



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado
*“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE
FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA
ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN
VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA
TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400
KV”.*

TESIS

Para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN
SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Presenta:

JOEL ABDI CRUZ GONZALEZ

Director de tesis:

M.C. ISMAEL ALBINO PADILLA

Co-director de tesis:

DR. ALEJANDRO BAUTISTA HERNÁNDEZ

Asesor externo:

M.C. IXTLAHUATL CORONADO GALLEGOS

Puebla, Pue.

Junio 2020



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por brindarme la vida, otorgarme el apoyo y la fuerza que necesitaba para llegar a la meta de este objetivo tan valioso para mí. Por todas las bendiciones que a manos llenas me regala día a día, por su amor y su cuidado.

A mis padres, Joel Arnulfo y Dolores González:

Por enseñarme lo importante que es valorar cada esfuerzo en la vida, por darme todos esos consejos de seguir adelante, jamás darse por vencido sino al contrario dar lo mejor de uno mismo. Siempre demostrar humildad, paciencia, conciencia y perseverancia en lo que me propongo.

Los admiro demasiado por que sin duda son personas que siempre demostraron dar lo máximo por mí y también saber, que todo lo que realizaban con todo su amor y sus fuerzas era con el propósito de que nunca me faltara nada. Los amo demasiado y estoy muy orgulloso de que sean mis padres.

A mi hermano, Noé Ezequiel

Por brindarme su apoyo incondicional, por saber escuchar cuando más lo necesito, por ser mi mejor amigo, gracias hermano por estar ahí para mí, en ocasiones fuiste un gran amigo y en otras, el más severo de los padres, a veces el mejor compañero de juegos, y a veces el más gruñón, pero todo lo haces siempre por mi bien.

A mi esposa, Erika García

Por permitirme ser tu esposo, por estar a mi lado, por siempre alentarme, dedicarme de tu tiempo, por tu amor, paciencia, por tu bello ser que me permite tener como mi inspiración. Esposa mía eres la fuente de amor que encuentro cada día, al regresar a nuestra casa.

Por ser mi equipo en todo momento, en toda circunstancia, todo objetivo. Gracias por siempre, por todo mi amor, y gracias por acompañarme en este camino de la vida.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

A mis compañeros: Francisco del Moral, Ricardo Cabañas, Oscar Tobón, Daniel Cruz, Tiburcio Isleño, Héctor Aguirre, Alberto Rodríguez, Ignacio Ramírez, Arnold Mancilla, Cesar Mejía, Eduardo Zarate, Alejandro Hernández

Por el esfuerzo tan grande que hicieron, al brindarme la oportunidad y el apoyo de alcanzar esta meta, sinceramente son amigos que en la vida se encuentran pocos.

Por regalarme esas enseñanzas, tanto en el trabajo como en la vida y saber que siempre puedo contar con su amistad, su compañerismo y su lealtad.

Los admiro mucho y les expreso mis sentimientos de alegría por ser parte de mi vida profesional y más que compañeros de trabajo somos como hermanos, en ocasiones nos quejamos y otras veces nos divertimos. Pero siempre hemos alcanzado la meta trazada al trabajar unidos.

A mi Jefe: Ixtlahuatl Coronado:

Por su apoyo, aportación, la motivación y la orientación que me ha brindado para desarrollar este trabajo tan importante para mí, ya que sin este proyecto no hubiera sido posible.

Mi respeto y admiración a usted

A mis profesores y coordinador: Ismael Albino, Alejandro Bautista, Genaro Campos.

Por su valioso tiempo que tuvieron hacia mí, apoyarme en todos los aspectos para que culminara esta labor muy significativa en mi vida y brindarme sus enseñanzas, que para mí son tan importantes que atesorare en mi mente y corazón.

A mis compañeros de clase: Arturo de la Cruz, Ricardo Rivera, Abraham León, Miguel Caballero

Por brindarme su valiosa amistad y su apoyo, porque dadas las circunstancias de las materias que no fueron fáciles se necesitaba la ayuda inminente de ustedes. Son muy profesionales en su trabajo y en el estudio, reconozco que me toco un grupo muy competitivo y unido, gracias por los buenos momentos que pasamos.



Contenido

ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
NOMENCLATURA.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO 1	19
PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMAS	19
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTACION.....	21
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3.2 OBJETIVO PARTICULAR	21
1.4 HIPÓTESIS	21
CAPÍTULO 2	23
2.1 MARCO DE REFERENCIA.....	23
2.2 MARCO TEORICO	26
CAPÍTULO 3	32
3.1 MODERNIZACIÓN Y CONDICIONES OPERATIVAS DEL SEP.....	32
3.2 AMPLIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DEL SEN	34
3.3 ESTADOS OPERATIVOS DEL SEN	35
3.4 COSTO- BENEFICIO	36
CAPÍTULO 4	38
4.1 CLASIFICACIÓN DE ESTABILIDAD EN EL SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA.....	38
4.2 ESTABILIDAD ANGULAR	39
4.3 ESTABILIDAD DE FRECUENCIA.....	39
4.4 ESTABILIDAD DE VOLTAJE.....	39



CAPÍTULO 5	42
MARCO METODOLOGICO	42
5.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	42
5.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	42
5.3 ELABORACIÓN DE UN CASO NUEVO.....	44
5.4 GUARDAR UN CASO NUEVO	51
5.5 DIBUJAR DIAGRAMA DE UN CASO NUEVO.....	53
5.6 PI PROCESSBOOK.....	56
5.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	57
5.8 ALCANCE.....	57
CAPÍTULO 6	59
6.1 FLUJOS DE POTENCIA	59
6.2 CLASIFICACIÓN DE NODOS Y VARIABLES	61
6.3 SOLUCIÓN DE LAS ECUCACIONES DE FLUJOS DE POTENCIA.....	62
6.3.1 MÉTODO DE GAUSS-SEIDEL.....	62
6.3.1 MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON.....	63
CAPÍTULO 7	68
7.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PRUEBA DE 14 BARRAS DE IEEE68	
7.2 REALIZACION DE FLUJOS DE POTENCIA	72
7.3 ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS.....	75
CAPÍTULO 8	88
8.1 PROPUESTA EN LA RED DE LA ZOTVER ANTE CAMBIO EN LA	
TOPOLIGÍA EN 400 KV	88
8.2 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN PARA	
FLUJOS DE POTENCIA.....	95
8.3 FLUJOS DE POTENCIA CON USO DE DIAGRAMAS UNIFILARES DE LA	
ZOTVER SIN PRESENTAS CAMBIOS DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL	
DE 400 KV	98



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

8.4 FLUJOS DE POTENCIA CON USO DE DIAGRAMAS UNIFILARES DE LA ZOTVER CON CAMBIOS DE TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV	105
8.5 ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS CON PROPUESTA.....	112
8.6 CONCLUSIONES:	122
REFERENCIAS.....	124



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1 DATOS DE LA CARGA CONECTADA EN EL SISTEMA.....	69
Tabla 7.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE BUS	70
Tabla 7.3 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE BUS SEGUN CÓDIGO.....	70
Tabla 7.4 DATOS DE LOS GENERADORES	71
Tabla 7.5 DATOS DE LOS TRANSFORMADORES	71
Tabla 7.6 BANCO DE CAPACITORES	71
Tabla 7.7 DATOS DE LAS LÍNEAS.....	72
Tabla 7.8 SUBSISTEMA	78
Tabla 7.9 CONTINGENCIAS QUE SE ANALIZARAN	80
Tabla 7.10 MONITOR DE NODOS.....	82
Tabla 8.2 COMPARACIÓN EN MW DE FUENTES PRINCIPALES FLUJO SUR AL CENTRO	106
Tabla 8.3 COMPARACIÓN EN MW DE FUENTES PRINCIPALES FLUJO CENTRO AL SUR	107
Tabla 8.4 COMPARACIÓN EN MW DE FUENTES PRINCIPALES FLUJO SUR AL CENTRO DEMANDA MÁXIMA.....	110



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN VERACRUZ	13
FIGURA 2 COMPORTAMIENTO DE BANCOS DE TRANSMISIÓN EN CONDICIONES NORMALES	14
FIGURA 3 COMPORTAMIENTO DE BANCOS DE TRANSMISIÓN ANTE DISPARO EN SUBESTACIÓN PUEBLA	15
FIGURA 4 RED TRONCAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	20
FIGURA 5 NIVELES DE JERARQUIA.....	24
FIGURA 6 DIVISIÓN DE AREAS POR AMBITO GEOGRÁFICO	24
FIGURA 7 TRONCAL DE LA GERENCIA DE CONTROL ORIENTAL	25
FIGURA 8 ZONAS DE OPERACIÓN.....	25
FIGURA 9 CARGA TOTAL SUPERVISADA Y CONTROLADA POR ZOTVER	26
FIGURA 10 RED 400 KV Y 230 KV CON FLUJO AL CENTRO DE -300 MW	27
FIGURA 11 RED COMPLETA DE LA ZONA DISTRIBUCIÓN	28
FIGURA 12 DISPARO MÚLTIPLE DE LÍNEAS DE 115 KV.....	28
FIGURA 13 RED 230 KV CON ALTA CARGABILIDAD.....	29
FIGURA 14 BARRIDA DE BUS 1 Y BUS 2 DE LA SUBESTACIÓN PUEBLA	30
FIGURA 15 COORDINACIÓN PARA LA OPERACIÓN DEL SEP.....	33
FIGURA 16 RESPONSABILIDADES DEL CENACE	33
FIGURA 17 CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES OPERATIVAS DEL SEP	35
FIGURA 18 CLASIFICACIÓN DE ESTABILIDAD EN UN SEP	38
FIGURA 19 ENTORNO DE TRABAJO PSSE	43
FIGURA 20 CUADRO DE DIALOGO FILE NEW	45
FIGURA 21 INTRODUCCIÓN DE UN NUEVO CASO.....	45
FIGURA 22 ACCESO DE TABLA DE DATOS DEL SEP	45
FIGURA 23 PESTAÑA DE DATOS DE BUS.....	46
FIGURA 24 PESTAÑA DE DATOS DE LOS GENERADORES	47
FIGURA 25 PESTAÑA DE DATOS DE LAS CENTRALES.....	47
FIGURA 26 PESTAÑA DE DATOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	48
FIGURA 27 PESTAÑA PRIMERA PARTE DE DATOS DE TRANSFORMADORES	49
FIGURA 28 PESTAÑA SEGUNDA PARTE DE DATOS DE TRANSFORMADORES	50
FIGURA 29 PESTAÑA DE DATOS DE CARGA.....	51
FIGURA 30 GUARDAR NUEVO CASO	51
FIGURA 31 GUARDAR NUEVO CASO PUNTO SAV	52
FIGURA 32 GUARDAR NUEVO CASO PUNTO RAW	52
FIGURA 33 OPCIÓN DE NUEVO DIAGRAMA.....	53
FIGURA 34 ÁREA DE TRABAJO PARA UN DIAGRAMA.....	53
FIGURA 35 TREE VIEW CON DATOS CARGADOS	54
FIGURA 36 DATOS CARGADOS DEL SEP	54



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

FIGURA 37 INICIANDO EL DIBUJO CON LA OPCION DRAW.....	55
FIGURA 38 INSERCIÓN DE BUSES EN EL DIAGRAMA UNIFILAR	55
FIGURA 39 GUARDAR DIAGRAMA PUNTO SLD.....	55
FIGURA 40 HISTÓRICO DE LA DEMANDA DE LA ZOTVER 2019	56
FIGURA 41 HISTÓRICO DE LA DEMANDA DE LA ZONA XALAPA 2013.....	57
FIGURA 42 DIAGRAMA 14 NODOS IEEE	68
FIGURA 43 DIAGRAMA EN PSSE 14 NODOS	69
FIGURA 44 NUMERO DE ITERACIÓN QUE REALIZA PSSE PARA LA SOLUCIÓN.....	72
FIGURA 45 SOBRECARGA EN LA RED DE 230 KV.....	73
FIGURA 46 LIMITES DE SOBRECARGA EN LAS LÍNEAS DE 230 KV	73
FIGURA 47 DATOS GENERALES DE GENERACIÓN	74
FIGURA 48 FLUJOS DE POTENCIA DEL NODO 1 AL 6.....	74
FIGURA 49 FLUJOS DE POTENCIA DEL NODO 7 AL 14.....	75
FIGURA 50 COMPORTAMIENTO DE VOLTAJES EN LA RED	76
FIGURA 51 GENERACIÓN POR UNIDAD EN LA BASE DE DATOS (MACHINE).....	76
FIGURA 52 VOLTAJES DE CADA NODO EN LA BASE DE DATOS EN P.U.	77
FIGURA 53 UBICACIÓN DE AC CONTINGENCY SOLUTION (ACCC)	77
FIGURA 54 HERRAMIENTA AC CONTINGENCY SOLUTION (ACCC)	78
FIGURA 55 FORMATO ".SUB"	79
FIGURA 56 FORMATO ".CON"	81
FIGURA 57 FOMRATO ".MON"	82
FIGURA 58 ELABORACIÓN DE ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS.....	83
FIGURA 59 PROCESO DE ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS	83
FIGURA 60 RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DE CONTINGENCIAS.....	84
FIGURA 61 RESUMEN DE VIOLACIÓN DE FLUJO DE POTENCIA	84
FIGURA 62 CONTINGENCIA SELECCIONADA	85
FIGURA 63 FLUJO DE POTENCIA DE CADA LINEA DE TRANSMISIÓN ANTE LA CONTINGENCIA SELECCIONADA.....	86
FIGURA 64 CAMBIO DE VOLTAJE DE CADA NODO QUE SE OBTUVO POR LA CONTINGENCIA	86
FIGURA 65 UBICACIÓN DE CONDUCTORES Y HILO DE GUARDA.....	90
FIGURA 66 PRESENTACIÓN DE TMLC	90
FIGURA 67 NOMBRE DE PROYECTO	91
FIGURA 68 DATOS DEL HILO DE GUARDA Y CONDUCTOR	91
FIGURA 69 DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES.....	92
FIGURA 70 COORDENADAS POR FASE DE CONDUCTOR.....	92
FIGURA 71 COORDENADAS HILO DE GUARDA.....	93
FIGURA 72 PROCESO PROYECTO.....	93
FIGURA 73 GUARDAR PROYECTO.....	94



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

FIGURA 74 PRESENTACIÓN DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN	94
FIGURA 75 SE BUSCA EL PROYECTO YA REALIZADO	95
FIGURA 76 FLUJOS DE POTENCIA.....	96
FIGURA 77 POTENCIA BASE, TENSIÓN Y DIMENSIÓN EN MILLAS DEL CONDUCTOR.....	96
FIGURA 78 PARAMETROS DEL PROYECTO 25 °C.....	97
FIGURA 79 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL CONDUCTOR	97
FIGURA 80 PARAMETROS DEL PROYECTO 50 °C.....	98
FIGURA 81 RED TRONCAL CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO	99
FIGURA 82 RED ZOTVER CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO.....	99
FIGURA 83 RED TRONCAL CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR.....	100
FIGURA 84 RED ZOTVER CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR.....	101
FIGURA 85 RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO.....	102
FIGURA 86 RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO.....	102
FIGURA 87 RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR.....	104
FIGURA 88 RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR.....	104
FIGURA 89 PROYECTO NUEVO (LÍNEA DE TRANSMISIÓN DEL NODO CERRO AL NODO MANLIO FABIO) EN LA RED TRONCAL DE 400 KV	105
FIGURA 90 PROYECTO NUEVO EN LA RED DE LA ZOTVER	106
FIGURA 91 RED TRONCAL CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA	107
FIGURA 92 RED ZOTVER CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA	108
FIGURA 93 COMPORTAMIENTO DE 400 KV ANTE LA APERTURA DE LÍNEA NUEVA	108
FIGURA 94 COMPORTAMIENTO DE 230 KV Y 115 KV ANTE LA APERTURA DE LÍNEA NUEVA.....	109
FIGURA 95 SIMULACIÓN DE LA RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO CON PROPUESTA	109
FIGURA 96 SIMULACIÓN DE LA RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO CON PROPUESTA	110
FIGURA 97 SIMULACIÓN DE LA RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA.....	111
FIGURA 98 SIMULACIÓN DE LA RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA.....	112
FIGURA 99 RED DE ZOTVER COMPLETA DEMANDA MÍNIMA	113
FIGURA 100 CONTINGENCIA EN BANCO DE LAGUNA	113
FIGURA 101 CONTINGENCIA BANCO AT1 DE MANLIO	114
FIGURA 102 CONTINGENCIA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE NODO MANLIO AL NODO LAGUNA.....	114
FIGURA 103 CONTINGENCIA BUS MANLIO 400 KV	115
FIGURA 104 CONTINGENCIA BUS PUEBLA 400 KV.....	115



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

FIGURA 105 COMPORTAMIENTO DE LA ZONA ORIZABA ANTE DISPARO DE BUS PUEBLA 400 KV.....	116
FIGURA 106 COMPORTAMIENTO DE LA RED TRONCAL ANTE DISPARO DE BUS PUEBLA 400 KV.....	116
FIGURA 107 RED DE ZOTVER COMPLETA DEMANDA MÁXIMA.....	117
FIGURA 108 DISPARO DEL BANCO DE LAGUNA.....	117
FIGURA 109 DISPARO DEL BANCO DE MANLIO.....	118
FIGURA 110 DISPARO DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN DEL NODO MANLIO AL NODO LAGUNA.....	118
FIGURA 111 DISPARO DE BUS MANLIO 400 KV.....	119
FIGURA 112 DISPARO DEL BUS DE PUEBLA 400 KV.....	119
FIGURA 113 COMPORTAMIENTO DE LA RED TRONCAL DE 400 KV ANTE EL DISPARO DEL BUS DE PUEBLA.....	120
FIGURA 114 COMPORTAMIENTO DE LA RED DE ORIZABA ANTE DISPARO DEL BUS DE PUEBLA.....	120



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

NOMENCLATURA

CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
ZOTVER	Zona de Operación de Transmisión Veracruz
RNT	Red Nacional de Transmisión
RDG	Redes Generales de Distribución (RDG)
SENER	Secretaria de Energía
CENAL	Centro Nacional
CENALTE	Centro Nacional Alterno
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
PRODESEN	Proyectos de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
EAR	Esquema de Acción Remedial
DAC	Disparo Automático de Carga
DAG	Disparo Automático de Generación
PSS/E	Power System Simulator for Engineering
TMLC	Software TMLC (Transmission Line Characteristics)



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

INTRODUCCIÓN

La Zona de Operación de Transmisión Veracruz, tiene como objetivo principal la supervisión, y el control físico de la red del transportista en su ámbito operativo, la cual está formada por 5 Zonas de Transmisión y 7 Zonas de Distribución.

Zonas de transmisión:

Zona de Transmisión Veracruz, Zona de Transmisión Temascal, Zona de Transmisión Córdoba, Zona de Transmisión Xalapa, Zona de Transmisión Istmo

Zonas distribución:

Zona de Distribución Veracruz, Zona de Distribución Xalapa, Zona de Distribución Córdoba, Zona de Distribución Orizaba, Zona de Distribución Papaloapan, Zona de Distribución Oaxaca, Zona de Distribución Huatulco **[1]**.

La demanda máxima en la ZOT Veracruz es de 1650 MW, **[2]** con lo cual se proporciona el suministro de energía a 2,409,737, **[5]** usuarios, repartidos en los estados de Veracruz y Oaxaca, a través de la Supervisión, Control y Adquisición de Datos en tiempo real de 26,000 puntos, en donde se pueden observar alarmas de protecciones, mediciones y señalizaciones de equipos primarios, en lo que corresponde a la red de 400 KV, 230 KV y 115 KV, **[3]**.

Con la topología actual en el sistema eléctrico de Potencia en el ámbito de la ZOTVER (Zona de Operación de Transmisión Veracruz) se presenta una condición particular al



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

tener baja generación eólica, bajo despacho de generación hidroeléctrica en el sureste del país y alto despacho en el noreste del país, lo cual provoca el flujo de potencia se transmita por la red de 230 KV en lugar de hacerlo por el troncal de 400 KV, provocando con esto un incremento en las pérdidas de potencia e incremento de carga en equipo primario,[1].

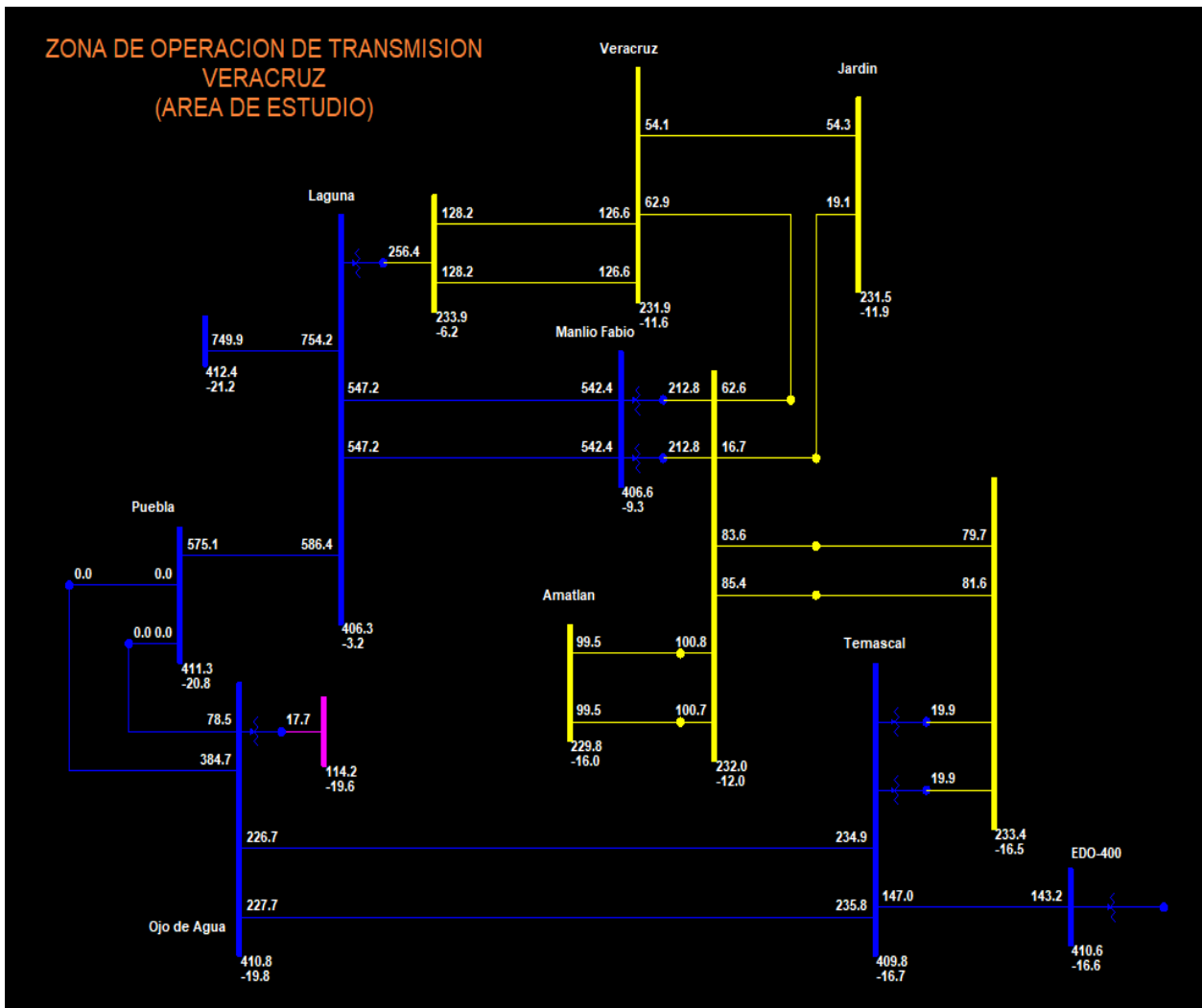


FIGURA 1 RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN VERACRUZ



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

El día 05 de mayo del año 2013 a las 07:09 am se presentó un evento en la red de 400 KV, se trató del disparo simultáneo de las barras de la subestación Puebla, debido a la explosión de TC fase b lado barra 2 del interruptor de amarre.

Ante este evento se pudo observar la distribución del flujo de potencia por la red de la Zona Veracruz, donde hubo una sobrecarga de 112% en los bancos transmisión de Manlio Fabio, 137% en el banco de la subestación Temascal, al igual que los bancos de Amatlán con 155% sobre su capacidad nominal, consecutivamente disparos en cascadas líneas de transmisión de 115 KV de la zona Córdoba-Orizaba, [4].

Cabe mencionar que se tenía toda la generación en Laguna (1400 MW) y un flujo al centro de -300MW, con esta condición se decide solicitar bajar la generación de la planta a 960 MW para poder ayudar a bajar la sobrecarga de equipos en la red de la zona Veracruz.

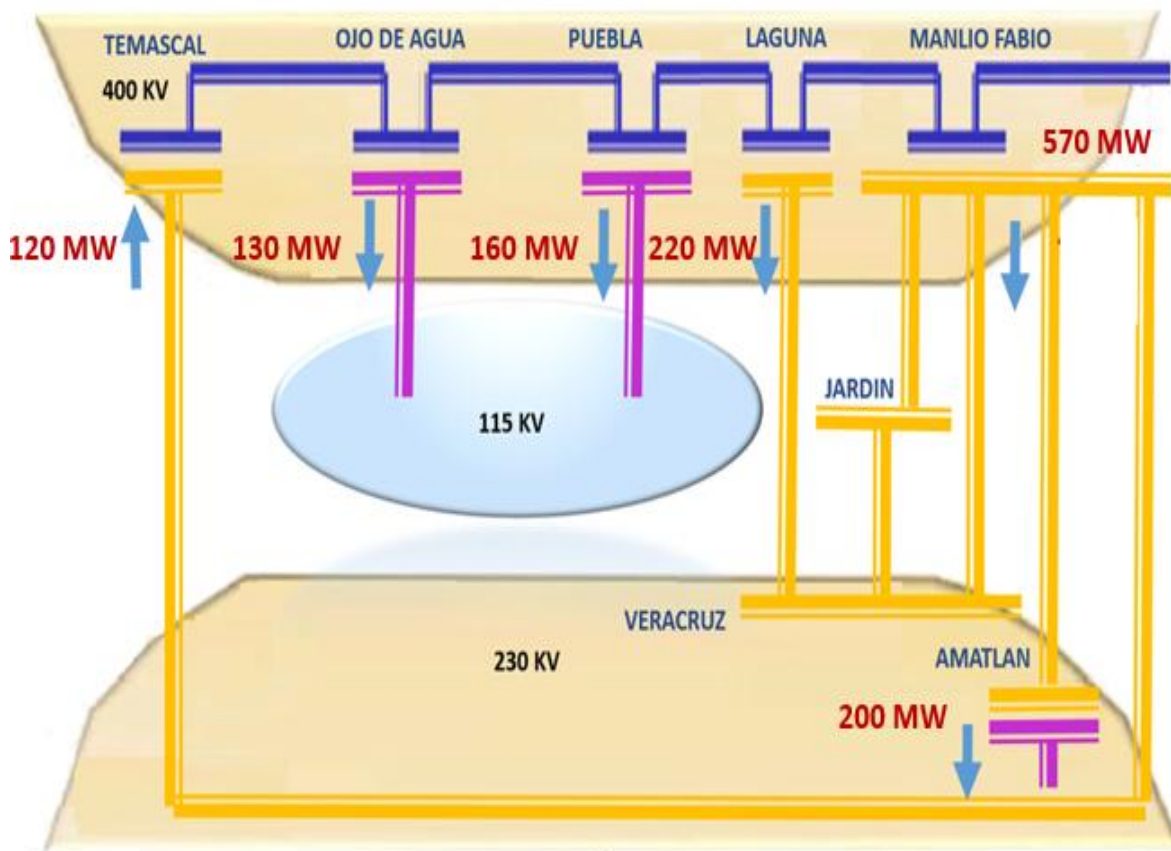


FIGURA 2 COMPORTAMIENTO DE BANCOS DE TRANSMISIÓN EN CONDICIONES NORMALES



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

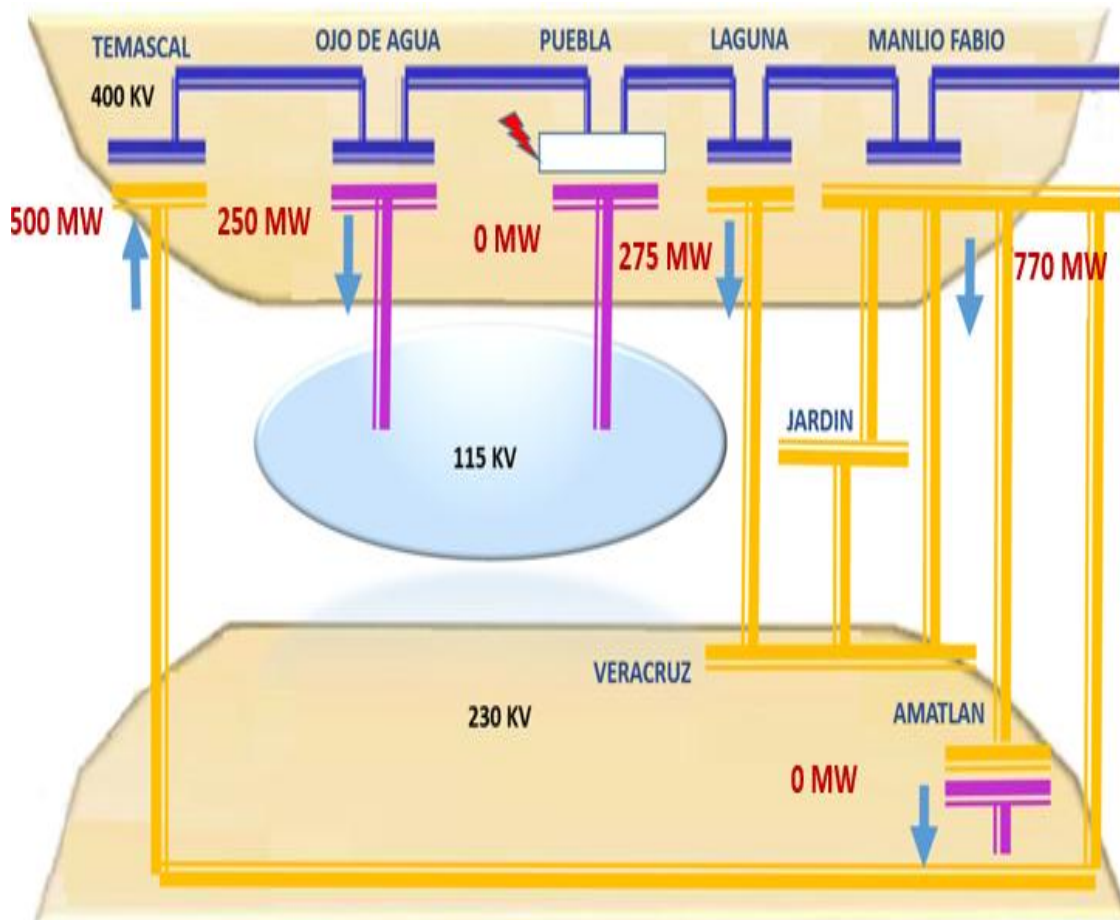


FIGURA 3 COMPORTAMIENTO DE BANCOS DE TRANSMISIÓN ANTE DISPARO EN SUBESTACIÓN PUEBLA

Para hacer frente a esta condición se han realizado estudios de flujos de potencia en estado estable para determinar acciones de control que limiten la transmisión por la red de 230 KV.

Durante el desarrollo de la tesis, se presentará el comportamiento de los flujos de potencia con la topología actual y se analizarán propuestas de cambios en la topología (crecimiento) para que el flujo de potencia, ante diferentes escenarios de operación sea a través de la red troncal.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

ABSTRACT

The Veracruz Transmission Operation Zone, has as its main objective the supervision, and physical control of the carrier's network in its operational area, which is formed by 5 Transmission Zones and 7 Distribution Zones.

Transmission Areas:

Veracruz Transmission Zone, Temascal Transmission Zone, Córdoba Transmission Zone, Xalapa Transmission Zone, Istmo Transmission Zone.

Distribution Areas:

Veracruz Distribution Zone, Xalapa Distribution Zone, Córdoba Distribution Zone, Orizaba Distribution Zone, Papaloapan Distribution Zone, Oaxaca Distribution Zone, Huatulco Distribution Zone.

The maximum demand in the ZOT Veracruz is 1750 MW, which provides the power supply to 2,409,737, users, distributed in the states of Veracruz and Oaxaca, through of the Supervision, Control and Acquisition of Data in real time of 26,000 points, where alarms of protections, measurements and signaling of primary equipment can be observed, in what corresponds to the network of 400 kV, 230 kV and 115 kV.

With the current topology in the Power electric system in the field of ZOTVER (Veracruz Transmission Operation Zone) a particular condition is presented as it has low wind generation, under hydroelectric generation dispatch in the southeast of the country and high dispatch in the Northeast of the country, which causes the power flow to be transmitted through the 230 kV network instead of through the 400 kV trunk, thereby causing an increase in power losses and increased load on primary equipment.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

On May 5, 2013 at 07:09 am an event was presented on the 400 kv network, it was the simultaneous firing of the bars of the Puebla substation, due to the explosion of TC phase b side bar 2 of the tie down switch.

Faced with this event, the distribution of the power flow through the Veracruz Zone network was observed, where there was an overload of 112% in the transmission banks of Manlio Fabio, 137% in the bank of the Temacal substation, as well as the banks of Amatlan with 155% of its nominal capacity, consecutively shooting cascades of 115 kv transmission lines in the Córdoba-Orizaba área.

It is worth mentioning that there was the whole generation in Laguna (1400 MW) and a flow to the center of -300MW, with this condition it was decided to request to reduce the generation of the plant to 960 MW in order to help lower the equipment overload in the network from the Veracruz area.

To cope with this condition, studies of steady state power flows have been carried out to determine control actions that limit the transmission through the 230 KV network.

During the development of the thesis, the behavior of the power flows with the current topology will be presented and proposals for changes in the topology (growth) will be analyzed so that the power flow, before different operating scenarios is through the network trunk.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 1



CAPÍTULO 1

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMAS

El Sistema Eléctrico Nacional se encuentra conformado por una Red Nacional de Transmisión (RNT) distribuida a lo largo del territorio

Las subestaciones de transmisión son instalaciones destinadas a modificar y regular niveles de tensión de la estructura eléctrica para facilitar el transporte de la energía eléctrica entre las líneas de transmisión y distribución.

La clasificación para las subestaciones eléctrica de potencia utilizadas en la transmisión, es la siguiente:

a.- Subestación de elevadoras (o de generación); están asociadas a centrales generadoras, elevan la tensión y dirigen el flujo de potencia al sistema eléctrico, en tensión iguales y mayores de 69 KV.

b.- Subestación reductora (o transformación); reduce el nivel de tensión y dirige el flujo de potencia a las RDG.

c.- Subestación de Switcheo (o maniobra); conectan varios circuitos o líneas para orientar o distribuir el flujo de potencia al sistema, no cuentan con capacidad de transformación.

En cuanto a las Redes Generales de Distribución (RDG) se utilizan para transporta energía eléctrica al público en general y se integran por las redes en media tensión, cuyo



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

suministro está en niveles mayores a 1 KV o menos cuyo suministro se da a niveles iguales o menores a 1 KV [6].

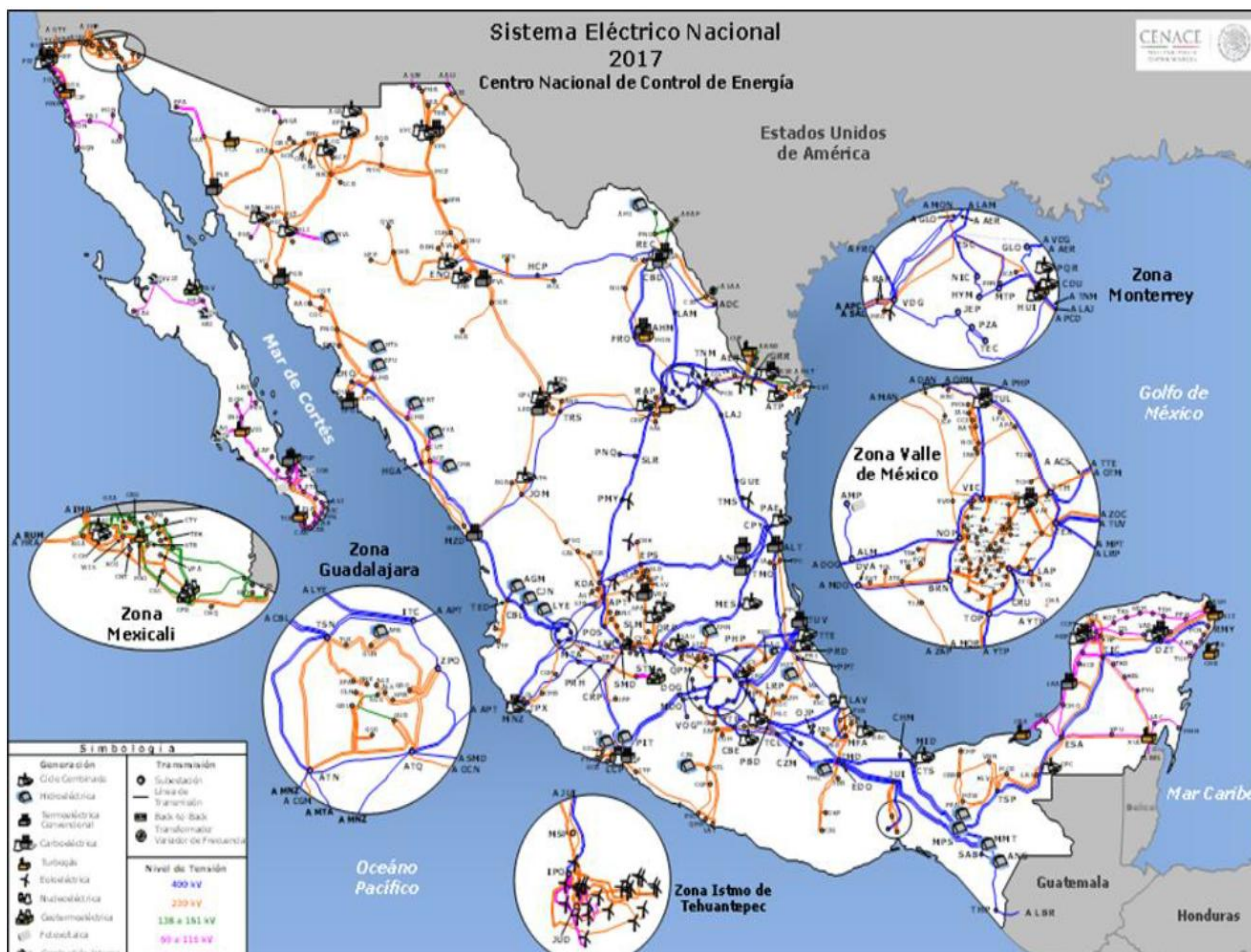


FIGURA 4 RED TRONCAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.

En la actualidad el sector eléctrico mexicano se encuentra en un proceso dinámico de transformación, por ello, se presentan propuestas de crecimiento en la red de transmisión, cuya finalidad es optimizar el uso de la red actual con el complemento de red futura.

La presente tesis mostrara el impacto de las propuestas de cambio de topología en la distribución de flujos de potencia en el ámbito de la ZOT Veracruz, poder conocer el comportamiento de esta red y tener los resultados para la planeación de dicho proyecto.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Ante la propuesta de nueva red en el SEP, es importante conocer varios aspectos, en los cuales, en primera instancia, deberían de ser la distribución de flujos de potencia, ya que tendremos mejor conocimiento de la red, observar si se tiene deficiencias de capacidad en cuanto a equipo primario para la funcionalidad de este proyecto y también el analizar la topología de la red del equipo con el que se cuenta.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTACION

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar el análisis de estado estable en la red de la zona de operación Veracruz.

1.3.2 OBJETIVO PARTICULAR

- Analizar las contingencias en la red considerando nueva topología
- Analizar libranzas de equipos primarios relevantes.
- Conocimiento de la red de la zona de operación Veracruz

1.4 HIPÓTESIS

Evaluar y comprobar los resultados obtenidos para determinar las ventajas y desventajas que tendrá este proyecto para la red, y con ello presentar una propuesta adecuada para la implementación de dicho proyecto en la Zona de Operación de Transmisión Veracruz.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 2



CAPÍTULO 2

2.1 MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se explicará en términos generales en que ámbito regional, operativo y lugar jerárquico se encuentra la Zona de Operación de Transmisión Veracruz (ZOTVER), al igual observaremos una reseña histórica acerca de un comportamiento atípico de la red que nos conlleva a tener un análisis acerca de los cambios de topología.

De acuerdo con el Manual de coordinación Operativa, el cual define a detalle los lineamientos, con la finalidad de garantizar la seguridad del personal, de las instalaciones así como el SEN, tiene como objetivo garantizar la eficiencia, calidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del SEN, promover que las actividades de la industria eléctrica se realicen bajo criterios de sustentabilidad. Impulsar la inversión y la competencia, donde esta sea factible en la industria eléctrica, propiciar la expansión eficiente de la industria eléctrica, respetando los derechos humanos de las comunidades y pueblos. Fomentar la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, así como la seguridad energética nacional. Apoyar la universalización del suministro eléctrico y proteger los intereses de los usuarios finales. [7]

El CENACE, el cual es un organismo público descentralizado de la administración pública federal sectorizado en la SENER, este es el encargado de planear u controlar la operación del SEN, determinando los elementos de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y las redes Generales de Distribución (RGD). [7]

Para que el CENACE cumpla sus funciones de Control Operativo del SEN y operación del MEM, existen niveles jerárquicos, los cuales están coordinados por CENAL / CENALTE y subordinados técnicamente entre sí:



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

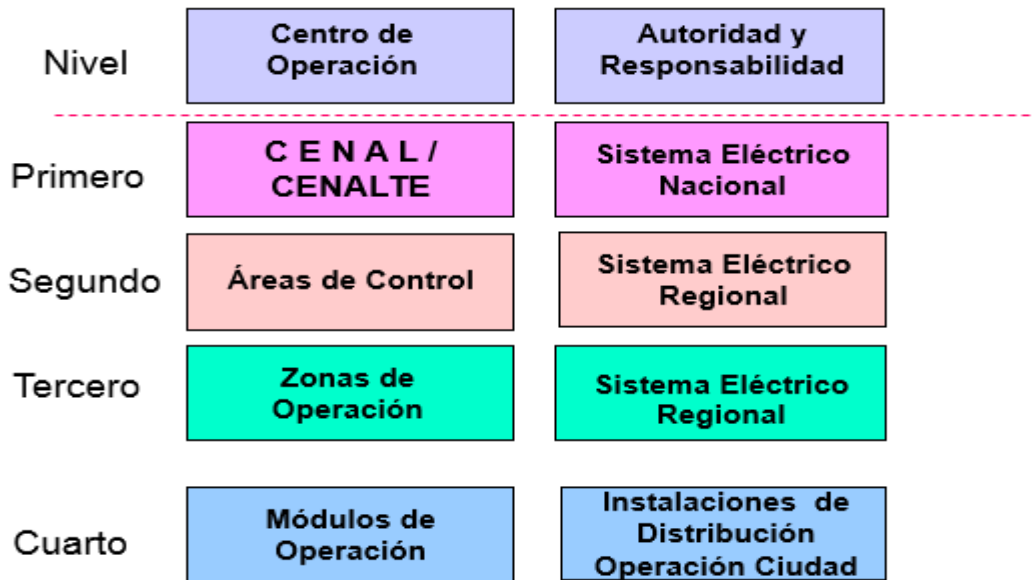


FIGURA 5 NIVELES DE JERARQUIA

A su vez el SEN está dividido por 8 áreas por su ámbito geográfico:

1. Central
2. Oriental
3. Occidental
4. Noroeste
5. Norte
6. Noreste
7. Baja california
8. Peninsular



FIGURA 6 DIVISIÓN DE AREAS POR AMBITO GEOGRÁFICO



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

La ZOTVER se encuentra inmersa en la Gerencia de Control Oriental, esta gerencia comprende una extensión geográfica de 370 000 Km² y comprende los estados de Puebla, Tlaxcala, Chiapas, Veracruz, Guerrero, Tabasco, Oaxaca y Morelos. [8]

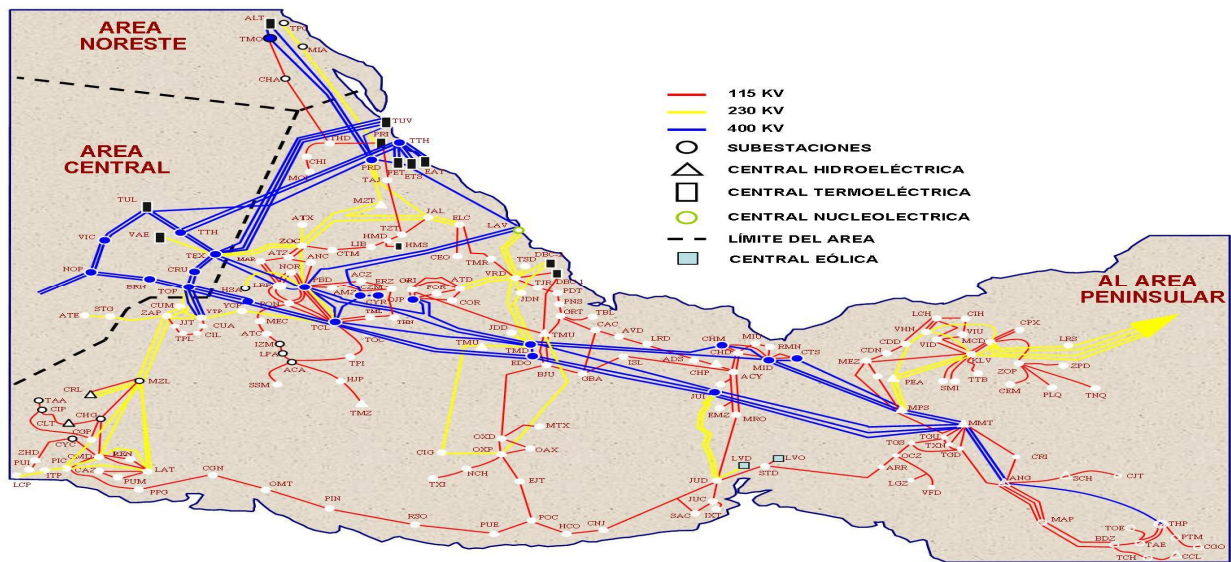


FIGURA 7 TRONCAL DE LA GERENCIA DE CONTROL ORIENTAL

Esta Gerencia a su vez contiene 6 Zonas de operación de Transmisión las cuales se nombran de la siguiente manera: Veracruz, Coatzacoalcos, Poza Rica- Teziutlán, Sureste, Guerrero- Morelos y Puebla-Tlaxcala. [8]



FIGURA 8 ZONAS DE OPERACIÓN



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En esta tesis nos enfocaremos en la Zona de Operación de Transmisión Veracruz (ZOTVER), la cual es la encargada de supervisar la red del 55% del estado de Veracruz y un 60 % del estado de Oaxaca, en su red comprende tensiones de 115 KV, 230 KV y 400 KV. [1]

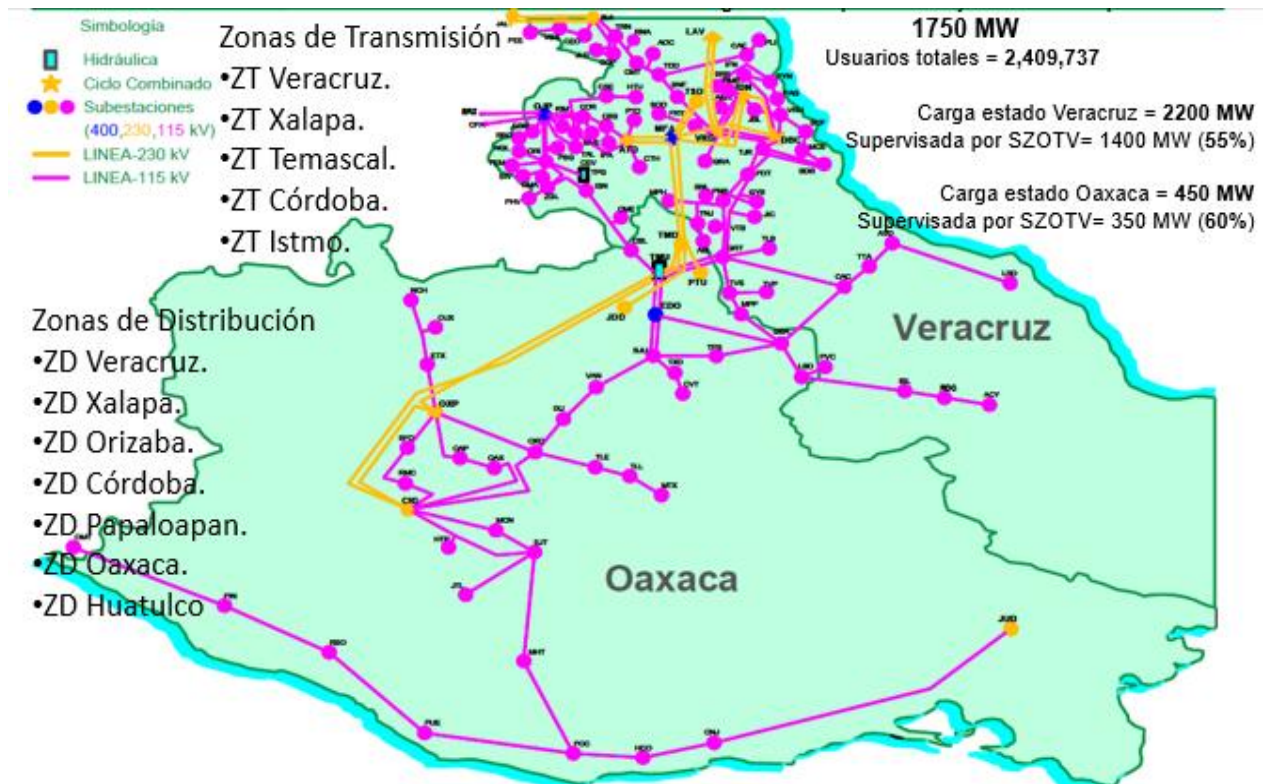


FIGURA 9 CARGA TOTAL SUPERVISADA Y CONTROLADA POR ZOTVER

2.2 MARCO TEORICO

El sistema eléctrico en el ámbito de la ZOTVER se encontraba en operación normal, con una demanda media baja, con un flujo de potencia por el enlace de temascal hacia el centro (CERRO A3U30 TECALI + CERRO A3U20 TECALI + TEMASCAL A3540 PUEBLA + TEMASCAL A3560 OJO DE AGUA) de -300 MW ante este flujo podemos observar alta cargabilidad en los bancos de transmisión de la subestación Amatlán con un 108%, la suma de los bancos de transmisión de la subestación Manlio Fabio es de



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

600 MW, y en cuanto a la generación de Laguna es un total de 1400 MW y el banco de transmisión de Laguna tiene un aproximado de 220 MW. [4]

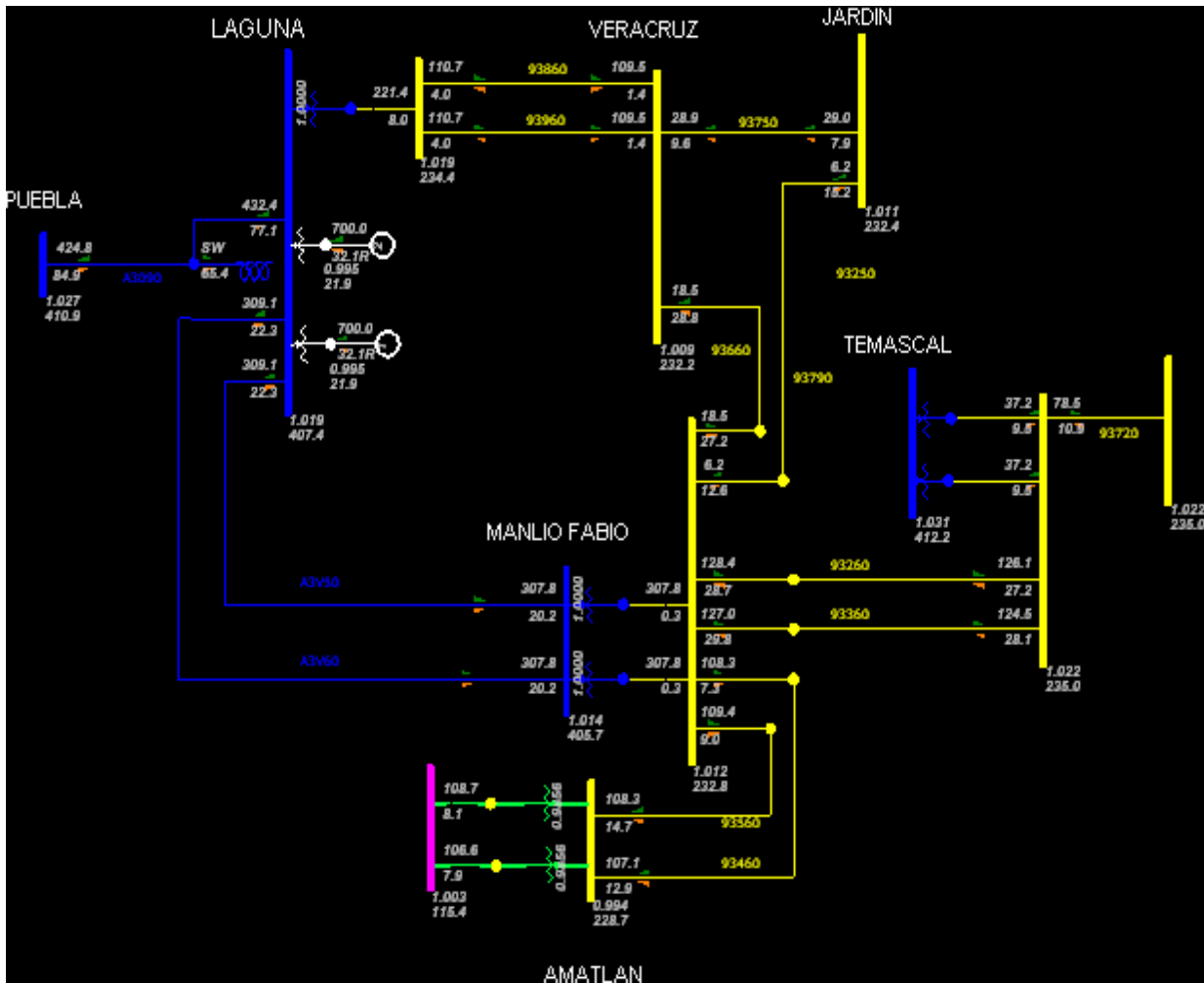


FIGURA 10 RED 400 KV Y 230 KV CON FLUJO AL CENTRO DE -300 MW

Para la red de 115 KV no había sobrecarga de líneas, aunque está en observación la línea Amatlán 73420 BUS 2, ya que lleva aproximadamente 73 MW, la cual era la línea que se tenía con más carga en este corredor. [9]

Los voltajes se podían ver que empiezan a disminuir primeramente en la Red de 230 KV, lo que consecutivamente se vería reflejado en la tensión de 115 KV. [9]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

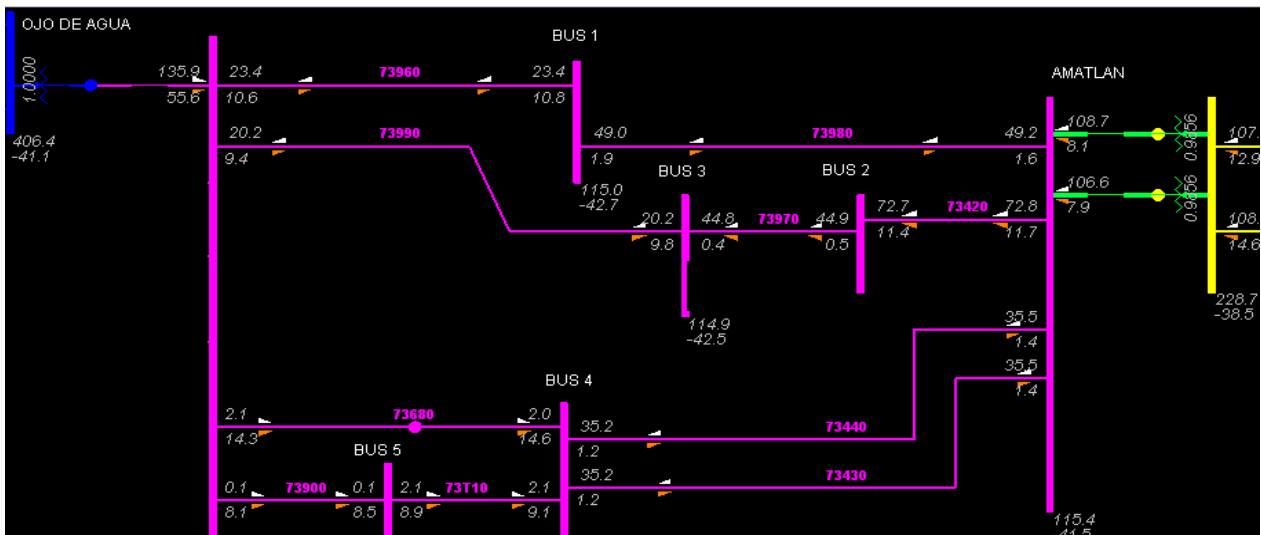


FIGURA 11 RED COMPLETA DE LA ZONA DISTRIBUCIÓN

El día 05 de mayo del año 2013 con horario de 07:09 dispara de manera simultánea los siguientes interruptores: Amatlán 73980, disparo del interruptor Amatlán 73420, Amatlán 73440, disparo de Amatlán 73430, informa el operador del control supervisorio de distribución que en la línea Amatlán 73980 BUS 1 opera la protección 67, también se puede observar que no se afecta carga zona en de distribución, ya que está sustentada la zona de distribución con enlaces como fuentes. [4]

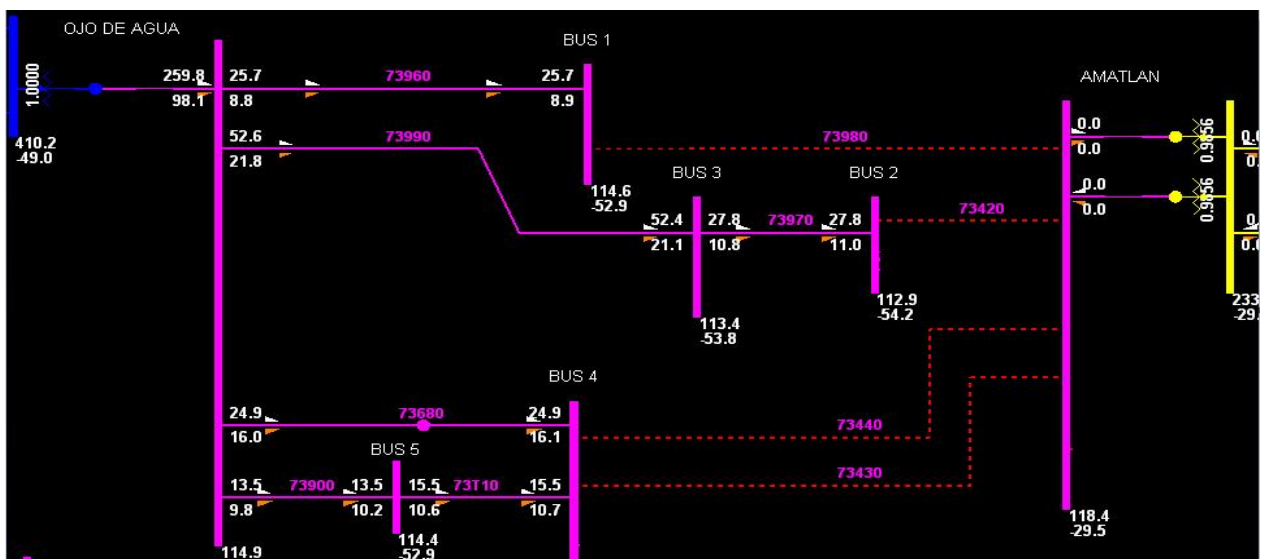


FIGURA 12 DISPARO MÚLTIPLE DE LÍNEAS DE 115 KV



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Lo que llevo al comportamiento anterior fue el evento ocurrido en la Red de 400 KV, lo cual fue barrida de Bus 1 y Bus 2 de la subestación Puebla, por lo que la distribución de flujo de potencia tuvo más impacto en la red de la ZOTVER, aparte de contar con una generación alta por parte de Laguna, más el impacto asociado de tener en ese momento un flujo de potencia que circulaba del centro del país al sur. [4]

Esto bastó para que existiera un flujo que bajara de 400 KV a 230 KV (de la subestación de Laguna hacia la subestación de Manlio Fabio y hacia la subestación de Temascal), consecutivamente bajara el flujo de 230 KV a 115 KV (de la subestación de Manlio Fabio hacia la subestación de Amatan). [9]

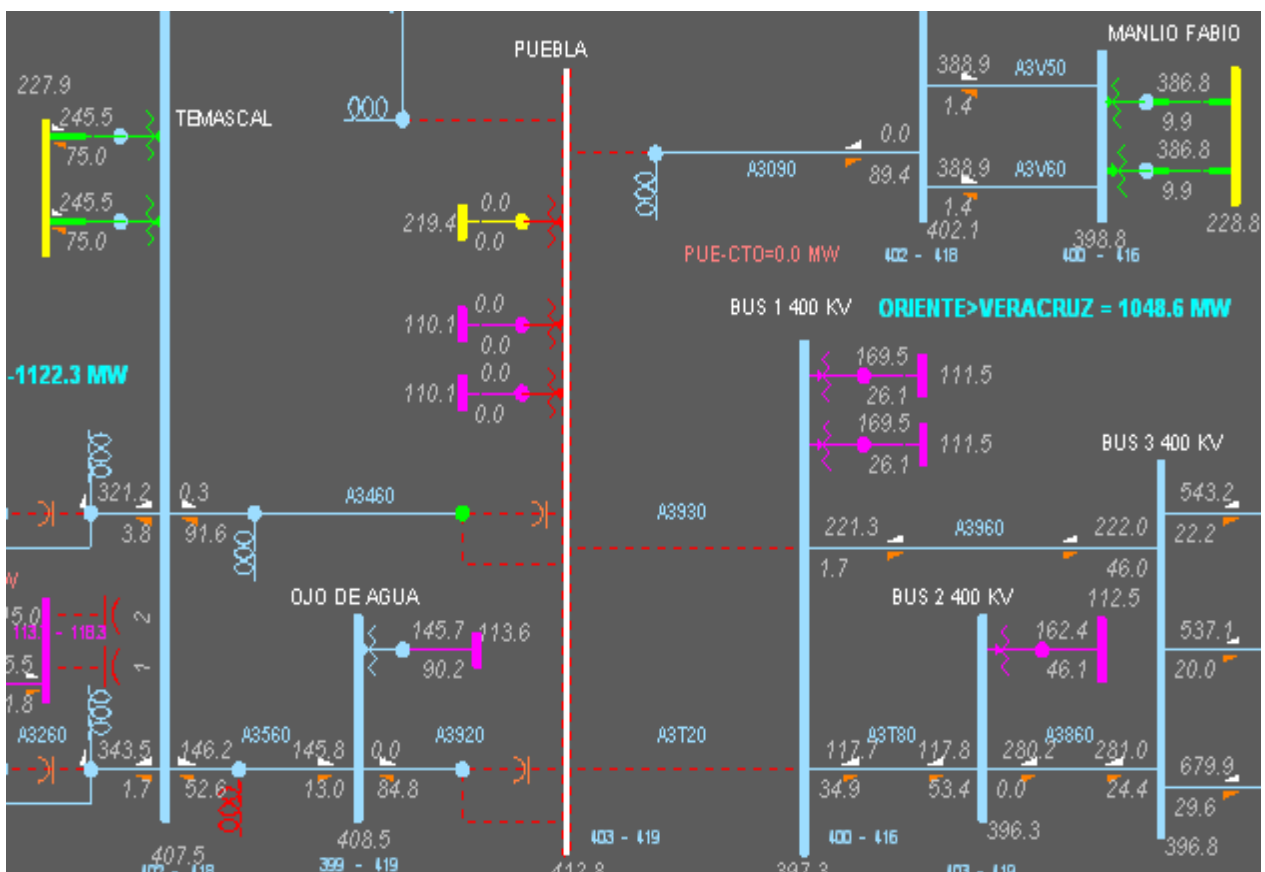


FIGURA 14 BARRIDA DE BUS 1 Y BUS 2 DE LA SUBESTACIÓN PUEBLA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 3



CAPÍTULO 3

3.1 MODERNIZACIÓN Y CONDICIONES OPERATIVAS DEL SEP

Existen lineamientos y criterios que se deben llevar a cabo, para tener un adecuado manejo del Sistema Eléctrico de Potencia, entre los que destacan el Código de Red el cual debe ser entendido como el documento que establece los requerimientos técnicos mínimos que los Integrantes de la Industria Eléctrica están obligados a cumplir con relación a las actividades de planeación y operación del SEN, así como establecer las reglas para la medición, el control, el acceso y uso de la infraestructura eléctrica.

Hay una premisa a observar en este código y que nos enfocaremos en esta tesis por lo general, la cual es que el SEN debe ser controlado de tal modo que se maximice el tiempo en que se mantenga dentro de sus límites técnicos definidos en las condiciones normales de operación y que debe ser operado de tal manera que sea capaz de soportar la Contingencia Sencilla más Severa en condiciones normales de operación, sin incumplir las condiciones de Suministro Eléctrico establecidas.

En cuanto a la ampliación y la modernización de la infraestructura del SEN deben tener como objetivo la mejora continua de los niveles de eficiencia, calidad confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad.

Para que se cumpla lo anterior el CENACE junto con los distribuidores deberán de considerar el criterio de seguridad (N-1); Contingencia Sencilla en transformadores, línea de Transmisión, Unidades de Centrales Eléctricas, equipo de compensación. Es por ello que en los programas de Ampliación y Modernización se deberá procurarse que el comportamiento tanto de la RNT como de las RGD deberán mantener estabilidad y operación en niveles de tensión y transferencias de potencias dentro de los rangos de diseño y operativos. **[10]**

Ante la aplicación de (N-1-1) o (N-2), el sistema eléctrico de Transmisión, que involucra la RNT, deberá mantener la estabilidad considerando la inclusión de algún EAR o de protección especial. **[10]**

Ante eventos crítico extremos en los que se presente la desconexión consecutiva o simultánea de tres o más elementos creíbles de ocurrir, el sistema eléctrico de Transmisión, que involucra las RNT, deberá mantener la estabilidad con la operación de esquemas de protecciones especiales como 81s y 27s, DAC, DAG. **[10]**

Para la planeación operativa se considera cuatro estados primordiales para la operación del SEP, los cuales son considerados como Estado Normal, Estado de Alerta, Estado de Emergencia, Estado Restaurativo.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En cuanto al Estado Normal, el CENACE podrá utilizar los recursos de potencia activa disponibles con el objetivo de mantener la frecuencia en los rangos adecuados, y con la ayuda de las áreas operativas Distribuidores deben mantener en coordinación con los Transportista los niveles de tensión adecuados para la Red. [10]

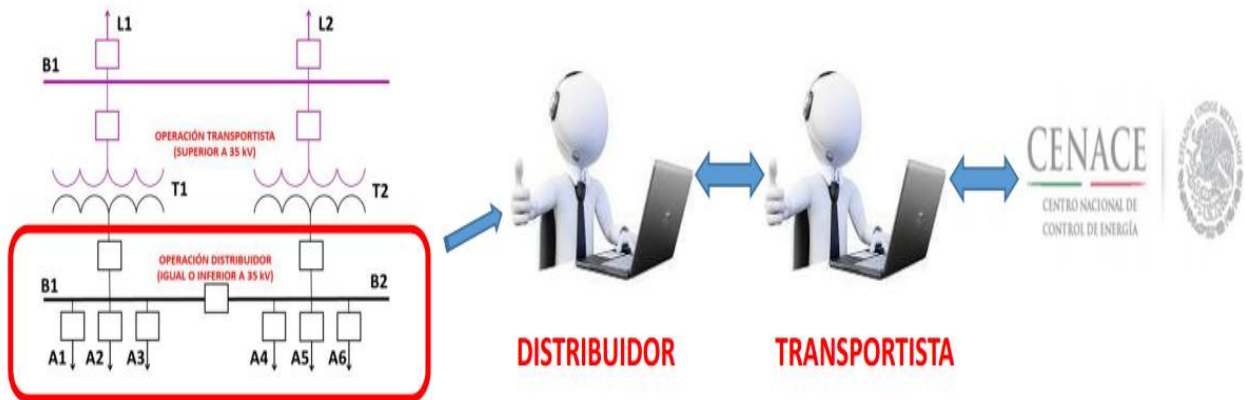


FIGURA 15 COORDINACIÓN PARA LA OPERACIÓN DEL SEP

En cuanto a una sobrecarga de elementos del SEN por largos periodos de tiempo y no se cuente con recursos para disminuirla, se podrán instruir cortes manuales de carga, estos quedan definidos para saber que carga se podrá desconectar en un momento que el SEP lo requiera.



FIGURA 16 RESPONSABILIDADES DEL CENACE



3.2 AMPLIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DEL SEN

El proceso de planeación deberá considerar el menor impacto posible al medio ambiente no considerando instalar subestaciones que pudieran afectar lagos, montañas, parques entre otros que puedan limitar su crecimiento, comunicación e interconexión con otras subestaciones, así como también deberá evitarse la instalación en lugares propensos a deslaves e inundaciones que pongan en riesgo la integridad de las personas e instalaciones.

Dentro de las disposiciones específicas que contiene el Código de Red podemos encontrar el Manual Regulatorio de planeación del SEN, el cual contiene las guías, lineamientos y descripción de la metodología para la elaboración de los programas de Ampliación y Modernización, los cuales se definen considerando las condiciones bajo las cuales debe operar el SEN. **[10]**

Dada la complejidad del proceso de la planeación se decidió que se estructurada por etapas, las cuales se consideran como Planeación a Largo Plazo (n+10 a n+14), Planeación a Mediano Plazo (n+5 a n+9) y Planeación a Corto Plazo (n a n+4), donde n es el año en curso.

Para el Corto Plazo la estructura de la red y la generación en el sistema se encuentran definidas. El objetivo en este periodo consiste en ajustar los programas, con base en las condiciones de las variables y en la información sobre fechas de entrada en operación de los proyectos. Se realizan estudios del sistema

En el Mediado Plazo los proyectos se encuentran en proceso de decisión, se tiene una visión en detalle del Programa indicativo de instalación y retiros de centrales eléctricas, se dispone de información para los sitios donde se ubicarán las nuevas centrales de generación y las nuevas cargas. Se conoce con relativa certidumbre las fechas de entrada operación de diferentes elementos del sistema. Se realizan estudios del sistema en estado estables y de confiabilidad, y en algunos casos de estabilidad transitoria.

En el periodo de Largo Plazo se caracteriza por un grado de incertidumbre mayor en las variables como: precios de combustible, la evolución de la demanda y del consumo de energía eléctrica, la ubicación, capacidad y el tipo de las nuevas centrales eléctricas. En esta etapa se define la arquitectura futura de la red, niveles de tensión y las tecnologías a elegir, siendo las fechas solamente indicativas de la entrada en operación de los elementos que habrán de incorporarse al SEN. **[10]**



3.3 ESTADOS OPERATIVOS DEL SEN

En el inicio del capítulo 3 solo se mencionó de manera general los estados operativos que se presentan en el SEN, esta parte se explica más a detalle cómo puede impactar y que se puede realizar en caso que se presente alguno de ellos.

La industria eléctrica internación ha clasificado las condiciones operativas de los sistemas eléctrico en categoría que van de la “A” a la “D”. con el sistema operando con todos sus N elementos, con (N-1), con (N-1-1), y con la perdida de varios elementos a la vez, considerando bloques de generación, transformación o transmisión. Con esta clasificación nos permite definir los están estándares de calidad y seguridad. [10]

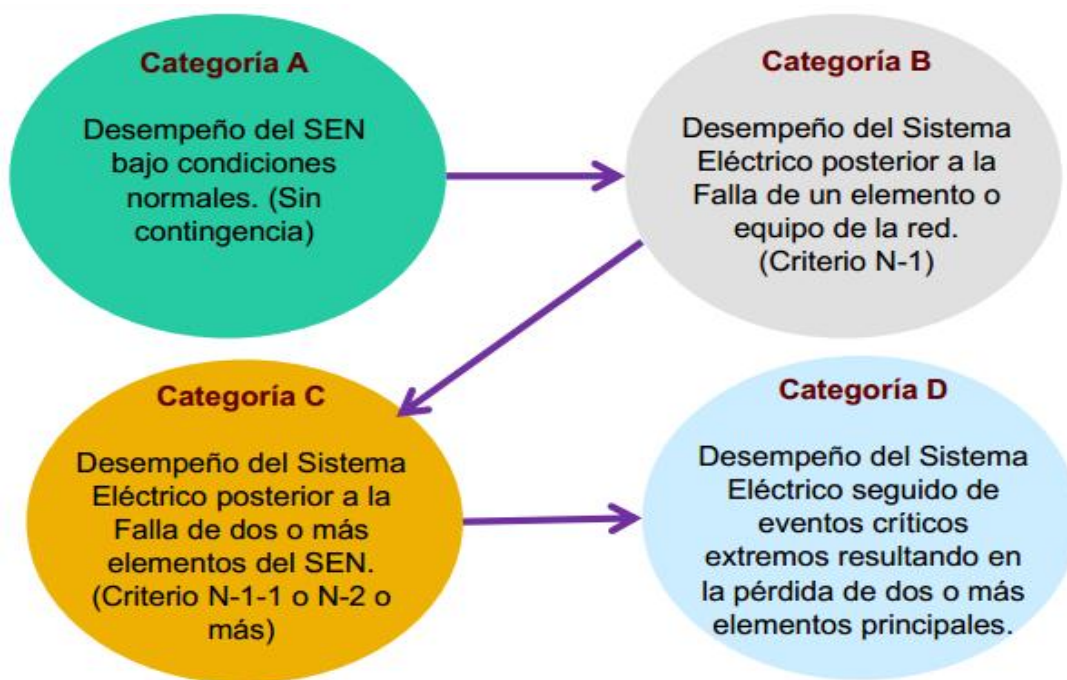


FIGURA 17 CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES OPERATIVAS DEL SEP

Las restricciones operativas de generación, transmisión, transformación y diseño están asociadas con limitación de estabilidad transitoria (angular), estabilidad de voltaje y estabilidad de largo plazo, como consecuencia de dichas restricciones, se puede identificar cuatro estados de operación en el SEN; normal, alerta, emergencia y restaurativo.

En cuanto el estado operativo Normal todas las variables del SEN (tensiones, ángulos, frecuencia, et.) se encuentran dentro de los límites operativos y se cuenta con suficiente capacidad de transmisión y transformación para mantener la seguridad del SEN ante una contingencia sencilla más severa que se puede presentar.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En este estado la frecuencia se debe mantener dentro de la banda de calidad definida entre 59.8 y 60 HZ. **[10]**

Para el estado operativo de Alerta todas las variables del SEN aún se encuentran dentro de sus límites operativos, sin embargo, en caso de presentarse una contingencia del SEN, puede seguir siendo estable sin la acción de esquema de control suplementarios, o bien se puede conducir al Estado Operativo de Emergencia.

En el estado de Emergencia, la ocurrencia de una contingencia sencilla más severa conduciría al SEN a una condición de inestabilidad y la operación en este estado requiere de la ejecución de acciones remediales. **[10]**

En el estado Operativo Restaurativo, las islas eléctricas que permanezcan activas, suministrarán una parte de la demanda total con el equipo operando dentro de sus límites de diseño. En este estado, todos los esfuerzos de control deben estar enfocados a integrar nuevamente el SEN y suministrar la demanda total en el menor tiempo posible.

3.4 COSTO- BENEFICIO

La aplicación de la metodología de análisis costo-beneficio, permite evaluar económicamente proyectos de infraestructura de transmisión de manera individual o por grupos de proyectos. Como resultado de la evaluación, se dispondrá de información fundamentada para la toma de decisiones sobre los proyectos de la red nacional de transmisión y que formaran parte del PRODESEN.

Un proyecto se define como el conjunto más pequeño de activos que agregan capacidad o mejoran la seguridad, confiabilidad y flexibilidad a la infraestructura de transmisión, el cual se puede utilizar para transmitir energía eléctrica. **[10]**

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) debe ser operado de manera tal que se minimice la probabilidad de que, ante la ocurrencia de la Contingencia sencilla más severa, existan problemas de estabilidad angular, estabilidad de voltaje, estabilidad de frecuencia, u operación del equipo fuera de sus límites de diseño, que ocasionen la pérdida en cascada de elementos y con ello colapso de una parte del sistema o la formación descontrolada de islas eléctricas. Es decir, que el SEN sea estable en la condición operativa posterior a cualquier Contingencia. **[10]**



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 4



CAPÍTULO 4

4.1 CLASIFICACIÓN DE ESTABILIDAD EN EL SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

Los sistemas eléctricos ofrecen distintas características que, a su vez dependen de factores muy diversos como su extensión, la orografía del terreno. Sin embargo, todos ellos tienen algunas características similares. Por ejemplo, todos los sistemas eléctricos están compuestos por sistemas trifásicos de corriente alterna que operan a tensión aproximadamente constantes, usan mayoritariamente generadores síncronos para producir energía eléctrica. Transportan la energía eléctrica a través de grandes distancias, además, todos ellos tratan de alcanzar los siguientes objetivos: **[14]**

- Equilibrar constantemente la producción y la demanda de potencia eléctrica
- Reducir los costos económicos y el impacto ambiental
- Proporcionar energía con una buena calidad, medida a través de tres parámetros:
 - Frecuencia constante
 - Tensión constante
 - Continuidad del suministro.

Los sistemas eléctricos de potencia son estables cuando las variables eléctricas se encuentran dentro de un rango establecido en el transcurso del tiempo, también si al presentar una contingencia el sistema es capaz de volver a un estado de equilibrio que garantice su continuidad; lo anterior implica que todas las máquinas permanezcan en sincronismo una con otras. De forma general, la estabilidad de un SEP se puede clasificar de acuerdo a lo siguiente: **[13]**

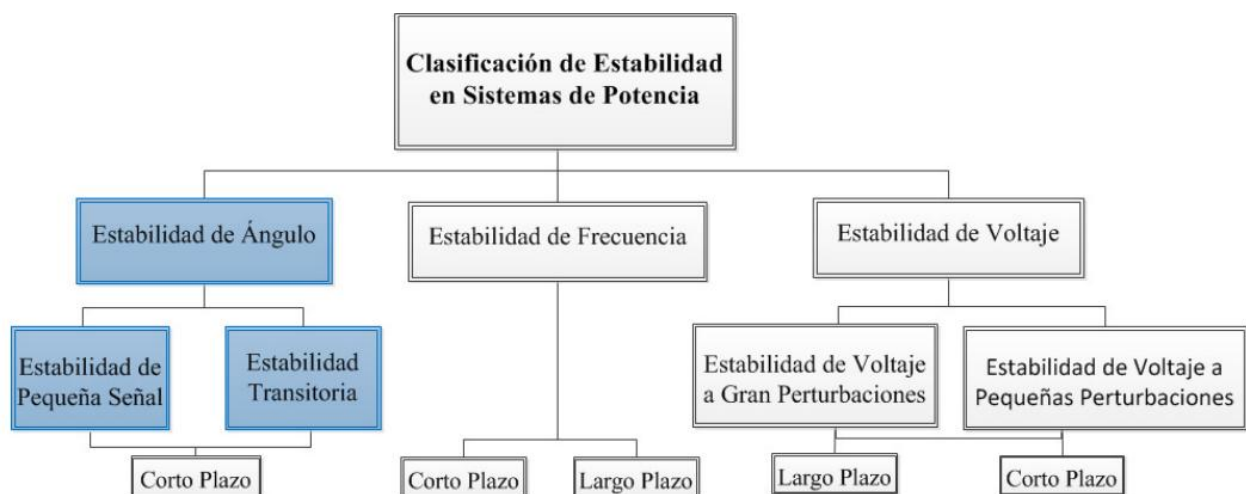


FIGURA 18 CLASIFICACIÓN DE ESTABILIDAD EN UN SEP



Donde la estabilidad de ángulo relaciona el sincronismo en las maquinas, la estabilidad de tensión, el colapso de voltaje y la estabilidad de frecuencia, las variaciones en magnitud y forma de onda de esta. [13]

4.2 ESTABILIDAD ANGULAR

La estabilidad angular está relacionada con el comportamiento de los ángulos de los rotores ante una perturbación sea de gran o pequeña magnitud. Durante la perturbación, el ángulo de rotor del generador comienza a oscilar si la falla no es tan severa el sistema llega a estabilizarse hasta que el ángulo del rotor regrese a su estado original o un nuevo estado estable, mientras que, si la falla es demasiado grande el ángulo del rotor oscila sin amortiguación, lo que conlleva a la inestabilidad del sistema. [16]

Esta a su vez se clasifica en dos categorías: en primer lugar, **la estabilidad transitoria** que involucra perturbación transitoria severas del sistema como falla en líneas, salidas de circuitos, las cuales se analizan durante un tiempo amplio, es decir, desde los tres segundos hasta los diez o veinte segundos, dependiendo de las condiciones iniciales del sistema. [13]

En segundo lugar, **la estabilidad de pequeña señal**, la cual involucra pequeñas variaciones de carga y de generación en el sistema, estas perturbaciones son lo suficientemente pequeñas como para linealizar las ecuaciones del sistema y poder analizar la respuesta de este ante pequeños fallos. [13]

4.3 ESTABILIDAD DE FRECUENCIA

La frecuencia de un sistema eléctrico está estrechamente relacionado con el equilibrio entre generación y carga. En régimen permanente, todos los generadores síncronos de una red eléctrica funcionan en sincronismo, es decir, la frecuencia de giro de cualquier de ellos multiplicada por el número de pares de polos es precisamente la frecuencia eléctrica del sistema. Mientras persiste el régimen permanente, el par acelerante aplicado por cada turbina sobre cada generados síncrono es igual, descontando las perdidas, el par electromagnético que tiende a frenar la máquina. Si en un momento dado aumenta la carga, es decir la potencia eléctrica demandada en el sistema, entonces aumenta el par electromagnético en los generadores, estos comienzan a frenarse y la frecuencia eléctrica disminuye progresivamente. [14]

4.4 ESTABILIDAD DE VOLTAJE

La estabilidad de voltaje es la habilidad que tiene el sistema de potencia de mantener los voltajes de todos los nodos dentro de rangos seguros de operación, después de la ocurrencia de una perturbación manteniendo el balance de la potencia reactiva. [15]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Esta a su vez se puede clasificar en dos categorías las cuales son;

Estabilidad de voltaje debido a grandes disturbios: Se refiere a la capacidad que tiene el sistema de mantener los voltajes dentro de rangos seguros de operación después de la ocurrencia de un gran disturbio tal como fallas en el sistema, pérdida de generación o contingencias en líneas.

La estabilidad de voltaje debido a pequeños disturbios: comprende que la capacidad que tiene el sistema de mantener los voltajes dentro de rangos seguros de operación después de la ocurrencia de un pequeño disturbio tales como cambios incrementales de carga del sistema. **[15]**

En cuanto al control de tensión es necesario en la red por varias razones:

Las tensiones en los nodos deben permanecer dentro de los límites aceptables. Tanto los equipos de las instalaciones eléctricas como los de los consumidores están diseñados para trabajar en un rango determinado de tensión, por lo que la operación de los mismos fuera de su rango puede afectar su funcionamiento o estropearlos.

Un buen nivel de tensión mejora la estabilidad del sistema

El flujo de reactiva provoca pérdidas en las líneas por efecto Joule, y un control adecuado ayuda a reducir estas pérdidas. **[14]**



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 5



CAPÍTULO 5

MARCO METODOLOGICO

5.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Para la obtención de los resultados, se quiere en primera instancia, la recopilación de datos, como lo es la actualización de cargas por parte de los Distribuidores, algún dato de límites operativos de las líneas de distribución y al igual que los datos de líneas de transmisión por parte de los Transportistas, no olvidando el análisis e interpretación de los datos que nos ayudara a obtener lo deseado en esta tesis.

Para la realización de este proyecto tiene como soporte la información disponible de datos técnicos de la ZOTVER, a su vez estos datos son la base para realizar estudios de flujos de potencia en estado estable, ante todo esto se utilizará la herramienta de un software llamado PSS/E.

El software PSS/E (Power System Simulator for Engineering) está formado por un conjunto de módulos para la simulación de sistemas eléctricos en condiciones de régimen permanente y régimen dinámico. Así, permite realizar flujo de cargas, análisis de contingencias, despacho económico, flujo óptimo de cargas, análisis de faltas, reducción de redes, estudio de estabilidad dinámica, estudios de líneas de red. **[17]**

Una característica de PSS/E es su capacidad para manejar sistemas con un gran número de elementos. A modo ejemplo, las actividades de flujo de cargas pueden manejar casos con hasta 150,000 buses, 300,000 cargas, 26,840 buses de generación, 33,050 generadores, 300,000 líneas y 60, 0000 transformadores. **[17]**

Este software permite al usuario adoptar la configuración más adecuada a sus necesidades, adquiriendo los módulos que precie (flujos de cargas, simulación dinámica, análisis de cortocircuito, cálculo de parámetros y propiedades de líneas, análisis dinámico de pequeñas perturbaciones. También dispone de un conjunto de programas auxiliares que permiten la conversión de ficheros desde versiones anteriores del programa y desde otro tipo de formatos (como el utilizado por IEEE), como la obtención de curvas características de un motor de inducción. **[17]**

5.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Al iniciar una sesión con PSS/E, la ventana principal que se ofrece al usuario tiene un aspecto similar al de otros programas basado en Windows, con una barra de menús y conjunto de barras de herramientas en la parte superior.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

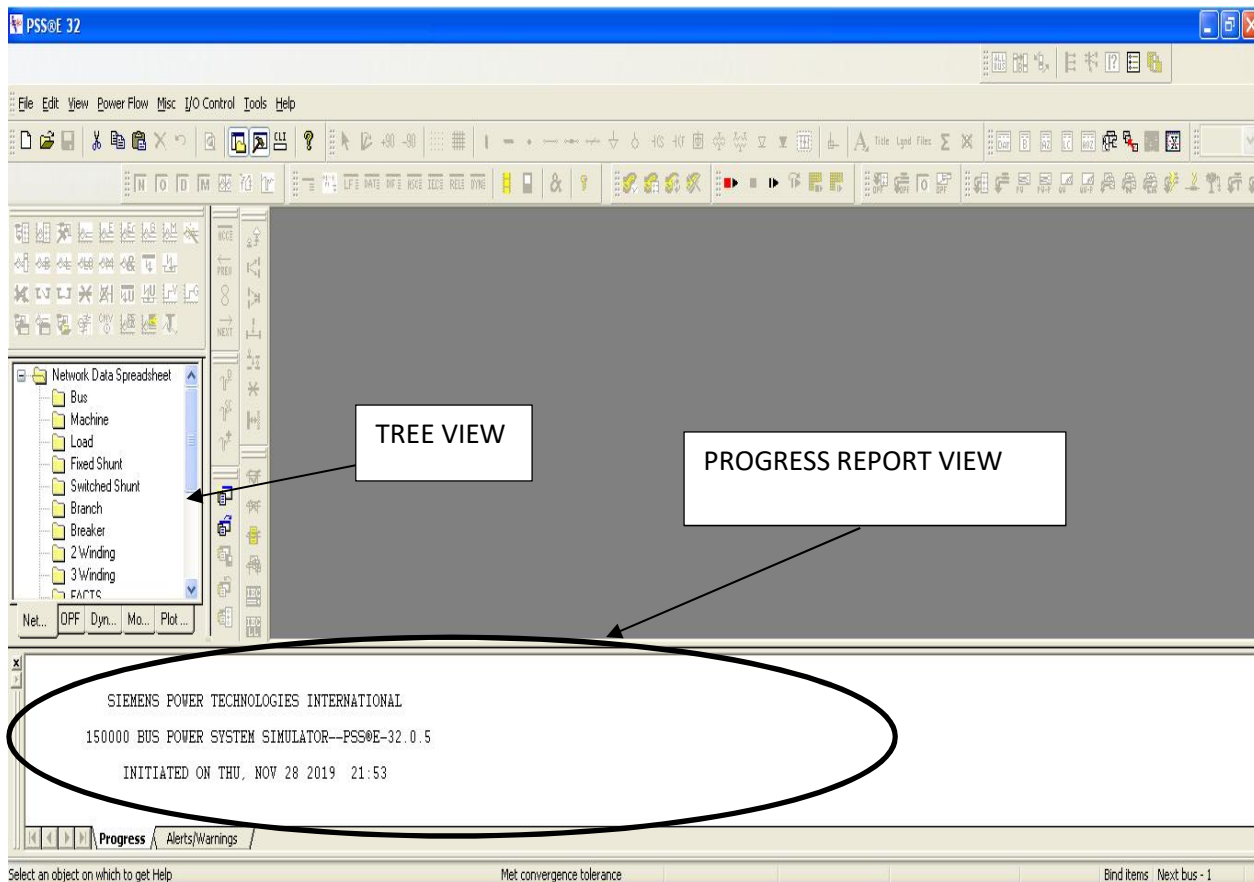


FIGURA 19 ENTORNO DE TRABAJO PSSE

En las carpetas del Tree View no hay ninguna información hasta que se cree un nuevo caso de estudio o se abra un caso de estudio existente. En la ventana Progress/ Alerts/Warnings se reflejan todas las acciones hechas en esa sesión, las alertas y advertencias se muestran con texto rojo y en esta misma ventana se muestra también los reportes producidos después de realizar un estudio.

Con la barra de menús se puede acceder o ejecutar las actividades que se pueden desarrollar en el programa a continuación de manera breve se describirán las funciones de los submenús. [17]

File: Desde este submenú se puede acceder a estudios existentes, crear un nuevo caso de estudio, guardar e imprimir.

Edit: En este submenú se encuentran las opciones de cortar, pegar, copiar, bloqueo de columnas y la búsqueda de datos.

View: Muestra y oculta ventanas para la conveniencia del usuario.



Diagram: Opciones para la administración de la ventana gráfica.

Power Flow: Solución de flujos de potencia, selección del proceso iterativo y sus propiedades, obtención de informes de acuerdo a barras y áreas

Fault: Calculo de corto circuito según la norma ANSI.

OPF: Funciones para realizar el despacho óptimo de carga.

Trans Access: Opciones para la realización del estudio de reparto de costes de transporte.

Subsystem: crea un subsistema en un caso de estudio para analizar por separado una parte determinada.

Misc.: Modificación de las variables determinadas por defecto (frecuencia base, unidades, utilización de coordenadas rectangulares o polares en análisis de corto circuito, iniciación del reloj)

I/O control: Selección del medio de salida de los informes y de la información sobre la operación del programa, grabación y ejecución de programas, selección de introducción manual de actividades.

- **Tools:** Manipulación de la barra de herramientas.
- **Window:** Opciones para determinar la posición de las ventanas en el área de trabajo.
- **Help:** Brinda información para un correcto uso del programa.

5.3 ELABORACIÓN DE UN CASO NUEVO

Para generar un caso nuevo en PSS/E, se puede trabajar de dos:

- Introducir los datos del sistema directamente en la ventana de datos del caso
- Construir el caso trabajando en la ventana gráfica.

Para el caso de crear un caso nuevo desde la ventana de datos del caso, en primer lugar, se selecciona en la barra de menús la opción File New, con lo que aparece el cuadro de dialogo New, donde se puede elegir entre generar un caso nuevo, crear un diagrama unifilar o al mismo tiempo crear el caso con el diagrama unifilar. [17]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

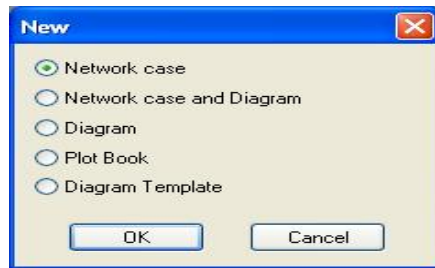


FIGURA 20 CUADRO DE DIALOGO FILE NEW

Al seleccionar la opción Network Case aparece un cuadro de dialogo que permite seleccionar la potencia, la frecuencia, unidades.

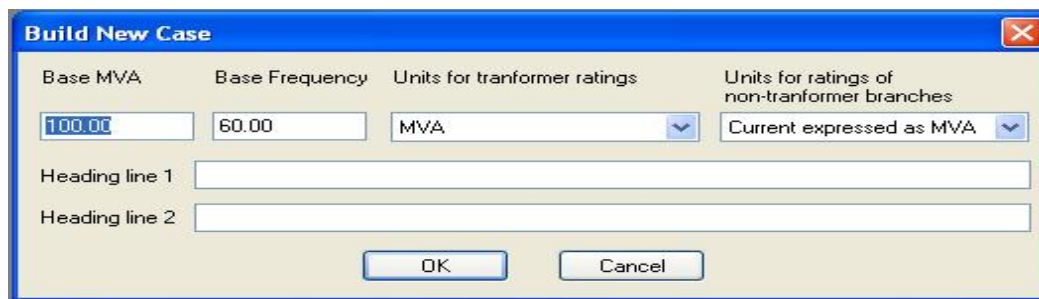


FIGURA 21 INTRODUCCIÓN DE UN NUEVO CASO

Después de haber proporcionado un nombre a nuestro sistema de potencia y darle clic en la opción ok, se muestra la ventana de datos del caso donde se pueden introducir de forma directa los datos de los buses, líneas, cargas, generadores y demás elementos que pueden conformar nuestro sistema.

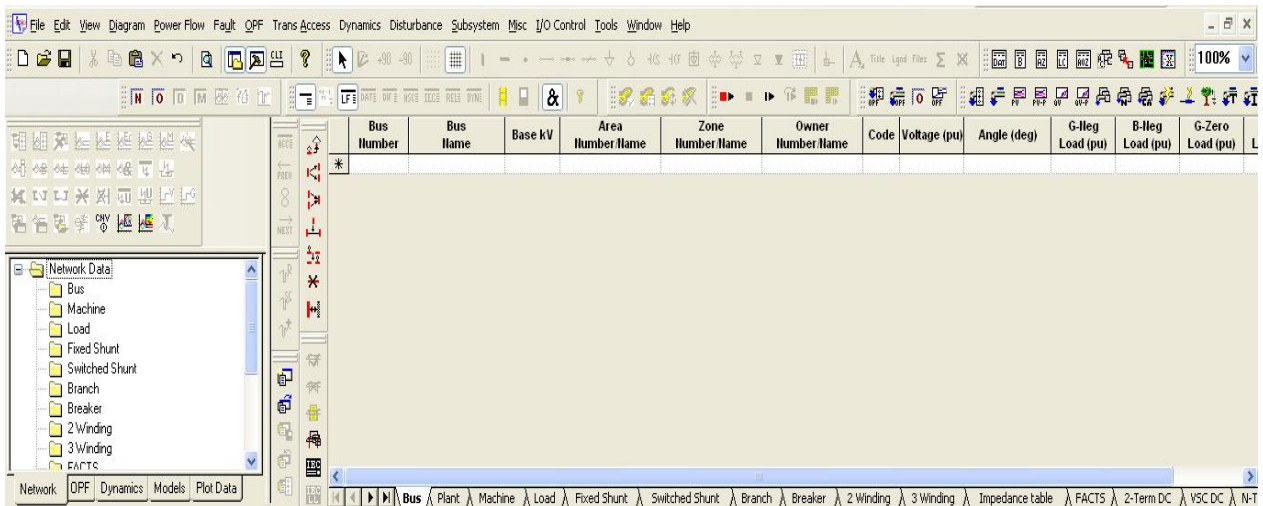


FIGURA 22 ACCESO DE TABLA DE DATOS DEL SEP



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Posteriormente aparece una tabla de datos de los elementos del sistema donde se pueden introducir de forma directa los datos como por ejemplo de los buses, líneas, cargas, generadores y en la parte inferior (Bus, Plant, Machine, Load, Fixed Shut, Branch, Area, Zone). [17]

En el caso de los datos del apartado de Bus, lo primordial es la introducción de número de bus, el nombre, base KV, Área, Code, voltaje (PU).

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)
1	BUS 1	230.0	1	1	1	3	1.0600	0.00
2	BUS 2	230.0	1	1	1	2	1.0450	0.00
3	BUS 3	230.0	1	1	1	2	1.0100	0.00
4	BUS 4	230.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
5	BUS 5	230.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
6	BUS 6	115.0	1	1	1	2	1.0700	0.00
7	BUS 7	1.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
8	BUS 8	13.2	1	1	1	2	1.0900	0.00
9	BUS 9	115.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
10	BUS 10	115.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
11	BUS 11	115.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
12	BUS 12	115.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
▶	13 BUS 13	115.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
	14 BUS 14	115.0	1	1	1	1	1.0000	0.00
*								

Bus Plant Machine Load Fixed Shunt Switched Shunt Branch Breaker 2 Winding 3 Winding Impedance table

FIGURA 23 PESTAÑA DE DATOS DE BUS

La información sobre la generación del sistema se introduce a través de las pestañas Machines y Plants. A través de la pestaña Machines se debe introducir las características técnicas de los generadores, como lo son número de bus, nombre del bus, código identificativo, PGen(MW) y QGen la cual es la potencia activa y reactiva generada. [17]

La castilla QGen se actualiza al resolver el flujo de cargas y en el caso del bus slack también se actualiza la casilla Pgen.

En cuanto al apartado de Pmin(MW), Pmax(MW) son límites de generación de potencia activa, por defecto se asignan -9999 y 9999.

Para Qmin(MVAR), Qmax(MVAR) son límites de generación de potencia reactiva, por defecto se asignan -9999 y 9999.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Bus Number	Bus Name	Id	Code	VSched (pu)	Remote Bus	In Service	Pgen (MW)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Ogen (Mvar)	Omax (Mvar)	Omin (Mvar)	Mbase (MVA)
1	BUS 1	230.00	1	3	1.0600	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	0.0000	100.0000	-20.0000	100.00
2	BUS 2	230.00	1	2	1.0450	0	40.0000	9999.0000	-9999.0000	0.0000	50.0000	-40.0000	100.00
3	BUS 3	230.00	1	2	1.0100	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	0.0000	40.0000	0.0000	100.00
6	BUS 6	115.00	1	2	1.0700	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	0.0000	24.0000	-6.0000	100.00
8	BUS 8	13.200	1	2	1.0900	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	0.0000	24.0000	-6.0000	100.00
*													

FIGURA 24 PESTAÑA DE DATOS DE LOS GENERADORES

A través de la pestaña Plants se recoge la consigna de regulación de tensión de cada grupo generador. Y los datos más importantes que podemos considerar deben de ser nombre del Bus, numero de Bus, Pgen la cual es la potencia generada, el VSched (pu) la cual es la consigna de regulación de tensión, voltaje (pu) es la tensión en el bus, en valores por pu, y por ultimo RMPCT es el porcentaje de potencia reactiva necesaria para mantener la tensión de consigna en el bus controlado por el generador. Por defecto se asigna el valor 100.

Bus Number	Bus Name	Code	PGen	QGen	QMax	QMin	VSched (pu)	
1	BUS 1	230.00	3	0.0	0.0	100.0	-20.0	1.0600
2	BUS 2	230.00	2	40.0	0.0	50.0	-40.0	1.0450
3	BUS 3	230.00	2	0.0	0.0	40.0	0.0	1.0100
6	BUS 6	115.00	2	0.0	0.0	24.0	-6.0	1.0700
8	BUS 8	13.200	2	0.0	0.0	24.0	-6.0	1.0900
*								

FIGURA 25 PESTAÑA DE DATOS DE LAS CENTRALES



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En la introducción de datos de las líneas, los datos requeridos para la modelación de estas son a través de la pestaña Branches

En este apartado podemos encontrar casillas como From Bus, To Bus, Bus Name, To Bus Name, que nos ayudaran a conocer los buses entre los que estas conectada la línea y nombres de los mismos.

El Id es el código identificativo del circuito, su valor es 1, excepto en el caso de líneas con multiples circuito.

Lines R(pu), Line X (pu), Charging (pu), los cuales son parámetros del modelo π de la línea, en valores por unidad.

Status, es el estado de la línea (en servicio o fuera de servicio).

Rate A (MVA), Rate B (MVA), Rate C (MVA), límites de capacidad de la línea.

Line G From (pu), Line G to (pu), Line B From (pu), Line B to (pu). Dispositivos de compensación conectados en los extremos de la línea y maniobrados de forma conjunta con la línea. [17]

From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Id	Line R (pu)	Line X (pu)	Charging (pu)	In Service	Metered	Rate A (l as MVA)	Rate B (l as MVA)	Rate C (l as MVA)	Line G From (pu)	
1	BUS 1	230.00	2 BUS 2	230.00	2	0.038760	0.118340	0.026400	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	67.5	74.3	81.0	0.00000
1	BUS 1	230.00	5 BUS 5	230.00	1	0.054030	0.223040	0.049200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	150.0	160.0	170.0	0.00000
2	BUS 2	230.00	3 BUS 3	230.00	1	0.046990	0.197970	0.043800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	90.0	99.0	108.0	0.00000
2	BUS 2	230.00	4 BUS 4	230.00	1	0.058110	0.176320	0.034000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	67.5	74.3	81.0	0.00000
2	BUS 2	230.00	5 BUS 5	230.00	1	0.056950	0.173880	0.034600	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	67.5	74.3	81.0	0.00000
3	BUS 3	230.00	4 BUS 4	230.00	1	0.067010	0.171030	0.012800	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	37.5	41.3	45.0	0.00000
4	BUS 4	230.00	5 BUS 5	230.00	1	0.013350	0.042110	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	90.0	99.0	108.0	0.00000
6	BUS 6	115.00	11 BUS 11	115.00	1	0.094980	0.198900	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	75.0	82.5	90.0	0.00000
6	BUS 6	115.00	12 BUS 12	115.00	1	0.122910	0.255810	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	90.0	99.0	108.0	0.00000
6	BUS 6	115.00	13 BUS 13	115.00	1	0.066150	0.130270	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	90.0	99.0	108.0	0.00000
9	BUS 9	115.00	10 BUS 10	115.00	1	0.031810	0.084500	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	45.0	49.5	54.0	0.00000
9	BUS 9	115.00	14 BUS 14	115.00	1	0.127110	0.270380	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	90.0	99.0	108.0	0.00000
10	BUS 10	115.00	11 BUS 11	115.00	1	0.082050	0.192070	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	60.0	66.0	72.0	0.00000
12	BUS 12	115.00	13 BUS 13	115.00	1	0.220920	0.199880	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	90.0	99.0	108.0	0.00000
13	BUS 13	115.00	14 BUS 14	115.00	1	0.170930	0.348020	0.000000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	52.5	57.8	63.0	0.00000

FIGURA 26 PESTAÑA DE DATOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Para los datos de transformadores, el PSS/E permite modelizar por separado los transformadores de dos y tres devanados.

En el caso de los transformadores de dos devanados, la información a introducir a través de la pestaña 2 winding, es la siguiente:

From Bus, to Bus, From Bus Name, To Bus Name, Name: el cual son los buses entre los que se conecta el transformador y el nombre de los mismo y el transformador.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Id: Código identificativo del transformador, en caso de conectar varios transformadores en paralelo.

Status: estado del transformador (en servicio o fuera de servicio).

Metered: Bus al que se asigna las pérdidas del transformador.

Winding 1 Side: Ubicación del devanado primario del transformador (en el bus from o en el bus to).

R (pu or Watts), X(pu): valores de resistencia y reactancia del transformador.

Rate A (MVA), Rate B (MVA), Rate C (MVA): límites de carga del transformador en MVA.

Wind 1Nominal KV: es la tensión nominal del devanado primario. Por defecto se asigna el valor 0 para indicar que se toman los valores de tensión base de los bus en tres los que se conecta el transformador.

Tap Positons: Numero de tomas del cambiador. Por defecto se asigna el valor 33.

En cuanto a los transformadores de tres devanados pueden modelizarse en PSS/E, de la forma como indica en la descripción a través de la pestaña 2 winding o introduciendo los valores de las impedancias obtenidas en los ensayos de cortocircuitos del transformador a través de la pestaña 3 winding. **[17]**

	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Id	Name	In Service	Metered	Winding 1 Side	Controlled Bus	Controlled Side	Tap Positions	Control Mode	Auto Adjust
	BUS 4 230.00	7	BUS 7 1.0000	1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	<input checked="" type="checkbox"/> From	0	<input type="checkbox"/> Tapped	33 None		<input checked="" type="checkbox"/> Yes
	BUS 4 230.00	9	BUS 9 115.00	1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	<input checked="" type="checkbox"/> From	0	<input type="checkbox"/> Tapped	33 None		<input checked="" type="checkbox"/> Yes
	BUS 5 230.00	6	BUS 6 115.00	1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	<input checked="" type="checkbox"/> From	0	<input type="checkbox"/> Tapped	33 None		<input checked="" type="checkbox"/> Yes
	BUS 7 1.0000	8	BUS 8 13.200	1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	<input checked="" type="checkbox"/> From	0	<input type="checkbox"/> Tapped	33 None		<input checked="" type="checkbox"/> Yes
	BUS 7 1.0000	9	BUS 9 115.00	1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	<input checked="" type="checkbox"/> From	0	<input type="checkbox"/> Tapped	33 None		<input checked="" type="checkbox"/> Yes
*						<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> From	<input checked="" type="checkbox"/> From		<input type="checkbox"/> Tapped			<input type="checkbox"/> Yes

FIGURA 27 PESTAÑA PRIMERA PARTE DE DATOS DE TRANSFORMADORES



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Specified X (pu)	Rate A (MVA)	Rate B (MVA)	Rate C (MVA)	Magnetizing G (pu or watts)	Magnetizing B (pu)	Owner 1	Fraction 1	Owner 2	Fraction 2	Owner 3	Fraction 3	Owner 4	Fraction 4	Winding MVA
0.209120	0.0	0.0	0.0	0.00000	0.00000	1	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	100.0000
0.556180	75.0	82.5	90.0	0.00000	0.00000	1	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	100.0000
0.252020	75.0	82.5	90.0	0.00000	0.00000	1	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	100.0000
0.176150	75.0	82.5	90.0	0.00000	0.00000	1	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	100.0000
0.110010	30.0	32.5	35.0	0.00000	0.00000	1	1.000	0	1.000	0	1.000	0	1.000	100.0000
*														

FIGURA 28 PESTAÑA SEGUNDA PARTE DE DATOS DE TRANSFORMADORES

La información sobre la demanda del caso se introduce a través de la pestaña Loads siendo necesario especificar:

Bus number, Bus Name, Area Number, Area Name, Zone Number, Zone Name, Owner Number, Owner Name: los cuales son datos edificativos de la carga

Id: Código identificativo de la carga conectada en el bus. DE interés en el caso de que se quiera diferenciar entre varias cargas conectadas en un mismo bus.

Status: Estado de conexión o desconexión de la carga. La demanda se puede modelizar atendiendo a tres criterios distintos, que son:

Potencia constante: Pload (MW), Qload (MVAR).

Corriente constante: Iload (MW), IQload (MVAR).

Admitancia Constante: Yload (MW), YQload (MVAR). [17]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Bus Number	Bus Name	Id	Area Number / Name	Zone Number / Name	Owner Number / Name	In Service	Scalable	Pload (MW)	Qload (Mvar)	IPload (MW)	IQload (Mvar)	YPload (MW)	YQload (Mvar)
2	BUS 2	230.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	21.7000	12.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	BUS 3	230.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	94.2000	19.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	BUS 4	230.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	47.8000	-3.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	BUS 5	230.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	7.6000	1.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	BUS 6	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	11.2000	7.5000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	BUS 9	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	29.5000	16.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	BUS 10	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	9.0000	5.8000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	BUS 11	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	3.5000	1.8000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	BUS 12	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	6.1000	1.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	BUS 13	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	13.5000	5.8000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	BUS 14	115.00	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	14.9000	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
*						<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Yes						

FIGURA 29 PESTAÑA DE DATOS DE CARGA

5.4 GUARDAR UN CASO NUEVO

Una vez introducidos todos los parámetros, para conservar el caso daremos click en el a la opción File- Save. Al seleccionar esta opción aparece el cuadro de dialogo. Cual muestra diferentes pestañas que nos permite guardar en disco o muestras por pantalla los datos de las impedancias de los generadores (Machine Impedance Data), las transacciones que tiene lugar en el sistema (Transaction Data), las impedancias de secuencia (sequence Data).

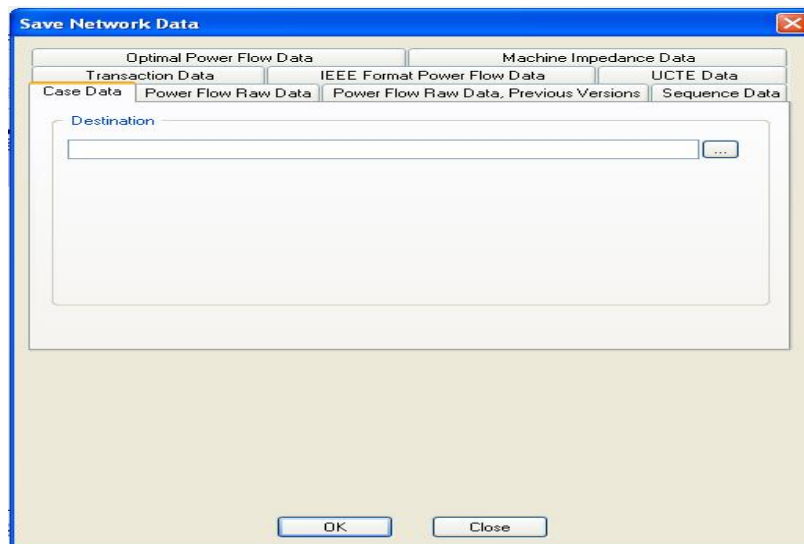


FIGURA 30 GUARDAR NUEVO CASO



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En PSS/E la información del caso se puede guardar en dos tipos de ficheros.

Mediante la pestaña Case Data el caso se guarda en un fichero binario con la extensión “.sav” lo que permite ahorrar espacio de disco.

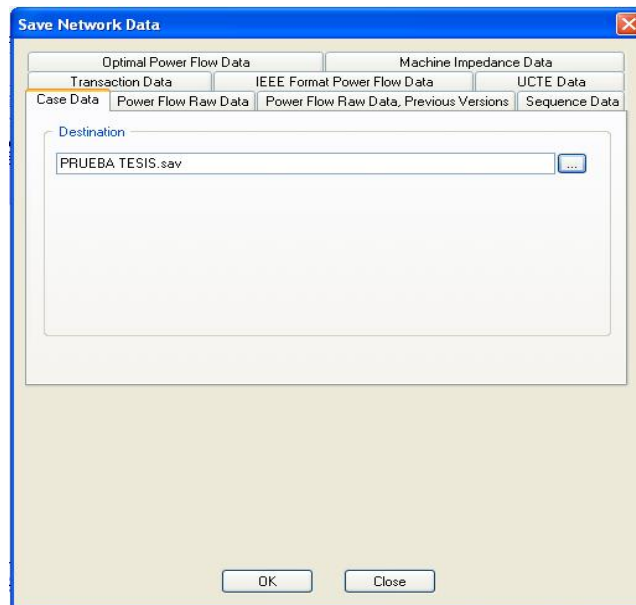


FIGURA 31 GUARDAR NUEVO CASO PUNTO SAV

Por su parte, la pestaña Power Flow Raw Data guarda el caso en un fichero utilizando cualquier editor de textos, así como crearlo de forma externa al PSS/E.

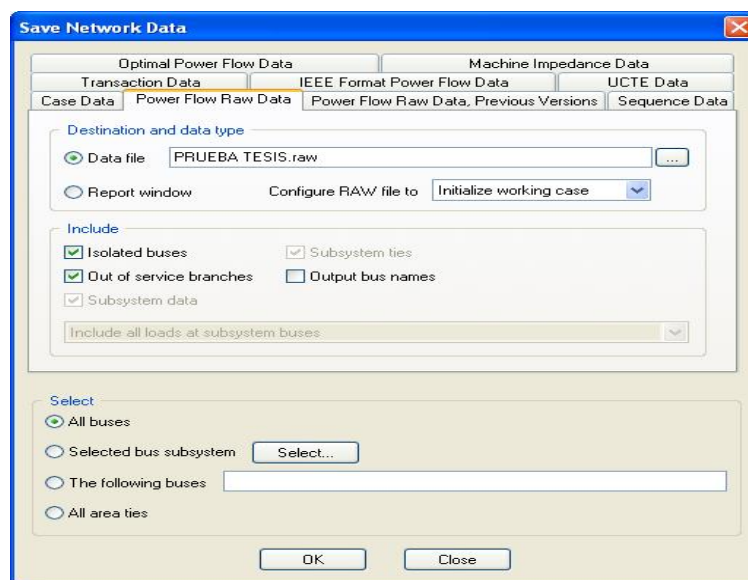


FIGURA 32 GUARDAR NUEVO CASO PUNTO RAW



5.5 DIBUJAR DIAGRAMA DE UN CASO NUEVO

Para lo expuesto anterior para crear un caso nuevo es generar, en primer lugar, su diagrama unifilar trabajando en la ventana gráfica, e introducir a continuación los valores de los parámetros de los diferentes elementos en la ventana de datos del caso.

Para ello se genera una ventana de datos en blanco. Se abre una ventana grafica nueva, seleccionando para ello de nuevo la opción File- New en la barra menú, con lo que se muestra otra vez el cuadro de dialogo, que ahora se elegí la opción Diagram.

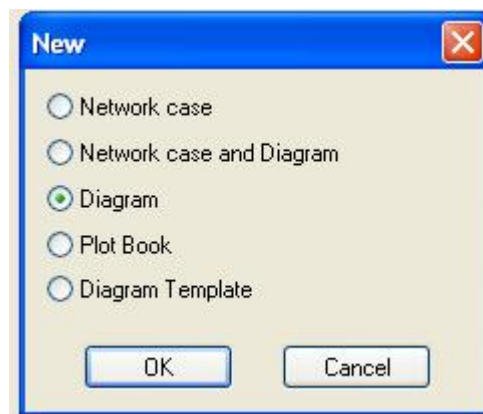


FIGURA 33 OPCIÓN DE NUEVO DIAGRAMA

A continuación, aparece una ventana en blanco, en la cual podemos empezar con nuestro diseño de algún diagrama



FIGURA 34 ÁREA DE TRABAJO PARA UN DIAGRAMA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Posteriormente en el apartado de árbol de carpetas (tree view) seleccionaremos Network Data, este a su vez observaremos que desplegara otras subcarpetas, las cuales ya tendrán la información de nuestro sistema cargado previamente en el apartado de Network case.

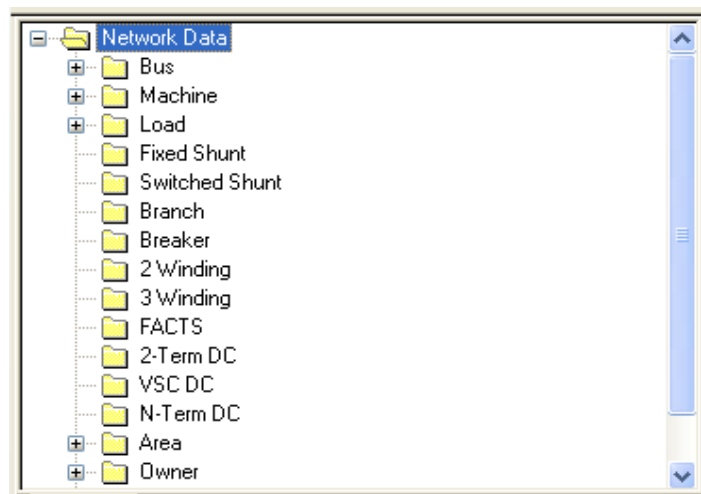


FIGURA 35 TREE VIEW CON DATOS CARGADOS

Seleccionaremos la subcarpeta Bus, encontraremos los datos que introducimos para nuestro sistema, y oprimiendo clic secundario en el cuadro que contiene una x, seleccionaremos la opción Draw. Al momento de hacerlo podemos observar que se estará dibujando los diferentes elementos que están conectados a ese bus y así lo realizaremos sucesivamente hasta terminar nuestro diagrama.

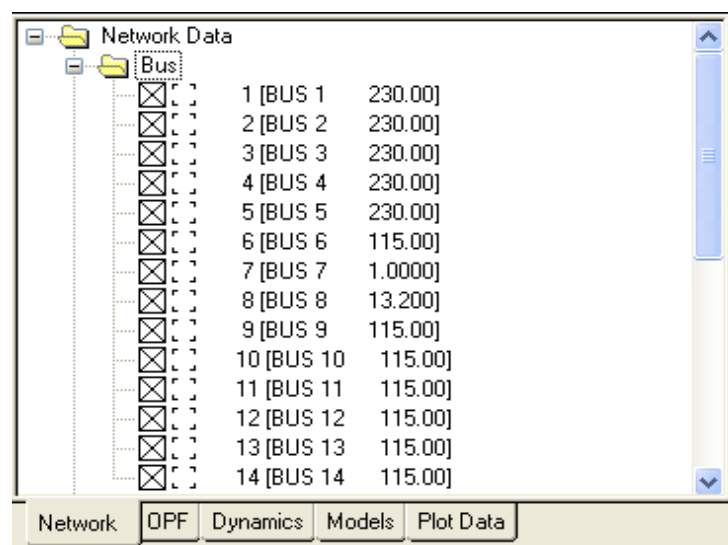


FIGURA 36 DATOS CARGADOS DEL SEP



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

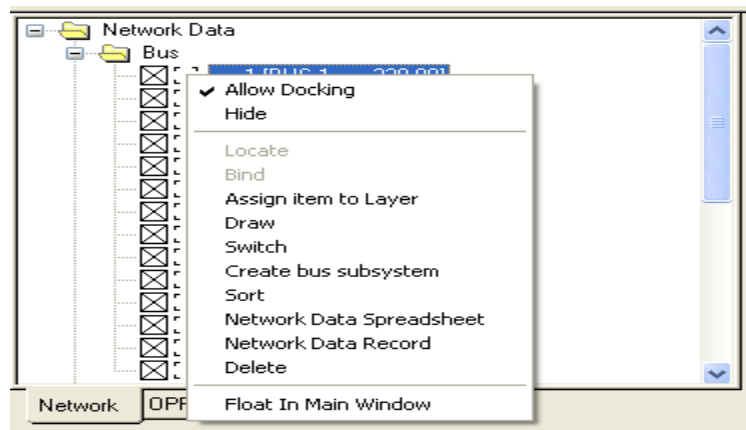


FIGURA 37 INICIANDO EL DIBUJO CON LA OPCION DRAW

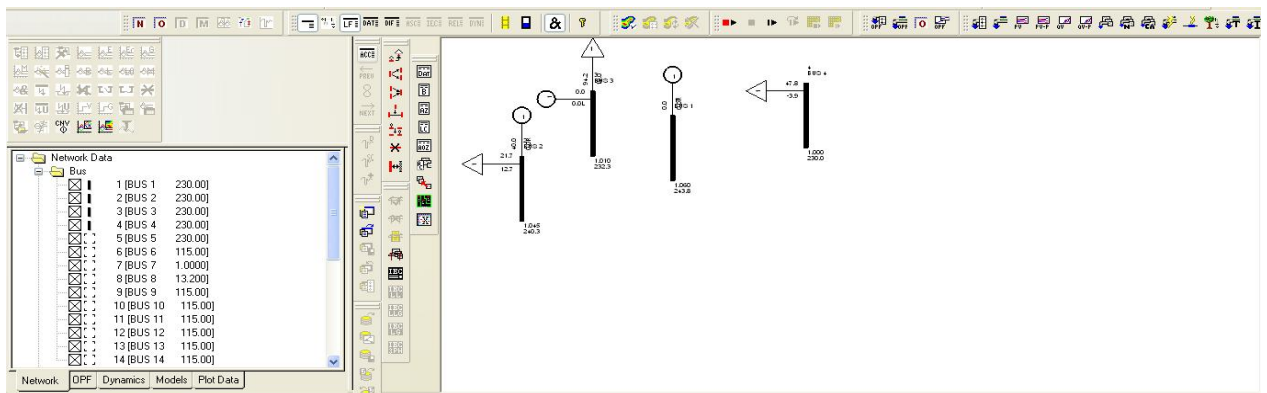


FIGURA 38 INSERCIÓN DE BUSES EN EL DIAGRAMA UNIFILAR

Una vez finalizado nuestro diagrama unifilar, debemos guardar y la terminación con la que se guarda los diagramas en el PSSE es .sld.

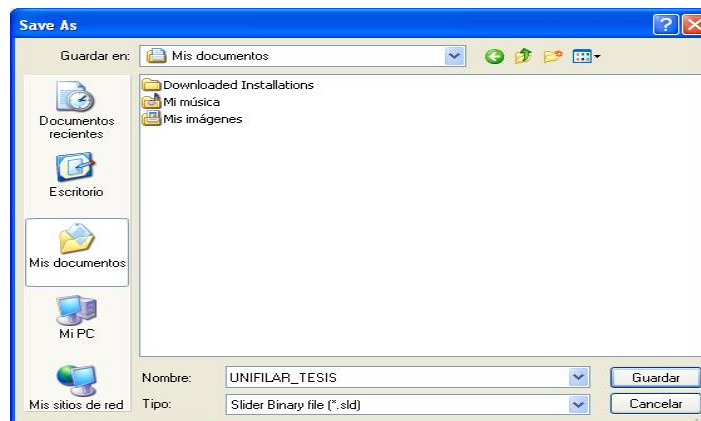


FIGURA 39 GUARDAR DIAGRAMA PUNTO SLD



5.6 PI PROCESSBOOK

Otra herramienta esencial en este proyecto es la de PI ProcessBook la cual es una herramienta que recopila, almacena y administra datos de una planta o proceso y en lo particular se puede obtener datos necesarios que son de gran ayuda estadísticamente, como lo es algún comportamiento específico de control de voltaje, el aumento y disminución de alguna planta generadora tanto en potencia activa como reactiva, la observación de distribución de potencia activa y reactiva de algunas líneas de transmisión, con ello podemos ir obteniendo los datos históricos de fechas en particular, así armar nuestra base de datos requerida para nuestros casos bases y poder ejecutar la herramienta de manera adecuada. [5]

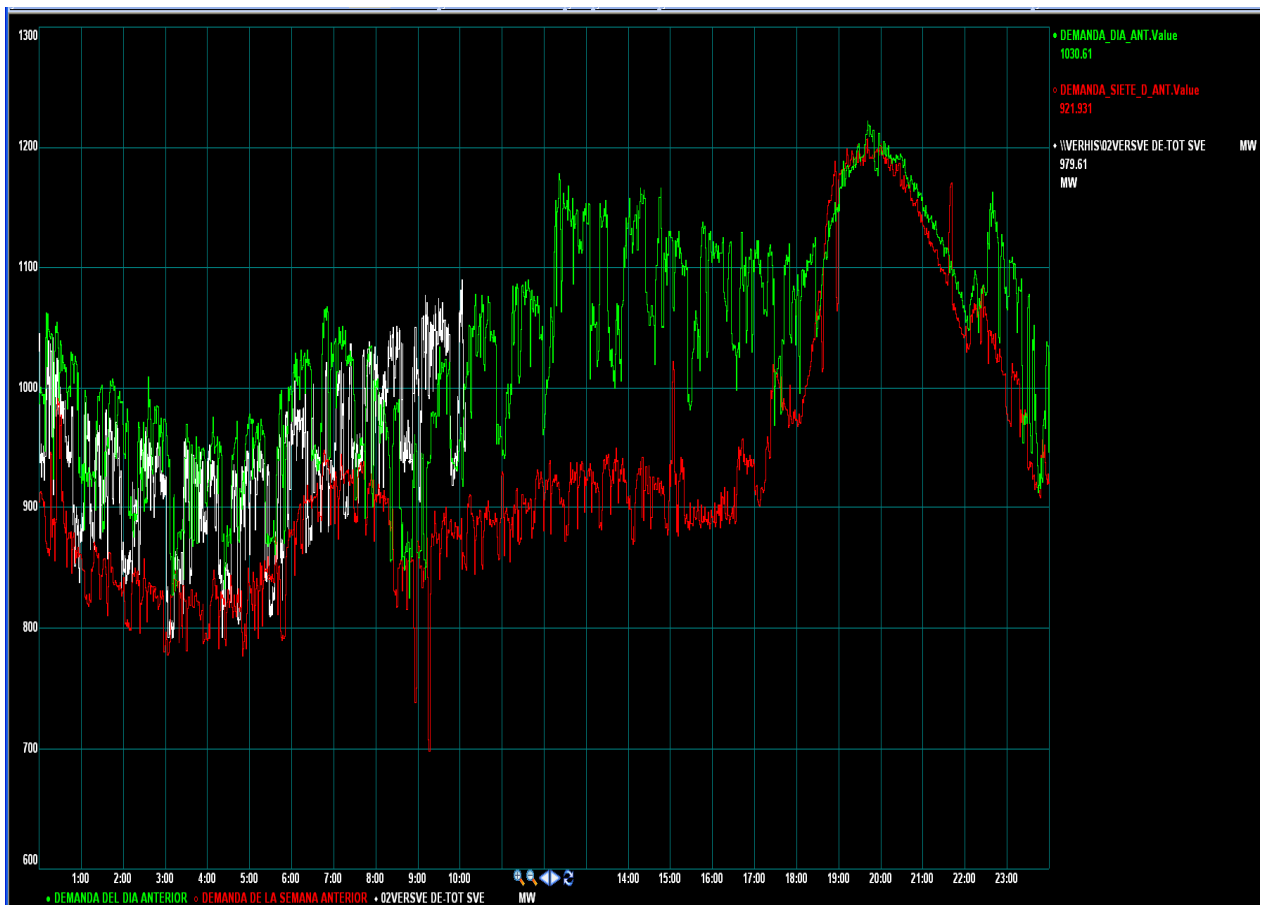


FIGURA 40 HISTÓRICO DE LA DEMANDA DE LA ZOTVER 2019

En esta herramienta podemos conocer la demanda en cuanto a carga de zonas en específico, con ello podemos hacer un análisis rápido pero efectivo del pronóstico de la demanda esperada, ya sea del día siguiente, o dentro de una semana o algún mes en particular. [5]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

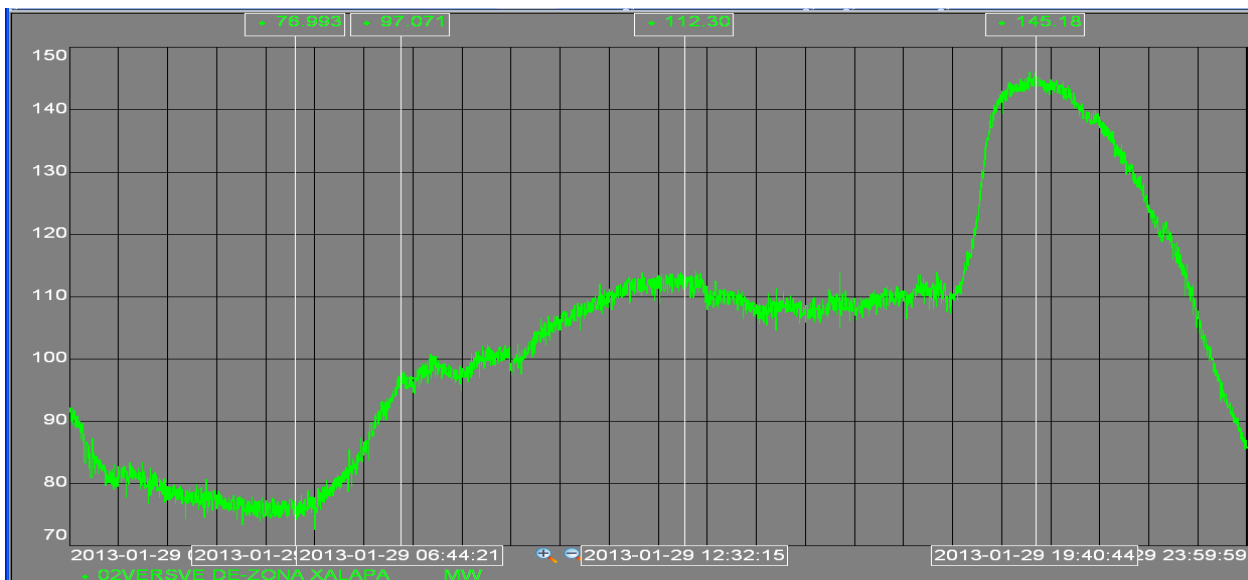


FIGURA 41 HISTÓRICO DE LA DEMANDA DE LA ZONA XALAPA 2013

5.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto que se realiza es de tipo de investigación experimental, debido a que se tiene control sobre las variables independientes (voltaje, potencia activa, potencia reactiva), y con ello analizar el comportamiento de la red de 400 KV, 230 KV, y 115 KV en el ámbito de la ZOTVER con la ayuda de la herramienta PSS/E.

5.8 ALCANCE

De acuerdo al tipo de proyecto que se desarrolla para el análisis el comportamiento de la red considerando nueva topología y con el conjunto de herramientas con las que se cuenta, el alcance de esta tesis es del tipo:

Evaluativa: Se evalúa la situación del SEP de 400 KV, 230 KV, 115 KV en ámbito de la ZOTVER con la nueva topología de la red, se realizan análisis de contingencias y el análisis del impacto hacia la red de libranzas de equipo primario.

Explicativa: Debido a que, con la obtención de resultados, contamos con un sustento para definir qué tan factible es la nueva topología de red.

Experimentaba: Observar si se tiene deficiencias de capacidad en cuanto a equipo primario para la funcionalidad de este proyecto y también el analizar la topología de la red del equipo con el que se cuenta.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 6



CAPÍTULO 6

6.1 FLUJOS DE POTENCIA

El propósito general de un sistema eléctrico de potencia es satisfacer continuamente la potencia eléctrica requerida por los consumidores. Existen varias restricciones que deben cumplirse al proporcionar el servicio: los niveles de voltaje y frecuencia que deben mantener dentro de cierta tolerancia; las líneas de transmisión no deben operar cerca de sus límites térmicos y de estabilidad; además, el suministro debe ser confiable y con el menor costo.

Para analizar el comportamiento del sistema eléctrico de potencia bajo las consideraciones anteriores, se plantea lo siguiente: dadas las inyecciones de potencia activa y reactiva en los nodos de la red, encontrar las condiciones eléctricas en estado estable del sistema eléctrico de potencia. Este análisis es conocido como Análisis de Flujo de Potencia. [20]

El estudio de flujos de potencia es de gran importancia en la planeación y diseño de la expansión futura de los sistemas eléctricos de potencia, así como también en la determinación de las mejores condiciones de operación de los sistemas existentes.

Este análisis es definido como el proceso de solución que proporciona la magnitud y ángulo de fase del voltaje en estado estacionario, en cada uno de los nodos que conforman la red eléctrica, así como los flujos de potencia activa y reactiva inyectados en terminales de cada elemento de transmisión, con el conocimiento de potencia generada y consumida. [20]

Para resolver el problema de flujo de potencia se pueden usar impedancias o admitancias. Las admitancias constituyen una matriz [Ybarra] cuya estructura está definida por las siguientes características:

- Debe ser una matriz cuadrada en orden $n \times n$. En donde n es el número de barras existentes en el sistema.
- Los elementos de esta matriz son números complejos.
- Para construir cada uno de los elementos que están localizados en la diagonal principal se debe realizar la suma de las admitancias que convergen en una misma barra.
- Cada elemento ubicado fuera de la diagonal principal, es la representación de la admitancia existente entre las dos barras indicadas por la posición de esa admitancia en la matriz.
- Es una matriz que contiene elementos simétricos, es decir $Y_{ij} = Y_{ji}$.



Las ecuaciones 1.1 y 1.2 constituyen la forma polar de las ecuaciones de flujo de potencia: **[21]**

$$P_i = \sum_{n=1} |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (6.1)$$

$$Q_i = - \sum_{n=1} |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (6.2)$$

Las ecuaciones anteriores brindan valores calculados para la potencia activa P_i y la potencia reactiva Q_i totales que son inyectadas a la red por medio de una barra típica i . Sea P_{gi} la potencia programada que se genera en la barra (i) y P_{di} la potencia programada que demanda la carga en esa barra. Entonces la potencia total programada en una barra está dada por la potencia generada en la barra menos la potencia que demanda la carga tal y como se muestra en la siguiente ecuación.

$$P_{i, prog} = P_{gi} - P_{di} \quad (6.3)$$

La operación anterior se realiza también en la potencia reactiva de la barra y se llega a:

$$Q_{i, prog} = Q_{gi} - Q_{di} \quad (6.4)$$

Se cambia el nombre al valor calculado de P_i por $P_{i, calc}$ y se llega al concepto del error ΔP_i , definido como la diferencia que existe entre el valor programado $P_{i, prog}$ y el valor calculador $P_{i, calc}$. Esto también aplica para la potencia reactiva. Tal como se muestra en las siguientes ecuaciones. **[21]**

$$\Delta P_i = P_{i, prog} - P_{i, calc} = (P_{gi} - P_{di}) - P_{i, calc} \quad (6.5)$$

$$\Delta Q_i = Q_{i, prog} - Q_{i, calc} = (Q_{gi} - Q_{di}) - Q_{i, calc} \quad (6.6)$$

Cuando los valores calculador $P_{i, calc}$ y $Q_{i, calc}$ son iguales a los valores programados $P_{i, prog}$ y $Q_{i, prog}$ se llega a la conclusión que los errores ΔP_i y ΔQ_i son cero en la barra (i) y a consecuencia se obtiene las siguientes ecuaciones de balance de potencia: **[21]**

$$g_i = P_i - P_{i, prog} = P_i - (P_{gi} - P_{di}) = 0 \quad (6.7)$$

$$g_i^* = Q_i - Q_{i, prog} = Q_i - (Q_{gi} - Q_{di}) = 0 \quad (6.8)$$



El problema de flujos de potencia consiste en resolver las ecuaciones 6.1 y 6.2. para encontrar la magnitudes y ángulo de los voltajes de barras que causen el cumplimiento de las ecuaciones en cada barra. [21]

6.2 CLASIFICACIÓN DE NODOS Y VARIABLES

En la teoría de flujos de potencia cada nodo se caracteriza por cuatro variables; potencia activa, potencia reactiva, magnitud y ángulo de fase de los voltajes nodales.

Los nodos se clasifican de acuerdo a las dos de las cuatro variables que son especificadas:

Nodo PQ de carga: En este tipo de nodo no hay generador conectado, por lo tanto, las variables de control P_g y Q_g son cero. Además, las potencias activas y reactivas, P_L y Q_L extraídas por la carga son conocidas de mediciones disponibles. Es este tipo de nodos, la potencia activa y reactiva son especificadas y se resuelve para V y θ . [20]

Nodo PV generador: En este caso, hay un generador conectado al nodo, el cual mantiene la magnitud del voltaje nodal V en un valor constante mediante el ajuste de la corriente de campo del generador, es decir, el generador inyecta o absorbe potencia reactiva según lo requiera. Además, la potencia activa generada P_G se fije en un valor específico, y se resuelve para las otras cantidades θ y Q_G . La operación a voltajes constante es posible siempre y cuando los límites de potencia reactiva del generador no sean violados, es decir $Q_{Gmin} < Q_G < Q_{Gmax}$. [20]

Nodo PQ generador: si en un nodo PV el generador no puede brindar el soporte de potencia reactiva necesario para mantener la magnitud de voltaje en el valor especificado, la potencia reactiva se fija en el límite violado y se libera la magnitud de voltaje. En este caso, se especifica la generación de potencia activa y reactiva, P_G y Q_G , respectivamente y se resuelve para la magnitud de voltaje nodal V y el ángulo de fase θ . [20]

Nodo Slack (compensador): Uno de los nodos generadores del sistema se elige para ser el nodo slack, en el cual se especifica la magnitud del voltaje nodal, V_{slack} , el ángulo de fase, θ_{slack} . Hay un solo nodo slack en el SEP, y su función es proporcionar la potencia suficiente para satisfacer la demanda de potencia del sistema, así como las pérdidas existentes que son desconocidas al inicio del proceso de solución. Debido a esto, generalmente se escoge como nodo slack al generador de mayor capacidad nominal conectado al sistema. El ángulo de fase del voltaje del nodo slack, θ_{slack} , se escoge como la referencia contra la cual serán medidos los demás ángulos de fase nodales, es normal fijar este valor en cero. [20]



6.3 SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DE FLUJOS DE POTENCIA

Desde punto de vista del modelo matemático, la solución del problema de flujos de potencia consiste en resolver un conjunto de ecuaciones algebraicas no lineales que describen el sistema de potencia en condiciones de estado estable. A través de los años se han presentado varias propuestas para la solución de las ecuaciones de flujo de potencia. Las primeras propuestas de solución se basan en métodos numéricos de tipo Gauss- Seidel con factores de aceleración. El atractivo del empleo de estos métodos es su mínimo requerimiento de almacenamiento en memoria, y el hecho de ser fáciles de comprender y codificar en forma de programa de computadora. El inconveniente es que estos algoritmos presentan características de convergencia pobres cuando se aplican a la solución de redes de tamaño real. Para superar dichas limitaciones, se aplicó el método Newton Rapshon a principios de los 70's y desde entonces se ha establecido firmemente en la industria eléctrica. [20]

6.3.1 MÉTODO DE GAUSS-SEIDEL

Las soluciones de los flujos de potencia siguen un proceso iterativo como el método de Gauss- Seidel, que a continuación se observaran:

- 1.- Se debe construir la matriz de admitancias del sistema a estudiar, de acuerdo con las características mencionadas anteriormente.
- 2.- Se procede a identificar los tipos de barra que hay en el sistema
- 3.- Se le asigna el valor $1 \angle 0^\circ$ a los voltajes desconocidos en todas las barras de carga a esto se le llama inicio plano
- 4.- se calculan los nuevos valores de los voltajes en las barras de carga mediante la siguiente ecuación. [19]

$$V_i^{(k)} = \frac{1}{Y_{ij}} \left[\frac{P_{i,\text{prog}} - jQ_{i,\text{prog}}}{V_i^{(k-1)}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \quad (6.9)$$

Después de haber calculado el nuevo valor de voltaje en la barra (i) se usa un proceso de aceleración en donde se selecciona un facto de aceleración en donde se usa la siguiente ecuación:

$$V_{i,ac}^{(k)} = (1 - \alpha)V_{i,ac}^{(k-1)} + \alpha V_{i,ac}^{(k-1)} = V_{i,ac}^{(k-1)} + \alpha(V_{i,ac}^{(k)} - V_{i,ac}^{(k-1)}) \quad (6.10)$$



Regularmente este factor de aceleración en estudio de potencia tiene un valor de $\alpha=1.6$. No es necesario calcular el voltaje en la barra de compensación ya que se conoce su valor.

Para las barras de voltaje controlado el proceso es diferente por que no se conoce la potencia reactiva en ellas así que se necesita hacer una estimación con los voltajes obtenidos en la iteración en curso. La siguiente ecuación permite hacer dicha estimación: **[19]**

$$QQi^{(k)} = -Im\{Vi^{(k-1)*} [\sum_{j=1}^{1-1} YijVj(k) + \sum_{j=1}^N YijVj(k-1)]\} \quad (6.11)$$

Tenemos este valor ahora si se procede a calcular el nuevo del voltaje con la ecuación (6.9). no hay que olvidar que la barra es de voltaje controlado lo que significa que debe de mantenerse la misma magnitud para todas las iteraciones por lo que se debe corregir este valor mediante la ecuación siguiente:

$$V_{4,corr}^{(1)} = |V_4| \frac{V_4^{(1)}}{|V_4^{(1)}|} \quad (6.12)$$

6.3.1 MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON

El problema de flujo de potencia también puede ser resuelto por el método de Newton-Raphson utilizando el siguiente conjunto de ecuaciones no líneas de la potencia activa y reactiva de cada barra. Estas ecuaciones están en términos de voltajes de barra que deben ser expresados en forma polar al igual que la matriz de admitancias. **[19]**

$$Pi = |Vi|^2 Gii + \sum_{n=1, n \neq i}^N |ViVnYin| \cos(\theta in + \delta n - \delta i) \quad (6.13)$$

$$Qi = -|Vi|^2 Bii - \sum_{n=1, n \neq i}^N |ViVnYin| \text{sen}(\theta in + \delta n - \delta i) \quad (6.14)$$

se obtienen las ecuaciones de balance de potencia

$$\Delta P_2 = P_{G2} - P_{LG2} - P_2^{Cal} \quad (6.15)$$

$$\Delta P_3 = P_{G3} - P_{LG3} - P_3^{Cal} \quad (6.16)$$

$$\Delta Q_2 = Q_{G2} - Q_{LG2} - Q_2^{Cal} \quad (6.17)$$



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

$$\Delta Q_3 = Q_{G3} - Q_{LG3} - Q_3^{Cal} \tag{6.18}$$

Estas ecuaciones se derivan con respecto a los ángulos y magnitudes de voltaje para obtener nuevas expresiones que demuestran la relación de la variación de los elementos de las componentes de potencia con la magnitud y ángulo de los voltajes de barra. Dicha s ecuaciones se representan en forma matricial teniendo el siguiente resultado. **[19]**

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial P_2}{\partial |V_4|} \\ \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & J_{11} & \vdots \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial P_4}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial P_4}{\partial |V_4|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_4|} \\ \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & J_{11} & \vdots \\ \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial Q_4}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial Q_4}{\partial |V_4|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta P_2 \\ \frac{\Delta |V_2|}{V_2} \\ \vdots \\ \Delta |V_4| \\ \frac{\Delta |V_4|}{V_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_4 \\ \Delta P_4 \\ \vdots \\ \Delta Q_4 \end{bmatrix} \tag{6.19}$$

Jacobiana

Correcciones

Errores

Para formar este sistema matricial se toma como barra de carga a la barra de voltaje controlado más adelante se tomarán consideración sobre esta barra. Una vez determinados los elementos que deben ser calculados en la matriz se procede a omitir una fila y una columna de la forma polar de la jacobiana, esto se debe a que en las barras de voltaje controlado la corrección $\Delta|V_n| / |V_n| = 0$ y tampoco se puede especificar el ΔQ_n por qué no se especifica Q_n . Así la matriz Jacobiana queda de la forma cuadrada teniendo $(2N-Ng-2)$ columnas y $(2N-Ng-2)$ filas. **[21]**

Las siguientes formulas se usan para la construcción de la matriz Jacobiana.

Elementos de la submatriz J11 que están fuera de la diagonal.

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} = -|V_i V_j V_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_2 - \delta - i) \tag{6.20}$$



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Para los elementos de la diagonal principal:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i|^2 |B_{ij}| \quad (6.21)$$

Elementos de la submatriz J21 que están fuera de la diagonal principal:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j V_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (6.22)$$

Elementos pertenecientes a la diagonal principal:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = P_i - |V_i|^2 |G_{ij}| \quad (6.23)$$

Elementos de la submatriz J12 ubicados fuera de la diagonal principal:

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} \quad (6.24)$$

Elementos dentro de la diagonal principal:

$$|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 |G_{ij}| = P_i + |V_i|^2 |G_{ii}| \quad (6.25)$$

Elementos de la submatriz J22 fuera de la diagonal principal:

$$|V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_j| |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \quad (6.26)$$

Elementos dentro de la diagonal principal: **[19]**

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 |B_{ij}| = Q_i - |V_i|^2 |B_{ii}| \quad (6.27)$$

Procedemos a resolver para el vector de correcciones de las variables de estado: **[22]**



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta_2^{(0)} \\ \Delta\theta_3^{(0)} \\ \frac{\Delta V_2^{(0)}}{V_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial P_2}{\partial |V_4|} \\ \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & J_{11} & \vdots \\ \frac{\partial P_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_4}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial P_4}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial P_4}{\partial |V_4|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_4|} \\ \vdots & J_{11} & \vdots & \vdots & J_{11} & \vdots \\ \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_4}{\partial \delta_4} & |V_2| \frac{\partial Q_4}{\partial |V_2|} & \dots & |V_4| \frac{\partial Q_4}{\partial |V_4|} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \end{bmatrix} \quad (6.28)$$

Se actualizan magnitudes y ángulos de voltaje con la corrección calculada: **[22]**

$$\theta_2^{(1)} = \theta_2^{(0)} + \Delta\theta_2^{(0)} \quad (6.29)$$

$$\theta_3^{(1)} = \theta_3^{(0)} + \Delta\theta_3^{(0)} \quad (6.30)$$

$$V_2^{(1)} = V_2^{(0)} + V_2 \frac{\Delta V_2^{(0)}}{V_2} \quad (6.31)$$

El criterio de convergencia se cumplirá con el valor de las ecuaciones de desbalance de potencia tanto reactiva como reactiva son menos que la tolerancia especificada. **[22]**



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

CAPÍTULO 7



CAPÍTULO 7

7.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PRUEBA DE 14 BARRAS DE IEEE

En este capítulo analizaremos en primera instancia flujos de potencia con ayuda de un caso base del sistema de prueba de 14 barras de IEEE, el cual nos ayudara a entender mejor el manejo de la herramienta del PSS/E y hacer de manera adecuada el estudio de flujos de potencia con el análisis de contingencias, para que posteriormente se tenga el dominio de esta, y podemos llevar acabo las pruebas que se requieren para caso base real del sistema eléctrico de potencia en el ámbito de la ZOTVER.

El sistema de prueba de 14 barras de IEEE está conformado por catorce barras, cinco generadores, cinco transformadores, dieciséis líneas y once cargas. Los niveles de tensión en las barras y los límites de potencia en las líneas y los transformadores fueron tomados del libro Simulación de Sistemas eléctricos. [21]

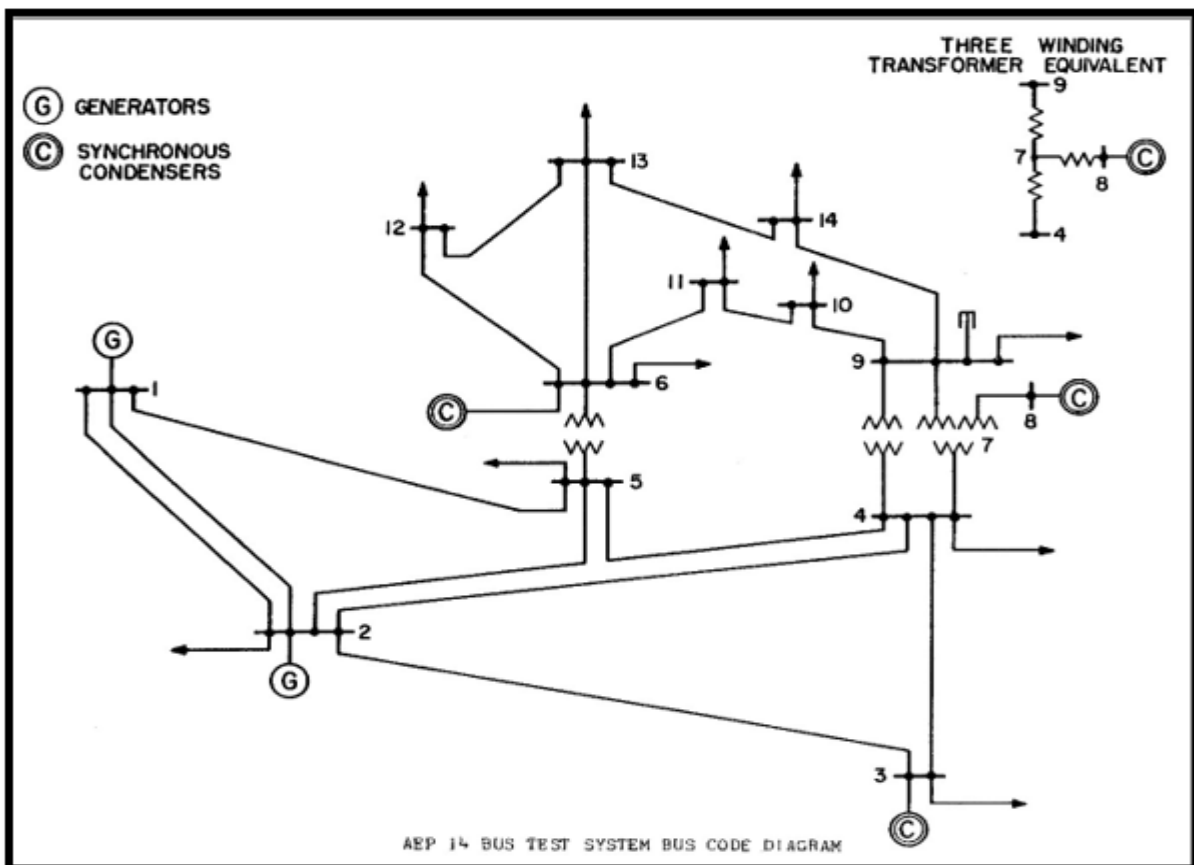


FIGURA 42 DIAGRAMA 14 NODOS IEEE



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

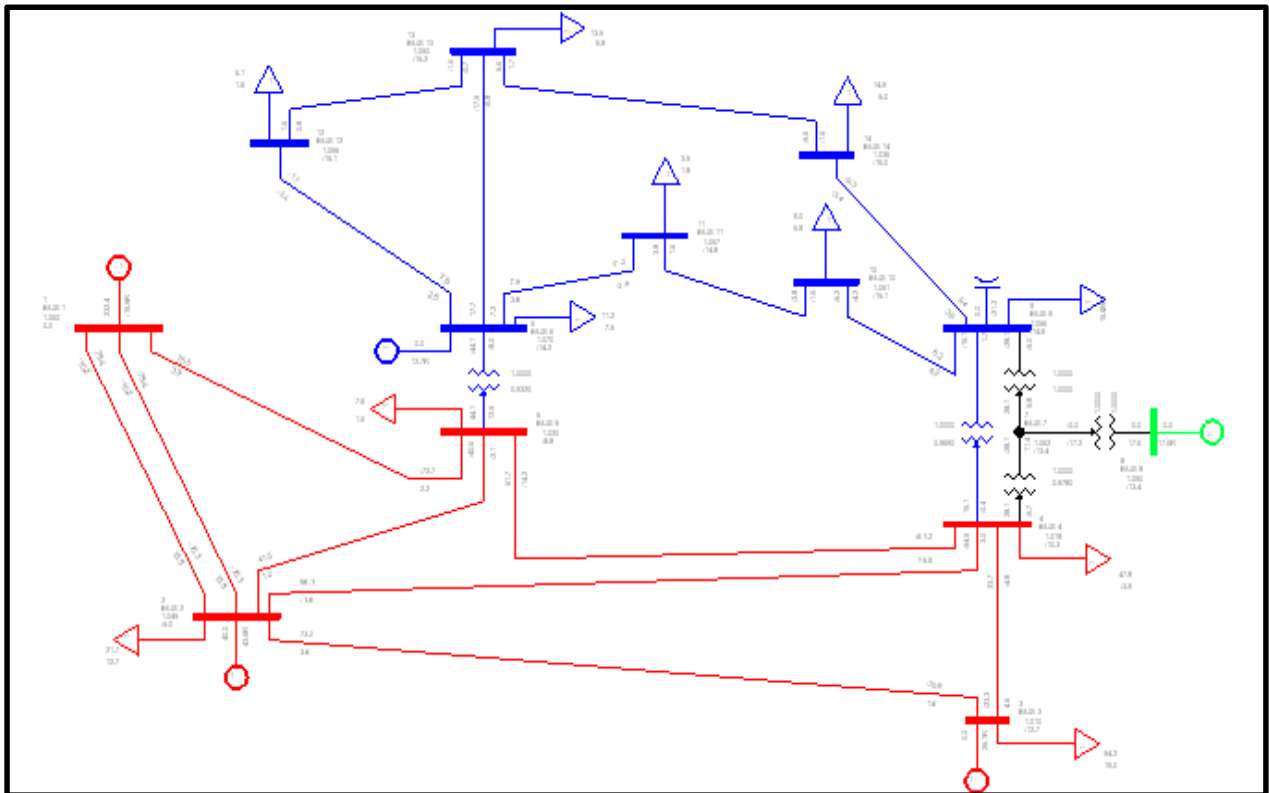


FIGURA 43 DIAGRAMA EN PSSE 14 NODOS

Num de carga	Barra	P(MW)	Q(MVAr)
1	2	21.7	12.7
2	3	94.2	19.0
3	4	47.8	-3.9
4	5	7.6	1.6
5	6	11.2	7.5
6	9	29.5	16.6
7	10	9.0	5.8
8	11	3.5	1.8
9	12	6.1	1.6
10	13	13.5	5.8
11	14	14.9	5.0

Tabla 7.1 DATOS DE LA CARGA CONECTADA EN EL SISTEMA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Barra	Nombre de bus	Base kV	Código	Voltaje (pu)	Clasificación
1	BUS 1	230	3	1.060<0°	Compensación
2	BUS 2	230	2	1.045	PV
3	BUS 3	230	2	1.010	PV
4	BUS 4	230	1	-	PQ
5	BUS 5	230	1	-	PQ
6	BUS 6	115	2	1.070	PV
7	BUS 7	1	1	-	PQ
8	BUS 8	13.2	2	1.090	PV
9	BUS 9	115	1	-	PQ
10	BUS 10	115	1	-	PQ
11	BUS 11	115	1	-	PQ
12	BUS 12	115	1	-	PQ
13	BUS 13	115	1	-	PQ
14	BUS 14	115	1	-	PQ

Tabla 7.2 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE BUS

Tipo de barra	Código
Barra de compensación	3
Barra de voltaje controlado (PV)	2
Barra de carga (PQ)	1

Tabla 7.3 CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE BUS SEGUN CÓDIGO



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Bus	S nom. (MVA)	V nom. (KV)	P G. (MW)	P máx. (MW)	P min. (MW)	Q máx. (MVAR)	Q min. (MVAR)
1	100	230	---	9999	-9999	100	-20
2	100	230	40	9999	-9999	50	-40
3	100	230	0	9999	-9999	40	0
6	100	115	0	9999	-9999	24	-6
8	100	13.2	0	9999	-9999	24	-6

Tabla 7.4 DATOS DE LOS GENERADORES

Num deTR	De bus	A bus	R(pu)	X(pu)	Límite A	Límite B	Límite C	tap
1	4	7	0	0.20912	75	82.5	90	0.978
2	4	9	0	0.55618	75	82.5	90	0,969
3	5	6	0	0.25202	75	82.5	90	0.932
4	7	8	0	0.17615	30	32.5	35	1
5	7	9	0	0.11001	75	82.5	90	1

Tabla 7.5 DATOS DE LOS TRANSFORMADORES

Bus	Q(MVAr)
9	19

Tabla 7.6 BANCO DE CAPACITORES



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

# de línea	De barra	A barra	Line R (pu)	Line X (pu)	B(pu)	Límite A (MVA)	Límite B (MVA)	Límite C (MVA)
1	1	2	0.03876	0.11834	0.0264	67.5	74.3	81
2	1	2	0.03876	0.11834	0.0264	67.5	74.3	81
3	1	5	0.05403	0.22304	0.0492	150	160	170
4	2	3	0.04699	0.19797	0.0438	90	99	108
5	2	4	0.05811	0.17632	0.0340	67.5	74.3	81
6	2	5	0.05695	0.17388	0.0346	67.5	74.3	81
7	3	4	0.06701	0.17103	0.0128	37.5	41.3	45
8	4	5	0.01335	0.04211	0	90	99	108
9	6	11	0.09498	0.1989	0	75	82.5	90
10	6	12	0.12291	0.25581	0	90	99	108
11	6	13	0.06615	0.13027	0	90	99	108
12	9	10	0.03181	0.0845	0	45	49.5	54
13	9	14	0.12711	0.27038	0	90	99	108
14	10	11	0.08205	0.19207	0	60	66	72
15	12	13	0.22092	0.19988	0	90	99	108
16	13	14	0.17093	0.34802	0	52.5	57.8	63

Tabla 7.7 DATOS DE LAS LÍNEAS

7.2 REALIZACION DE FLUJOS DE POTENCIA

Se realiza la solución de flujos de potencia por medio del método Newton- Raphson en la herramienta PSS/E y podemos observar que fueron 3 iteraciones en el proceso, con ello observamos que no hay ningún warning, también nos dice que el nodo slack se encuentra en el nodo 1.

```

REACHED TOLERANCE IN 3 ITERATIONS

LARGEST MISMATCH: 0.00 MW 0.00 MVAR 0.00 MVA AT BUS 6 [BUS 6 115.00]
SYSTEM TOTAL ABSOLUTE MISMATCH: 0.00 MVA

SWING BUS SUMMARY:
BUS# X-- NAME --X BASKV PGEN PMAX PMIN QGEN QMAX QMIN
1 BUS 1 230.00 232.4 9999.0 -9999.0 -16.5 100.0 -20.0
  
```

FIGURA 44 NUMERO DE ITERACIÓN QUE REALIZA PSSE PARA LA SOLUCIÓN

En cuanto al sistema eléctrico podemos visualizar que hay sobrecarga en líneas con la tensión de 230 KV, del nodo 1 al nodo 2 y nuestro nodo slack está aportando lo que necesita el SEP.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

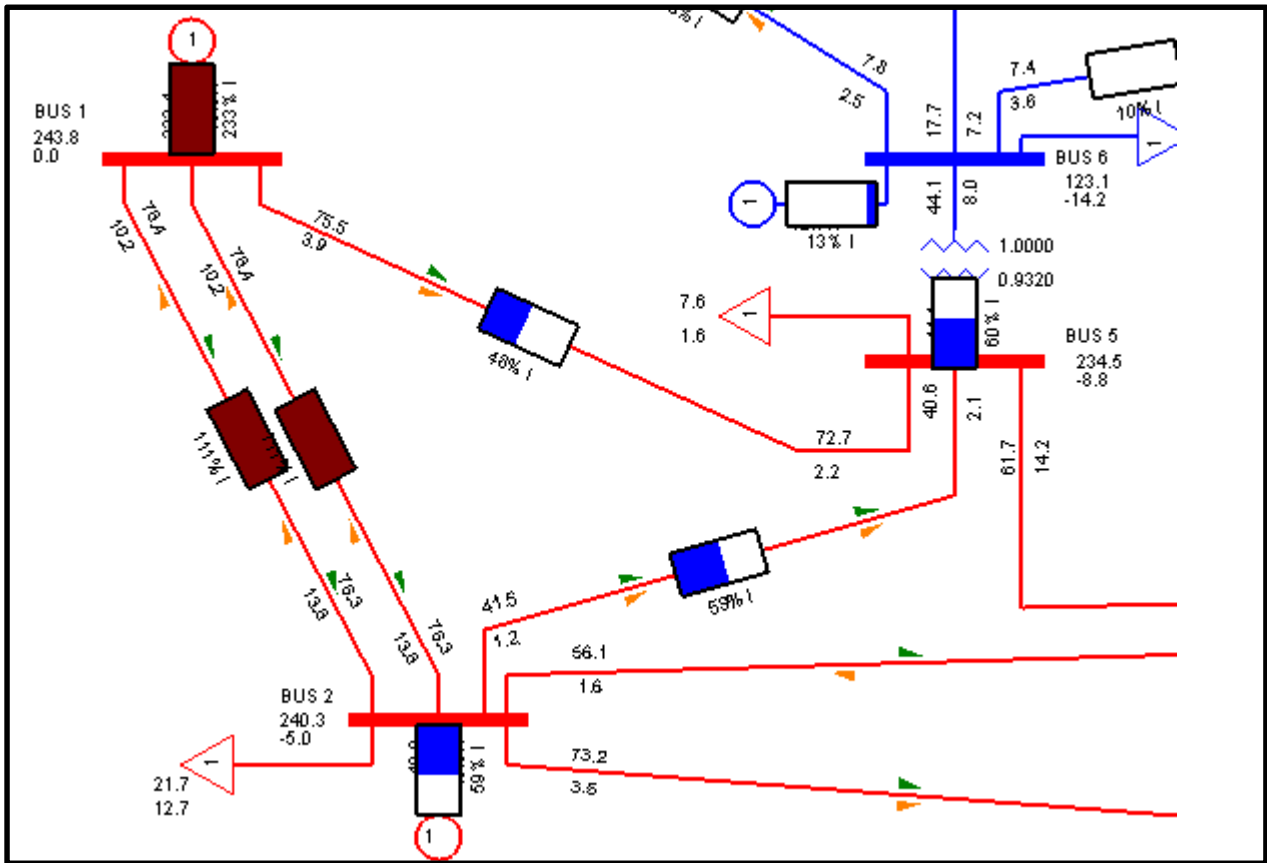


FIGURA 45 SOBRECARGA EN LA RED DE 230 KV

SUBSYSTEM LOADING CHECK (INCLUDED: LINES; BREAKERS AND SWITCHES; TRANSFORMERS) (EXCLUDED: NONE)
 LOADINGS ABOVE 100.0 % OF RATING (MVA FOR TRANSFORMERS, CURRENT FOR NON-TRANSFORMER BRANCHES):

X-----	FROM BUS	-----X	X-----	TO BUS	-----X											
BUS#	X--	NAME	--X	BASKV	AREA	BUS#	X--	NAME	--X	BASKV	AREA	CKT	LOADING	RATING SET A	RATING SET B	RATING SET C
														RATING PERCENT	RATING PERCENT	RATING PERCENT
1	BUS 1	230.00*	1	2	BUS 2	230.00	1	1	74.6	67.5	110.6	74.3	100.4	81.0	92.1	
1	BUS 1	230.00*	1	2	BUS 2	230.00	1	2	74.6	67.5	110.6	74.3	100.4	81.0	92.1	

FIGURA 46 LIMITES DE SOBRECARGA EN LAS LÍNEAS DE 230 KV

En esta herramienta podemos visualizar cuál es su comportamiento de cada generador en cuanto a potencia reactiva y potencia activa.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

BUS#	X-- NAME	--X BASKV	ID	MW	MVAR	QMAX	QMIN	ETERM	CURRENT	PF	MVABASE	X T R A N	GENTAP	ZONE	AREA	SWING
1	BUS 1	230.00	1	232.4	-16.5	100.0	-20.0	1.0600	219.8*	0.9975	100.0			1	1	SVST
2	BUS 2	230.00	1	40.0	43.6	50.0	-40.0	1.0450	56.6	0.6764	100.0			1	1	
3	BUS 3	230.00	1	0.0	25.1	40.0	0.0	1.0100	24.8	0.0000	100.0			1	1	
6	BUS 6	115.00	1	0.0	12.7	24.0	-6.0	1.0700	11.9	0.0000	100.0			1	1	
8	BUS 8	13.200	1	0.0	17.6	24.0	-6.0	1.0900	16.2	0.0000	100.0			1	1	
SUBSYSTEM TOTALS				272.4	82.4	238.0	-72.0				500.0					

FIGURA 47 DATOS GENERALES DE GENERACIÓN

Esta herramienta nos puede proporcionar la información, si así lo necesitamos de un solo elemento del sistema o una porción del sistema, pero también podemos abarcar toda la información de comportamiento de flujos de potencia en una sola tabla como se muestra a continuación:

X----- FROM BUS -----X AREA				VOLT				GEN			LOAD			SHUNT			X----- TO BUS -----X				TRANSFORMER		RATING	
BUS#	X-- NAME	--X BASKV	ZONE	PU/KV	ANGLE	MW/MVAR	MW/MVAR	MW/MVAR	MW/MVAR	MW/MVAR	MW/MVAR	MW/MVAR	BUS#	X-- NAME	--X BASKV	AREA	CKT	MW	MVAR	RATIO	ANGLE	%	SET	A
1	BUS 1	230.00	1	1.0600	0.0	232.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	BUS 2	230.00	1	1	78.4	-10.2			111	68	
			1	243.80		-16.5R	0.0	0.0	0.0				2	BUS 2	230.00	1	2	78.4	-10.2			111	68	
													5	BUS 5	230.00	1	1	75.5	3.9			48	150	
2	BUS 2	230.00	1	1.0450	-5.0	40.0	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1	BUS 1	230.00	1	1	-76.3	13.8			110	68		
			1	240.35		43.6R	12.7	0.0	0.0			1	BUS 1	230.00	1	2	-76.3	13.8			110	68		
												3	BUS 3	230.00	1	1	73.2	3.6			78	90		
												4	BUS 4	230.00	1	1	56.1	-1.6			80	68		
												5	BUS 5	230.00	1	1	41.5	1.2			59	68		
3	BUS 3	230.00	1	1.0100	-12.7	0.0	94.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2	BUS 2	230.00	1	1	-70.9	1.6			78	90		
			1	232.30		25.1R	19.0	0.0	0.0			4	BUS 4	230.00	1	1	-23.3	4.5			63	38		
4	BUS 4	230.00	1	1.0177	-10.3	0.0	47.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2	BUS 2	230.00	1	1	-54.5	3.0			79	68		
			1	234.06		0.0	-3.9	0.0	0.0			3	BUS 3	230.00	1	1	23.7	-4.8			63	38		
												5	BUS 5	230.00	1	1	-61.2	15.8			69	90		
												7	BUS 7	1.0000	1	1	28.1	-9.7	0.978LK					
												9	BUS 9	115.00	1	1	16.1	-0.4	0.969LK			21	75	
5	BUS 5	230.00	1	1.0195	-8.8	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1	BUS 1	230.00	1	1	-72.7	2.2			48	150		
			1	234.49		0.0	1.6	0.0	0.0			2	BUS 2	230.00	1	1	-40.6	-2.1			59	68		
												4	BUS 4	230.00	1	1	61.7	-14.2			69	90		
												6	BUS 6	115.00	1	1	44.1	12.5	0.932LK			61	75	
6	BUS 6	115.00	1	1.0700	-14.2	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5	BUS 5	230.00	1	1	-44.1	-8.0	1.000UN			60	75	
			1	123.05		12.7R	7.5	0.0	0.0			11	BUS 11	115.00	1	1	7.4	3.6			10	75		
												12	BUS 12	115.00	1	1	7.8	2.5			8	90		
												13	BUS 13	115.00	1	1	17.7	7.2			20	90		

FIGURA 48 FLUJOS DE POTENCIA DEL NODO 1 AL 6



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

/ BUS /	1.0000	1 1.0615	-13.4	0.0	0.0	0.0	-----							
		1 1.0615		0.0	0.0	0.0	4 BUS 4	230.00	1 1	-28.1	11.4	1.0000N		
							8 BUS 8	13.200	1 1	0.0	-17.2	1.0001K	23	75
							9 BUS 9	115.00	1 1	28.1	5.8	1.0001K	96	30
8 BUS 8	13.200	1 1.0900	-13.4	0.0	0.0	0.0	-----							
		1 14.388		17.6R	0.0	0.0	7 BUS 7	1.0000	1 1	0.0	17.6	1.0000N	23	75
9 BUS 9	115.00	1 1.0559	-14.9	0.0	29.5	0.0	-----							
		1 121.43		0.0	16.6	-21.2	4 BUS 4	230.00	1 1	-16.1	1.7	1.0000N	22	75
							7 BUS 7	1.0000	1 1	-28.1	-5.0	1.0000N	95	30
							10 BUS 10	115.00	1 1	5.2	4.2		14	45
							14 BUS 14	115.00	1 1	9.4	3.6		11	90
10 BUS 10	115.00	1 1.0510	-15.1	0.0	9.0	0.0	-----							
		1 120.86		0.0	5.8	0.0	9 BUS 9	115.00	1 1	-5.2	-4.2		14	45
							11 BUS 11	115.00	1 1	-3.8	-1.6		7	60
11 BUS 11	115.00	1 1.0569	-14.8	0.0	3.5	0.0	-----							
		1 121.54		0.0	1.8	0.0	6 BUS 6	115.00	1 1	-7.3	-3.4		10	75
							10 BUS 10	115.00	1 1	3.8	1.6		7	60
12 BUS 12	115.00	1 1.0552	-15.1	0.0	6.1	0.0	-----							
		1 121.35		0.0	1.6	0.0	6 BUS 6	115.00	1 1	-7.7	-2.4		8	90
							13 BUS 13	115.00	1 1	1.6	0.8		2	90
13 BUS 13	115.00	1 1.0504	-15.2	0.0	13.5	0.0	-----							
		1 120.79		0.0	5.8	0.0	6 BUS 6	115.00	1 1	-17.5	-6.8		20	90
							12 BUS 12	115.00	1 1	-1.6	-0.7		2	90
							14 BUS 14	115.00	1 1	5.6	1.7		11	52
14 BUS 14	115.00	1 1.0355	-16.0	0.0	14.9	0.0	-----							
		1 119.09		0.0	5.0	0.0	9 BUS 9	115.00	1 1	-9.3	-3.4		11	90
							13 BUS 13	115.00	1 1	-5.6	-1.6		11	52

FIGURA 49 FLUJOS DE POTENCIA DEL NODO 7 AL 14

7.3 ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS

Cuando se conecta o se desconecta una línea del sistema por medio de los interruptores, las corrientes de línea se redistribuyen a través de la red y los voltajes de las barras cambian. Los nuevos voltajes de barra y corriente de líneas en estado estable, se pueden predecir a través del llamado programa de análisis de contingencias.

Los modelos de redes a gran escala que se usan para la evaluación de contingencias (como los que se usan en cálculos de fallas) no tienen que ser exactos por que los diseñadores y operadores del sistema, que tiene que revisar cientos de estudio de corto periodo, están más interesados en saber si hay niveles de sobrecarga de corriente u voltajes fuere de limite que los valores exactos de esas cantidades, debido a esto se hacen aproximaciones.

Para el caso del sistema de prueba de 14 barras de IEEE observamos que al realizar la primera corrida de flujos de potencia encontramos sobrecarga en líneas de transmisión, con respecto a las unidades generadoras solo 2 están aportando potencia activa y



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

reactiva hacia la red, las demás unidades no están generando y tenemos violaciones de voltajes.

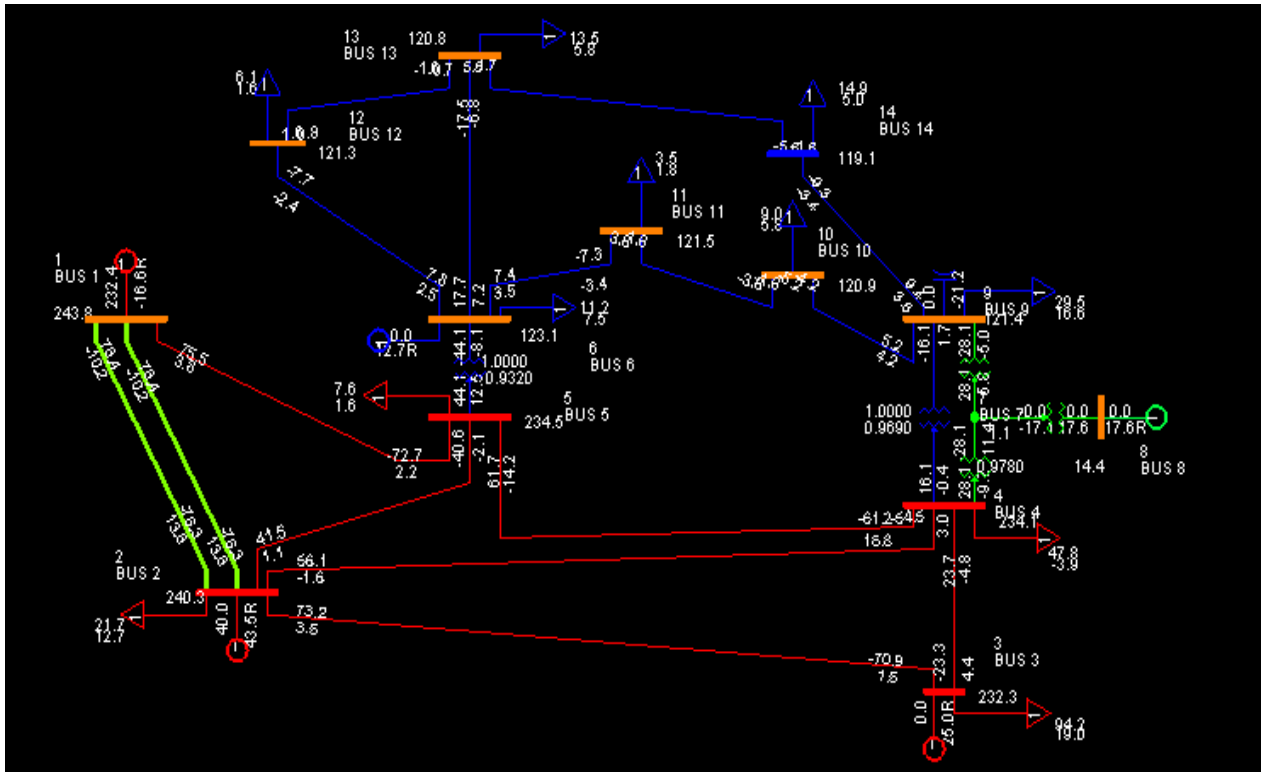


FIGURA 50 COMPORTAMIENTO DE VOLTAJES EN LA RED

Network data													
Bus Number	Bus Name	Id	Code	VSched (pu)	Remote Bus	In Service	Pgen (MW)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Ogen (Mvar)	Omax (Mvar)	Omin (Mvar)	Mbase (MVA)
1	BUS 1	230.00	1	3	1.0600	0	232.3575	9999.0000	-9999.0000	-16.5624	100.0000	-20.0000	100.00
2	BUS 2	230.00	1	2	1.0450	0	40.0000	9999.0000	-9999.0000	43.4941	50.0000	-40.0000	100.00
3	BUS 3	230.00	1	2	1.0100	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	25.0490	40.0000	0.0000	100.00
6	BUS 6	115.00	1	2	1.0700	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	12.6914	24.0000	-6.0000	100.00
8	BUS 8	13.200	1	2	1.0900	0	0.0000	9999.0000	-9999.0000	17.5988	24.0000	-6.0000	100.00
*													

FIGURA 51 GENERACIÓN POR UNIDAD EN LA BASE DE DATOS (MACHINE)



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number Name	Zone Number Name	Owner Number Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	G-leg Load (pu)	B-leg Load (pu)	G-Zero Load (pu)	B-Z Load
1	BUS 1	230.0	1	1	1	3	1.0600	0.00				
2	BUS 2	230.0	1	1	1	2	1.0450	-4.98				
3	BUS 3	230.0	1	1	1	2	1.0100	-12.72				
4	BUS 4	230.0	1	1	1	1	1.0177	-10.31				
5	BUS 5	230.0	1	1	1	1	1.0196	-8.77				
6	BUS 6	115.0	1	1	1	2	1.0700	-14.22				
7	BUS 7	1.0	1	1	1	1	1.0616	-13.36				
8	BUS 8	13.2	1	1	1	2	1.0900	-13.36				
9	BUS 9	115.0	1	1	1	1	1.0560	-14.94				
10	BUS 10	115.0	1	1	1	1	1.0510	-15.10				
11	BUS 11	115.0	1	1	1	1	1.0569	-14.79				
12	BUS 12	115.0	1	1	1	1	1.0552	-15.08				
13	BUS 13	115.0	1	1	1	1	1.0504	-15.16				
14	BUS 14	115.0	1	1	1	1	1.0356	-16.04				

FIGURA 52 VOLTAJES DE CADA NODO EN LA BASE DE DATOS EN P.U.

Para tener un mejor panorama en el análisis de contingencias en un este sistema eléctrico, se optó por realizar unos archivos que nos facilitaran la manera de observar las falla o contingencias que puede tener el SEP, con ello se podrá visualizar la sensibilidad en cuanto a voltaje, la falla que pueda impactar más a la red, alguna sobrecarga carga importante de un equipo primario.

Para este proceso nos apoyaremos en la realización de tablas que nos describan las contingencias que requerimos conocer, los nodos a monitorear, pero también el dar a conocer los buses contiene el sistema eléctrico. Estas tablas se guardarán en un distintos formato que posteriormente se ocuparán en un apartado del PSSE llamado ACC (contingency solution).

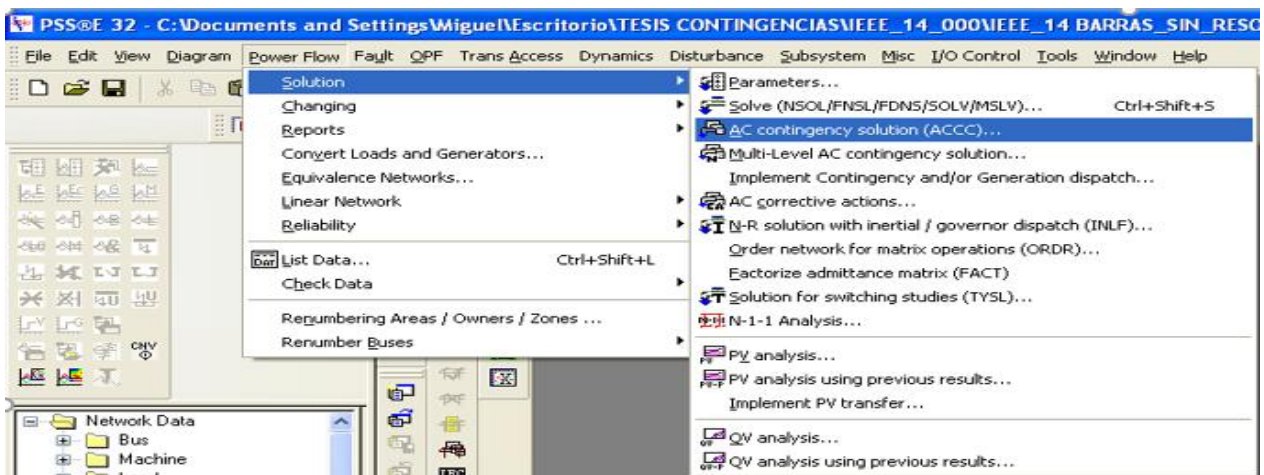


FIGURA 53 UBICACIÓN DE AC CONTINGENCY SOLUTION (ACCC)



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

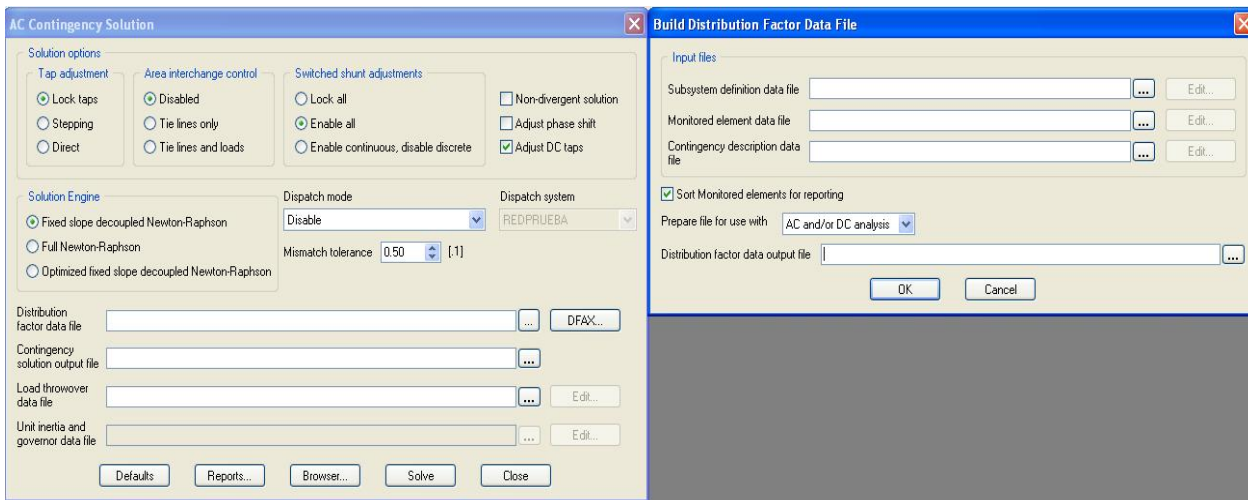


FIGURA 54 HERRAMIENTA AC CONTINGENCY SOLUTION (ACCC)

Para la primera tabla a realizar se requiere definir el subsistema, el cual deberá de aparecer como título o como encabezado de nuestros buses, consecutivamente se definirán los buses o nodos del sep, consecutivamente daremos cierre a nuestro subsistema con un “end” seguido de otro “end”. **[18]**

SUBSYSTEM	'REDPRUEBA'
BUS	1
BUS	2
BUS	3
BUS	4
BUS	5
BUS	6
BUS	7
BUS	8
BUS	9
BUS	10
BUS	11
BUS	12
BUS	13
BUS	14
END	
END	

Tabla 7.8 SUBSISTEMA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Esta tabla al concluir meter todos los datos como se muestra, se pasará a formato”. Sub”, el cual este formato lo reconocerá el PSSE respetando sus espacio y condiciones que debe cumplir.



FIGURA 55 FORMATO ".SUB"

Posteriormente se debe de realizar la tabla en donde se definan las contingencias a tratar, en cada contingencia cerrar con “end” y al último de todas las contingencias cerrar nuevamente con “end”. Estos datos serán guardamos en un formato “. con”. **[18]**

CONTINGENCY	'BUS1-BUS5'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	1	TO	BUS	5
END							
CONTINGENCY	'BUS1-BUS2'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	1	TO	BUS	2
END							
CONTINGENCY	'BUS2-BUS3'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	2	TO	BUS	3
END							
CONTINGENCY	'BUS2-BUS4'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	2	TO	BUS	4
END							
CONTINGENCY	'BUS2-BUS5'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	2	TO	BUS	5



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

END							
CONTINGENCY	'BUS3-BUS4'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	3	TO	BUS	4
END							
CONTINGENCY	'BUS6-BUS12'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	6	TO	BUS	12
END							
CONTINGENCY	'BUS6-BUS13'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	6	TO	BUS	13
END							
CONTINGENCY	'BUS6-BUS11'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	6	TO	BUS	11
END							
CONTINGENCY	'BUS9-BUS10'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	9	TO	BUS	10
END							
CONTINGENCY	'BUS9-BUS14'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	9	TO	BUS	14
END							
CONTINGENCY	'BUS10-BUS11'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	10	TO	BUS	11
END							
CONTINGENCY	'BUS12-BUS13'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	12	TO	BUS	13
END							
CONTINGENCY	'BUS13-BUS14'						
OPEN	LINE	FROM	BUS	13	TO	BUS	14
END							
END							

Tabla 7.9 CONTINGENCIAS QUE SE ANALIZARAN



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.



FIGURA 56 FORMATO ".CON"

Para la siguiente tabla se requiere expresar la líneas o circuitos a monitorear, al igual los voltajes en cuanto se van a monitorear del nodo que desea. En este caso se utilizó el nodo Slack y el nodo para ver su comportamiento en el voltaje.

MONITOR	LINE	FROM	BUS	1	TO	BUS	5
MONITOR	LINE	FROM	BUS	1	TO	BUS	2
MONITOR	LINE	FROM	BUS	2	TO	BUS	3
MONITOR	LINE	FROM	BUS	2	TO	BUS	4
MONITOR	LINE	FROM	BUS	2	TO	BUS	5
MONITOR	LINE	FROM	BUS	3	TO	BUS	4
MONITOR	LINE	FROM	BUS	6	TO	BUS	12
MONITOR	LINE	FROM	BUS	6	TO	BUS	13
MONITOR	LINE	FROM	BUS	6	TO	BUS	11
MONITOR	LINE	FROM	BUS	9	TO	BUS	10
MONITOR	LINE	FROM	BUS	9	TO	BUS	14
MONITOR	LINE	FROM	BUS	10	TO	BUS	11



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

MONITOR	LINE	FROM	BUS	12	TO	BUS	13
MONITOR	LINE	FROM	BUS	13	TO	BUS	14
MONITOR	VOLTAGE	RANGE	BUS	2	0.98	1.01	
MONITOR	VOLTAGE	RANGE	OWNER	1	0.95	1.05	
END							
END							

Tabla 7.10 MONITOR DE NODOS

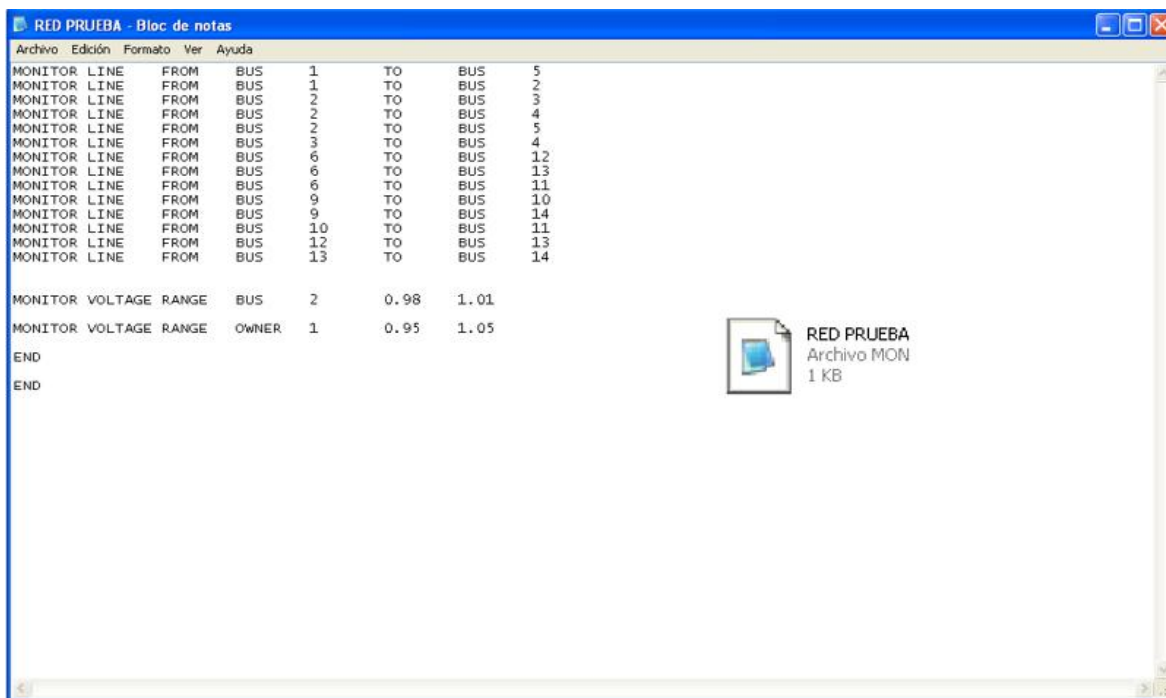


FIGURA 57 FOMRATO ".MON"

Una vez obtenido nuestros archivos se procede a realizar el estudio de contingencias con mayor facilidad, utilizando la herramienta ACC, y se procede a introducir cada archivo conforme lo va requiriendo el proceso.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

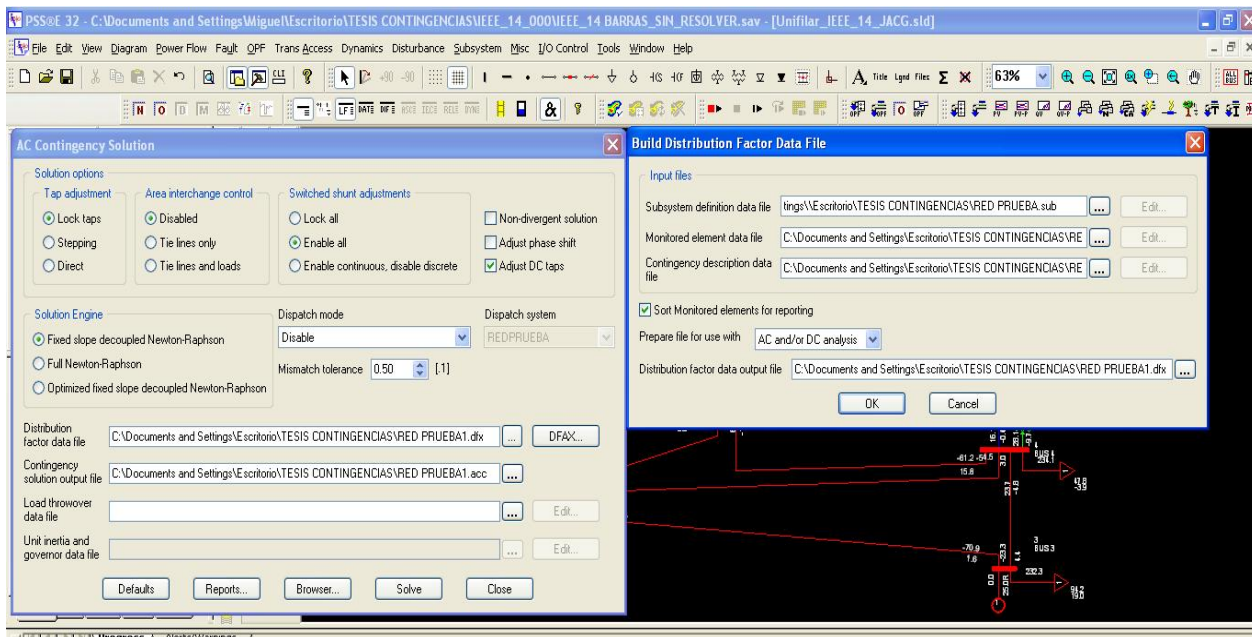


FIGURA 58 ELABORACIÓN DE ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS

Consecutivamente se le dará en la opción ok, PSSE empezará a reconocer los datos del sistema por medio de los archivos, en unos cuantos segundos se realizará el proceso de la realización de contingencias. [18]

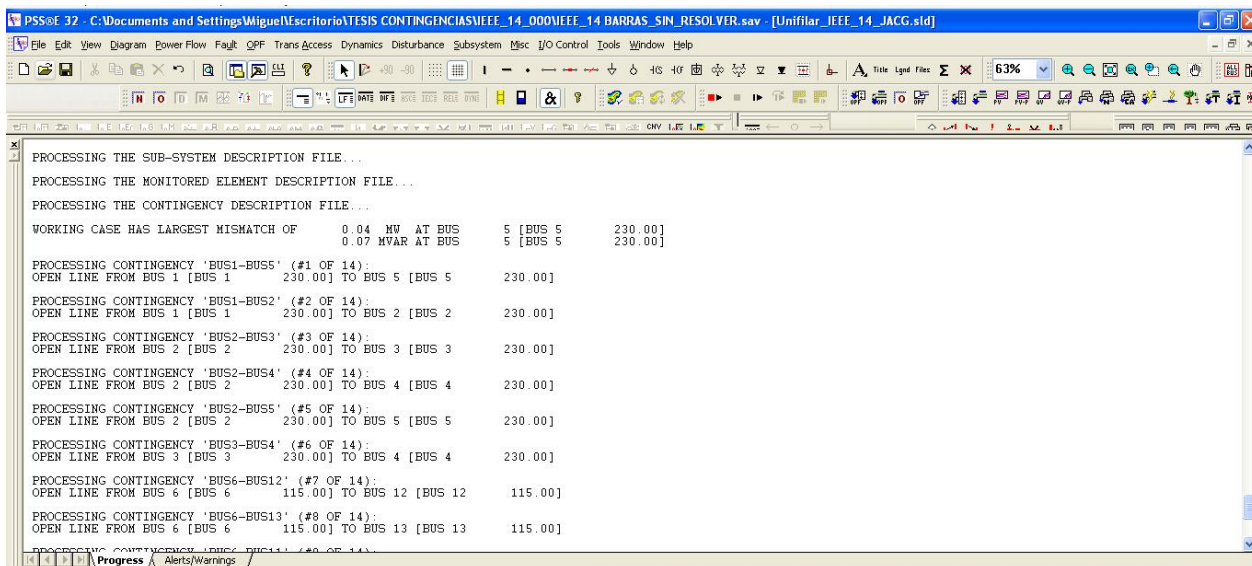


FIGURA 59 PROCESO DE ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS

Una vez echo esta acción se le dará en la opción “solve” y después browser, aparece un cuadro de dialogo, el cual nos informa un breve resumen de cómo se comportaron los



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

flujos de potencia en las líneas de transmisión ante las contingencias ya mencionadas, el alto y bajo voltaje que se pudo presentar y algunas contingencias que no se pudo converger. En este caso podemos observar que existen 71 violaciones de alto voltaje en el analizas de contingencias y 19 violaciones de flujo. [18]

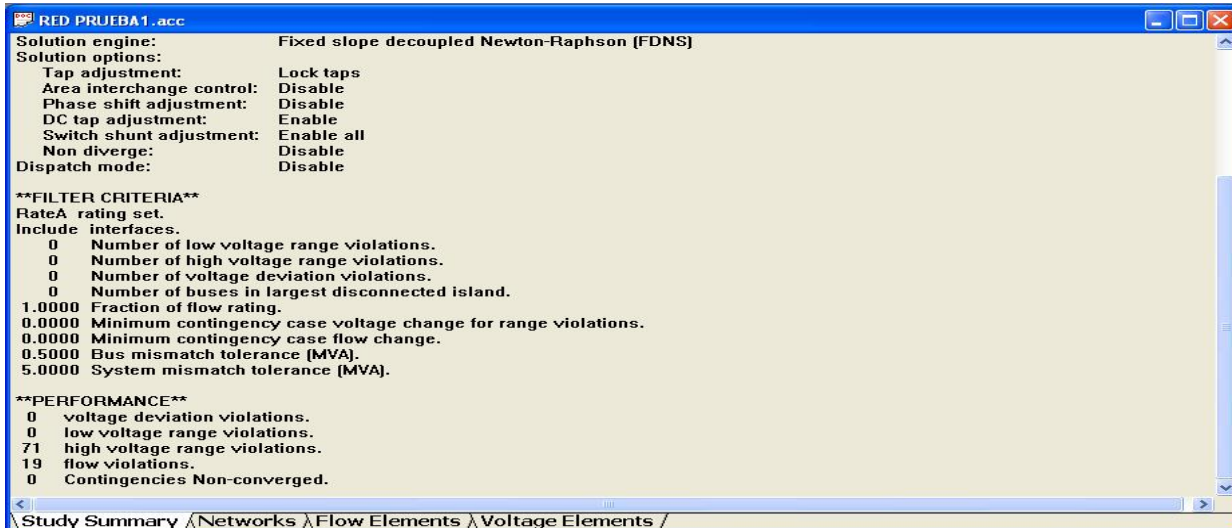


FIGURA 60 RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DE CONTINGENCIAS

En el apartado de “Newtorks” se encontrará otras pestañas como son: Perfomancer Summary, Descriptio, Flow report, Voltage report. [18]

Label	Converged	Maximum Bus Mismatch	System Mismatch	Solution termination state	Flow Violations #	Flow Violations Largest %
BASE CASE	<input checked="" type="checkbox"/>	0.07	0.25	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.53
BUS1-BUS5	<input checked="" type="checkbox"/>	0.11	0.27	MET CONVERGENCE TOLERANCE	3	168.35
BUS1-BUS2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.38	0.71	MET CONVERGENCE TOLERANCE	0	0.00
BUS2-BUS3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.44	1.01	MET CONVERGENCE TOLERANCE	3	268.87
BUS2-BUS4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.18	0.52	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	100.08
BUS2-BUS5	<input checked="" type="checkbox"/>	0.08	0.32	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	105.64
BUS3-BUS4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.10	0.19	MET CONVERGENCE TOLERANCE	2	114.50
BUS6-BUS12	<input checked="" type="checkbox"/>	0.06	0.19	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.69
BUS6-BUS13	<input checked="" type="checkbox"/>	0.27	0.88	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	111.14
BUS6-BUS11	<input checked="" type="checkbox"/>	0.06	0.26	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.84
BUS9-BUS10	<input checked="" type="checkbox"/>	0.07	0.22	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.44
BUS9-BUS14	<input checked="" type="checkbox"/>	0.07	0.29	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.54
BUS10-BUS11	<input checked="" type="checkbox"/>	0.06	0.25	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.68
BUS12-BUS13	<input checked="" type="checkbox"/>	0.46	1.17	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.56
BUS13-BUS14	<input checked="" type="checkbox"/>	0.07	0.25	MET CONVERGENCE TOLERANCE	1	110.75

FIGURA 61 RESUMEN DE VIOLACIÓN DE FLUJO DE POTENCIA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En primera instancia la primera pestaña Performance Summary están las contingencias que en un momento expresamos en el archivo. con, aquí se observará cuantas violaciones por flujo se tuvo por cada contingencia y el porcentaje del flujo más grande se tuvo en la contingencia. En esta pestaña podemos seleccionar cualquier contingencia para analizarla de manera individual.

Una vez selecciona la contingencia deseada, al dar clic en la pestaña Description informa la contingencia que se seleccionó. **[18]**

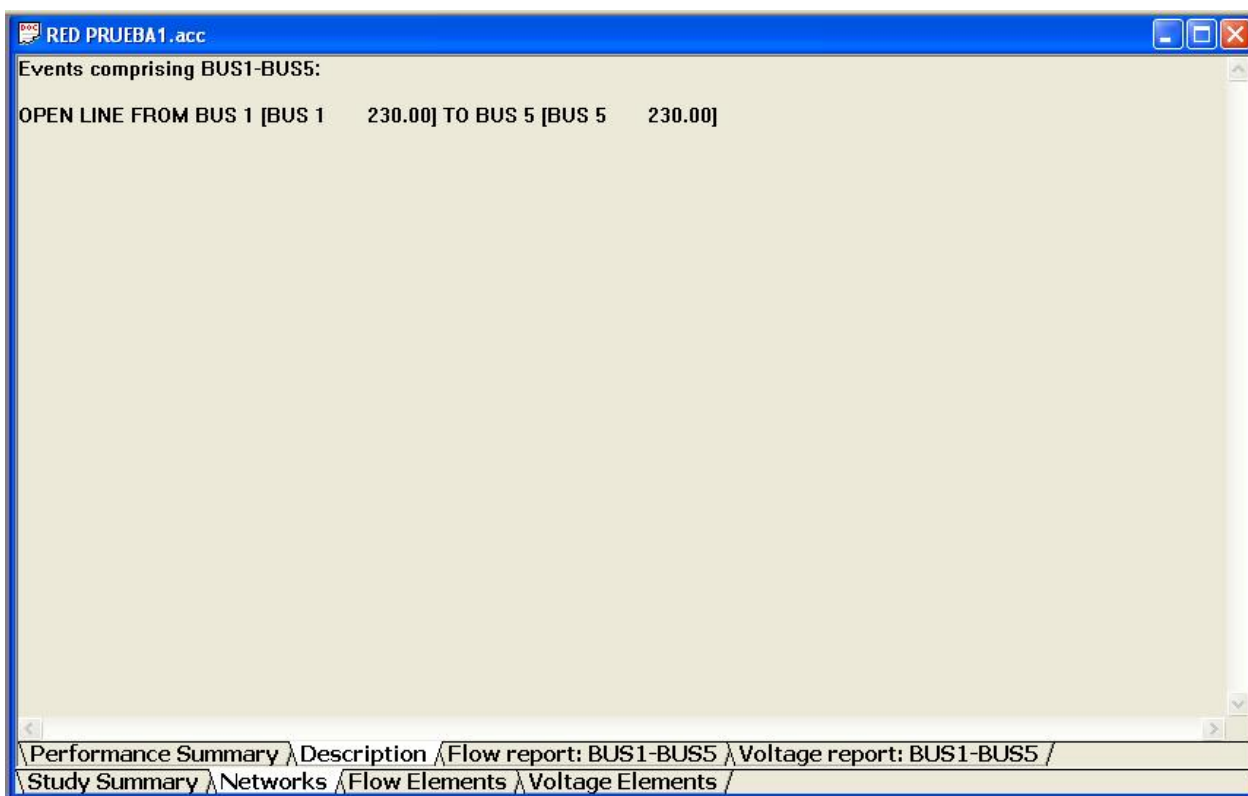


FIGURA 62 CONTINGENCIA SELECCIONADA

Siguiendo a la otra pestaña Flow report estarán expresados el comportamiento de los flujos de potencia visto en cada línea o circuito de la SEP, con ello se analizará que elemento le impactara más la salida ante esta contingencia, en este caso se seleccionó la contingencia de la línea que va del nodo Bus 1 al nodo Bus 5, por lo que al observar la tabla de datos de Flow report se observara que el elemento donde tiene mayor impacto es la línea que va del nodo Bus1 al nodo Bus 2. **[18]**



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En cuanto al apartado de voltage report de igual manera se podrá observar el comportamiento de la contingencia seleccionada pero esta vez el cambio que se tuvo en el voltaje de cada nodo del SEP. [18]

Monitored Element				%	Flow	Flow Change	Adjusted Rate	Nominal Rate
1 BUS 1	230.00	2 BUS 2	230.00	168.352293	120.4561	41.36942	67.5	67.5
1 BUS 1	230.00	5 BUS 5	230.00	0	0	72.77728	150	150
2 BUS 2	230.00	3 BUS 3	230.00	93.4456706	87.11056	16.18034	90	90
2 BUS 2	230.00	4 BUS 4	230.00	119.219231	83.35261	27.19575	67.5	67.5
2 BUS 2	230.00	5 BUS 5	230.00	111.420786	77.90029	37.2357	67.5	67.5
3 BUS 3	230.00	4 BUS 4	230.00	34.6276462	13.04374	11.09852	37.5	37.5
6 BUS 6	115.00	11 BUS 11	115.00	10.0741848	8.084534	0.08210468	75	75
6 BUS 6	115.00	12 BUS 12	115.00	8.46884697	8.1555	0.0220089	90	90
6 BUS 6	115.00	13 BUS 13	115.00	19.7077050	18.97852	0.1780357	90	90
9 BUS 9	115.00	10 BUS 10	115.00	14.5318001	6.872637	0.1475773	45	45
9 BUS 9	115.00	14 BUS 14	115.00	10.9966658	10.40148	0.3041801	90	90
10 BUS 10	115.00	11 BUS 11	115.00	6.63633495	4.200474	0.06343555	60	60
12 BUS 12	115.00	13 BUS 13	115.00	1.90225653	1.805773	0.02476585	90	90
13 BUS 13	115.00	14 BUS 14	115.00	10.3865444	5.724058	0.1840215	52.5	52.5

FIGURA 63 FLUJO DE POTENCIA DE CADA LINEA DE TRANSMISIÓN ANTE LA CONTINGENCIA SELECCIONADA

System	Bus	Deviation	Violation	Voltage Magnitude	Voltage Change	Maximum
SPECIFIED BUS	2 BUS 2	230	<input type="checkbox"/>	0.0258	1.0358	1.0100
OWNER 1	1 BUS 1	230	<input type="checkbox"/>	0.0100	1.0600	1.0500
OWNER 1	2 BUS 2	230	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0358	1.0500
OWNER 1	3 BUS 3	230	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0100	1.0500
OWNER 1	4 BUS 4	230	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0045	1.0500
OWNER 1	5 BUS 5	230	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0019	1.0500
OWNER 1	6 BUS 6	115	<input type="checkbox"/>	0.0200	1.0700	1.0500
OWNER 1	7 BUS 7	1.0	<input type="checkbox"/>	0.0059	1.0559	1.0500
OWNER 1	8 BUS 8	13.	<input type="checkbox"/>	0.0400	1.0900	1.0500
OWNER 1	9 BUS 9	115	<input type="checkbox"/>	0.0010	1.0510	1.0500
OWNER 1	10 BUS 10	115	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0469	1.0500
OWNER 1	11 BUS 11	115	<input type="checkbox"/>	0.0049	1.0549	1.0500
OWNER 1	12 BUS 12	115	<input type="checkbox"/>	0.0048	1.0548	1.0500
OWNER 1	13 BUS 13	115	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0497	1.0500
OWNER 1	14 BUS 14	115	<input type="checkbox"/>	0.0000	1.0324	1.0500

FIGURA 64 CAMBIO DE VOLTAJE DE CADA NODO QUE SE OBTUVO POR LA CONTINGENCIA



CAPÍTULO 8



CAPÍTULO 8

8.1 PROPUESTA EN LA RED DE LA ZOTVER ANTE CAMBIO EN LA TOPOLOGÍA EN 400 KV

Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente podemos realizar nuestra propuesta de nuestra línea de transmisión de 400 KV, para lo cual se requiere información previa para conocer los parámetros fundamentales que nos ayudaran a modelar la línea de transmisión, y con ello poder introducirla en la red de la ZOTVER para realizar el estudio de contingencias pertinente.

En el modelado de las líneas de transmisión se ocupará el software TMLC (Transmission Line Characteristics) el cual calcula las constantes de la línea de transmisión que se utilizan para analizar el sistema. Las constantes incluyen la resistencia en serie, la reactancia y los parámetros de admitancia en derivación, este programa a su vez permite una entrada de datos interactiva. **[26]**

Para ello se solicitó información al departamento de “Líneas de la zona de Transmisión Veracruz”, el departamento de Líneas de la zona de Transmisión Temascal. La información necesaria para modelar una LT en PSS\E se puede dividir en tres partes los datos. **[24], [25].**

En primera instancia se puede manejar los datos de los conductores de guarda, la información de este apartado es la siguiente: es el número de hilos de guarda, nombre del conductor, calibre y material.

Para el segundo apartado de información será la manipulación de información de conductores la cual es la siguiente: Longitud de la LT primer circuito, Numero de circuitos, Numero de conductores por fase, calibre y material, resistencia en Ohms / Milla, reactancia inductiva en Ohms / Milla, Ampers, Longitud de la LT segundo circuito.

Por último, se deberá tomar en cuenta los datos de la torre: nombre o tipo de torre, distancias entre conductores, altura de la torre, distancias entre hilos de guarda, todas las medidas expresarlas en metros. **[24], [25].**



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Se mostrará en unas tablas los datos que se ocuparan en la propuesta de nuestra línea de transmisión de la siguiente manera:

CONDUCTORES DE GUARDA:	
Numero de hilos e guarda:	1
Nombre del conductor:	ACC7#8
Calibre	58.43
Catenaria (SAG1):	9
CONDUCTORES DE FASE:	
Longitud de la LT:	102
Numero de circuitos	1
Número de conductores por fase:	2
Calibre	603
Material del calibre:	ACSR 1113 (45/7)
Resistencia en OHMS/MILLA:	0.0859
Reactancia en OHMS/MILLA	0.386
Ampers:	1080
Catenaria(SAG2):	12
TORRE:	
Nombre o Tipo de Torre:	A PASO /W REMATE
Altura:	54.9

Tabla 8.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PARA LA ELABORACIÓN DE LA PROPUESTA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

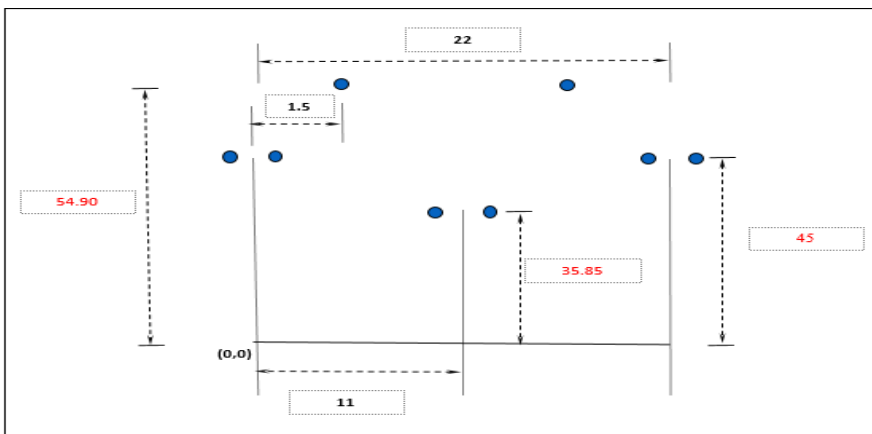


FIGURA 65 UBICACIÓN DE CONDUCTORES Y HILO DE GUARDA

Se procede a introducir los valores en TMLC de la siguiente manera:

Inicia el programa con un encabezado “SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL TRANSMISION LINE CHARACTERISTICS”, posteriormente pregunta si la entrada de datos es por teclado con el numero 1 o por archivo que es el número 2. [26]

Para este caso se selecciona la indicación 1:

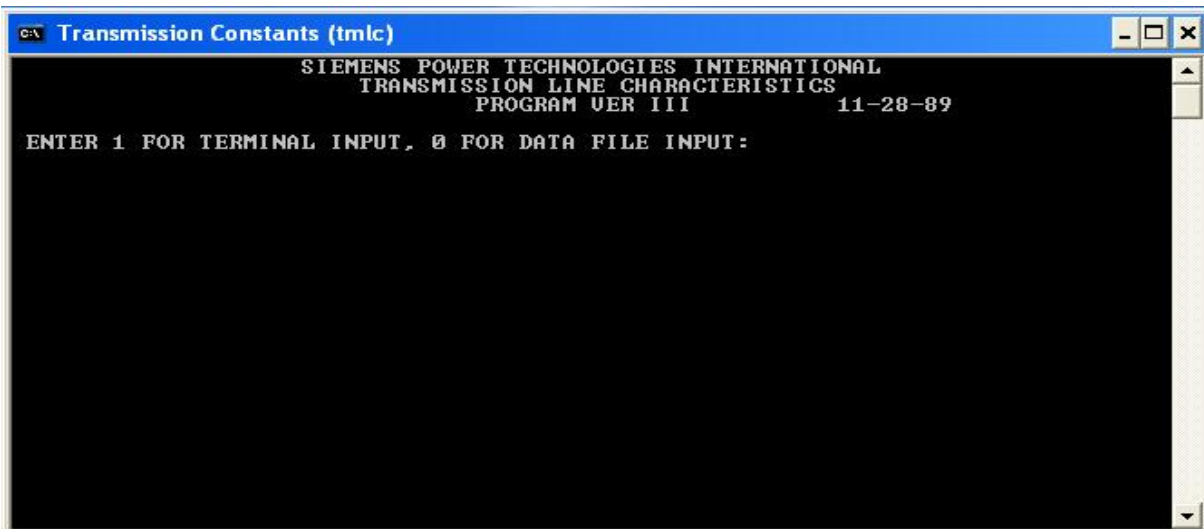


FIGURA 66 PRESENTACIÓN DE TMLC

Enseguida se pondrá el nombre del proyecto nuevo “LT_PROPUESTA_400_KV. [26]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

```
c:\ Transmission Constants (tmc)
SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL
TRANSMISSION LINE CHARACTERISTICS
PROGRAM UER III 11-28-89

ENTER 1 FOR TERMINAL INPUT, 0 FOR DATA FILE INPUT: 1
INPUT TITLE (60 CHAR MAX)
*****
LT_PROPUESTA_400_KU_
```

FIGURA 67 NOMBRE DE PROYECTO

Posteriormente se tendrá que añadir el dato de numero de circuitos (1), el número de hilos de guarda (1), el número de conductores de la línea de transmisión (2), el nombre del conductor que se manejara: (BLUEJAY), para el caso de análisis de fallas no se requiere conocer el SAG que es la catenaria de la línea (12m). [26]

```
c:\ Transmission Constants (tmc)
SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL
TRANSMISSION LINE CHARACTERISTICS
PROGRAM UER III 11-28-89

ENTER 1 FOR TERMINAL INPUT, 0 FOR DATA FILE INPUT: 1
INPUT TITLE (60 CHAR MAX)
*****
LT_PROPUESTA_400_KU
ENTER NUMBER OF CIRCUITS: 1
ENTER NUMBER OF SHIELD WIRE TYPES: 1
FOR CIRCUIT NUMBER 1 ENTER
NUMBER OF CONDUCTORS/BUNDLE: 2
CONDUCTOR NAME: BLUEJAY
ENTER CONDUCTOR SAG<POSITIVE VALUE MEASURED FROM CABLE CLAMP>: 12
```

FIGURA 68 DATOS DEL HILO DE GUARDA Y CONDUCTOR

Indicar el espaciamento entre hilos de fase del circuito (0.45m). [26]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

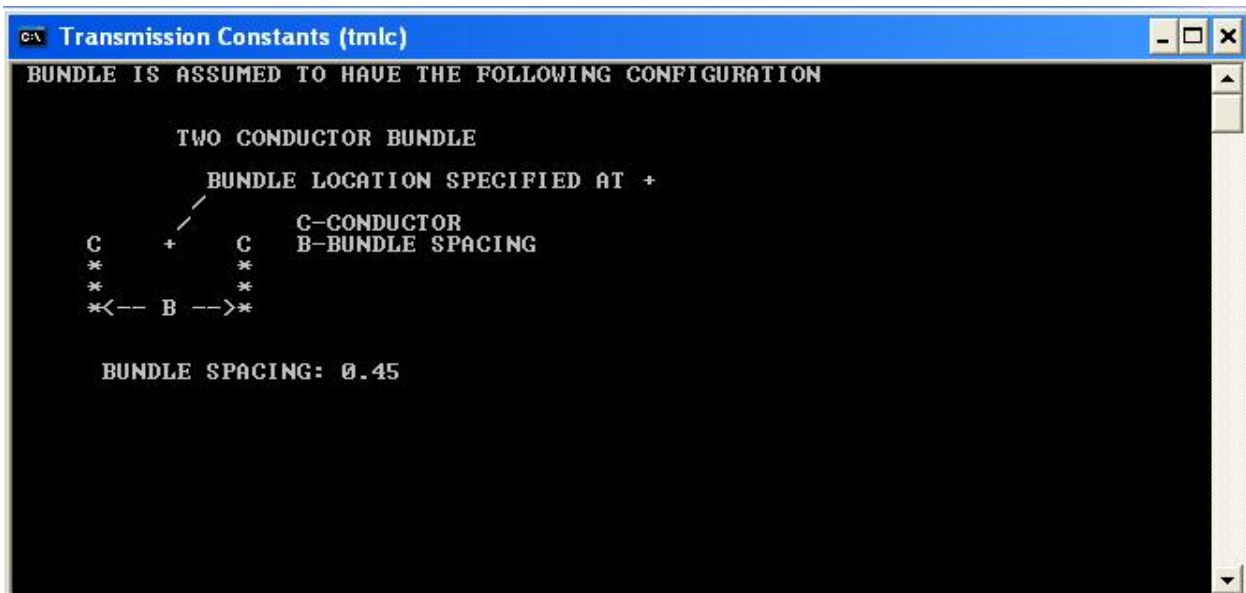


FIGURA 69 DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES

Indicar coordenadas de conductores por fase del circuito (VER, HOR), (Y, X):

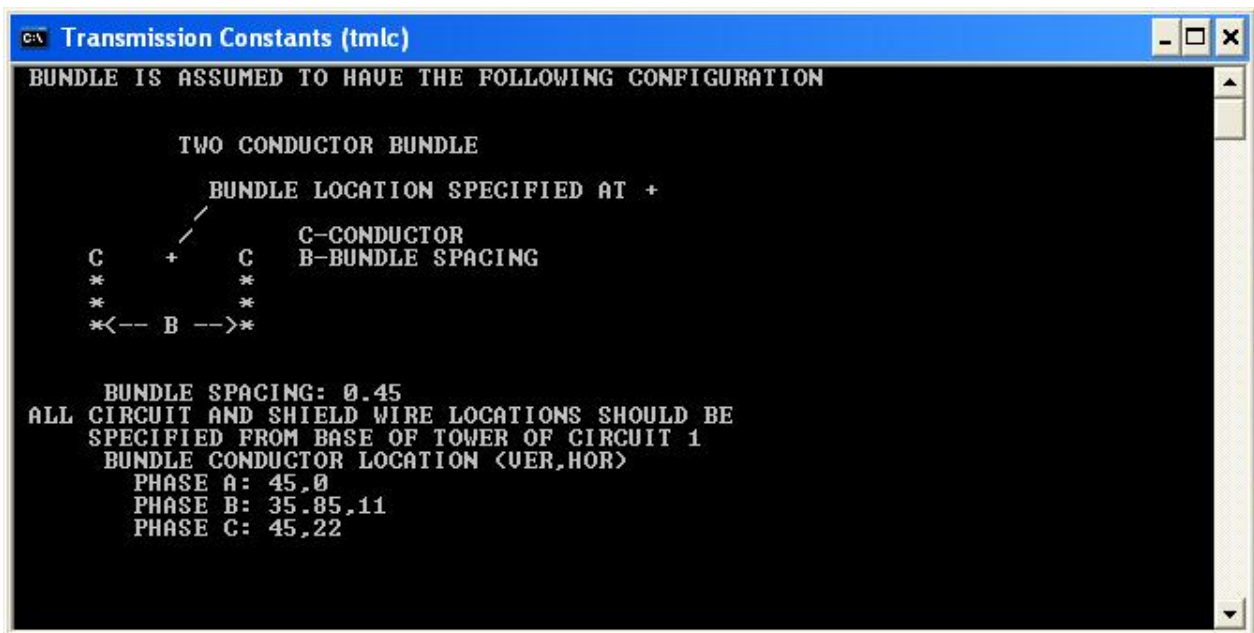


FIGURA 70 COORDENADAS POR FASE DE CONDUCTOR

Indicar el número de hilos de guarda que se maneja, el nombre del conductor de hilo de guarda, el sag (9m) y las coordenadas del mismo. [26]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

```
C:\> Transmission Constants (tmlc)
FOR SHIELD WIRE TYPE 1 ENTER
NUMBER OF THIS TYPE <NO MORE THAN 4>: 1
SHIELD WIRE NAME: 7#8AW
ENTER SHIELD WIRE SAG<POSITIIVE FROM CABLE CLAMP>: 9
LOCATION OF FIRST SHIELD WIRE OF THIS TYPE
<VER,HOR>: 54.90,1.5_
```

FIGURA 71 COORDENADAS HILO DE GUARDA

Para guardar el archivo necesitamos seleccionar la opción 8 del menú. “WRITE INPUT DATA FILE”. [26]

```
C:\> Transmission Constants (tmlc)
FOR SHIELD WIRE TYPE 1 ENTER
NUMBER OF THIS TYPE <NO MORE THAN 4>: 1
SHIELD WIRE NAME: 7#8AW
ENTER SHIELD WIRE SAG<POSITIIVE FROM CABLE CLAMP>: 9
LOCATION OF FIRST SHIELD WIRE OF THIS TYPE
<VER,HOR>: 54.90,1.5
ENTER OUTPUT OPTION.
0-NO MORE OUTPUT, EXIT PROGRAM
1-FULL IMPEDANCE MATRIX
2-FULL SYMMETICAL COMP. MATRIX
3-ABBREVIATED SYMM. COMP.
4-SUMMARIZED RESULTS DATA FILE
5-POWER FLOW
6-SHORT CIRCUIT
7-LIST OUT DATA
8-WRITE INPUT DATA FILE
9-CHANGE DATA
10-CHANGE OUTPUT DEVICE
11-ANOTHER CASE WITH NEW DATA: 8_
```

FIGURA 72 PROCESO PROYECTO



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Por último, se requiere anotar nuevamente el nombre del proyecto, pero esta vez es para darle un formato y con ello se guardará en documentos. [26]

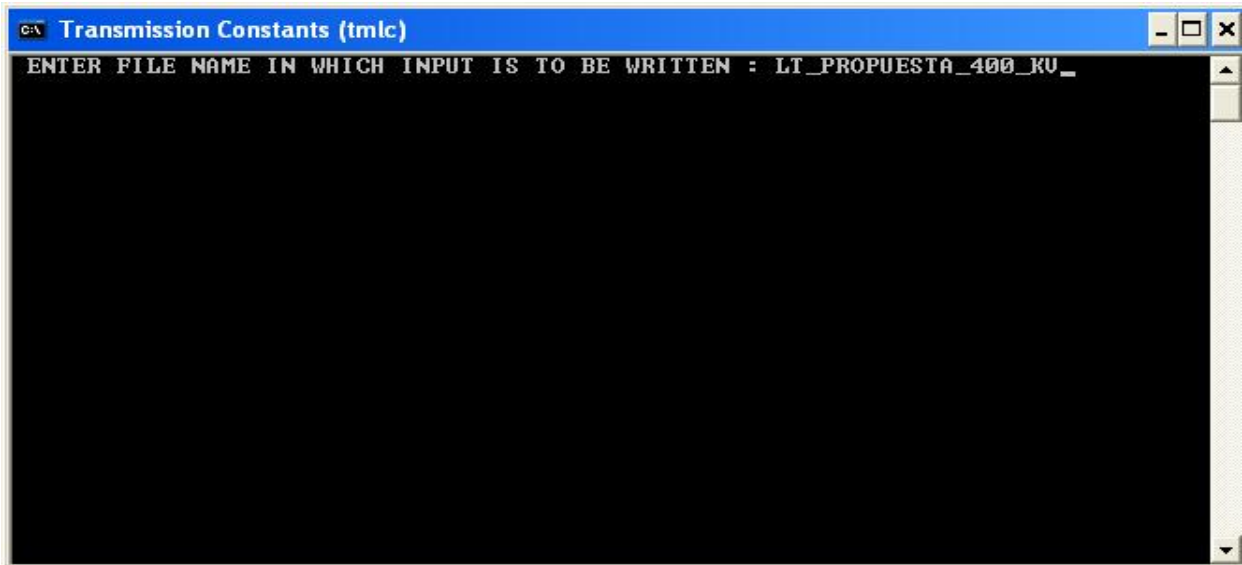


FIGURA 73 GUARDAR PROYECTO

Al finalizar se tendrá el siguiente archivo, el cual nos indicará el nombre de nuestro proyecto como título, las características de nuestro conductor de 400 kv y las características (R, XL, XC, A), con sus respectivas coordenadas, y del conductor del hilo de guarda solo las coordenadas.

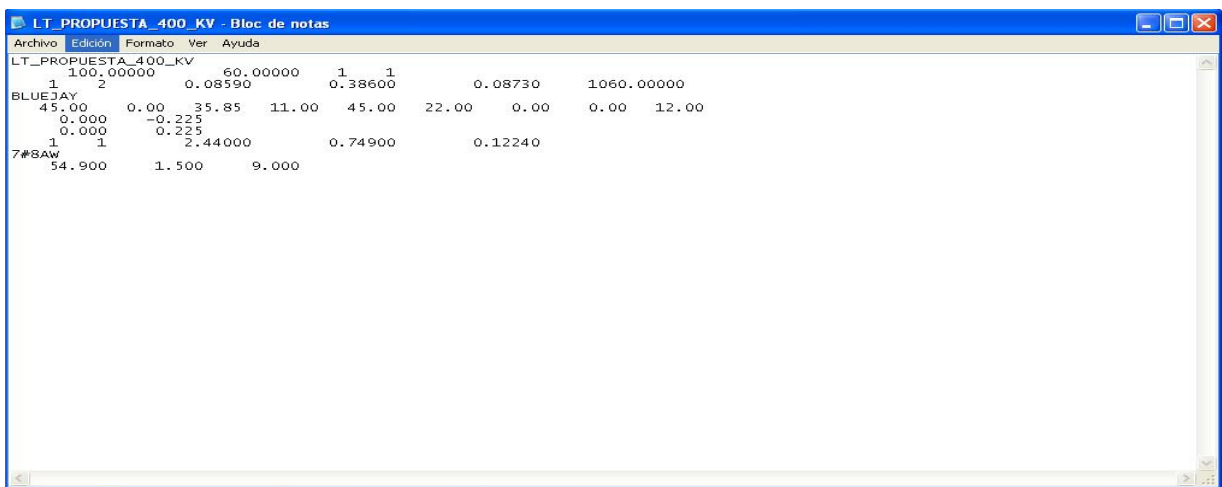


FIGURA 74 PRESENTACIÓN DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN



8.2 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN PARA FLUJOS DE POTENCIA.

Por medio de TMLC llamaremos nuestro archivo, esta vez seleccionaremos la opción 0, consecutivamente nos pedirá el nombre ya establecido o creado con anterioridad:

```
ca Transmission Constants (tmc)
SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL
TRANSMISSION LINE CHARACTERISTICS
PROGRAM VER III                               11-28-89
ENTER 1 FOR TERMINAL INPUT, 0 FOR DATA FILE INPUT: 0
INPUT BASE DATA FILE NAME: LT_PROPUESTA_400_RU_
```

FIGURA 75 SE BUSCA EL PROYECTO YA REALIZADO

Seguidamente aparecerá de nuevo el menú principal del programa, el cual se selecciona la opción 5 “POWER FLOW”. [26]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

```
SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL
TRANSMISSION LINE CHARACTERISTICS
PROGRAM VER III 11-28-89

ENTER 1 FOR TERMINAL INPUT, 0 FOR DATA FILE INPUT: 0
INPUT BASE DATA FILE NAME: LT_PROPUESTA_400_KV
ENTER OUTPUT OPTION.
0-NO MORE OUTPUT, EXIT PROGRAM
1-FULL IMPEDANCE MATRIX
2-FULL SYMMETRICAL COMP. MATRIX
3-ABBREVIATED SYMM. COMP.
4-SUMMARIZED RESULTS DATA FILE
5-POWER FLOW
6-SHORT CIRCUIT
7-LIST OUT DATA
8-WRITE INPUT DATA FILE
9-CHANGE DATA
10-CHANGE OUTPUT DEVICE
11-ANOTHER CASE WITH NEW DATA: 5
```

FIGURA 76 FLUJOS DE POTENCIA

Después de ello nos pedirá la potencia base (100 MVA), el voltaje referido para la línea que se está modelando (400 KV) y el kilometraje en millas de la misma (63.3799). [26]

```
DEFAULT IS 100 MVA, DO YOU WANT TO CHANGE IT? 100
FOR EACH CIRCUIT ENTER CIRCUIT KV <L-L> AND LENGTH
FOR CIRCUIT 1
ENTER KV AND LENGTH <MILES>: 400,63.3799
```

FIGURA 77 POTENCIA BASE, TENSIÓN Y DIMENSIÓN EN MILLAS DEL CONDUCTOR

Con ello obtenemos el cálculo de parámetros de una línea de transmisión. [26]



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

```
SIEMENS POWER TECHNOLOGIES INTERNATIONAL
TRANSMISSION LINE CHARACTERISTICS
PROGRAM VER III 11-28-89

LT_PROPUESTA_400_KV
***HYPERBOLIC CORRECTION APPLIED***

CIRCUIT  KV<L-L>  LENGTH  BASE MVA  SIL  RATING  R  X  B
1 400. 63.380 100. 567. 2120. 0.00172 0.02296 0.74064

CONTINUE? _
```

FIGURA 78 PARAMETROS DEL PROYECTO 25 °C

Los valores que se tiene de R, X y B son parámetros de la línea, pero con grados de temperatura de 25 °C, con temperaturas altas como la zona Veracruz o Temascal se requiere modelar con temperaturas de 50 °C, por lo que se necesita cambiar la RAC (resistencia de corriente alterna) y con ello tenemos lo siguiente:

```
LT_PROPUESTA_400_KV
1 100.00000 60.00000 1 1 0.08730 1060.00000
2 0.09690 0.38600
BLUEJAY
45.00 0.00 35.85 11.00 45.00 22.00 0.00 0.00 12.00
0.000 -0.225
0.000 0.225
1 1 2.44000 0.74900 0.12240
7#8Aw
54.900 1.500 9.000
```

FIGURA 79 DATOS CARACTERÍSTICOS DEL CONDUCTOR



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Ahora tenemos los parámetros calculados para una temperatura de 50 °C, estos a su vez podemos manipular los datos para crear una línea de transmisión en nuestro diagrama unifilar de la ZOTVER. [26]

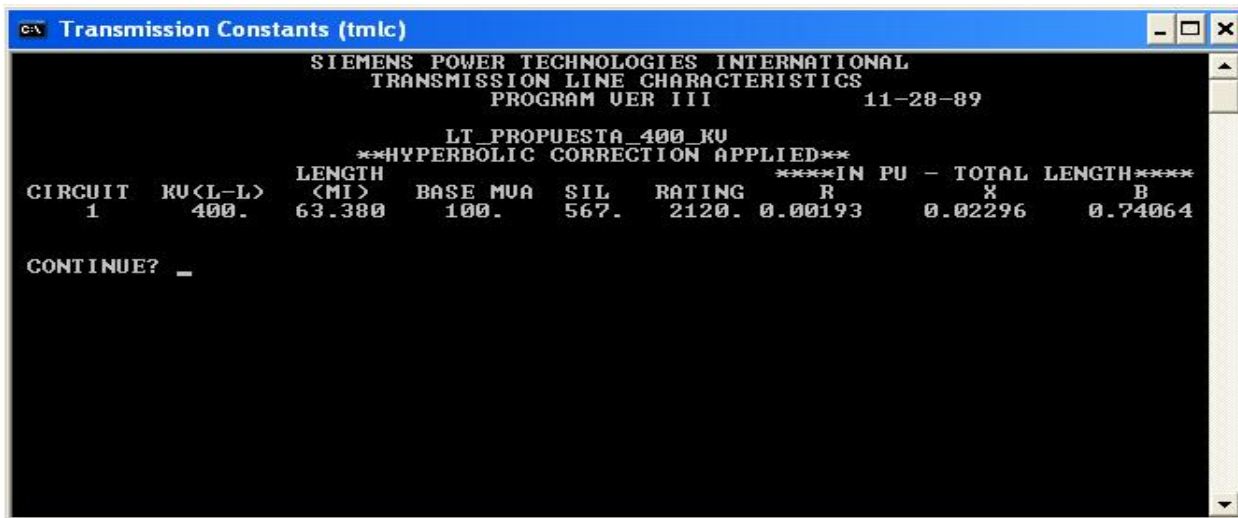


FIGURA 80 PARAMETROS DEL PROYECTO 50 °C

8.3 FLUJOS DE POTENCIA CON USO DE DIAGRAMAS UNIFILARES DE LA ZOTVER SIN PRESENTAS CAMBIOS DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV

Las simulaciones de flujos de potencia que se analizaran, será con a la red eléctrica de la ZOTVER, por medio del PSSE tanto en tensión de 400 KV como 230 KV, con ello poder revisar a grandes rasgos el impacto que se tiene en la red, cuando se presenta la demanda mínima, y máxima, considerando también un flujo del sureste al centro del país y un flujo del centro al sureste. Los resultados obtenidos de estas simulaciones nos otorgan un gran aporte para la en cuanto a lo que se requiere llegar con la propuesta o cambio de topología de la red troncal de 400 KV.

Primero se realizó la simulación de flujos de potencia de demanda mínima (1190 MW), con un flujo que va del sureste al centro del país (1200 MW). Se puede mencionar que la red de la ZOTVER ante estas condiciones no presenta alguna sobrecarga en equipos primarios o algún comportamiento atípico que pueda involucrar alguna estrategia operativa.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

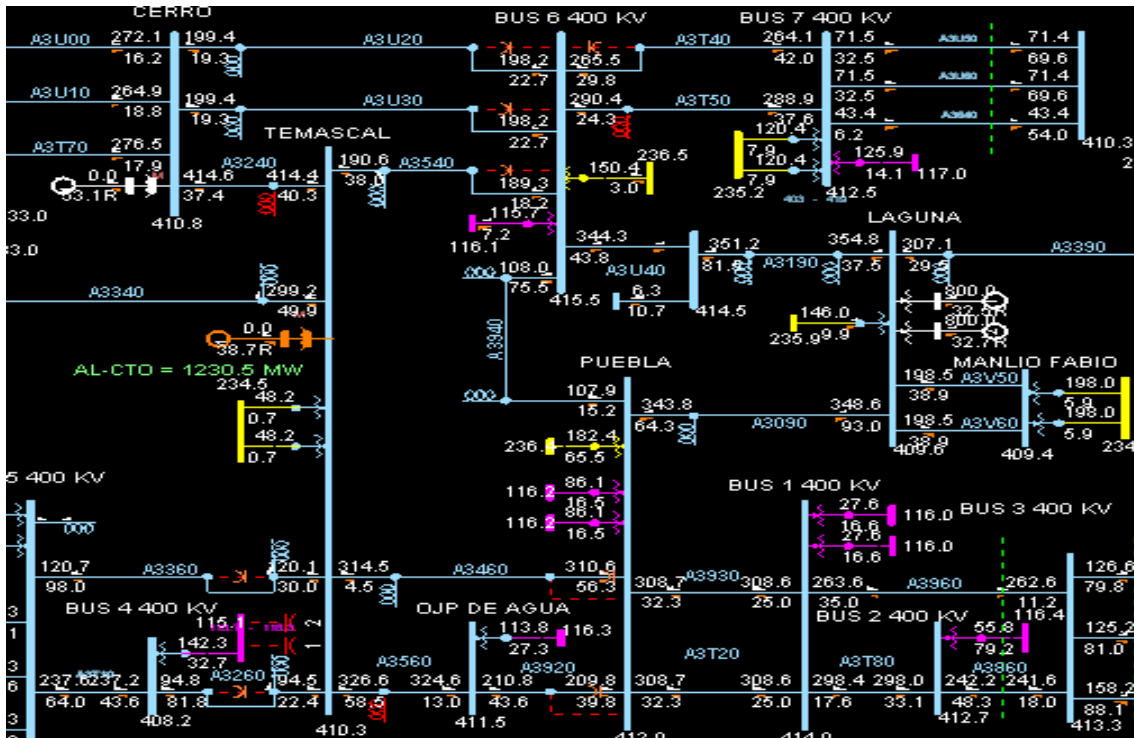


FIGURA 81 RED TRONCAL CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO

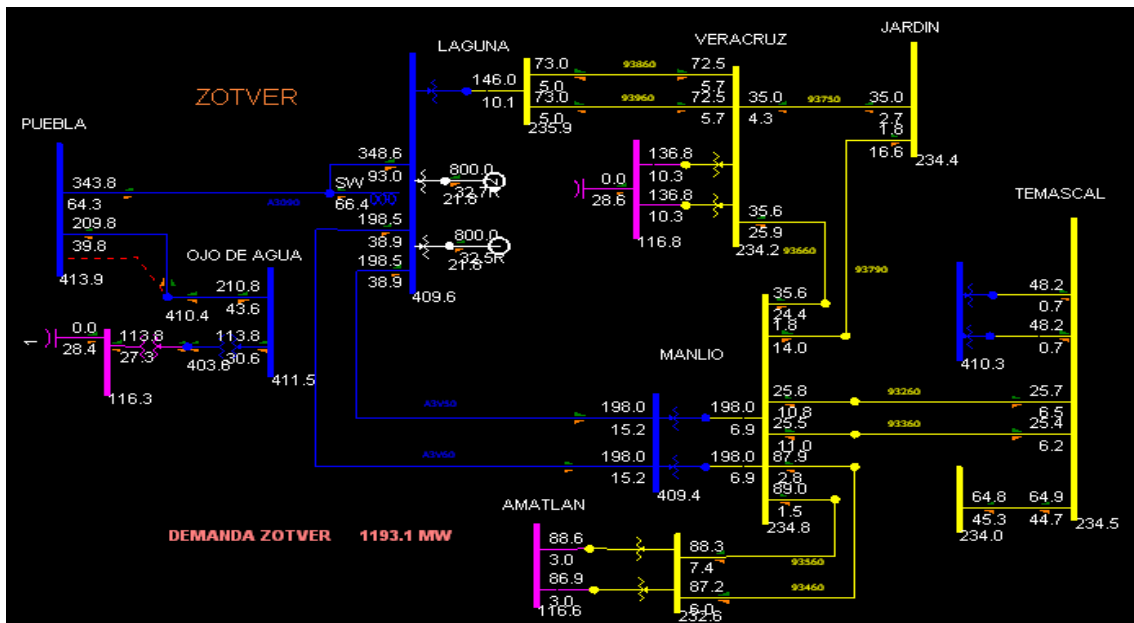


FIGURA 82 RED ZOTVER CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En la siguiente simulación las condiciones que se tienen en la red son, una demanda mínima (1200 MW) pero ahora con un flujo que va del centro del país al sureste (-1700 MW).

Dicha simulación nos muestra el aumento de flujo de potencia activa en líneas de 400KV y con ello se tiene también sobrecarga de autotransformadores de la subestación Manlio Fabio (780 MW), en los autotransformadores de la subestación Amatlán (210 MW), y líneas de 230KV (400 MW).

Ante el aumento de flujo de potencia activa también se puede notar el cambio drástico del perfil de voltaje el cual empieza a disminuir en los diversos nodos de 400KV y 230 KV.

En la red de la ZOTVER se nota como el flujo de potencia activa circula de 400KV hacia 230KV, y a su vez circula del corredor de la subestación Manlio hacia la subestación la subestación Temascal, y una porción de flujo se distribuye hacia la subestación Amatlán.

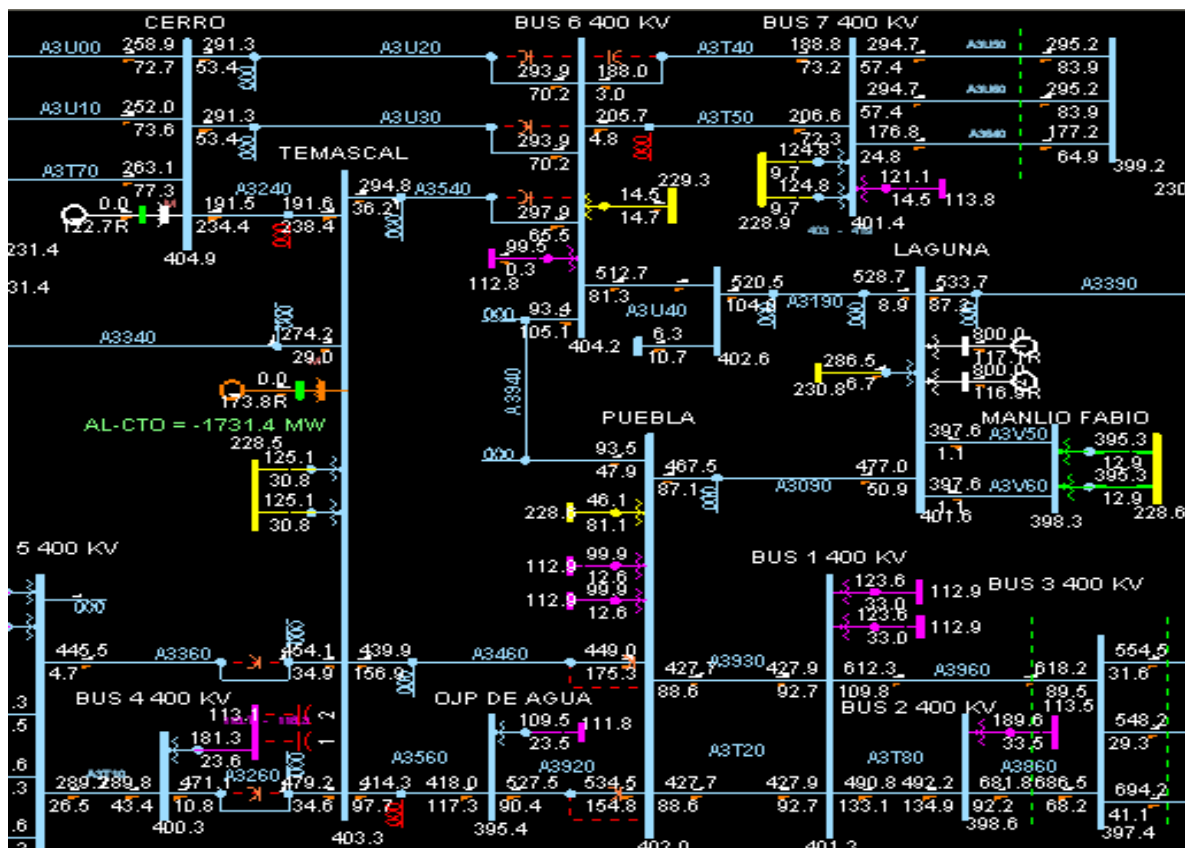


FIGURA 83 RED TRONCAL CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

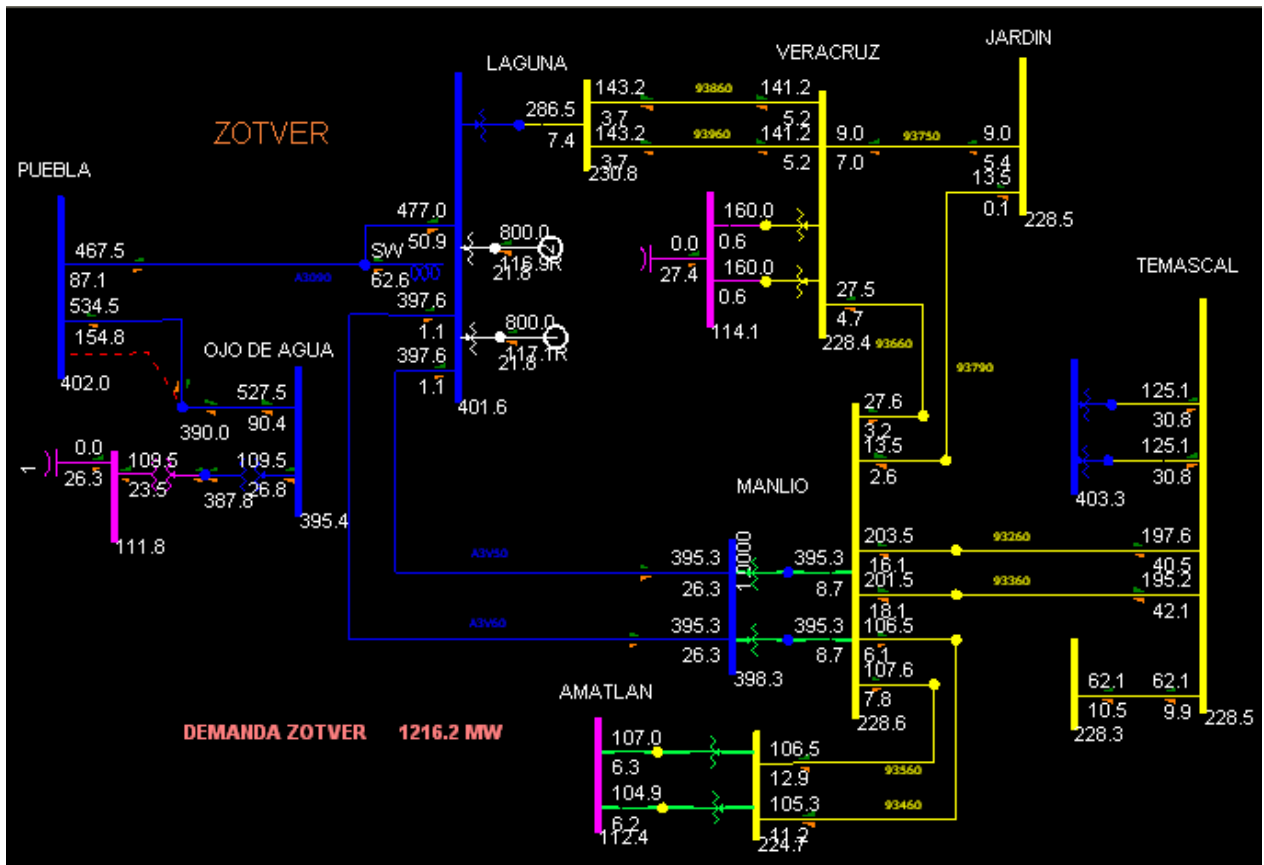


FIGURA 84 RED ZOTVER CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR

Para el caso de condiciones de demanda máxima (1500 MW), con flujo del sureste hacia el centro (1200 MW), se puede apreciar buen perfil de voltaje en la red de 400 KV, no hay ningún equipo primario sobrecargado.

En cuanto a la red de la ZOTVER se encuentra con un alto flujo de potencia en los bancos de la subestación Amatlán (210 MW), cabe aclarar que el ajuste de disparo de cada banco es de 130 MW, por lo que, si alguno dispara por diversas circunstancias, el otro banco que quede en servicio se disparara por sobrecarga.

Ante este escenario existen estrategias operativas en la ZOTVER para la descarga de flujo de potencia en esa subestación, pero por consecuencia al realizar estos procedimientos se verá reflejado la distribución de potencia en otros equipos de la red.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

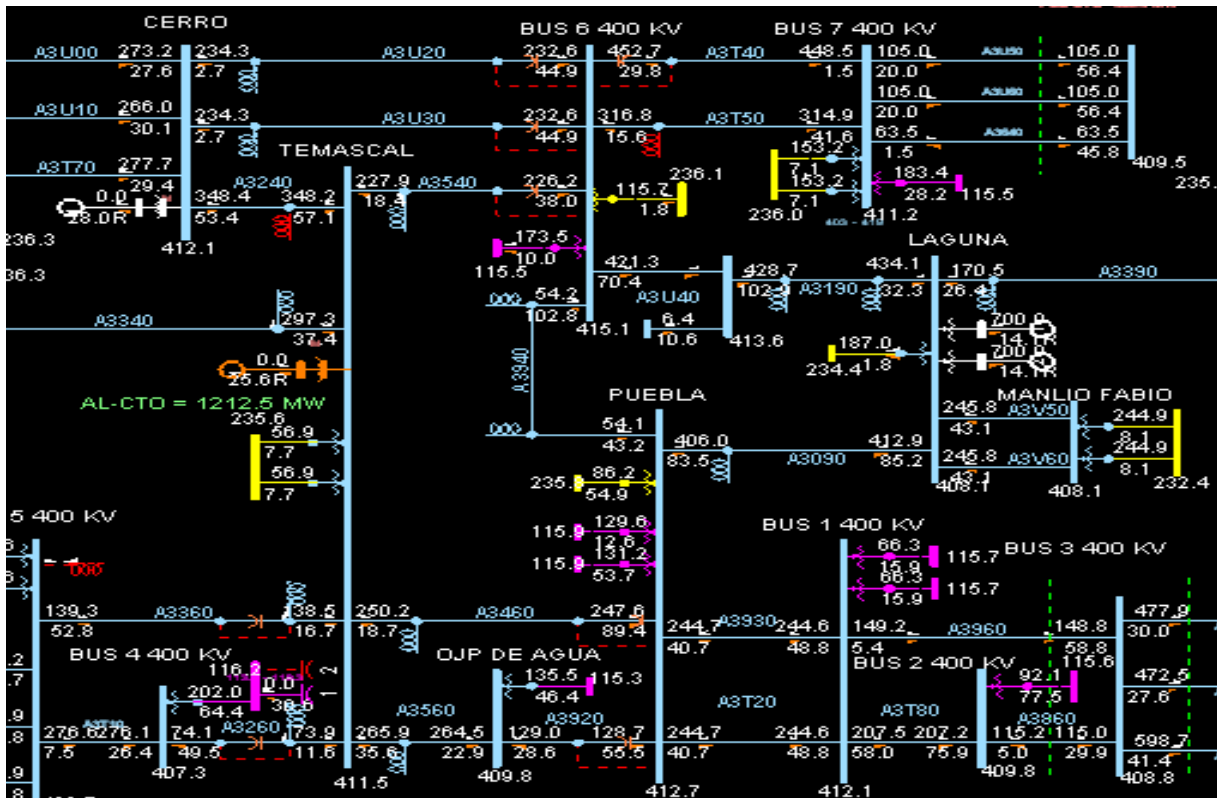


FIGURA 85 RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO

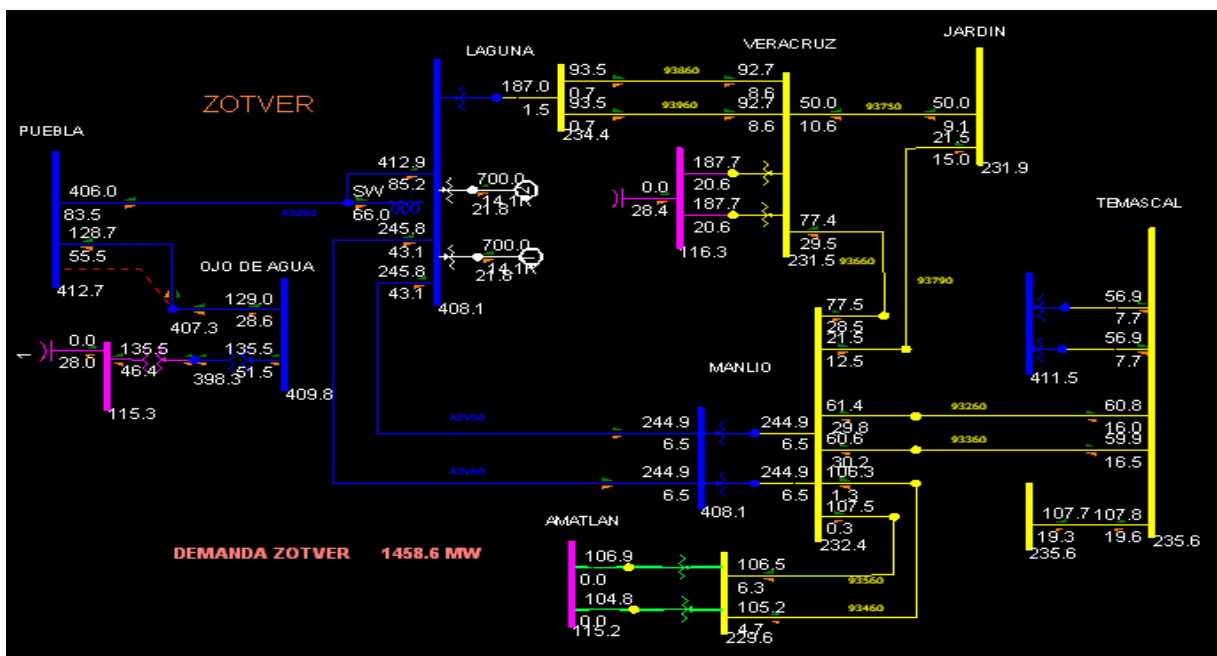


FIGURA 86 RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Ahora bien, cuando se tiene condiciones con una demanda máxima (1500 MW), pero con flujo del centro al sureste (-1600 MW), se puede observar en los nodos de 400 KV como Ojo de Agua, Bus 4 400 KV, Manlio y Laguna se tiene un bajo voltaje (400-399 KV) para esto se puede desconectar algunos reactores, o la conexión de capacitores localmente, se puede ocupar también el aumento de voltaje de generación de las unidades que se tiene en servicio. Se aprecia al igual en líneas de transmisión adyacentes a estas subestaciones que se tiene un alto flujo de potencia de activa (500 MW).

En cuanto a la red de la ZOTVER en primera instancia ya se puede lograr a observar el aumento de potencia activa en los bancos de Amatlán, con ello existe una sobrecarga (220 MW), también es el mismo caso de en los bancos de la subestación de Manlio con aumento considerable de flujo de potencia a tal grado que ya es una sobrecarga (800 MW).

En general los nodos tanto de 230KV como de 115 KV, tiene un perfil de voltaje bajo, las líneas de transmisión del corredor que va de la subestación de Manlio a la subestación de Temascal se nota un considerable aumento de flujo de potencia (400 MW).

Con este comportamiento a típico de la red, la cual el flujo de potencia que circula de 400 KV y tiende a bajar por la red 230 KV por medio de los bancos de Manlio y a su vez volver a subir por la subestación de Temascal de 230 KV ahora hacia 400 KV, al igual una parte se distribuirse por la subestación de Amatlán, es por ello que se tiene la sobrecarga en los equipos primarios importantes.

Para ello se tienen esquemas remediales que nos ayudan a la reducción de flujo de estas subestaciones, y también estrategias operativas por parte del operador que aportan para mitigar o considerar las contingencias N-1, pero no obstante estas acciones que se realizan por querer combatir esta problemática, afecta a otras partes de la red por el cambio que realiza la distribución de flujo de potencia, con lo que ahora nos lleva a tener otra topología de red y estar pensando en otra estrategia para tener en cuenta cualquier contingencia (N-1) que se pueda presentar.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

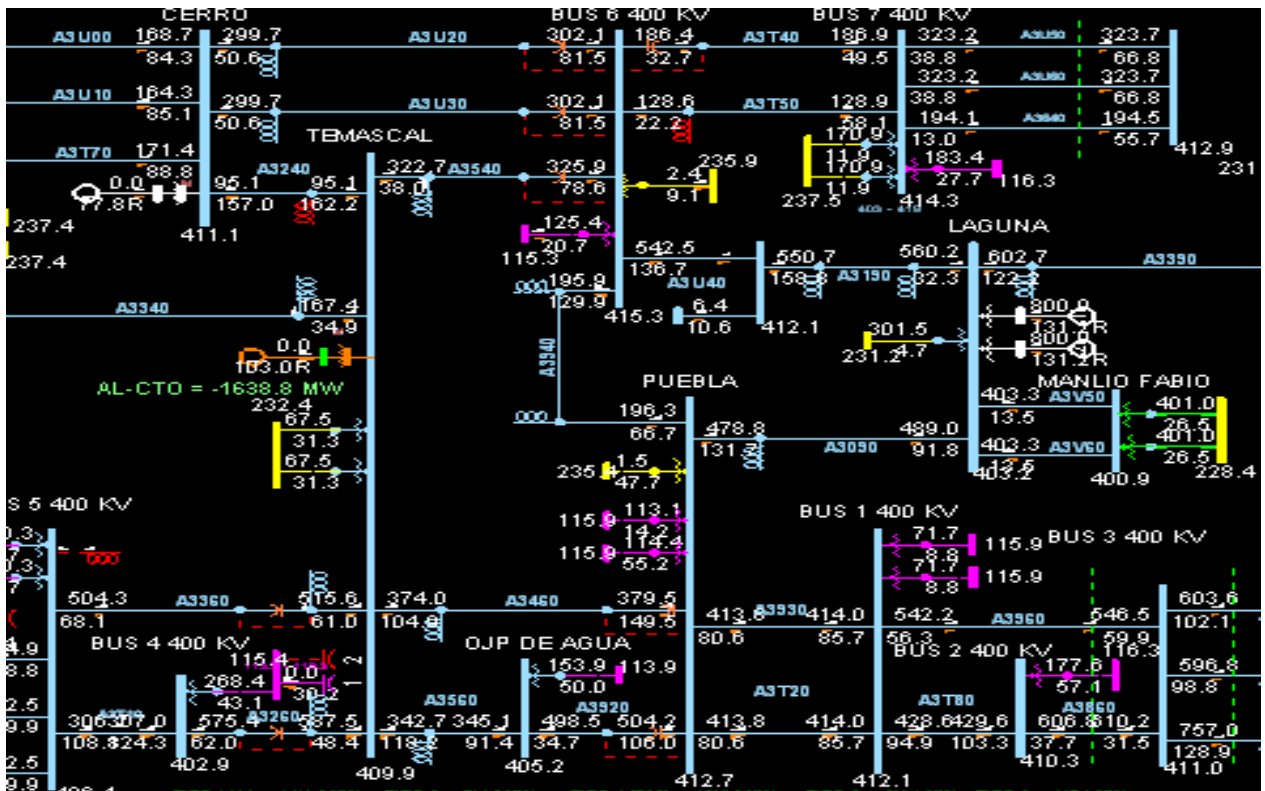


FIGURA 87 RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR

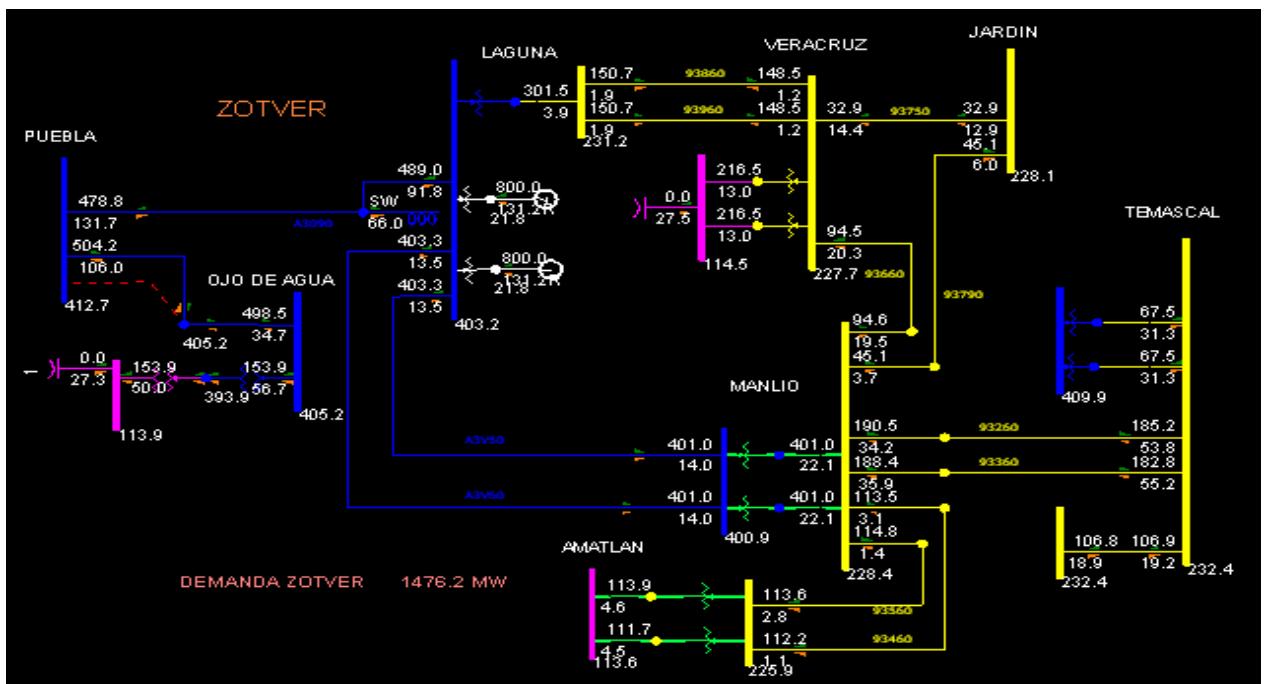


FIGURA 88 RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR



8.4 FLUJOS DE POTENCIA CON USO DE DIAGRAMAS UNIFILARES DE LA ZOTVER CON CAMBIOS DE TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV

Para este proceso de cambio de topología se utilizará nuevamente las condiciones ya mencionadas de las demandas mínimas y máximas, así como el flujo al centro, tomando en cuenta la nueva propuesta ya obtenida y observar el comportamiento que se pueda tener en los diversos escenarios.

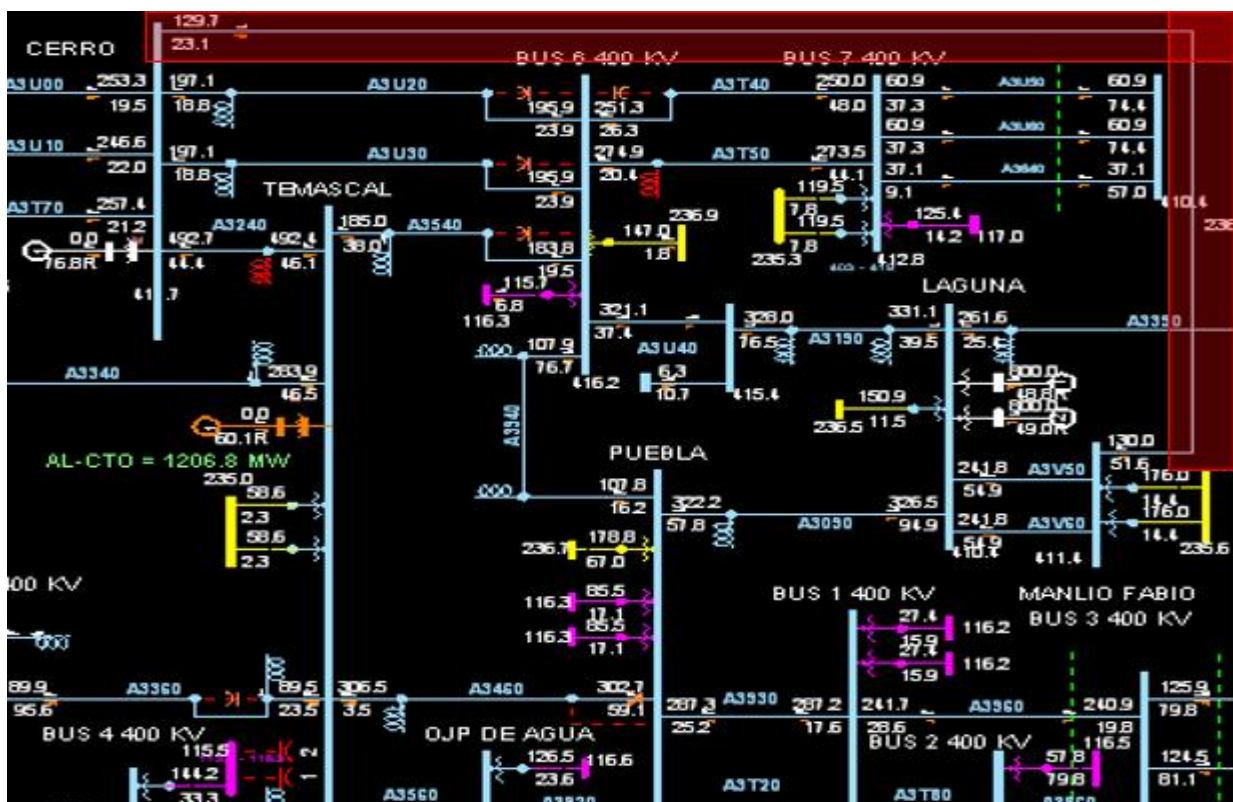


FIGURA 89 POYECTO NUEVO (LÍNEA DE TRANSMISIÓN DEL NODO CERRO AL NODO MANLIO FABIO) EN LA RED TRONCAL DE 400 KV

En la figura anterior podemos observar que se presenta la propuesta en la red troncal de 400 KV que va del nodo Manlio Fabio al nodo Cerro con un flujo al centro de 1200 MW, y con una demanda mínima de 1190 MW.

Se analiza que no hay alguna sobrecarga de equipos tanto del troncal de 400 KV como en la red de la ZOTVER, pero lo que sí se puede apreciar es la disminución de flujo



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

potencia en los bancos de Manlio, Amatlán y el aumento en los bancos de la subestación Ojo de Agua, Temascal y Laguna.

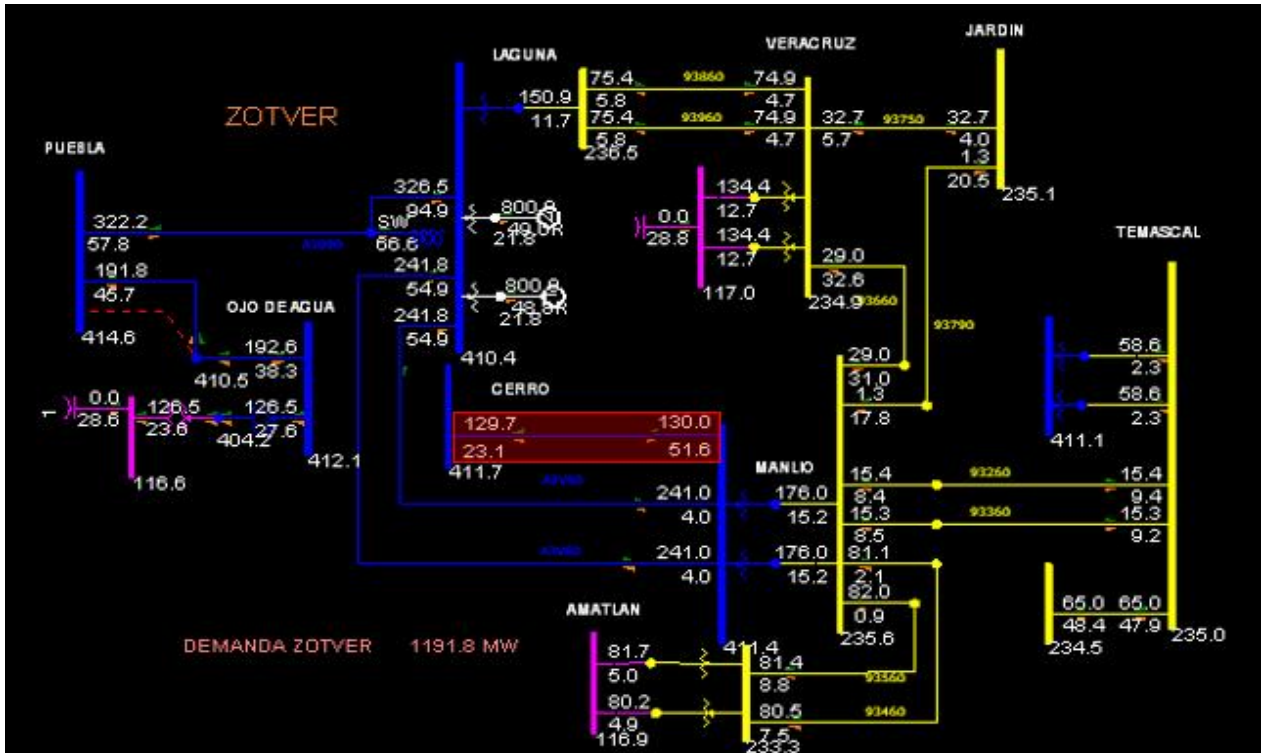


FIGURA 90 PROYECTO NUEVO EN LA RED DE LA ZOTVER

SIN PROPUESTA (MW)		CON PROPUESTA (MW)	
MFA	400 MW	MFA	350 MW
TMD	100 MW	TMD	120 MW
ATD	190 MW	ATD	180 MW
LAV	146 MW	LAV	150 MW
OJP	113 MW	OJP	128 MW

Tabla 11 COMPARACIÓN EN MW DE FUENTES PRINCIPALES FLUJO SUR AL CENTRO

Para las siguientes simulaciones el cual se tiene demanda mínima, pero se observa que al existir un cambio en la red 400 KV, en este caso una nueva línea de transmisión, ya no se tiene el mismo flujo al centro, aun así, considerando la misma generación en este caso del sureste como el centro del país.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

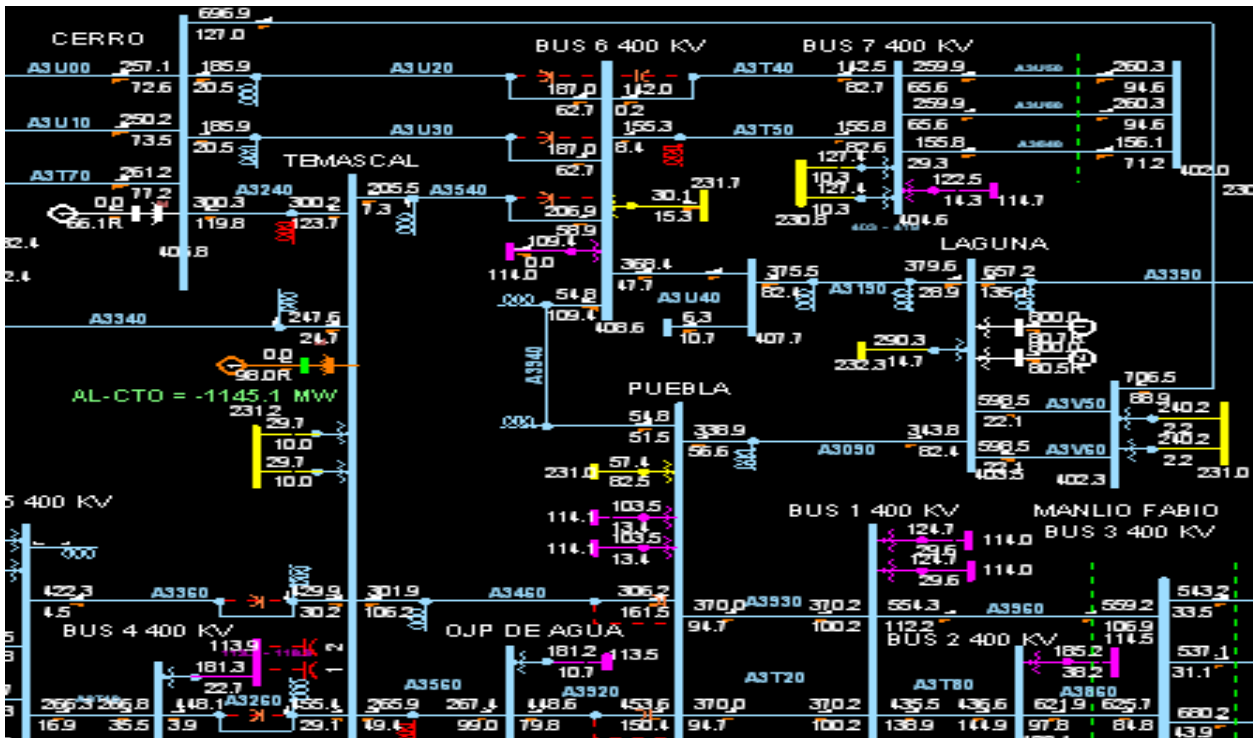


FIGURA 91 RED TRONCAL CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA

Lo que se puede mencionar ante este estudio, es que un importante flujo de potencia circula por la línea nueva la cual llega hasta los 700 MW ante el flujo invertido, pero en general se tiene mejor perfil de voltaje, no se tiene sobrecarga de equipos en red troncal de 400 KV.

En cuanto a la red de la ZOTVER también se tiene mejor perfil de voltaje, no se tiene ningún equipo con sobrecarga, y algo muy significado que también se observa es que la mayor parte del flujo de potencia ya no se dirige de 400 KV hacia 230 KV, si no que ahora se mayormente a 400 KV, por lo que no impacta mucho a esta red.

SIN PROPUESTA (MW)	
MFA	800
TMD	250
ATD	210
LAV	286
OJP	109

CON PROPUESTA (MW)	
MFA	280
TMD	60
ATD	120
LAV	290
OJP	181

Tabla 12 COMPARACIÓN EN MW DE FUENTES PRINCIPALES FLUJO CENTRO AL SUR



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

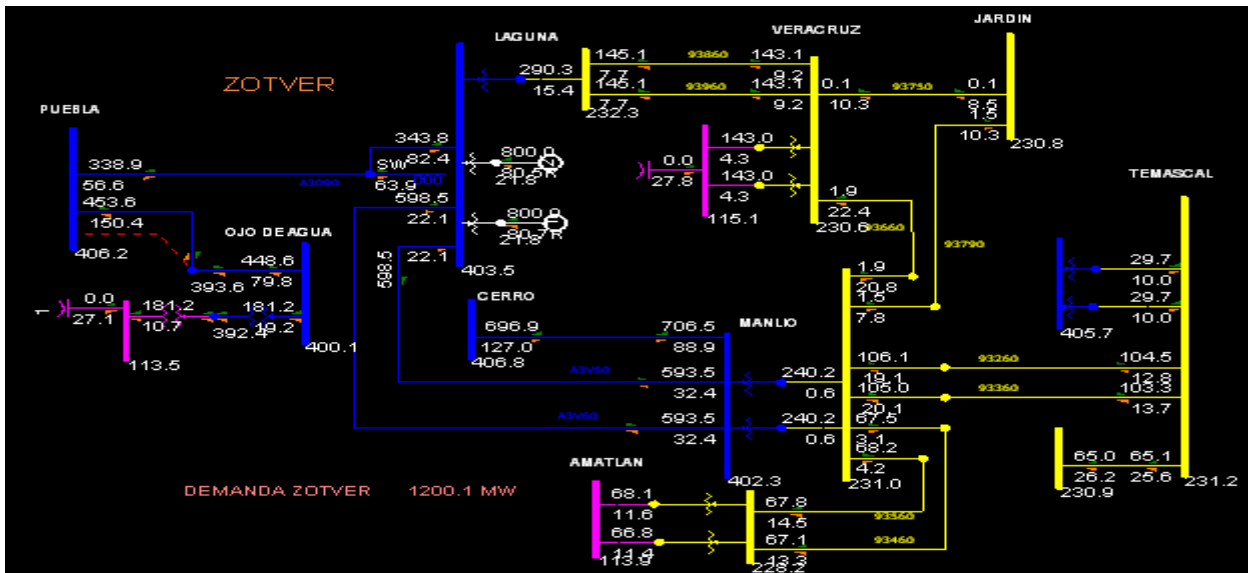


FIGURA 92 RED ZOTVER CON DEMANDA MÍNIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA

Se realiza la simulación de la apertura de la línea nueva para observar que sin esta propuesta se llega a valores de sobrecarga en los equipos principales de transmisión, flujo alto considerable en la red de 230 KV y bajo perfil de voltaje en general.

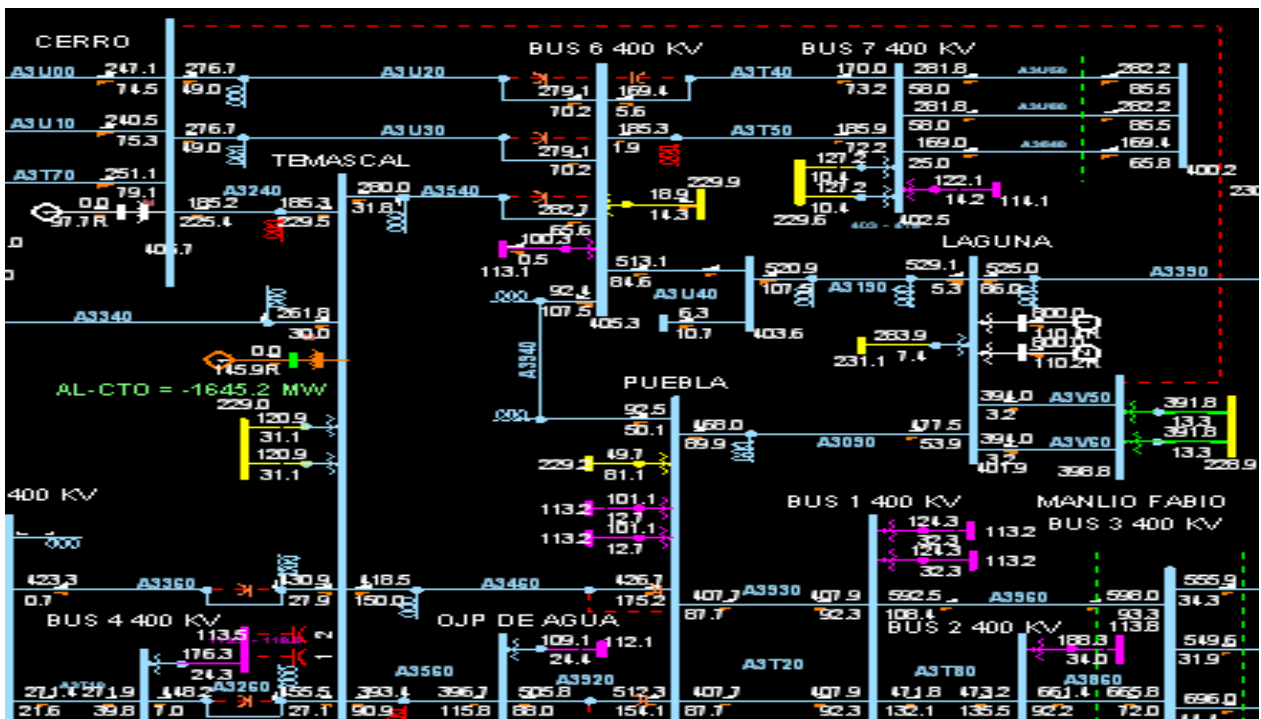


FIGURA 93 COMPORTAMIENTO DE 400 KV ANTE LA APERTURA DE LÍNEA NUEVA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

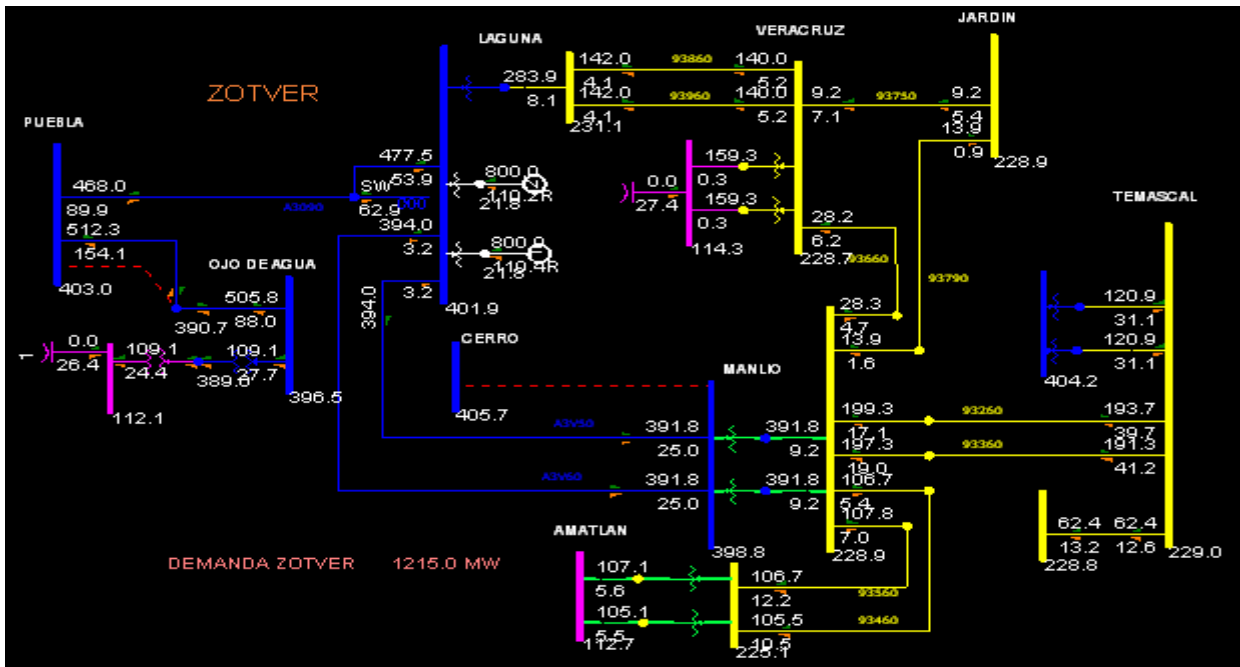


FIGURA 94 COMPORTAMIENTO DE 230 KV Y 115 KV ANTE LA APERTURA DE LÍNEA NUEVA

Se realiza las simulaciones para el caso de condiciones de demanda máxima (1500 MW), con flujo del sureste hacia el centro (1200 MW).

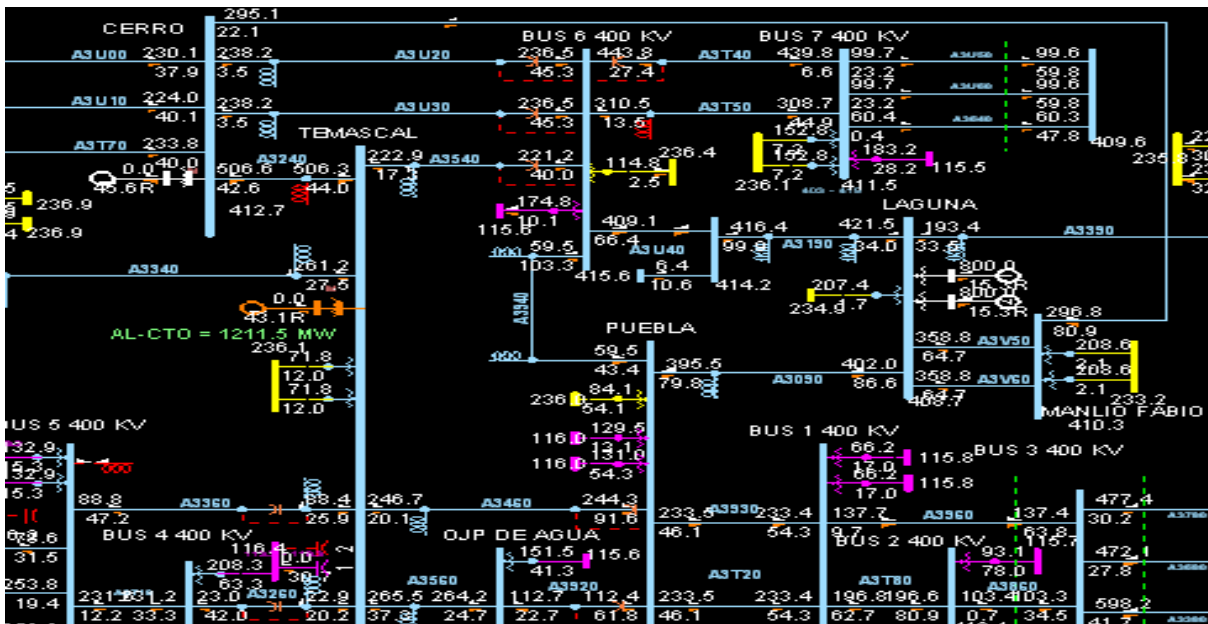


FIGURA 95 SIMULACIÓN DE LA RED TRONCAL CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO CON PROPUESTA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Se aprecia en la red troncal de 400 KV que no existe sobrecarga de equipos primarios y el perfil de voltaje es aceptable para la red.

También se puede mencionar que en la red de la ZOTVER tiene buen perfil de voltaje, no hay sobrecarga de equipos o corredores, pero se observa que apenas está llegando a su carga nominal los bancos de la subestación Amatlán.

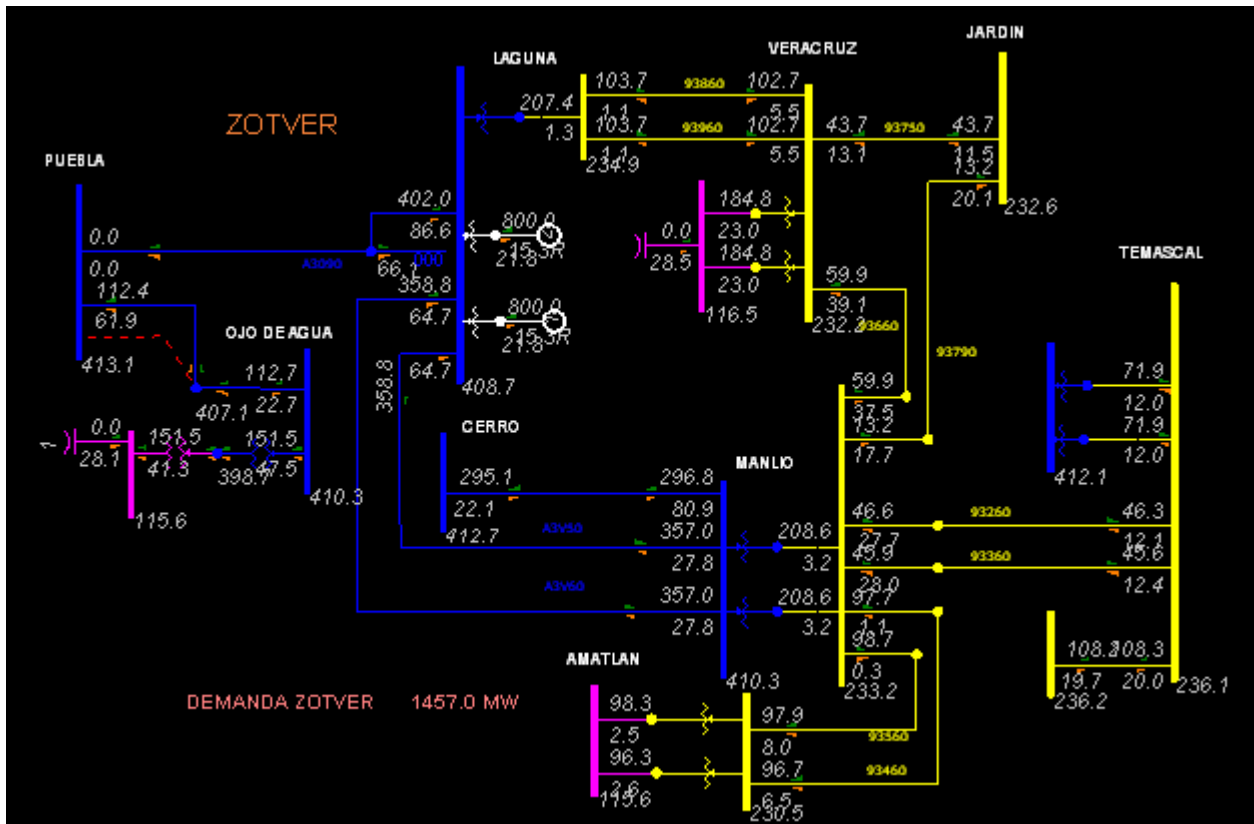


FIGURA 96 SIMULACIÓN DE LA RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO SUR AL CENTRO CON PROPUESTA

SIN PROPUESTA (MW)	
MFA	500
TMD	120
ATD	210
LAV	187
OJP	129

CON PROPUESTA (MW)	
MFA	400
TMD	140
ATD	195
LAV	207
OJP	150

Tabla 13 COMPARACIÓN EN MW DE FUENTES PRINCIPALES FLUJO SUR AL CENTRO DEMANDA MÁXIMA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

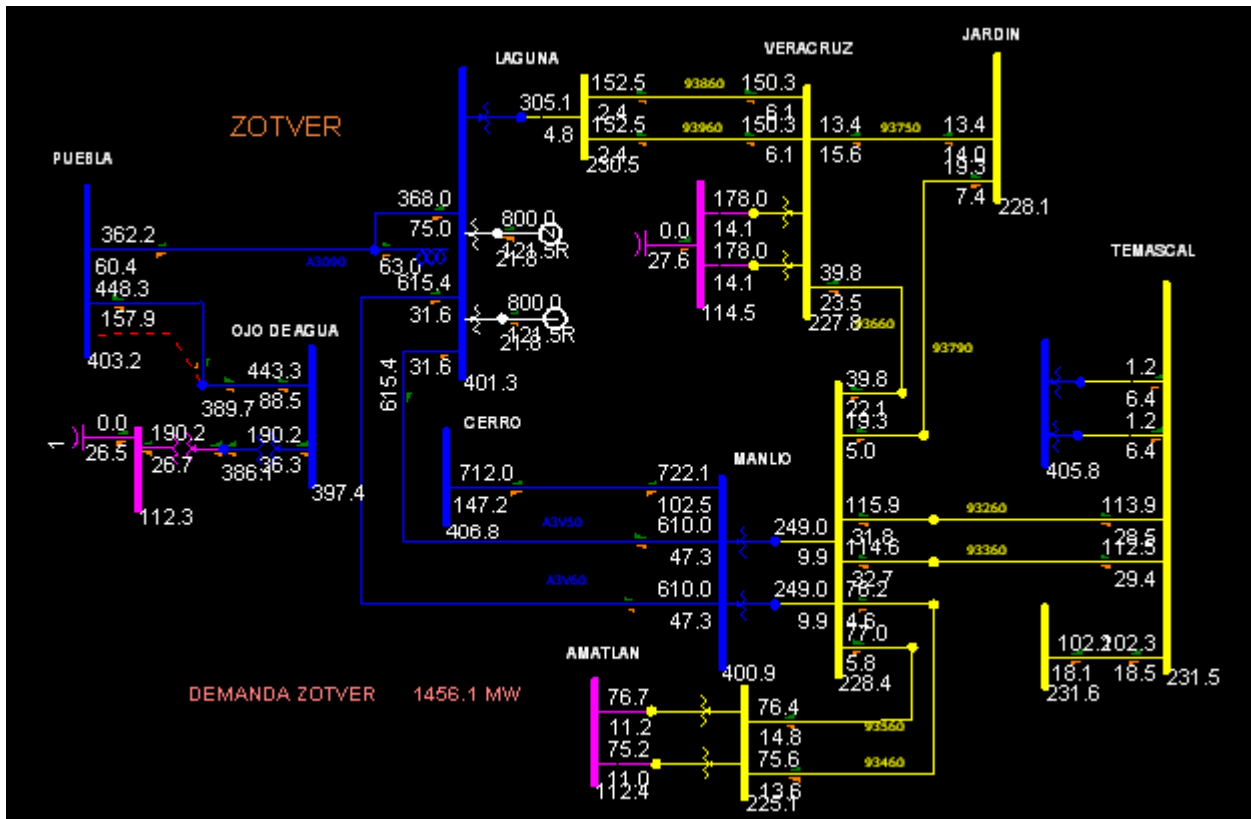


FIGURA 98 SIMULACIÓN DE LA RED ZOTVER CON DEMANDA MÁXIMA Y FLUJO CENTRO AL SUR CON PROPUESTA

8.5 ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS CON PROPUESTA

En este apartado se realizarán algunas de las contingencias más relevantes en la red de la ZOTVER para analizar y poder tener otro análisis con la propuesta ya mencionada. Dichas simulaciones se tendrán en cuenta solo las condiciones de flujo invertido, ya que en el transcurso de la tesis hemos podido apreciar que el mayor impacto que se tiene es cuando estamos en esta condición, ya sea en demanda máxima o demanda mínima. Enseguida se presentan flujos de potencia en demanda mínima:



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

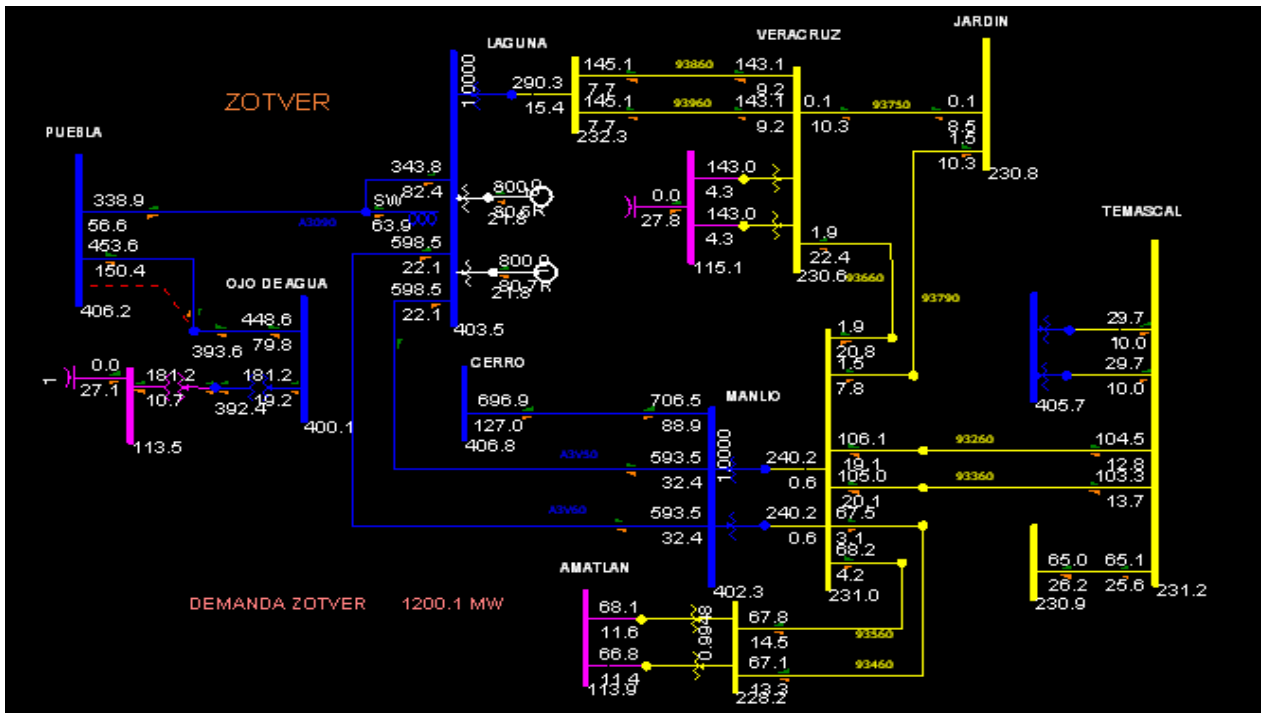


FIGURA 99 RED DE ZOTVER COMPLETA DEMANDA MÍNIMA

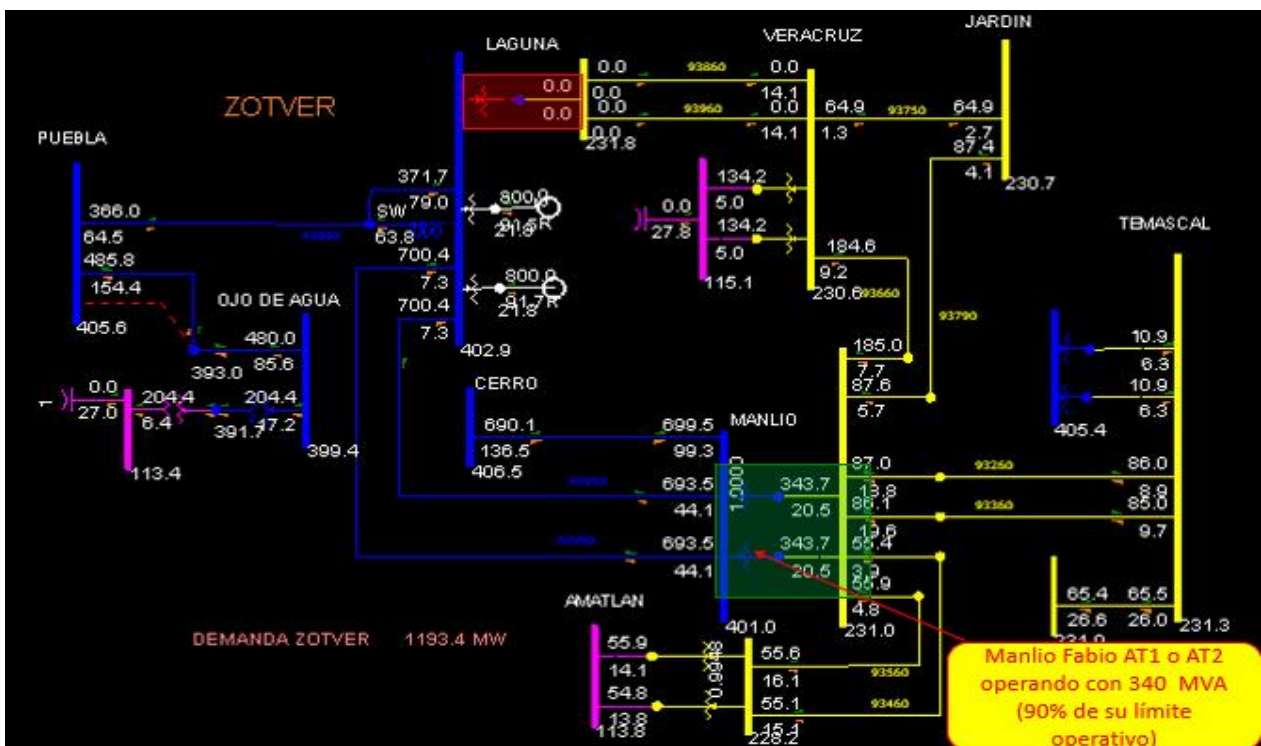


FIGURA 100 CONTINGENCIA EN BANCO DE LAGUNA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

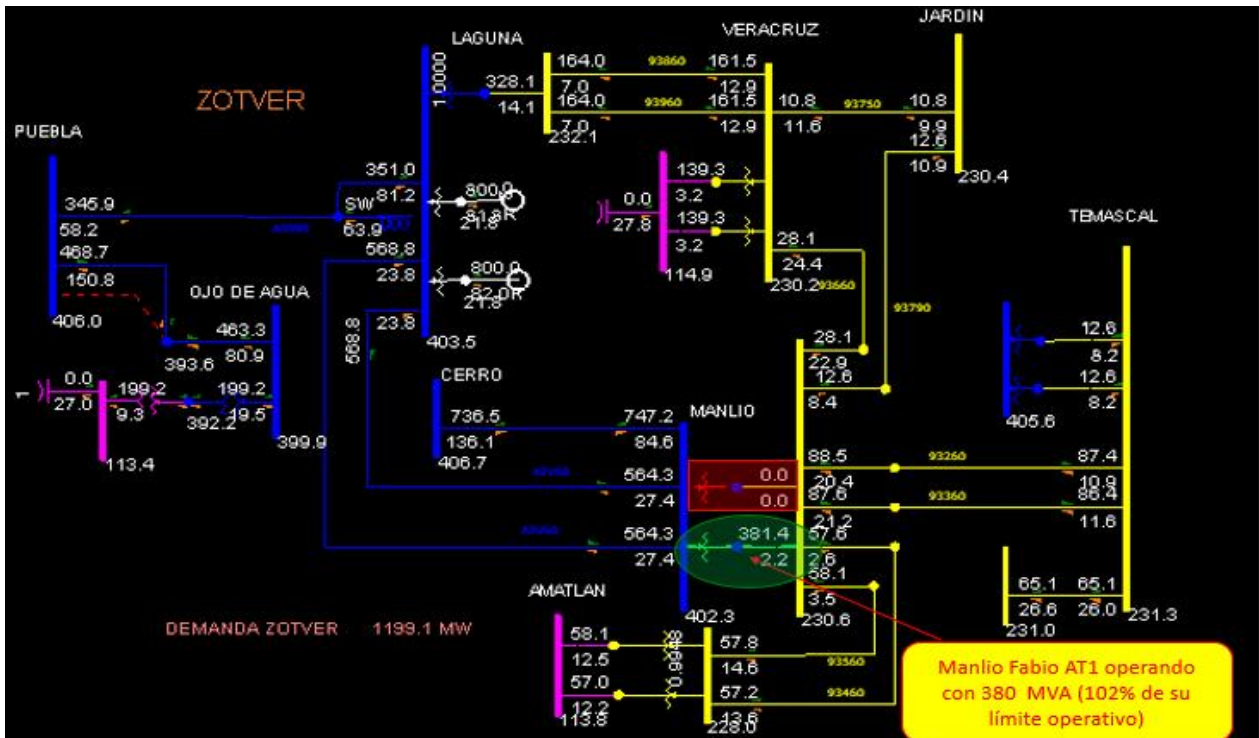


FIGURA 101 CONTINGENCIA BANCO AT1 DE MANLIO

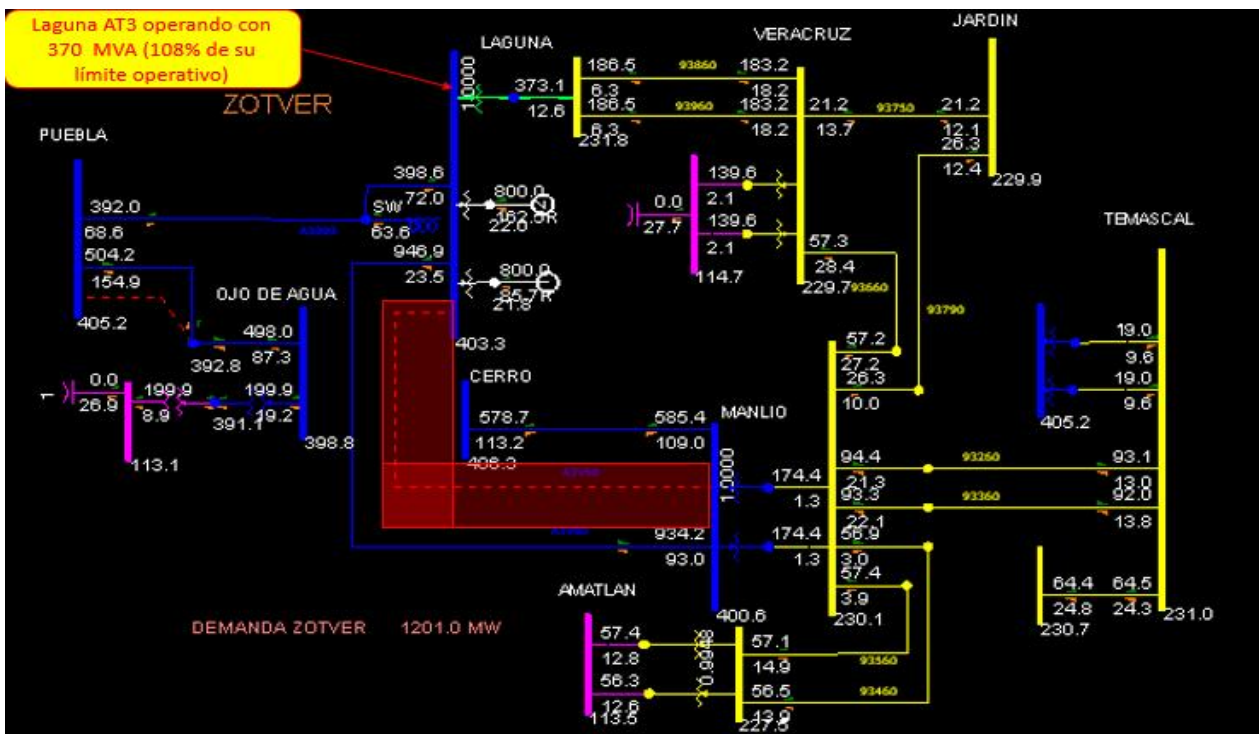


FIGURA 102 CONTINGENCIA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE NODO MANLIO AL NODO LAGUNA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

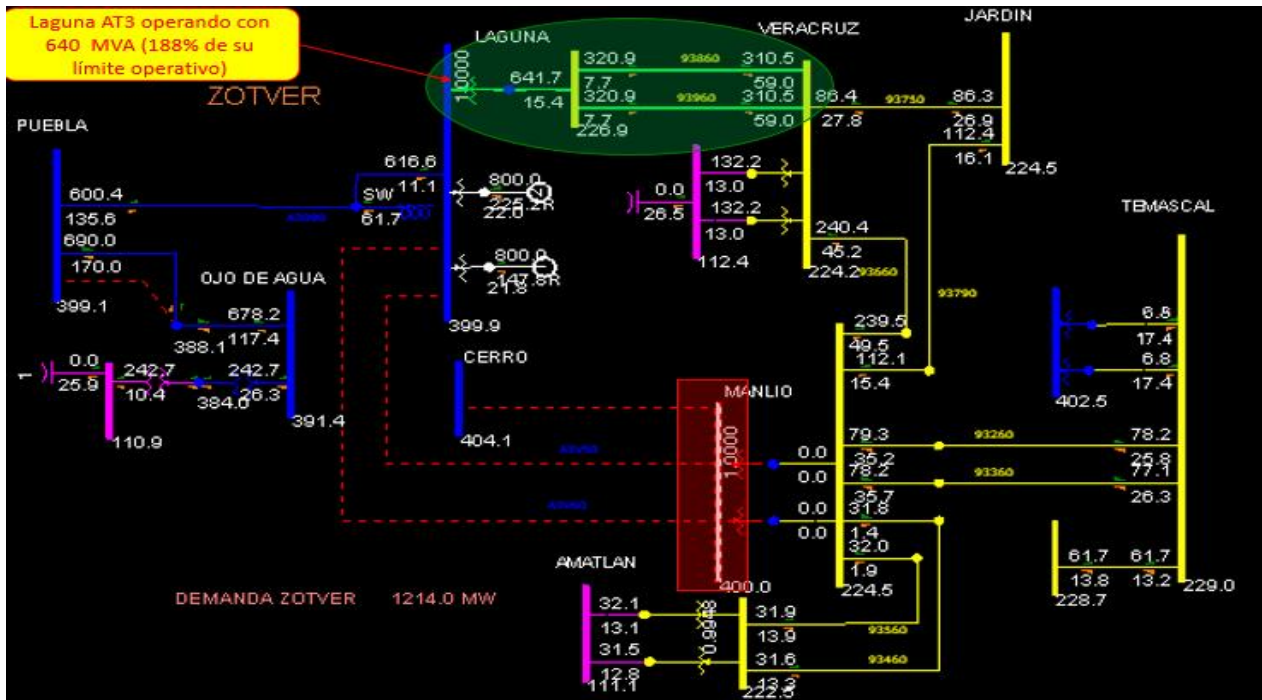


FIGURA 103 CONTINGENCIA BUS MANLIO 400 KV

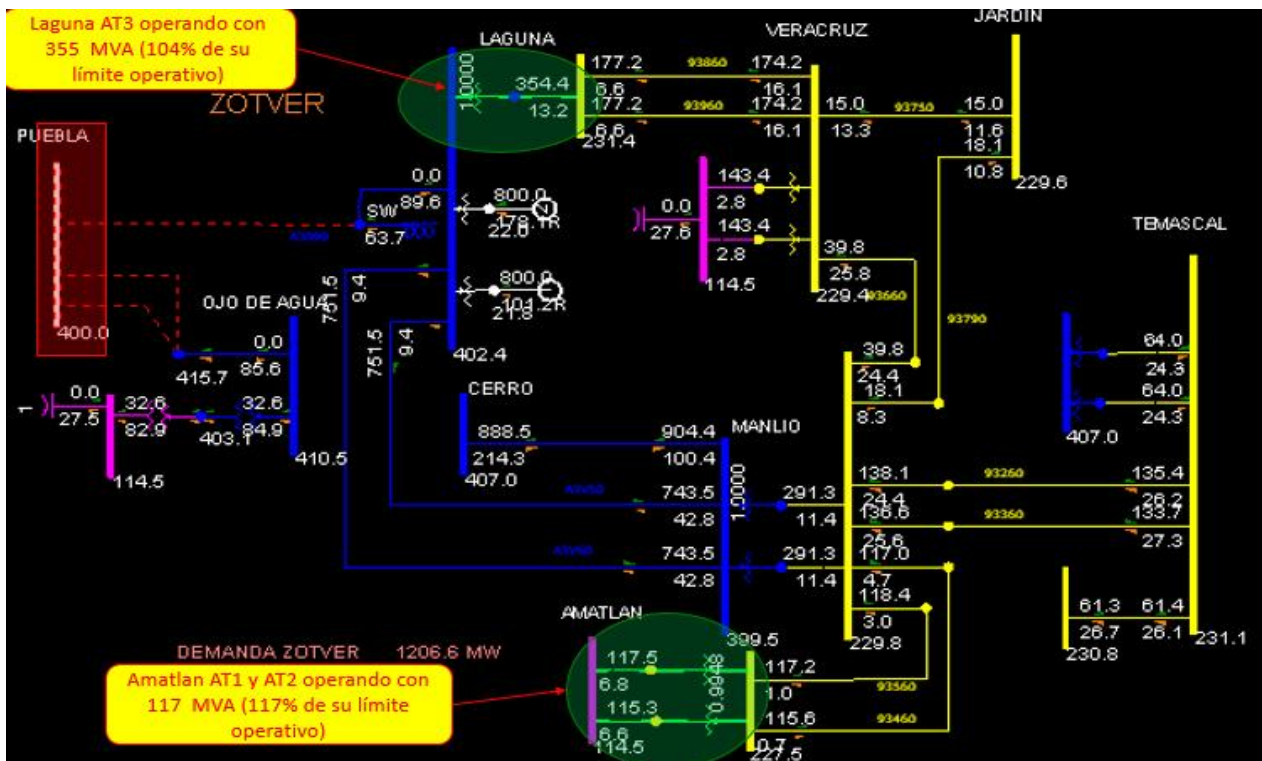


FIGURA 104 CONTINGENCIA BUS PUEBLA 400 KV



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

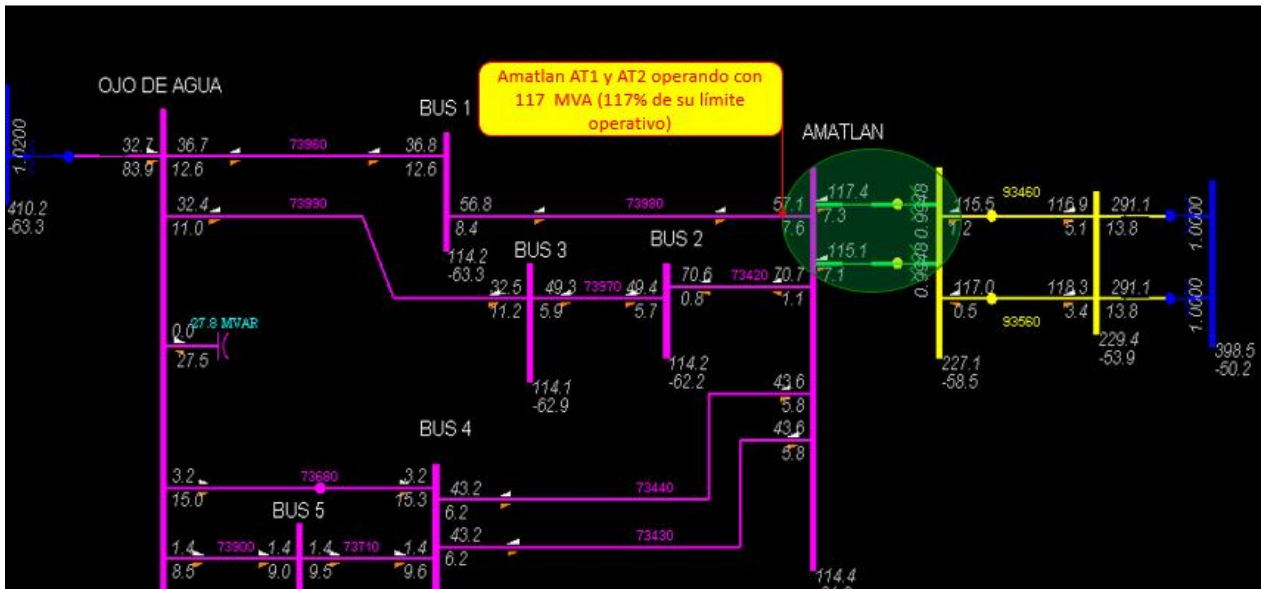


FIGURA 105 COMPORTAMIENTO DE LA ZONA ORIZABA ANTE DISPARO DE BUS PUEBLA 400 KV

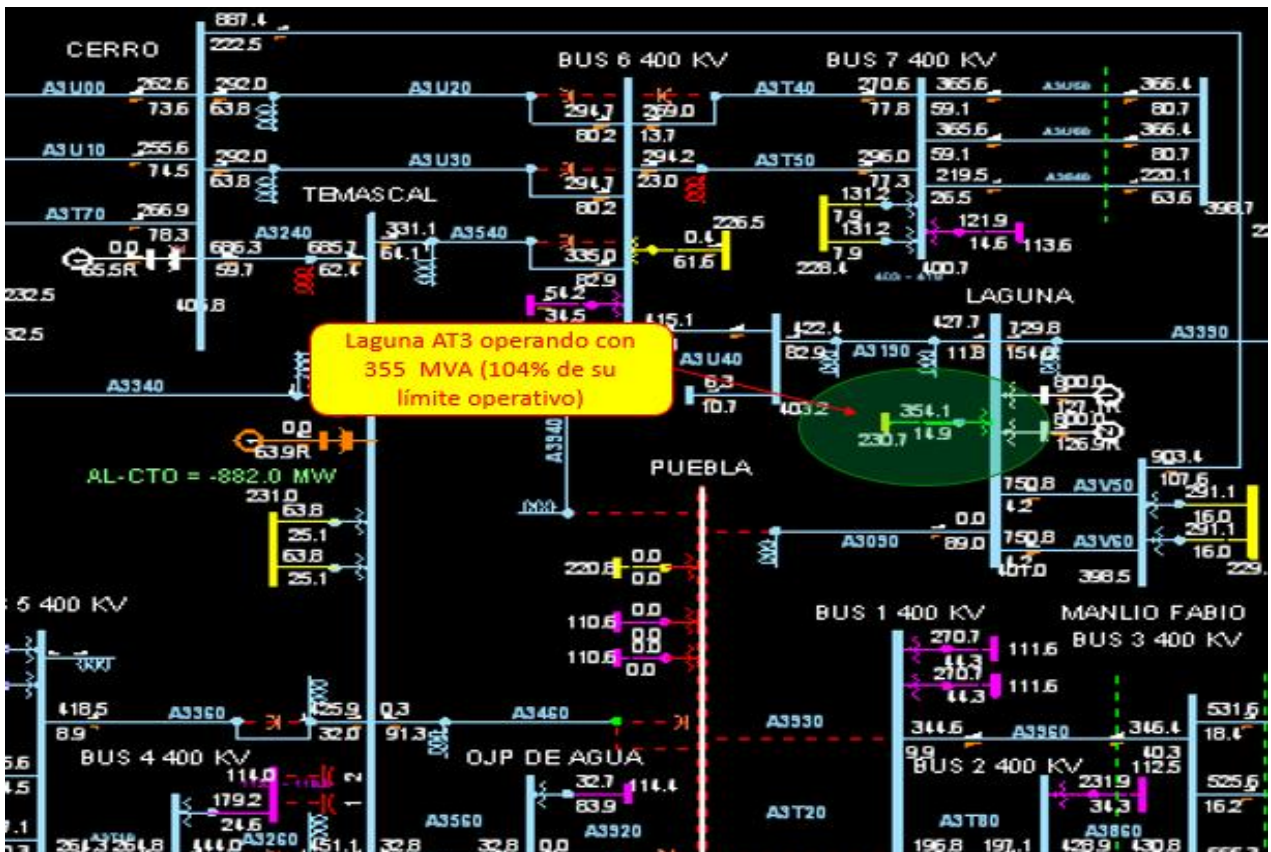


FIGURA 106 COMPORTAMIENTO DE LA RED TRONCAL ANTE DISPARO DE BUS PUEBLA 400 KV



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

Enseguida se presentan flujos de potencia en demanda Máxima con flujo centro al sur:

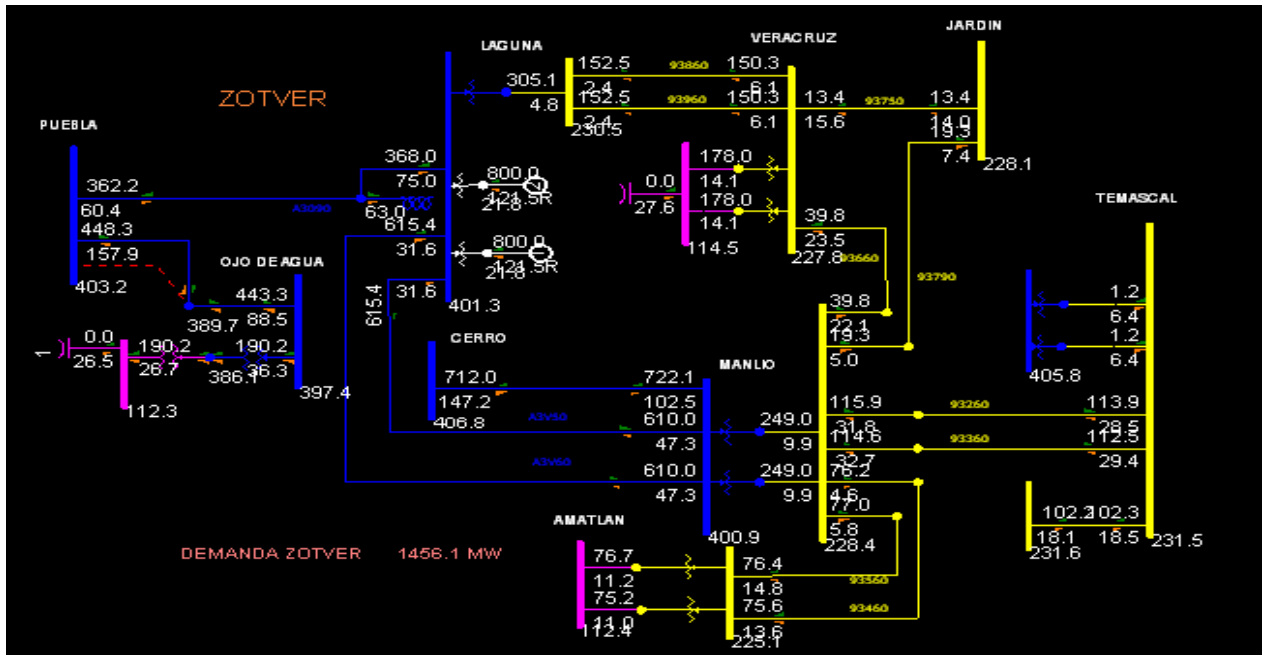


FIGURA 107 RED DE ZOTVER COMPLETA DEMANDA MÁXIMA

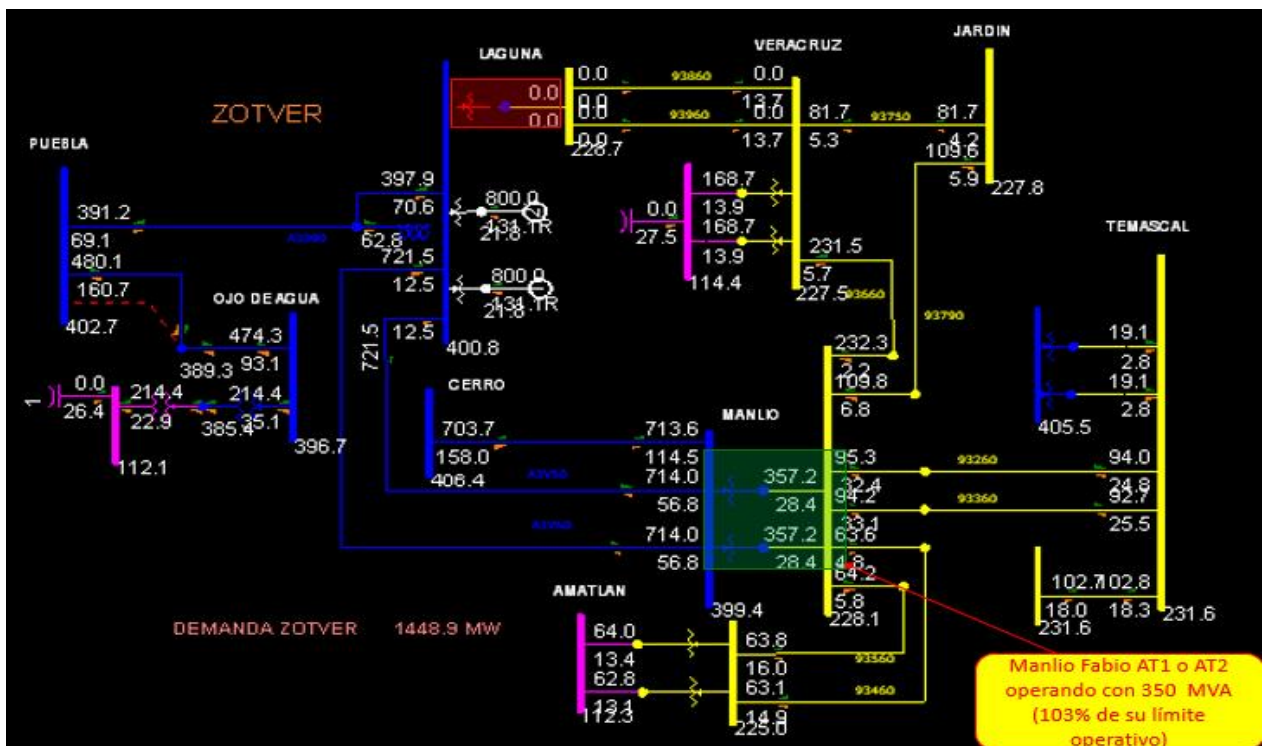


FIGURA 108 DISPARO DEL BANCO DE LAGUNA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

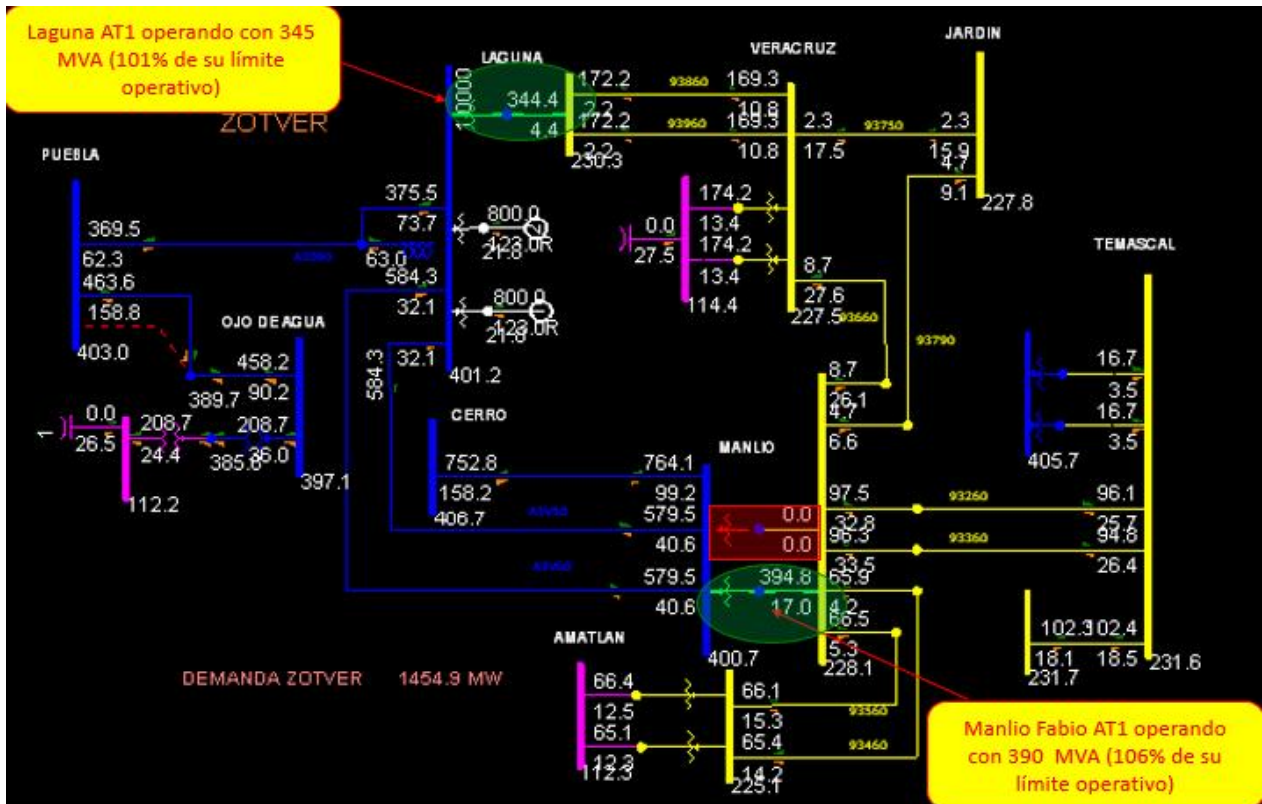


FIGURA 109 DISPARO DEL BANCO DE MANLIO

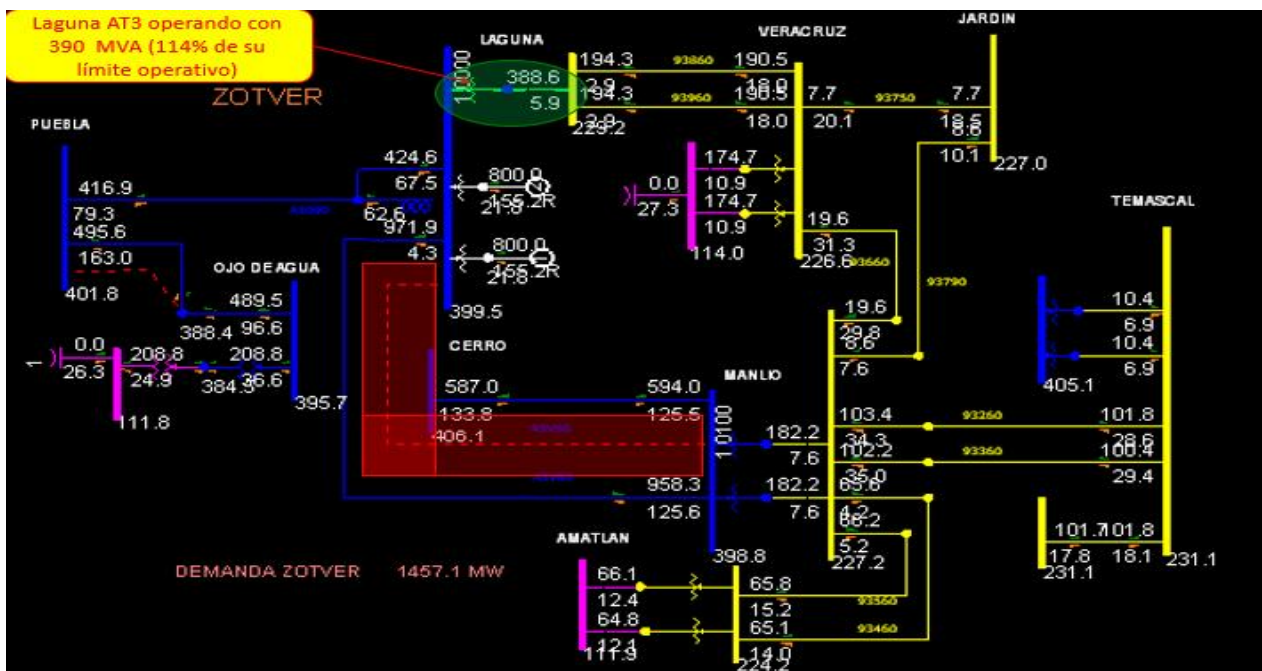


FIGURA 110 DISPARO DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN DEL NODO MANLIO AL NODO LAGUNA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

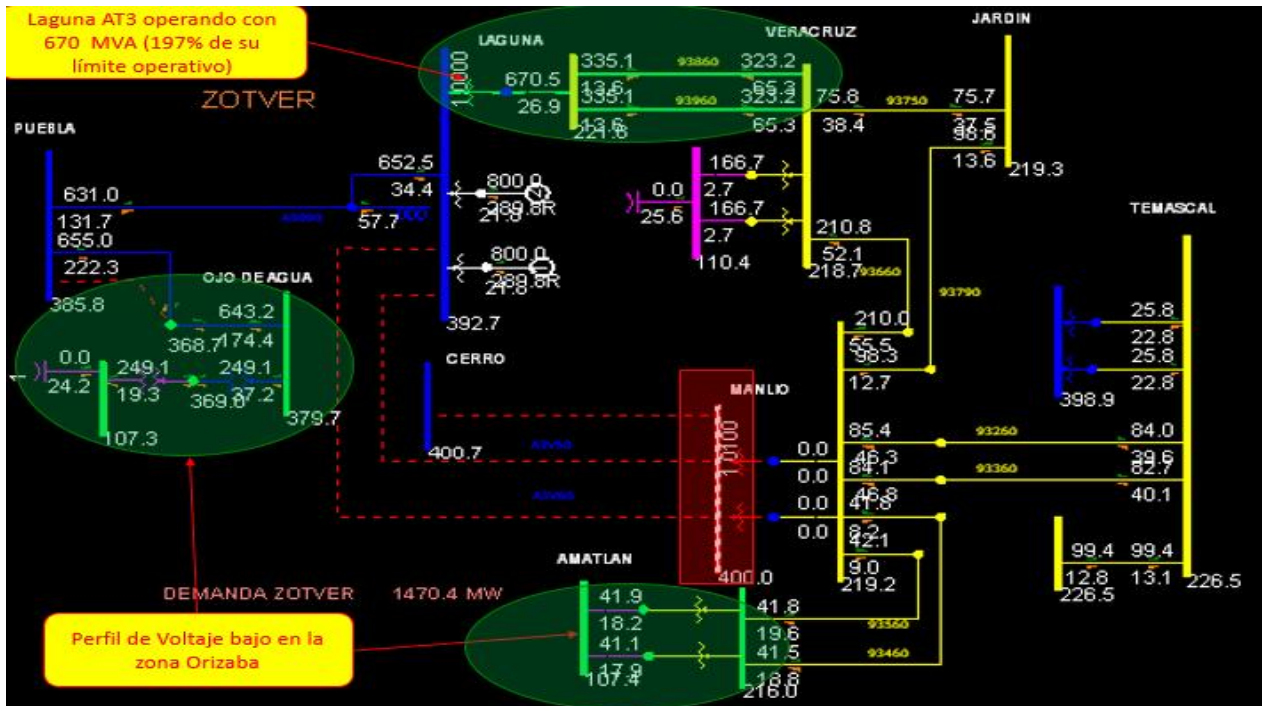


FIGURA 111 DISPARO DE BUS MANLIO 400 KV

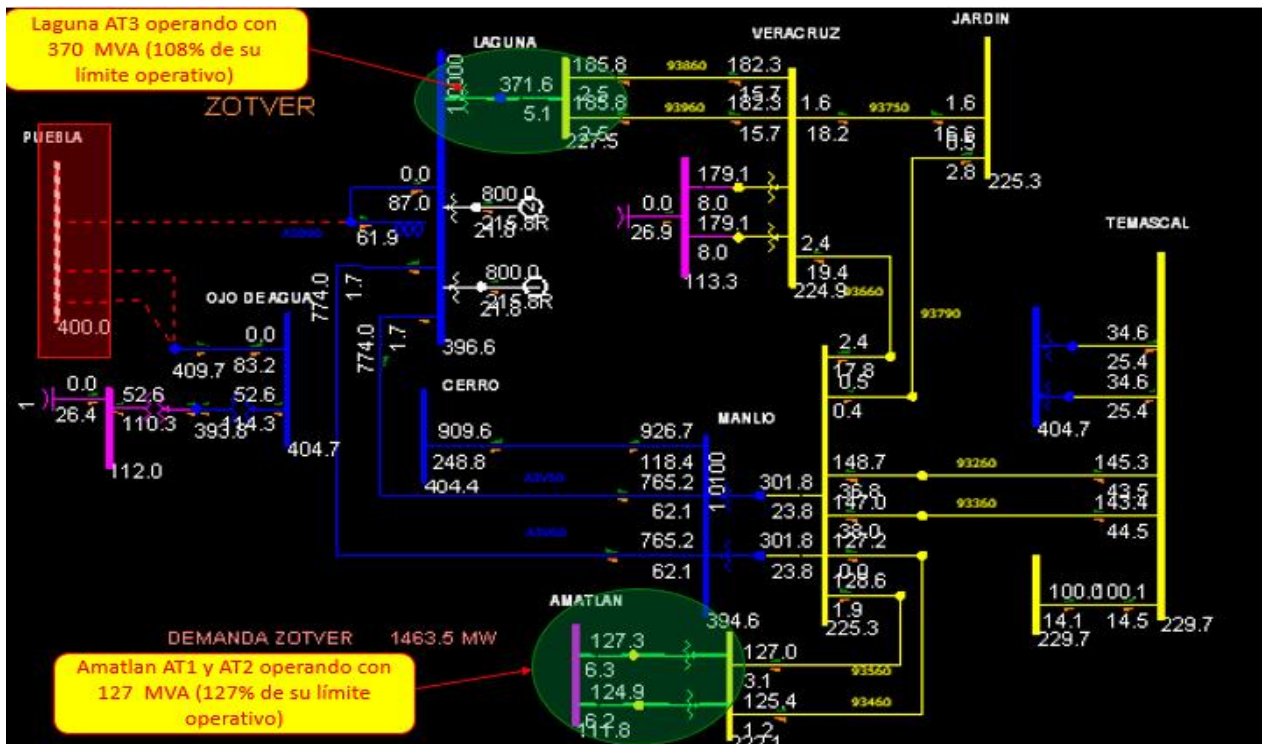


FIGURA 112 DISPARO DEL BUS DE PUEBLA 400 KV



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

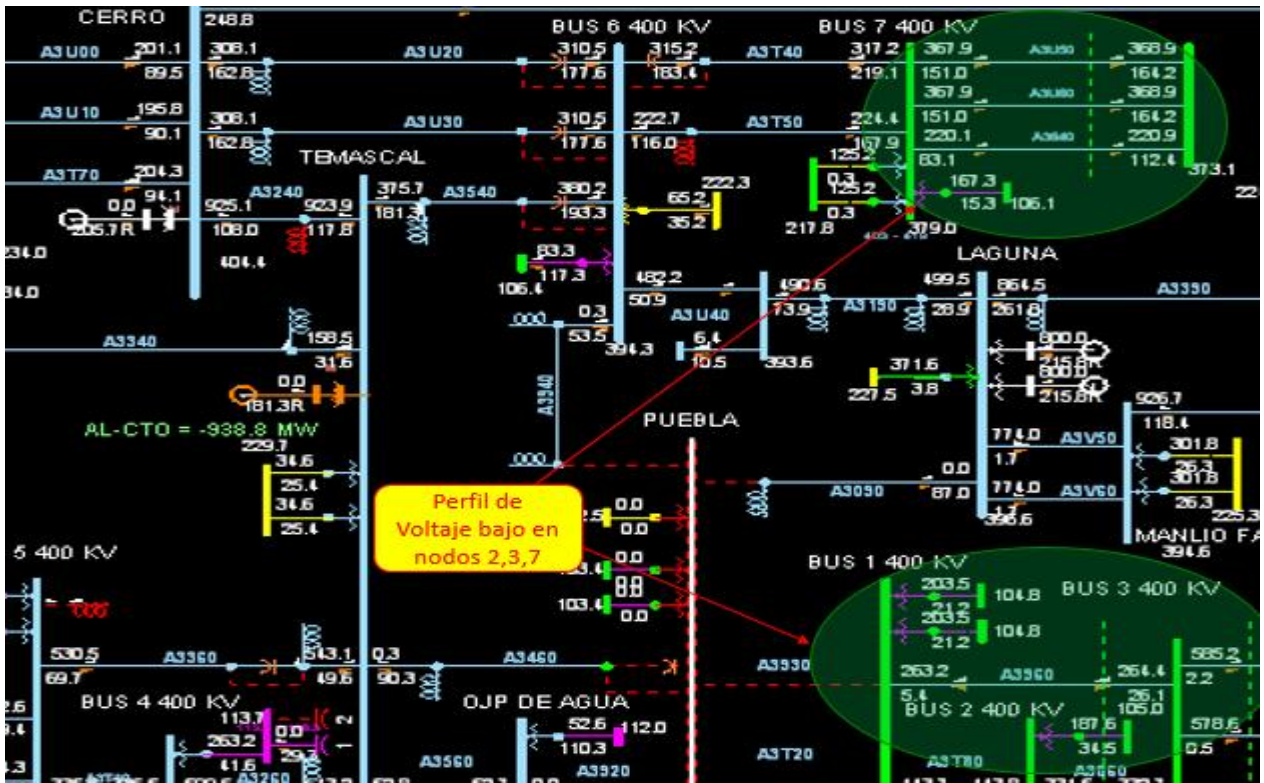


FIGURA 113 COMPORTAMIENTO DE LA RED TRONCAL DE 400 KV ANTE EL DISPARO DEL BUS DE PUEBLA

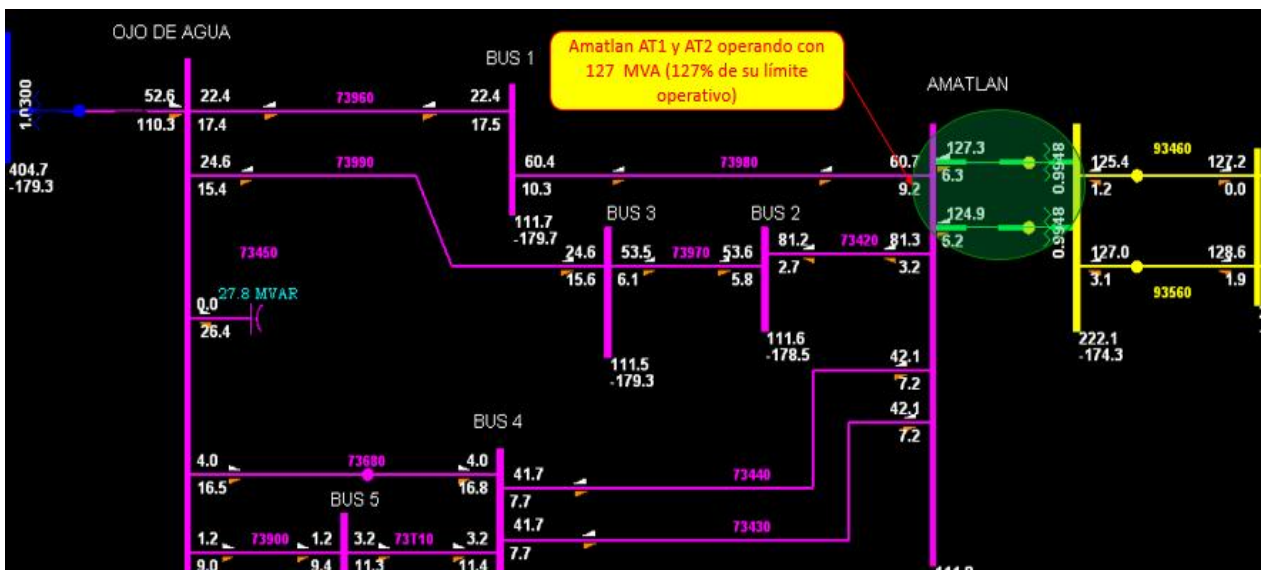


FIGURA 114 COMPORTAMIENTO DE LA RED DE ORIZABA ANTE DISPARO DEL BUS DE PUEBLA



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

En las simulaciones de flujo de potencias anteriores se puede apreciar claramente que la propuesta ante contingencias importantes en la red de ZOTVER nos ayuda a minimizar la circulación de flujo de potencia activa tanto tensión 230 KV y claro también en la red en 115 KV, teniendo demanda máxima o mínima con el comportamiento atípico ya mencionado.

Un ejemplo claro es cuando existe el disparo del banco de Laguna o el banco de Manlio y sin propuesta se esperaba sobrecarga en otros equipos a tal grado que pudiera existir una cascada de disparos por no poder soportar la circulación de flujo muy grande en ellos.

Pero con la propuesta ya implementada observamos que estas contingencias si tiene impacto en la red, pero no es tan brusco el cambio de distribución de flujos, y con ello se puede tener la oportunidad de tener alguna estrategia operativa para ayudar a la red en disminuir ese problema, por parte del operador.

Otra posible contingencia que pudiera tener impacto importante en la red, es la salida de Bus Manlio de 400 KV ante demanda máxima, podemos observar que el abatimiento de voltaje que es muy bajo en la red de 230 KV y 115 KV y aparte un alto incremento en el banco de Laguna y Ojo de Agua. En esta contingencia podemos tener problemas por la sobre carga muy alta en el banco de Laguna y al no poder soportar tanta carga se pudiera en un dado caso disparar, pero estamos considerando un flujo al centro muy alto y una demanda máxima, y con ello al máximo la generación de Laguna.

Cabe mencionar que esta contingencia mencionada al no tener la propuesta, se tendría un mayor impacto.

Por último, se realizó el análisis de contingencia del bus de Puebla de 400 KV, la cual esta contingencia se habló al principio de la tesis, la cual, con un flujo no muy alto al centro y una demanda mínima, fue de mucha relevancia, debido a la sobrecarga de equipo de 115 KV ya que el flujo tuvo una dirección de 400 KV hacia 230 KV y de ahí una parte a 115 KV que fue en la zona de Orizaba la que tuvo afectación.

Dicha contingencia se realiza de nuevo, pero ahora con la propuesta en la red troncal por lo que podemos observar mejora en la distribución de flujo de potencia activa, mejora en



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

el perfil de voltaje contado con una demanda mínima y un alto flujo de centro. Por lo que se puede decir que la propuesta es bastante viable para la red tanto la troncal como la ZOTVER. En la red de 115 KV los bancos de Amatlán están con sobrecarga, pero ante esto se puede todavía realizar una estrategia operativa para mitigar ese flujo en dichos bancos

También se analiza en demanda máxima con flujo al centro alto, en este caso se puede visualizar el impacto que tiene en la red de la ZOTVER, el cual se enfoca en los bancos de Amatlán con una sobrecarga de 127% de su límite operativo, pero en la red e Orizaba no hay sobrecarga alguna. También se pudiera realizar alguna estrategia operativa para disminuir el flujo en ellos. De igual manera la propuesta es una gran ayuda para esta contingencia.

8.6 CONCLUSIONES:

El sistema eléctrico de potencia en el ámbito de la zona de operación de transmisión Veracruz tiene un número considerable de equipos primarios que atender, esquemas remediales que supervisar, tener en cuenta los varios trabajos de mantenimiento que se tiene día con día, por lo que con ello se presentan diferentes condiciones en la red o cambio de topología, ya se al no contar con algún equipo por libranza o por contingencia, no olvidando de las diferentes demandas que se presentan en el transcurso del día.

Una de las condiciones atípicas que se estuvo tocando en el transcurso de esta tesis fue cuando existe el flujo que circula del sur del país al centro y viceversa, por ello se presenta una propuesta la cual hace un cambio de topología en la red troncal de 400 KV.

Dicha propuesta al ser implementada en la red contribuirá positivamente de manera significativa, ya que con los estudios que se realizaron, se pudo notar que el flujo de potencia que circulaba de 400 KV a la red de 230 KV se decremento de manera importante y ahora la mayor parte de flujo se dirige a la red de 400 KV lo cual es lo que



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

se busca, por consecuencia se puede observar que los equipos de la red de la ZOTVER no tienen sobrecarga, no se presenta un mayor trabajo o esfuerzo en ellos, como lo es en la actualidad con su topología.

Es por esta razón tan importante que se debe implementar esta propuesta en la red troncal de 400 KV, ya que con lleva a un buen beneficio a la red de la ZOTVER.

Asimismo, analizar conjuntamente con transmisión lo importante de esta propuesta y tener lo puede conllevar este proyecto para su realización.

Con esta propuesta nos aporta información valiosa para tener en cuenta puntos esenciales en la red, nos proporcionó un mejor conocimiento de la red en general, y conocimiento en la herramienta del PSSE, TMLC y flujos de potencia.



REFERENCIAS

- [1] Información Técnica de la ZOTVER, 2018.
- [2] SIEC suministro básico.
- [3] Información Técnica del departamento de Programación y Equipos. 2018.
- [4] Relatorio de la ZOTVER, CFE, versión 4.0.6, 2018.
- [5] Graficas del comportamiento histórico de la ZOTVER, PI ProcessBook, versión 3.2.0.0, 2009.
- [6] Programa del Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional.
- [7] Manual de coordinación Operativa
- [8] Información Técnica de la Gerencia de Control Oriental, 2018.
- [9] Simulación en PSSE con diagramas en el ámbito operativo de la ZOTVER.
- [10] Código de Red
- [11] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill 1994
- [12] Diagramas Unifilares de la ZOTVER
- [13] M. C. Reyes, P. A. Córdoba y E. Rivas, “Análisis de estabilidad transitoria y de pequeña señal en un sistema multimáquina: caso de estudio”. Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad, vol. 15, n°2, julio-diciembre 2018, 66-75. DOI: <https://doi.org/10.14483/2322939X.13685>.
- [14] Operación y Control del Sistema Eléctrico, Universidad Carlos III de Madrid escuela Politécnica Superior.
- [15] “Estudios de estabilidad transitoria en la red de 400 KV del sistema eléctrico de potencia del área de control oriental para mejorar su confiabilidad” Tesis de maestría Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- [16] “Estabilidad angular de un sistema eléctrico de potencia considerando la integración de reguladores de velocidad y voltaje” Tesis Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2018.



“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FLUJOS DE POTENCIA EN LA RED DE LA ZONA DE OPERACIÓN DE TRANSMISIÓN VERACRUZ CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED TRONCAL DE 400 KV”.

- [17]** Program Operation Manual PSS/E 30. Shaw Power Technologies, Inc.
- [18]** Información Técnica de Taller PSSE.
- [19]** Jhon J. Grainger y William D. Stevenson Jr. Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia McGraw-Hill de México.
- [20]** CURSO: FUNDAMENTOS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA CFE.
- [21]** “ESTUDIOS DE FLUJOS DE POTENCIA CON PSS/E”, Tesis de maestría Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- [22]** “SOLUCION AL PROBLEMA DE FLUJOS DE POTENCIA PARA UN SISTEMA DE 3 NODOS” Víctor Armando Vega Fernández Área de Control Oriental.
- [23]** Manual Simulador PSSE_V32
- [24]** Información Técnica de Transmisión Temascal
- [25]** Información Técnica de Transmisión Veracruz
- [26]** Software TMLC (Transmission Line Characteristics)
- [27]** Tabla de conductores ACSR (Aluminium Cable Steel Reinforced).
- [28]** Especificación CFE E1000-12 CABLE DE ALUMINIO CON CABLEADO CONCENTRICO Y NUCLEO DE ACERO GALVANIZADO (ACSR)