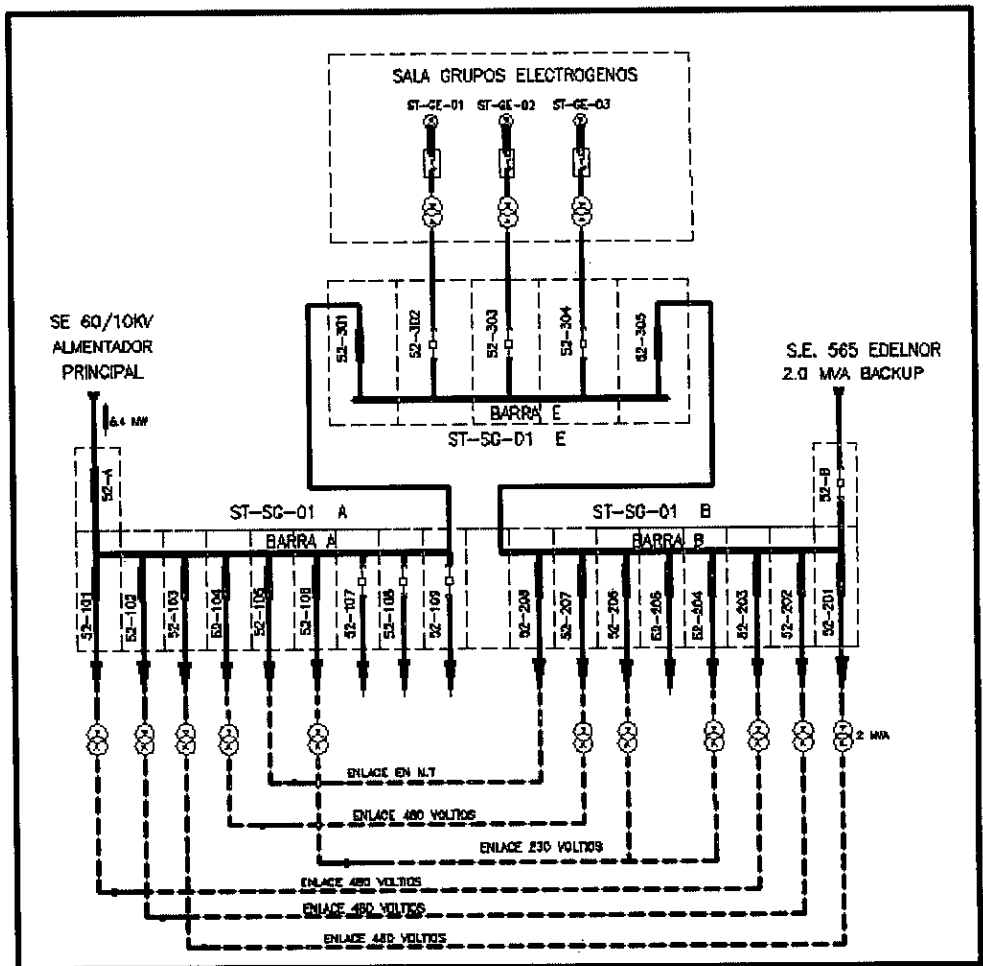
### **CASO 3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE BARRAS B**

Este mantenimiento se programará y realizará según procedimientos de mantenimiento y seguridad de LAP.

- El operador inicia el modo "Mantenimiento de las barras B", empleando los botones pulsadores HMI en el DMC.
- Transferir todas las cargas de la barras B a la A.
- No se pierde ninguna pérdida de suministro.
- El DMC300 abre el 52-305.
- El DMC300 abre el 52-B



Figura N° A6.1.- Para trabajo en condiciones normales

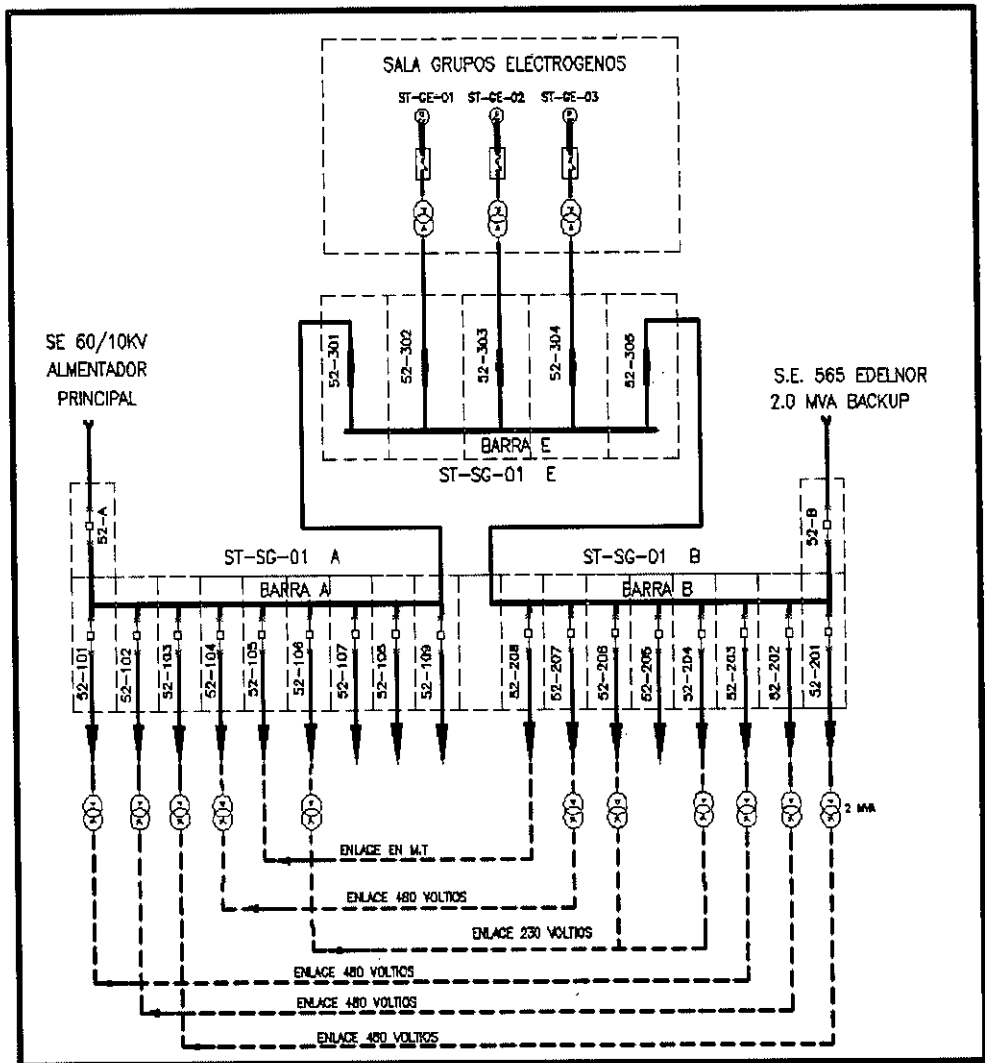


Fuente: Elaboración propia

- Se abren todos los interruptores de carga en la barra A.
- El DMC300 arranca los tres generadores y luego les comanda que entren en paralelo mediante los interruptores de baja tensión, con el sistema de barras de emergencia que está todavía alimentado todo el sistema por el suministro normal.
- Los generadores toman carga hasta su máxima capacidad.

- El operador pone llave al 52-305 y 52-B.
- Mantenimiento pone la sólida puesta a tierra de la barra A.

Figura N° A6.2.- Falla y retorno al suministro normal



Fuente: Elaboración propia

#### **CASO 4. FALLA Y RETORNO DE AMBOS SUMINISTROS**

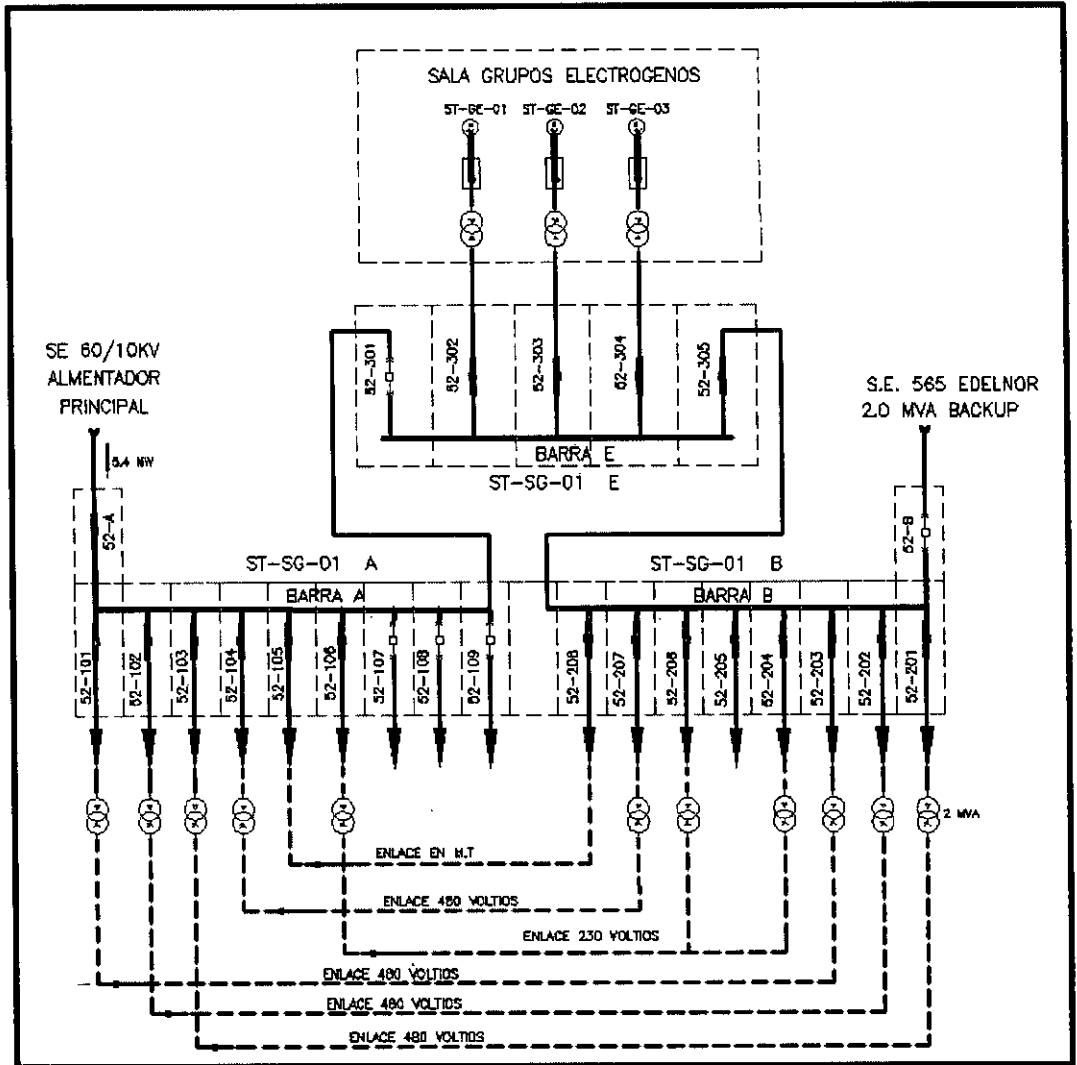
- Tanto el suministro normal como el de back up envían al DMC300 una señal de falta de tensión, mediante un contacto que cierra en caso de falla.
- El DMC300 abre el 52-A y 52-B.
- El DMC cierra el 52-301y 52-305.
- El DMC300 cierra el 52-302 al 52-304.
- Los grupos se ponen en paralelo.
- En cuanto se confirma la presencia de tensión en las barras A y B, el DMC300 restablecerá el servicio hasta donde sea posible, en base a la secuencia de prioridades proporcionada por LAP.
- Así los generadores están ahora completamente cargados y alimentando solos el máximo de carga que les sea posible.

#### **CASO 5. FALLA SUMINISTRO BACK UP**

En el caso de que falle el suministro back up, pero se cuente todavía con el servicio normal, la secuencia de eventos programada será como sigue:

- La falla del suministro back up será detectada por el DMC300.
- El interruptor 52- B debe de estar abierto.
- El DMC300 controla que el 52-B esté abierto.
- DMC300 avisa que el suministro de back up no está disponible.
- DMC300 no toma ninguna acción y el suministro normal alimenta todas las cargas.

Figura N° A6.3.- Para suministro restringido em ambos lados



Fuente: Elaboración propia

### TEST 1. PRUEBA DE GRUPOS CON CARGA

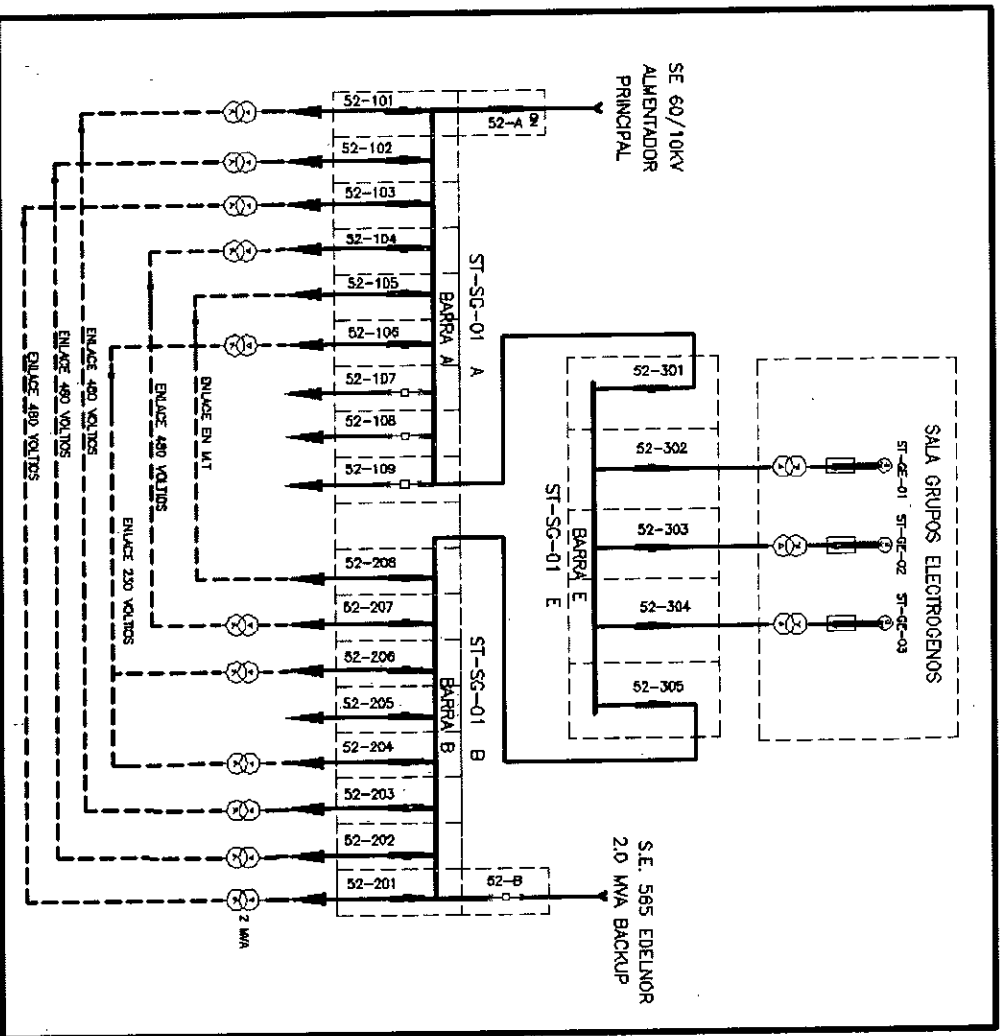
- Si se selecciona el modo "Prueba con carga".
- El DMC300 da la señal de arranque a los generadores

- Cierra los interruptores 52-302 al 52-304
- Los grupos se sincronizan y cierran el 52-G1 al 52-G3 y ponen en paralelo con las barras de emergencia.
- Una vez en paralelo los grupos tomaran carga lentamente.
- Los generadores a su carga máxima por poco tiempo dado en el DMC300.
- Cuando la carga de los generadores sea del orden de 50 KW, se abren los 52-G1 al 52 - G3, y se detienen.
- Ahora estamos trabajando en condiciones del caso 1.

## **TEST 2. PRUEBA DE LA SINCRONIZACIÓN REMOTA**

- Sacar fuera de servicio algunas cargas, de acuerdo a las prioridades establecidas.
- Se requiere reducir la carga a un valor menor a los 4,500 kW.
- El DMC300 verifica que los dos suministros el normal y el Back Up estén en condiciones normales.
- El DMC300 da la señal de arranque a los generadores
- Se cierran los 52-302 al 52-304
- Los grupos se sincronizan, cierran los 52-G1 al 52-G3 y ponen los grupos en paralelo.
- Así alimentan la barra de emergencia.
- Una vez en paralelo los grupos tomaran carga lentamente.
- A medida que toman carga, la carga a través del suministro normal se reducirá en la misma medida.
- Una vez que la carga por el suministro normal se ha reducido a un valor cercano a cero o en todo caso menor a 50 KW, se abre el interruptor 52-A, dejando a los grupos alimentando solos la carga del sistema.

Figura N° A6.4.- Para la prueba de sincronización remota



Fuente: Elaboración propia

- Pasado un tiempo configurable en el DMC300, los generadores se sincronizaran con la alimentación de Back Up a 10 kV
- Logradas las condiciones de paralelo se cerrará el 52-B
- Los grupos bajaran lentamente unos 200 kW permitiendo que el suministro de Back Up tome la carga por un tiempo configurable de pocos minutos.

- Pasado el tiempo ajustado, los grupos retomarán la carga completa del sistema reduciendo a un valor cercano a cero, la carga del suministro de Back Up.

### **TEST 3. PRUEBA DE GRUPOS SIN CARGA.**

- Si se selecciona la opción "Prueba de grupos sin carga" el DMC300 realiza los siguientes pasos:
- Arranca los generadores pero no se cerrarán ni los interruptores 52-302 al 52-304 ni los 52-G1 al 52-G3. Se recomienda que se ajuste el tiempo de marcha en vacío de los grupos solamente por cortos períodos
- A la terminación de la prueba, el DMC300 quita la señal de arranque a los grupos, estos corren durante su periodo de enfriamiento y paran.
- Ahora el sistema está trabajando en condiciones normales, tal como se describe en el caso 1.

## **APENDICE N° 7. BMS E INTERFACE CON EL SCADA**

Las interfaces entre el sistema eléctrico de distribución, los sistemas scada, BMS y master control (DMC300) se realizan con el propósito de clarificar el funcionamiento del sistema para lo cual describiremos cada tipo de interface en forma independiente, a saber:

### **7.1. PUNTOS DE ESTADO: BMS Y DMC**

Para la indicación de la posición de un dispositivo, sea relé, interruptor, alarma etc.; los paneles deben llevar los contactos auxiliares de los interruptores, alarmas y relés auxiliares a bornes desde donde se les conecte vía cables multifilares blindados a los sistemas BMS y DMC300. Cada sistema debe indicar si requiere un solo contacto cuyo cambio indique un cambio de estado o si requiere indicación de cambio y verificación; en cuyo caso cada punto requiere dos contactos auxiliares. Uno cuyo cambio indica cambio de estado en el dispositivo supervisado y otro la verificación de que se ha realizado el cambio.

Por lo menos, para cada interruptor, el BMS debe recibir las siguientes señales de posición:

- Interruptor cerrado - abierto
- Interruptor insertado – extraído de su panel
- Operación del relé 50/51
- Operación del relé de mínima tensión.

### **7.2. TELEMANDO: BMS Y DMC**

Ambos sistemas tienen la capacidad de telecomandar el cierre y apertura de los interruptores.

En nuestro caso, los telemandos de interruptores solo se realizan desde el DMC300, por lo que el cableado para implementar este tipo de



funcionalidad se hará como parte de la interface de los paneles con el DMC.

### **7.3. MANDOS A LOS GENERADORES Y SINCRONIZACIÓN.**

Los mandos a los generadores, así como su sincronización sea entre ellos o con los suministros principal (60 kV) y respaldo (10 kV), se realizan mediante el DMC300. Desde el punto de vista del cableado de interface entre sistemas, el DMC300 y los generadores pueden considerarse como una sola entidad ya que esta parte no va a ser alterada.

El BMS y el DMC300 tienen ya una interface entre ellos que se realiza empleando una puerta serie del DMC300: Mediante esta interface, el BMS tiene acceso a la base de datos del DMC300 y puede leer de ella la data que le sea relevante. En el caso de los generadores, el sistema BMS recibe a la fecha los siguientes valores referentes a cada grupo:

- Tensión de batería
- Presión de aceite
- temperatura del aceite
- Temperatura del fluido de refrigeración
- R.P.M.
- Tiempo de operación del generador
- Tensiones entre líneas (3 valores)
- Corrientes en las tres fases (3 valores)
- Potencias activa, reactiva y aparente
- Frecuencia
- Factor de potencia
- Alarmas y señalizaciones de cada grupo

Teniendo en cuenta que como parte de trabajos actuales se modificará

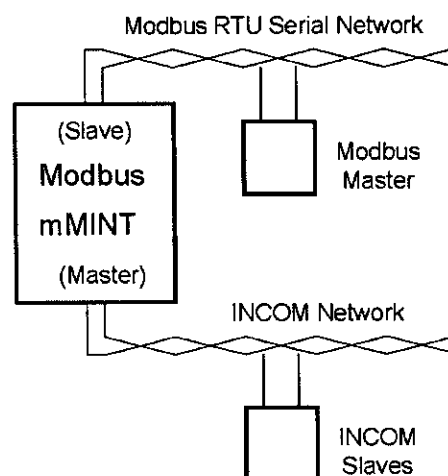
la topología de la red, la base de datos del DMC300 será modificada para incluir los nuevos puntos y redefinir otros.

El DMC300 será actualizado por Cummins, suministrador del sistema. La actualización del BMS sin embargo, requiere del apoyo de un administrador de su base de datos; para que actualice los despliegues así como los puntos dinámicos en los mismos.

La actualización de esta interface no requiere de ningún cableado adicional, ya que se utilizará el cableado existente.

El siguiente esquema muestra en forma simplificada la conexión del convertidor tanto con las unidades esclavas como con la remota del sistema BMS.

Figura N° A7.1. Conexionado del sistema de data



Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista del cableado, no se está modificando en nada la conexión entre Modulo convertidor Mmint y el sistema BMS.

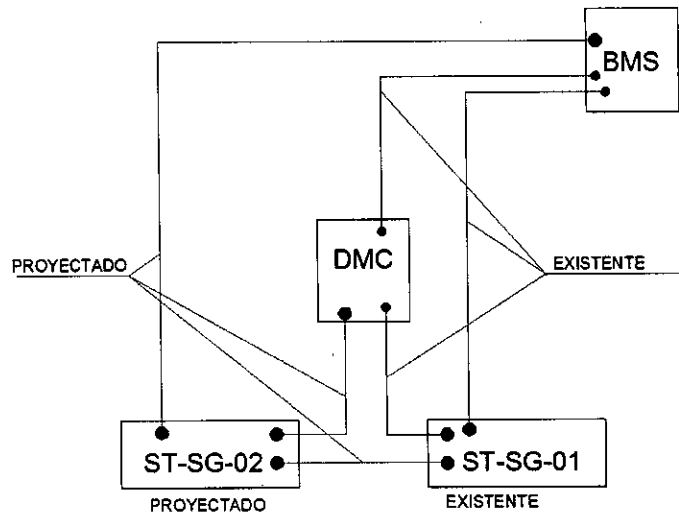
Lo que si se requiere implementar es la inserción en serie de los tres nuevos medidores multifunción con que viene equipado el tablero de emergencia en forma tal que se integren al circuito Daisy Chain

controlado por el convertidor.

Lo indicado en el párrafo anterior se traduce en la instalación de un cable formado por pares entorchados, 24 AWG stranded 7x32 conductors con aislamiento de PVC y una cobertura de capas aluminum/mylar incluyendo conductor de descarga electrostática.

El cable debe instalarse holgadamente, para unir el nuevo tablero de emergencia con el tablero A o B.

Figura N° A7.2. Interconexión entre el BMS y DMC.



Fuente: Elaboración propia

Con el cable instalado solo quedará pendiente que el suministrador del sistema BMS actualice lo siguiente:

- Configuración de convertidor agregando la dirección de los nuevos medidores multifunción
- Configuración de la RTU.
- Configuración de la base de datos, despliegues, puntos dinámicos en los mismos, alarmas y cualquier otra información manejada a la fecha por el BMS.

Las interfaces pueden dividirse en tres grupos:

- Señales de posición, que van de cada panel al DMC300; son solo conexiones cableadas de contactos secos a bornes desde donde los toma el DMC300. Estos circuitos conducen o no corrientes DC de pocos miliamperios a 24 VDC. Son los bornes para indicación.
- Señales de mando que van del DMC300 a cada tablero; son contactos débiles para 125 VDC y 0.5 A, que se tienen que usar mediante relés auxiliares a 24 V cuyos contactos puedan abrir y cerrar el interruptor. Estos circuitos se deben introducir como parte del sistema de comando de los interruptores y sus enclavamientos. Son los bornes similares indicación o mando.
- Señales analógicas de Corriente y tensión que van al DMC300 y al sistema scada. El DMC300 recibe la plena corriente de 5 A y la tensión de 120 voltios de modo que solo hay que extender el sistema de medición para que vaya desde los paneles hasta el DMC300, verificando que los VA en el caso de los transformadores de corriente no exceda su capacidad. Las señales analógicas al sistema scada requieren transductores de tensión o corriente a 5 mA D.C.

## **XI.- ANEXOS**

## ANEXO N° 1.- MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
"CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHÁVEZ"	<p><b>PROBLEMA PRINCIPAL</b> ¿Cómo será el factor de confiabilidad del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez?</p> <p><b>PROBLEMAS SECUNDARIOS</b> P.S.1 ¿Cómo será el diseño de la topología de la subestación principal del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez?</p> <p>P.S.2 ¿Cómo será la implementación de la topología de la subestación principal del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar el factor de confiabilidad del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez</p> <p><b>OBJETIVOS SECUNDARIOS.</b></p> <p>OB.1 Diseñar la topología de la subestación principal del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez</p> <p>OB.2 Implementar la nueva topología de la subestación del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez</p>	<p><b>HIPÓTESIS PRINCIPAL</b></p> <p>El óptimo factor de confiabilidad será altamente significativo con la implementación de la topología de la subestación principal del sistema eléctrico del aeropuerto internacional Jorge Chávez</p> <p><b>HIPÓTESIS SECUNDARIAS.</b></p> <p>H1. La topología de la subestación principal diseñada bajo estándares internacionales será altamente confiable para el sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez</p> <p>H2. La óptima implementación de la topología de la subestación principal será altamente confiable en la operación del sistema eléctrico del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez</p>	<p><b>INDEPENDIENTES</b></p> <p>Secuencia operaciones del DMC300 X1</p> <p>Enclavamientos eléctricos DMC300 X2</p> <p>Paralelismo en baja y media tensión X3</p> <p><b>DEPENDIENTES</b></p> <p>Factor de confiabilidad Y1</p> <p>Diseño de la topología Y2</p> <p>Implementación de la topología Y3</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Es una investigación descriptiva condicional de corte transversal.</p> <p><b>ESPECIFICO</b></p> <p>Para definir el cambio de topología de la subestación se han realizado profundos estudios, el modelo presentado ha sido aprobado por el aeropuerto internacional Jorge Chávez.</p> <p>Para la realización de los trabajos de ingeniería se ha tenido el apoyo incondicional del AIJCH, CUMMINS y EATON.</p>

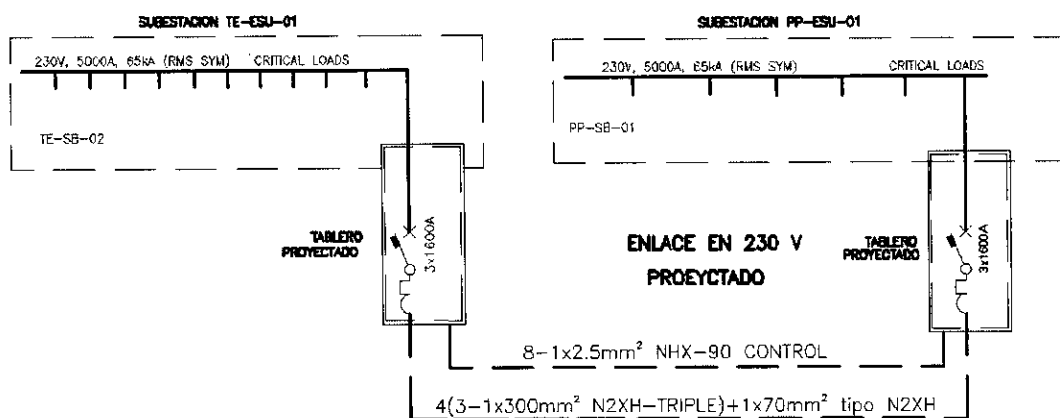
## ANEXO N° 2. REDES ELECTRICAS REDUNDANTES EN BAJA TENSION

Dentro del AIJCH existen diversas cargas muy criticas e impotantes las mismas que necesitan de energía eléctrica ininterrumpida de manera que es necesario hacer los diseños adecuados que nos permitan suministrar energía eléctrica en forma oportuna y segura.

### ENCLAVAMIENTOS EN BAJA TENSION 230 VOLTIOS

Originalmente se puede observar que la subestación PP-ESU-01 mediante el transformador PP-TL-01 (de conexión Dyn5) alimenta sus respectivas cargas críticas y no críticas en 230 V. Debido que las cargas de este transformador tienen una demanda máxima de 350 kW, es que actualmente se tiene un enlace en 460 V con la subestación PP-ESU-02 y para adecuar las tensiones a 230 V en PP-ESU-01 se ha utilizado un transformador PP-XF-02 de 500 kVA, conexión Yyn0 de 230/480 V, 60 Hz.

Figura N° B2.1. Unifilar general de 230 V proyectado



Fuente: Elaboración propia

El transformador PP-XF-02 no permite trabajar en paralelo con el Transformador-

mador PP-TL-01, dado el tipo de conexión. Por esta razón es que se ha proyectado un enlace en 230 V entre las cargas del transformador TE-TL-02 de la subestación TE-ESU-01 y el transformador PP-TL-01 de la subestación PP-ESU-01.

La aplicación se ha dado en el siguiente trabajo:

Ubicación : Av. Elmer Faucett S/N Provincia  
 Constitucional. Propietario : LIMA AIRPORT PARTNERS  
 Proyectista : CONSORCIO AYESA - CPA  
 Antecedentes : MD. 350 KW (PP-ESU-01) - 230 V, 60 Hz.

Esta información fue proporcionada por LAP, medidas puntuales que nos permiten saber la distribución de la cargas críticas y no críticas de la barra 230V para la Redundancia de 230V.

Tabla N° B2.1.- Tabla de la máxima demanda de las subestaciones.

<b>MAXIMA DEMANDA</b>	<b>TE-ESU-01</b>	<b>PP-ESU-01</b>
BMS - REGISTRADA kW *	423	323
PROYECTADA kW	500	500
TENSION V	230	230
FRECUENCIA Hz	60	60
CAPACIDAD PROYECTADA (%)	18.20	54.80
CAIDA TENSION (%)	2.39	2.39

Fuente: Elaboración propia

**Parámetros eléctricos:**

Sistema : Trifásico de tres hilos  
 Tensión : 230 Voltios  
 Frecuencia : 60 Hz.

**Equipamiento redundancia en 230 v**

Desarrollar los trabajos de acuerdo a lo indicado en las bases y especificaciones entregadas por L.A.P.

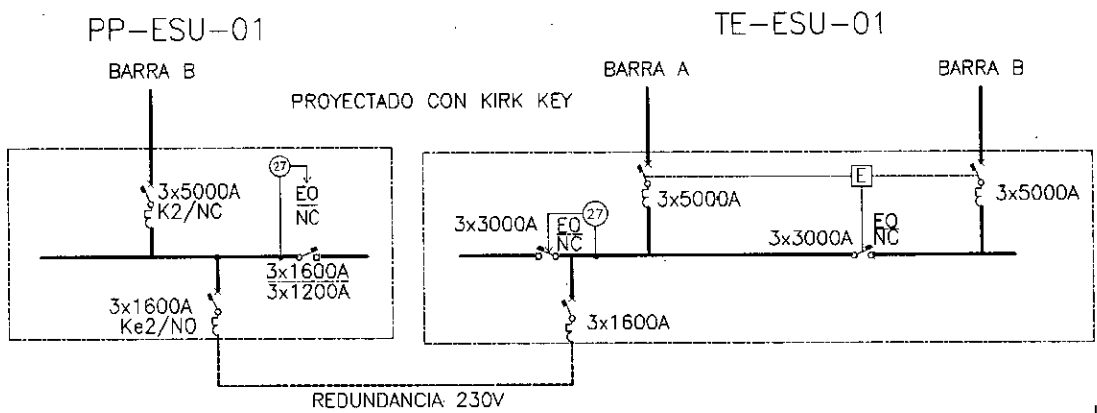


El trabajo comprende la instalación del interruptor de 3x1600 A en caliente, en el tablero TE-SB-02.

Desconexión y retiro de transformador PP-XF-02 a los almacenes de LAP.

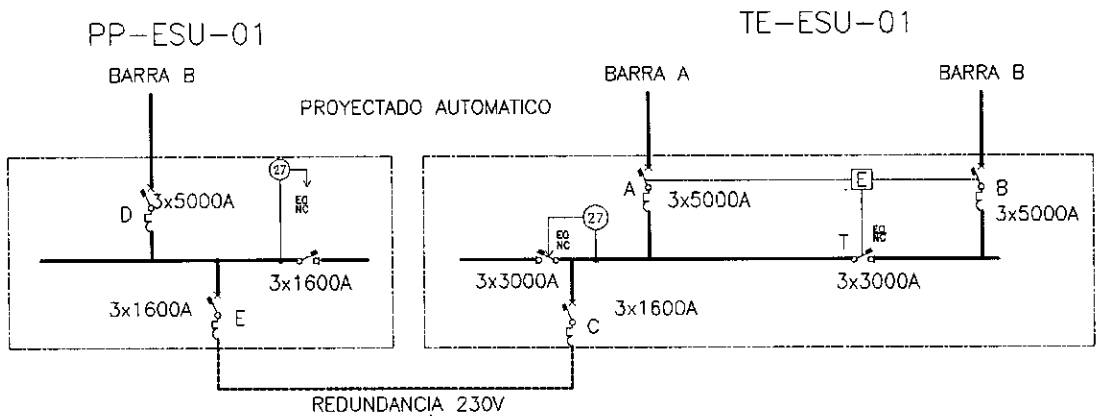
Tendido de cable 4(3-1x300mm<sup>2</sup>) N2XH + 1x70mm<sup>2</sup> desde el tablero TE-SB-02 al tablero PP-SB-01.

Figura N° B2.2.- Diagramas unifilares de los circuitos de fuerza actual



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° B2.3.- Diagramas unifilares de los circuitos de fuerza proyectado



Fuente: Elaboración propia

Para realizar los enclavamientos en forma adecuada es necesario recurrir a las herramientas lógico - matemáticas, las que me permitirán el tratamiento correcto y seguro de las señales, las cuales definen los estados de cada uno de los interruptores involucrados en la operatividad del sistema proyectado. A continuación presentamos la tabla de verdad que me permitirá operar los interruptores en PP-ESU-01 y TE-ESU-01, para abastecer energía a TE-ESU-01 a partir de PP-ESU-01 y viciversa.

Figura N° B2.4.- Tabla de verdad en el mando automático

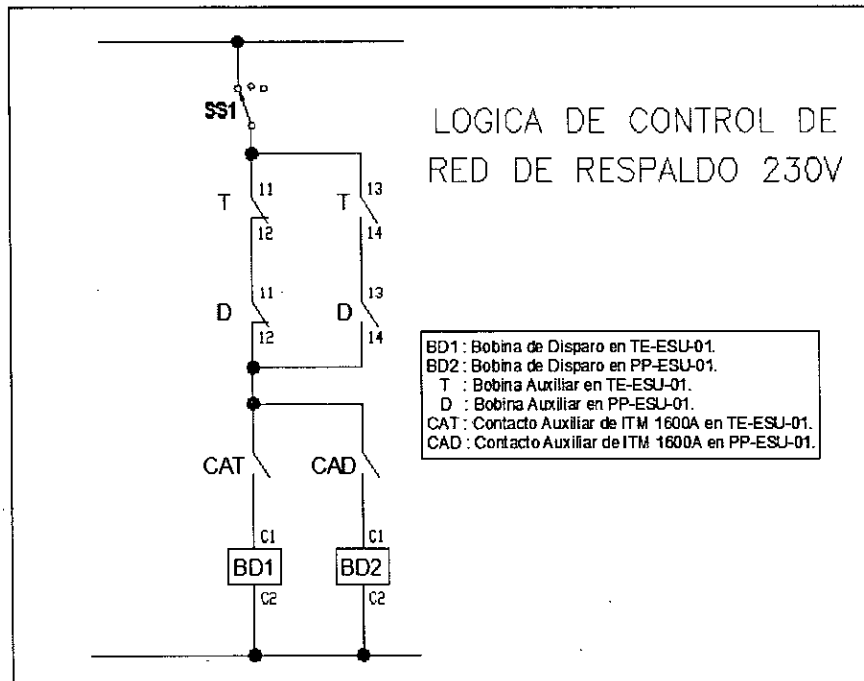
TABLA DE VERDAD - REDUNDANCIA 230 VOLTIOS				
A	B	C	D	E
0	0	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0
1	1	1	1	1

PP-ESU-01	⇒	TE-ESU-01
TE-ESU-01	⇒	PP-ESU-01

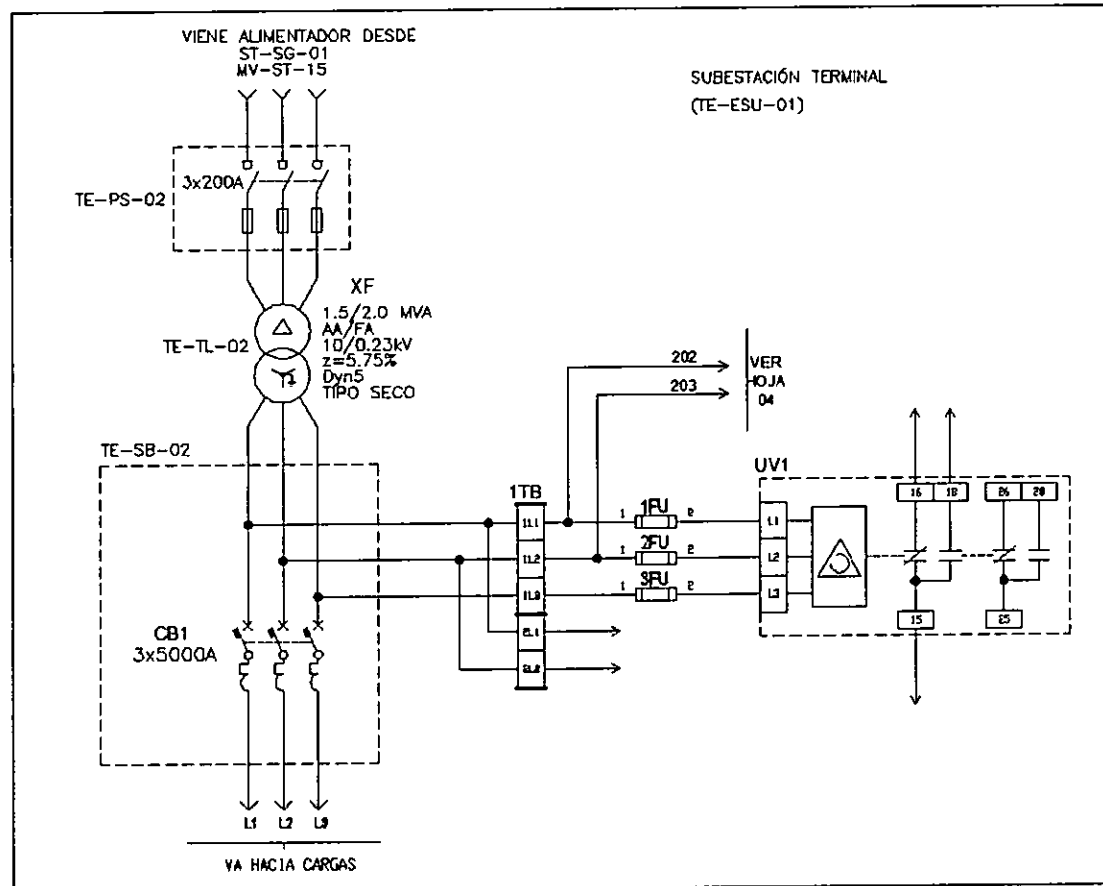
Fuente: Elaboración propia

Figura N° B2.5.- Lógica de control de red respaldo 230 V



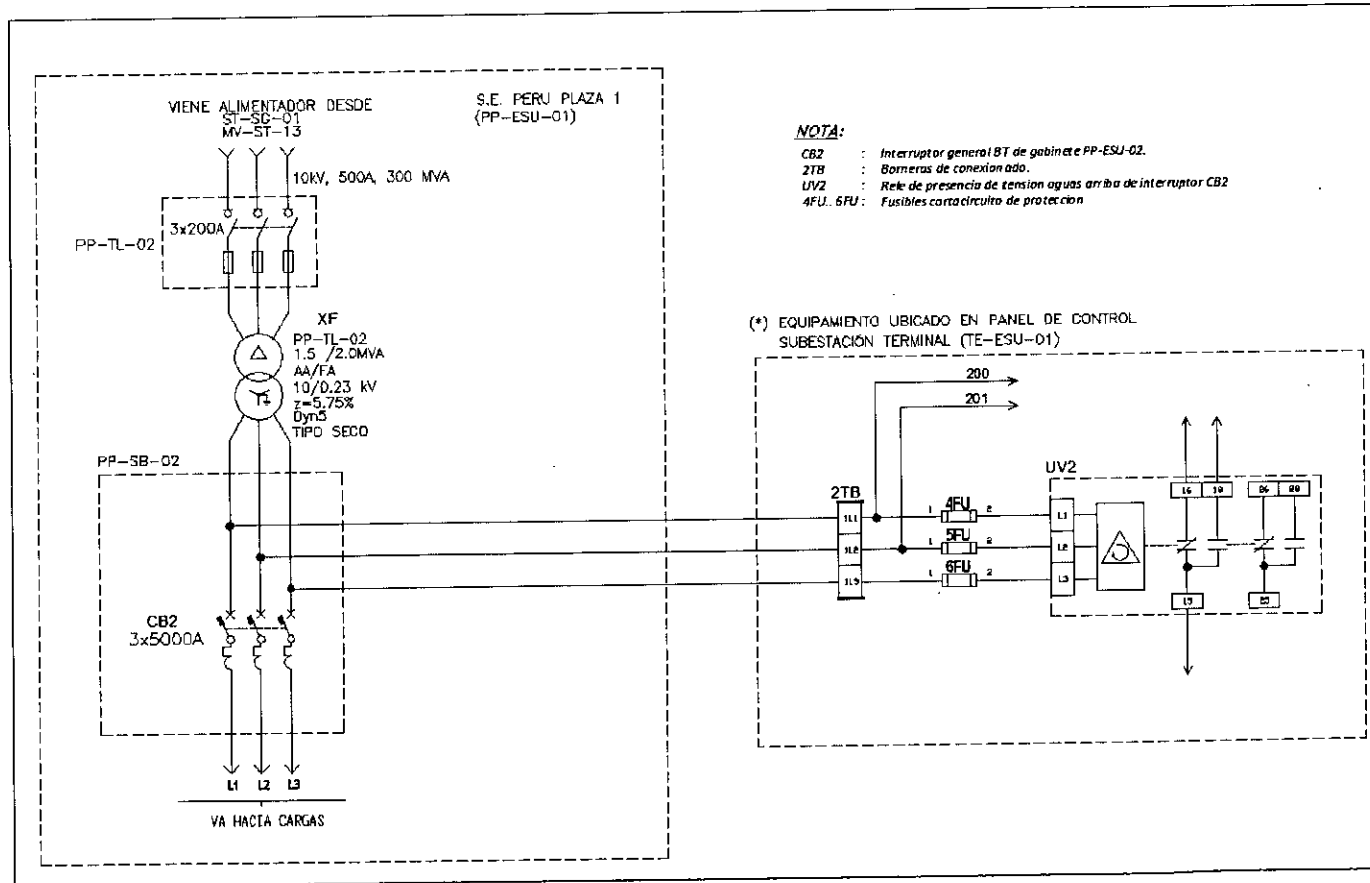
Fuente: Elaboración propia

Figura N° B2.6.- Características de la subestación TE-ESU-01



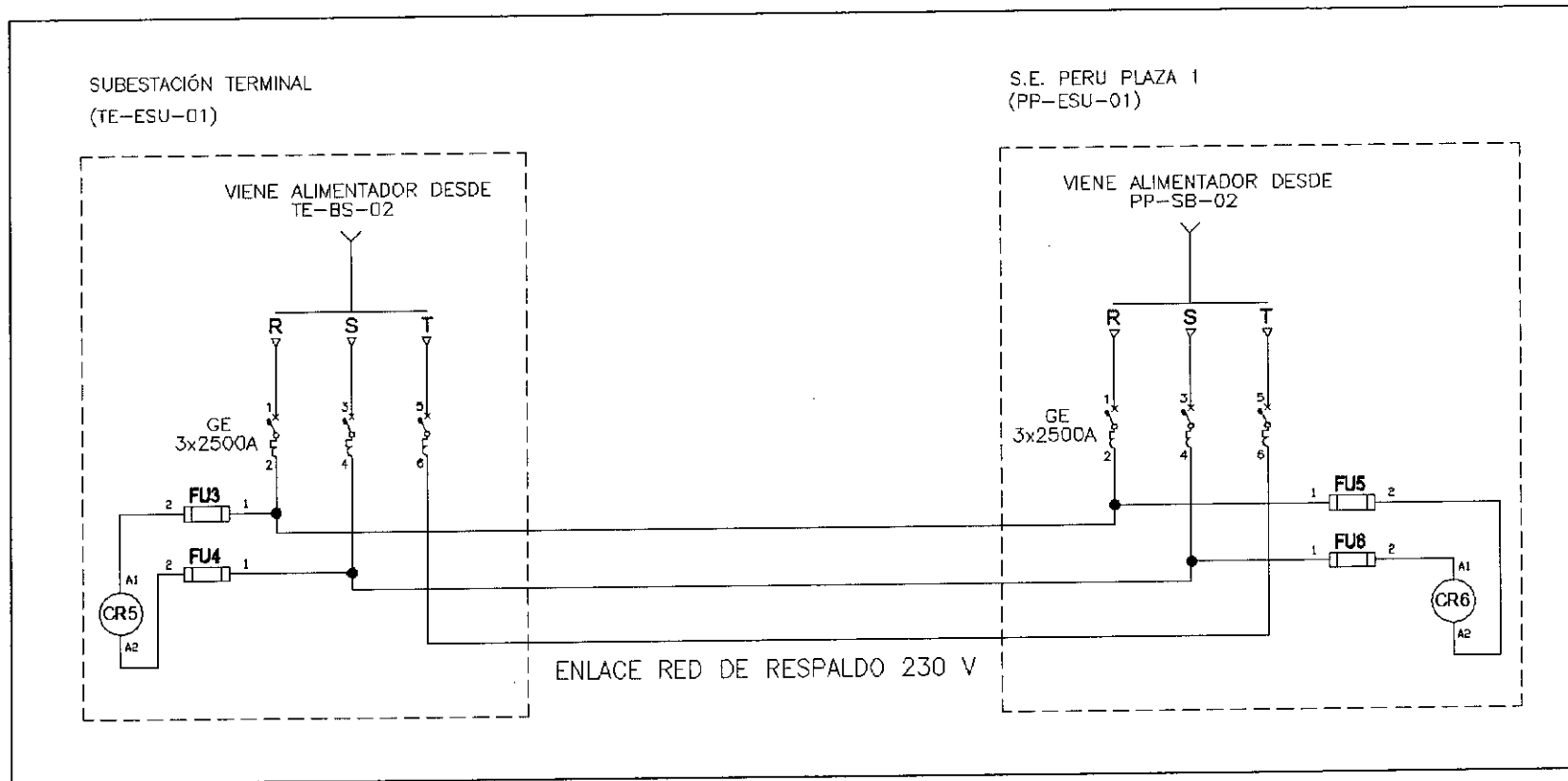
Fuente: Ealboración propia

Figura N° B2.7.- Características de la subestación PP-ESU-01



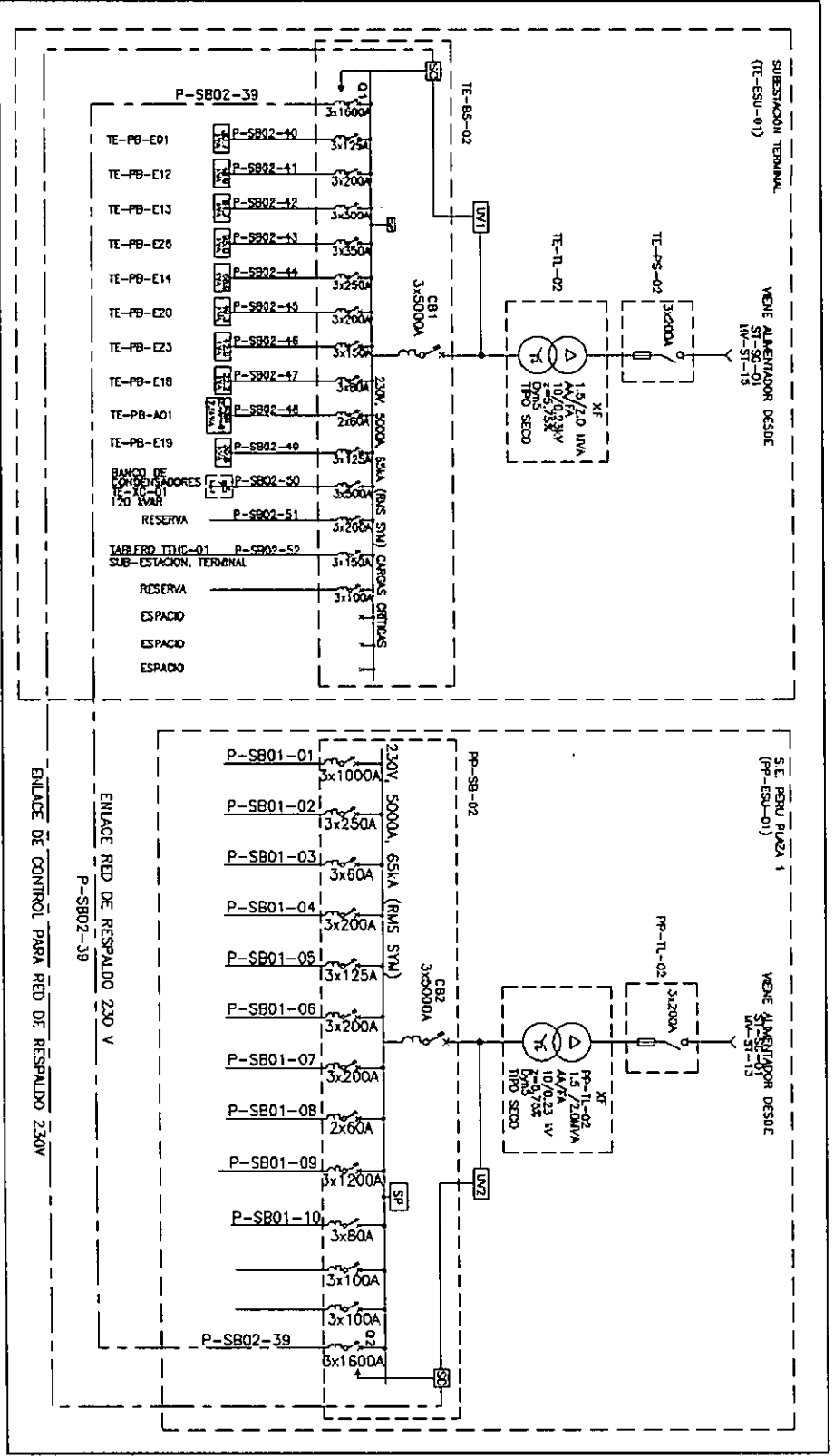
NFuente: Elaboración propia

Figura N° B2.8.- Circuito de control - Enlace de respaldo 230 V



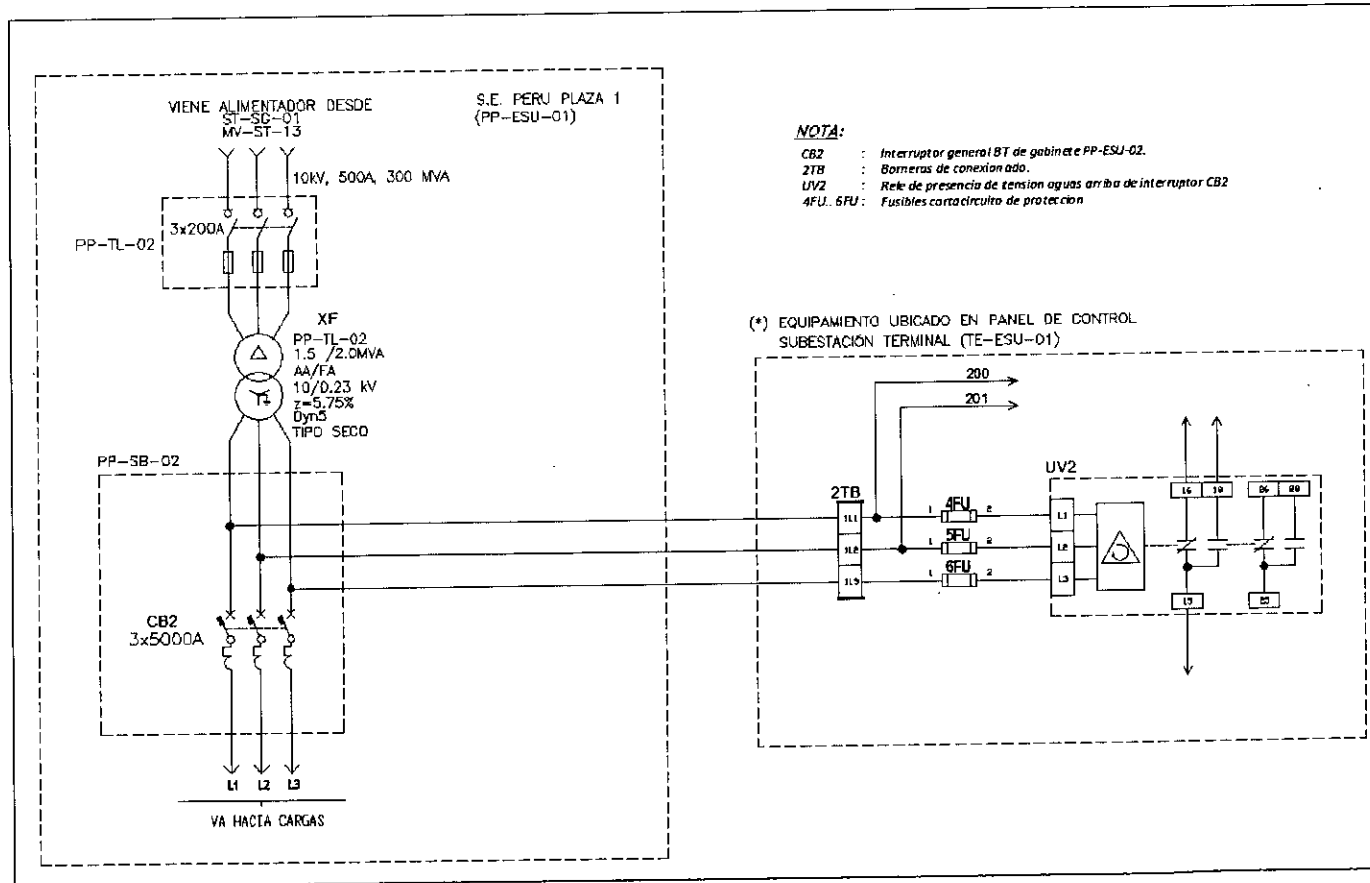
Fuente: Elaboración propia

Figura N° B2.9.- Enlaces de fuerza y control respaldo 230 V



Fuente: Elaboración propia

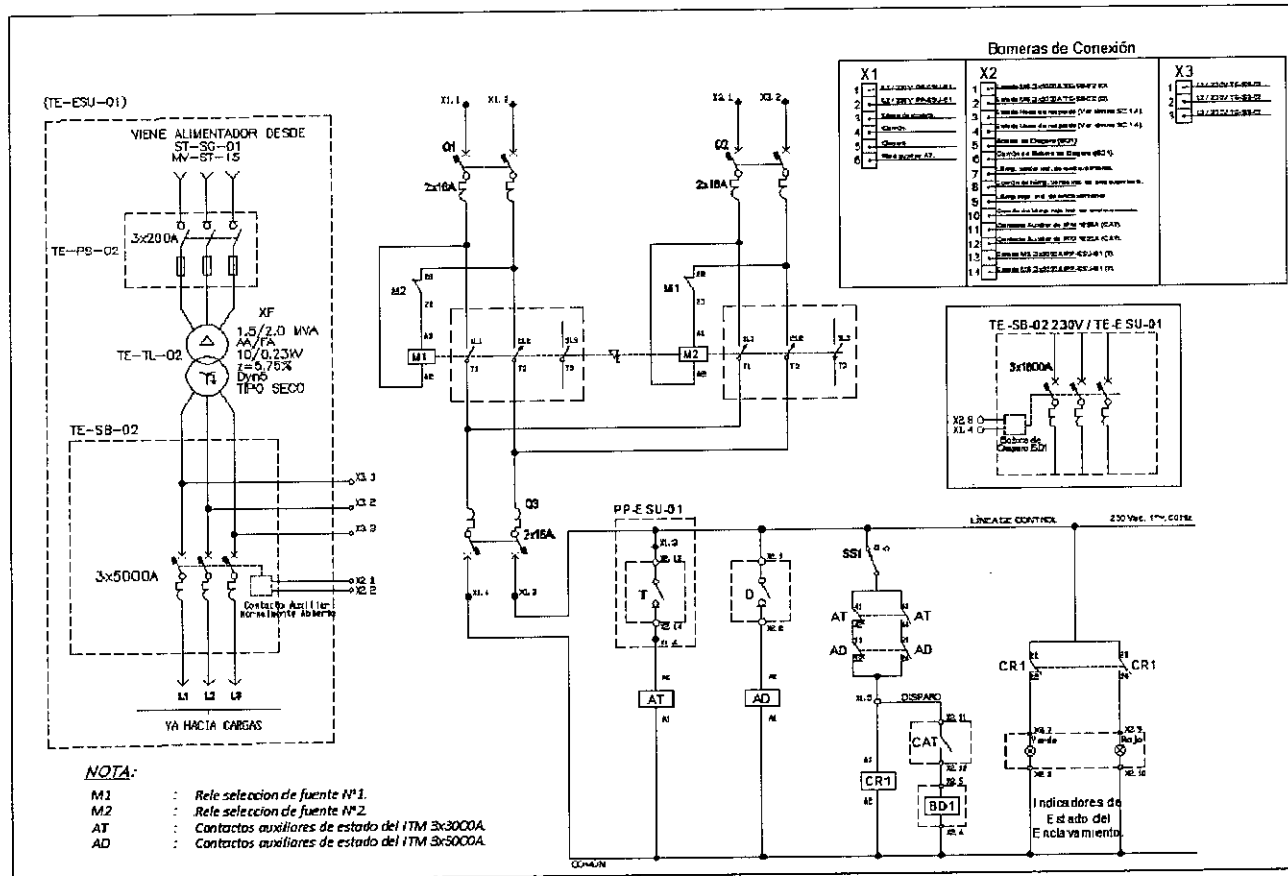
Figura N° B2.7.- Características de la subestación PP-ESU-01



NFuente: Elaboración propia

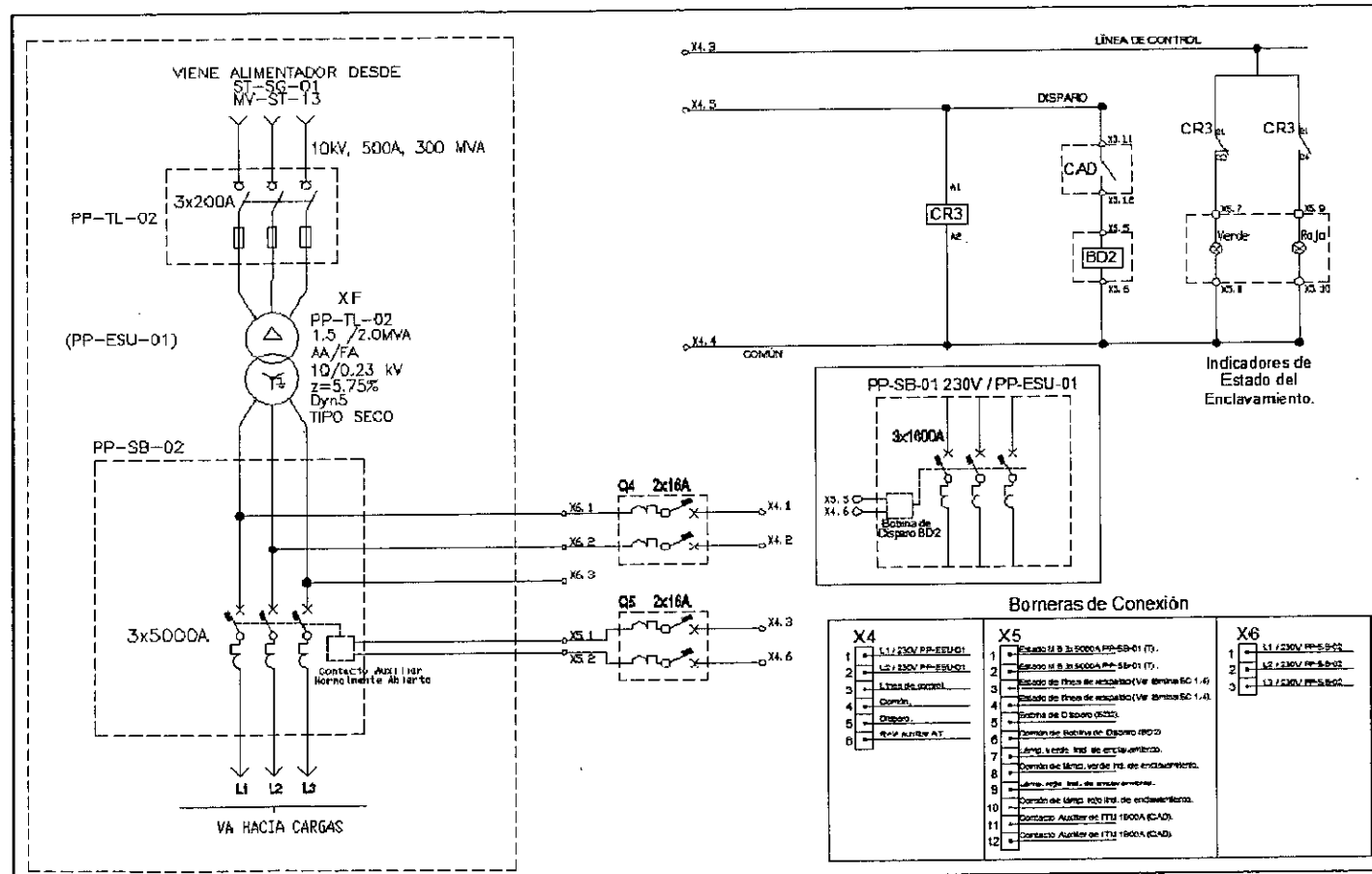


Figura N°B2.11.- Sistemas de borneras TE – ESU - 01 respaldo 230 V



Fuente: Elaboración propia

Figura N° B2.12.- Sistemas de borneras PP – ESU - 01 respaldo 230 V



Fuente: Elaboración propia

### **ANEXO N° 3.- ENCLAVAMIENTOS EN MEDIA TENSIÓN**

Actualmente la subestación principal – sala de 10 kV del sistema eléctrico del AIJCH, ha sido construida con algunas limitaciones que afectan su operación y confiabilidad. En mérito a ello se ha escogido esta topología debido a:

- El circuito utilizado, el cual ha sido presentado a LAP (ver plano IE – 05), el cual ha sido aprobado por LAP, OSITRAN Y CUMMINS.
- Con esta topología se ha reopontenciado el mismo DMC300 que actualmente trabaja en la subestación principal – sala 10 kV.
- La disponibilidad económica que se nos asignó en la ejecución de los proyectos para lograr la confiabilidad eléctrica de AIJCH.

Los objetivos son los siguientes:

Tener una subestación con una flexibilidad en las operaciones que me permita realizar trabajos de mantenimiento en las barras A y B.

Crear una barra del sistema de emergencia (grupos electrógenos), en el que se incluyen los enlaces adecuados que trabaje en coordinación con las fuentes principal de 60 kV y reserva de 10 kV.

Provisionar a los tres transformadores de 2 MVA (del sistema de emergencia) un sistema de ventilación natural y adecuado.

Hacer el diseño que nos permita tener desconectados a los transformadores de 2 MVA cuando los grupos electrógenos no funcionen.

Ampliar la capacidad de operación del DMC300 actual, haciendo que cuando los grupos electrógenos trabajen, el DMC300 primero busque el suministro de la reserva.

**Interruptores de enlace 52-301 y 52-305 entre la barra de emergencia y las barras A y B:**

A ambos lados de los tableros en los que se instalarán los interruptores a 10 kV para los grupos electrógenos, se instalarán dos tableros para enlazar las barras de los mismos con las barras de carga A y B.

A los interruptores alojados en estos tableros se les ha denominado 52-301 y 52-305, según se trate del interruptor que une los grupos electrógenos con el sistema de barras A o con el sistema de barras B (ver IE-005).

Los trabajos más importantes que estarán a cargo de Cummins en estos tableros son los siguientes:

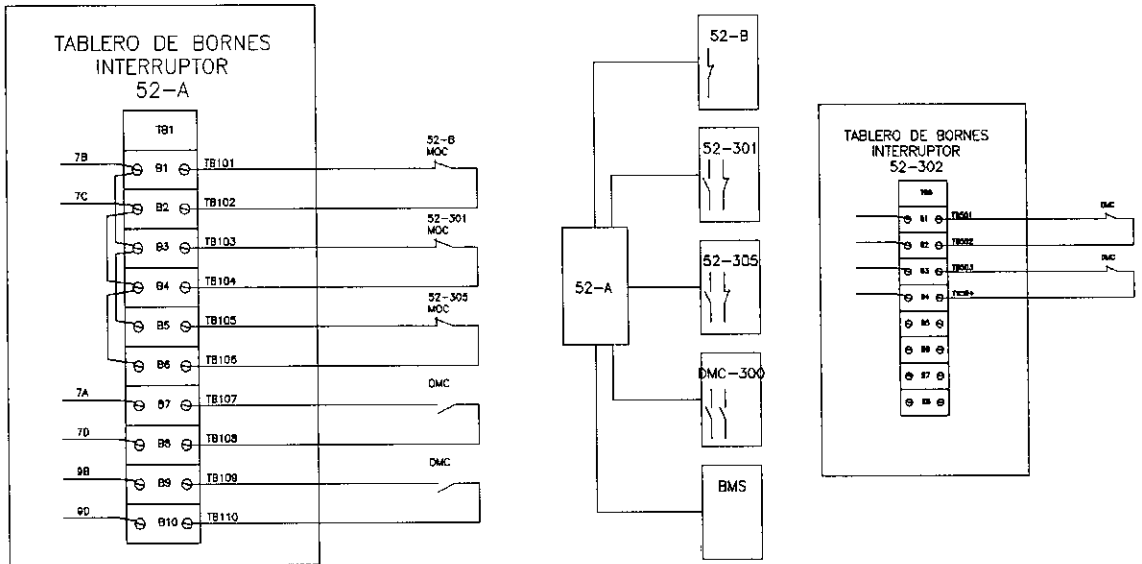
Telemando de estos dos (2) interruptores cuando el DMC300 está en modo manual y la manija de control local de los interruptores está en modo remoto. Especificar cualquier requerimiento que tuviera sobre las canaletas y/o bandejas para tendido de cables de control. Prover e instalar los cables multifilares de control para la conexión de los tableros con el sistema de DMC300.

Cummins proveerá la información que le permita apreciar cualquier funcionalidad incluida como estándar en el sistema DMC300 y que no está siendo empleada a la fecha. Con esta información se podrá sugerir a LAP la implementación de aquellas aplicaciones que no están siendo aprovechadas, principalmente las que se refieren a protección (potencia de secuencia inversa, inversión de potencia, protección contra fallas a tierra, protección diferencial, rechazo de cargas, etc.).

El DMC300 debe recibir tensión de los transformadores de tensión en barras y en el lado de alta de los transformadores de tensión de los grupos.

El DMC300 determinará la lógica de los enclavamientos que evite el cierre de interruptores sin verificar el paralelismo.

Figura N° B3.1.- Contactos secos ubicados en los interruptores de 10 kV



ENCLAVAMIENTOS	
Nota: Por convención los contactos se dibujan en la posición que tiene cuando los interruptores o relés están desenergizados. Si el interruptor se cierra o el relé dispara, los contactos cambian de posición.	
LÓGICA DEL INTERRUPTOR 52- A	No cierra si 52-B esta cerrado, a menos que 52-301 o 52-305 esté abierto.
COMANDO	El tablero del interruptor tiene una llave de tres posiciones; local, remoto y fuera de servicio.
	Local; Solo se le comanda localmente, pero sometido a los enclavamientos eléctricos.
	Remoto; Solo se le comanda en forma remota, pero sometido a los enclavamientos eléctricos.
	Fuera de Servicio; Desconecta todo el sistema de alimentación DC.

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO N° 4.- TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA

El presente equipo está construido en base a las prestaciones que se requieren para el proceso de transferencia automática entre las tres redes eléctricas (redes principal, reserva y emergencia) en caso se detecte ausencia de tención en la red principal.

### Datos Técnicos

El Tablero de Transferencia PP-ATS-01 está incorporado en un gabinete de metálico y acondicionado de tal forma que sus componentes sean accesibles para los mantenimientos respectivos, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla N° B4.1.- Características técnicas del TTA

<b>CARACTERÍSTICAS ELECTROMECÁNICAS DEL TABLERO DE LA TTA</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS MECANICAS</b>	
Mando	Mecánico - endavamiento
Tipo	Autosoportado
Grado de Protección mecánico	IP55
Dimensiones	2000x600x800 mm
Plancha Metálica	LAF 2 mm
Pintura	Epóxica - RAL 7042
<b>CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS</b>	
Máxima corriente nominal	600 Amperios
Frecuencia nominal	60 Hz
Tensión Nominal de Empleo	480 Voltios 60 Hz.
Tensión de Control	230 Voltios 60 Hz.
Mando	Motorizado automatico
Circuito de alumbrado interior	230 Voltios 60 Hz.
Circuito de temperaturra interior	230 Voltios 60 Hz.
Sensores de temperatura	PT100

Fuente: Elaboración propia

### **Principio de Funcionamiento en Modo Automático**

El TTA en modo automático verifica en cada instante la presencia de tensión en la red principal del sistema. Este, al detectar ausencia de tensión habilita el estado de transferencia abriendo al cabo de un tiempo  $t_1$  (configurable) el interruptor correspondiente a la red principal y luego de un tiempo  $t_2$  (configurable) cierra el interruptor correspondiente a la red de emergencia, concretándose así el proceso de transferencia directa.

Al retorno de la energía eléctrica en la red principal, el TTA detecta tensión en líneas a la entrada del interruptor principal realizando la apertura del interruptor correspondiente a la red de emergencia y cierre del interruptor principal, concretando el proceso de transferencia inversa.

### **Protocolos de pruebas y puesta en servicio**

El tablero de transferencia automática cuenta con pruebas realizadas en fábrica, simulando los estados en banco de pruebas y verificando las respuestas de los controles de apertura y cierre de los interruptores, según los requerimientos lógico – matemático utilizados en la transferencia.

Así mismo, previo al conexionado se realizaron las pruebas de aislamiento y continuidad de los alimentadores correspondientes (Alimentador principal, de emergencia y carga) y luego del conexionado, para la puesta en servicio se verificó nuevamente el funcionamiento de la lógica de control simulando los estados de ausencia de tensión en la red eléctrica principal.

A continuación se listan las pruebas realizadas al sistema, y en anexo se adjunta la documentación correspondiente.

**Protocolo de Inspección y Funcionamiento de TTA:**

Prueba en fábrica.

Prueba del sistema instalado.

Protocolos de pruebas.

Planos.

Hoja Técnica de equipos.

Certificado de Calibración de Equipos de Medición y Prueba.

Tabla N° B4.2.- Protocolo de aislamiento y continuidad

PROTOCOLO DE AISLAMIENTO Y CONTINUIDAD EN TABLERO PP-ATS-01										
Contratista : HM Ingenieros S.R.L.				Fecha de Prueba : 24-ENER-15.				Hora : 12:00 hrs.		
Circuito : Alimentador PP-ESU-01 al PP-ESU-01				Equipo : MEGABRAS MD-1000R				Serie N°: MU1141F		
Disciplina : Sistema Eléctrico				Voltaje de Prueba : 500 V						
Equipo o Carga: Tablero de Transferencia PP-ATS-01				Plano de Referencia :						
Prueba Original : <input checked="" type="checkbox"/>				Temperatura Ambiente (C): 18°C						
COMPONENTE			LECTURAS - GIGA-OHMS(GΩ)						Continuidad	Observaciones
Circuito	INTERRUP.	Conductor	RS	ST	RT	R-G	S-G	T-G(TIERRA)		
PRINCIPAL	3 X600A	1(3-1X240mm2)	4.1	3.5	3.45	2.9	2.6	2.34	OK	CONFORME
TABLERO PP-68-20	BARRA	1(3-1X240mm2)	3.5	3.4	3.28	2.3	2.65	3.42	OK	CONFORME
			R1-R2	R1-S1	R1-S2	R1-T1	R1-T2	R1-G(TIERRA)		
EMERGENCIA	3 X600A	(1X185mm2)-R1	3.8	3.8	3.5	3.7	3.1	3.4	OK	CONFORME
				R2-S1	R2-S2	R2-T1	R2-T2	R2-G(TIERRA)		
EMERGENCIA	3 X600A	(1X185mm2)-R2		3.4	2.5	3.5	3	3.2	OK	CONFORME
					S1-S2	S1-T1	S1-T2	S1-G(TIERRA)		
EMERGENCIA	3 X600A	(1X185mm2)-S1			2.5	3.4	2.4	2.8	OK	CONFORME
						S2-T1	S2-T2	S2-G(TIERRA)		
EMERGENCIA	3 X600A	(1X185mm2)-S2				3.6	2.4	3.5	OK	CONFORME
							T1-T2	T1-G(TIERRA)		
EMERGENCIA	3 X600A	(1X185mm2)-T1					2.5	3.8	OK	CONFORME
								T2-G(TIERRA)		
EMERGENCIA	3 X600A	(1X185mm2)-T2						3.6	OK	CONFORME
Criterio de Aceptación : Los cables de energía, deben tener una pérdida máxima de 0.001 amperes ( 0.50 Mohmios )										
NOTA: R,S,T=Fases G=Tierra R1,R2,S1,S2,T1,T2= 1er y 2do conductor de fase R, 1er y 2do conductor de fase S, 1er y 2do conductor de fase T										
Observaciones:										
Status      APROBADO <input checked="" type="checkbox"/> DESAPROBADO <input type="checkbox"/>										
HM INGENIEROS SRL			AYESA				LAP			
ING. HUBER MURILLO MANRIQUE			ING. MARTIN RAMOS PEREZ				ING. MIGUEL MANCO			
Firma			Firma				Firma			

Fuente: Elaboración propia



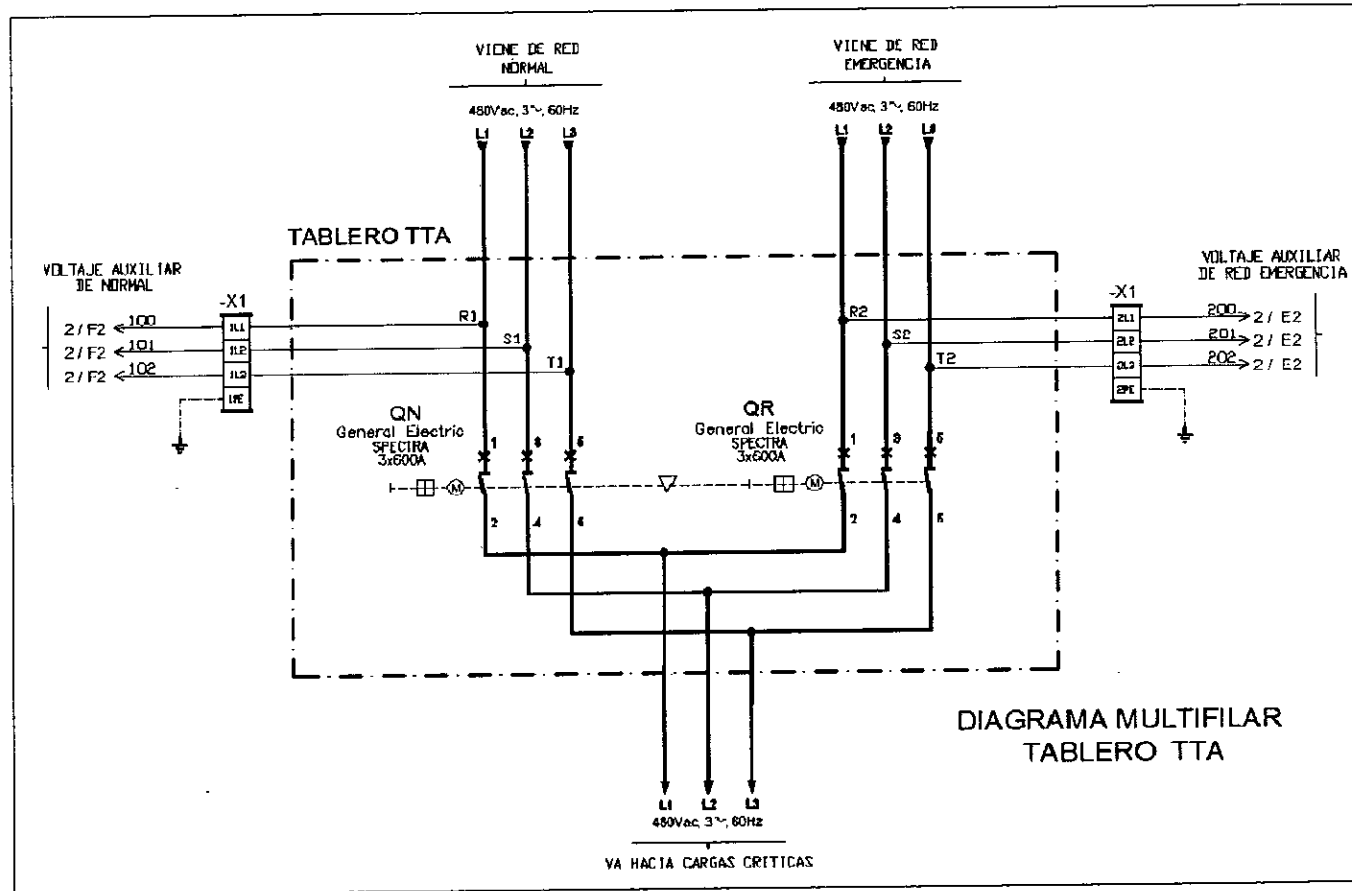
Tabla N° B4.3.- Protocolo de medición de tensión.

<b>PROTOCOLO DE MEDICION DE TENSION DE                      TABLERO DE TRANSFERENCIA PP-ATS-01 EN PP-ESU-01</b>						
Contratista : HM Ingenieros S.R.L.			Fecha de Prueba : 08-ENERO 2015 Hora:1:40 am			
Circuito : Alimentador PP-ESU-01 al PP-ESU-02			Equipo : FLUKE 373		Nº serie: 19960956	
Disciplina : Sistema Electrico			Unidad de Prueba: V (voltios)			
Equipo o Carga: Tablero de Transferencia PP-ATS-01 en PP-ESU-01			Plano de Referencia :			
Prueba Original : <input checked="" type="checkbox"/>			Temperatura Ambiente (C): 18°C			
COMPONENTE			LECTURAS-VOLTIOS(V)			Observaciones
Circ.	INTERRUP.	Conductor	RS	RT	ST	
PRINCIPAL	3 X600A	1(3-1X240mm2)	472	470	470	CONFORME
EMERGENCIA	3 X600A	2(3-1X185mm2)	474	474	473	CONFORME
SALIDA A TABLERO PP-SB-20	BARRA	1(3-1X240mm2)	473	473	473	CONFORME
<b>Observaciones:</b> Status          APROBADO <input checked="" type="checkbox"/> DESAPROBADO <input type="checkbox"/>						
<b>HM INGENIEROS SRL</b>		<b>AYESA</b>		<b>LAP</b>		
ING. HUBER MURILLO MANRIQUE		ING. MARTIN RAMOS PEREZ		ING. MIGUEL MANCO		
Firma		Firma		Firma		

Fuente: Elaboración propia

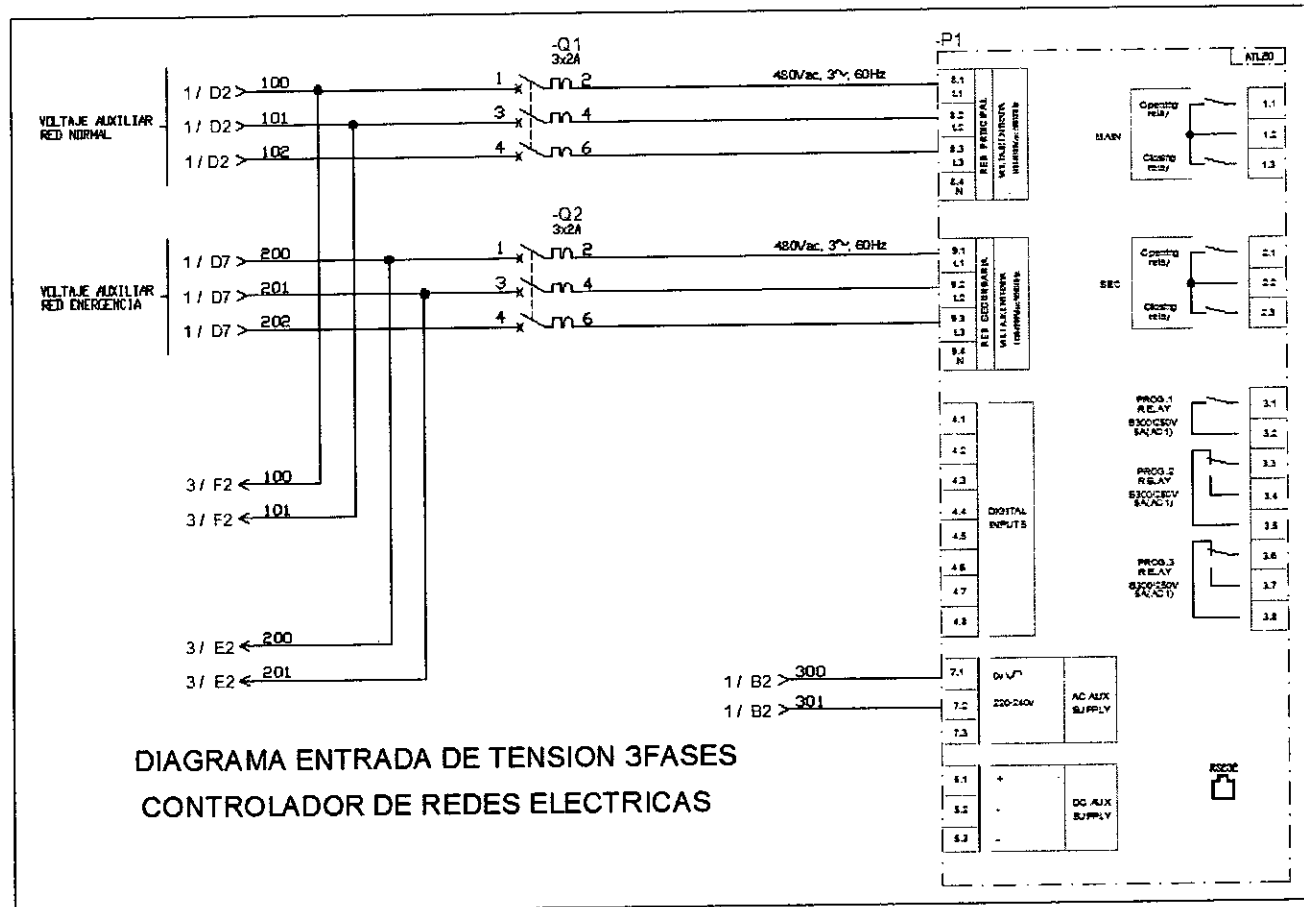
A continuación presentamos los diagrames unifilares utilizados en la fabricación, pruebas, protección y control de los tableros de transferencia automáticos.

Figura N° B4.1.- Diagrama multifilar del tablero de transferencia automática



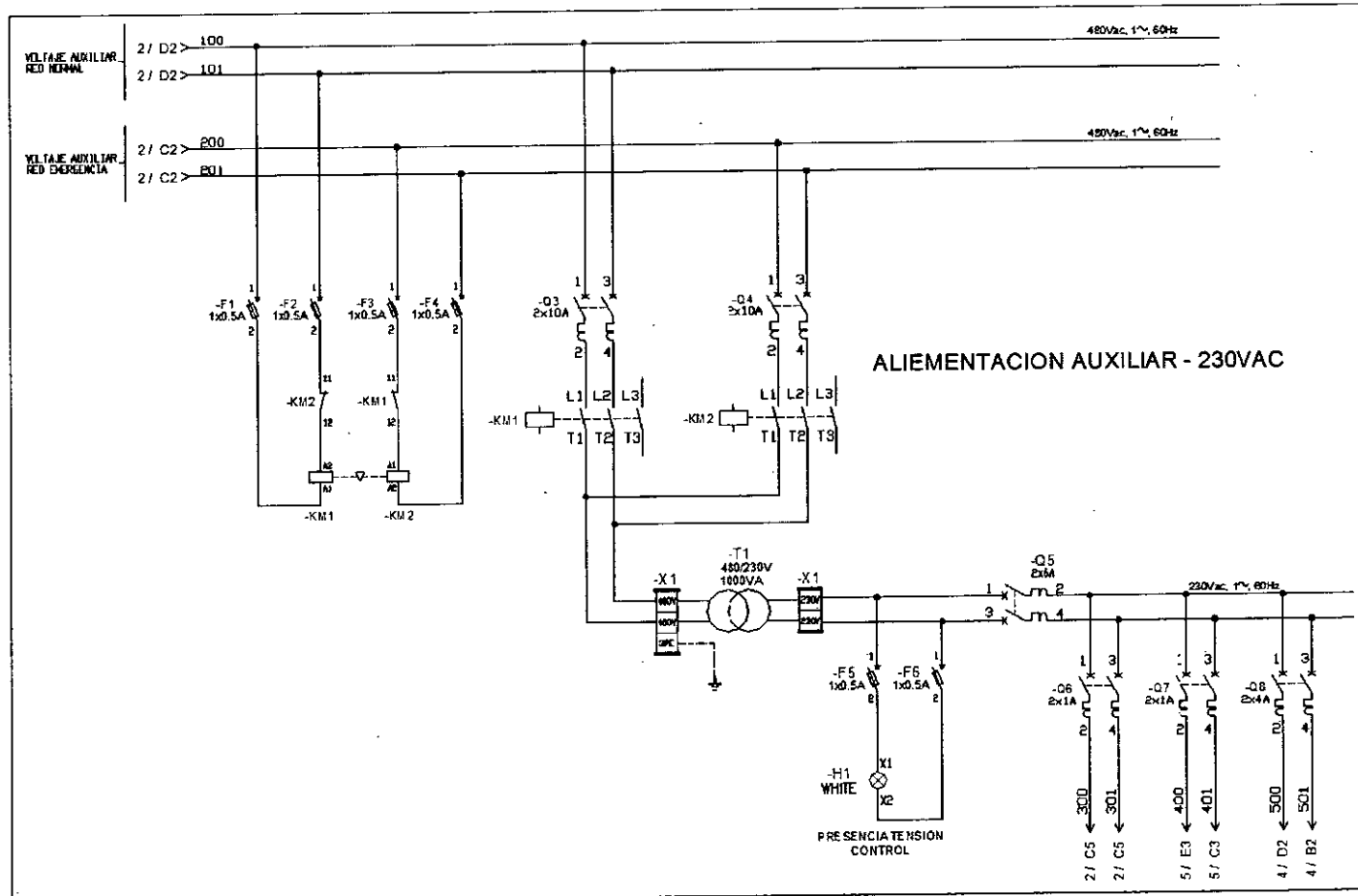
Fuente: Elaboración propia

Figura N° B4.2.- Diagrama de tensiones – controlador de redes eléctricas



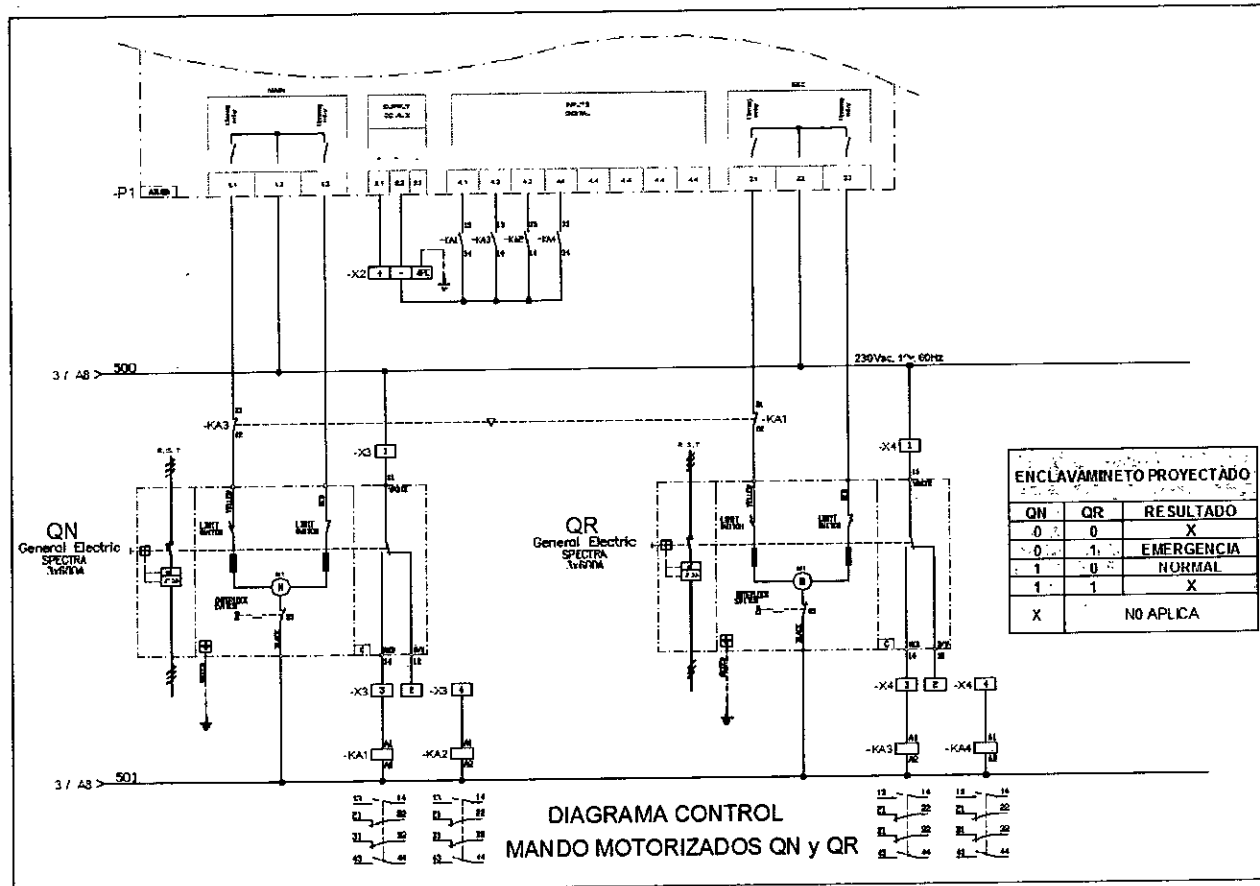
Fuente: Elaboración propia

Figura N° B4.3.- Diagrama multifilar de alimentación auxiliar 230 Voltios, 60 Hz



. Fuente: Elaboración propia

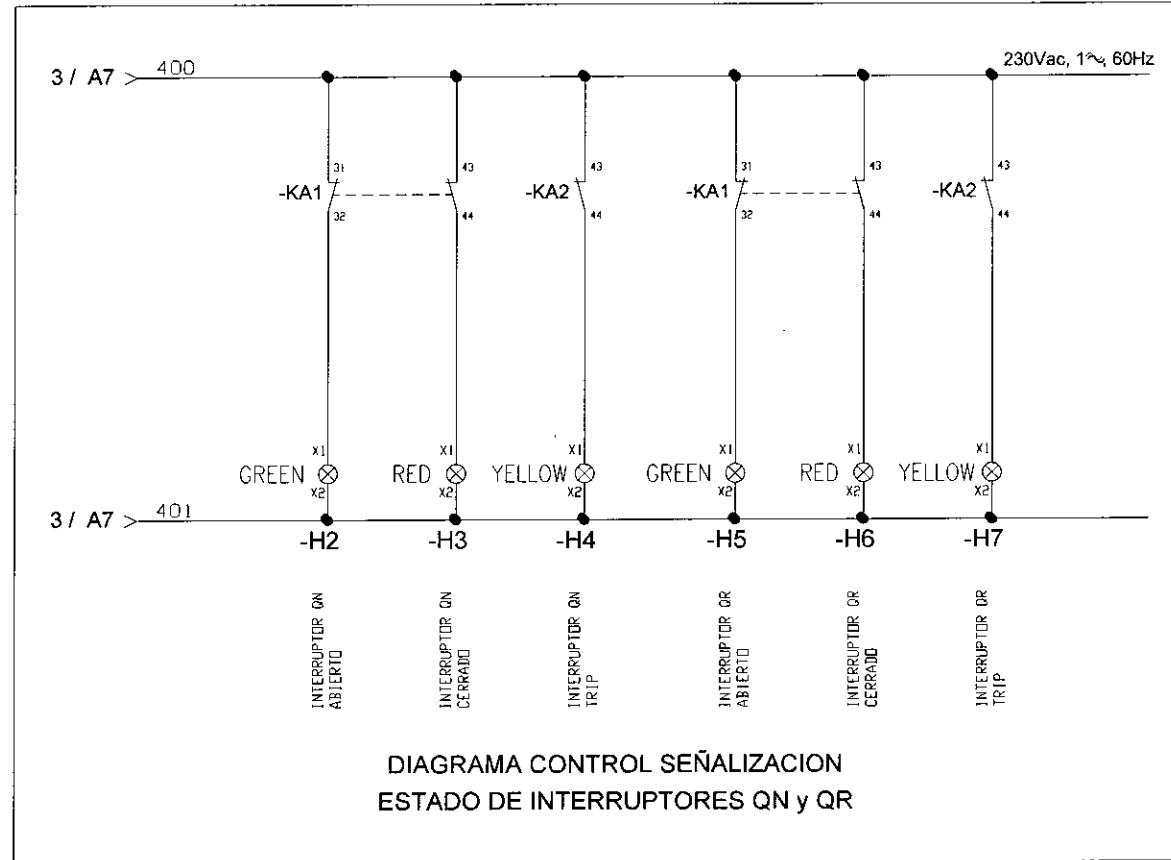
Figura N° B4.4.- Diagrama de control mando motorizado QN y QR



ENCLAVAMIENTO PROYECTADO		
QN	QR	RESULTADO
0	0	X
0	1	EMERGENCIA
1	0	NORMAL
1	1	X
X	X	NO APLICA

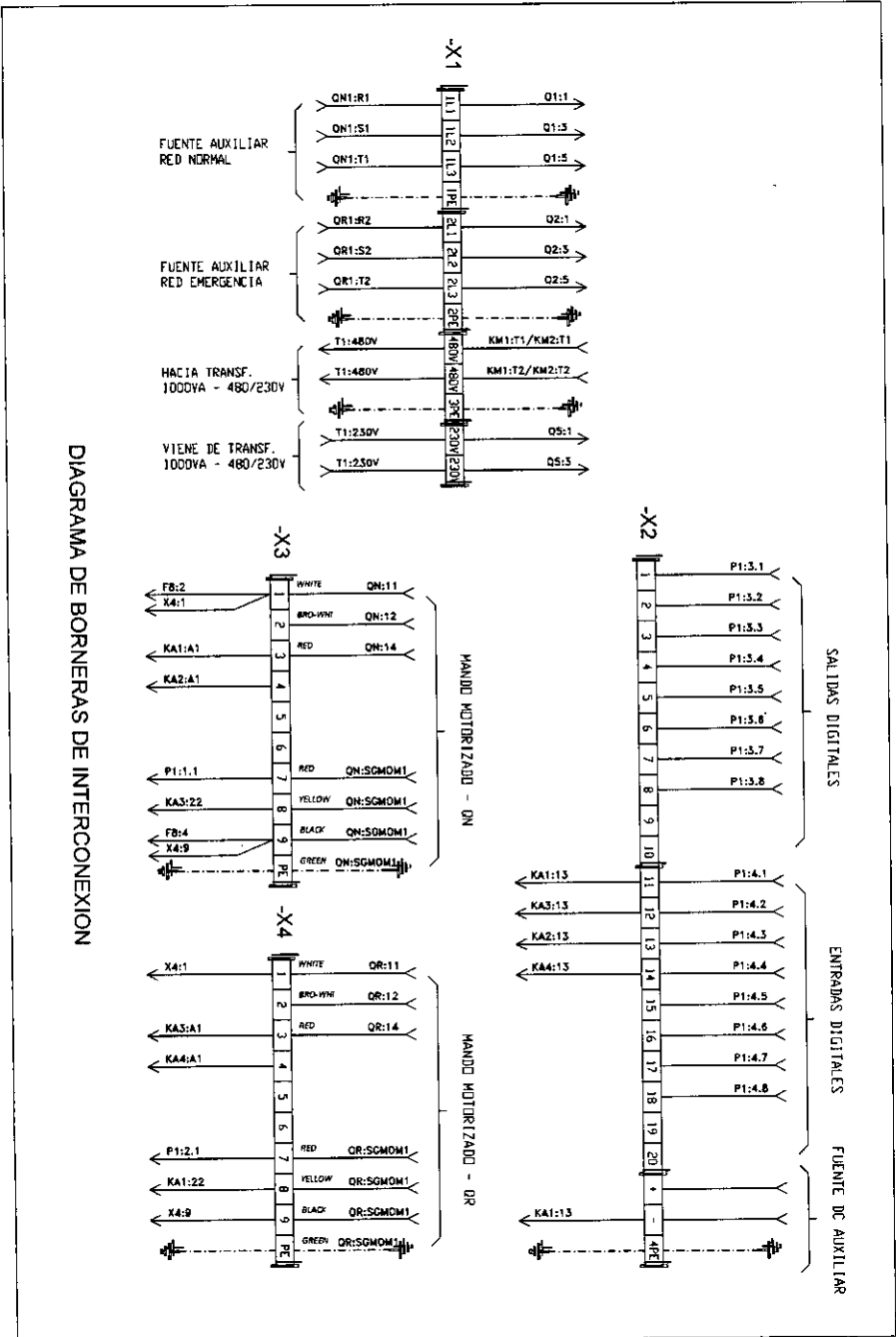
Fuente: Elaboración propia

Figura N° B4.5.- Diagrama de control señalización de interruptores QN y QR



Fuente: Elaboración propia

Figura N° B4.6.- Diagrama de borneras de interconexión



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° B4.1.- Leyenda

LEYENDA	
Nomenclatura	Descripcion General
F1..... F6	Fusible cortacircuito
H1.....H7	Piloto de señalizacion
KM1	Contactador red auxiliar normal
KM2	Contactador red auxiliar emergencia
KA1.....KA4	Contactador Auxiliar
L1, L2, L3	Lineas de alimentacion trifasica
M	Motor electrico
PE	Linea de Puesta a tierra
P1	Modulo de conmutacion de redes electricas
QN	Interruptor RED NORMAL
QR	Interruptor RED EMERGENCIA
Q1..... Q8	Interruptor termomagnetico
T1	Transformador de 480/230vac, 1000VA
X1, X2, X3, X4	Bornera de interconexion.

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO N° 5.- REALIZACIÓN DE PROYECTOS Y OBRAS EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Tabla N° B5.1.- Proyectos realizados en el AIJCH

<b>PROYECTOS EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELECTRICO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ</b>		
ITEM	DESCRIPCION GENERAL	STATUS
<b>PRIMERA PARTE</b>	<b>SEGUNDA ETAPA OBRAS REALIZADAS</b>	<b>CONCLUIDA</b>
	REDUNDANCIA EN BAJA TENSION 230 VOLTIOS	
	REDUNDANCIA EN BAJA TENSION 460 VOLTIOS	
	TRANSFERENCIA AUTOMATICA 480 V EN PP-ESU-01	
	REUBICACIÓN DEL BANCO DE CONDENSADORES	
	REPOTENCIACIÓN DE S.E. CONCOURSE N° 3 Y CONCOURSE N° 4	
<b>SEGUNDA PARTE</b>	<b>TERCERA ETAPA OBRAS REALIZADAS</b>	
	INDEPENDIZACIÓN DE LOS ALIMENTADORES EN MT S.E. TERMINAL	
	REUBICACIÓN DE LOS ALIMENTADORES BAJO LA CALLE LAP	
	ADECUACIÓN DE LAS BOMBAS DE PETROLEO DE G.E.	
	ADQUISIÓN DE CELDAS DE MT MARCA EATON	
	ADQUISIÓN DE CABLES DE BAJA TENSION	
	ADQUISIÓN DE CABLES DE MEDIA TENSION	
	EQUIPAMIENTO PARA SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA	
	ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	
	CALIBRACIÓN DE LOS RELES UBICADOS EN CADA CELDA DE MT	
REPOTENCIACIÓN DE LA RED DE RESPALDO PARA 4 MW		
ACTUALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL DMC300		
<b>TERCERA PARTE</b>	<b>CUARTA PARTE OBRA FALTANTE</b>	
	CAMBIO DE TOPOLOGÍA DE LA S.E. PRINCIPAL	
	AUTOMATIZACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES	
	INDEPENDIZACIÓN DE LOS GRUPOS ELECTROGENOS	
	ADECUACIÓN DEL BMS - SISTEMA SCADA	
	INTERVENCIÓN EN CELDAS EATON DE MT ACTUALES	
	COMISIONAMIENTO DEL DMC300 Y PUESTA EN SERVICIO	
	OFICINA TECNICA Y TRABAJOS DE INGENIERÍA	
<b>CUARTA PARTE</b>	NUEVA S.E. RESPALDO EXCLUSIVO BCI	<b>EN PROCESO</b>
	GND SISTEMA ATERRAMIENTO	
	SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LAS SUBESTACIONES	
	REDUNDANCIA 230 V CO-ESU-01 AL 06	
	OPTIMIZACIÓN SISTEMA DE VENTILACIÓN GRUPOS ELECTROGENOS	
	CASA FUERZA	
	AVIANCA	
	AERONAUTICA	
ADUANAS		
MECANICA		

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° B5.2.- Obras realizadas en el AIJCH

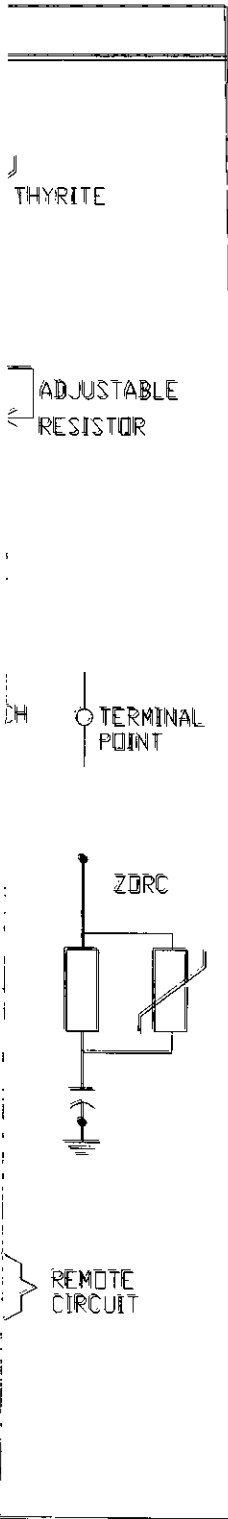
OBRAS EN LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ELECTRICO EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL JORGE CHAVEZ					
ITEM	DESCRIPCION GENERAL	COSTO \$	STATUS		
			CON-CLUIDA		
EPCM 01	PRIMERA ETAPA		CON-CLUIDA	370,600	7.48
	PEOYECTOS EN EL SISTEMA ELECTRICO	285,600			
	OFICINA TECNICA	85,000			
	APROBACIÓN POR AIJCH Y OSITRAN				
EPCM 02	SEGUNDA ETAPA OBRAS REALIZADAS		CON-CLUIDA	968,560	19.55
	REDUNDANCIA EN BAJA TENSION 230 VOLTIOS	285,560			
	REDUNDANCIA EN BAJA TENSION 460 VOLTIOS	275,000			
	TRANSFERENCIA AUTOMATICA 480 V EN PP-ESU-01	85,000			
	REUBICACIÓN DEL BANCO DE CONDENSADORES	58,000			
REPOTENCIACIÓN DE S.E. CONCOURSE N° 3 Y CONCOURSE N° 4	265,000				
EPCM 03	TERCERA ETAPA OBRAS REALIZADAS		CON-CLUIDA	1,946,331	39.29
	INDEPENDIZACIÓN DE LOS ALIMENTADORES EN MT S.E. TERMINAL	235,000			
	REUBICACIÓN DE LOS ALIMENTADORES BAJO LA CALLE LAP	195,000			
	ADECUACIÓN DE LAS BOMBAS DE PETROLEO DE G.E.	83,481			
	ADQUISIÓN DE CELDAS DE MT MARCA EATON	398,650			
	ADQUISIÓN DE CABLES DE BAJA TENSION	95,600			
	ADQUISIÓN DE CABLES DE MEDIA TENSION	185,000			
	EQUIPAMIENTO PARA SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA	135,000			
	ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	35,650			
	CALIBRACIÓN DE LOS RELES UBICADOS EN CADA CELDA DE MT	45,000			
	REPOTENCIACIÓN DE LA RED DE RESPALDO PARA 4 MW	350,000			
	ACTUALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL DMC300	187,950			
EPCM 04	CUARTA PARTE OBRA FALTANTE		EN PROCESO	1,668,547	33.68
	CAMBIO DE TOPOLOGÍA DE LA S.E. PRINCIPAL	389,000			
	AUTOMATIZACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES	211,173			
	INDEPENDIZACIÓN DE LOS GRUPOS ELECTROGENOS	142,814			
	ADECUACIÓN DEL BMS - SISTEMA SCADA	55,560			
	INTERVENCIÓN EN CELDAS EATON DE MT ACTUALES	130,000			
	COMCIONMAIENTO DEL DMC300 Y PUESTA EN SERVICIO	115,000			
	OFICINA TECNICA Y TRABAJOS DE INGENIERÍA	165,000			
	TRABAJOS TERCEROS	235,000			
	IMPREVISTOS	225,000			
COSTOS FINALES	COSTOS DIRECTOS	4,954,038		100.00	100.00
	GASTOS ADMINISTRATIVOS	594,485			
	UTILIDAD	594,485			
	COSTO SIN IGV	6,143,007			
	IGV	1,105,741			
	COSTO FINAL INCLUIDO IGV	7,248,748			

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO N° 6.- ÍNDICE DE PLANOS

### CÓDIGOS DESCRIPCIÓN GENERAL

IE - 01	LEYENDA DE SIMBOLOS – 01
IE - 02	LEYENDA DE EQUIPOS - 02
IE - 03	LEYENDA DE EQUIPOS – 03
IE - 04	DIAGRAMA UNIFILAR ACTUAL S.E. MT
IE - 05	DIAGRAMA UNIFILAR PROYECTADO S.E. MT
IE - 06	DIAGRAMA UNIFILAR ACTUAL DMC
IE - 07	DIAGRAMA UNIFILAR PROYECTADO DMC
IE - 08	LOGICA DE CONTROL - RED DE RESPALDO 230V
IE - 09	LOGICA DE CONTROL - RED DE RESPALDO 480V
IE - 010	DMC Y SU CONECTIVIDAD
IE - 011	CARGADOR DE BATERIAS



LOCK

ZING SWITCH

SYNCHROSCOPE

DOWN FOR BKR IN TEST POSITION

DIAL SECTION

GLAMP