



BUAP

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA**

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**“Análisis de un esquema de acción remedial (EAR) en
el ámbito de la Zona de Operación de Transmisión
Metropolitana”**

Propuesta de TESIS

Que para obtener el grado en

**MAESTRÍA EN INGENIERIA
CON OPCIÓN TERMINAL EN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Presenta:

José Jairo Natarén Herrera

Director de tesis: M. en I. Victorino Turrubiates Guillén

Asesor de tesis: M. C. Erasmo Saloma Ruiz

H. Puebla de Zaragoza, Pue . a Agosto 2021



RESUMEN

El crecimiento de la demanda del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), la entrada en servicio a destiempo de nuevas obras, así como una red insuficiente de transmisión o capacidad de transformación, suelen ser el origen de la instalación de Esquemas de “defensa”, los cuales tienen el propósito de mantener la integridad del SEN, optimizar la red de transmisión, reducir los costos de producción y minimizar la afectación de usuarios en condiciones de estado de emergencia mediante la conexión/desconexión automática de algunos elementos previamente seleccionados. La conexión/desconexión de estos elementos tiene el objetivo de evitar la evolución de un disturbio, el cual puede desencadenar una desconexión en cascada de varios elementos hasta terminar en un colapso parcial o total del propio Sistema. [7]

A estos esquemas de “defensa” que permiten la conexión/desconexión de uno o varios elementos del Sistema, se les denomina “Esquemas de Acción Remedial” (EAR) y tienen la finalidad de controlar elementos del Sistema bajo ciertas condiciones de operación (principalmente de emergencia) y ante la presencia de contingencias previamente analizadas, para mantener cierto margen de seguridad en el Sistema. Por tal motivo se ha implementado el EAR Disparo automático de línea (DAL) en el corredor TEX-LAP. [7]

Se hará un análisis de flujos con ayuda del software WS500 del fabricante alemán ABB, en dicho corredor ante contingencia sin y con la implementación del esquema de acción remedial (EAR) del disparo automático de línea (DAL) en dicho corredor, demostrando su factibilidad.

ABSTRACT

The growth in demand for the Electric Power System (SEP), the untimely entry into service of new works, as well as an insufficient transmission network or transformation capacity, are usually the origin of the installation of “defense” schemes, which have the purpose of maintaining the integrity of the SEN, optimizing the transmission network, reducing production costs and minimizing the impact of users in conditions of state of emergency through the automatic connection / disconnection of some previously selected elements. The connection / disconnection of these elements has the objective of avoiding the evolution of a disturbance, which can trigger a cascade disconnection of several elements until ending in a partial or total collapse of the System itself.

These "defense" schemes that allow the connection / disconnection of one or more elements of the System, are called "Remedial ActionSchemes" (EAR) and have the purpose of controlling elements of the System under certain operating conditions (mainly of emergency) and in the presence of contingencies previously analyzed, to maintain a certain margin of safety in the System for this reason, the EAR Automatic Line Trip (DAL) has been implemented in the TEX-LAP corridor.

A flow analysis will be carried out with the help of the WS500 software from the German manufacturer ABB, in said corridor in the event of contingency without and with the implementation of the remedial action scheme (EAR) of the automatic line trip (DAL) in said corridor, demonstrating its feasibility.

Agradecimientos

A mis padres por darme la vida y estar en esta tierra, a mi hermano por todo su apoyo incondicional.

A mi compañera de vida, por su amor y apoyo incondicional, una excelente pareja, pero mejor ser humano. Te amo Mirza Nahyeli Frías González.

Gracias a todos los que aportaron directa e indirectamente en esta travesía llamada maestría.

Índice de figuras.

Figura	Nombre	Página
2.1	Ubicación geográfica de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana	3
2.2	Líneas de transmisión de enlace entre Gerencias de Control Regional.	4
3.3.1	Diagrama unifilar S.E Texcoco (TEX) 400 KV.	8
3.3.2	Diagrama unifilar S.E Texcoco (TEX) 230 KV.	9
3.3.3	Diagrama unifilar S.E. La Paz (LAP) 400 KV.	11
3.3.4	Diagrama unifilar S.E. La Paz (LAP) 230 KV.	12
3.3.5	Diagrama unifilar S.E. La Paz (LAP) 23 KV.	13
3.3.6	Diagrama unifilar S.E. Chapingo (CPG) 230 KV.	15
3.3.7	Diagrama unifilar S.E. Chapingo (CPG) 23 KV.	16
3.3.8	Diagrama unifilar S.E. Aurora (AUR) 230 KV.	18
3.3.9	Diagrama unifilar S.E. Aurora (AUR) 85 KV.	19
3.3.10	Diagrama unifilar S.E. Aurora (AUR) 23 KV.	20
3.3.11	Diagrama unifilar S.E. CHN 230/23 KV.	22
4.2.1	Condición No.1 de disparo del esquema DAL.	24
4.2.2	Condición No.2 de disparo del esquema DAL.	25
4.2.3	Condición No.3 de disparo del esquema DAL.	26
4.2.4	Condición No.4 de disparo del esquema DAL.	27
4.2.5	Condiciones de disparo DAL.	28
4.2.6	Disparo de las L.T.'s 93D00 Y 93L10.	29
4.2.7	Diagrama de lógica de disparo en S.E. Texcoco (TEX).	29
4.2.8	Posición de Interruptor en S.E. La Paz (LAP) 400 KV.	29
4.2.9	Diagrama eléctrico de la función DAL.	30
5.1	Red de 400 KV en el ámbito de la Gerencia de Control Regional Central (GCRC) y de la Zona de Operación Metropolitana (ZOTM).	32
5.2	Red de 230 KV en el ámbito de la Zona de Operación Metropolitana (ZOTM).	33
5.3	Diagrama unifilar mostrando las interconexión de las S.E.'s TEX y LAP en 400 KV involucradas en el DAL.	34
5.4	Diagrama unifilar mostrando las interconexión de las S.E.'s CPG, CHN Y AUR en 230 KV involucradas en el DAL.	35
5.5	Condición de doble contingencia (Apertura de los Interruptores propios y medios de la L.T.A3850 y L.T. A3950 En S.E. LAP y apertura de los interruptores propios de Dichas L.T.'s en S.E. TEX)	36
5.6	Sobrecarga del corredor de 230 KV (CPG-CHN-AUR).	37
5.7	Sobrecarga de los A.T.'s de 230 KV en S.E. TEX.	37
5.8	Apertura de las L.T.'s CPG-93D00-AUR y CPG-93L10-CHN Por accionamiento de esquema de acción remedial DAL.	39
5.9	Ligera sobrecarga de la L.T. TTH-93T80-ACO al ser ligeramente más corta.	40

Índice de tablas.

Tabla	Nombre	Página
2.1	Identificación de ubicación geográfica de las Gerencias de Control regional y la ZOTM.	3
3.3.1	Autotransformadores instalados en S.E. TEX y su capacidades Nominales.	7
3.3.2	Líneas de transmisión TEX-LAP y sus capacidades nominales	7
3.3.3	Autotransformadores instalados en S.E. LAP y su capacidades Nominales.	10
3.3.4	Transformadores instalados en S.E. CPG y sus capacidades Nominales.	14
3.3.5	Líneas de transmisión CPG-AUR, CPG-CHN y sus Capacidades nominales.	14
3.3.6	Transformadores instalados en S.E. AUR y sus capacidades Nominales.	17
3.3.7	Transformador instalado en S.E. CHN y su capacidad nominal	21
3.3.8	Línea de transmisión CHN-AUR y su capacidad nominal.	21

Glosario de términos

Esquemas de Acción Remedial (EAR)

Conjunto coordinado de controles que al presentarse determinadas condiciones de emergencia en la operación del Sistema Eléctrico Nacional, realiza la desconexión automática y prevista de ciertos elementos de la red eléctrica (incluyendo la desconexión de unidades de Central Eléctrica, interrupción de Centros de Carga y cambio de topología), para llevar al Sistema en forma controlada a un nuevo estado operativo donde prevalezca su integridad, contribuyendo a optimizar la Red Nacional de Transmisión, reduciendo los costos de producción y minimizando la afectación a usuarios finales. [1]

Disparo automático de Línea (DAL)

Esquema de acción remedial mediante la implementación de alguna lógica de disparo se desconecta automáticamente una o varias líneas de transmisión.

Sistema Eléctrico de Potencia (SEP)

Conjunto de instalaciones y equipos eléctricos para producir, transportar y distribuir energía eléctrica a los usuarios de una zona, ciudad, región o país.

Nomenclatura

TEX TEXCOCO.
LAP LA PAZ.
CPG CHAPINGO.
AUR AURORA.
CHN CHIMALCUACÁN.

Tabla de contenido

Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación	2
1.4 Estructura del trabajo de tesis	2
Capítulo 2. Ubicación de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana y su Interconexión.	3
2.1 Responsabilidades y actividades de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (ZOTM).	4
Capítulo 3. Esquemas de Acción Remedial (EAR).	5
3.1 Guía de diseño del Esquema de Acción Remedial	6
3.1.1 Introducción.....	6
3.2 Implementación de esquemas de acción remedial	6
3.3 Subestaciones involucradas en el DAL	7
3.3.1 Subestación Texcoco (TEX).	7
3.3.2 Subestación La Paz (LAP).....	10
3.3.3 Subestación Chapingo (CPG).....	14
3.3.3 Subestación Aurora (AUR).	17
3.3.3 Subestación Chimalhuacán (CHN).....	20
Capítulo 4.Funcionamiento del esquema DAL.	23
4.1 Principio de funcionamiento del esquema DAL	23
4.2 Condiciones de disparo del esquema DAL	23
4.2.1 Condición de disparo No.1 del esquema DAL.....	24
4.2.2 Condición de disparo No.2 del esquema DAL.....	25
4.2.3 Condición de disparo No.3 del esquema DAL.....	26
4.2.4 Condición de disparo No.4 del esquema DAL.....	27
4.2.5 Resumen de condiciones de disparo del esquema DAL.	28
4.2.6 Posición de interruptor en <u>S.E.</u> LAP 400 KV.	29
4.2.7 Diagrama eléctrico de la función DAL en S.E. CPG 230 KV.	30

Capítulo 5. Analisis de la red sin esquema de acción remedial (EAR) del Disparo Automatico de Línea (DAL).	31
5.1 Análisis de la red sin esquema de acción remedial (EAR) del Disparo Automatico de Línea (DAL)	38
Conclusiones y Trabajos a futuro	40
Referencias.....	42
Anexo A	43

CAPITULO 1. Introducción.

En el Sistema Eléctrico Nacional, de entre las líneas de transmisión más cargadas se localizan las existentes entre las subestaciones TEXCOCO y LA PAZ (TEX-LAP) de 400 KV en la Gerencia de Control Regional Central (GCRC). En condiciones actuales, es muy difícil reducir el nivel de cargabilidad de los circuitos mencionados, solo una alta generación en la zona del Caracol o una inyección considerable del hidro del sureste, así como un bajo despacho en la zona del golfo lo reducen de manera significativa, no obstante, no es una acción remedial inmediata y disponible de manera permanente. [5].

El disparo de las dos LT de 400 kV TEX-LAP de este corredor, provoca que se alcance el ajuste de disparo de uno de los transformadores de TEX debido a que se tiene el interruptor de amarre abierto en TEX-230 kV (El ajuste de disparo de los transformadores de TEX 400/230 KV actualmente están al 40 % ó 525 MVA). También ante la doble contingencia, la LT's CPG-AUR alcanzan los 546 MW, ocasionando una salida en cascada y sin control de elementos de la red de 230 kV, con la subsecuente afectación a la carga, y en el peor de los casos, puede provocar perder más de 1000 MW en alrededor de 20 subestaciones en el nor-orienté de la zona metropolitana de la Cd. de México. Para evitar estas sobrecargas se debe abrir la trayectoria del flujo de potencia en la red de 230 kV en el corredor CPG-AUR. La apertura de estos circuitos causa que la trayectoria TUL-VIC en 400 kV incremente su transmisión y se presente un abatimiento del voltaje en las S.E. VIC, NOP, BRN, TOP, CRU y LAP. Esto a su vez activaría la operación del DAC por bajo voltaje en la S.E. TOP, desconectando aproximadamente 1031 MW para recuperando el voltaje en TOP-400 kV. [5].

1.1 Objetivo general.

Realizar el análisis de flujos de potencia en la red eléctrica de transmisión en el ámbito de la Zona de Transmisión del Valle de México en 230 KV demostrando la factibilidad de implementación del esquema de acción remedial (EAR) Disparo automático de línea (DAL) en el corredor TEX-LAP. Para preservar la confiabilidad de dicho corredor en el ámbito de la ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN METROPOLITANA (ZOTM).

Estos estudios en redes eléctricas de transmisión facilitan la planeación y crecimiento de redes eléctricas, una mejor operación y toma de decisiones acertadas cuando se presentan contingencias (disparos fortuitos), así como tomar decisiones sobre reconfiguraciones en redes para mantener niveles de voltaje permitidos.

1.2 Objetivos específicos.

Demostrar la factibilidad de implementar un esquema de acción remedial de disparo automático de línea a través de un estudio de análisis de flujos de potencia con apoyo del software WS500 del fabricante alemán ABB.

1.3 Justificación.

Evitar la sobrecarga en bancos de transformación y en líneas de transmisión de 230 KV (con su eventual salida y eventos en cascada) ante el disparo de las dos líneas TEX-LAP EN 400 KV considerando que la S.E. TEX 230 KV opera con barras separadas (abierto TEX 99890) y la entrada de la S.E. CHN (Chimalhuacán) en la LT CHN 93D10 AUR. [5]

1.4 Estructura del trabajo de tesis

La presentación del trabajo desarrollado se ha distribuido en los siguientes capítulos y el contenido fundamental de cada uno se describe a continuación:

Capítulo 2: Se presenta la ubicación de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana la cual tiene la responsabilidad de realizar el control físico de las instalaciones a su cargo, coordinando, supervisando y operando físicamente las mismas, coordinándose con el segundo y cuarto nivel. Esta labor la realiza en la zona Central del País las 24 horas del día, los 365 días del año con el fin de proveer de Energía Eléctrica en condiciones de Cantidad, Calidad, Continuidad y Seguridad a todos los clientes.

Capítulo 3: Se habla de los esquemas de acción remedial existentes, los cuales funcionan como segunda línea de defensa o protección en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Enfocándonos en el Disparo Automático de Línea (DAL).

Capítulo 4: En este capítulo se expone los principios de funcionamiento del esquema de acción remedial (EAR) disparo automático de línea (DAL).

Capítulo 5: En este capítulo se hará el análisis de flujos de la red integrada al esquema de acción remedial, demostrando su factibilidad.

Se realizará el análisis de flujos de dicha red sin la ejecución del esquema de acción remedial (EAR) disparo automático de líneas (DAL) y con la ejecución de dicho esquema.

Conclusiones y trabajos futuros: Se exponen las conclusiones sobre el trabajo desarrollado y se propone la implementación de un esquema de acción remedial de Disparo Automático de Línea en cualquier red que se encuentre saturada, buscando una corrección de la falla al menor costo financiero posible.

CAPITULO 2. Ubicación de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana y su Interconexión.

La Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (ZOTM) se localiza en el centro del país y se encuentra dentro de la Gerencia de Control Regional Central (GCRC) la cual tiene enlaces de forma directa con la Gerencia de Control Regional Oriental (GCROR) y la Gerencia de Control Regional Occidental (GCROC). [6]

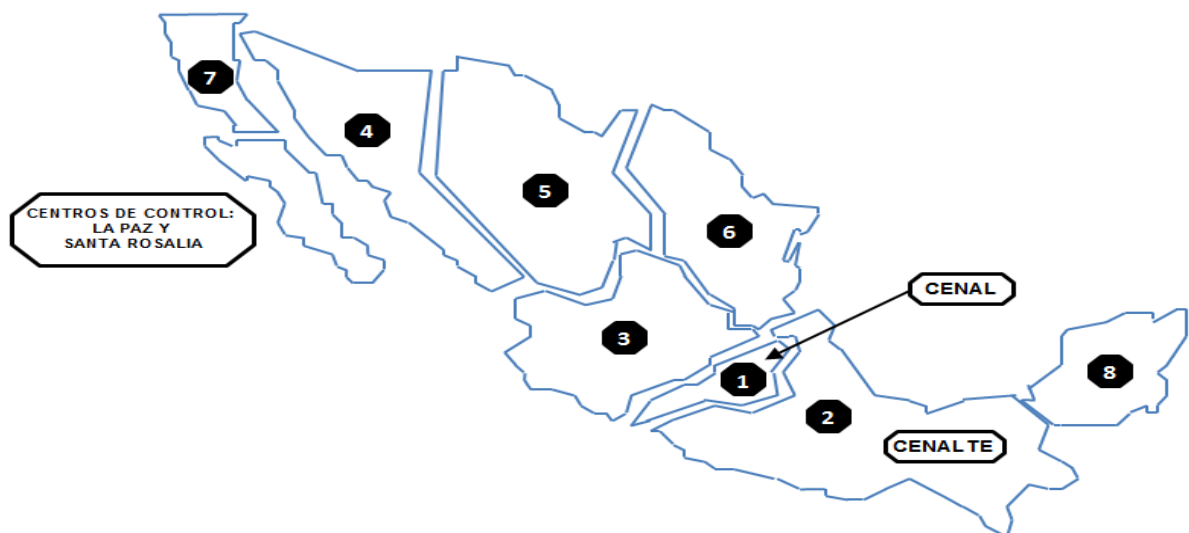


Figura 2.1. Ubicación geográfica de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (ZOTM). [6]

# IDENTIFICACIÓN	INSTALACIÓN	UBICACIÓN GEOGRAFICA
1	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL CENTRAL / CENAL	CIUDAD DE MÉXICO
2	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL ORIENTAL / CENALTE	CD. DE PUEBLA, PUE.
3	GERENCIAL DE CONTROL REGIONAL OCCIDENTAL	CD. DE GUADALAJARA, JAL.
4	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL NOROESTE	CD. DE HERMOSILLO, SON.
5	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL NORTE	CD. DE GOMEZ PALACIO, DGO.
6	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL NORESTE	CD. DE MONTERREY, NL.
7	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL BAJA CALIFORNIA	CD. DE MEXICALI, BCN.
8	GERENCIA DE CONTROL REGIONAL PENINSULAR	CD. DE MERIDA, YUC.

Tabla 2.1. Identificación de ubicación geográfica de las gerencias de control regional y la zona de operación de transmisión metropolitana.

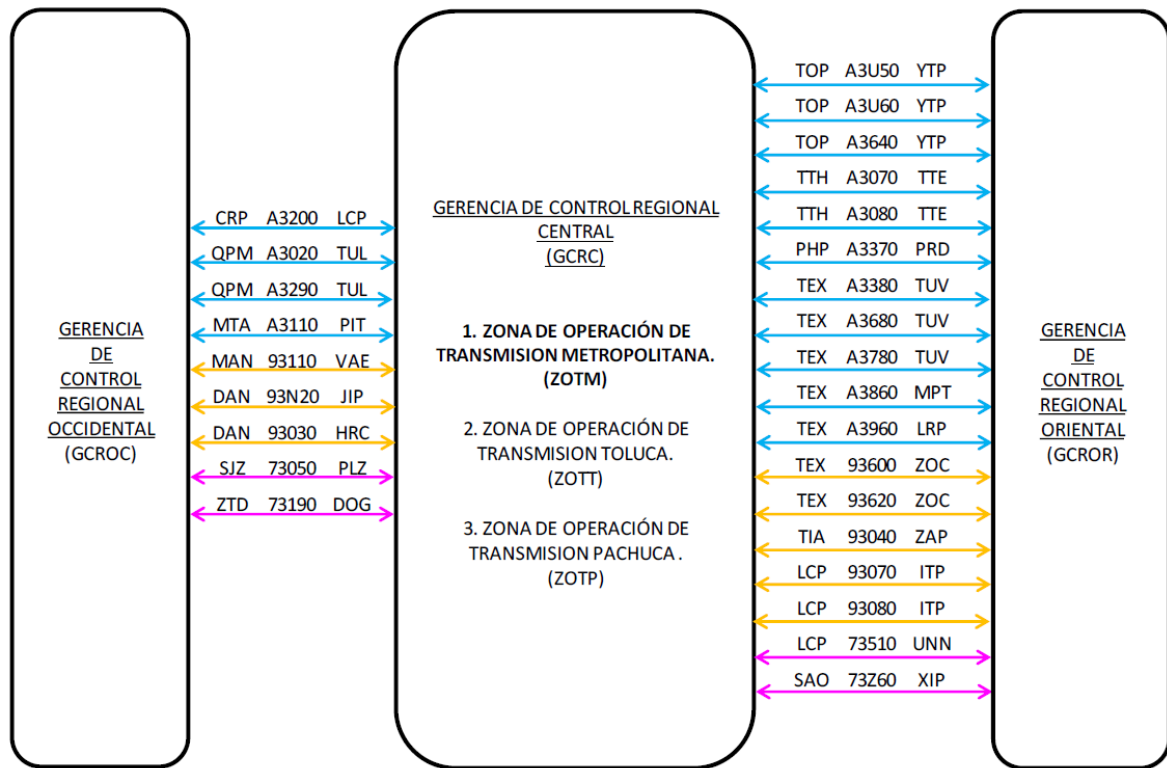


Figura 2.2 Líneas de transmisión de enlace entre Gerencias de Control Regional. [6]

Por la dimensión y carga de La Gerencia de Control Regional Central (GCRC) esta se subdivide en 3 Zonas de Operación de Transmisión: Metropolitana, Toluca y Pachuca que interactúan entre ellas supervisando y controlando cada una de ellas las subestaciones eléctricas que le corresponden. Siendo la de mayor dimensión y carga la **ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN METROPOLITANA (ZOTM)**. [6].

Capítulo 2.1 Responsabilidades y actividades de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (ZOTM).

La Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (ZOTM) tiene la responsabilidad de realizar el control físico de las Instalaciones a su cargo, coordinando, supervisando y operando físicamente las mismas, coordinándose con el segundo y cuarto nivel. Esta labor la realiza en la zona Central del País las 24 horas del día, los 365 días del año con el fin de proveer de Energía Eléctrica en condiciones de Cantidad, Calidad, Continuidad y Seguridad a todos los clientes. Sus características generales son:

- Alta carga en la zona y Déficit de Generación.
- Proporciona servicio a 7, 096, 121 usuarios.

➤ Red de 400kV con un Doble Anillo de 2 conductores por fase, con conductor calibre 1113 ACSR con excepción del tramo entre las Subestaciones

Texcoco (TEX) y La Paz (LAP) que tiene conductor tipo ACCC/TW Drake 1020 KCMIL.

- Con 168 Subestaciones Eléctricas*:
 - Red de 400kV con 10 Subestaciones Eléctricas.
 - Red de 230kV con 75 Subestaciones Eléctricas.
 - Red de 85kV con 83 Subestaciones Eléctricas.
- Con 322 Equipos de Transformación (Autotransformadores y Transformadores) y una Capacidad Instalada de 24740 MVA's.
- Para un control más eficiente de la ZOTM se divide en dos Módulos de Control: Norte y Sur. [6]

***NOTA: Se contabilizan las Subestaciones de forma independiente de acuerdo a Nivel de Tensión, sin importar que tengan el mismo nombre.**

CAPITULO 3. Esquemas de acción remedial (EAR)

Un gran número de Fallas que inciden en la red son del tipo monofásico y de naturaleza temporal. Ante contingencias múltiples se aceptará la pérdida calculada y controlada de carga y los ajustes requeridos para restablecer el equilibrio del SEN (Sistema Eléctrico Nacional). Para esto se utilizan esquemas de acción remedial, los cuales constituyen una segunda línea de defensa o protección.

El empleo de controles de acción remedial puede resultar en ahorros y/o aplazamiento de inversiones en infraestructura. Un esquema de disparo y re-cierre mono-polar o de compensación serie dinámica podría diferir o cancelar la construcción de circuitos paralelos adicionales. En caso de diferir, la decisión puede significar una reducción temporal y calculada de la confiabilidad y la continuidad de servicio. Esto se contrapone con el aumento de la posibilidad de mantener el sincronismo y evitar eventos de mayor afectación al sistema y a los usuarios. [2]

Entre otros controles, se destacan los siguientes:

- Inserción/desconexión de reactores/capacitores
- Disparo automático de generación (DAG)
- Disparo automático de carga por baja frecuencia
- Disparo automático de línea (DAL).
- Disparo de generación por baja frecuencia
- Disparo automático de carga por bajo voltaje [2]

En este tema de tesis, nos enfocaremos en el Disparo Automático de Línea (DAL).

3.1 Guía de diseño del Esquema de Acción Remedial

3.1.1 Introducción

Los esquemas de acción correctiva (RAS), por sus siglas en inglés, también conocidos como sistemas de protección especial (SPS), por sus siglas en inglés, se utilizan ampliamente para proporcionar mitigación automática de violaciones de rendimiento en sistemas de energía que no sean la detección de fallas en los elementos BES (Bulk Electric System) y el aislamiento de los elementos defectuosos. Los términos SPS y RAS a menudo se usan indistintamente, pero históricamente WECC ha usado el término RAS. NERC ha adoptado recientemente la terminología RAS en la definición de 2015 y el estándar PRC-012-2 y está en proceso de retirar el Sistema de Protección Especial (SPS). [3]

Un sistema eléctrico a granel (BES) son recursos de generación eléctrica, líneas de transmisión, interconexiones con sistemas vecinos y equipos asociados, generalmente operados a voltajes de 100 KV o más. [12].

Los incentivos económicos y otros factores han llevado a un mayor uso del sistema de transmisión eléctrica, transferencias de energía y cambios en los patrones de uso históricos, tanto entre regiones como dentro de los servicios públicos individuales. La construcción de nuevas transmisiones a menudo se ha quedado rezagada con respecto a estos cambios, lo que ha dado lugar a márgenes operativos más bajos. Los planes de acción correctiva se aplican generalmente para resolver problemas de contingencia múltiple únicos y creíbles. Los RAS son esquemas automáticos que aplican acciones de mitigación para contingencias detectadas sin la intervención del operador. Estos esquemas se han vuelto más comunes principalmente porque son menos costosos y más rápidos de permitir, diseñar y construir que otras alternativas, como la construcción de grandes líneas de transmisión y plantas de energía. [3].

3.2 Implementación de Esquemas de Acción Remedial

A través de la experiencia y el conocimiento de sus sistemas, los operadores de sistemas desarrollan Esquemas de Acción Remedial (EAR) para contingencias que normalmente causan inviabilidad operativa. Estos Esquemas de Acción Remedial (EAR) normalmente implican el inicio automático de cambios en el sistema o la red que debe tener lugar después de detectar una contingencia. Por ejemplo, un Esquemas de Acción Remedial (EAR) podría involucrar conmutar varios bancos de condensadores o desconectar varios reactores, bancos. Para cada contingencia que necesite un Esquemas de Acción Remedial (EAR), se deben realizar estudios para establecer los cambios de

configuración. Una vez obtenido el Esquema de Acción Remedial (EAR), está armado como acción automática por SCADA. Los operadores pueden armar o desarmar un Esquema de Acción Remedial (EAR). [4]

3.3 Subestaciones involucradas en el esquema DAL.

3.3.1 Subestación Texcoco (TEX)

La subestación Texcoco en 400 KV, cuenta con arreglo de 4 barras y barra de transferencia, las cuales cuentan con:

- 2 seccionadores, barra 1 - barra 3 (INT. A9030) y Barra 2- Barra 4 (INT. A9020),
- 2 amarres, Norte (INT. A9890) y Sur (INT. A9010),
- 3 autotransformadores de 400/230 KV de 375 MVA'S cada uno, 9 líneas de 400 KV
- Compensador estático de VARS de -90 MVAR inductivos y +300 MVA capacitivos.

En 230 kv, se cuenta con arreglo de barra 1, barra 2 y barra de transferencia, las cuales cuentan con:

- 8 líneas de 230 kv. [7]

NOMBRE	ESTACION	BANCO	VOLTAJE PRIMARIO KV	VOLTAJE SECUNDARIO KV	POTENCIA NOMINAL MVA	NUMERO DE BANCOS 400/230kV	CAPACIDAD TOTAL MVA INSTALADA
Texcoco	TEX	AT-01	400	230	375	3	1125
		AT-02			375		
		AT-03			375		

Tabla 3.3.1 Autotransformadores instalados en S.E. TEX y su capacidad nominal. [6].

S.E ENVIO	LINEA	S.E. RECIBO	TRAMO DE LA LINEA	LONGITUD TRAMO KM	LONGITUD DE LÍNEA KM	No. CONDU. POR FASE	CONDUCTOR			CORREDOR			
							CALIBRE/TIPO	CAPACIDAD AMPERES	LIMITE TERMICO MVA	LIMITE TERMICO MVA	LIMITE OPERATIVO MVA	OPERACIÓN EMERGENCIA SOBRECARGA MVA	HILO GUARDA MATERIAL/CALIBRE
TEX	A3850	LAP	1 de 1	26.24	26.24	2	1020 KCMIL	1600	1109	2217	2217 *	2400	AG 5/16"
TEX	A3950	LAP	1 de 1	26.24	26.24	2	1020 KCMIL	1600	1109	2217	2217 *	2400	AG 5/16"

Tabla 3.3.2 Líneas de transmisión TEX-LAP y sus capacidades nominales. [6]

*Limite operativo de acuerdo a oficio dgt 1848 enviado a CENACE el 13-nov-17.

*Limite Operativo De Acuerdo A Oficio Grtc-145-2019 Del 25-Ene-19. [6]

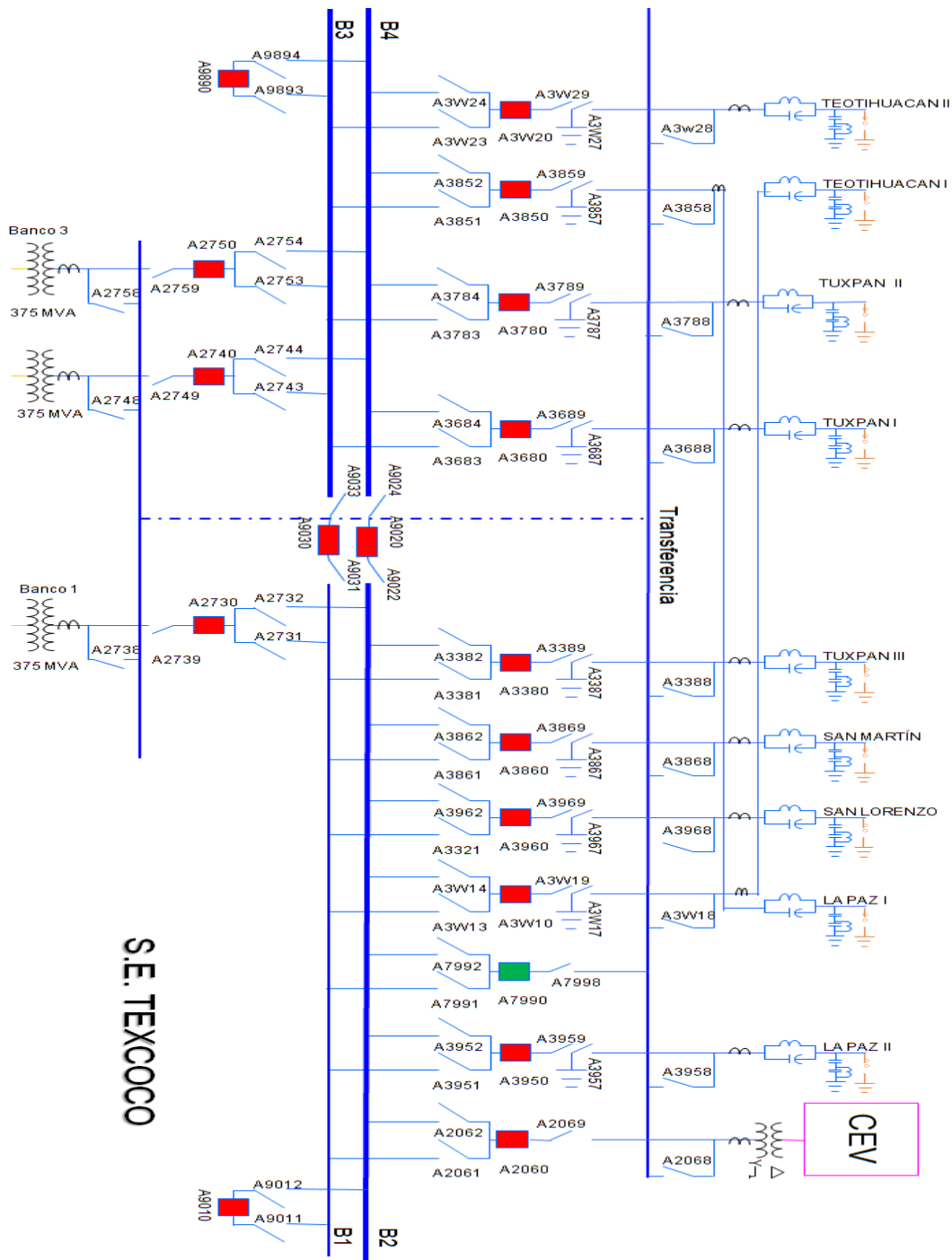


Figura 3.3.1 Diagrama unifilar S.E TEX 400 KV [8]

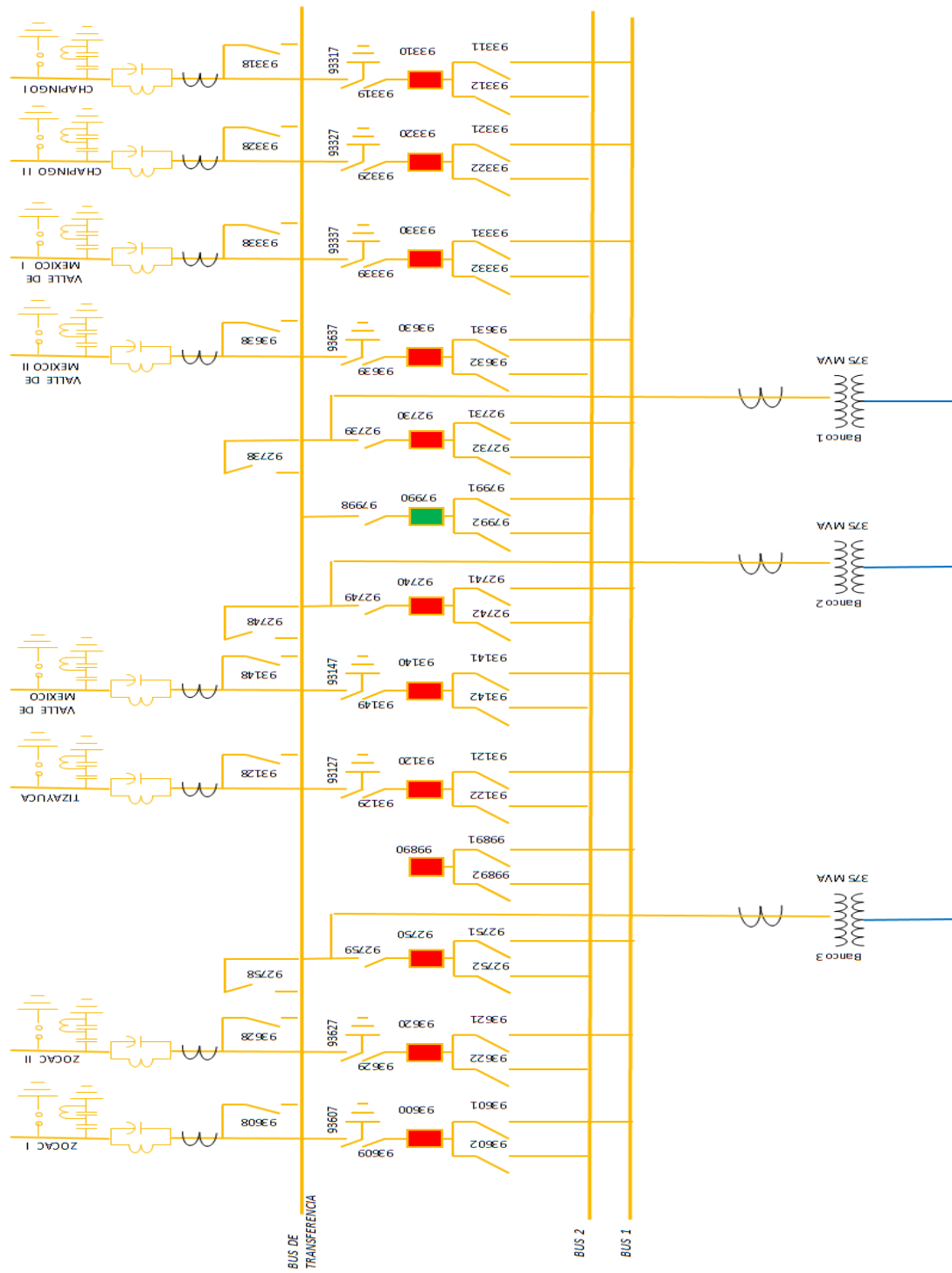


Figura 3.3.2 Diagrama unifilar S.E TEX 230 KV [8]

3.3.2 Subestación La Paz (LAP)

La subestación La Paz cuenta con 4 Líneas de Transmisión dentro de la zona de 400 KV, 4 Líneas de Transmisión en la zona de 230 KV, 8 alimentadores y un CEV de +/- 300 MVARs.

Su topología de construcción es tipo intemperie con un arreglo de doble barra e interruptor y medio para la zona 400 KV y 230 KV.

En la zona de 23KV interruptores metal clad se tiene arreglo de doble anillo. La subestación forma parte del doble anillo de 400 KV del Valle de México y converge con las subestaciones TEXCOCO, SANTA CRUZ, así mismo también forma parte del doble anillo en la red de 230KV y es fuente para alimentar las subestaciones de potencia Aurora, Ayotla e Ixtapaluca. En el área de 23KV el cliente interno es DDVMC Zona CHAPINGO. [7]

VENTAJAS DEL ARREGLO INTERRUPTOR Y MEDIO

En este arreglo se puede librar un interruptor propio sin afectar en su continuidad la energía eléctrica, así mismo cualquier interruptor medio para su mantenimiento. [7]

NOMBRE	ESTACION	BANCO	VOLTAJE PRIMARIO KV	VOLTAJE SECUNDARIO KV	POTENCIA NOMINAL MVA	NUMERO DE BANCOS 400/230KV	CAPACIDAD TOTAL MVA INSTALADA
La Paz	LAP	AT-01	400	230	330	3	990
		AT-02			330		
		AT-03			330		

Tabla 3.3.3 Autotransformadores instalados en S.E. LAP y su capacidad nominal. [6].

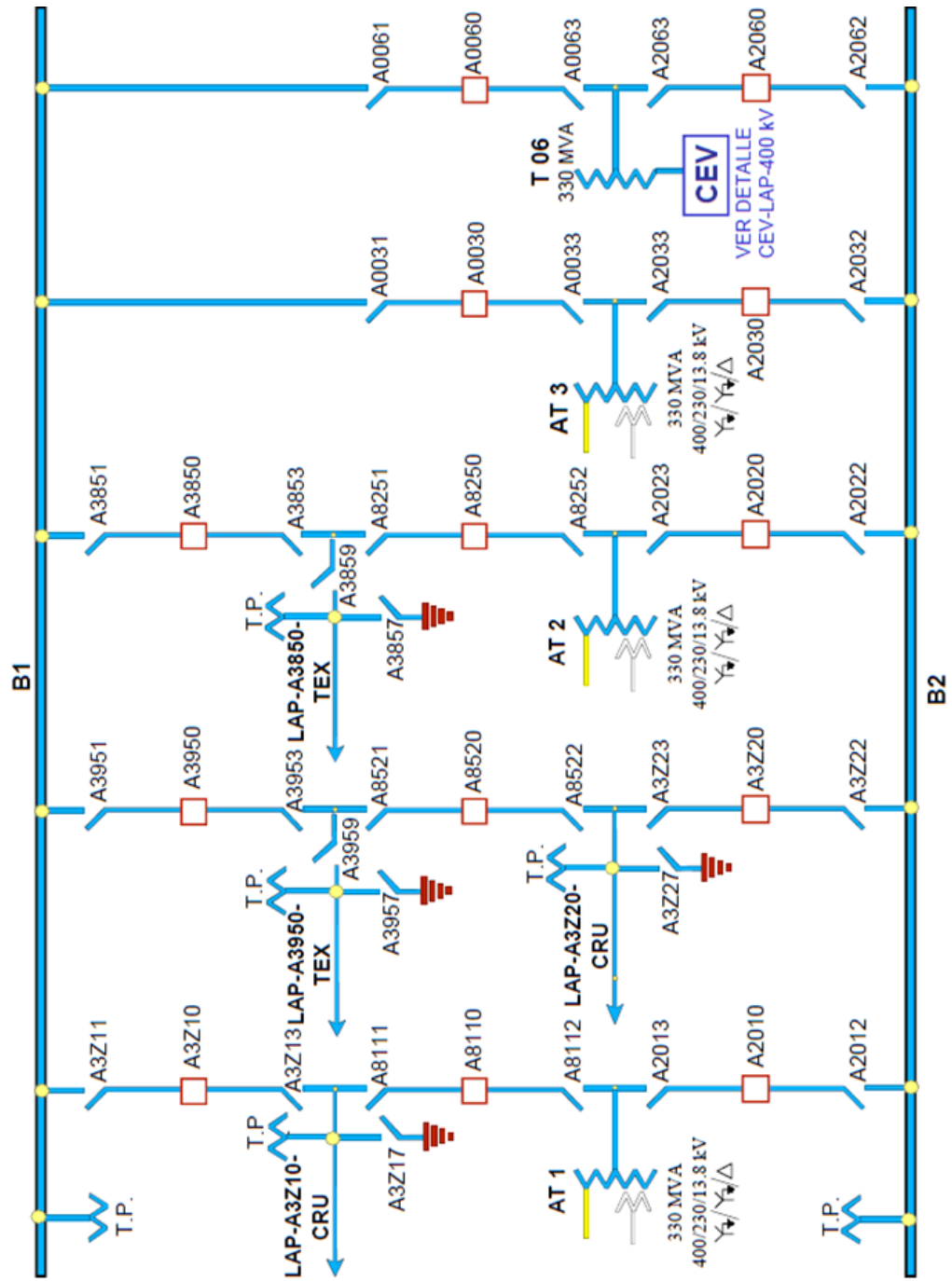


Figura 3.3.3 Diagrama unifilar S.E. LAP 400 KV. [9]

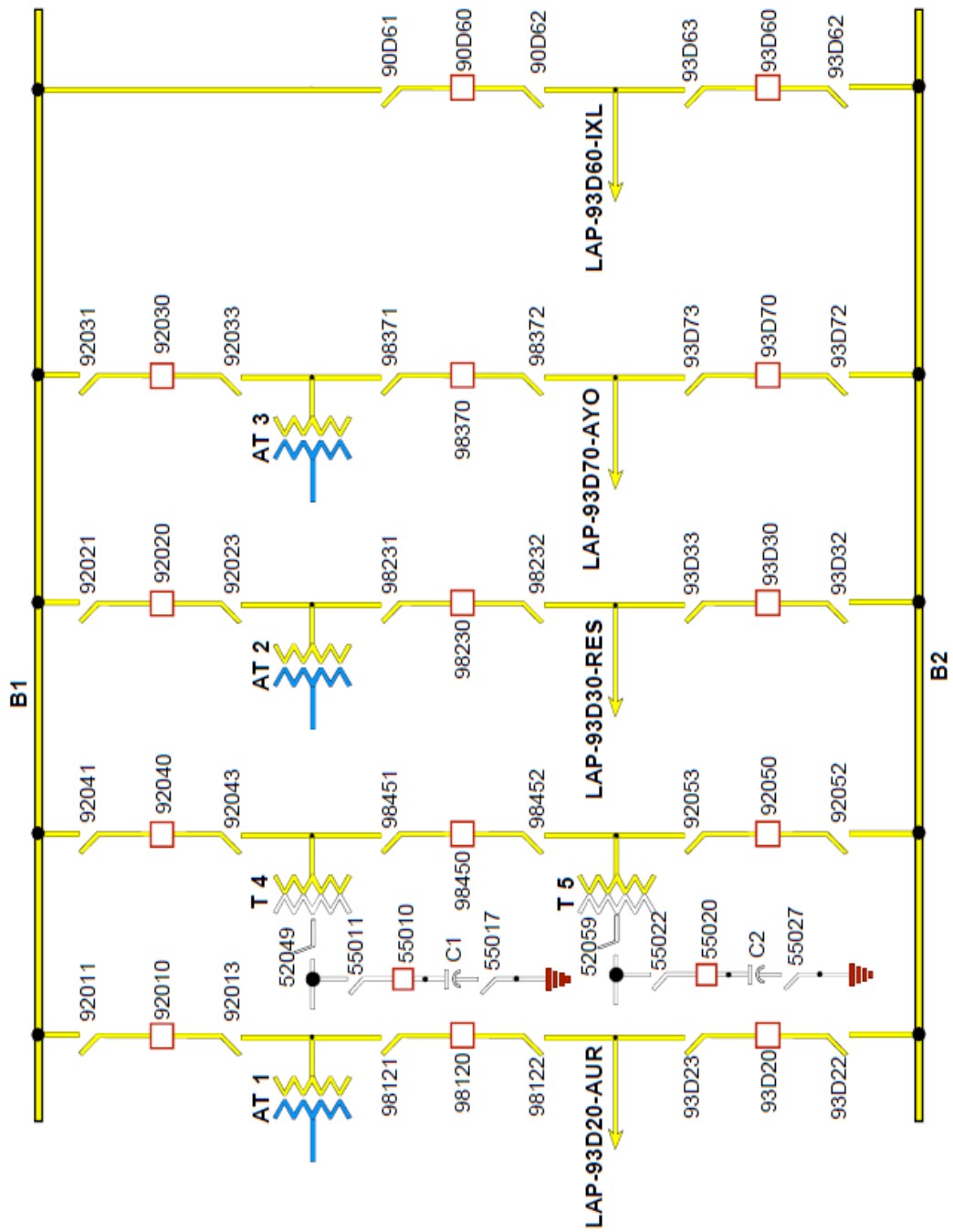


Figura 3.3.4. Diagrama unifilar S.E. LAP 230 KV. [10]

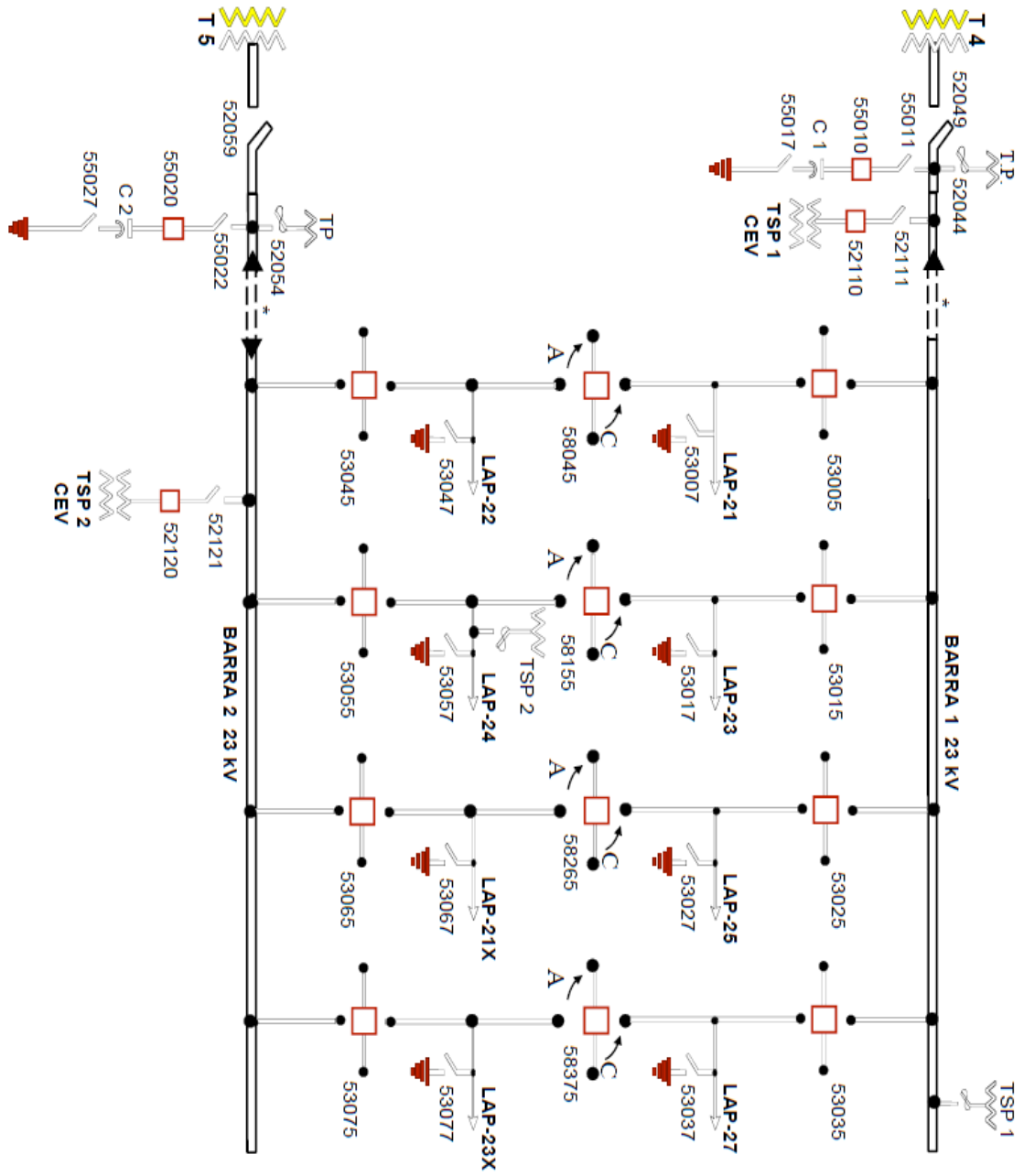


Figura 3.3.5 Diagrama unifilar S.E. LAP 23 KV. [11]

3.3.3 Subestación Chapingo (CPG)

La Subestación Chapingo es una Subestación de Transmisión en Operación Industrial / Comercial, tipo Intemperie, que actualmente tiene las siguientes características:

Tres bancos de transformación trifásicos cada uno de 60 MVA's, con tensiones de 230/23/10.5 KV cada uno. Seis líneas de transmisión de 230 KV. Doce alimentadores de 23 KV y 6 más a futuro.

Contando con un arreglo por el lado de 230 KV de interruptor y medio, y por el lado de 23 kv un arreglo de anillo o doble anillo. [13].

NOMBRE	ESTACION	BANCO	VOLTAJE PRIMARIO KV	VOLTAJE SECUNDARIO KV	POTENCIA NOMINAL MVA BANCOS	NUMERO DE BANCOS 230/85kv	NUMERO DE BANCOS 230/23kv	CAPACIDAD TOTAL MVA INSTALADA
Chapingo	CPG	T01	230	23	60		3	180
		T02			60			
		T03			60			

Tabla 3.3.4 Transformadores instalados en S.E. CPG y su capacidad nominal. [6]

S.E ENVIO	LINEA	S.E. RECIBO	TRAMO DE LA LINEA	LONGITUD DE TRAMO KM	LONGITUD DE LÍNEA KM	No. CONDU. POR FASE	CONDUCTOR			CORREDOR			
							CALIBRE/TIPO	CAPACIDAD AMPERES	LIMITE TERMICO MVA	LIMITE TERMICO MVA	LIMITE OPERATIVO MVA	OPERACIÓN EMERGENCIA SOBRECARGA MVA	HILO GUARDA MATERIAL/CALIBRE
CPG	93D00	AUR	1 DE 1	16.30	16.30	1	1113 ACSR	1050	418	418	418	460	AG 5/16"
CPG	93L10	CHN	1 DE 1	9.24	9.24	1	1113 ACSR	1050	418	418	418	460	HG 3/8"

Tabla 3.3.5 Líneas de transmisión CPG-AUR, CPG-CHN y sus capacidades nominales. [6]

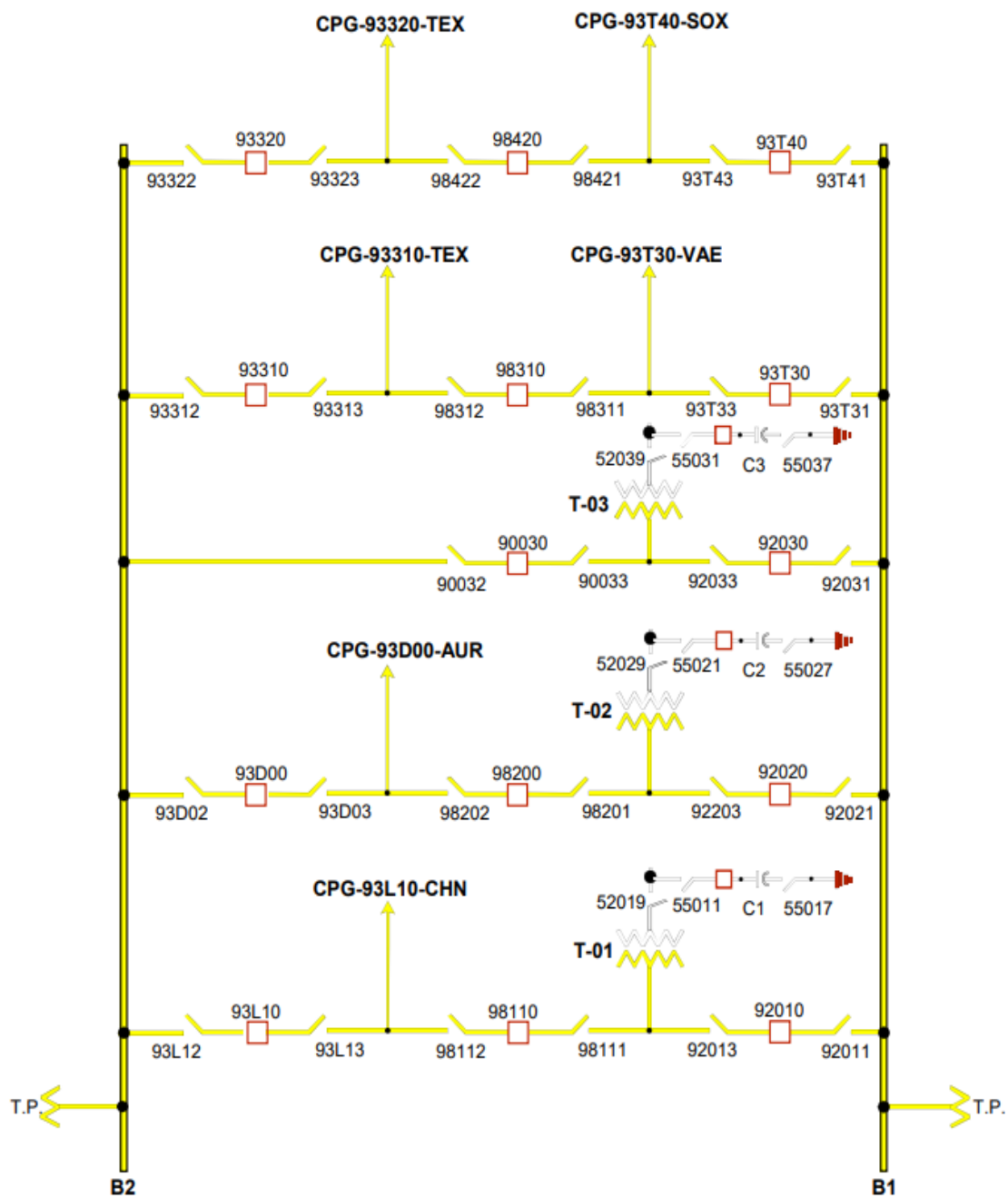


Figura 3.3.6 Diagrama unifilar S.E. Chapingo (CPG) 230 KV. [14]

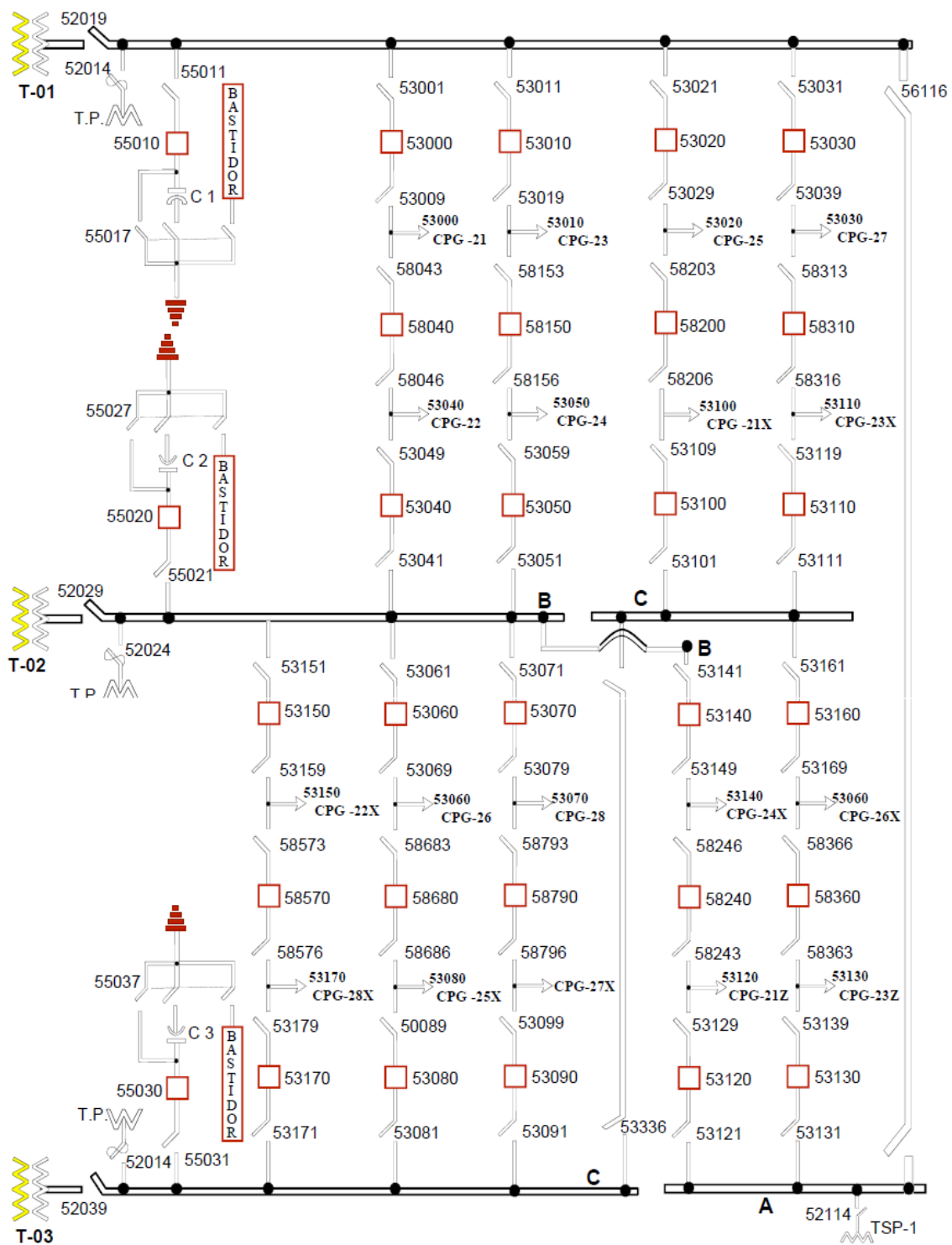


Figura 3.3.7 Diagrama unifilar S.E. Chapingo (CPG) 23 KV. [15]

3.3.4 Subestación Aurora (AUR)

La subestación eléctrica Aurora (AUR) cuenta con un arreglo de doble barra con interruptor y medio.

Cuenta con 3 bancos de transformación de 230/85 KV con una potencia nominal de 100 MVA's cada uno, así como con 3 bancos de potencia 230/23 KV con una potencia nominal de 60 MVA.

NOMBRE	ESTACION	BANCO	VOLTAJE PRIMARIO KV	VOLTAJE SECUNDARIO KV	POTENCIA NOMINAL MVA BANCOS	NUMERO DE BANCOS 230/85kV	NUMERO DE BANCOS 230/23kV	CAPACIDAD TOTAL MVA INSTALADA
Aurora	AUR	T01	230	85	100	3		300
		T02			100			
		T03			100			
		T04	230	23	60		3	180
		T05			60			
		T06			60			

Tabla 3.3.6 Transformadores instalados en S.E. AUR y su capacidad nominal. [6]

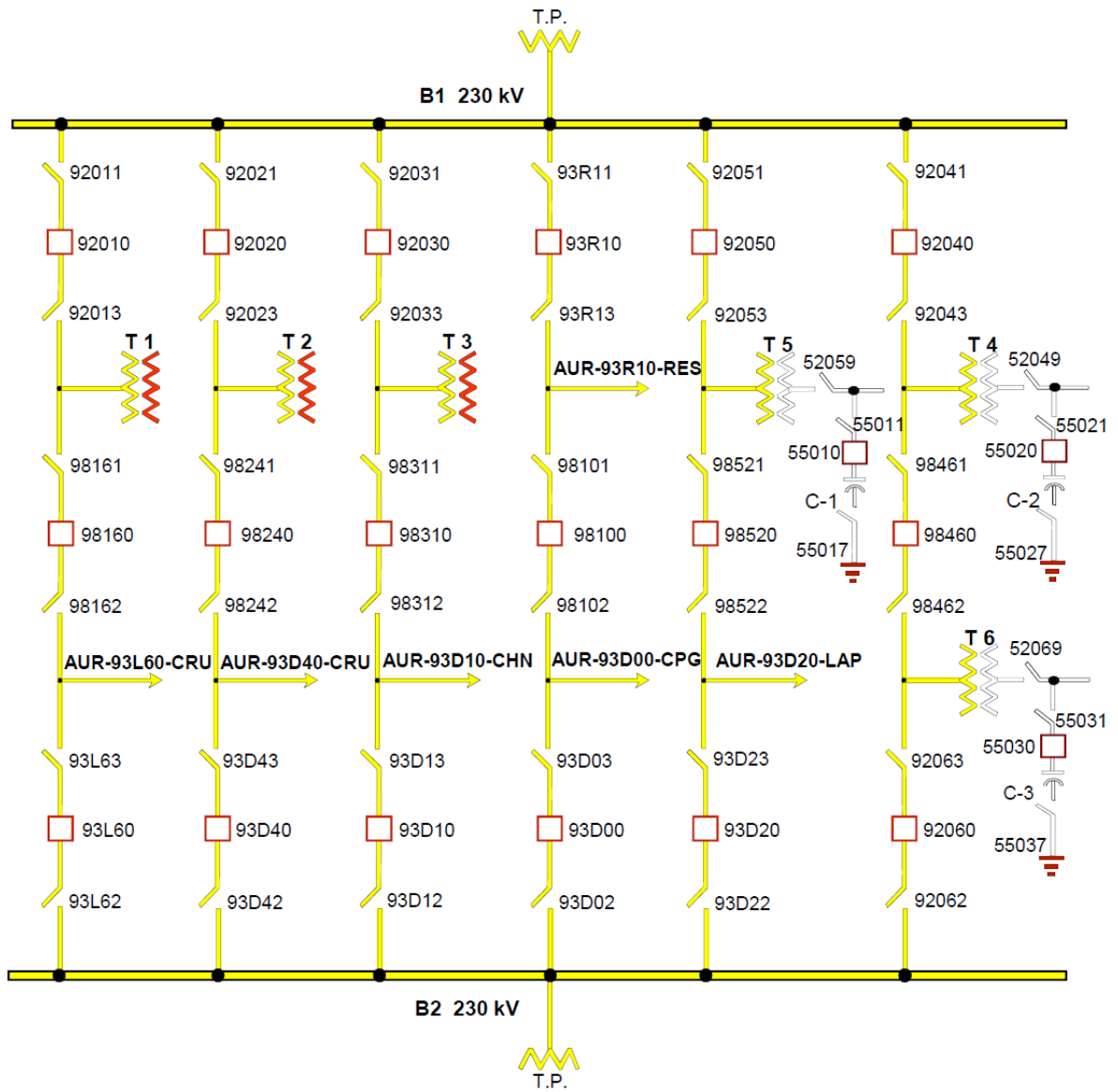


Figura 3.3.8 Diagrama unifilar S.E. Aurora (AUR) 230 KV. [16]

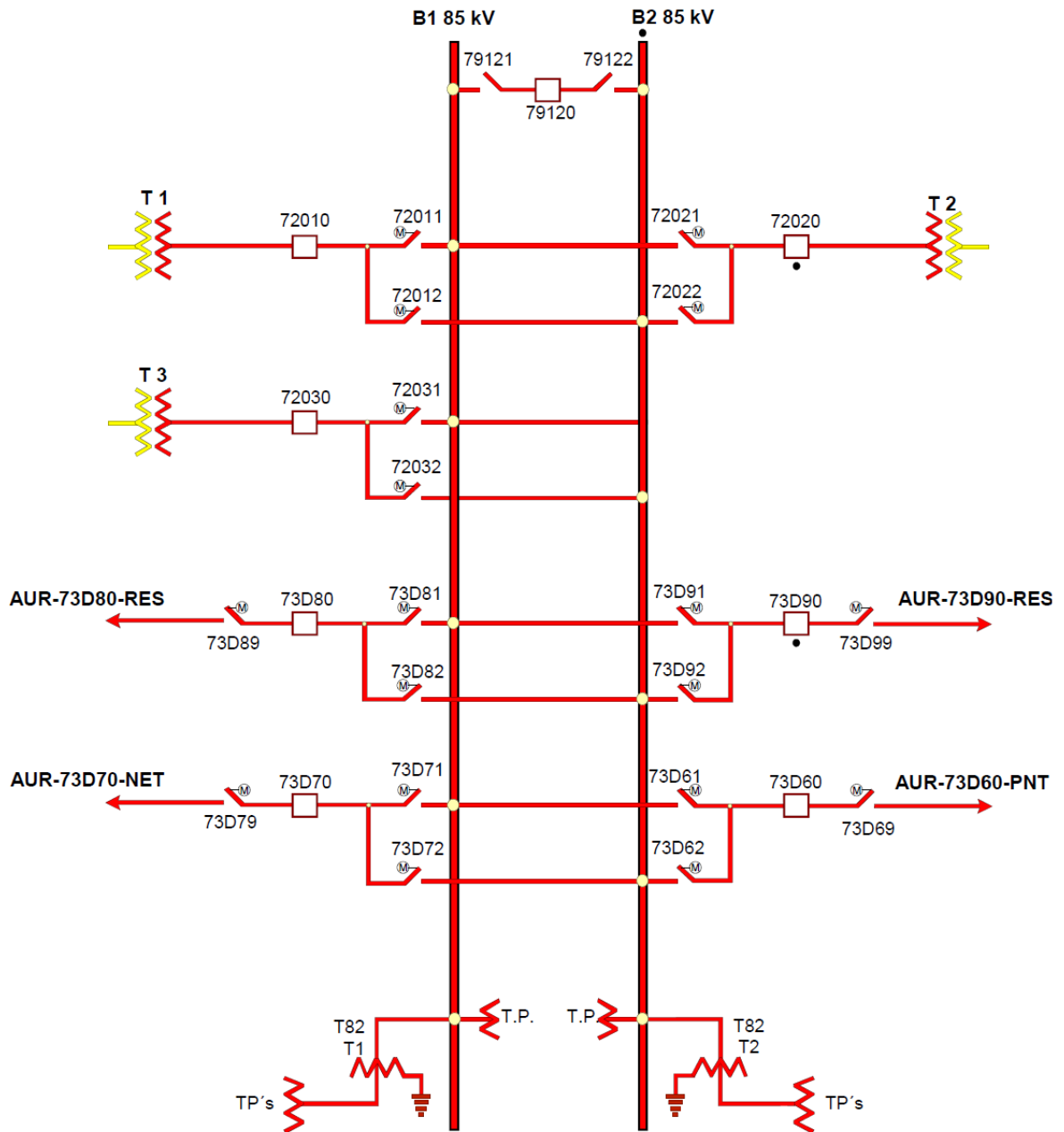


Figura 3.3.9 Diagrama unifilar S.E. Aurora (AUR) 85 KV. [17]

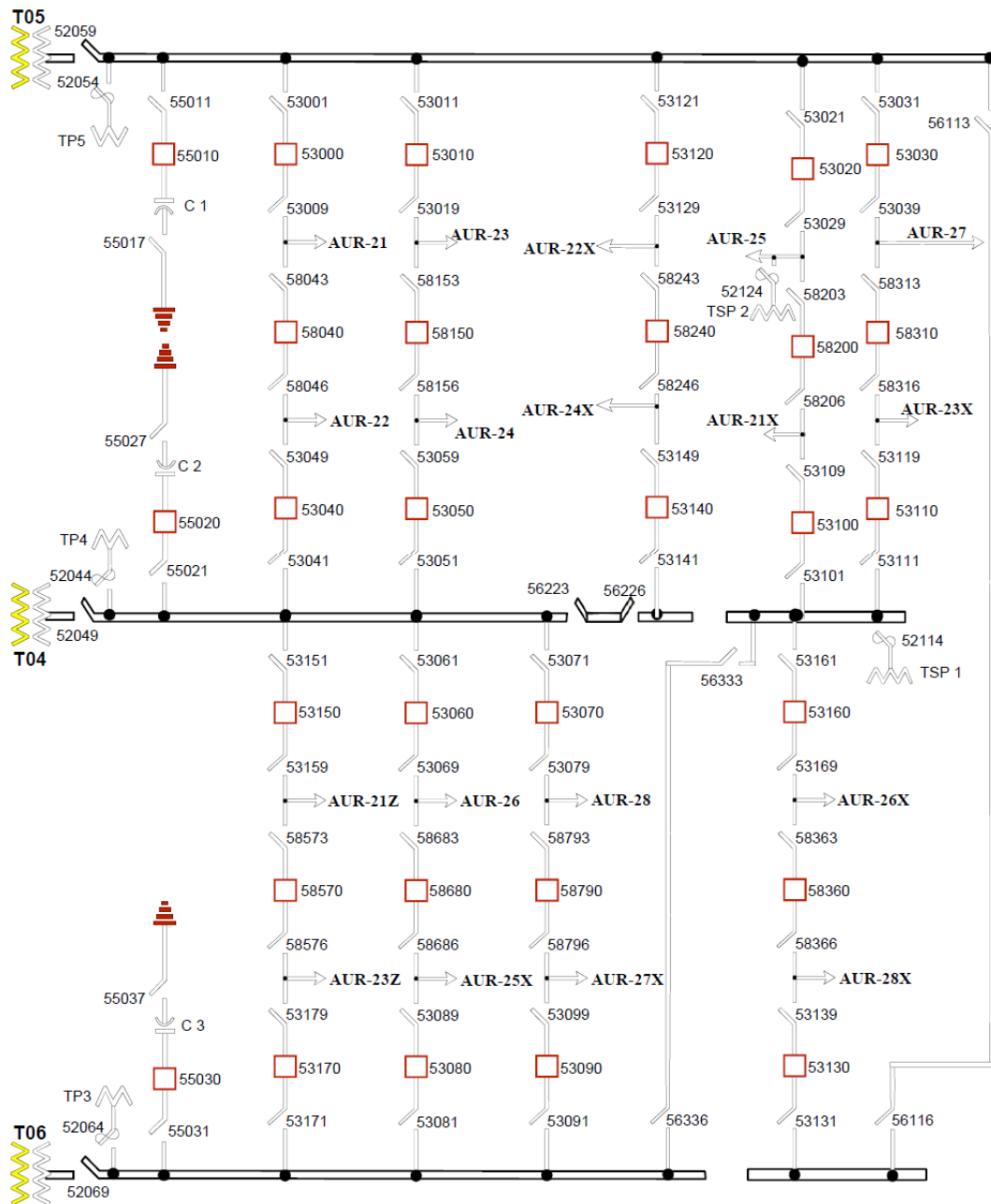


Figura 3.3.10 Diagrama unifilar S.E. Aurora (AUR) 23 KV. [18]

3.3.5 Subestación Chimalhuacán (CHN)

La subestación Chimalhuacán (CHN) se considera una subestación tipo móvil, ya que solo cuenta con un transformador de potencia montado en una plataforma de tráiler, dicho transformador tiene una capacidad nominal de 45 MVA. Su relación de transformación es de 230/23 KV.

Esta subestación cuenta con 2 líneas de transmisión llamadas CHN-93L10-CPG Y CHN-93D10-AUR.

NOMBRE	ESTACION	BANCO	VOLTAJE PRIMARIO KV	VOLTAJE SECUNDARIO KV	POTENCIA NOMINAL MVA BANCOS	NUMERO DE BANCOS 230/85kv	NUMERO DE BANCOS 230/23kv	CAPACIDAD TOTAL MVA INSTALADA
Chimalhuacan	CHN	T01	230	23	45		1	45

Tabla 3.3.7 Transformador instalado en S.E. CHN y su capacidad nominal. [6]

N°	S.E ENVIO	LINEA	S.E. RECIBO	TRAMO DE LA LINEA	LONGITUD DE TRAMO KM	LONGITUD DE LÍNEA KM	No. CONDU. POR FASE	CONDUCTOR			CORREDOR			
								CALIBRE/TIPO	CAPACIDAD AMPERES	LIMITE TERMICO MVA	LIMITE TERMICO MVA	LIMITE OPERATIVO MVA	OPERACION EMERGENCIA SOBRECARGA MVA	HILO GUARDA MATERIAL/CALIBRE
22	CHN	93D10	AUR	1 DE 1	6.92	6.92	1	1113 ACSR	1050	418	418	418	460	AC 3/8"

Tabla 3.3.8 Línea de transmisión CHN-AUR y sus capacidades nominales. [6]

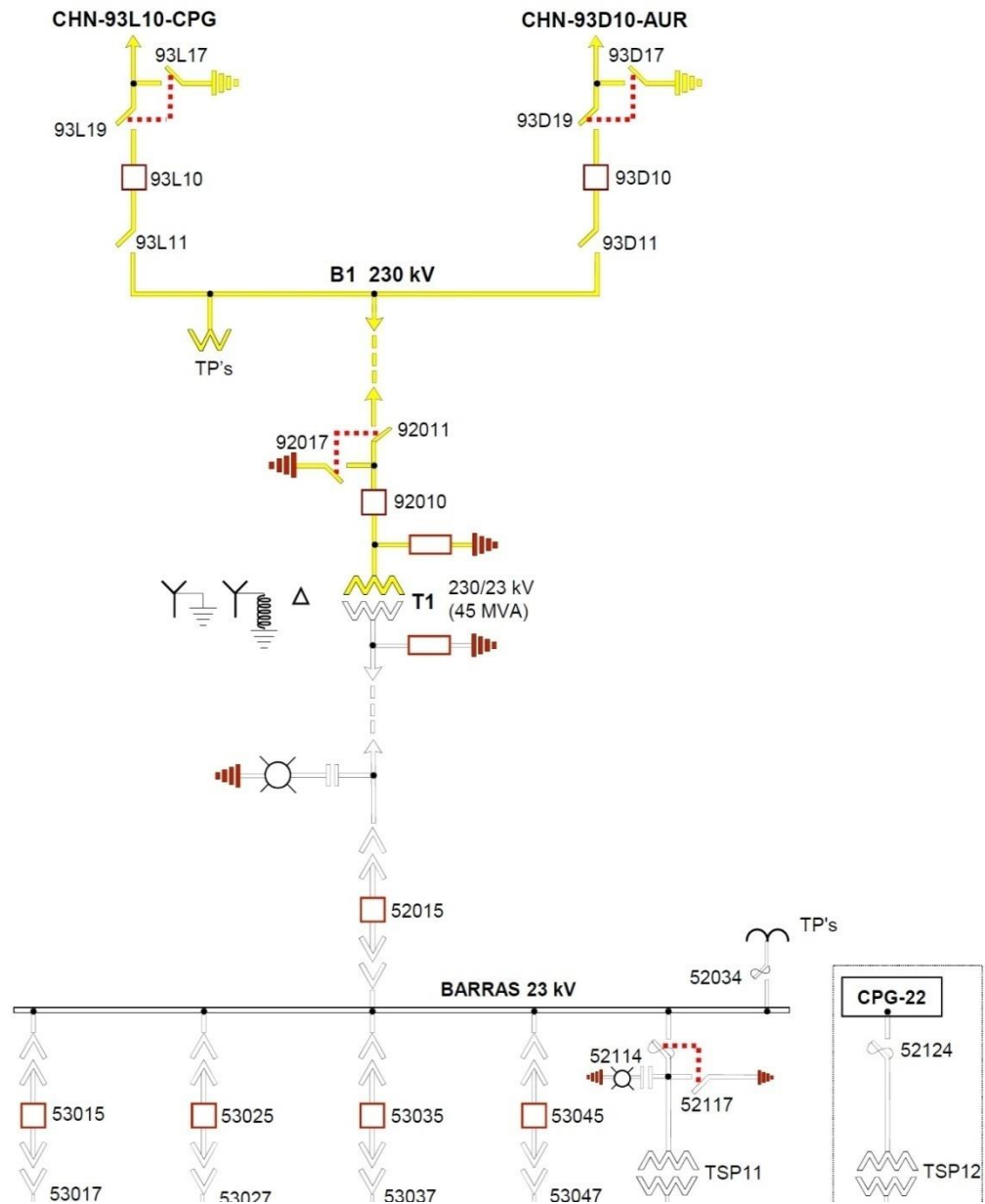


Figura 3.3.11 Diagrama unifilar S.E. CHN 230/23 KV. [19]

CAPITULO 4. Funcionamiento del esquema DAL.

4.1 Principio de funcionamiento del esquema DAL (Disparo automático de Línea).

En este capítulo se expone los principios de funcionamiento del esquema de acción remedial (EAR) disparo automático de línea (DAL).

La implementación del esquema de Disparo Automático de Líneas (DAL) en la zona asociada al corredor de 400 KV TEXCOCO-LA PAZ se realiza de la siguiente manera:

Mediante el monitoreo del estado de los interruptores propios de las LT en S.E. Texcoco además de los interruptores propios y medios en S.E. La Paz para las líneas A3850 y A3950, se determina si es que ambas líneas están disparadas, dada tal condición, mediante los contactos auxiliares de los interruptores, se ejecuta el esquema DAL enviando los disparos transferidos a los interruptores medios y propios de las LT's AUR 93D00 CPG y CPG 93L10 CHN en S.E. Chapingo (CPG), para la apertura de ambas líneas. [5].

En la S.E. Texcoco se tienen actualmente relevadores SEL-421 instalados en las líneas TEX A3850 y A3950 LAP los cuales emitirán una señal de línea abierta por mirrored bit a un relevador SEL-351 que se instalara en la S.E. Texcoco para realizar la lógica de DAL el cual tendrá la posibilidad de ser bloqueado por el ACCE y en forma local, así mismo los relevadores SEL-421 tendrán una alarma de pérdida de fusible y alarma de falla de contactos esto para dar confiabilidad al esquema. [5].

En la S.E. Chapingo se instalará un relevador 94 el cual recibirá el DAL y enviará un contacto seco a las protecciones siemens 87L existentes las cuales enviaran disparos a los interruptores propios y medios de las líneas CPG 93L10 CHN y CPG 93D00 AUR en S.E. CPG para abrir el doble enlace Chapingo - Aurora en 230kv. [5].

En la S.E. La Paz se realizará el arreglo de posición de interruptores para enviar una señal por medio de canal a la S.E. Texcoco en cuanto abran los interruptores propios y medios de las líneas LAP A3850 y A3950 TEX. [5].

4.2 Condiciones de disparo del esquema DAL.

4.2.1. Condición de disparo 1 del esquema DAL.

CONDICION 1:

Los interruptores propios y medios de las LT's A3850 Y A3950 del lado Texcoco estén abiertas. [20].

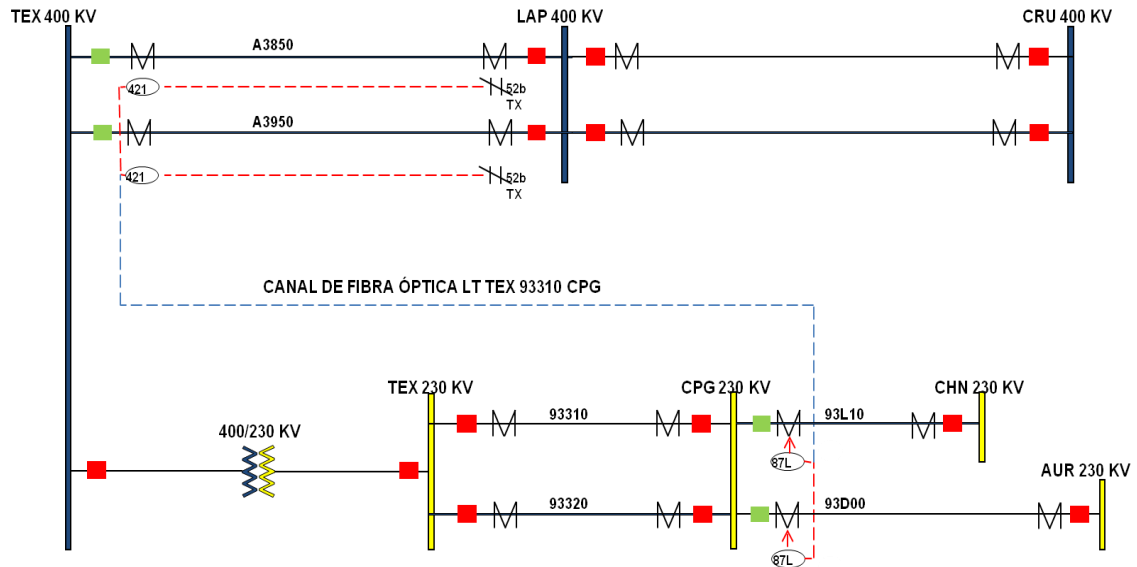


Figura 4.2.1. Condición No.1 de disparo del esquema DAL. [20].

4.2.2 Condición de disparo 2 del esquema DAL.

CONDICION 2:

Los interruptores propios y medios de las LT's A3850 y A3950 del lado La Paz estén abiertas. [20].

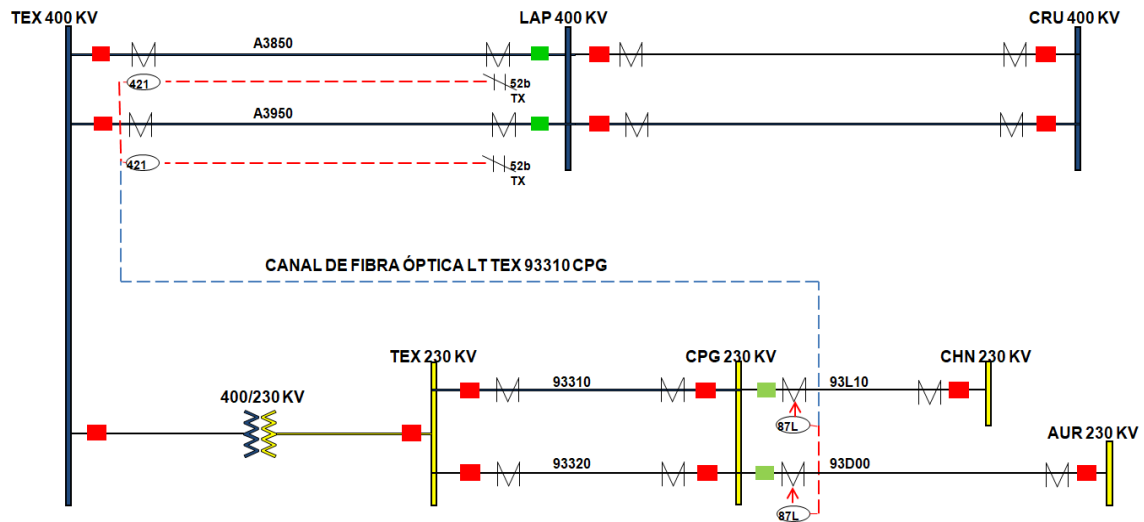


Figura 4.2.2 Condición No.2 de disparo del esquema DAL. [20].

4.2.3 Condición de disparo 3 del esquema DAL.

CONDICION 3:

Los interruptores propios y medios de las LT's A3850 lado Texcoco y A3950 lado La Paz estén abiertas. [20]

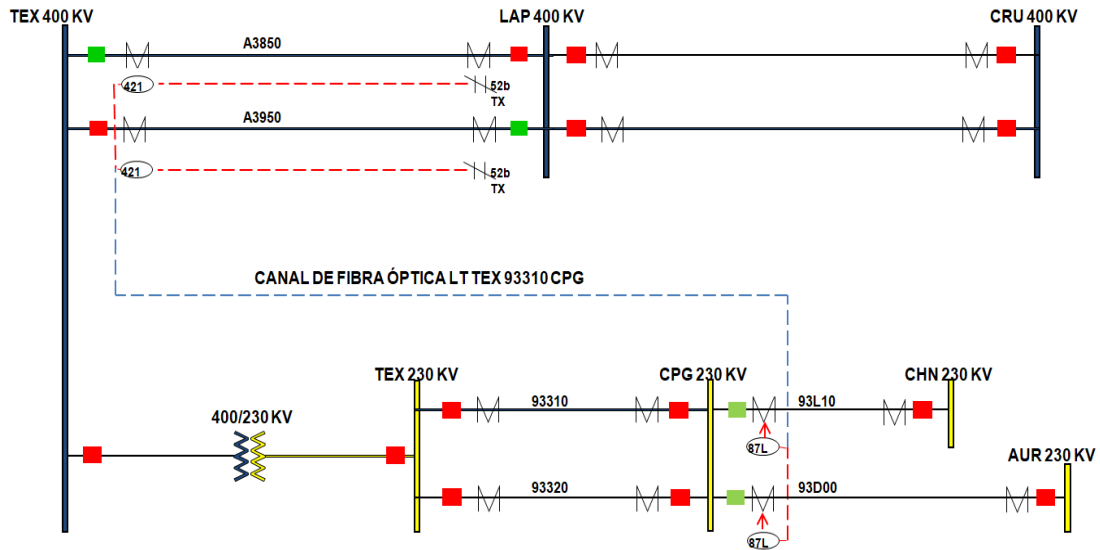


Figura 4.2.3. Condición No.3 de disparo del esquema DAL. [20].

4.2.4 Condición de disparo 4 del esquema DAL.

CONDICION 4:

Los interruptores propios y medios de las LT's A3850 lado la paz y A3950 lado Texcoco estén abiertas. [20].

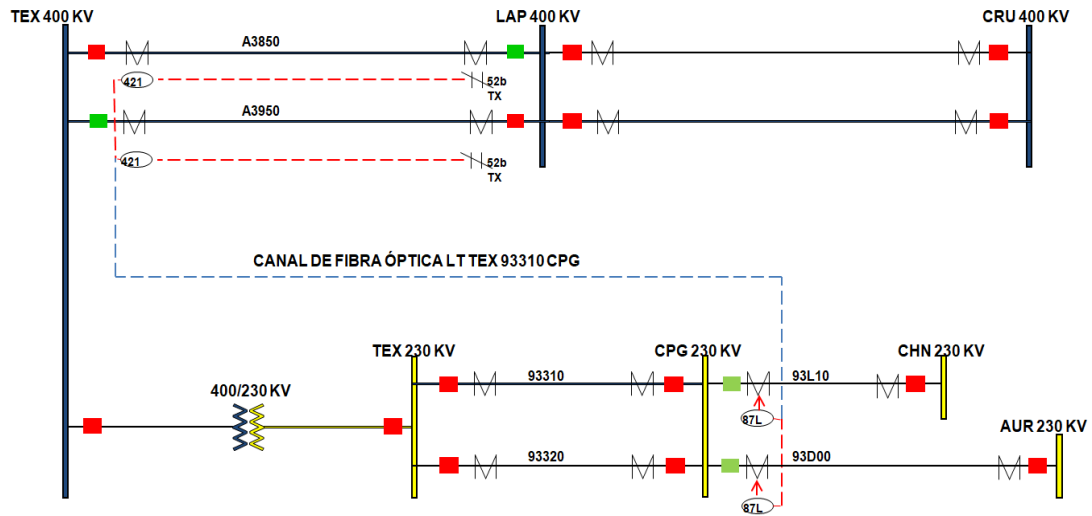


Figura 4.2.4 Condición No.4 de disparo del esquema DAL. [20].

4.2.5 Resumen de condiciones de disparo del esquema DAL

No. Paso	Subestaciones	Detonador	Flujo inicial	Ajuste (MW)	Tiempo (seg)	Opera sobre
DAL (único)	TEX y LAP	Disparo TEX-LAP (2 circuitos)	NA	NA	NA	AUR-CPG AUR-CHN

Figura 4.2.5 Condiciones de disparo DAL. [5]

CONDICION 1: INT. PROPIOS de TEX estén disparados.

CONDICION 2: INT. PROPIOS y MEDIOS de LAP estén disparados.

CONDICION 3: INT. PROPIOS de LT A3850 lado TEX e INT. PROPIO y MEDIO de LT A3950 lado LAP estén disparados.

CONDICION 4: INT. PROPIOS de LT A3950 lado TEX e INT. PROPIO y MEDIO de LT A3850 lado LAP estén disparados. [5].

SI SE CUMPLE UNA DE LAS CUATRO CONDICIONES, SE ENVIA DISPARO A LAS LT's AUR 93D00 CPG y CPG 93L10 CHN

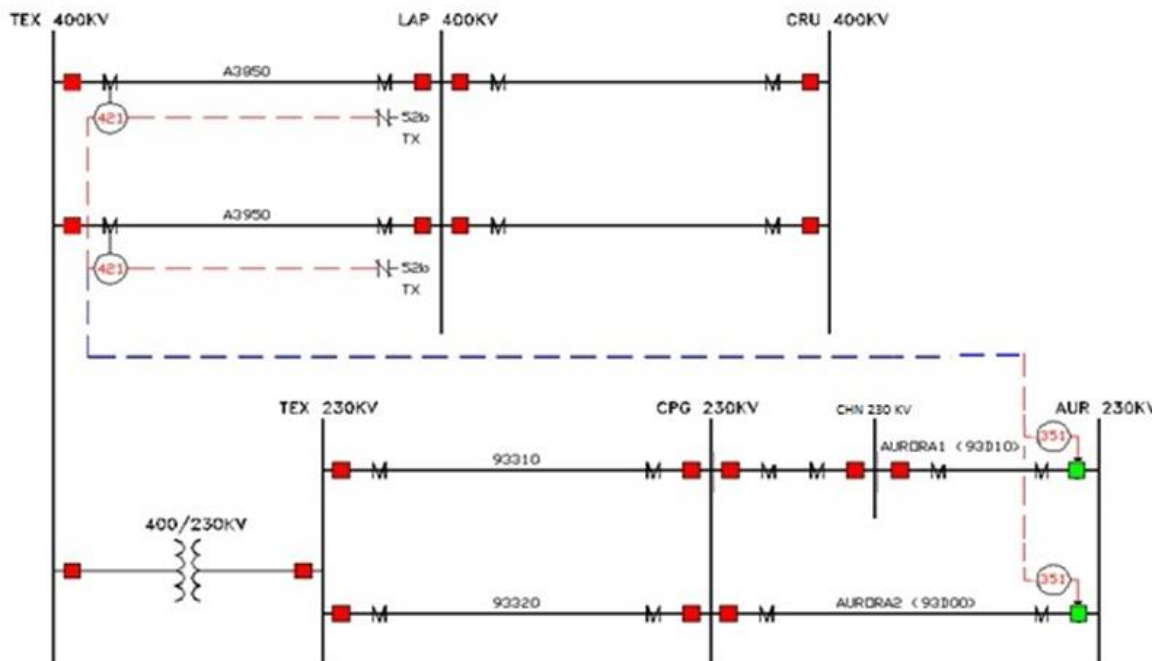


Figura 4.2.6 Disparo de las L.T.'s 93D00 Y 93L10. [5].

LOGICA DE BAJA POTENCIA CON POSICION DE INTERRUPTOR S.E. TEXCOCO

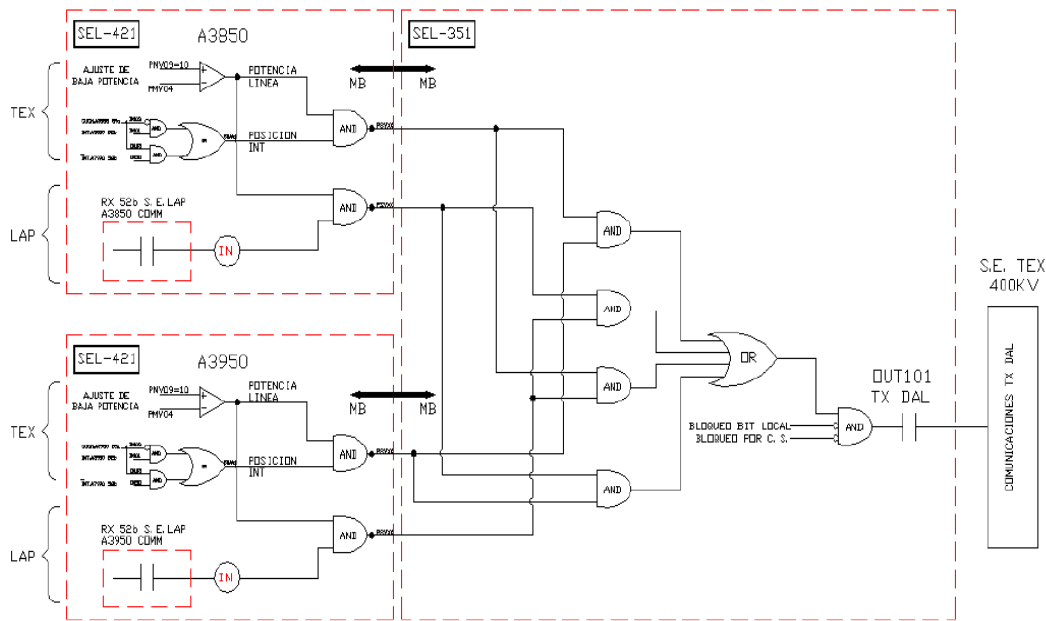


Figura 4.2.7 Diagrama de lógica de disparo en S.E. Texcoco (TEX). [5]

4.2.6 Posición de interruptor en S.E. LAP 400 KV.

La siguiente figura muestra el arreglo de contactos 52b de los interruptores propio y medio que únicamente cuando se tengan los dos interruptores abiertos se mandara la tx(señal de disparo) hacia subestación Texcoco, cabe mencionar que esta señal de tx (de disparo) se mantiene permanente mientras estén abiertos los interruptores.

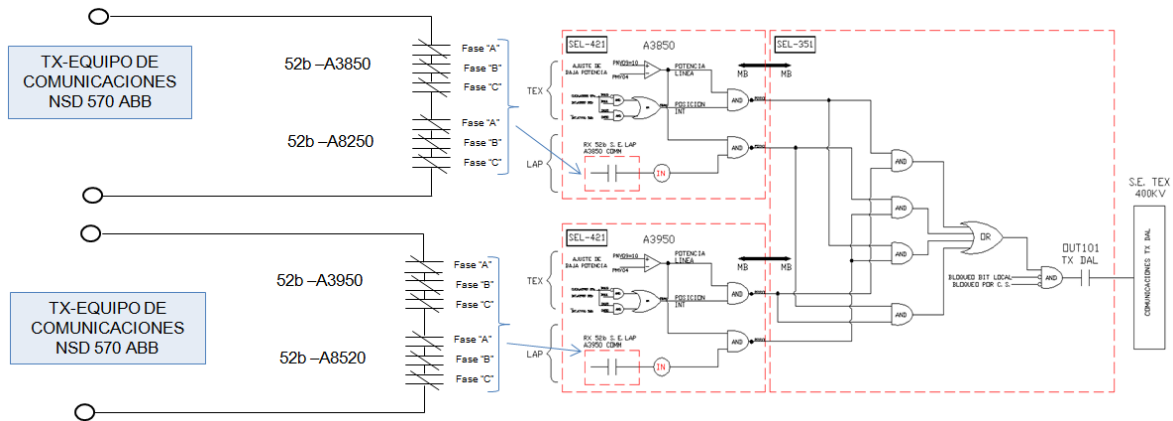


Figura 4.2.8 Posición de interruptor en S.E. LAP 400 KV. [5]

4.2.7 Diagrama eléctrico de la función DAL en S.E. CPG 230 KV.

El siguiente diagrama muestra la recepción del DAL en un relevador auxiliar en la S.E. Chapingo, el cual replica el disparo a las protecciones existentes siemens 87L las cuales enviaran el disparo a los interruptores propio y medio de las línea CPG-93L10-CHN y CPG-93D00-AUR, así como las alarmas a nivel superior.

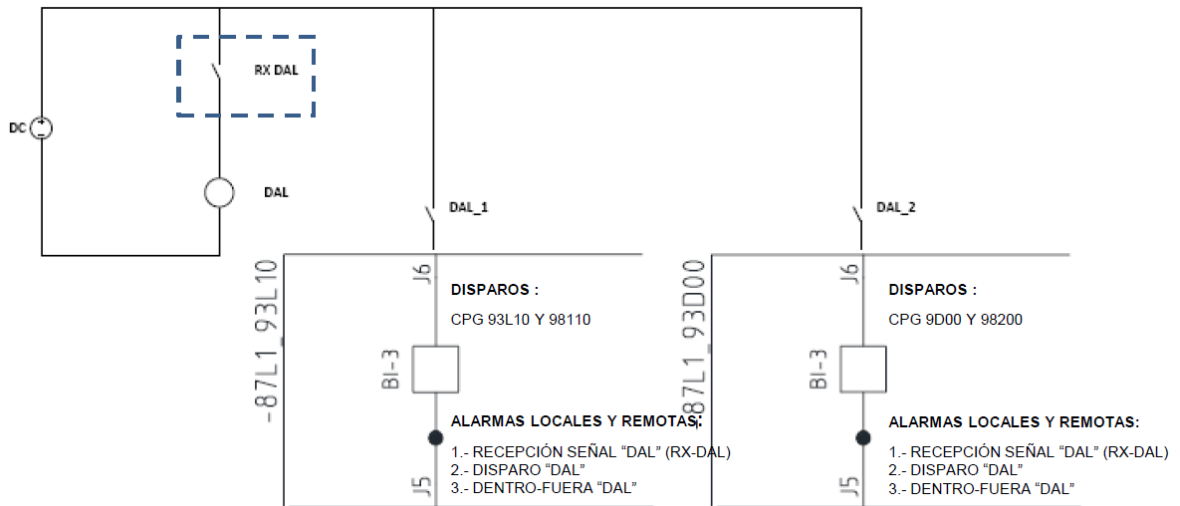


Figura 4.2.9 Diagrama eléctrico de la función del DAL. [5].

CAPITULO 5 Análisis de la red sin esquema de acción remedial (EAR) de disparo automático de Línea (DAL)

En este capítulo se hará el análisis de flujos de la red integrada al esquema de acción remedial, demostrando su factibilidad.

Se realizará el análisis de flujos de dicha red sin la ejecución del esquema de acción remedial (EAR) disparo automático de líneas (DAL) y con la ejecución de dicho esquema.

Una de las herramientas con las que cuenta el programa WS500 se llama DLF (Dispatch Load Flow) a través del cual se ejecutan análisis del despacho de flujos de cargas de Líneas de Transmisión.

Dicha herramienta se utilizará para el análisis de flujo del esquema de acción remedial de disparo automático de líneas instalado en las líneas de transmisión en el ámbito de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (ZOTM).

En la figura 5.1 se muestra la red de 400 KV y en la figura 5.2 se muestra la red de 230 KV en el ámbito de la Gerencia de Control Regional Central (Pertenece a la SENER) y de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana (Pertenece a CFE), son los entes encargados del control y estado óptimo de la red de transmisión en el ámbito de la zona del Valle de México, en niveles de tensión de 400, 230 y 85 KV.

En dichas figuras se muestran los flujos de voltaje que corren a través de las L.T.'s de 400 KV y 230 kv en las condiciones actuales de la red.

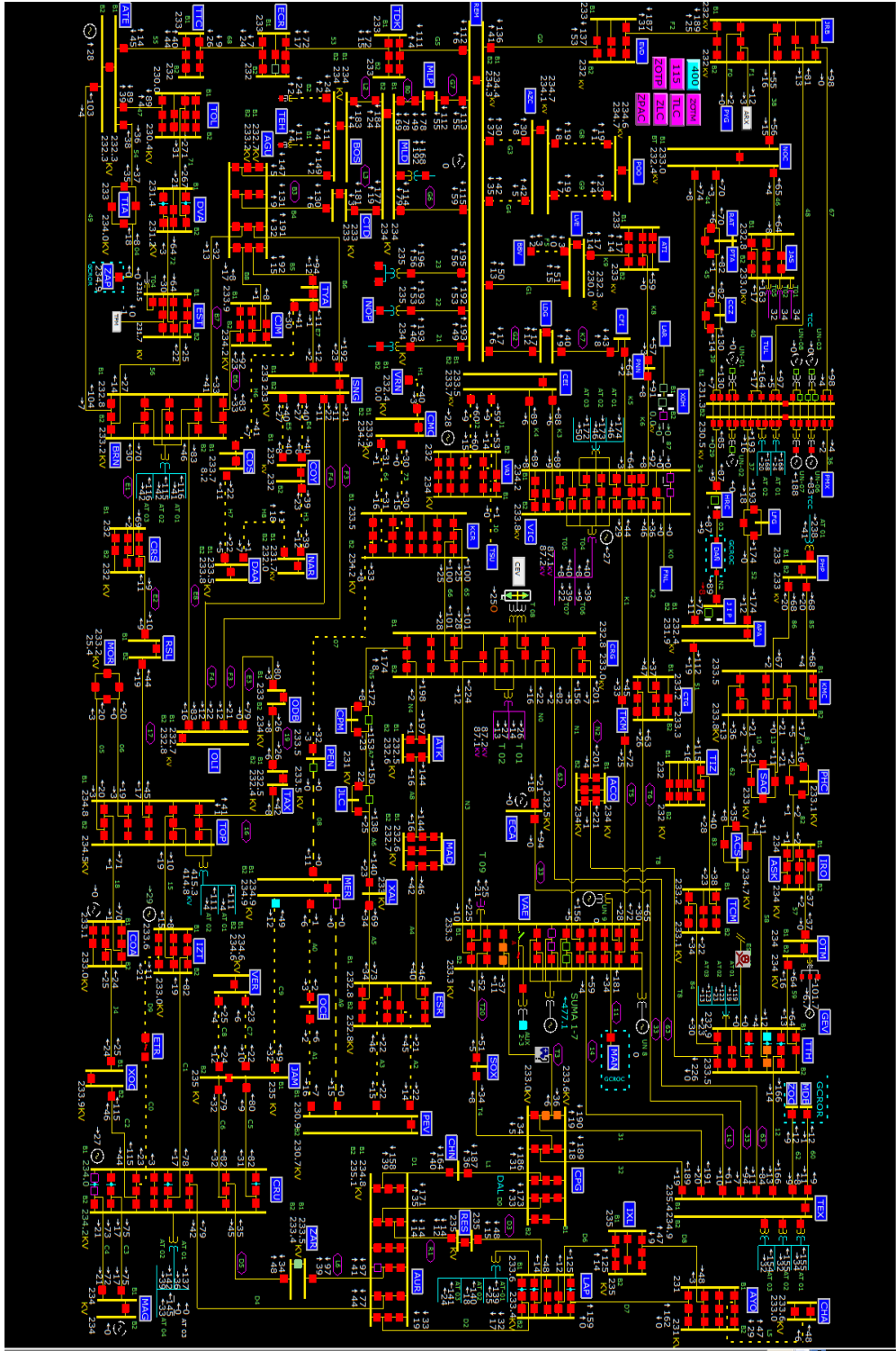


Figura 5.2 Red de 230 KV en el ámbito de la Zona de Operación Metropolitana (ZOTM).

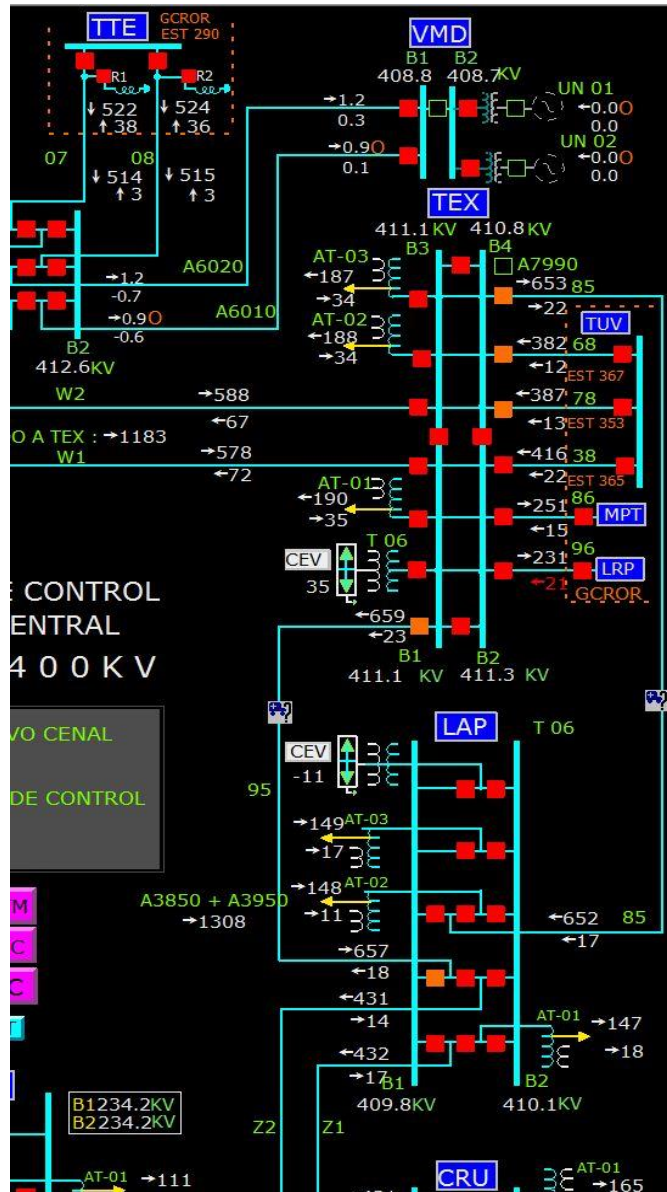


Figura 5.3 Diagrama unifilar mostrando las interconexión de las S.E.'s TEX y LAP en 400 KV involucradas en el DAL

En la figura 5.3 se muestra la red de 400 KV involucrada en el esquema de acción remedial disparo automático de línea (DAL). Pudiendo observarse que el flujo que traen la L.T.'s TEX-A3580-LAP Y TEX-A3950-LAP es de 1380 MW, esto indica que dichas líneas traen un gran flujo de potencia derivado de la alta cargabilidad en la zona.

Las subestaciones TEX y LAP son fuentes hacia la red de 230 KV través de sus Autotransformadores con relación de voltaje de 400/230 KV.

En la figura 5.4 se muestra el diagrama unifilar de las subestaciones y líneas de transmisión involucradas al esquema de acción remedial (EAR) de disparo automático de líneas (DAL).

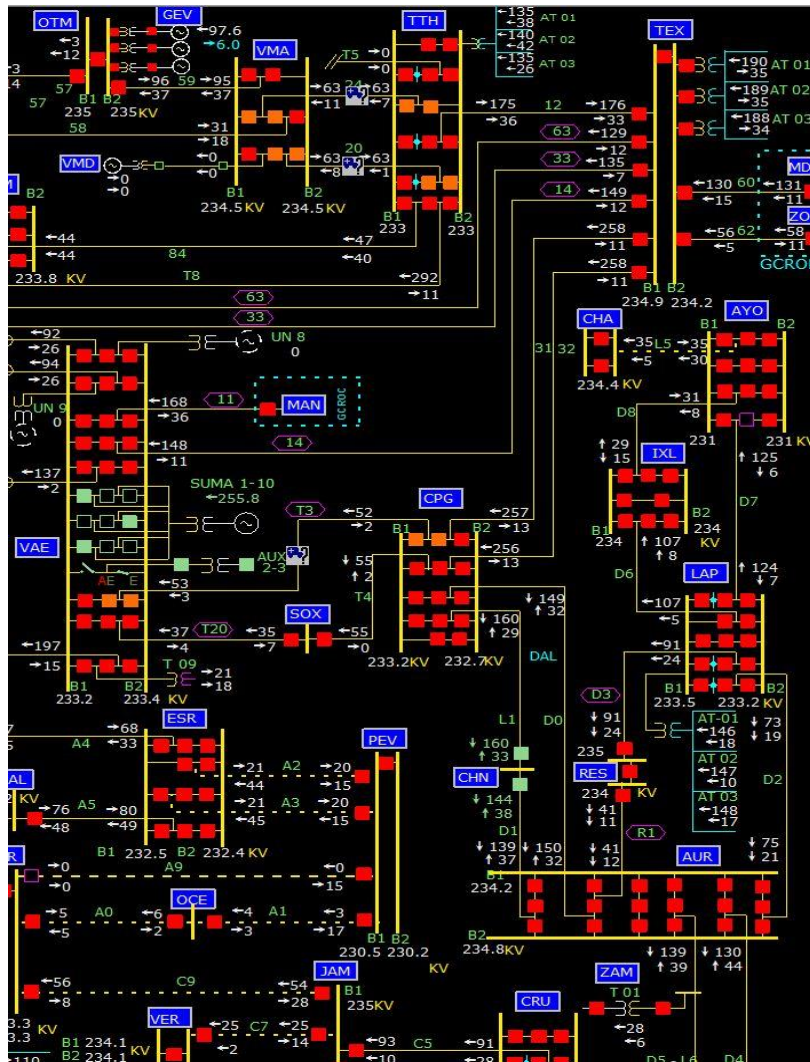


Figura 5.4 Diagrama unifilar mostrando las interconexión de las S.E.'s CPG, CHN y AUR en 230 KV involucradas en el DAL.

En caso de presentarse alguna de las 4 condiciones de disparo automático de líneas, en este caso elegimos las condiciones 3 y 4 (INT. PROPIO de LT A3850 lado TEX e INT. PROPIO y MEDIO de LT A3950 lado LAP estén disparados.)

(INT. PROPIOS de LT A3950 lado TEX e INT. PROPIO y MEDIO de LT A3850 lado LAP estén disparados) ; es decir, la doble contingencia.

En la figura 5.5 se puede apreciar dicha condición de la doble contingencia y observándose la sobrecarga de los 3 A.T.'s de S.E. TEX (AT-01 alcanza una carga de 426 MW, el AT-02 una carga de 429 MW y el AT-03 una carga de 418 MW),

Dichos A.T.'s cuentan con un ajuste de sobrecarga del 42%, lo que significa que están ajustados a 532 MVA's de sobrecarga.

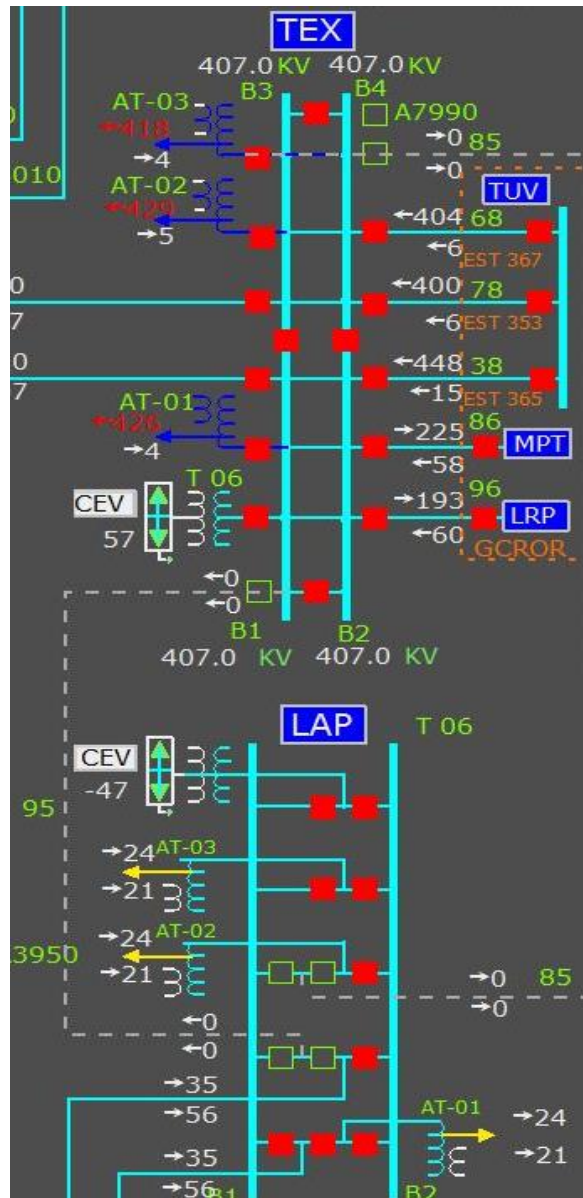


Figura 5.5 Condición de doble contingencia (Apertura de los interruptores propio y medios de la L.T.A3850 y L.T. A3950 en S.E. LAP y apertura de los interruptores propios de dichas L.T.'s en S.E. TEX)

En la figura 5.6 se puede observar que las L.T.'s que comprende el corredor de 230 KV CPG-CHN-AUR (CPG-93L10-CHN, CHN-93D10-AUR y CPG-93D00-AUR) se encuentran sobrecargadas, así como también se encuentran sobrecargados los A.T.'s de S.E. TEX, dichos A.T.'s son fuentes de 400 KV hacia la red de 230 KV, dicha condición se observa en la figura 5.7

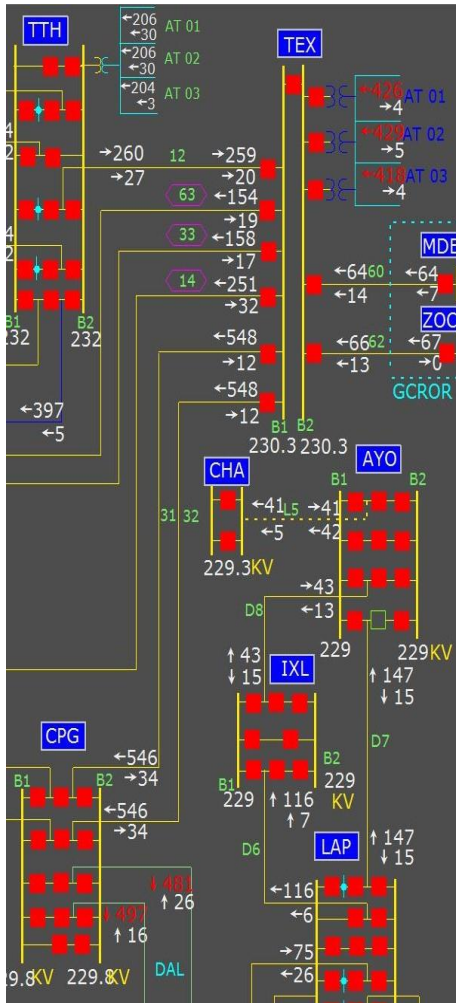


Figura 5.6 Sobrecarga del corredor de 230KV (CPG-CHN-AUR).

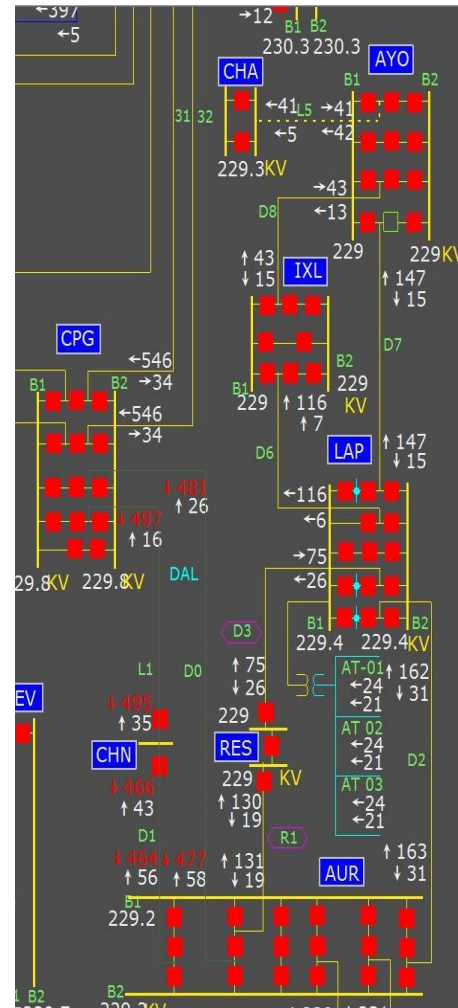


Figura 5.7 Sobrecarga de los A.T.'s de S.E. TEX.

La L.T. CPG-93L10-CHN lleva una carga de 497 MVA, siendo su ajuste de sobrecarga a 460 MVA, la L.T. CPG-93D00-AUR lleva una carga de 481 MVA siendo su ajuste de sobrecarga de 460 MVA, la L.T. CHN-93D10-AUR lleva una carga de 466 MVA siendo su ajuste de sobrecarga de 460 MVA.

Lo que implicará un disparo en cascada de L.T.'s, Transformadores de potencia, provocándose un colapso de la red de 230 KV. Para evitar dicho colapso, entra en función el esquema de acción remedial DAL (Disparo automático de línea).

5.1 Análisis de la red con esquema de acción remedial (EAR) de disparo automático de Línea (DAL)

Como se explicó en el capítulo 4. Operará la lógica de disparo del DAL (Disparo Automático de Línea) al cumplirse la doble contingencia (Condición 3 y 4) que se simuló en este caso de estudio, por lo que las L.T.'s de 230 KV CPG-93D00-AUR Y CPG-93L10-CHN se abrirán en ambos extremos como se muestra en la Figura 5.8, así redistribuyendo flujos de potencia y evitando sobrecargas de L.T.'s y Transformadores de Potencia.

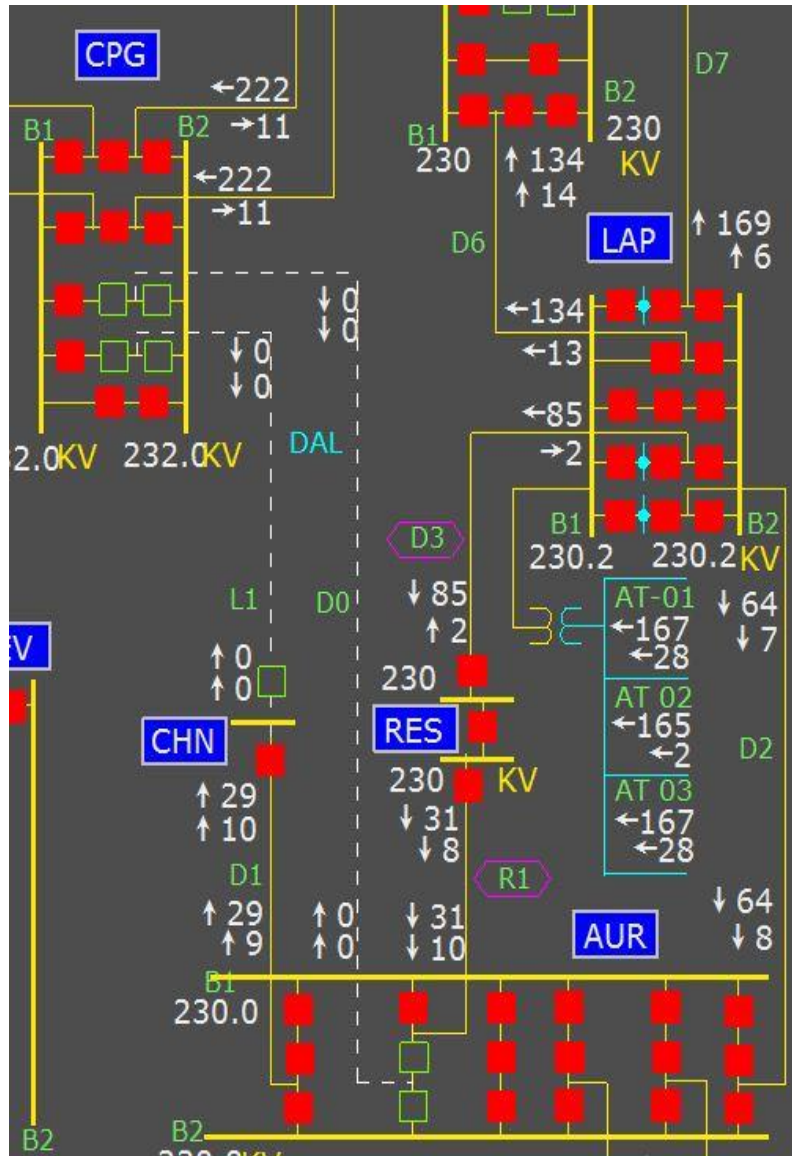


Figura 5.8 Apertura de las L.T.'s CPG-93D00-AUR y CPG-93L10-CHN por accionamiento de esquema DAL.

En la figura 5.9 se puede observar que los A. T.'s de S.E. TEX dejan de sobrecargarse retomando una carga de: A.T. 01: 280 MVA, A.T 02: 282 MVA y A.T 03. 275 MVA..

Se nota también que la L.T. TTH-93T80-ACO en la red de 230 KV se sobre carga ligeramente, esto se debe a que el flujo de potencia se reparte entre todas las L. T.. 's que salen de la S. E. TEX hacia la red de 230 KV.

En particular a la inyección de flujo de la L. T. TTH-93120-TEX, sumando la inyección de potencia por la central VDM a S.E. TTH, dicha condición de ligera sobrecarga de la L.T. TTH-93T80-ACO al ser una línea físicamente más corta hacia los centros de consumo, toma más carga.

Además, la línea TTH-93330-ACO tiene un límite de capacidad de transmisión de 386 MVA, ante lo mencionado anteriormente se presenta una sobre carga de 2 % por encima de la capacidad declarada sobre dicha línea.

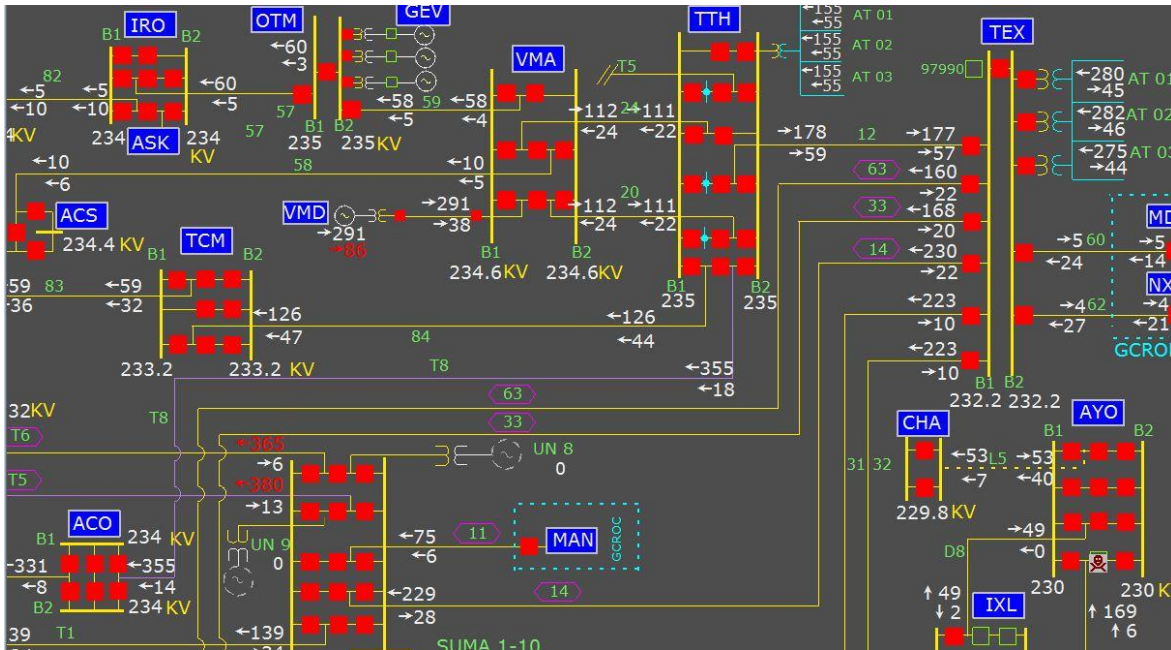


Figura 5.9 Ligera sobrecarga de la L.T. TTH-93T80-ACO al ser ligeramente más corta.

Conclusiones y Trabajos Futuros

Se concluye que el esquema de acción remedial (EAR) de Disparo Automático de Línea (DAL) es una alternativa económica y rápida de implementar para la desconexión de líneas de transmisión que evitan la sobre carga de bancos de potencia, evitando una desconexión en cascada de elementos de la red. Prescindiendo así de tener que robustecer la red asociada evitando un gasto económico importante tanto en el desarrollo de la ingeniería como la compra del equipo eléctrico primario.

Trabajos a futuro.

Se podrían implementar el esquema de acción remedial (EAR) de disparo automático de líneas (DAL) en algún corredor en el ámbito de la Zona de Operación de Transmisión Metropolitana que se vea comprometido por alta cargabilidad en la zona.

Referencias

- [1] [http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5394833#:~:text=Esquemas%20de%20Acci%C3%B3n%20Remedial%20\(EAR,de%20unidades%20de%20Central%20El%C3%A9ctrica%20](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5394833#:~:text=Esquemas%20de%20Acci%C3%B3n%20Remedial%20(EAR,de%20unidades%20de%20Central%20El%C3%A9ctrica%20)
- [2] http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432509&fecha=08/04/2016
- [3] WECC.8 Diciembre 2016. "Remedial Action Scheme Design Guide"
- [4] Ebrahim Vaahedi. 2014. "Practical Power System Operation". The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [5] Sin autor. Presentación Power Point "DAL POR APERTURA DE LINEAS TEX-LAP". Realizada por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).
- [6] Omar Hernández Urrea. 2020. "Prontuario de Información Técnica de la ZOTM 2020". ZOTM. CFE.
- [7] Sin autor. Presentación Power Point "PROCEDIMIENTO EN ESQUEMA DE PROTECCIÓN DAL L.T. TEX-A3850 / A3950-LAP" GRTC. CFE.
- [8] Zona de Transmisión Centro. Manual de Operación de la Subestación Eléctrica Texcoco (TEX). Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- [9] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "La Paz" (LAP) en 400 KV.
- [10] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "La Paz" (LAP) en 230 KV.
- [11] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "La Paz" (LAP) en 23 KV.
- [12] [https://itlaw.wikia.org/wiki/Bulk_Electric_System#:~:text=A%20Bulk%20Electric%20System%20\(BES,of%20100%20kV%20or%20higher](https://itlaw.wikia.org/wiki/Bulk_Electric_System#:~:text=A%20Bulk%20Electric%20System%20(BES,of%20100%20kV%20or%20higher).
- [13] Zona de Transmisión Centro. Manual de Operación de la Subestación Eléctrica Chapingo (CPG). Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- [14] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "Chapingo" (CPG) en 230 KV.
- [15] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "Chapingo" (CPG) en 23 KV.
- [16] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "Aurora" (AUR) en 230 KV.
- [17] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "Aurora" (AUR) en 85 KV.
- [18] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "Aurora" (AUR) en 23 KV.
- [19] ZOTM. Diagrama unifilar de la Subestación Eléctrica. "Aurora" (AUR) en 230/23 KV.
- [20] Zona de Transmisión Valle de México Centro. Sector Teotihuacán. Presentación Power Point "DAL TEX-LAP-CPG". CFE.

Anexo A

WS500 es la interfaz de usuario de ABB para aplicaciones exigentes de demanda en tiempo real de control de supervisorio de procesos distribuidos geográficamente. WS500 es una interfaz de usuario común para Sistemas SCADA, EMS, GMS y DMS de ABB. Con el apoyo de la tecnologías de la información industrial de ABB, WS500 realiza la navegación de Aspecto y Objeto. Esto agrega más flexibilidad al hacer posible agregar un usuario específico de objeto funcional.

La estación de trabajo del operador WS500 combina soporte para la exigente operación de proceso en tiempo real con apertura del Aplicaciones de oficina y entorno de Internet.

Las herramientas de estudios con las que cuenta el programa WS500:

- Estudio de análisis de contingencia (CA)
- Estudio de despacho de flujo de carga (DLF)
- Estudio de evaluación de seguridad dinámica (DSA)
- Estudio de cálculo de falla (EFC)
- Estudio de la topología de la red
- Estudio óptimo de flujo de potencia (OPF)