

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECÁNICA Y MINAS**

## **CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



### **TESIS:**

Para optar el título profesional de Ingeniero Electricista

---

---

**"ESTUDIO DE LA OPERACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN L-1001 Y L-1002 DEL SEIN  
CON LA INCORPORACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE MACHUPICCHU  
(2DA FASE) Y SANTA TERESA - CUSCO"**

---

---

### **PRESENTADO POR:**

Br. Romy Oswaldo Sueros Yépez  
Br. Diego Ronald Campos Zambrano

### **ASESOR:**

M. Sc. Vladimiro Canal Bravo

**TESIS AUSPICIADA POR EL CONSEJO DE INVESTIGACION DE LA UNSAAC**  
**Cusco - Perú**  
**2015**

## *Presentación*

---

---

*Señor Decano de la Facultad de Ingeniería: Eléctrica, Electrónica, Mecánica y Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con la finalidad de optar al Título Profesional de Ingeniero Electricista, presentamos ante usted la tesis intitulada **“ESTUDIO DE LA OPERACIÓN DE LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN L-1001 Y L-1002 DEL SEIN CON LA INCORPORACION DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE MACHUPICCHU (2DA FASE) Y SANTA TERESA -CUSCO”**, trabajo de investigación en el cual se ha desarrollado el estudio de la operatividad de estas líneas, tanto en el escenario actual, como en escenarios futuros con el ingreso de nuevos centros de generación, líneas de transmisión y nuevas cargas importantes en la región.*

---

---

*"Nuestros primeros esfuerzos son puramente  
instintivas incitaciones de una vívida e  
indisciplinada imaginación. Pero esos impulsos  
tempranos, aunque no son inmediatamente  
productivos, son del momento más grande y  
podrían darle forma a nuestros mismos  
destinos"*

*Nikola Tesla*

---

# *Dedicatoria*

---

---

*A mis dos amados hijos, Sebastián y Matías  
por convertirse en el motor y motivo de mi  
vida.*

*Romy Oswaldo Sueros López*

---

---

*A la persona más fuerte y valiente del  
mundo, una bendición que Dios puso en mi  
vida, mi mamá.*

*Diego Ronald Campos Zambrano*

---



# Agradecimientos

---

*A Dios por brindarme las herramientas necesarias, oportunidades, ser guía y luz de mi camino.*

*A mi papá Rómulo por brindarme su apoyo y el enorme esfuerzo que hizo para forjar mi desarrollo profesional, a mi mamá Norma por su entrega incondicional, y ser el pilar de mi vida.*

*A nuestro asesor, el Ing. Vladimiro Canal Bravo, al Ing. Wilbert Huanca Juárez, jefe de la C.H. Machupicchu y a todos los ingenieros de la carrera profesional de Ingeniería Eléctrica por aportar en mi desarrollo profesional.*

*A mi novia Paolita, mi hermano Johan y mis amigos Jonatan, Eduardo, Giancarlo y Pavel, quienes fueron un gran apoyo emocional y académico durante el desarrollo de mi tesis.*

*Y a todas aquellas personas que de grano en grano aportaron en mi crecimiento educacional y profesional.*

*Romy Oswaldo Sueros Pérez*

---

*A Dios, por estar a mi lado en mis momentos de alegría y tristeza, porque sin él no soy nada.*

*A mi mamá Ruth, porque con su lucha y constancia saco adelante nuestro hogar y porque me inspira cada día a no rendirme.*

*A mi hermano menor Alvaro, por ser el primer amigo que tuve y la razón para seguir luchando cada día.*

*Al Ing. Vladimiro Canal Bravo, por su apoyo y consejo, no solo en la elaboración de esta tesis, sino también a los largo de mi etapa de estudiante universitario.*

*A los Ingenieros de la Gerencia Comercial de la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A., por su apoyo, enseñanzas y amistad, me inspiran a ser un mejor profesional y una mejor persona.*

*A todos mis amigos, esas personas especiales que Dios puso en mi vida, cada momento que paso con ellos en invaluable.*

*Diego Ronald Campos Zambrano*

---



# Índice

<b>Introducción</b>	<b>xvi</b>
<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>xvii</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>xix</b>
<b>Cap. I: GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	5
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.6.1. Alcances	6
1.6.2. Limitaciones	7
1.7. HIPÓTESIS	7
1.7.1. Hipótesis General	7
1.7.2. Hipótesis Especificas	7
1.8. VARIABLES E INDICADORES	7
1.9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.9.1. Población y Muestra	8
1.9.2. Método y Alcance de la Investigación	8
1.9.2.1. Método	8
1.9.2.2. Alcance	8
1.9.3. Técnica de recolección de datos	9
1.9.4. Procesamiento de datos	9
1.9.5. Análisis de datos	9
Matriz de Consistencia	11
<b>Cap. II: FUNDAMENTO TEORICO</b>	<b>12</b>
2.1. INTRODUCCIÓN	12
2.2. EL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL	12
2.2.1. Categorización del Sistema de Transmisión Existente del SEIN	12
2.2.1.1. Sistema de Transmisión Troncal Nacional (STTN)	13
2.2.1.2. Sistema de Transmisión Troncal Regional (STTR)	13
2.2.1.3. Sistema de Transmisión Local (STL)	13
2.2.2. Marco Legal del Sistema de Transmisión del SEIN	13
2.3. CLASIFICACION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION	14
2.3.1. Por su nivel de tensión	15
2.3.2. Por su longitud	15
2.4. PARAMETROS ELECTRICOS DE LINEAS DE TRANSMISION	15
2.4.1. Resistencia en serie	16
2.4.2. Inductancia serie	17
2.4.2.1. Reactancia inductiva	18
2.4.3. Capacitancia	18
2.4.3.1. Reactancia Capacitiva	19
2.4.4. Conductancia	20
2.5. CONSTANTES CARACTERISTICAS DE UNA LINEA DE TRANSMISION	21
2.5.1. Impedancia Característica	21



2.5.2.	Carga Natural (SIL)	22
2.6.	REPRESENTACION DE LINEAS DE TRANSMISION	23
2.6.1.	Línea de Transmisión Corta	23
2.6.2.	Línea de Transmisión Media	24
2.7.	CARGABILIDAD DE LINEAS DE TRANSMISION	25
2.7.1.	Límite por Caída de Voltaje	26
2.7.2.	Límite Térmico	26
2.8.	PERDIDAS EN LINEAS DE TRANSMISION	27
2.8.1.	Perdidas por efecto Corona	27
2.8.2.	Perdidas por efecto Joule	29
2.9.	ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA	30
2.9.1.	Flujo de Potencia	30
2.9.1.1.	Análisis de contingencias	31
2.10.	COMPENSACION DE LINEAS DE TRANSMISION BALANCEADAS Y DESBALANCEADAS	32
2.10.1.	Compensación serie	32
2.10.2.	Compensación en paralelo	34
2.10.2.1.	Compensación capacitiva	34
2.10.2.2.	Compensación inductiva	34
2.11.	FACTS (FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEMS)	35
2.11.1.	Ventajas	35
2.11.2.	Aspectos operativos	36
2.11.3.	Localización	37
<b>Cap. III:</b>	<b>DIAGNOSTICO DE OPERACIÓN DE LAS LINEAS L-1001 Y L-1002</b>	<b>38</b>
3.1.	INTRODUCCIÓN	38
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS L-1001 Y L-1002	38
3.2.1.	Línea de Transmisión L-1001	39
3.2.2.	Línea de Transmisión L-1002	40
3.2.3.	Central Hidroeléctrica de Machupicchu	41
3.2.4.	Sistemas de Barras	42
3.2.5.	Cargas Principales	43
3.2.5.1.	Empresas Distribuidoras	43
3.2.5.2.	Clientes Libres	43
3.3.	ESTADO ACTUAL DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISION L-1001 Y L-1002	44
3.3.1.	Flujo y Cargabilidad de las Líneas L-1001 y L-1002	44
3.4.	PERPECTIVAS DEL DESARROLLO OPERACIONAL ACTUAL DE LAS LINEAS	44
3.4.1.	Situaciones Criticas	44
3.4.1.1.	Salida de las Líneas L-1001 y L-1002 en el escenario de Avenida - Máxima Demanda	47
3.4.1.2.	Salida de las Líneas L-1001 y L-1002 en el escenario Avenida - Mínima Demanda	50
3.4.1.3.	Salida de las Líneas L-1001 y L-1002 en el escenario Estiaje - Máxima Demanda	53
3.4.1.4.	Salida de las Líneas L-1001 y L-1002 en el escenario Estiaje - Mínima Demanda	56
3.5.	SEIN, CONDICIONES ACTUALES Y FUTURAS	59
3.5.1.	Demanda de Potencia Total del SEIN y demanda del área Sur	59
3.5.1.1.	Proyección de la Demanda del SEIN	61
3.5.1.2.	Demanda del SEIN al año 2018	61
3.5.1.3.	Demanda del área de Demanda 10 al año 2018	62
3.5.2.	Oferta Eléctrica del SEIN	62
3.5.2.1.	Producción de Energía en el Área de Demanda 10	63
3.5.2.2.	Futuro de Oferta de Energía Eléctrica	64
3.5.3.	Sistemas de Transmisión Futuros considerados dentro del Estudio	65



<b>Cap. IV:</b>	<b>ANALISIS DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LAS LINEAS DURANTE EL DESPACHO DE LAS NUEVAS CENTRALES Y ALTERNATIVAS DE SOLUCION</b>	<b>66</b>
4.1.	INTRODUCCION	66
4.2.	CENTRALES HIDROELECTRICAS MACHUPICCHU (2DA FASE) Y SANTA TERESA	66
4.2.1.	Central Hidroeléctrica de Machupicchu (2da Fase)	66
4.2.2.	Central Hidroeléctrica de Santa Teresa	68
4.3.	PANORAMA DE LOS SPT, LINEAS L-1001 Y L-1002 AL AÑO 2018	69
4.3.1.	Panorama a Corto Plazo (2015)	70
4.3.2.	Panorama a Mediano Plazo (2016 - 2018)	71
4.4.	ANALISIS DE CARGABILIDAD DE LAS LINEAS L-1001 Y L-1002	72
4.4.1.	Análisis ante la entrada provisional de la Central Hidroeléctrica de Luz del Sur	75
4.4.1.1.	Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2015	77
4.4.1.1.1.	Máxima Demanda	77
4.4.1.1.2.	Mínima Demanda	79
4.4.1.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2015	82
4.4.1.2.1.	Máxima Demanda	82
4.4.1.2.2.	Mínima Demanda	85
4.4.2.	Análisis ante la entrada conjunta de las Centrales Hidroeléctricas de Santa Teresa y Machupicchu (2da. Fase) al SEIN (Conexionado Definitivo)	87
4.4.2.1.	Análisis de cargabilidad - Año 2016	87
4.4.2.1.1.	Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2016	90
4.4.2.1.1.1.	Máxima Demanda	90
4.4.2.1.1.2.	Mínima Demanda	95
4.4.2.1.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2016	99
4.4.2.1.2.1.	Máxima Demanda	99
4.4.2.1.2.2.	Mínima Demanda	104
4.4.2.2.	Análisis de cargabilidad - Año 2017	109
4.4.2.2.1.	Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2017	111
4.4.2.2.1.1.	Máxima Demanda	111
4.4.2.2.1.2.	Mínima Demanda	116
4.4.2.2.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2017	121
4.4.2.2.2.1.	Máxima Demanda	121
4.4.2.2.2.2.	Mínima Demanda	126
4.4.2.3.	Análisis de cargabilidad - Año 2018	130
4.4.2.3.1.	Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2018	132
4.4.2.3.1.1.	Máxima Demanda	132
4.4.2.3.1.2.	Mínima Demanda	136
4.4.2.3.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2018	141
4.4.2.3.2.1.	Máxima Demanda	141
4.4.2.3.2.2.	Mínima Demanda	146
4.5.	PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION	153
4.5.1.	Utilización de FACTS tipo TCSC (Thyristor Controlled Series Compensation)	154
4.5.1.1.	Información Básica de un TCSC	154
4.5.2.	Utilización de FACTS tipo UPFC (Unified Power Flow Controller)	155
4.5.2.1.	Información Básica de un UPFC	155
4.5.2.2.	Operación de un UPFC	155
4.5.3.	Utilización de Bancos de Condensadores en serie	156
4.5.3.1.	Mejoramiento de la Regulación de Voltaje	156
4.5.3.2.	Mejoramiento del factor de potencia	158
4.5.3.3.	Aumento de la transferencia de potencia	158
4.5.3.4.	Tamaño del condensador en serie	159



4.6.	DETERMINACION DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCION	160
<b>Cap. V:</b>	<b>DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE SOLUCION</b>	<b>161</b>
5.1.	INTRODUCCION	161
5.2.	HORIZONTES Y ESCENARIOS DE ANALISIS	161
5.3.	FUNCIONAMIENTO DEL TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES COMPENSATION)	161
5.3.1.	Curva característica de la reactancia del TCSC en función del ángulo de disparo	163
5.3.2.	Operación de un TCSC	165
5.3.3.	Compensación Serie de una línea de transmisión proyectando un TCSC	168
5.4.	DETERMINACION DE PARAMETROS DEL TCSC PARA EL ESTUDIO	170
5.5.	ANALISIS DE LAS LINEAS L-1001 Y L-1002 CON LA INCORPORACION DEL TCSC	171
5.5.1.	Calculo de parámetros del TCSC en la línea L-1001	171
5.5.2.	Calculo de parámetros del TCSC en la línea L-1002	173
5.5.3.	Desarrollo de los Horizontes y Escenarios	176
5.5.3.1.	Análisis ante la entrada provisional de la Central Hidroeléctrica de Luz del Sur	176
5.5.3.1.1.	Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2015	178
5.5.3.1.1.1.	Máxima Demanda	178
5.5.3.1.1.2.	Mínima Demanda	181
5.5.3.1.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2015	184
5.5.3.1.2.1.	Máxima Demanda	184
5.5.3.1.2.2.	Mínima Demanda	187
5.5.3.2.	Análisis ante la entrada conjunta de las Centrales Hidroeléctricas de Santa Teresa y Machupicchu (2da. Fase) al SEIN (Conexionado Definitivo)	190
5.5.3.2.1.	Análisis de Cargabilidad - Año 2016	190
5.5.3.2.1.1.	Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2016	192
5.5.3.2.1.1.1.	Máxima Demanda	192
5.5.3.2.1.1.2.	Mínima Demanda	197
5.5.3.2.1.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2016	201
5.5.3.2.1.2.1.	Máxima Demanda	201
5.5.3.2.1.2.2.	Mínima Demanda	206
5.5.3.2.2.	Análisis de Cargabilidad - Año 2017	211
5.5.3.2.2.1.	Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2017	213
5.5.3.2.2.1.1.	Máxima Demanda	213
5.5.3.2.2.1.2.	Mínima Demanda	217
5.5.3.2.2.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2017	222
5.5.3.2.2.2.1.	Máxima Demanda	222
5.5.3.2.2.2.2.	Mínima Demanda	227
5.5.3.2.3.	Análisis de Cargabilidad - Año 2018	232
5.5.3.2.3.1.	Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2018	234
5.5.3.2.3.1.1.	Máxima Demanda	234
5.5.3.2.3.1.2.	Mínima Demanda	239
5.5.3.2.3.2.	Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2018	244
5.5.3.2.3.2.1.	Máxima Demanda	244
5.5.3.2.3.2.2.	Mínima Demanda	249
5.5.4.	Análisis básico de beneficio económico	261
	<b>Conclusiones</b>	<b>263</b>



<b>Recomendaciones</b>	<b>265</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>266</b>
<b>Anexos</b>	<b>268</b>
<b>Anexo A: Principales Proyectos de Demanda</b>	<b>269</b>
<b>Anexo B: Análisis Simple de Costos</b>	<b>272</b>
<b>Anexo C: Diagrama unifilar y planimetría del conexionado provisional de la C.H. Santa Teresa a las líneas L-1001 y L-1002</b>	<b>277</b>
<b>Anexo D: Disposición física tentativa de la instalación del TCSC en el patio de llaves de la C.H. Machupicchu (1ra. Fase)</b>	<b>280</b>
<b>Anexo E: Ubicación Satelital de la S.E. Suriray 220/138 kV (Proyecto MACO)</b>	<b>282</b>
<b>Anexo F: Cálculo de la capacidad térmica de las líneas L-1001 y L-1002 por medio del PLS CADD</b>	<b>284</b>
<b>Anexo G: Resultados de Flujos de Potencia en Operación Actual</b>	<b>CD</b>
<b>Anexo H: Resultados de Flujos de Potencia</b>	<b>CD</b>
<b>Anexo I: Resultados de Flujos de Potencia con la incorporación de dispositivos TCSC</b>	<b>CD</b>



# Índice de Cuadros

Cuadro 1.1	Principales Proyectos Mineros e Industriales en el Sur del Perú	2
Cuadro 3.1	Datos Específicos Línea L-1001	40
Cuadro 3.2	Datos Específicos Línea L-1002	41
Cuadro 3.3	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda Año 2014	46
Cuadro 3.4	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	48
Cuadro 3.5	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	49
Cuadro 3.6	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	51
Cuadro 3.7	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	52
Cuadro 3.8	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	54
Cuadro 3.9	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	55
Cuadro 3.10	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	57
Cuadro 3.11	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2014	58
Cuadro 3.12	Potencia Efectiva (MW) y Energía Anual (GWh) de las centrales en el Área 10, Año 2013	64
Cuadro 3.13	Principales datos de las centrales eléctricas a cargo del Electro Sur Este S.A. en el Área 10	64
Cuadro 3.14	Futuros Proyectos de Generación a ingresar dentro del área de estudio	65
Cuadro 3.15	Proyectos de Líneas de Transmisión a ingresar en el futuro	65
Cuadro 4.1	Principales Datos Técnicos de la Central Hidroeléctrica Machupicchu (2da. Fase)	67
Cuadro 4.2	Principales Datos Técnicos de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa	69
Cuadro 4.3	Obras de Generación Eléctricas vinculadas a las líneas L-1001 y L-1002	70
Cuadro 4.4	Obras de Generación Eléctrica futuras en la Región Sur Este	72
Cuadro 4.5	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda Año 2015	76
Cuadro 4.6	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	77
Cuadro 4.7	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	78
Cuadro 4.8	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	80
Cuadro 4.9	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	81
Cuadro 4.10	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	82
Cuadro 4.11	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	84
Cuadro 4.12	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	85
Cuadro 4.13	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2015	86
Cuadro 4.14	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda Año 2016	89
Cuadro 4.15	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	90
Cuadro 4.16	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	92
Cuadro 4.17	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	95



Cuadro 4.18	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	97
Cuadro 4.19	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	100
Cuadro 4.20	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	102
Cuadro 4.21	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	105
Cuadro 4.22	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2016	107
Cuadro 4.23	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda Año 2017	110
Cuadro 4.24	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	111
Cuadro 4.25	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	113
Cuadro 4.26	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	116
Cuadro 4.27	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	118
Cuadro 4.28	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	121
Cuadro 4.29	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	123
Cuadro 4.30	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	126
Cuadro 4.31	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2017	128
Cuadro 4.32	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda Año 2018	131
Cuadro 4.33	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	132
Cuadro 4.34	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	134
Cuadro 4.35	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	137
Cuadro 4.36	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	139
Cuadro 4.37	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	142
Cuadro 4.38	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	144
Cuadro 4.39	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	147
Cuadro 4.40	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias Año 2018	149
Cuadro 4.41	Criterios para la selección de FACTS de acuerdo al escenario	153
Cuadro 5.1	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	177
Cuadro 5.2	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	178
Cuadro 5.3	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	179
Cuadro 5.4	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	181
Cuadro 5.5	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	182
Cuadro 5.6	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	184
Cuadro 5.7	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	185





Cuadro 5.8	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	187
Cuadro 5.9	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2015	188
Cuadro 5.10	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	191
Cuadro 5.11	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	192
Cuadro 5.12	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	194
Cuadro 5.13	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	197
Cuadro 5.14	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	199
Cuadro 5.15	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	202
Cuadro 5.16	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	204
Cuadro 5.17	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	207
Cuadro 5.18	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2016	209
Cuadro 5.19	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	212
Cuadro 5.20	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	213
Cuadro 5.21	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	215
Cuadro 5.22	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	218
Cuadro 5.23	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	220
Cuadro 5.24	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	223
Cuadro 5.25	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	225
Cuadro 5.26	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	228
Cuadro 5.27	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2017	230
Cuadro 5.28	Tensiones de Barra en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima y Mínima Demanda con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	233
Cuadro 5.29	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	235
Cuadro 5.30	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	237



Cuadro 5.31	Tensiones de Barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	240
Cuadro 5.32	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	242
Cuadro 5.33	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	245
Cuadro 5.34	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	247
Cuadro 5.35	Tensiones de Barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	250
Cuadro 5.36	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en operación normal y contingencias con la incorporación de dispositivos TCSC Año 2018	252
Cuadro 5.37	Costos Marginales - Año 2014	261
Cuadro A.1	Principales Proyectos de Generación	264
Cuadro A.2	Principales Proyectos de Demanda	265
Cuadro A.3	Principales Proyectos de Transmisión	266
Cuadro B.1	Cuadro comparativo de costos del estudio	271



# Índice de Gráficos

Gráfico 1.1	Ubicación Geográfica de la generación del Perú	2
Gráfico 2.1	Área Operativa Sur	14
Gráfico 3.1	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	49
Gráfico 3.2	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	50
Gráfico 3.3	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	51
Gráfico 3.4	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	53
Gráfico 3.5	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	54
Gráfico 3.6	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	56
Gráfico 3.7	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	57
Gráfico 3.8	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2014	59
Gráfico 3.9	Máxima Demanda del SEIN en el año 2013	60
Gráfico 3.10	Máxima Demanda en el Área Sur del SEIN en el año 2013	60
Gráfico 3.11	Proyección de la Demanda del SEIN al año 2018	61
Gráfico 3.12	Proyección de la Demanda en el Área de Demanda 10 al año 2018	62
Gráfico 3.13	Participación de tipo de Generación en el COES, año 2013	63
Gráfico 4.1	Importantes Proyectos de Generación hasta el año 2016	72
Gráfico 4.2	Curva característica del límite térmico L-1001 (PLS CADD)	73
Gráfico 4.3	Curva característica del límite térmico L-1002 (PLS CADD)	74
Gráfico 4.4	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	78
Gráfico 4.5	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	79
Gráfico 4.6	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	80
Gráfico 4.7	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	81
Gráfico 4.8	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	83
Gráfico 4.9	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	84
Gráfico 4.10	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	86
Gráfico 4.11	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2015	87
Gráfico 4.12	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2016	91
Gráfico 4.13	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2016	91
Gráfico 4.14	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2016	93
Gráfico 4.15	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2016	96
Gráfico 4.16	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2016	96
Gráfico 4.17	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2016	98
Gráfico 4.18	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2016	100



Gráfico 4.19	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2016	101
Gráfico 4.20	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2016	103
Gráfico 4.21	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2016	105
Gráfico 4.22	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2016	106
Gráfico 4.23	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2016	108
Gráfico 4.24	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2017	112
Gráfico 4.25	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2017	112
Gráfico 4.26	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2017	114
Gráfico 4.27	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2017	117
Gráfico 4.28	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2017	117
Gráfico 4.29	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2017	119
Gráfico 4.30	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2017	122
Gráfico 4.31	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2017	122
Gráfico 4.32	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2017	124
Gráfico 4.33	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2017	127
Gráfico 4.34	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2017	127
Gráfico 4.35	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2017	129
Gráfico 4.36	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2018	133
Gráfico 4.37	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2018	133
Gráfico 4.38	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2018	135
Gráfico 4.39	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2018	137
Gráfico 4.40	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2018	138
Gráfico 4.41	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2018	140
Gráfico 4.42	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2018	142
Gráfico 4.43	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2018	143
Gráfico 4.44	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2018	145
Gráfico 4.45	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 138 kV) Año 2018	147
Gráfico 4.46	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias (Barras 220 kV) Año 2018	148
Gráfico 4.47	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias Año 2018	150
Gráfico 5.1	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	179
Gráfico 5.2	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	180
Gráfico 5.3	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	182



Gráfico 5.4	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	183
Gráfico 5.5	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	185
Gráfico 5.6	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	186
Gráfico 5.7	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	188
Gráfico 5.8	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2015	189
Gráfico 5.9	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2016	193
Gráfico 5.10	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2016	193
Gráfico 5.11	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2016	195
Gráfico 5.12	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2016	198
Gráfico 5.13	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2016	198
Gráfico 5.14	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2016	200
Gráfico 5.15	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2016	202
Gráfico 5.16	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2016	203
Gráfico 5.17	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2016	205
Gráfico 5.18	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2016	207
Gráfico 5.19	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2016	208
Gráfico 5.20	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2016	210
Gráfico 5.21	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2017	214
Gráfico 5.22	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2017	214
Gráfico 5.23	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2017	216
Gráfico 5.24	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2017	218
Gráfico 5.25	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2017	219
Gráfico 5.26	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2017	221



Gráfico 5.27	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2017	223
Gráfico 5.28	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2017	224
Gráfico 5.29	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2017	226
Gráfico 5.30	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2017	228
Gráfico 5.31	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2017	229
Gráfico 5.32	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2017	231
Gráfico 5.33	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2018	235
Gráfico 5.34	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2018	236
Gráfico 5.35	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2018	238
Gráfico 5.36	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2018	240
Gráfico 5.37	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2018	241
Gráfico 5.38	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Avenida - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2018	243
Gráfico 5.39	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2018	246
Gráfico 5.40	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2018	246
Gráfico 5.41	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Máxima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2018	248
Gráfico 5.42	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 138 kV) Año 2018	250
Gráfico 5.43	Perfil de tensiones de barra en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC (Barras 220 kV) Año 2018	251
Gráfico 5.44	Cargabilidad de líneas de transmisión en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda en condiciones normales y contingencias con la incorporación de dispositivo TCSC Año 2018	253
Gráfico 5.45	Comparación de los niveles de potencia transmitidos por las líneas L-1001 y L-1002 en operación actual, con el ingreso de las nuevas centrales de generación (Machupicchu 2da. Fase y Santa Teresa) y con las implementación de los dispositivos TCSC	256
Gráfico 5.46	Comparación entre la cargabilidad (a) y los niveles de corriente (b) en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje en Máxima y Mínima Demanda de las líneas L-1001 y L-1002 sin la incorporación de los dispositivos TCSC y con la incorporación de los dispositivos TCSC Año 2015	257
Gráfico 5.47	Comparación entre la cargabilidad en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje en Máxima y Mínima Demanda de las líneas L-1001 y L-1002 sin la incorporación de los dispositivos TCSC y con la incorporación de los dispositivos TCSC Año 2016	258
Gráfico 5.48	Comparación entre la cargabilidad (a) y los niveles de corriente (b) en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje en Máxima y Mínima Demanda de las líneas L-1001 y L-1002 sin la incorporación de los dispositivos TCSC y con la incorporación de los dispositivos TCSC Año 2017	259



Gráfico 5.49	Comparación entre la cargabilidad (a) y los niveles de corriente (b) en operación normal en los escenarios de Avenida y Estiaje en Máxima y Mínima Demanda de las líneas L-1001 y L-1002 sin la incorporación de los dispositivos TCSC y con la incorporación de los dispositivos TCSC Año 2018	260
Gráfico B.1	Costos totales para la inversión en un TCSC y en un UPFC	269
Gráfico B.2	Potenciales costos de inversión para nuevas líneas de transmisión	270
Gráfico F.1	Curva característica	275



# Índice de Imágenes

Imagen 2.1	Circuito equivalente de una Línea de Transmisión Corta	23
Imagen 2.2	Diagrama Fasorial de una Línea de Transmisión Corta	24
Imagen 2.3	Circuito equivalente de una Línea de Transmisión Media	24
Imagen 2.4	Diagrama Fasorial de una Línea de Transmisión Media	25
Imagen 2.5	Circuito Radial Equivalente	32
Imagen 2.6	Circuito equivalente con Compensación Serie	33
Imagen 2.7	Características de Transferencia de Potencia	35
Imagen 3.1	Patio de Llaves de la C.H. Machupicchu	39
Imagen 3.2	Área Geográfica del Área de Demanda 10	42
Imagen 4.1	Ubicación Geográfica del Proyecto Central Hidroeléctrica Machupicchu (2da. Fase)	66
Imagen 4.2	Ubicación Geográfica del Proyecto Central Hidroeléctrica de Santa Teresa	68
Imagen 4.3	Importantes Proyectos de Transmisión hasta el año 2016	69
Imagen 4.4	Montaje del generador, C.H. Machupicchu (2da. Fase)	70
Imagen 4.5	Subestación de Suriray 220/138 kV (Proyecto MACO)	71
Imagen 4.6	Ingreso de datos al programa PLS CADD (Método IEEE 738-2006)	73
Imagen 4.7	Ingreso de datos al programa PLS CADD (Método IEEE 738-2006)	74
Imagen 4.8	Patio de llaves C.H. Machupicchu (1ra. Fase)	75
Imagen 4.9	Configuración de la Compensación en serie utilizando FACTS tipo TCSC	154
Imagen 4.10	Configuración del FACTS tipo UPFC	156
Imagen 4.11	Condensador en serie visto desde la fuente y diagrama fasorial	158
Imagen 5.1	Modulo básico de un TCSC	162
Imagen 5.2	Curva característica de la reactancia del TCSC vs el ángulo de disparo del TCR	164
Imagen 5.3	Modo de operación Tiristor Bypass (puenteado)	166
Imagen 5.4	Modo de operación Tiristor Bloqueado	166
Imagen 5.5	Modo de operación Vernier Capacitivo e Inductivo	167
Imagen 5.6	Circuito equivalente del TCSC en el instante de disparo del ángulo $\alpha$	168
Imagen 5.7	Valor de la reactancia capacitiva - DigSilent (L-1001)	172
Imagen 5.8	Valor de la reactancia inductiva - DigSilent (L-1001)	173
Imagen 5.9	Valor de la reactancia capacitiva - DigSilent (L-1002)	174
Imagen 5.10	Valor de la reactancia inductiva - DigSilent (L-1002)	175
Imagen F.1	Ingreso de datos al programa PLS CADD	275
Imagen F.2	Resultados arrojados por el programa PLS CADD para el cálculo de la capacidad térmica de la línea L-1001	276
Imagen F.3	Resultados arrojados por el programa PLS CADD para el cálculo de la capacidad térmica de la línea L-1002	276





# Introducción

---

En la presente tesis se estudia la operatividad de las Líneas de Transmisión L-1001 (Machupicchu - Cachimayo) y L-1002 (Machupicchu - Quencoro) en 138 kV en operación actual, y cuando entren en operación la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (2da. Fase) y la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa, las cuales incrementaran la producción de energía eléctrica en la zona, energía que será transportada por las líneas anteriormente mencionadas.

También se estudiara escenarios futuros, donde se prevé el ingreso de nuevos centros de generación, líneas de transmisión y cargas importantes (mineras e industriales), los cuales influenciaran de marea importante el comportamiento del sistema, así como las variables eléctricas de este.

Además se estudiaran diferentes alternativas de solución que ayuden a mejorar la operatividad de las líneas L-1001 y L-1002 durante estos escenarios futuros, y así mejorar el comportamiento de la variables eléctricas del sistema.

Todo lo anteriormente mencionado se desarrollara mediante cálculos de flujo de potencia, perfiles de tensiones en barra y cargabilidad de líneas, mediante la utilización del Software Power Factory DigSilent, herramienta utilizada por el Comité de Operaciones Económicas del Sistema (COES) y por muchas empresas del rubro eléctrico.



# Resumen Ejecutivo

---

La presente tesis consiste en el estudio de la operación de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002 del SEIN, esto ante la próxima entrada en operación de las centrales hidroeléctricas de Machupicchu (2da. Fase) y Santa Teresa, ubicadas en la provincia de Urubamba, en el departamento del Cusco.

El objetivo principal es el análisis de la cargabilidad de las líneas mencionadas, ya que debido a la entrada de los nuevos centros de generación se verá incrementado la cantidad de potencia que tendrán que transmitir dichas líneas, además que la nueva línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV se encuentra retrasada por diversos problemas durante su construcción.

Se consideró un horizonte de estudio hasta el año 2018, esto para analizar el comportamiento de las líneas ante la entrada de otros centros de generación, como la C.H. de Vilcanota y la C.T. de Quillabamba.

Para este estudio se hizo uso del software para simulación Digsilent, herramienta ampliamente usada por la empresas integrantes del SEIN y de la base de datos del COES, así como información de los agentes supervisores del sector, como es el MEM y Osinergmin.

La tesis consta de cinco capítulos, donde se estudiaron diferentes tópicos según la importancia que reportan al estudio.

- **Capítulo 1:** Se presentan los aspectos relacionados con la investigación, la formulación del problema, las hipótesis, los objetivos, las variables e indicadores.
- **Capítulo 2:** Se desarrollan los fundamentos teóricos, conceptos generales sobre líneas de transmisión, análisis de sistemas de potencia, métodos de compensación de líneas eléctricas y dispositivos FACTS.



- **Capítulo 3:** Se desarrolla el diagnostico actual de las líneas eléctricas L-1001 y L-1002, así como también se presenta el análisis de la oferta y demanda del SEIN y sus proyecciones futuras, esto con el fin de evaluar el funcionamiento del SEIN en condiciones actuales y futuras.
- **Capítulo 4:** Se desarrolla el diagnostico de las líneas L-1001 y L-1002 ante la entrada de nuevos centros de generación y líneas de transmisión. También se analizara diferentes alternativas de solución y se escogerá la alternativa más adecuada.
- **Capítulo 5:** Se desarrolla la alternativa de solución seleccionada en el capítulo anterior, aplicándola al sistema para analizar el comportamiento de las variables eléctricas del sistema.



# Lista de Abreviaturas

CNE	:	Código Nacional de Electricidad
SEIN	:	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
COES	:	Comité de Operación Económica del Sistema
DGE	:	Dirección General de Electricidad
MEM	:	Ministerio de Energía y Minas
REP	:	Red de Energía del Perú
OSINERGMIN	:	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
AT	:	Alta Tensión
MT	:	Media Tensión
STTN	:	Sistema de Transmisión Troncal Nacional
STTR	:	Sistema de Transmisión Troncal Regional
STL	:	Sistema de Transmisión Local
NTCSE	:	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos



## Capítulo I: **Generalidades**

---

### **1.1. INTRODUCCION**

El presente capítulo comprende el planteamiento del problema, la descripción del mismo, la formulación de los objetivos propuestos, la justificación, alcances, limitaciones, hipótesis, variables e indicadores y la metodología de investigación utilizada para el desarrollo de la tesis.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años, la economía peruana atraviesa uno de sus mejores momentos, quizá el mejor de los últimos 50 años. Según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) la economía registró, en el 2014, un crecimiento del 2.4% y para el 2015 se espera una recuperación del PBI el cual pasaría de 2.4% a 4.8%, y para el año 2016 el crecimiento se aceleraría a 6.0% por el impulso de las exportaciones principalmente de productos tradicionales asociados a proyectos mineros como CONSTANCIA Y LAS BAMBAS [25]. El alto crecimiento económico por el que viene atravesando el Perú también genera un crecimiento en la demanda de energía eléctrica.

Este incremento de la demanda de energía eléctrica se debe principalmente al ingreso de importantes proyectos mineros e industriales en el país, muchos de los cuales se encuentran ubicados en el sur del Perú. En el Cuadro 1.1 se muestran los principales proyectos en el sur.



CUADRO 1.1  
PRINCIPALES PROYECTOS MINEROS E INDUSTRIALES EN EL SUR DEL PERÚ

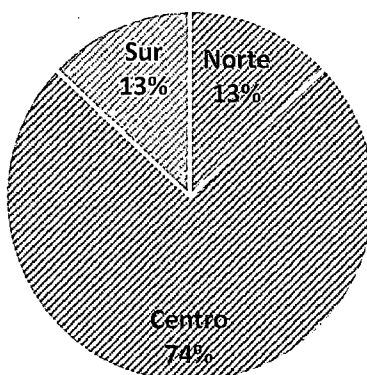
PROYECTO	EMPRESA	UBICACIÓN	POTENCIA (MW)	ENERGÍA (GWh)
Antapaccay	Xstrata Copper	Cusco	90	788
Las Bambas	Xstrata Copper	Apurímac	150	1209
Quellaveco	Anglo American	Moquegua	153	1031
Constancia	Hudbay Minerals	Cusco	90	657
Amp. Cerro Verde	Cerro Verde	Arequipa	340	2791
Amp. Toquepala	Southern Copper Corp	Tacna	50	430
Chucapaca - Cañahuire	Goldfields/Buenaventura	Moquegua	35	287
Mina Chapi - Sulfuros	Milpo	Moquegua	26	221
Quechua	Pan Pacific Copper	Cusco	74	558
Amp. Cuajone	Southern Copper Corp	Moquegua	22	180
Los Chancas	Southern Copper Corp	Apurímac	62	505
Hierro Apurímac	Apurímac Ferrum	Apurímac	180	1477
Amp. Refinería de Ilo	Southern Copper Corp	Moquegua	18	147
Tía María	Southern Copper Corp	Arequipa	65	600
Nueva Acería Sur	Aceros Arequipa	Moquegua	20	401

FUENTE: Apoyo Consultoría

Así también, en el país el 74% de la oferta de energía eléctrica proviene de la zona centro (ver gráfico 1.1). Esta situación, más la alta concentración de proyectos en la zona sur, tiene como resultado que el crecimiento de la demanda superará al crecimiento de la oferta en la zona sur durante el periodo 2014 - 2018.

GRÁFICO 1.1:  
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA GENERACIÓN DEL PERÚ

▣ Norte ▣ Centro ▣ Sur



FUENTE: COES



Ante tal situación, se tiene previsto el ingreso de nuevos proyectos de generación en el sur del país, esto para poder satisfacer la creciente demanda de energía en la zona. Dos de estos importantes proyectos son la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (2da Fase), con una potencia instalada de 102 MW, y la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa con una potencia instalada de 98 MW; las dos ubicadas en el departamento del Cusco, en la provincia de Urubamba y La Convención respectivamente.

Dado que la oferta de energía se verá incrementada en esta zona específica, el 22 de Diciembre del 2010, se suscribió el contrato del Estado Peruano con la Empresa Consorcio Transmantaro - ISA para la construcción de la Línea de Transmisión 220 kV Machupicchu - Abancay Nueva – Cotaruse [23][24]; cuyo objetivo principal es brindar mayor confiabilidad en el transporte de energía hacia los centros de demanda, transmitiendo los flujos de energía provenientes de los nuevos proyectos de generación anteriormente mencionados. Así mismo contribuirá a resolver los problemas de sobrecarga, inestabilidad y congestión de las líneas existentes en el sur del país.

Está previsto que durante el primer trimestre del año 2015 se culminen con la obra de la central hidroeléctrica de Santa Teresa, pero lamentablemente la L.T. 220 kV Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse por diversos motivos está retrasada (La línea entrará en operación comercial el segundo trimestre del año 2015) [14], por lo que no estará disponible cuando la central anteriormente mencionada entre en servicio.

En este sentido, la única viabilidad temporal para el despacho de energía de la central hidroeléctrica al SEIN se realizará a través de las líneas existentes L-1001 y L-1002, cuyas capacidades nominales no pueden cubrir todo el despacho de energía adicional de la central hidroeléctrica Santa Teresa con sus dos grupos Francis.

Considerando la antigüedad de las líneas y que no están diseñadas para un esquema de operación como al que tendrían que operar temporalmente por el problema de despacho de las nuevas centrales, es necesario realizar un



estudio que permita determinar los límites de capacidad de transporte de energía eléctrica de las líneas L-1001 y L-1002 en condiciones de operación normal y sobrecargas temporales, con el fin de programar el despacho adecuado de las Centrales Hidroeléctricas de Machupicchu (1ra y 2da Fase) y de Santa Teresa.

El análisis incorpora la posibilidad de utilización de sistemas que permitan incrementar la capacidad de transporte de energía eléctrica en las líneas mencionadas. Entre ellos se considera el uso de los FACTS (Flexible AC Transmission Systems) y bancos de condensadores, los cuales permiten el incremento y mejora de la capacidad de transporte de energía eléctrica de las líneas de transmisión.

Si no se tomara en cuenta una solución adecuada a este problema de despacho existirían efectos como los que se hace mención:

- Luz del Sur (concesionaria de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa) vería limitado el despacho de su energía eléctrica generada, lo cual implicaría grandes pérdidas monetarias.
- Al igual que Luz del Sur, EGEMSA vería limitado el despacho de energía eléctrica generada por la central Hidroeléctrica de Machupicchu (2da Fase), lo cual también implicaría pérdidas monetarias.
- Si se procediese a despachar la energía sin hacer el debido estudio podría generar colapsos de la red en el SEIN.

### **1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Hasta qué límites la capacidad de transporte de energía de las líneas L-1001 y L-1002 permitirán evacuar en forma segura y confiable el incremento de despacho de energía proveniente de las nuevas centrales Machupicchu (2da. Fase) y Santa Teresa?





## **1.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **1.4.1. Objetivo General**

Desarrollar el estudio de la operación de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002 del SEIN con la incorporación de las Centrales Hidroeléctricas Machupicchu (2da. Fase) y Santa Teresa.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Diagnosticar la operación actual de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002.
- Determinar los límites adecuados de transmisión de las líneas L-1001 y L-1002, ante el acople de las centrales hidroeléctricas de Machupicchu (2da. Fase) y Santa Teresa.
- Proponer la solución más adecuada para poder evacuar la mayor cantidad de energía generada en la zona.

## **1.5. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO**

La próxima entrada en operación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa con 92 MW de potencia instalada, generará un incremento en la producción de energía eléctrica en la zona, la cual tendrá que ser evacuada por medio de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002, ya que lamentablemente la construcción de la Línea de Transmisión Machupicchu (Suriray) - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV se encuentra retrasada. Por otro lado a inicios del tercer trimestre del 2015, ante la entrada de operación comercial de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu 2da fase con 102 MW de potencia instalada [14], se vería beneficiada si lograra despachar su energía por las líneas de estudio, debido a temas relacionados a peajes que pagaría EGEMSA por el uso de la línea de transmisión (L.T. Machupicchu-Abancay-Cotaruse concesionada por REP).



Además, en las condiciones actuales, se ve limitada la generación de las dos nuevas centrales; esto debido a que las líneas L-1001 y L-1002 no tienen la capacidad para evacuar toda la energía generada, lo que se refleja en pérdidas económicas para las empresas dueñas de las centrales, así mismo no podría satisfacer la creciente demanda en el sur del país, al no evacuar un buen porcentaje de la energía generada en la zona.

También se debe mencionar que al realizar el despacho de energía eléctrica, sin un conocimiento previo de las condiciones operativas de estas líneas en un escenario con el ingreso de estas dos nuevas centrales, se corre el riesgo de provocar fallos en el sistema.

Adicionalmente, las tecnologías actuales permiten mejorar la capacidad de transmisión de las líneas, por lo que al conocer las condiciones operativas de las líneas, se pueden proponer diferentes soluciones haciendo uso de esas tecnologías.

Por tal motivo, la empresa propietaria de las líneas de transmisión mencionadas, requiere de un estudio de las condiciones operativas de dichas líneas en el escenario actual y en el escenario con las dos centrales hidroeléctricas en operación, esto para garantizar la evacuación de energía eléctrica más óptima y confiable posible.

## **1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.6.1. Alcances**

- El estudio comprende el análisis y evaluación de la operación de las líneas de transmisión L-1001 (Machupicchu - Cachimayo) y L-1002 (Machupicchu - Quencoro)
- También se estudia posibles alternativas para mejorar la capacidad de transporte de dichas líneas.



## 1.6.2. Limitaciones

- El presente estudio está enfocado al análisis en los escenarios comprendidos entre el año 2014 al 2018.
- El estudio no contempla modificaciones físicas a las líneas existentes.

## 1.7. HIPOTESIS

### 1.7.1. Hipótesis General

El estudio de las condiciones operativas de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002, permite conocer los límites de operación en escenarios de corto plazo y mediano plazo, así mismo mejorar la potencia a ser evacuada de las dos nuevas centrales en construcción.

### 1.7.2. Hipótesis Específicas

- La evaluación de la operación de las líneas de transmisión permite conocer su desempeño en el escenario actual.
- Conociendo la capacidad adecuada de transmisión de las líneas L-1001 y L-1002, se desarrolla el despacho de las dos nuevas centrales hidroeléctricas de manera más eficiente.
- Mediante el uso de tecnologías adecuadas se puede incrementar la cantidad de potencia a ser evacuada por las líneas L-1001 y L-1002.

## 1.8. VARIABLES E INDICADORES

VARIABLES DEPENDIENTES	
Variables	Indicadores
Niveles de transporte de potencia	Máxima Capacidad (MVA)
Incremento de la capacidad de transporte de energía	Porcentaje de mejora (%)



VARIABLES INDEPENDIENTES	
Variables	Indicadores
Incremento de oferta	Energía Generada (MW - h)
Demanda de energía eléctrica	Consumos de energía (MW - h)

VARIABLES INTERVINIENTES	
Variables	Indicadores
Tensión	Voltios (V)
Impedancia característica de las líneas	Ohmios ( $\Omega$ )

## 1.9. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

### 1.9.1. Población y Muestra

La **población** del presente trabajo está conformada por las líneas de transmisión del SEIN, siendo la **muestra** las características operativas de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002.

### 1.9.2. Método y Alcance de la Investigación

#### 1.9.2.1. Método

El método utilizado en el presente trabajo es el **método experimental**, ya que el objetivo es analizar el comportamiento de las líneas de transmisión en estado de sobrecarga, esto debido a la introducción de nuevos elementos al sistema de potencia (incremento de energía eléctrica generada debido al ingreso en operación de dos nuevas centrales). [10].

#### 1.9.2.2. Alcance

El presente trabajo tiene un alcance **descriptivo y explicativo**. Es descriptivo, ya que busca especificar las características operativas de las líneas de transmisión, tanto en el escenario actual como en un escenario de sobrecarga debido al incremento de energía eléctrica generada en la zona; y explicativo, porque pretende explicar el por qué y las condiciones en las que ocurre el



fenómeno de sobrecarga en estas líneas, y así poder proponer una solución para mejorar tal situación. [11].

### 1.9.3. Técnica de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son la del **análisis** y **simulación**. Se usa la técnica del análisis, ya que se estudian los datos de la operación de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002, lo cual se denomina *análisis de contenidos*; y la técnica de simulación permite el modelamiento de la operación de las líneas, tal como si ocurriera en la realidad, siendo esta una *simulación descriptiva*, porque identifica los elementos constitutivos del sistema a estudiar, y *simulación predictiva*, porque permite adelantarse a hechos futuros debido a cambios en el sistema (ingreso de dos nuevas centrales). [12].

### 1.9.4. Procesamiento de datos

- Recopilación de información necesaria para el trabajo de investigación.
- Interpretación de los datos obtenidos mediante el análisis y las simulaciones de las líneas de transmisión.
- Planteamiento de las soluciones para mejorar la situación de la capacidad de transporte de energía de las líneas de transmisión.
- Interpretación de los resultados obtenidos con la aplicación de las soluciones propuestas.

### 1.9.5. Análisis de datos

El análisis de datos permite hallar la información que tienen los datos, sus variaciones y las relaciones existentes entre las variables, siendo este análisis:



- **Multivariable**, porque se analizan varias variables en el estudio (capacidad de transporte de energía, energía consumida, energía generada, etc.)
- **Confirmatorio**, ya que se pretende confirmar las hipótesis planteadas.
- **Cuantitativo**, ya que el estudio de las condiciones de las líneas es de naturaleza formal (matemática).
- **De Decisiones**, ya que mediante los resultados del análisis, se propone soluciones para mejorar la evaluación de la energía generada por las nuevas centrales.



## Capítulo II: **Fundamento Teórico**

---

### **2.1. INTRODUCCION**

En el presente capítulo se definen conceptos generales relacionados a líneas de transmisión, su operatividad y los métodos y equipamientos utilizados para mejorar la transmisión de potencia a través de las mismas. También se definen a nivel general los conceptos necesarios que intervienen para el modelamiento y estudio de líneas de transmisión.

Previamente, se presenta una breve descripción del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

### **2.2. EL SISTEMA ELECTRICO INTERCONECTADO NACIONAL**

#### **2.2.1. Categorización del Sistema de Transmisión Existente del SEIN**

La clasificación de las líneas del sistema de transmisión existente del SEIN, se basa según la categoría de troncal resultantes de las definiciones señaladas en el Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, modificación y retiro de las Instalaciones del SEIN” y lo establecido en el Plan de Restablecimiento 2013, que consideran los siguientes sistemas de transmisión:

- Sistema de Transmisión Troncal Nacional (STTN).
- Sistema de Transmisión Troncal Regional (STTR).
- Sistema de Transmisión Local (STL).

Cabe señalar que la clasificación de las instalaciones de transmisión, según las definiciones señaladas en el PR-20, es una clasificación de carácter técnico en merito a la importancia de la instalación en la confiabilidad del SEIN. [20]



### **2.2.1.1. Sistema de Transmisión Troncal Nacional (STTN)**

Sistema conformado por instalaciones de transmisión de 500 kV de tensión nominal o por las instalaciones de 220 kV de tensión nominal que conecten las áreas operativas del SEIN. (Por ejemplo: las líneas de transmisión 220 kV Mantaro - Cotaruse - Socabaya que conectan las Áreas Operativas Centro y Sur).

### **2.2.1.2. Sistema de Transmisión Troncal Regional (STTR)**

Sistema conformado por instalaciones de transmisión de 220 kV o 138 kV de tensión nominal que conecten zonas de generación y carga dentro de las Áreas operativas de SEIN. (Por ejemplo: las líneas de transmisión 138 y 220 kV que unen el Sur Este con el Sur Oeste del Área operativa Sur).

### **2.2.1.3. Sistema de Transmisión Local (STL)**

Sistema conformado por instalaciones de transmisión en 220, 138 y 60 kV de tensión nominal que conecten las cargas o las centrales de generación al SEIN.

## **2.2.2. Marco Legal del Sistema de Transmisión del SEIN**

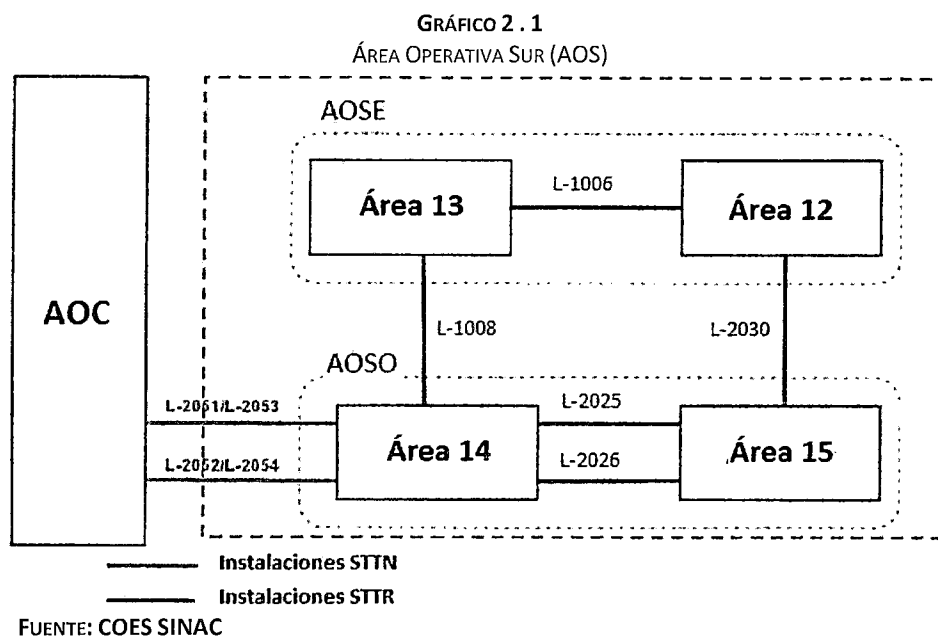
Para que el sistema de transmisión del SEIN se encuentre dentro del marco legal se cuentan con diversas normas, leyes, etc. que se menciona a continuación:

- Resolución Directoral N°014-2005-EM/DGE, "Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados" (NTCOTR).
- Resolución del Consejo Directivo OSINERGMIN N° 035-2013-OS/CD del 14.03.2013, Procedimiento Técnico COES PR-20 "Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones del SEIN".





- Plan de Restablecimiento del SEIN vigente, coherente con el numeral 8.2 de la NTCOTR y elaborado en cumplimiento del Procedimiento Técnico COES PR-9 "Coordinación de la Operación en Tiempo Real del SEIN".
- Actualización del Plan de Transmisión del periodo vigente.



Las nuevas instalaciones de transmisión que requiere el SEIN se definen en el Plan de Transmisión (PT) para propiciar el crecimiento ordenado y confiable del sistema de transmisión de SEIN [20]. Por consiguiente, dichas instalaciones serán categorizadas en el PT, desde un punto de vista de planificación y estarán conformadas por:

- Nuevas instalaciones troncales o;
- Proyectos de repotenciación de instalaciones existentes, las cuales podrán cambiar de categoría al asumir una función diferente.

### 2.3. CLASIFICACION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

Las líneas de transmisión se pueden clasificar por su nivel de tensión y por su longitud.



### 2.3.1. Por su nivel de tensión

Según el Código Nacional de Electricidad - Suministro 2011, se tienen los siguientes niveles de tensión:

- **Media Tensión (M.T.)**.- Comprendido entre los límites de  $1kV < U \leq 35kV$ , siendo  $U$  la tensión nominal.
- **Alta Tensión (A.T.)**.- Cuyos límites están comprendidos entre  $35kV < U \leq 230kV$ .
- **Muy Alta Tensión (M.A.T.)**.- Cuyos niveles de tensión son  $U > 230kV$ .

### 2.3.2. Por su longitud

Las líneas de transmisión se clasifican por su longitud en:

- **Líneas de Transmisión Cortas**.- Comprendidas por una longitud de hasta 80 km.
- **Líneas de Transmisión Medias**.- Comprendidas por una longitud mayor a los 80 km hasta 250 km.
- **Líneas de Transmisión Largas**.- Comprendidas por una longitud mayor a los 250 km. [3].

## 2.4. PARAMETROS ELECTRICOS DE LINEAS DE TRANSMISION

Las características operativas de una línea de transmisión dependen de cuatro parámetros necesarios para el estudio y modelamiento de las líneas de transmisión, los cuales son:

- $R(\Omega)$ : Resistencia en serie (Ohmios)
- $L(H)$ : Inductancia en serie (Henrios)
- $C(F)$ : Capacitancia Shunt (Faradios)
- $G(S)$ : Conductancia Shunt (Siemens)



Los dos primeros, resistencia e inductancia, se denominan parámetros longitudinales, ya que actúan a lo largo del circuito eléctrico; los dos siguientes, capacitancia y conductancia, se denominan parámetros transversales, ya que actúan de manera transversal en el circuito.

#### 2.4.1. Resistencia en serie

La resistencia viene a ser la oposición que ofrece cualquier elemento al paso de la corriente eléctrica. Este parámetro se interrelaciona con las otras magnitudes eléctricas (voltaje y corriente) mediante la ley de Ohm.

Si se habla de los materiales conductores, la resistencia está definida por sus dimensiones y por la resistividad del material, pudiendo expresarse:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.1)$$

Dónde:

- $R$  : Resistencia eléctrica, en  $[\Omega]$ .
- $\rho$  : Resistividad del conductor, en  $[\Omega\text{-mm}^2/\text{m}]$ .
- $l$  : Longitud del conductor, en  $[\text{m}]$ .
- $A$  : Área transversal del conductor, en  $[\text{m}^2]$ .

La resistencia  $R$  está calculada a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  [2], para cualquier otra temperatura se puede obtener a través de la siguiente expresión:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha (T_2 - T_1)] \quad (2.2)$$

Dónde:

- $R_2$  : Resistencia a temperatura  $T_2$ , en  $[\Omega/\text{km}]$
- $R_1$  : Resistencia a una temperatura referencial de  $20^\circ\text{C}$ , en  $[\Omega/\text{km}]$ .
- $\alpha$  : Coeficiente de temperatura a  $20^\circ\text{C}$ , en  $[1/^\circ\text{C}]$ .



$T_2$  : Temperatura a la que se desea calcular la resistencia, en [°C].

$T_1$  : Temperatura referencial igual a 20°C, en [°C].

### 2.4.2. Inductancia serie

Toda variación de la intensidad de corriente produce una fuerza electromotriz de inducción en el mismo, ya que tal alteración causa a su vez una modificación del flujo que, creado por aquella corriente, abarca al circuito [1]. Estas fuerzas electromotrices se llaman de autoinducción o inductancia, que por definición es:

$$L = \left[ \frac{u}{2n} + 4.6 \log \left( \frac{DMG}{RMG} \right) \right] 10^{-4} \quad (2.3)$$

Dónde:

$L$  : Inductancia en las líneas, en [H/km].

$u$  : Permeabilidad magnética [H/m].

$n$  : Número de cables por fase.

$DMG$  : Distancia media geométrica entre fases, en [mm].

$RMG$  : Radio medio geométrico, en [mm].

Ahora bien, para expresar la inductancia en una línea eléctrica para conductores simples, se expresa de la siguiente forma:

$$L = \left[ 0.5 + 4.6 \log \left( \frac{DMG}{RMG} \right) \right] 10^{-4} \quad (2.4)$$

Dónde:

$L$  : Inductancia en las líneas, en [H/km].

$u$  : 1 [H/m].

$n$  : 1.

$DMG$  : Distancia media geométrica entre fases, en [mm].

$RMG$  : Radio medio geométrico, en [mm].



### 2.4.2.1. Reactancia Inductiva

Como se ha visto, la inductancia se mide en Henrios [H], y para fines eléctricos es mejor trabajar en Ohmios [ $\Omega$ ]. Para esto, se puede usar la siguiente expresión:

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.5)$$

Dónde:

- $X_L$  : Reactancia Inductiva, en [ $\Omega$ /km].
- $f$  : Frecuencia, en [Hz].
- $L$  : Inductancia, en [H/km].

Para una línea de transmisión, La reactancia inductiva unitaria de una fase en un sistema trifásico con un conductor de metal no ferroso, que tiene transposición de conductores, puede ser calculada por medio de la siguiente expresión:

$$X_L = 0.00289f \left( \frac{DMG}{RMG} \right) \quad (2.6)$$

Dónde:

- $X_L$  : Reactancia inductiva de una línea, en [ $\Omega$ /km].
- $f$  : Frecuencia de la red, en [Hz].
- $DMG$  : Distancia media geométrica entre conductores, en [mm].
- $RMG$  : Radio medio geométrico, en [mm].

### 2.4.3. Capacitancia

Es un parámetro eléctrico cuyo efecto es apreciable cuando son líneas de gran voltaje y distancias grandes. La capacitancia de una línea de transmisión se da a consecuencia de la diferencia de potencial entre los mismos conductores así como la diferencia de potencial entre los conductores y tierra.



[2] La expresión de la capacitancia de un conductor A (fase A) a neutro está dado por:

$$C_{AN} = \frac{2\pi\epsilon^{\circ}}{\ln\left(\frac{DMG}{r_1}\right)} \quad (2.7)$$

Dónde:

- $C_{AN}$  : Capacitancia de una línea trifásica [F/m].
- $\epsilon^{\circ}$  : Constante de permisividad, cuyo valor es:  $8.854 \times 10^{-12}$  [F/m].
- $DMG$  : Distancia media geométrica, en [mm].
- $r_1$  : Radio del conductor, en [mm].

#### 2.4.3.1. Reactancia Capacitiva

De igual manera que la inductancia, la capacitancia se mide en Faradios [F], y dado que es más práctico para fines eléctricos trabajar en ohmios, se puede usar la siguiente expresión:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.8)$$

Dónde:

- $X_C$  : Reactancia capacitiva, en [ $\Omega$ ].
- $f$  : Frecuencia, en [Hz].
- $C$  : Capacitancia, en [F].

La reactancia capacitiva de una línea de transmisión está determinada por:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{\log\left(\frac{DMG}{RMG}\right)}{2f(0.01205)} \quad (2.9)$$

Dónde:



- $X_C$  : Reactancia capacitiva, en [ $\Omega/\text{km}$ ].
- $DMG$  : Distancia media geométrica entre fases, en [ $\text{mm}$ ].
- $RMG$  : Radio medio geométrico, en [ $\text{mm}$ ].
- $f$  : Frecuencia de la red, en [ $\text{Hz}$ ].
- $C$  : Capacitancia de una línea trifásica, en [ $\text{F}/\text{km}$ ].

#### 2.4.3.2. Suceptancia Capacitiva

Además de la reactancia capacitiva, se puede hallar la suceptancia multiplicando la capacidad por las pulsaciones. [2]

$$B_k = wC \quad (2.10)$$

$$w = 2\pi f \quad (2.11)$$

Entonces, se obtiene la suceptancia total de la línea multiplicando  $b_k$  por la longitud total de la línea:

$$B = B_k L \quad (2.12)$$

Dónde:

- $B$  : Suceptancia capacitiva total, en [ $\text{Siemens}$ ].
- $B_k$  : Suceptancia capacitiva, en [ $\text{Siemens}/\text{km}$ ].
- $C$  : Capacitancia de una línea trifásica, en [ $\text{F}/\text{km}$ ].
- $L$  : Longitud de una línea, en [ $\text{km}$ ].
- $f$  : Frecuencia, en [ $\text{Hz}$ ].

#### 2.4.4. Conductancia

La conductancia es la facilidad que un material ofrece al paso de la corriente eléctrica, es decir, la inversa de la resistencia.

La conductancia se puede expresar en kilómetros de recorrido y en valores de fase de la siguiente manera:



$$G = \frac{P_{fase/km}}{V_{fase}^2} 10^{-3} \quad (2.13)$$

Dónde:

- $G$  : Conductancia, en [S/km].
- $P_{fase/km}$ : Potencia, en [kW/km].
- $V_{fase}$  : Tensión, en [kV].

La conductancia de una línea de transmisión usualmente no es relevante ya que toma en cuenta la corriente de fuga en los aisladores, la cual es despreciable. También no se considera este parámetro porque depende de factores climáticos medioambientales impredecibles. [1]

#### 2.4.4.1. Admitancia

Otro parámetro que resulta es la admitancia del circuito, que es la unión de la conductancia con la suceptancia [2], mediante la siguiente expresión:

$$Y = G + jB \quad (2.14)$$

Donde:

- $Y$  : Admitancia de la Línea, en [S].
- $G$  : Conductancia, en [S].
- $B$  : Suceptancia, en [S].

## 2.5. CONSTANTES CARACTERÍSTICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISION

### 2.5.1. Impedancia Característica

Se denomina impedancia característica de una línea de transmisión a la relación existente entre la diferencia de potencial aplicada y la corriente





absorbida por la línea en el caso hipotético de que esta tenga una línea infinita. Para el caso de líneas reales se cumple que la impedancia de las mismas permanece constante cuando son cargadas con elementos, generadores o receptores [1] [2], cuya impedancia es igual a la impedancia característica.

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.15)$$

Donde  $Z_c$ : Es real para el caso de línea sin pérdidas.

- $Z_c$  : Impedancia característica [ $\Omega$ ].
- $L$  : Inductancia [H].
- $C$  : Capacitancia [F].

### 2.5.2. Carga Natural (SIL)

La carga natural o SIL (Surge impedance loading) es la potencia entregada por una línea sin pérdidas a una resistencia de carga igual a la impedancia característica [2]. Cualquier flujo superior al SIL produce una caída de tensión a lo largo de la línea de transmisión, mientras que la carga inferior al SIL produce una elevación de la tensión a lo largo de la línea de transmisión.

$$SIL = \frac{V_{nom}^2}{Z_c} \quad (2.16)$$

Donde:

- $V_{nom}$  : Voltaje de línea-línea para potencia 3 $\emptyset$  [V].
- $Z_c$  : Impedancia característica [ $\Omega$ ].



## 2.6. REPRESENTACION DE LINEAS DE TRANSMISION

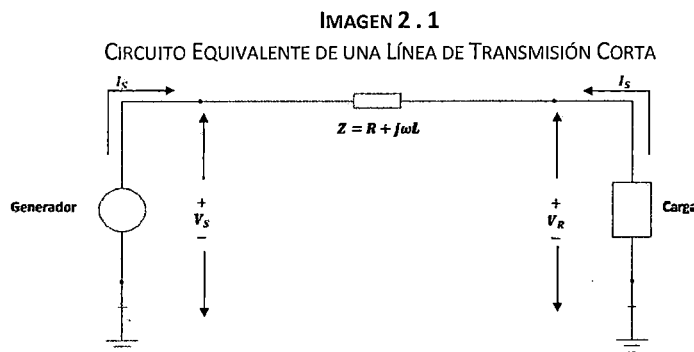
### 2.6.1. Línea de Transmisión Corta

Se considera una línea de transmisión como corta, cuando su longitud es inferior a los 80 km. Debido a esto, se puede despreciar el efecto producido por la conductancia y la capacitancia, ya que estos no influyen de manera significativa en los cálculos. [2]

Dado esto, los parámetros se pueden considerar de la siguiente manera:

- La impedancia se toma de manera concentrada:
- Se desprecia la admitancia.

Con estas consideraciones, se puede tratar a la línea como un circuito serie en C.A., como se muestra a continuación:



$$I_S = I_R \quad (2.17)$$

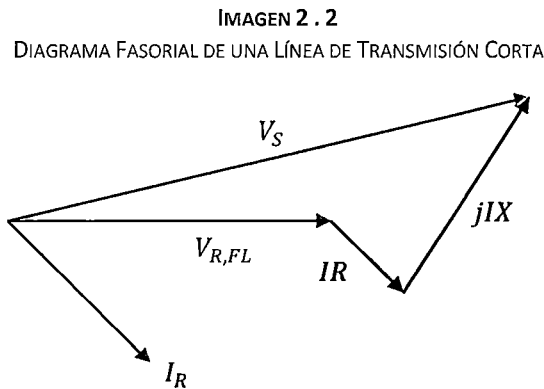
$$V_S = V_R + I_R Z \quad (2.18)$$

Dónde:

- $I_S$  : Intensidad de corriente al principio de la línea, en [A].
- $I_R$  : Intensidad de corriente al final de la línea, en [A].
- $V_S$  : Tensión de fase al principio de la línea, en [V].
- $V_R$  : Tensión de fase al final de la línea, en [V].
- $Z$  : Impedancia total de la línea, en [ $\Omega$ ].

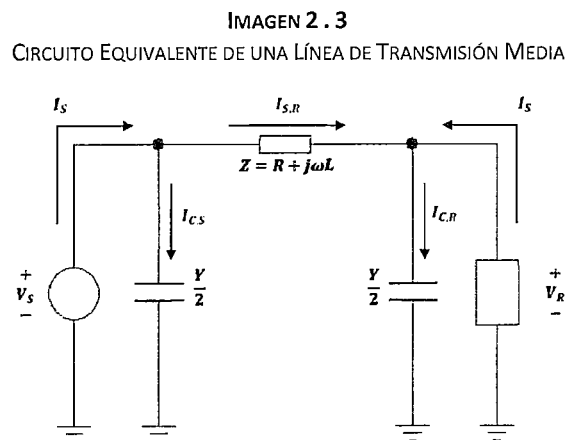


El diagrama fasorial de una línea corta es el siguiente:



### 2.6.2. Línea de Transmisión Media

Para representar una línea media (entre 80 km a 250 km) la admitancia en derivación es generalmente capacitiva pura y se incluye en los cálculos de líneas de longitud media, si el valor total de la admitancia se divide en dos partes iguales, y se localizan en ambos extremos; es decir una mitad en el extremo de envío, y la otra en el extremo receptor; el circuito se conoce como circuito  $\pi$  nominal. [2]



$$V_S = \left(\frac{ZY}{2} + 1\right) V_R + ZI_R \quad (2.19)$$

$$I_S = V_R \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) + \left(\frac{ZY}{2} + 1\right) I_R \quad (2.20)$$

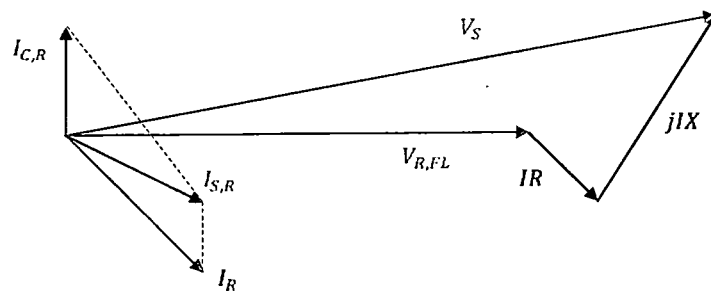


Dónde:

- $I_S$  : Intensidad de corriente al principio de la línea, en [A].
- $I_R$  : Intensidad de corriente al final de la línea, en [A].
- $V_S$  : Tensión de fase al principio de la línea, en [V].
- $V_R$  : Tensión de fase al final de la línea, en [V].
- $Z$  : Impedancia total de la línea, en [ $\Omega$ ].
- $Y$  : Admitancia total de la línea, en [S].

El diagrama fasorial de una línea media es:

IMAGEN 2 . 4  
DIAGRAMA FASORIAL DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA



## 2.7. CARGABILIDAD DE LINEAS DE TRANSMISION

La cargabilidad se define como la cantidad máxima de potencia eléctrica que puede ser enviada a través de una línea de transmisión manteniendo sus condiciones normales de operación. Para obtener una función simplificada en la transferencia de potencia activa transmitida [2], de la figura (2.3) se desprecia el valor de la resistencia para obtener la ecuación de transferencia activa para un caso sin pérdidas obteniendo la siguiente ecuación:

$$P_S = \frac{V_S V_R}{X_L} \sin \delta \quad (2.21)$$

Donde:

- $P_S$  : Potencia activa enviada, en [W].



- $V_S$  y  $V_R$ : Magnitudes de tensiones en los extremos de la línea [V].  
 $\delta$  : Angulo de fase entre  $V_S$  y  $V_R$ .  
 $X_L$  : Reactancia de la línea [ $\Omega$ ].

El concepto más general sobre cargabilidad es el criterio de límite o capacidad térmica del conductor, sin embargo existen otros criterios restrictivos como la caída de voltaje y margen de estabilidad.

### 2.7.1. Límite por Caída de Voltaje

Está íntimamente relacionado con la capacidad de suministro de reactivos en los extremos terminales de la línea. Con base en el modelo simplificado de la figura 2.2, la caída de voltaje se define entre el nodo de salida  $V_S$  y el nodo de recepción  $V_R$ . [8]

$$CV\% = \frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100\% \quad (2.22)$$

Y en consecuencia el voltaje límite del extremo de recepción ( $V_{RL}$ ) en términos de CV.

$$V_{RL} = V_S \left( 1 - \frac{CV}{100} \right) \quad (2.23)$$

El criterio es de permitir una caída de voltaje de 2.5% en operación y 5% en planeamiento, entre los nodos de salida y recepción para poder evitar posibles colapsos que surjan en la red deteriorando las líneas de transmisión del SEIN; tolerancias recomendadas por el CNE-S 2011.

### 2.7.2. Límite Térmico

El límite térmico determina la máxima cantidad de potencia que puede transmitir una línea de transmisión en función a la temperatura del conductor; la temperatura de este afecta la flecha entre las torres y la pérdida de la



resistencia a la tensión mecánica, debido al recocimiento que puede sufrir si la temperatura es muy alta, con ello podría violarse las distancias a tierra permisible o bien podrían excederse el límite de elasticidad del conductor con lo cual no podría volver a su longitud original cuando se enfriara. [8]

La determinación de la capacidad térmica de conductores está basado en el IEEE Standard 738 [27], para el cálculo de la relación temperatura – corriente de conductores desnudos. Este procedimiento establece que la capacidad térmica del conductor está definida por la radiación solar que incide sobre el conductor, el calentamiento debido al efecto Joule cuando por el circula una corriente "I", de tal manera que logre el equilibrio térmico entre conductor y medio ambiente.

El equilibrio térmico para un conductor desnudo de uso aéreo está dado por:

$$[I^2 R_{(TC)} + P_s - P_c - P_r] = 0 \quad (2.24)$$

Donde:

- $I^2$  : Corriente máxima admisible [A].
- $R_{(TC)}$  : Resistencia por unidad de longitud del conductor, medida a la temperatura del conductor TC [ $\Omega/m$ ].
- $P_s$  : Ganancia de calor por la radiación solar [W/m].
- $P_c$  : Pérdida de calor por convección [W/m].
- $P_r$  : Pérdida de calor por radiación [W/m].

## 2.8. PERDIDAS EN LINEAS DE TRANSMISION

### 2.8.1. Pérdidas por Efecto Corona

Es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor. Es causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a los altos niveles de tensión de la línea.



El efecto corona se producirá cuando la tensión de línea supere la tensión crítica disruptiva del aire, es decir, aquel nivel de tensión por encima del cual el aire se ioniza. La fórmula más utilizada para la determinación de la tensión crítica disruptiva es la propuesta por el ingeniero americano F.W.PEEK. [1]

$$V_c = \frac{29.8}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{3} \cdot \delta \cdot r \cdot 2.302 \cdot \ln \frac{DMG}{RMG} \cdot k_r \cdot k_n \quad (2.25)$$

Donde:

- $V_c$  : Valor de la tensión crítica disruptiva [kV].
- $\delta$  : Factor de densidad del aire.
- $r$  : Radio del conductor en centímetros [cm].
- $DMG$  : Distancia media geométrica entre fases [m].
- $RMG$  : Radio medio geométrico [m].
- 29.8 : Valor máximo o de cresta de la rigidez dieléctrica del aire a 25°C [kV/cm].
- $k_r$  : Coeficiente de rugosidad del conductor empleado, cuyo valor es:
- 1 para conductores nuevos.
  - 0.98 -0.93 para conductores viejos (con protuberancias).
  - 0.87-0.83 para cables formados por hilos.
- $k_n$  : Coeficiente medio ambiental cuyo valor suele ser:
- 1 cuando el aire es seco.
  - 0.8 para aire húmedo o contaminado.

El factor de densidad del aire se calcula como:

$$\delta = \frac{298 P}{273 + T} \quad (2.26)$$

Donde:

- $T$  : Temperatura del aire [°C].
- $P$  : Presión del aire en milímetros de mercurio.



Para aquellos casos en los que se produce el efecto corona, la pérdida de potencia se calcula mediante la fórmula:

$$P_c = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{RMG}{DMG}} \left( \frac{V_s}{\sqrt{3}} - \frac{V_c}{\sqrt{3}} \right)^2 \times 10^{-5} \quad (2.27)$$

Donde:

- $P_c$  : Pérdidas de potencia [kW/km].
- $\delta$  : Factor de densidad del aire.
- $f$  : Frecuencia [Hz].
- $V_s$  : Valor de la tensión fase-neutro (o tensión simple) [kV].
- $V_c$  : Valor de la tensión crítica disruptiva [kV].

### 2.8.2. Pérdidas por Efecto Joule

Cuando la corriente eléctrica circula por un conductor, encuentra una dificultad que depende de cada material y que es lo que llamamos resistencia eléctrica, esto produce unas pérdidas de tensión y potencia, que a su vez den lugar a un calentamiento del conductor, a este fenómeno se lo conoce como efecto Joule [1]. En definitiva, el efecto Joule provoca una pérdida de energía eléctrica, la cual se transforma en calor, estas pérdidas se valoran mediante las siguientes expresiones:

Las pérdidas de potencia por el efecto Joule en líneas de transmisión se pueden calcular con la siguiente expresión:

$$PP_{Joule} = 3I^2R \times 10^3 \quad (2.28)$$

La corriente para esta expresión se puede calcular de la siguiente manera.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V \cos \phi} \quad (2.29)$$

Donde:



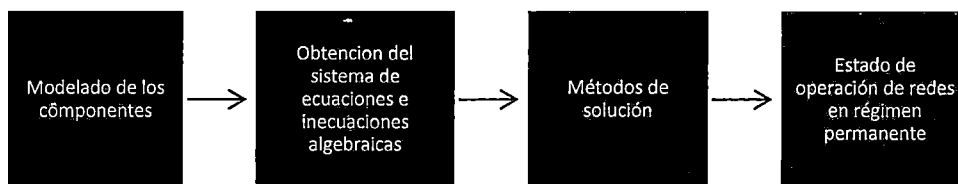


- $PP_{Joule}$  : Pérdidas de potencia por efecto Joule, en [kW].
- $I$  : Corriente, en [A].
- $R$  : Resistencia del conductor a 20°C, en [ $\Omega$ /km].
- $P$  : Potencia máxima en la barra de carga, en [kW].
- $V$  : Voltaje en la barra, en [kV].
- $\cos \phi$  : Factor de potencia en la barra de carga.

## 2.9. ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA

Es la obtención de las condiciones de operación (tensiones, flujo de potencia) de una red eléctrica en función de su topología y los niveles de demanda y generación de potencia.

También se puede definir mediante la siguiente secuencia:



### 2.9.1. Flujo de Potencia

Los estudios de flujo de potencia son una herramienta de gran importancia al determinar las condiciones operativas de los sistemas de potencia, permitiendo evaluar el sistema y así buscar mejorar las condiciones de operación. Los requerimientos para obtener una operación exitosa en los sistemas de potencia son:

- La generación abastece a la demanda más las pérdidas generadas.
- Las magnitudes de voltaje en las barras permanecen cercanas a sus valores nominales.
- Los generadores operan dentro de los límites especificados de potencia activa y reactiva.



- Las líneas de transmisión y los transformadores no están sobrecargados.

También el estudio de flujo de potencia es de gran importancia en la planeación y diseño de nuevos sistemas de potencia o en la expansión futura de los sistemas ya existentes.

### 2.9.1.1. Análisis de Contingencias

Durante la operación de un sistema de potencia, ocurren salidas (planeadas o forzadas) de líneas de transmisión o transformadores. Cuando se dan estas salidas, los otros elementos del sistema se sobrecargan, los transitorios de voltaje y corriente en el sistema decaen rápidamente, lo que provoca que se establezcan nuevas condiciones de operación en el sistema.

Es de gran importancia poder evaluar la manera en que los flujos en las líneas y los voltajes en las barras se alteran durante estas salidas, y así de esta manera poder evitar las sobrecargas debido a las corrientes excesivas en las líneas o que los voltajes en las barras sean demasiados altos o bajos, ya que estos hacen que el sistema sea más vulnerable a salidas secuenciales (en cascada).

Estas salidas se analizan mediante el análisis de contingencias. No es necesario una gran precisión en el análisis de contingencias, ya que no es de gran importancia para los operarios de los centros de control saber los valores exactos de los niveles de corriente en las líneas o las tensiones en las barras, sino conocer si existen o no condiciones inseguras o vulnerables en el sistema después de una salida.

**Criterio N-1.-** En general se entiende por criterio N-1 a un estándar aplicable a las actividades de planificación y operación de los sistemas eléctricos, de manera que estos puedan enfrentar la falla de alguno de sus componentes, sin que dicha falla genere una caída general del sistema, o que provoque una operación de las instalaciones por sobre sus capacidades permitidas.

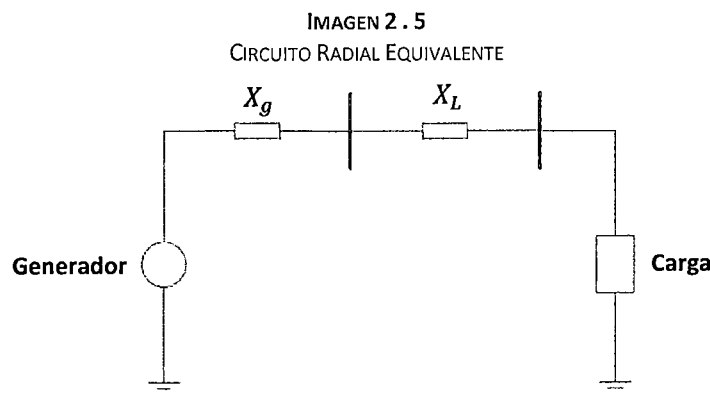


## 2.10. COMPENSACION DE LINEAS DE TRANSMISION BALANCEADAS Y DESBALANCEADAS

Existen dos tipos de compensación en líneas de transmisión que son la compensación en serie y la compensación en paralelo. La compensación serie en las líneas de transmisión se lleva a cabo con la finalidad de mejorar la seguridad de operación del sistema eléctrico, incrementando la transferencia de potencia al reducir la impedancia serie. Con la compensación en serie se tiene un efecto adicional y se logra al mantener un buen soporte de voltaje al disponer de energía reactiva en el extremo receptor, así como reducir ciertos efectos transitorios. [9]

### 2.10.1. Compensación Serie

Consta de capacitores conectados en serie con la línea de transmisión, su objetivo es reducir la impedancia serie equivalente de la línea. Se sabe que la reactancia serie es la principal limitante en la máxima transferencia de potencia que puede tenerse en una línea de transmisión. También cuando es comparada la reactancia serie con la magnitud de la resistencia de los conductores, se tiene que es la razón principal para la caída de tensión de las líneas de transmisión.



Para llevar a cabo una compensación en serie, se hace el cálculo de la reactancia serie de la línea y se decide el porcentaje de la compensación



serie que se desea para obtener las características deseadas de transferencia de potencia.

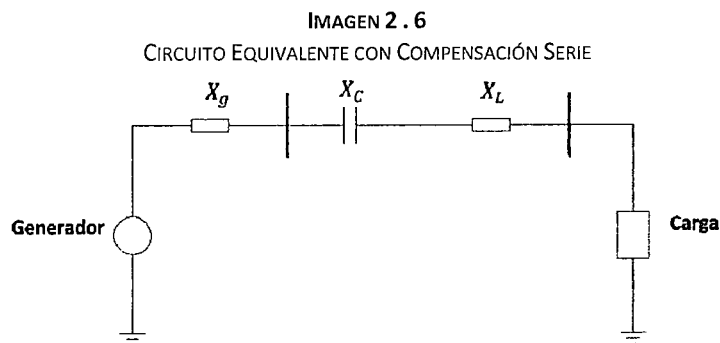
La reactancia serie equivalente está dado por:

$$X_s = X_g + X_L \quad (2.30)$$

Donde:

- $X_s$  : Reactancia serie equivalente, en  $[\Omega/\text{km}]$ .
- $X_g$  : Reactancia del generador, en  $[\Omega/\text{km}]$ .
- $X_L$  : Reactancia de la línea, en  $[\Omega/\text{km}]$ .

La ecuación 2.31 puede determinar el valor que deberá tener el capacitor serie para compensar la reactancia inductiva de la línea.



De esta manera la reactancia serie equivalente será menor que en el caso sin compensación y estará representada por:

$$X_s = X_g + X_L - X_c \quad (2.31)$$

Donde:

- $X_s$  : Reactancia serie equivalente, en  $[\Omega/\text{km}]$ .
- $X_g$  : Reactancia del generador, en  $[\Omega/\text{km}]$ .
- $X_L$  : Reactancia de la línea, en  $[\Omega/\text{km}]$ .
- $X_c$  : Reactancia del condensador, en  $[\Omega/\text{km}]$ .



## **2.10.2. Compensación en Paralelo**

Para compensaciones en paralelo, el modelado puede ser ubicado en el extremo receptor de una línea de transmisión, dependiendo del elemento que se trate [9]; se tiene dos tipos de compensación:

### **2.10.2.1. Compensación Capacitiva**

Generalmente en líneas de transmisión de longitud media y larga, tienen dificultad de mantener un buen perfil de voltaje.

Para tratar de mantener un perfil adecuado de voltaje, antes de la compensación, es necesario que el extremo generador envíe potencia reactiva a través de las líneas de transmisión, requiriendo una mayor corriente y eso a su vez provoca una mayor caída de tensión posiblemente esto provocaría un colapso en la red; la compensación de potencia reactiva capacitiva en paralelo se refiere esencialmente a la inyección de potencia reactiva en el nodo de recepción de una línea de transmisión por medio de un banco de capacitores.

Es importante observar que la inyección de potencia reactiva es necesaria solamente en casos de alta demanda, ya que si fuese un caso de baja demanda puede tenerse un excedente de potencia reactiva, dando una condición peligrosa para el aislamiento del sistema.

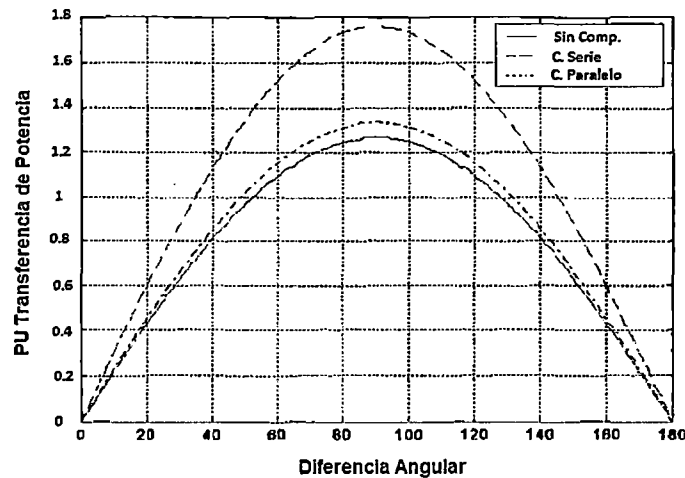
### **2.10.2.2. Compensación Inductiva**

Tiene la finalidad de cancelar parcial o totalmente el efecto de la susceptancia capacitiva de las líneas de transmisión. [9]

Es decir que para carga máxima o para carga mínima el sistema puede requerir una inyección de potencia reactiva capacitiva o inductiva. En la actualidad existen elementos de compensación controlados con base a dispositivos de electrónica de potencia que permite conocer si la inyección de potencia reactiva debe ser capacitiva o inductiva.



IMAGEN 2.7  
CARACTERÍSTICAS DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA



## 2.11. FACTS (FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEMS)

El concepto de FACTS fue propuesto por primera vez por el Dr. Narain G. Hingorani en 1985. Los FACTS ofrecen la oportunidad de regular la transmisión de corriente alterna, incrementando o disminuyendo el flujo de potencia en líneas específicas y respondiendo casi instantáneamente a los problemas de estabilidad. La potencialidad de esta tecnología se basa en la posibilidad de controlar el flujo de potencia. [3] [5]

### 2.11.1. Ventajas

- Permite mayor control sobre el flujo de potencia, dirigiéndolo a través de rutas predeterminadas.
- Puede operar con niveles de carga seguros (sin sobrecargas) y cercanos a los límites térmicos de las líneas de transmisión.
- Tienen mayor capacidad de transferencia de potencia entre áreas controladas, con lo que el margen de reserva en generación puede reducirse considerablemente.
- Incrementan la seguridad del sistema al aumentar el límite de estabilidad transitoria, limitando las corrientes de corto circuito y



sobrecargas, previniendo salidas en cascada, y limitando el efecto de otras fallas en el sistema y equipos.

- Amortiguan oscilaciones del sistema de potencia que dañan los equipos y limitan la capacidad de transmisión disponible.

De acuerdo a las ventajas mencionadas los FACTS pueden clasificarse en dos grupos tomando como referencia la función de sus principales elementos. El primer elemento utiliza elementos reactivos y transformadores cambiadores de taps controlado por tiristores, dentro de este grupo se encuentran:

- SVC Compensador estático de VAR.
- TCVR Regulador de voltaje controlado por tiristores.
- TCPAR Regulador de ángulo de fase controlado por tiristores.
- TCSC Capacitor en serie controlado por tiristores.

El segundo grupo utiliza convertidores de voltaje auto conmutados que actúan como fuentes estáticas de voltaje síncrono. A este grupo corresponde:

- STATCOM Compensador estático síncrono.
- SSSC Compensador serie estático síncrono.
- IPFC Controlador de flujos de potencia interlinea.
- UPFC Controlador unificado de flujos de potencia.

### **2.11.2. Aspectos Operativos**

La habilidad que tienen los FACTS para afectar rápida y significativamente el estado siguiente inmediato a una falla, con frecuencia significa que el impacto que tienen las restricciones impuestas a este en las operaciones del sistema en estado normal se puedan minimizar, dejando así una región de operación de pre-falla mayor para optimizar los aspectos económicos.



Por otro lado los FACTS pueden lograr que una línea opere muy cerca a sus límites térmicos, esto afecta favorablemente el aspecto económico ya que se evita la construcción de nuevas líneas de transmisión además de que la energía se puede fluir a través de rutas establecidas, permitiendo así el intercambio de potencia entre diferentes compañías prestadoras de servicio eléctrico.

### **2.11.3. Localización**

Existen tres factores importantes a considerar cuando se ha tomado la decisión de instalar un dispositivo FACTS: el tipo de dispositivo, la capacidad requerida y la ubicación que optimice el funcionamiento del dispositivo. De estos factores, el último es de suma importancia, ya que la ubicación de los FACTS depende del efecto deseado y de las características propias del sistema. Por ejemplo, si se desea evitar el flujo en anillo, primero debe identificarse el anillo y después ubicar el dispositivo en una de las líneas de transmisión de este para forzar el flujo en la manera deseada. Ahora bien, si se desea mejorar la operación económica del sistema al incrementar la capacidad de transmisión de potencia, el dispositivo FACTS se puede ubicar en una línea subutilizada, aumentando el flujo a través de ella, o bien colocarlo en la línea más cargada para limitar el flujo por la misma, permitiendo mayor flujo por el resto del sistema.





## Capítulo III: **Diagnóstico de la operación de las líneas L-1001 y L-1002**

---

### 3.1. INTRODUCCION

En el presente capítulo se da énfasis al estudio operativo actual de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002, en condiciones normales y en contingencias, visualizada desde el área operativa sureste y permitiendo un análisis amplio en diversos escenarios de operación como son:

- Avenida en máxima demanda.
- Avenida en mínima demanda.
- Estiaje en máxima demanda.
- Estiaje en mínima demanda.

Obteniendo las situaciones más críticas y desfavorables en la operación de estas. Como preámbulo se enfoca los puntos más característicos y resaltantes propios de las líneas de transmisión estudiadas, así como la importancia de estas en la región sur este del país.

### 3.2. DESCRIPCION DE LAS LINEAS L-1001 Y L-1002

Las líneas L-1001 (Machupicchu - Cachimayo) y L-1002 (Machupicchu – Dolorespata) en 138 kV; integran el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional y hoy en día tienen una importancia significativa para la área operativa Sur Este del SEIN (Procedimiento Técnico PR-09 del COES SINAC), por ser las únicas líneas de transmisión que pueden evacuar la energía generada por la central hidroeléctrica Machupicchu, administrada y operada por la empresa de generación EGEMSA.

En la década de los setenta entra en operación la línea de transmisión L-1001 debido a la incorporación de un nuevo grupo de generación (turbina Francis) en la central hidroeléctrica Machupicchu pudiendo despachar una potencia



efectiva de 40 MW; mientras que en la década del ochenta entra en operación la línea de transmisión L-1002, por la incorporación de tres nuevos grupos Pelton de 22.4 MW de potencia efectiva cada uno, sumando en total 107.2 MW cubriendo así las necesidades de energía para el desarrollo social, minero e industrial de los departamentos de Cusco, Puno y Apurímac hasta la interconexión que habría de desarrollarse entre el Este y Oeste del sur del país. El año de 1998 debido al desastre que sufrió la central, dejaron de operar dichas líneas hasta el año 2001, año donde hasta la actualidad transportan una potencia efectiva de 90 MW. [26]

IMAGEN 3 . 1  
PATIO DE LLAVES DE LA C.H. MACHUPICCHU



FUENTE: Pagina Web EGEMSA

### 3.2.1. Línea de Transmisión L-1001

La línea L-1001 tiene una longitud de 76.83 m cuyo recorrido va desde la barra 138 kV, ubicada en el patio de llaves de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (Kilómetro 122 de la vía férrea), hasta una barra simple en 138 kV de la Subestación Cachimayo (distrito de Cachimayo); el material del cable es del tipo ACSR de  $240 \text{ mm}^2$  y tiene una antigüedad en servicio de 41 años desde su primera energización. Los principales datos específicos se detallan en el siguiente cuadro:



**CUADRO 3 . 1:**  
DATOS ESPECÍFICOS LÍNEA L-1001

DESCRIPCION	UNIDAD	SIMBOLO	VALOR
Tensión Nominal	kV	V	138
Frecuencia	Hz	f	60
Resistencia eléctrica a 25°C	Ohm/km	R <sub>o</sub>	0.146482026
Temperatura de operación	°C	T <sub>o</sub>	50
Potencia Natural	MVA	SIL	48.5740174
Reactancia de autoinducción	Ohm/km	X <sub>k</sub>	0.49019196
Suceptancia capacitiva	Siemens/km	b <sub>k</sub>	3.36E-06
Impedancia característica	Ohm	Z <sub>c</sub>	392.061456
Distancia Media Geométrica	m	DMG	5.12
Diámetro del conductor	mm	D <sub>c</sub>	19.6
Número de circuitos			1
Disposición			Triangular

FUENTE: Gerencia de Producción - Egemsa

Actualmente la línea L-1001 pertenece al Sistema de Transmisión Local (STL) y se encuentra en plena operación, transmitiendo una potencia de 45 MVA.

### 3.2.2. Línea de Transmisión L-1002

La línea L-1002 tiene una longitud de 95.30 m cuyo recorrido va desde la barra 138 kV ubicada en el patio de llaves de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (Kilómetro 122 de la vía férrea), hasta la barra 138 kV de la Subestación Quencoro (distrito de San Jerónimo); el material del cable es del tipo AAAC de 240 mm<sup>2</sup> y tiene una antigüedad en servicio de 31 años desde su primera energización. Los principales datos específicos se detallan en el siguiente cuadro:



CUADRO 3 . 2:  
DATOS ESPECÍFICOS LÍNEA L-1002

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	SIMBOLO	VALOR
Tensión Nominal	kV	V	138
Frecuencia	Hz	f	60
Resistencia eléctrica a 25°C	Ohm/km	R <sub>o</sub>	0.13921153
Temperatura de operación	°C	T <sub>o</sub>	50
Potencia Natural	MVA	SIL	46.9807674
Reactancia de autoinducción	Ohm/km	X <sub>k</sub>	0.50827274
Suceptancia capacitiva	Siemens/km	b <sub>k</sub>	3.23E-06
Impedancia característica	Ohm	Z <sub>c</sub>	405.357364
Distancia Media Geométrica	m	DMG	6.64
Diámetro del conductor	mm	D <sub>c</sub>	20
Número de circuitos			1
Disposición			Triangular

FUENTE: Gerencia de Producción - Egemsa

Actualmente la línea L-1002 pertenece al Sistema de Transmisión Local (STL) y se encuentra en plena operación, transmitiendo una potencia de 45 MVA.

**Nota:** Las líneas de transmisión en estudio no conforman un sistema de potencia en forma de anillo lo que imposibilita una confiabilidad de suministro a los usuarios del sistema Sur Este del país ante la presencia de eventos o fallas.

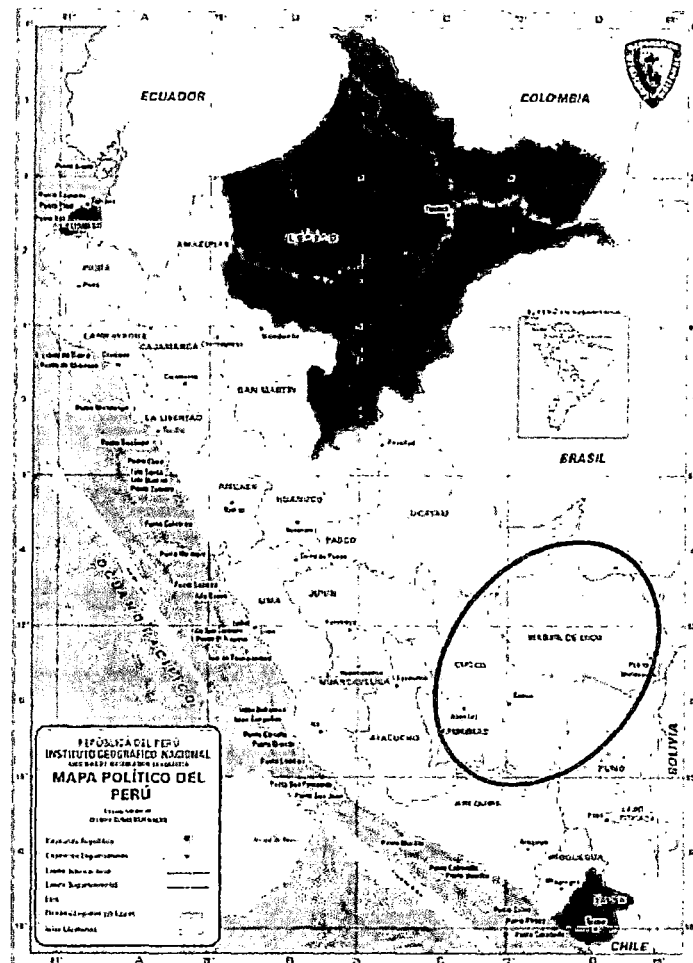
### 3.2.3. Central Hidroeléctrica de Machupicchu

Es una de las principales Centrales Generadoras del sur del país y fuente energética de la región del Cusco, cuyas principales líneas de evacuación son las líneas L-1001 y L-1002; actualmente cuentan con tres grupos de generación de 30.2 MW de potencia instalada cada una, así como la actual construcción de la central hidroeléctrica Machupicchu segunda fase, con la implementación de un grupo Francis con una potencia instalada de 99.8 MW.

También se debe mencionar que la Central Hidroeléctrica de Machupicchu se encuentra dentro del Área de Demanda 10, establecida por OSINERGMIN.



IMAGEN 3.2  
ÁREA GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE DEMANDA 10



FUENTE: OSINERGMIN (Informe N° 0283-2012-GART)

### 3.2.4. Sistemas de Barras

Las barras adjuntas a las líneas de transmisión L-1001 y L-1002 son:

- Barra Machupicchu en 138 kV, es una barra simple ubicada en el patio de llaves de la central hidroeléctrica de Machupicchu; punto de partida de ambas líneas de transmisión.
- Barra Cachimayo en 138 kV, ubicada en el distrito de Cachimayo, de barra simple y punto de llegada de la línea L-1001 y punto de conexión de las líneas L-1007 (a Abancay) y L-1003 (a Dolorespata); así como de las cargas de las poblaciones Urubamba, Ollantaytambo, Pisac,



Maras, Paucartambo por medio de un transformador en 138/60/22.9 kV de 15/15/7MVA y del cliente libre INCASA por medio de dos transformadores en 138/6.6 kV de 2x20MVA.

- Barra Quencoro en 138kV, es de barra simple ubicada en el distrito de San Jerónimo sirve como punto de llegada de la línea L-1002 y punto de conexión de las líneas L-1004 (a Dolorespata), L-1005 (a Combapata y Tintaya) así como de las cargas poblacionales de Cusco Sur, Oropesa, Huaro por medio de la conexión de dos transformadores en 138/33/10.5 kV cada uno y la carga del Plan Maestro por medio de un transformador en 138/33/6 kV de 7/8/7.5 MVA. [18]

### **3.2.5. Cargas Principales**

El flujo de cargas transmitidas por las líneas L-1001 y L-1002 a los diversos usuarios que se encuentran en esta área, abarca los mercados libres y regulados en el ámbito del Sistema Interconectado Nacional, [26] mostrándose el siguiente detalle:

#### **3.2.5.1. Empresas Distribuidoras**

La empresa distribuidora del área es Electro Sur Este S.A., que es una empresa dedicada a la distribución de energía eléctrica en el sur del país, especialmente en la ciudad del Cusco. Actualmente tiene una potencia contratada de EGEMSA de 10 MW en hora punta.

#### **3.2.5.2. Clientes Libres**

- Catalina Huanca Sociedad Minera.
- Compañía Minera Ares.
- Proyecto Minero "Anubia".
- SEDA Cusco.
- Mina Anabi.
- Yura – Cachimayo.



- Minera Tintaya.

### **3.3. ESTADO ACTUAL DE LAS LINEAS DE TRANSMISION L-1001 Y L-1002**

El estado actual de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002 se encuentran en condiciones normales de operación, para lo cual se presenta un análisis de operación en condiciones de máxima y mínima demanda en tiempos de avenida y estiaje para el año 2014.

#### **3.3.1. Flujo y Cargabilidad de las Líneas L-1001 y L-1002**

En el análisis de flujos del estado actual de las líneas se consideran los siguientes criterios:

- NO se permiten sobrecargas en dichas líneas de transmisión.
- Las tensiones en barra deberán estar en el margen del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal, según la NTCSE. También se tomará en cuenta el margen del  $\pm 2.5\%$  de la tensión nominal, según la NTCOTRSI. [16] [17]

En el cuadro 3.3 se muestran las tensiones y flujos de carga de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002, adicionalmente las líneas inmersas en las mismas barras de Machupicchu I, Cachimayo y Quencoro.

### **3.4. PERSPECTIVAS DEL DESARROLLO OPERACIONAL ACTUAL DE LAS LINEAS**

#### **3.4.1. Situaciones Críticas**

Un análisis más exhaustivo cuya importancia prima en los estudios de cargabilidad y en la realización de proyectos de líneas de transmisión, es el desarrollo de simulaciones del sistema, que ante posibles contingencias podrían ocasionar un colapso, no solo de uno de los sistemas del SEIN si no también el colapso general del sistema; para ello se desarrolla un panorama



predictivo de líneas de transmisión, transformadores de potencia, sistemas de barras, etc. que pasan por situaciones críticas.





**CUADRO 3.3**  
TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA  
AÑO 2014

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2014	Línea L-1001	MACH138	INCA138	137.91	1	-53.45	132.12	0.96	-58.55	43.75	5.94	44.15	-42.46	-6.55	42.96	48.14	190	4.20
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	137.91	1	-53.45	134.22	0.97	-56.98	30.43	2.98	30.58	-29.88	-5.44	30.37	37.32	130	2.68
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	134.22	0.97	-56.98	132.92	0.96	-58.09	29.88	5.45	30.37	-29.7	-6.15	30.33	37.64	130	0.97
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	132.12	0.96	-58.55	132.38	0.96	-58.53	-2.34	-4.48	5.38	2.34	4.08	4.7	5.88	20	0.20
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	132.38	0.96	-58.53	132.92	0.96	-58.09	-32.83	-7.18	33.61	32.91	6.99	33.65	41.88	150	0.41
Avenida Mínima Demanda 2014	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.01	1.01	-42.25	135.87	0.98	-47.63	46.09	-0.12	46.09	-44.75	-0.54	44.75	48.76	190	2.96
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.01	1.01	-42.25	137.69	1	-46.24	34.09	-2.48	34.18	-33.44	0.19	33.44	40.27	140	1.66
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	137.69	1	-46.24	136.84	0.99	-47.49	33.44	-0.19	33.44	-33.23	-0.5	33.24	40.07	140	0.62
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.87	0.98	-47.63	136.39	0.99	-47.61	-3.93	-9.59	10.37	3.95	8.8	9.65	11.02	40	0.38
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	138.39	0.99	-47.61	136.84	0.99	-47.49	-12.16	-10.99	16.39	12.17	10.56	-16.12	19.82	70	1.12
Estiaje Máxima Demanda 2014	Línea L-1001	MACH138	INCA138	143.71	1.04	-2.06	136.62	0.99	-6.04	38.99	11.08	40.44	-37.87	-12.91	40.01	43.35	170	4.93
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	143.71	1.04	-2.06	138.83	1.01	-4.59	25.19	7.68	26.33	-24.79	-11.05	27.14	32.25	110	3.40
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	138.83	1.01	-4.59	137.18	0.99	-5.38	24.79	11.05	27.14	-24.65	-12.00	27.42	32.97	120	1.19
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.62	0.99	-6.04	136.65	0.99	-5.88	-7.47	1.32	7.59	7.48	-2.13	7.78	8.21	30	0.02
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.65	0.99	-5.88	137.18	0.99	-5.38	-38.79	-5.63	39.19	38.89	5.49	39.27	47.31	170	0.39
Estiaje Mínima Demanda 2014	Línea L-1001	MACH138	INCA138	144.26	1.05	4.32	140.52	1.02	0.03	39.44	0.11	39.44	-38.51	-2.41	38.59	40.65	160	2.59
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	144.26	1.05	4.32	142.24	1.03	1.32	27.44	0.11	39.44	-27.04	-1.41	27.08	31.47	110	1.40
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	142.24	1.03	1.32	141.41	1.02	0.39	27.04	1.42	27.08	-26.92	-2.48	27.03	31.53	110	0.58
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	140.52	1.02	0.03	141.00	1.02	0.19	-10.33	-7.14	12.56	10.35	6.31	12.12	12.90	50	0.34
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	141.00	1.02	0.19	141.41	1.02	0.39	-18.76	-8.54	20.62	18.79	8.11	20.46	24.12	80	0.29

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



En el cuadro 3.3 se presentan los datos de tensiones de barra en operación normal en las épocas de avenida y estiaje, en los escenarios de máxima y mínima demanda.

En la época de avenida, en el escenario de máxima demanda, se observa que dentro del criterio de planificación para los niveles de tensión, todas las barras están dentro del  $\pm 5\%$ ; pero bajo un criterio de operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ) solo la barra MACH138 está dentro del rango. Por otro lado, la caída de tensión entre las barras MACH138 e INCA138 supera el 2.5% de caída de tensión, al igual que en las barras MACH138 y CAELP138.

Por otras parte, en avenida - mínima demanda todas las tensiones de barras están dentro del límite de  $\pm 2.5\%$  en los niveles de tensión. Con respecto a la caída tensión entre barras i y j, solo la caída de tensión entre las barras MACH138 e INCA138 supera el 2.5% de caída de tensión (2.96%).

En el escenario de estiaje - máxima demanda, todas la barras están dentro del rango del  $\pm 5\%$  en los niveles de tensión, pero la barra MACH138 ya no cumple con el criterio del 2.5% en operación en tiempo real. También se observa que la caída de tensión entre las barras MACH138 e INCA138 y entre las barras MACH138 y CAELP138 es mayor al 2.5%.

En estiaje - mínima demanda, la barra MACH138 trabaja por encima del 2.5% de su nivel de tensión nominal (criterio de operación) y en el límite del 5% (criterio de planificación). También la barra CAELP138 trabaja por encima del 2.5% de su tensión nominal. Por otra parte, solo la caída de tensión entre las barras MACH138 e INCA138 superan el límite del 2.5%.

#### **3.4.1.1. Salida de las líneas L-1001 y L-1002 en el escenario de Avenida - Máxima Demanda**

En el cuadro 3.4 se muestran las tensiones de barras cuando salen las líneas L-1001 y L-1002, en el escenario avenida - máxima demanda.



CUADRO 3 . 4

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	137.91	135.86	137.48
		p.u.	1.00	0.98	1.00
INCA138	138	kV	132.12	117.63	127.01
		p.u.	0.96	0.85	0.92
QUEN138	138	kV	132.92	120.99	127.06
		p.u.	0.96	0.88	0.92
DOLOR138	138	kV	132.38	119.41	126.78
		p.u.	0.96	0.87	0.92
TINTA138	138	kV	138.50	138.07	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.95	129.28	132.54
		p.u.	0.99	0.94	0.96
ABAN138	138	kV	127.17	110.29	121.61
		p.u.	0.92	0.83	0.88
MAZUCO138	138	kV	140.63	140.63	140.65
		p.u.	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	143.04	143.05	143.06
		p.u.	1.04	1.04	1.04

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

En el grafico 3.1 se puede observar las tensiones en las diferentes barras tanto en operación normal y en contingencias. El límite para el criterio de planificación ( $\pm 5\%$ ) es el límite de color celeste, y para el criterio de operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ) es el límite de color rojo.

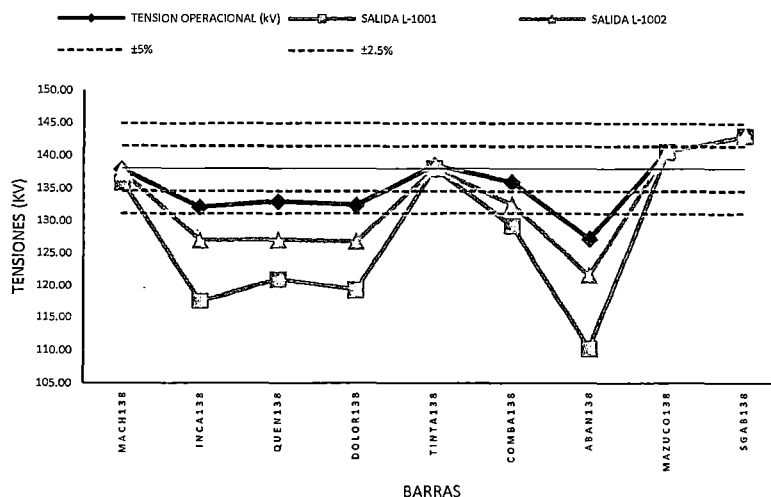
En operación normal, las barras MACH138, TINTA138, COMBA138 y MAZUCO138 están dentro de los rangos de nivel de tensión ( $\pm 2.5\%$  en operación y  $5\%$  en planificación), mientras que las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y SGAB138 operan fuera del rango del  $\pm 2.5\%$  y la barra ABAN138 opera fuera del rango de  $\pm 5\%$ .

En los escenarios de contingencias, las barras MACH138, TINTA138 y MAZUCO138 se mantiene dentro del rango del  $\pm 2.5\%$ , las barras COMBA138 y SGAB138 operan fuera del rango del  $\pm 2.5\%$  y las demás barras presentan fuertes caídas de tensión mayores al  $5\%$  por debajo de la tensión nominal, siendo la más grave la barra ABAN138.



GRÁFICO 3.1

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

En el cuadro 3.5 se tiene datos de cargabilidad de las líneas tanto en operación normal y contingencias. Los valores en color rojo son los que sobrepasan el 100% de capacidad de carga de la línea.

CUADRO 3.5

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014

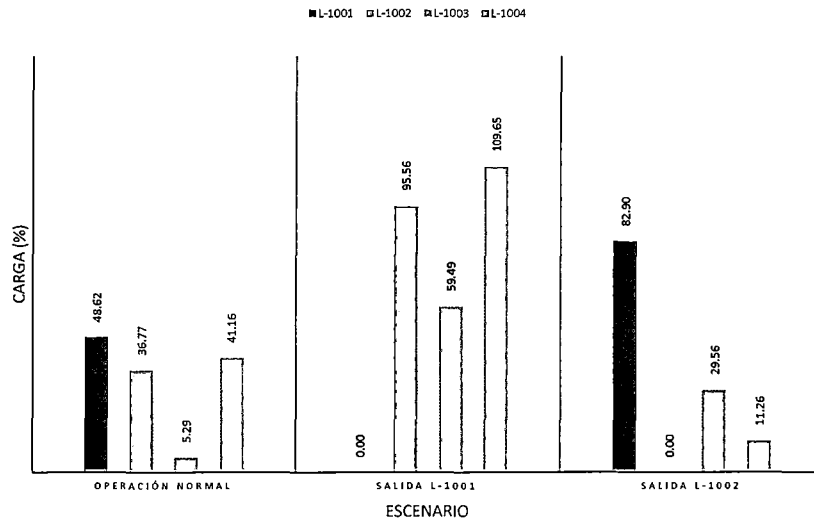
OPERACIÓN NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	44.57	43.46	48.62	190
L-1002	MACH138	QUEN138	30.16	29.92	36.77	130
L-1003	INCA138	DOLOR138	4.85	4.15	5.29	20
L-1004	DOLOR138	QUEN138	33.07	33.11	41.16	140
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	77.68	70.28	95.56	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	48.48	49.00	59.49	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	79.37	80.31	109.65	380
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	75.84	71.08	82.90	320
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	26.00	25.85	29.56	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	8.65	8.32	11.26	40

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



En el gráfico 3.2 se observa de mejor manera la cargabilidad de las líneas de transmisión, y como algunas de ellas superan el 100% de carga.

**GRÁFICO 3.2**  
 CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
 AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Como se puede apreciar, solo se presenta sobrecarga en la línea L-1004 ante la salida de la línea L-1001, mientras que la línea L-1002 trabaja cerca del 100% de carga.

### 3.4.1.2. Salida de las líneas L-1001 y L-1002 en el escenario Avenida - Mínima Demanda

En el cuadro 3.6 se muestran las tensiones de barras cuando salen las líneas L-1001 y L-1002, en el escenario de Avenida - Mínima Demanda:



CUADRO 3 . 6

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2014

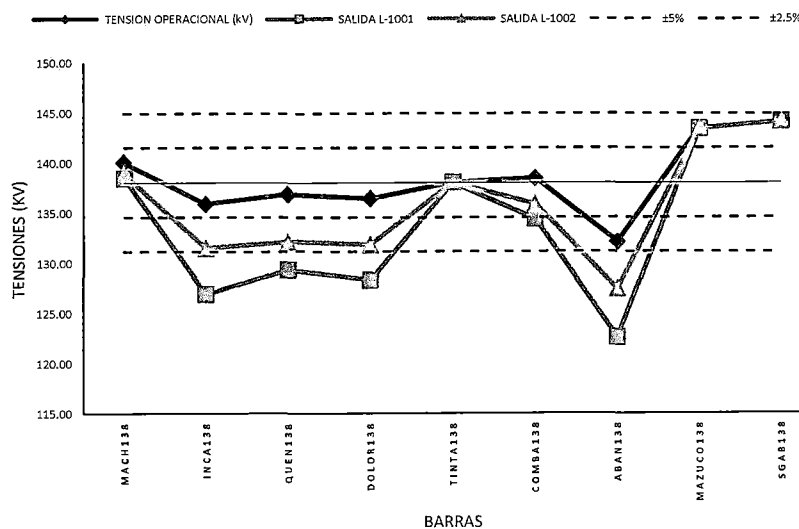
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	140.01	138.45	138.85
		p.u.	1.01	1.00	1.01
INCA138	138	kV	135.87	126.87	131.44
		p.u.	0.98	0.92	0.95
QUEN138	138	kV	136.84	129.31	132.06
		p.u.	0.99	0.94	0.96
DOLOR138	138	kV	136.39	128.30	131.72
		p.u.	0.99	0.93	0.95
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	138.42	134.38	135.85
		p.u.	1.00	0.97	0.98
ABAN138	138	kV	132.04	122.58	127.40
		p.u.	0.96	0.89	0.92
MAZUCO138	138	kV	143.37	143.37	143.37
		p.u.	1.04	1.04	1.04
SGAB138	138	kV	144.09	144.09	144.09
		p.u.	1.04	1.04	1.04

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

En el gráfico 3.3 se aprecia el perfil de tensiones tanto en operación normal como en los escenarios de contingencias.

GRÁFICO 3 . 3

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



Como se puede apreciar, durante operación normal, las barras ABAN138, MAZUCO138 y SGAB138 operan dentro del margen de operación en planificación (área celeste), pero estarían violando el margen del criterio de operación en tiempo real (área roja).

Durante los escenarios de contingencias, solo las barras de MACH138 y TINTA138 continúan operando dentro del margen del  $\pm 2.5\%$  en los niveles de tensión. La barra COMBA138 también opera dentro de este margen, pero muy cerca del límite inferior.

En el cuadro 3.7 se muestran los datos de cargabilidad de las líneas durante los diferentes escenarios mencionados.

CUADRO 3 . 7

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	46.54	45.27	49.26	190
L-1002	MACH138	QUEN138	33.76	32.81	39.77	140
L-1003	INCA138	DOLOR138	9.87	9.13	10.47	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.78	15.50	19.06	70
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	80.54	75.35	96.18	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	50.08	50.47	56.97	230
L-1004	DOLOR138	QUEN138	58.94	59.31	75.79	270
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	80.34	76.38	85.72	330
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	30.84	30.55	33.74	130
L-1004	DOLOR138	QUEN138	24.73	24.50	30.87	110

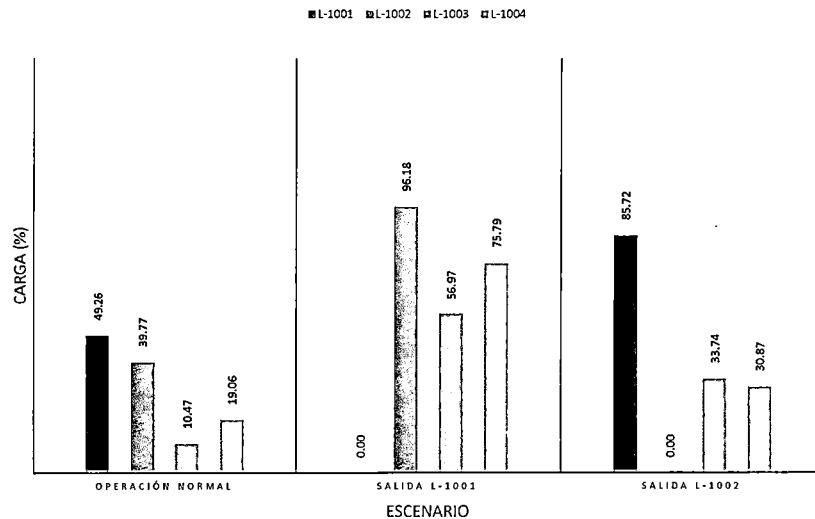
FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

En el gráfico 3.4, se observa que en todos los escenarios las líneas trabajan sin sobrepasar el 100% de cargabilidad.



**GRÁFICO 3 . 4**

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

### 3.4.1.3. Salida de las líneas L-1001 y L-1002 en el escenario Estiaje - Máxima Demanda

En el cuadro 3.8 se muestran las tensiones de barras cuando salen las líneas L-1001 y L-1002, en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda:





**CUADRO 3.8**

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2014

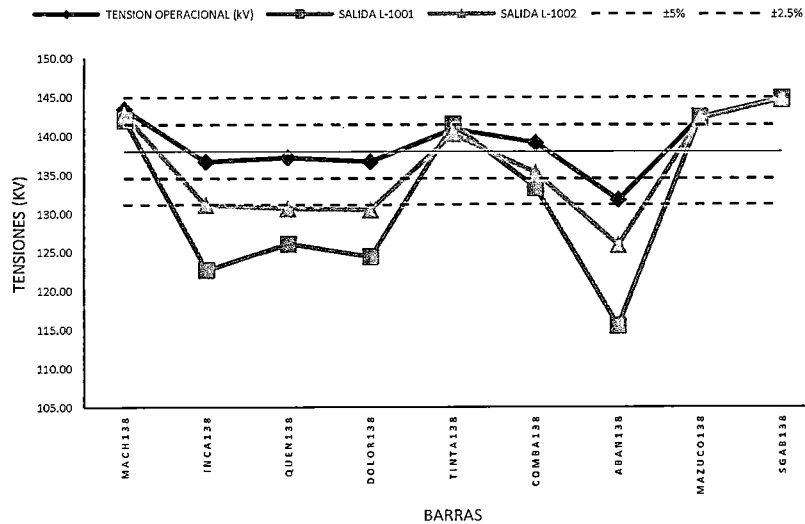
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	143.41	141.99	142.72
		p.u.	1.04	1.03	1.03
INCA138	138	kV	136.62	122.64	131.06
		p.u.	0.99	0.89	0.95
QUEN138	138	kV	137.18	126.02	130.62
		p.u.	0.99	0.91	0.95
DOLOR138	138	kV	136.65	124.36	130.46
		p.u.	0.99	0.90	0.95
TINTA138	138	kV	140.83	141.45	140.20
		p.u.	1.02	1.03	1.02
COMBA138	138	kV	139.07	133.32	135.22
		p.u.	1.01	0.97	0.98
ABAN138	138	kV	131.71	115.46	125.85
		p.u.	0.95	0.84	0.91
MAZUCO138	138	kV	142.30	142.39	142.20
		p.u.	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	144.73	144.82	144.63
		p.u.	1.05	1.05	1.05

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

En el gráfico 3.5 se muestran los perfiles de tensión en el escenario Estiaje - Máxima Demanda.

**GRÁFICO 3.5**

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



Se puede apreciar que en operación normal, las barras ABAN138, MAZUCO138 y SGAB138 operan fuera del rango de operación (área roja) y que la barra TINTA138 opera muy cerca del límite superior de esta área.

Durante contingencias, solo la barra TINTA138 continua operando dentro del rango de operación, mientras que las demás barras operan fuera de este rango, siendo el escenario más grave la salida de la línea L-1001, donde varias barras operan fuera del rango de planificación (área celeste)

En el cuadro 3.9 se muestran los datos de cargabilidad de las líneas durante los diferentes escenarios mencionados.

**CUADRO 3.9**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
Año 2014

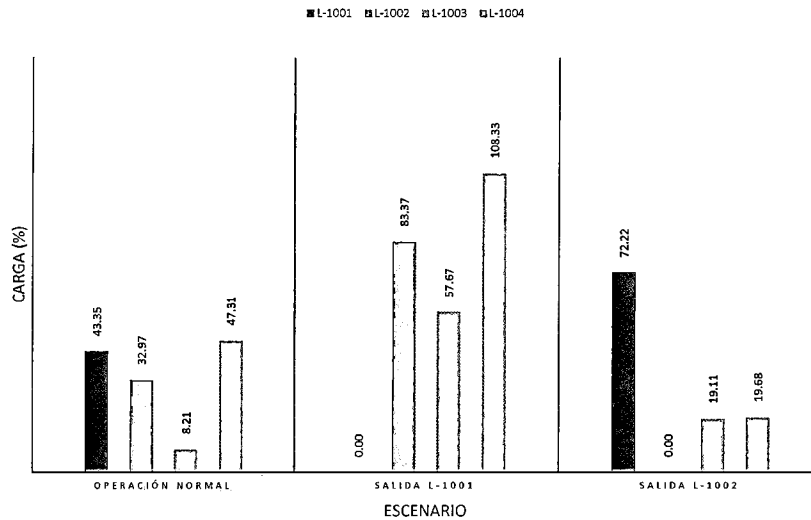
OPERACION NORMAL						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	40.44	40.01	43.35	170
L-1002	MACH138	QUEN138	26.33	27.42	32.97	120
L-1003	INCA138	DOLOR138	7.59	7.78	8.21	30
L-1004	DOLOR138	QUEN138	39.19	39.27	47.31	170
SALIDA L-1001						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	69.62	63.69	83.37	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	49.00	49.46	57.67	230
L-1004	DOLOR138	QUEN138	81.67	82.63	108.33	380
SALIDA L-1002						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	68.03	63.94	72.22	280
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	17.05	17.27	19.11	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.57	15.57	19.68	70

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

En el gráfico 3.6 se muestran los perfiles de cargabilidad en el Escenario - Máxima Demanda.



**GRÁFICO 3.6**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

En el gráfico se observa que solo durante la salida de la línea L-1001 la línea L-004 supera el 100% de cargabilidad.

#### 3.4.1.4. Salida de las líneas L-1001 y L-1002 en el escenario Estiaje - Mínima Demanda

En el cuadro 3.10 se muestran las tensiones de barras cuando salen las líneas L-1001 y L-1002, en el escenario de Estiaje - Mínima Demanda:



CUADRO 3 . 10

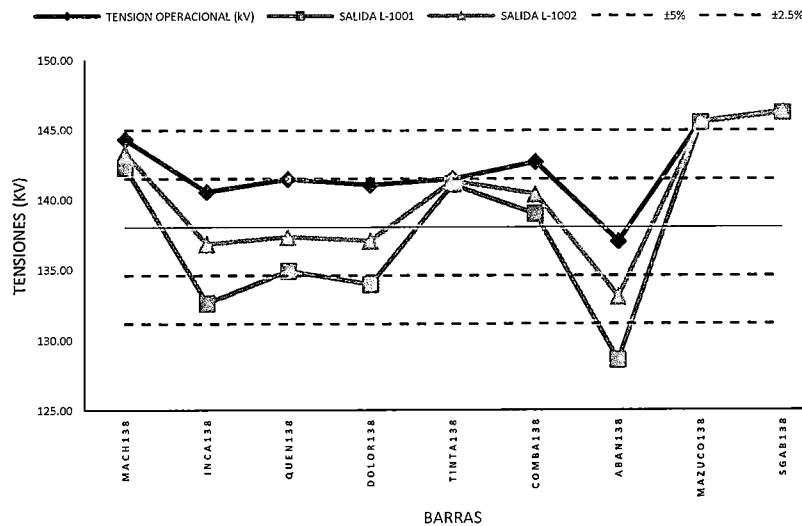
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2014

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	144.26	142.27	143.27
		p.u.	1.05	1.04	1.04
INCA138	138	kV	140.52	132.58	136.79
		p.u.	1.02	0.96	0.99
QUEN138	138	kV	141.41	134.88	137.29
		p.u.	1.02	0.98	0.99
DOLOR138	138	kV	141.00	133.92	137.01
		p.u.	1.02	0.97	0.99
TINTA138	138	kV	141.45	141.06	141.29
		p.u.	1.02	1.02	1.02
COMBA138	138	kV	142.63	138.94	140.34
		p.u.	1.03	1.01	1.02
ABAN138	138	kV	136.95	128.54	133.03
		p.u.	0.99	0.93	0.96
MAZUCO138	138	kV	145.53	145.48	145.51
		p.u.	1.05	1.05	1.05
SGAB138	138	kV	146.25	146.20	146.23
		p.u.	1.06	1.06	1.06

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

GRÁFICO 3 . 7

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2014



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Durante operación normal, solo la barra ABAN138 opera dentro del margen de operación (área roja), las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y TINTA138 operan muy cerca al límite superior y las demás barras operan



fuera de este límite, e incluso violan el límite del criterio de planificación (área celeste).

Durante la salida de la línea L-1001, solo las barras COMBA138, TINTA138 y QUEN138 operan dentro del área de operación, operando estas dos últimas barras muy cerca de los límites de esta área. Las demás barras operan fuera de esta área, siendo las más graves las barras ABAN138, MAZUCO138 y SGAB138 que operan fuera del área de planificación.

Durante la salida de la línea L-1002, las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y COMBA138 operan dentro del margen de operación, las barra TINTA138 continua operando en el límite superior de este área, las barras MACH138 y ABAN138 operan fuera de este área pero dentro del área de planificación y las barras MAZUCO138 y SGAB138 continúan operando fuera del área de planificación.

**CUADRO 3 . 11**

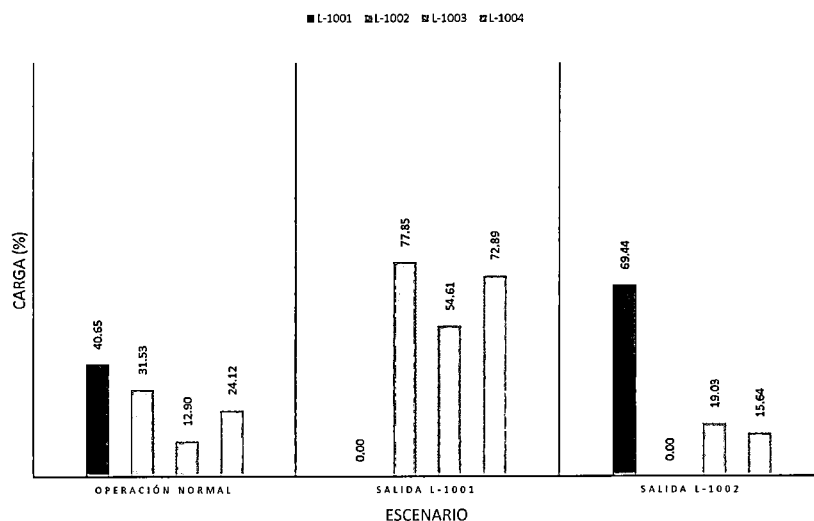
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2014

OPERACIÓN NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	39.44	38.59	40.65	160
L-1002	MACH138	QUEN138	27.52	27.03	31.53	110
L-1003	INCA138	DOLOR138	12.56	12.12	12.90	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	20.62	20.46	24.12	80
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	66.88	63.66	77.85	270
L-1003	INCA138	DOLOR138	50.16	50.49	54.61	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	59.18	59.49	72.89	250
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	67.01	64.17	69.44	270
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	18.03	17.63	19.03	70
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.99	12.60	15.64	50

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



**GRÁFICO 3 . 8**  
**CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2014**



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Como se observa en el gráfico, ninguna línea presenta sobrecarga durante los diferentes escenarios.

### 3.5. SEIN, CONDICIONES ACTUALES Y FUTURAS

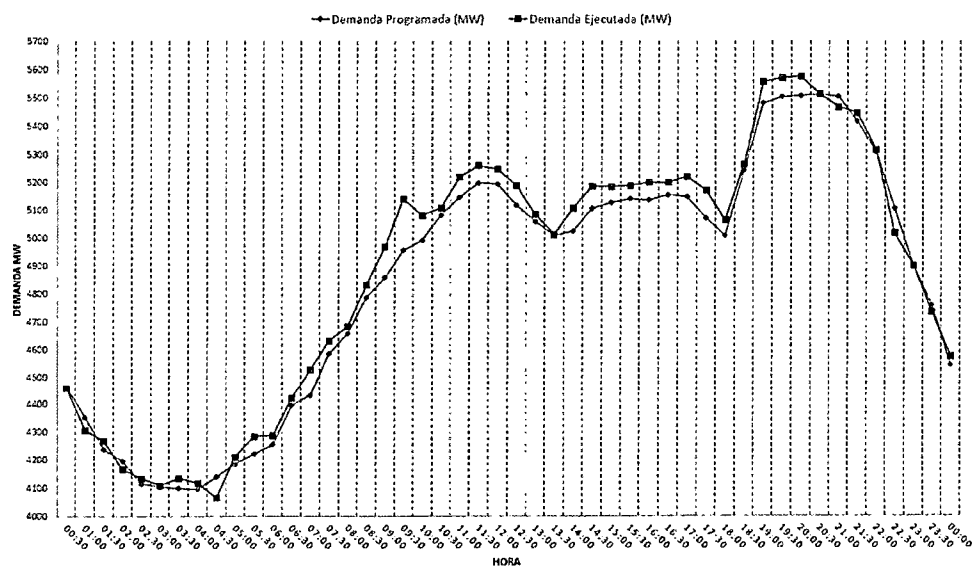
#### 3.5.1. Demanda de potencia total del SEIN y demanda del área Sur

Para la demanda del SEIN se tomó la máxima demanda del año 2013, la cual se dio el día Miércoles 11 de Diciembre, dándose su mayor valor a las 20:00 horas., el cual fue de 5576 MW.

Para esto se utilizó los datos del Informe de Evaluación de Operación Diaria del COES (IEOD).



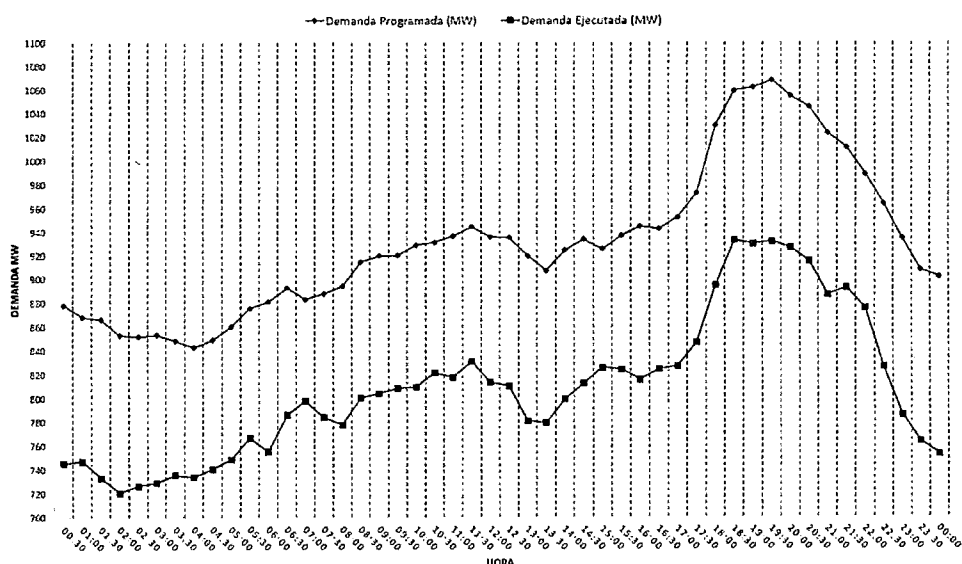
**GRÁFICO 3 . 9:**  
MÁXIMA DEMANDA DEL SEIN EN EL AÑO 2013



FUENTE: IEOD - COES

Ahora, para la misma fecha, en el gráfico 3.6 se muestra la evolución de la demanda durante el día del área Sur del SEIN, cuyo máximo valor se dio a las 18:30 horas y fue de 932.3 MW.

**GRÁFICO 3 . 10:**  
MÁXIMA DEMANDA EN EL ÁREA SUR DEL SEIN EN EL AÑO 2013



FUENTE: IEOD - COES



### 3.5.1.1. Proyección de la demanda del SEIN

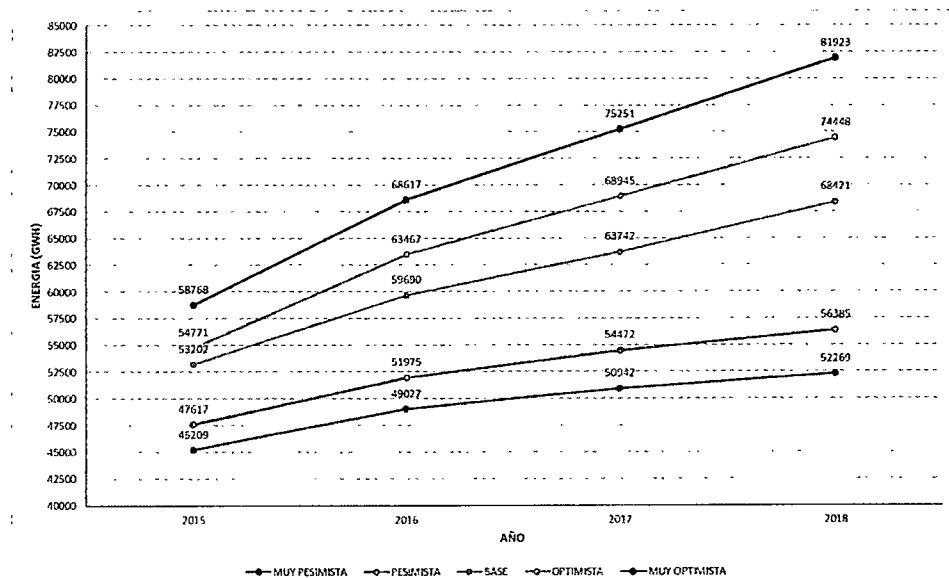
La proyección de la demanda es de vital importancia en los estudios de sistemas de potencia, ya que de los valores que pueda tomar la demanda en el futuro, dependerá el diseño de nuevas instalaciones, ya sean de generación, transmisión o distribución de energía eléctrica.

### 3.5.1.2. Demanda del SEIN al año 2018

En el gráfico 3.7 se muestra la evolución de la demanda del SEIN hasta el año 2018, donde se puede observar la evolución de la demanda en 5 escenarios (muy pesimista, pesimista, base, optimista y muy optimista).

Para esto se utilizó información obtenida del "Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2015 – 2024", elaborado por el COES.

GRÁFICO 3 . 11:  
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DEL SEIN AL AÑO 2018



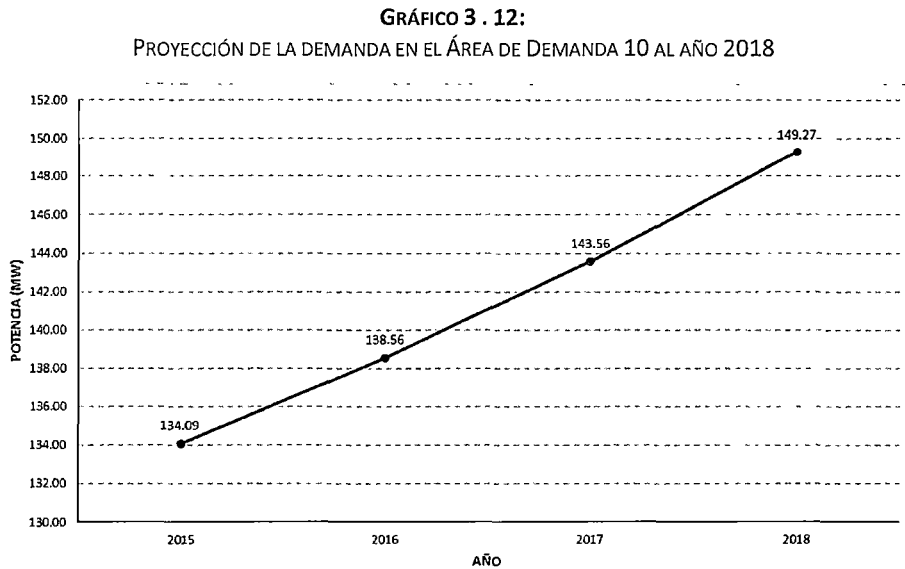
FUENTE: Informe COES/DP-01-2013





### 3.5.1.3. Demanda del Área de Demanda 10 al año 2018

Dado que las líneas de transmisión L-1001 y L-1002 están dentro del área de demanda 10, en el gráfico 3.8 se muestra la proyección de la demanda de los usuarios en esta área.



FUENTE: OSINERGMIN - GART

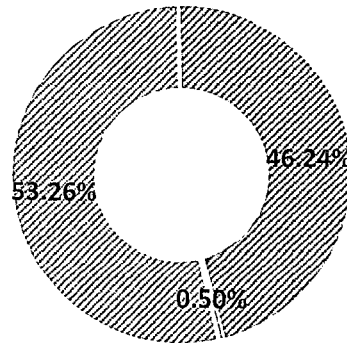
### 3.5.2. Oferta eléctrica del SEIN

La producción de energía eléctrica en el SEIN en año 2013 fue de 39 669,4 GWh. Esta producción de energía muestra un incremento del 6.29% con respecto al año 2012, siendo preponderante la producción de energía hidroeléctrica.



**GRÁFICO 3.13**  
PARTICIPACIÓN DEL TIPO DE GENERACIÓN EN EL COES, AÑO 2013

■ HIDROELECTRICA ■ TERMoeLECTRICA ■ SOLAR



FUENTE: Estadística de Operación 2013 - COES

### 3.5.2.1. Producción de energía en el Área de Demanda 10

Dentro del área de demanda 10, tenemos dos centrales eléctricas importantes del sur del país, la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, perteneciente a EGEMSA y la Central Hidroeléctrica San Gabán II, de propiedad de la empresa San Gabán.

También se debe mencionar que durante el año 2013, debido a obras de la 2da. Fase de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu, se programó una parada de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (1ra. Fase), motivo por el cual se dio el reingreso de operación comercial de la C.T. de Dolorespata y el ingreso de las Centrales Térmicas de Emergencia: C.T.E. Tamburco, C.T.E. Dolorespata, C.T.E. Cachimayo y C.T.E. Uripata.

En el cuadro 3.8 se muestra la producción de energía anual de estas centrales.



**CUADRO 3 . 12**  
 POTENCIA EFECTIVA (MW) Y ENERGÍA ANUAL (GWh) DE LAS CENTRALES EN EL ÁREA 10, AÑO 2013

EMPRESA	CENTRAL ELECTRICA	POTENCIA EFECTIVA MW	ENERGIA GWh
EGEMSA	C.H. Machupicchu	88.8	712.8
	C.T. Dolorespata	11.5	0.7
	C.T.E. Cachimayo	3.2	0.2
	C.T.E. Dolorespata	10.3	0.8
	C.T.E. Tamburco	4	0.2
	C.T.E. Uripata	1.6	0.1
SAN GABAN	C.H. San Gaban	113.1	781.2

FUENTE: Estadística de Operación 2013 - COES

Además de estas centrales, en el área existen centrales a cargo de la empresa distribuidora Electro Sur Este S.A., las cuales se menciona a continuación en el cuadro 3.8:

**CUADRO 3 . 13**  
 PRINCIPALES DATOS DE LAS CENTRALES ELÉCTRICA A CARGO DE ELECTRO SUR ESTE S.A. EN EL ÁREA 10

CENTRAL ELECTRICA	POTENCIA EFECTICA MW	NRO. DE GRUPOS	TECNOLOGIA
C.H. Matara	1.52	3	Francis
C.H. Chumbao	1.8	2	Pelton
C.H. Vilcabamba	0.4	2	Francis

FUENTE: Compendio de Centrales Hidráulicas y Térmicas de las Empresas de Distribución - OSINERGMIN

### 3.5.2.2. Futuro de oferta de energía eléctrica

Debido al crecimiento económico que experimenta el país, surge un incremento de la necesidad de energía eléctrica. Esta situación hace necesaria la creación de nuevas centrales generadoras, esto aprovechando los recursos que se tiene en el país, ya sean hidráulicos, eólicos, solares o los combustibles fósiles.

En el cuadro 3.9 se muestran los proyectos previstos a entrar en operación en el área geográfica del área de demanda 10, en el sur este del país.



**CUADRO 3 . 14**  
FUTUROS PROYECTOS DE GENERACIÓN A INGRESAR DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

PROYECTO	EMPRESA	UBICACIÓN	POTENCIA A INGRESAR MW
C.H. Santa Teresa	Luz del Sur	Cusco	98
C.H. Pucará	Empresa de Generación Eléctrica del Cusco	Cusco	178
C.H. Machupicchu	Egema	Cusco	102
C.H. Vilcanota II	Renewable Energy Perú S.A.C.	Cusco	19
C.T. Puerto Maldonado	Consorcio Energías del Perú - Infraestructura y Energías del Perú S.A.C.	Madre de Dios	18
C.T. Quillabamba	Electroperu	Cusco	200

FUENTE: Gerencia de Fiscalización Eléctrica - OSINERGMIN

### 3.5.3. Sistemas de transmisión futuros considerados dentro del estudio

La información utilizada se obtuvo del "Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, periodo 2015 - 2024".

**CUADRO 3 . 15**  
PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN A INGRESAR EN EL FUTURO

PROYECTO	FECHA ESTIMADA DE ÍNGRESO
L.T. 220 kV Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse (doble circuito) y SS.EE. Asociadas	jun-15
L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya y SS.EE. Asociadas	dic-17

FUENTE: Informe COES/DP-01-2013

**Nota:** Las fechas de ingreso son referenciales, pudiendo variar de acuerdo al desarrollo de proyecto.



## Capítulo IV:

# Análisis de las condiciones operativas de las líneas durante el despacho de las nuevas centrales y alternativas de solución

## 4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se simulan los sistemas eléctricos de potencia con la inclusión de las dos nuevas centrales (Machupicchu Segunda Fase y Santa Teresa) al SEIN, obteniendo las mejores alternativas de solución en un estudio de corto y mediano plazo; primando la optimización en la capacidad de transporte de energía eléctrica que obtendrán las líneas L-1001 y L-1002 (beneficio operativo).

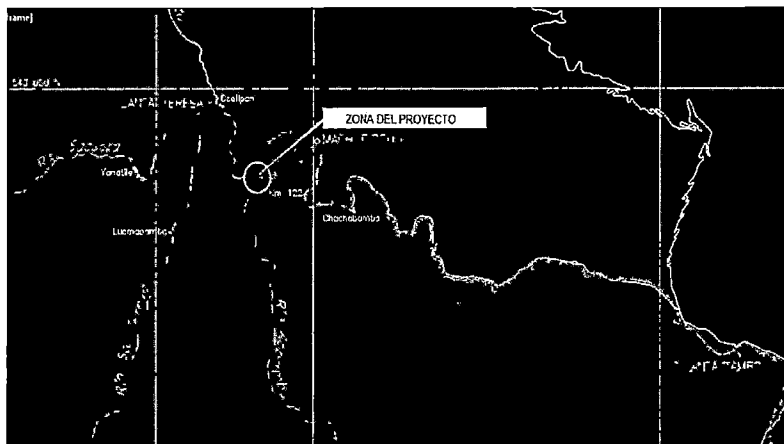
## 4.2. CENTRALES HIDROELECTRICAS MACHUPICCHU (2DA FASE) Y SANTA TERESA

### 4.2.1. Central Hidroeléctrica de Machupicchu (2da Fase)

La Central Hidroeléctrica Machupicchu segunda fase, desde el punto de vista físico-político se encuentra ubicada en el distrito de Machupicchu, provincia de Urubamba del departamento del Cusco.

IMAGEN 4.1

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU (2DA FASE)



FUENTE: Luz del Sur, Plano ST-OE-003. Ubicación del Proyecto



La obra de la segunda etapa constituye la mayor inversión en materia hidroenergética del sur y contribuirá con más energía inyectada al SEIN. Entre los diversos beneficios que aporta esta obra, se pueden mencionar la reducción de los precios de la energía y tarifas a los usuarios, el incremento de la confiabilidad del sistema sur y mejora de la estabilidad del sistema. [14] [26]

Dentro de su 2da. fase se construye, junto a la actual, una nueva casa de máquinas, alimentada por una nueva tubería forzada, paralela a las dos actuales. La nueva casa de máquinas albergará al equipo principal conformado por una turbina Francis de eje vertical, un generador síncrono, una válvula esférica y todos los equipos eléctricos, mecánicos auxiliares y climatización.

Las características de los equipos principales de la segunda fase son las siguientes:

CUADRO 4.1  
PRINCIPALES DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU (2DA FASE)

DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL	
Potencia Instalada	102 MW
Numero de unidades de generación	1
Salto neto	356.20 m
Caudal	31 m <sup>3</sup> /s
Recurso Hídrico	Rio Urubamba
Casa de maquinas	Subterráneo
DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA	
Tipo de turbina	Francis Vertical
Potencia nominal	101.3 MW
Velocidad	450 rpm
DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR	
Potencia nominal	120 MVA
Tensión de generación	13.8 kV
Factor de potencia	0.85
DATOS TÉCNICOS DEL TRANSFORMADOR	
Tipo	Monofásico
Potencia nominal	3x40 MVA + 1x40 MVA (reserva)
Nivel de tensión	13.8/138 kV

FUENTE: Egemsa, Área Proyecto 2da Fase

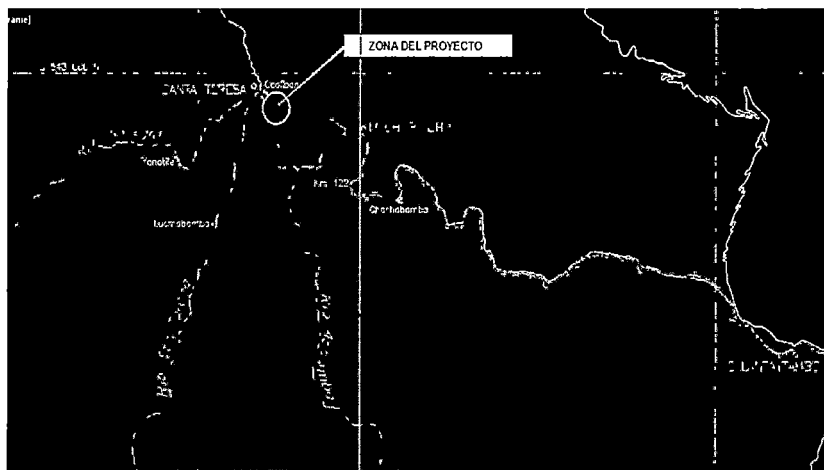


#### 4.2.2. Central Hidroeléctrica de Santa Teresa

La Central Hidroeléctrica Santa Teresa - Ccollpani Grande, se ubica en la zona sur-este del Perú, en el departamento de Cusco, provincia de La Convención, distrito de Santa Teresa, a una altitud aproximada de 1500 msnm, dicha central aprovechará las aguas turbinadas de las Centrales Hidroeléctricas Machupicchu I y II para generar 98.12 MW de potencia y alrededor de 722.17 GWh de energía anualmente. [14]

IMAGEN 4.2

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SANTA TERESA



FUENTE: Luz del Sur, Plano ST-OE-003. Ubicación del Proyecto

Esta es una central de pasada, es decir, no requiere de un embalse o represa y su desarrollo es completamente subterráneo. Las aguas turbinadas por las Centrales Hidroeléctricas Machupicchu I y II serán conducidas hasta la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa - Ccollpani Grande a través de un túnel de conducción excavado en roca, de casi 4 kilómetros de longitud.

Las principales características son:



CUADRO 4 . 2

PRINCIPALES DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA

DATOS TÉCNICOS DE LA CENTRAL	
Potencia Instalada	98.12 MW
Numero de unidades de generación	2
Salto neto	186.80 m
Caudal	61 m <sup>3</sup> /s
Recurso Hídrico	Rio Urubamba
Casa de maquinas	Subterráneo
DATOS TÉCNICOS DE LA TURBINA	
Tipo de turbina	Francis Vertical
Potencia nominal	59 MW
Caudal Nominal	34.5 m <sup>3</sup> /s
DATOS TÉCNICOS DEL GENERADOR	
Potencia nominal	57.7 MVA
Tensión de generación	13.8 kV
Factor de potencia	0.9
DATOS TÉCNICOS DEL TRANSFORMADOR	
Tipo	Monofásico
Potencia nominal	3x40 MVA
Nivel de tensión	13.8/220 kV

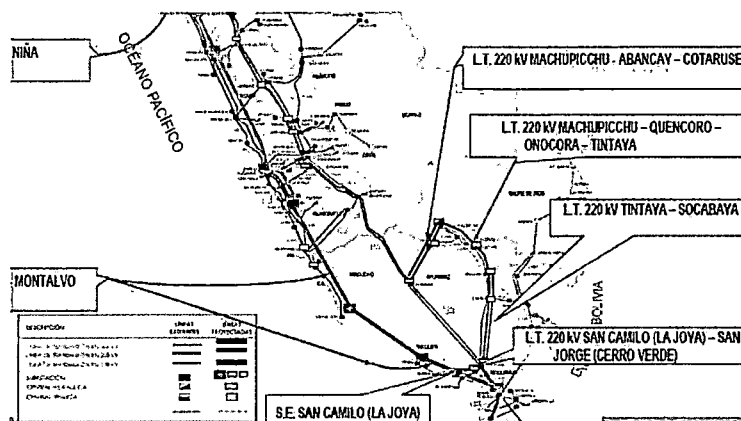
FUENTE: Luz del Sur, Área de Proyectos

### 4.3. PANORAMA DE LOS STL, LINEAS L-1001 Y L-1002 AL AÑO 2018

El panorama realizado se hace en base al análisis que realiza el COES, diagnosticando las condiciones operativas del SEIN, lo cual les lleva a tomar estudios de corto plazo y mediano plazo, con la finalidad de detectar las restricciones o congestiones en el sistema de transmisión bajo distintas hipótesis de demanda y generación.

IMAGEN 4 . 3

IMPORTANTES PROYECTOS DE TRANSMISIÓN HASTA EL AÑO 2016



FUENTE: Plan de Transmisión, Periodo 2014 - 2024 (COES)





### 4.3.1. Panorama a corto plazo (2015)

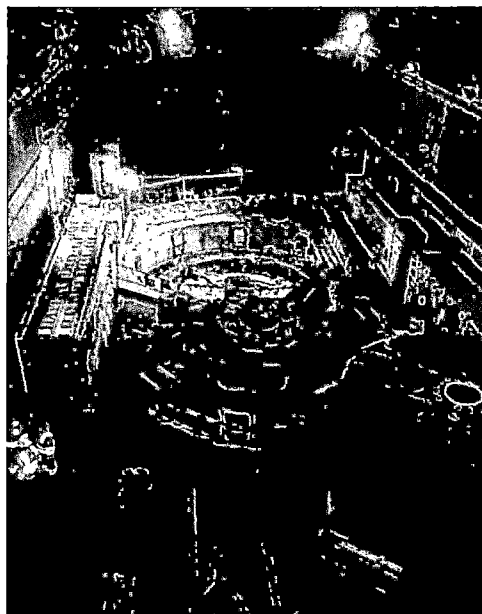
En el estudio se prioriza el panorama de las condiciones operativas de las líneas L-1001 y L-1002 para el corto plazo, requiriendo necesariamente la implementación de algún sistema que permita dar la confiabilidad de transmisión a mencionadas líneas de transmisión, sin que estas se sobrecarguen a más de su 100% de capacidad de transmisión, debido al ingreso de nuevas centrales eléctricas en la zona.

Se menciona además en el siguiente cuadro, proyectos de generación relevantes para dicho panorama, que involucran la operatividad de las líneas L-1001 y L-1002 y que se darán a lo largo del año 2015.

CUADRO 4.3  
OBRAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICAS VINCULADAS A LAS LÍNEAS L-1001 Y L-1002

FECHA DE INGRESO ESTIMADO	PROYECTO	POTENCIA INSTALADA (MW)	NOTA
mar-15	Central Hidroeléctrica de Santa Teresa	98.10	Fuente LDS
sep-15	Central Hidroeléctrica de Machupicchu (2da. Fase)	102.00	Fuente: Osinergmin

IMAGEN 4.4  
MONTAJE DEL GENERADOR, C.H. MACHUPICCHU 2DA FASE



FUENTE: Fotografía propia de los autores



Debido a los puntos mencionados, para el año 2015 la central de Santa Teresa priorizará despachar su energía generada por la línea L-1001 y L-1002, esto hará que limiten el despacho de su capacidad de generación eléctrica; pues el proyecto de la línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220kV se paralizó por un periodo debido a temas vinculados al SERNANP y temas prediales, tanto en las Subestaciones como en la construcción de sus torres [24]; tentativamente tendría su puesta en servicio para fines del segundo trimestre del año 2015 (temporada de estiaje).

IMAGEN 4.5  
SUBESTACIÓN DE SURIRAY 220/138 kV (PROYECTO MACO).



FUENTE: Fotografía propia de los autores

#### 4.3.2. Panorama a mediano plazo (2016 - 2018)

El estudio a mediano plazo abarca hasta el año 2018 pues se espera que ese año entre en operación la línea Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya en 220 kV completando así el anillo sur este; de esta forma se proyecta dos años más de estudio con dicha línea de transmisión operativa. [13]

Se menciona además en el siguiente cuadro, proyectos de generación relevantes para dicho panorama, que involucran en la operatividad de las líneas L-1001 y L-1002 y que se darán a lo largo de estos tres años:

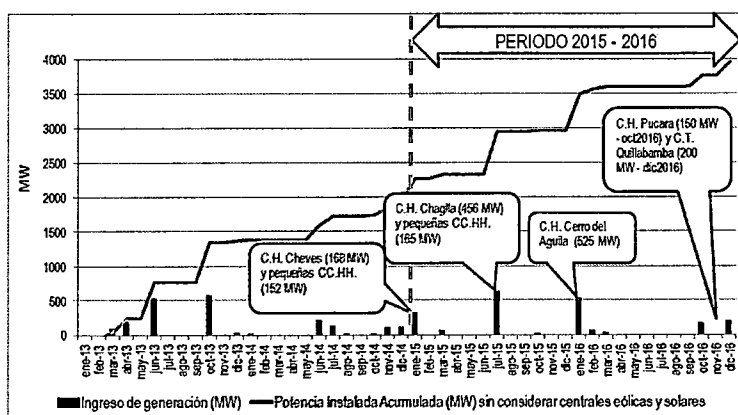


CUADRO 4.4  
OBRAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA FUTURAS EN LA REGIÓN SUR ESTE

FECHA DE INGRESO ESTIMADO	PROYECTO	POTENCIA INSTALADA (MW)	NOTA
may-16	Central Hidroeléctrica Vilcanota 2	19.00	Fuente: Dirección de Planificación de Transmisión COES
dic-17	Central Hidroeléctrica de Pucará	149.80	Fuente: Osinergmin
dic-16	Central Térmica de Quillabamba	200.00	Fuente: Osinergmin

Para el año 2016 de forma segura, entra a tallar la operatividad del proyecto de líneas de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV, lo cual alivia la cargabilidad de las líneas de estudio, esto puede darse hasta fines de año donde probablemente entre en operación la central térmica de Quillabamba con 200 MW. Surgirá entonces nuevamente la probabilidad de que las líneas L-1001 y L-1002 se sobrecarguen.

GRÁFICO 4.1  
IMPORTANTES PROYECTOS DE GENERACIÓN HASTA EL AÑO 2016



FUENTE: Dirección de Planificación de Transmisión (COFS)

#### 4.4. ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE LAS LINEAS L-1001 Y L-1002

Para el análisis de cargabilidad se calculó, mediante el programa PLS CADD (Power Line Systems Computer Arded Desing and Dranfting), las capacidades térmicas de las líneas L-1001 y L-1002 en función a sus temperaturas de operación (50°C) y datos extraídos de las cuadros 3.1 y 3.2 del capítulo III; obteniendo resultados de límites térmicos representada por valores de corriente (corriente máxima admisible):



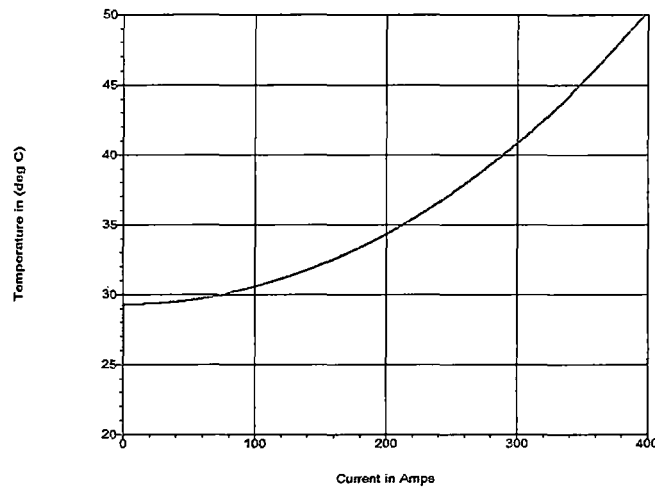
- Limite térmico L-1001:

IMAGEN 4 . 6

INGRESO DE DATOS AL PROGRAMA PLS CADD (MÉTODO IEEE 738-2006).

GRÁFICO 4 . 2

CURVA CARACTERÍSTICA DEL LÍMITE TÉRMICO L-1001 (PLS CADD).



Según los datos arrojados por el programa PLS CADD, el límite térmico determina que se puede transmitir hasta un máximo de 396.3 amperios por la línea L-1001 sin ocasionar los problemas mencionados en el punto 2.7.2 del capítulo II; este dato obtenido se respalda en las referencias [13] [22]. Ver también Anexo F.



- Limite térmico L-1002:

IMAGEN 4.7

INGRESO DE DATOS AL PROGRAMA PLS CADD (MÉTODO IEEE 738-2006).

IEEE Std 738-2006 Steady-State Thermal Rating - cairo\_asec.vir

THERMAL CALCULATIONS METHOD

IEEE Standard 738-2006     IEEE Standard 738-2012     OGRE Brochure 207

SOLAR HEATING DATA

Use specified global solar radiation (Watt/m<sup>2</sup>): 0

Calculate global solar radiation by using the parameters below

Day of year

Use day of year producing maximum solar heating

Use specified day of year: 18/03/2015

Line direction

Line perpendicular to solar azimuth (maximum solar heating)

Use specified line azimuth (deg): 72

Conductor latitude (deg): 13

Sun time [10-10am, 14-2pm, 09-no sun]: 14

Atmosphere: CLEAR

WEATHER DATA

Air temperature (deg C): 20

Wind speed (m/s): 0.6096

Wind to conductor angle (0-parallel) (deg): 90

Conductor elevation (m): 2300

CONDUCTOR DATA

Cable file name: cairo\_asec.vir

Absorptivity: from file 0.5 use for calculation 0.5

Emissivity: from file 0.5 use for calculation 0.5

CALCULATION DATA

Steady-state wire temperature (deg C): 50

Override air temp. with span specific one from a structure comment

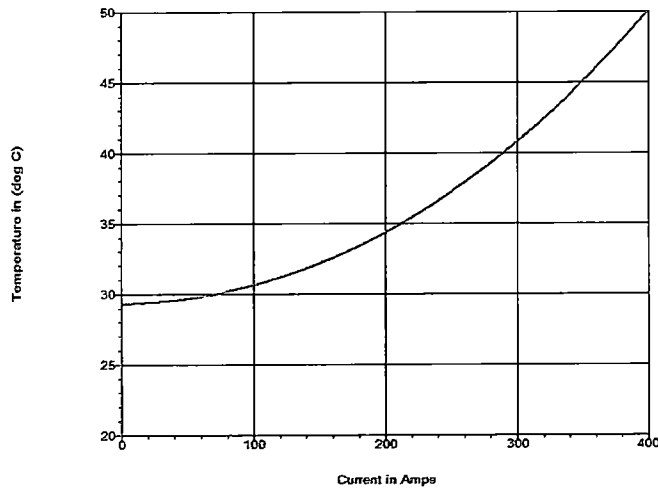
Override wire temp. with span specific one from a structure comment

Provide a label for the graph: \_\_\_\_\_

OK Cancel

GRÁFICO 4.3

CURVA CARACTERÍSTICA DEL LÍMITE TÉRMICO L-1002 (PLS CADD).



Según los datos arrojados por el programa PLS CADD, el límite térmico determina que se puede transmitir hasta un máximo de 398.5 amperios por la línea L-1001 sin ocasionar los problemas mencionados en el punto 2.7.2 del capítulo II; este dato obtenido se respalda en las referencias [13] [22]. Ver también Anexo F.



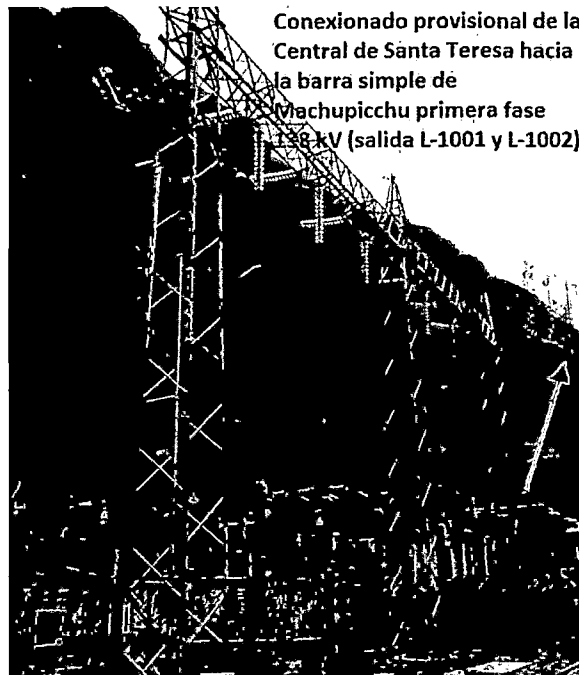
Adicionalmente a este análisis de cargabilidad se hizo una visita de campo, verificando los avances en las obras influyentes al presente estudio. A continuación se presentan los siguientes escenarios del análisis de cargabilidad:

#### 4.4.1. Análisis ante la entrada provisional de la Central Hidroeléctrica de Luz del Sur

Esta central hidroeléctrica entrará en un periodo provisional de operación entre los meses de Marzo y Abril del año 2015 (Anexo C), para este análisis se considera datos extraídos del punto 4.2.2; además se considera un análisis en demanda máxima y mínima en tiempos de avenida y estiaje, incluyendo también las salidas intempestivas de la línea L-1001 y L-1002.

IMAGEN 4 . 8

PATIO DE LLAVES C.H. MACHUPICCHU PRIMERA FASE.



FUENTE: Fotografía propia de los autores

En el cuadro 4.5 se muestran los datos en operación normal durante este escenario.



**CUADRO 4.5**  
**TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA**  
**AÑO 2015**

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uj (kV)	uj (p.u.)	phiu (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.04	1.01	-23.56	135.48	0.98	-30.89	61.70	-1.72	61.73	-59.31	4.45	59.47	65.25	250	3.26
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.04	1.01	-23.56	136.32	0.99	-29.89	53.78	-1.26	53.79	-52.15	2.49	52.21	63.36	220	2.65
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.32	0.99	-29.89	135.24	0.98	-31.90	52.15	-2.48	52.21	-51.64	2.91	51.72	63.17	220	0.79
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.48	0.98	-30.89	135.07	0.98	-31.77	40.14	-4.56	40.40	-39.95	4.35	40.19	43.04	170	0.30
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.07	0.98	-31.77	135.24	0.98	-31.90	7.85	-7.71	11.00	-7.84	7.25	10.68	13.43	50	0.13
Avenida Mínima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.29	1.01	-27.04	136.22	0.99	-34.09	58.05	-6.20	58.38	-55.90	8.14	56.49	62.04	240	2.20
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.29	1.01	-27.04	136.91	0.99	-33.06	50.05	-5.30	50.33	-48.62	5.82	48.97	59.60	210	1.70
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.91	0.99	-33.06	136.22	0.99	-34.95	48.62	-5.82	48.96	-48.18	5.99	48.55	58.99	210	0.51
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.22	0.99	-34.09	136.12	0.99	-34.68	26.32	-6.58	27.13	-26.24	6.02	26.92	28.75	110	0.07
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.12	0.99	-34.68	136.22	0.99	-34.95	17.93	-8.21	19.72	-17.90	7.81	19.53	23.89	80	0.07
Estiaje Máxima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	137.95	1.00	-65.61	130.01	0.94	-71.00	47.46	12.50	49.08	-45.85	-12.03	47.41	53.98	210	5.76
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	137.95	1.00	-65.61	132.85	0.96	-69.18	31.82	7.57	32.70	-31.17	-9.68	32.64	40.53	140	3.69
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	132.85	0.96	-69.18	131.11	0.95	-70.33	31.17	9.68	32.64	-30.96	-10.24	32.61	41.03	140	1.31
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	130.01	0.94	-71.00	130.43	0.95	-70.87	-7.42	-6.15	9.64	7.43	5.43	9.20	10.70	40	0.32
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	130.43	0.95	-70.87	131.11	0.95	-70.33	-39.74	-9.24	40.80	39.86	9.21	40.91	51.60	180	0.52
Estiaje Mínima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.79	1.01	-54.28	136.07	0.99	-59.59	45.05	-1.36	45.07	-43.77	0.52	43.77	47.73	190	2.66
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.79	1.01	-54.28	137.76	1.00	-58.09	32.35	-3.13	32.50	-31.76	0.62	31.77	38.35	130	1.45
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	137.76	1.00	-58.09	136.99	0.99	-59.28	31.76	-0.61	31.77	-31.58	-0.15	31.58	38.04	130	0.56
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.07	0.99	-59.59	136.56	0.99	-59.46	-8.17	-7.68	11.22	8.19	6.90	10.71	11.90	50	0.36
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.56	0.99	-59.46	136.99	0.99	-59.28	-16.30	-9.08	18.66	16.32	8.67	18.48	22.54	80	0.31

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



#### 4.4.1.1. Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2015

##### 4.4.1.1.1. Máxima Demanda

Los resultados en contingencias en Máxima Demanda se muestran en el cuadro 4.6:

CUADRO 4 . 6

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2015

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	140.04	139.56	139.60
		p.u.	1.01	1.01	1.01
INCA138	138	kV	135.48	131.73	132.29
		p.u.	0.98	0.95	0.96
QUEN138	138	kV	135.24	132.06	131.46
		p.u.	0.98	0.96	0.95
DOLOR138	138	kV	135.07	131.68	131.45
		p.u.	0.98	0.95	0.95
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.97	134.57	134.31
		p.u.	0.99	0.98	0.97
ABAN138	138	kV	137.00	135.69	135.79
		p.u.	0.99	0.98	0.98
MAZUCO138	138	kV	138.08	138.09	138.09
		p.u.	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.81	140.82	140.82
		p.u.	1.02	1.02	1.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

Como se puede observar, debido a que en esta época del año ya se estará en operación la línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV, los niveles de tensión se encuentran dentro de los márgenes establecidos, tanto en operación normal como en contingencias.

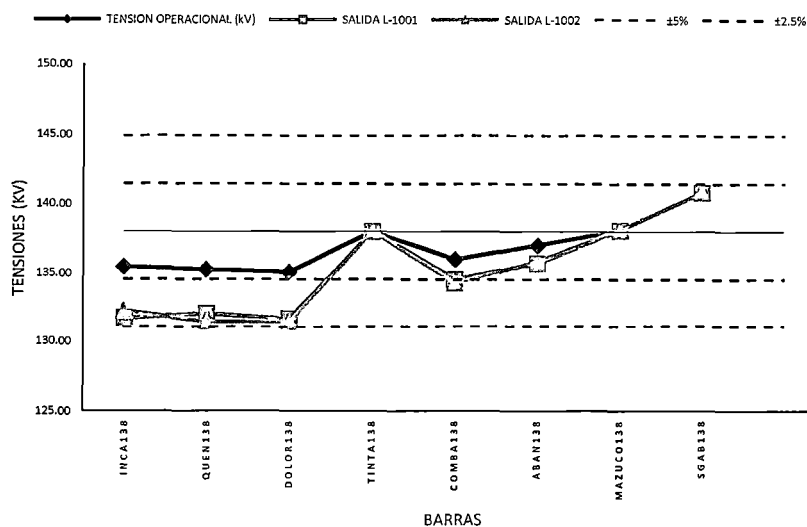
Esto se observa de mejor manera en el grafico 4.4, donde se aprecian las caídas de tensión de las diferentes barras mencionadas en el cuadro 4.6.





GRÁFICO 4.4

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

En el cuadro 4.7 se muestran los datos de carga de las líneas durante las salidas de las líneas L-1001 y L-1002. En el gráfico 4.5 se puede ver de mejor manera el comportamiento de las líneas durante estos eventos.

CUADRO 4.7

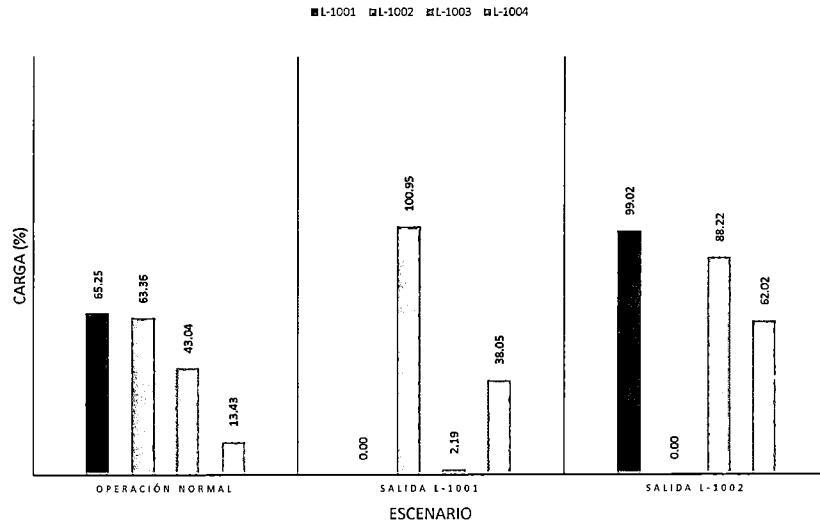
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	61.70	-59.31	65.25	250
L-1002	MACH138	QUEN138	53.78	-51.64	63.36	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	40.14	-39.95	43.04	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.85	-7.84	13.43	50
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	85.35	-79.91	100.95	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	1.88	-1.88	2.19	10
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-30.23	30.29	38.05	130
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	93.32	-87.79	99.02	390
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	80.46	-79.67	88.22	350
L-1004	DOLOR138	QUEN138	47.56	-47.39	62.02	220

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



**GRÁFICO 4.5**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Como se puede observar, en este escenario, solo la línea L-1002 sufre una pequeña sobrecarga durante la salida de la línea L-1001.

#### 4.4.1.1.2. Mínima Demanda

Los resultados en operación normal y contingencias en mínima demanda se muestran en el cuadro 4.8. Los perfiles de tensión se muestran en el gráfico 4.6:



CUADRO 4 . 8

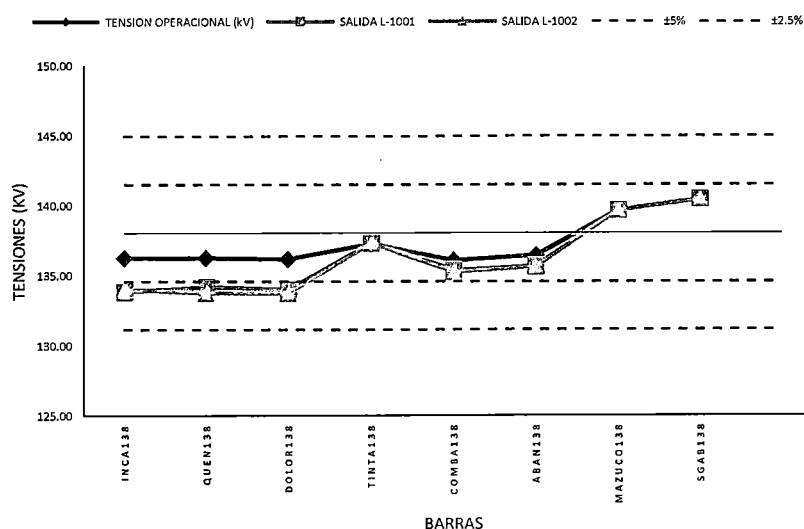
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	139.29	138.77	138.83
		p.u.	1.01	1.01	1.01
INCA138	138	kV	136.22	133.83	134.02
		p.u.	0.99	0.97	0.97
QUEN138	138	kV	136.22	134.17	133.74
		p.u.	0.99	0.97	0.97
DOLOR138	138	kV	136.12	133.97	133.71
		p.u.	0.99	0.97	0.97
TINTA138	138	kV	137.23	137.28	137.29
		p.u.	0.99	0.99	0.99
COMBA138	138	kV	136.02	135.37	135.23
		p.u.	0.99	0.98	0.98
ABAN138	138	kV	136.38	135.66	135.59
		p.u.	0.99	0.98	0.98
MAZUCO138	138	kV	139.62	139.63	139.64
		p.u.	1.01	1.01	1.01
SGAB138	138	kV	140.40	140.42	140.42
		p.u.	1.02	1.02	1.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

GRÁFICO 4 . 6

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



En el cuadro 4.9 se muestran los datos de carga de las líneas durante las salidas de las líneas L-1001 y L-1002. En el gráfico 4.7 se puede ver de mejor manera el comportamiento de las líneas durante estos eventos.

**CUADRO 4.9**

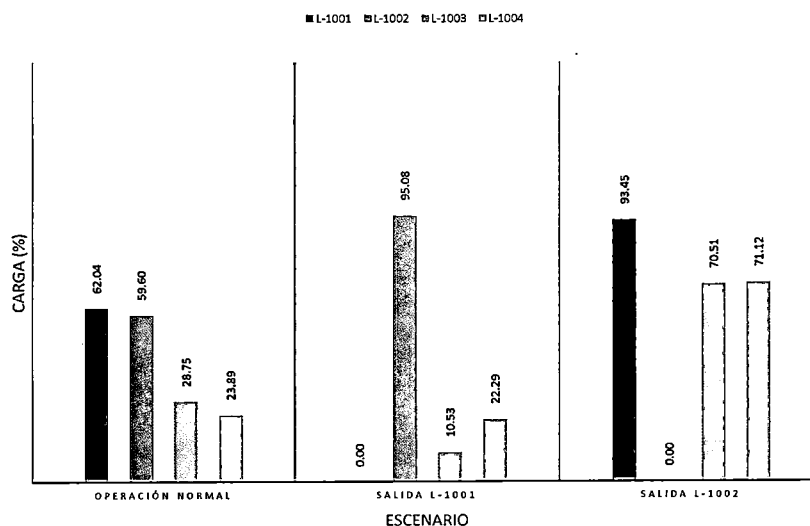
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	58.05	-55.90	62.04	240
L-1002	MACH138	QUEN138	50.05	-48.18	59.60	210
L-1003	INCA138	DOLOR138	26.32	-26.24	28.75	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.93	-17.90	23.89	80
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	79.88	-75.09	95.08	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	-9.73	9.74	10.53	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-18.05	18.07	22.29	80
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	87.51	-82.61	93.45	360
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	64.08	-63.57	70.51	280
L-1004	DOLOR138	QUEN138	55.27	-55.04	71.12	250

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

**GRÁFICO 4.7**

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



Como se puede observar, en el escenario de mínima demanda el sistema opera sin ningún inconveniente, con los niveles de tensión dentro de los márgenes y sin sobrecargas en las líneas.

#### 4.4.1.2. Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2015

##### 4.4.1.2.1. Máxima Demanda

Los resultados en operación normal y contingencias en mínima demanda se muestran en el cuadro 4.10. Los perfiles de tensión se muestran en el gráfico 4.8:

CUADRO 4.10

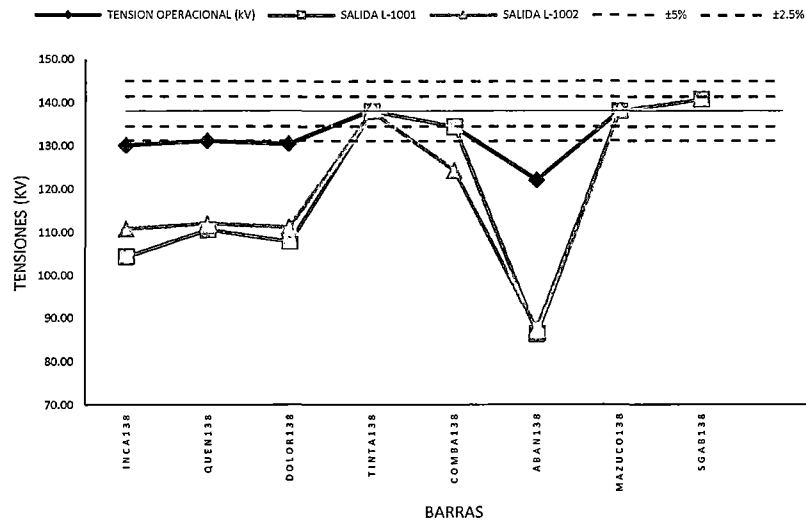
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2015

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	137.95	135.25	133.71
		p.u.	1.00	0.98	0.97
INCA138	138	kV	130.01	104.39	110.73
		p.u.	0.94	0.76	0.80
QUEN138	138	kV	131.11	110.60	111.98
		p.u.	0.95	0.80	0.81
DOLOR138	138	kV	130.43	107.82	111.12
		p.u.	0.95	0.78	0.81
TINTA138	138	kV	138.00	138.01	138.01
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	134.45	134.45	124.26
		p.u.	0.97	0.97	0.90
ABAN138	138	kV	122.08	86.29	87.35
		p.u.	0.88	0.63	0.63
MAZUCO138	138	kV	138.01	138.02	138.02
		p.u.	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.74	140.75	140.75
		p.u.	1.02	1.02	1.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



**GRÁFICO 4.8**  
 PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
 Año 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Como se puede observar, debido a que en este escenario la línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV no se encuentra en operación debido a múltiples retrasos sufridos, el sistema es muy frágil, evidenciándose esto en las fuertes caídas de tensión durante las diferentes contingencias analizadas.

En el cuadro 4.11 se muestran los datos de carga de las líneas durante las salidas de las líneas L-1001 y L-1002. En el gráfico 4.9 se puede ver de mejor manera el comportamiento de las líneas durante estos eventos.



CUADRO 4 . 11

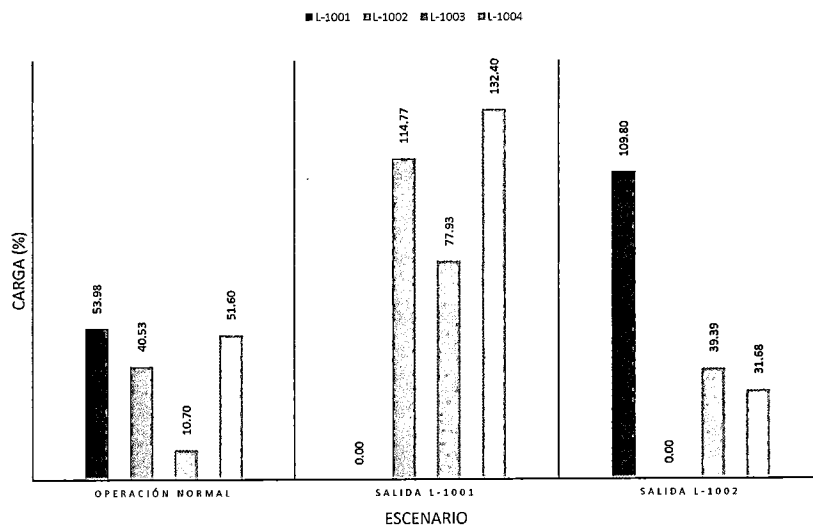
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015

OPERACIÓN NORMAL						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	47.46	-45.85	53.98	210
L-1002	MACH138	QUEN138	31.82	-30.96	40.53	140
L-1003	INCA138	DOLOR138	-7.42	7.43	10.70	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-39.74	39.86	51.60	180
SALIDA L-1001						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	79.37	-72.42	114.77	400
L-1003	INCA138	DOLOR138	-38.87	39.48	77.93	310
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-71.84	72.62	132.40	460
SALIDA L-1002						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	79.19	-72.53	109.80	430
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	26.39	-26.23	39.39	160
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-6.17	6.21	31.68	110

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

GRÁFICO 4 . 9

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Como se observa en el cuadro 4.11, se presentan fuertes sobrecargas en las líneas durante las diferentes contingencias.



#### 4.4.1.2.2. Mínima Demanda

Los resultados en operación normal y contingencias en Mínima Demanda se muestran en el cuadro 4.12. Los perfiles de tensión se muestran en el gráfico 4.10:

**CUADRO 4 . 12**

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	139.79	138.51	138.89
		p.u.	1.01	1.00	1.01
INCA138	138	kV	136.07	127.59	132.15
		p.u.	0.99	0.92	0.96
QUEN138	138	kV	136.99	129.91	132.74
		p.u.	0.99	0.94	0.96
DOLOR138	138	kV	136.56	128.94	132.42
		p.u.	0.99	0.93	0.96
TINTA138	138	kV	138.00	137.75	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	138.57	134.65	136.29
		p.u.	1.00	0.98	0.99
ABAN138	138	kV	131.22	122.25	127.10
		p.u.	0.95	0.89	0.92
MAZUCO138	138	kV	140.26	140.23	140.26
		p.u.	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	141.03	141.00	141.03
		p.u.	1.02	1.02	1.02

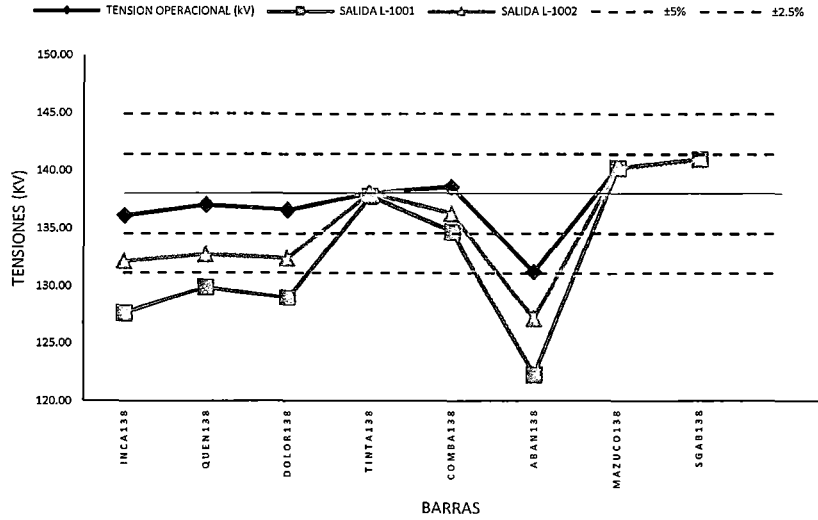
FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

Se observa, al igual que en el escenario de avenida - máxima demanda, que debido al retraso de la línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV, durante los escenarios de contingencias existen fuertes caídas de tensión en las barras analizadas. Esto se aprecia de mejor manera en el gráfico 4.10:





**GRÁFICO 4 . 10**  
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

En el cuadro 4.13 se muestran los datos de carga de las líneas durante las salidas de las líneas L-1001 y L-1002. En el grafico 4.11 se puede ver de mejor manera el comportamiento de las líneas durante estos eventos.

**CUADRO 4 . 13**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015

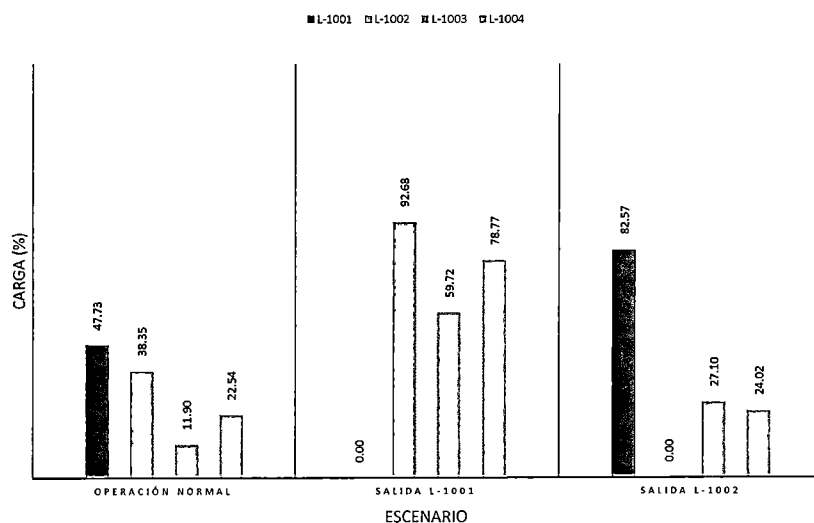
OPERACION NORMAL						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	45.05	-43.77	47.73	190
L-1002	MACH138	QUEN138	32.35	-31.58	38.35	130
L-1003	INCA138	DOLOR138	-8.17	8.19	11.90	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-16.30	16.32	22.54	80
SALIDA L-1001						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	77.40	-72.82	92.68	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	-52.03	52.39	59.72	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-60.49	60.77	78.77	280
SALIDA L-1002						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.40	-73.55	82.57	320
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.58	-21.51	27.10	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.41	-13.38	24.02	80

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



**GRÁFICO 4 . 11**

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Se aprecia que en este escenario no existen sobrecargas en las líneas.

#### 4.4.2. Análisis ante la entrada conjunta de las Centrales Hidroeléctricas de Santa Teresa y Machupicchu (2da. Fase) al SEIN (Conexionado Definitivo)

Este análisis se realiza en función a la puesta en servicio de las dos centrales hidroeléctricas, adicionando la operatividad de la línea Machupicchu – Abancay Nueva – Cotaruse en 220kV como refuerzo al sistema.

Se consideran análisis en operación normal y en contingencias, esto para ver de qué manera se comporta el sistema en estos escenarios.

##### 4.4.2.1. Análisis de Cargabilidad - Año 2016

En el cuadro 4.14 se muestra las tensiones de barra en operación normal de las barras asociadas a las líneas L-1001 y L-1002, así como de las barras asociadas a la línea Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse 220 kV.



En el escenario del año 2016, se considera la operación de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (1ra y 2da Fase) y la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa, con sus dos grupos de generación.

Se puede observar que en época de avenida y estiaje, en máxima y mínima demanda, las tensiones de barra cumplen con el límite de tensión establecido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ) y que todas las líneas trabajan por debajo del 100% de cargabilidad.

También se incluye la caída de tensión entre barras  $i$  y  $j$  de cada línea, donde se puede observar que la caída de tensión es muy inferior al 5%.

Lo anteriormente mencionado da a entender que en condiciones normales, en el año 2016, el sistema opera sin ningún tipo de desperfecto (sobretensiones y sobrecargas) que puedan poner en riesgo la confiabilidad del sistema.

CUADRO 4.14

TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA

Año 2016

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.98	1.01	-31.46	135.10	0.98	-39.61	68.30	-1.74	68.32	-65.36	6.21	65.66	72.25	280	3.49
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.98	1.01	-31.46	135.60	0.98	-38.67	61.23	-0.12	61.23	-59.11	3.11	59.19	72.15	250	3.13
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	135.60	0.98	-38.67	134.42	0.97	-40.99	59.11	-3.10	59.19	-58.45	4.08	58.59	72.01	250	0.87
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.10	0.98	-39.61	134.37	0.97	-40.74	52.59	-1.72	59.62	-52.27	1.94	52.30	56.21	220	0.54
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	134.37	0.97	-40.74	134.42	0.97	-40.99	16.53	-6.43	17.74	-16.51	6.03	17.58	21.78	80	0.04
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	223.57	1.02	-33.22	220.79	1.01	-36.09	86.20	-8.31	86.59	-85.61	2.86	85.66	34.09	220	1.24
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	223.57	1.02	-33.22	226.51	1.03	-39.17	56.13	-26.89	62.23	-55.44	-0.27	55.44	34.50	140	1.32
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	220.79	1.01	-36.09	226.51	1.03	-39.17	41.19	-27.54	49.55	-40.93	7.15	41.55	19.57	110	2.59
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	139.98	1.01	-31.46	139.97	1.01	-31.80	46.04	-3.67	46.18	-46.01	3.13	46.12	18.21	190	0.01	
Avenida Mínima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.08	1.01	-30.30	136.12	0.99	-37.69	60.45	-6.98	60.85	-58.11	9.56	58.89	64.77	250	2.13
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.08	1.01	-30.30	136.57	0.99	-36.73	53.23	-5.34	53.49	-51.60	6.56	52.02	63.45	220	1.80
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.57	0.99	-36.73	135.87	0.98	-38.75	51.60	-6.56	52.02	-51.10	6.95	51.57	62.83	220	0.51
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.12	0.99	-37.69	135.86	0.98	-38.41	32.67	-5.27	33.09	-32.55	4.85	32.90	35.09	140	0.19
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.86	0.98	-38.41	135.87	0.98	-38.75	23.74	-7.15	24.79	-23.70	6.81	24.65	30.10	100	0.01
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	219.82	1.00	-32.90	217.57	0.99	-35.95	89.51	2.73	89.55	-88.86	-7.27	89.15	36.06	240	1.02
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	219.82	1.00	-32.90	223.10	1.01	-40.72	71.67	-26.76	76.50	-70.53	4.64	70.68	30.63	180	1.49
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	217.57	0.99	-35.95	223.10	1.01	-40.72	61.51	-33.53	70.05	-60.91	17.26	63.30	28.33	160	2.54
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	139.08	1.01	-30.30	138.75	1.01	-30.79	66.82	12.10	67.91	-66.77	-12.31	67.89	27.01	280	0.24	
Estiaje Máxima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.33	1.01	-41.36	134.02	0.97	-48.03	56.44	1.83	56.47	-54.40	-0.17	54.40	60.10	230	3.81
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.33	1.01	-41.36	135.10	0.98	-47.36	50.97	0.99	50.98	-49.49	-0.22	49.49	60.43	210	3.04
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	135.10	0.98	-47.36	133.82	0.97	-49.29	49.49	0.23	49.49	-49.03	0.07	49.03	60.43	210	0.95
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	134.02	0.97	-48.03	133.58	0.97	-49.09	47.23	-6.02	47.61	-46.96	6.08	47.35	51.28	200	0.33
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	133.58	0.97	-49.09	133.82	0.97	-49.29	10.92	-10.80	15.36	-10.91	10.38	15.06	18.97	70	0.18
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	220.74	1.00	-41.18	218.54	0.99	-42.64	44.32	6.66	44.82	-44.15	-14.84	46.58	18.76	120	1.00
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	220.74	1.00	-41.18	224.22	1.02	-42.34	9.90	-25.32	27.19	-9.85	-6.71	11.92	10.84	30	1.58
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	218.54	0.99	-42.64	224.22	1.02	-42.34	-6.04	-29.80	30.41	6.10	8.11	10.15	12.24	30	2.60
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	139.33	1.01	-41.36	140.12	1.02	-44.80	19.45	6.42	20.49	-19.45	-7.19	20.74	8.17	90	0.57	
Estiaje Mínima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.19	1.02	-43.63	137.62	1.00	-48.85	45.73	-5.05	44.02	-42.53	3.90	42.70	46.49	180	1.83
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.19	1.02	-43.63	138.39	1.00	-48.26	39.00	-5.29	39.36	-38.14	3.70	38.32	46.32	160	1.28
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	138.39	1.00	-48.26	137.75	1.00	-49.71	38.14	-3.70	38.32	-37.88	3.21	38.02	45.68	160	0.46
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	137.62	1.00	-48.85	137.60	1.00	-49.44	26.65	-8.20	27.88	-26.56	7.63	37.63	29.24	120	0.01
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	137.60	1.00	-49.44	137.75	1.00	-49.71	17.55	-9.55	20.17	-17.52	9.55	19.55	24.18	80	0.11
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	221.20	1.01	-43.44	219.32	1.00	-44.68	37.82	5.00	38.15	-37.70	-13.58	40.07	16.08	110	0.85
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	221.20	1.01	-43.44	221.95	1.01	-44.75	11.98	-19.02	22.47	-11.93	-12.81	17.51	8.94	50	0.34
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.32	1.00	-44.68	221.95	1.01	-44.75	0.07	-20.04	20.04	-0.05	-1.91	1.91	8.04	90	1.20
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.19	1.02	-43.63	140.63	1.02	-47.23	12.66	9.37	15.75	-12.66	-10.16	16.24	6.37	70	0.31	

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent





#### 4.4.2.1.1. Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2016

Desarrolla el análisis de contingencias con las salidas de las líneas L-1001 y L-1002, así como la salida de las nueva línea, esto para ver cuál es el comportamiento del sistema en condiciones críticas y de qué manera esto afectaría su funcionamiento.

##### 4.4.2.1.1.1. Máxima Demanda

Los cuadros 4.15 y 4.16 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 4.12 y 4.13 (perfiles de tensión) y en el grafico 4.14 (cargabilidad de las líneas).

CUADRO 4 . 15

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2016

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	KV	139.98	139.44	139.50	139.49	139.14	139.25	139.26
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
INCA138	138	KV	135.10	131.09	131.38	133.02	133.41	133.51	132.47
		p.u.	0.98	0.95	0.95	0.96	0.97	0.97	0.96
QUEN138	138	KV	134.42	130.99	130.12	132.47	132.68	132.84	131.64
		p.u.	0.97	0.95	0.94	0.96	0.96	0.96	0.95
DOLOR138	138	KV	134.37	130.73	130.20	132.37	132.63	132.77	131.64
		p.u.	0.97	0.95	0.94	0.96	0.96	0.96	0.95
TINTA138	138	KV	138.00	138.00	138.00	137.97	137.84	137.89	137.55
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	KV	134.59	133.22	132.86	133.19	132.93	133.13	131.82
		p.u.	0.98	0.97	0.96	0.97	0.96	0.96	0.96
ABAN138	138	KV	139.32	137.82	137.87	136.63	137.46	136.94	137.56
		p.u.	1.01	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00
MAZUCO138	138	KV	137.63	137.64	137.64	137.63	137.61	137.61	137.56
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	KV	140.86	140.87	140.87	140.85	140.83	140.84	140.79
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY138	138	KV	139.97	139.37	139.45	139.50	138.99	139.13	140.10
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
MACH138II	138	KV	139.98	139.44	139.50	139.49	139.14	139.25	139.26
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
SURIRAY220	220	KV	219.82	222.75	222.86	222.49	220.93	221.51	223.34
		p.u.	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.02
COTARUSE220	220	KV	223.10	226.15	226.18	225.54	225.59	226.16	226.40
		p.u.	1.01	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
ABAN220	220	KV	217.57	221.23	221.45	219.81	219.92	218.34	222.23
		p.u.	0.99	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	1.01

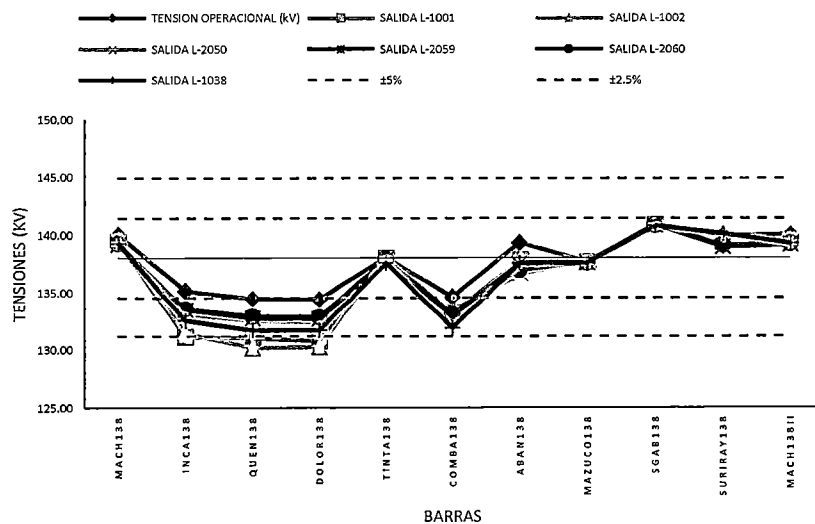
FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4.12

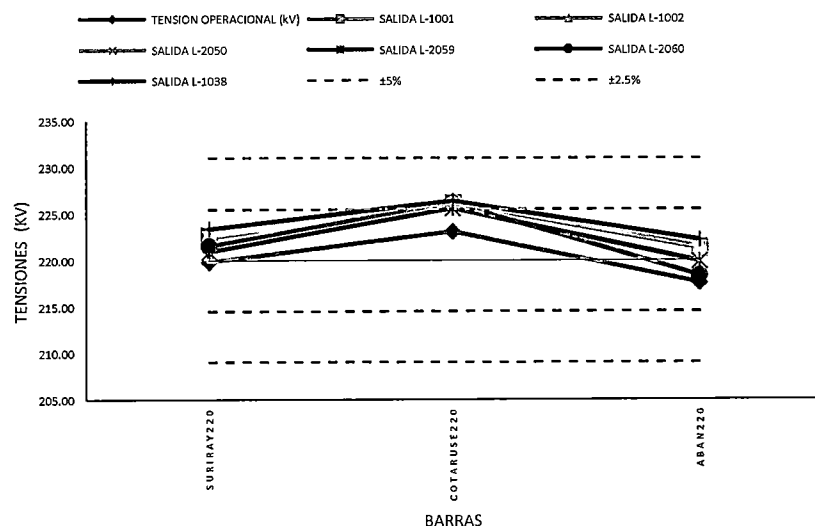
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4.13

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 4.16**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
AVENIDA - MÁXIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS - AÑO  
2016

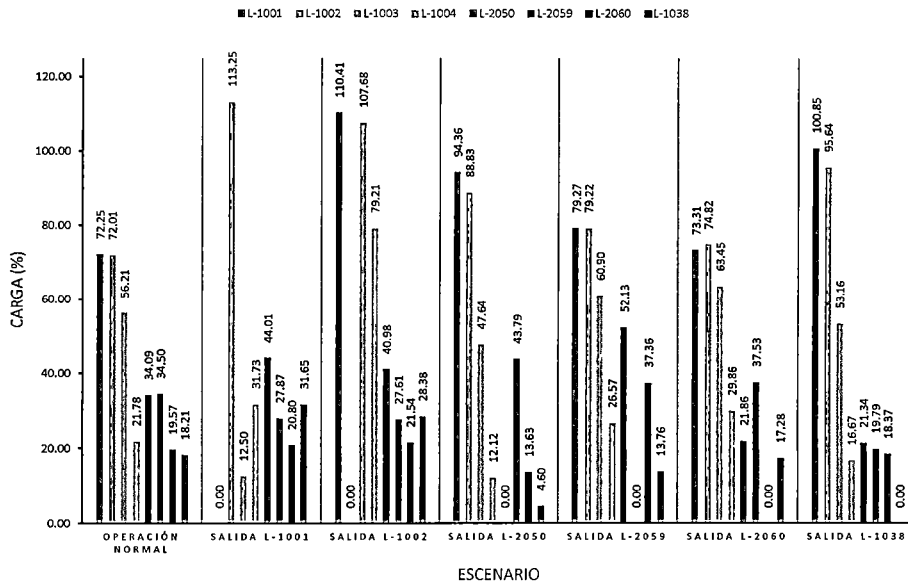
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	68.30	-65.36	72.25	280
L-1002	MACH138	QUEN138	61.23	-58.59	72.01	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	52.59	-52.27	56.21	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	16.53	-16.51	21.78	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	86.20	-85.61	34.09	220
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	56.13	-55.44	34.50	140
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	41.19	-40.99	19.57	110
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	46.04	-46.01	18.21	190
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	95.66	-88.80	113.25	400
L-1003	INCA138	DOLOR138	10.62	-10.61	12.50	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-25.13	25.17	31.73	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	111.32	-110.34	44.01	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	64.82	-63.90	27.87	160
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	41.77	-41.47	20.80	110
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	79.90	-79.83	31.65	330
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	103.93	-97.05	110.41	430
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	97.82	-96.64	107.68	430
L-1004	DOLOR138	QUEN138	60.90	-60.62	79.21	280
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	103.67	-102.82	40.98	270
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	64.21	-63.31	27.61	160
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	44.49	-44.17	21.54	120
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	71.63	-71.57	28.38	300
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	88.91	-83.89	94.36	370
L-1002	MACH138	QUEN138	75.13	-70.92	88.83	310
L-1003	INCA138	DOLOR138	43.89	-43.66	47.64	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.92	-7.92	12.12	40
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	117.83	-105.37	43.79	270
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-17.43	17.52	13.63	50
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	11.51	-11.51	4.60	50
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	74.51	-70.96	79.27	310
L-1002	MACH138	QUEN138	66.84	-63.48	79.22	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	56.26	-55.88	60.90	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	20.15	-20.12	26.57	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	130.51	-129.15	52.13	340
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	87.67	-85.57	37.36	230
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	34.21	-34.20	13.76	140
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	68.94	-65.91	73.31	290
L-1002	MACH138	QUEN138	63.12	-60.13	74.82	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	58.59	-58.18	63.45	250
L-1004	DOLOR138	QUEN138	22.45	-22.41	29.86	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	50.13	-49.91	21.86	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	89.65	-87.90	37.53	230
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	43.49	-43.47	17.28	180
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	94.86	-89.13	100.85	390
L-1002	MACH138	QUEN138	80.69	-75.80	95.64	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	48.76	-48.48	53.16	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.74	-12.73	16.67	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	53.85	-53.62	21.34	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	42.46	-42.05	19.79	110
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	36.42	-36.20	18.37	90
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4 . 14

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Los gráficos 4.12 y 4.13 se aprecia de mejor manera que tensiones de barra operan fuera de los límites establecidos por la NTCSE (marcas límites verticales de color celeste), el cual define un margen del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal de la barra.

También se tomó en cuenta el límite establecido por NTCOTRSI, que es la norma técnica de operación en tiempo real (marcas límite verticales de color rojo), el cual define un margen del  $\pm 2.5\%$  de la tensión nominal de la barra.

En el grafico 4.14 se muestra como es la cargabilidad de cada línea en cada uno de los escenarios estudiados, y así saber que líneas trabajan con sobrecarga.

- **Operación Normal.-** En este escenario, ninguna línea sobrepasa el límite establecido por la NTCSE. Considerando la NTCOTRSI, la barra INCA138 opera cerca del límite inferior (0.98 p.u.) y las barras QUEN138 (0.97 p.u.) y DOLOR138 (0.97 p.u.) trabajan fuera de este límite. En este escenario no se presentan sobrecargas en las líneas.





- **Salida línea L-1001.-** Con la salida de esta línea, las barras INCA138 (0.95 p.u.), QUEN138 (0.95 p.u.) y DOLOR138 (0.95 p.u.) están en el límite inferior según la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras COMBA138 (0.97 p.u.) y COTARUSE220 (o 0.97 p.u.) están fuera del límite establecido. La salida de esta línea también provoca que la línea L-1002 sufra una sobrecarga de 113.25%.
- **Salida línea L-1002.-** Con la salida de esta línea, la barra INCA138 (0.95 p.u.) trabaja en el límite inferior y las barras QUEN138 (0.94) y DOLOR138 (0.94) ya están fuera del límite, esto bajo el criterio de la NTCSE. Las barras COMBA138 (0.96 p.u.) y COTARUSE (1.03 p.u.), siguiendo el criterio de la NTCOTRSI, se encuentran fuera del límite establecido. También se producen sobrecargas en las líneas L-1001 (110.41%) y L-1003 (107.68%).
- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca que las barras trabajen fuera del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.97 p.u.) y COTARUSE (1.03 p.u.) están fuera del límite de tensión. No existen sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1001 trabaja cerca del límite (94.36%).
- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca que las barras trabajen fuera del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA (0.97 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.96 p.u.) y COTARUSE (1.03 p.u.) están fuera del límite de tensión. No hay sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca que las barras trabajen fuera del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA (0.97 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.96 p.u.) y COTARUSE (1.03 p.u.) están fuera del límite de tensión. No hay sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca que las barras trabajen fuera del límite establecido por la NTCSE, pero las barras



QUEN138 (0.95 p.u.) y DOLOR (0.95 p.u.) trabajan en el límite inferior. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA (0.96 p.u.), COMBA138 (0.96 p.u.) y COTARUSE (1.03 p.u.) están fuera del límite de tensión. Con la salida de esta línea provoca una pequeña sobrecarga en la línea L-1001 (100.85%) y la línea L-1002 trabaja cerca del límite (95.64%).

#### 4.4.2.1.1.2. Mínima Demanda

Los cuadros 4.17 y 4.18 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 4.15 y 4.16 (perfiles de tensión) y en el grafico 4.17 (cargabilidad de las líneas).

CUADRO 4. 17

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2016

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	139.08	138.53	138.61	138.68	138.10	138.09	138.91
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
INCA138	138	kV	136.12	133.85	133.81	133.53	133.97	133.94	132.31
		p.u.	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
QUEN138	138	kV	135.85	133.92	133.34	133.53	133.60	133.61	131.90
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
DOLOR138	138	kV	135.86	133.81	133.36	133.43	133.63	133.92	131.96
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
TINTA138	138	kV	137.38	137.47	137.48	136.97	136.69	136.68	136.14
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
COMBA138	138	kV	135.32	134.83	134.64	133.45	132.78	132.77	130.74
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95
ABAN138	138	kV	137.72	136.99	136.85	133.55	135.37	134.77	134.30
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.97
MAZUCO138	138	kV	140.67	140.69	140.69	140.62	140.58	140.58	140.51
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	141.49	141.51	141.52	141.44	141.40	141.40	141.33
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY138	138	kV	138.75	138.16	138.25	138.44	137.63	137.63	136.66
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
MACH138II	138	kV	139.08	138.53	138.61	138.68	138.10	138.09	138.91
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
SURIRAY220	220	kV	219.82	219.15	219.22	219.39	216.87	217.11	217.87
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
COTARUSE220	220	kV	223.10	222.82	222.83	221.91	222.04	222.80	222.62
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	217.57	216.52	216.62	212.08	213.99	212.15	215.48
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.96	0.97	0.96	0.98

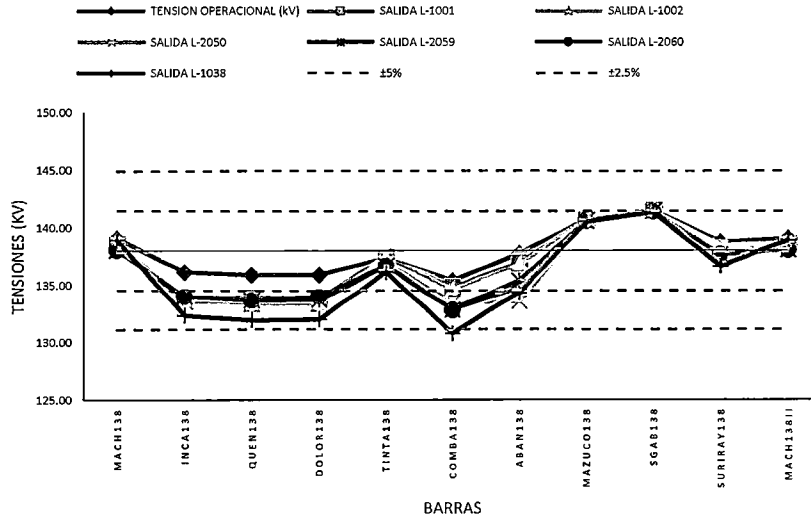
FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4 . 15

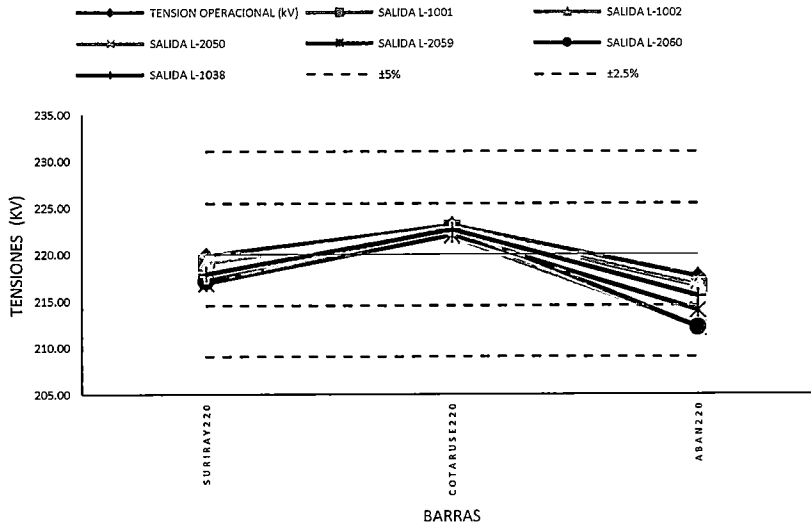
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS DE 138 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4 . 16

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS DE 220 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 4.18**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
AVENIDA - MÍNIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2016

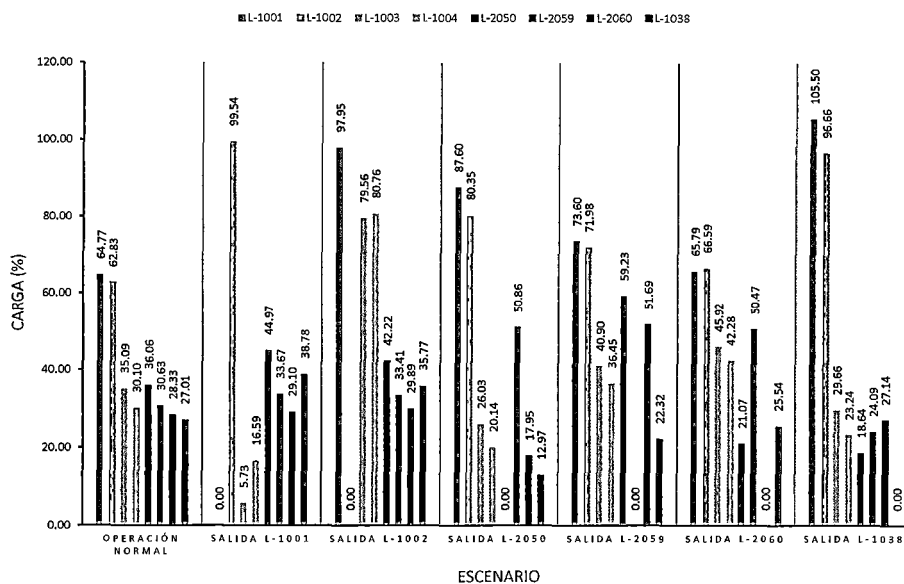
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	60.45	-58.11	64.77	250
L-1002	MACH138	QUEN138	53.23	-51.10	62.83	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	32.67	-32.55	35.09	140
L-1004	DOLOR138	QUEN138	23.74	-23.70	30.10	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	89.51	-88.86	36.06	240
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	71.67	-70.53	30.63	180
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	61.51	-60.91	28.33	160
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	66.82	-66.77	27.01	280
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	84.00	-78.68	99.54	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	-4.62	4.63	5.73	20
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-13.43	13.45	16.59	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	111.52	-110.51	44.97	300
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	79.26	-77.87	33.67	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	61.95	-61.31	29.10	170
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	96.50	-96.39	38.78	410
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.57	-86.18	97.95	380
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	72.79	-71.94	79.56	320
L-1004	DOLOR138	QUEN138	63.14	-62.85	80.76	280
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	104.58	-103.69	42.22	280
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	78.65	-77.28	33.41	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	64.33	-63.65	29.89	170
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	88.93	-88.83	35.77	370
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	82.01	-77.70	87.60	340
L-1002	MACH138	QUEN138	67.82	-64.36	80.35	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	23.42	-23.35	26.03	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.54	-14.52	20.14	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	125.97	-121.69	50.86	320
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.93	-0.77	17.95	60
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	30.67	-30.66	12.97	140
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	68.53	-65.49	73.60	290
L-1002	MACH138	QUEN138	60.53	-57.75	71.98	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	37.60	-37.43	40.90	160
L-1004	DOLOR138	QUEN138	28.62	-28.57	36.45	130
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	145.81	-144.04	59.23	390
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	119.13	-116.95	51.69	320
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	51.44	-51.40	22.32	230
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	61.29	-58.86	65.79	260
L-1002	MACH138	QUEN138	55.96	-53.59	66.59	230
L-1003	INCA138	DOLOR138	42.06	-41.85	45.92	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	33.04	-32.96	42.28	150
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	36.29	-36.09	21.07	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	121.30	-118.03	50.47	310
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	63.24	-63.18	25.54	280
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	98.99	-92.72	105.50	410
L-1002	MACH138	QUEN138	81.51	-76.51	96.66	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	27.13	-27.04	29.66	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	18.24	-18.21	23.24	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	42.86	-42.70	18.64	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	51.56	-50.92	24.09	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	54.24	-53.71	27.14	150
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4. 17

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis como se hizo en el punto 4.4.2.1.1.1:

- **Operación Normal.-** En este escenario, solo la barra SGAB138 (1.03 p.u.) está fuera del límite de tensión determinado por la NTCOTRSI. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1002 trabaja muy cerca del límite (99.54%).
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1002 trabaja muy cerca del límite (97.95%).



- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), COMBA138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.97 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), COMBA138 (0.96 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), COMBA138 (0.96 p.u.) y ABAN220 (0.96 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea provoca que la barra COMBA138 (0.95) trabaje en el límite inferior establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.) y ABAN138 (0.97 p.u.) están fuera del límite. La salida de esta línea provoca una sobrecarga en la línea L-1001 de 105.50% y que la línea L-1002 trabaje muy cerca del límite, con 96.66%.

#### 4.4.2.1.2. Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2016

##### 4.4.2.1.2.1. Máxima Demanda

Los cuadros 4.19 y 4.20 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 4.18 y 4.19 (perfiles de tensión) y en el gráfico 4.20 (cargabilidad de las líneas).



CUADRO 4 . 19

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2016

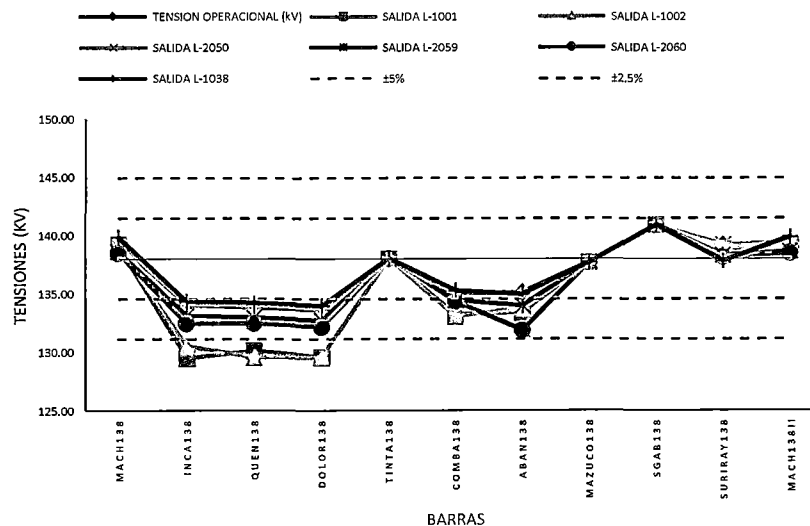
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	139.33	139.01	139.00	139.26	138.61	138.46	139.82
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01
INCA138	138	kV	134.02	129.49	130.51	132.65	133.11	132.45	134.35
		p.u.	0.97	0.94	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97
QUEN138	138	kV	133.82	130.11	129.56	132.66	132.96	132.49	134.20
		p.u.	0.97	0.94	0.94	0.96	0.96	0.96	0.97
DOLOR138	138	kV	133.58	129.56	129.54	132.33	132.70	132.15	133.94
		p.u.	0.97	0.94	0.94	0.96	0.96	0.96	0.97
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	134.97	133.25	133.03	134.21	134.41	134.29	135.24
		p.u.	0.98	0.97	0.96	0.96	0.97	0.97	0.98
ABAN138	138	kV	135.12	133.40	133.77	131.95	133.95	131.84	134.95
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.95	0.97	0.96	0.98
MAZUCO138	138	kV	137.65	137.65	137.65	137.65	137.65	137.65	137.65
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.87	140.87	140.87	140.87	140.87	140.87	140.87
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY138	138	kV	139.18	138.80	138.82	139.19	138.28	138.14	137.80
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
MACH138II	138	kV	139.33	139.01	139.00	139.26	138.61	138.46	139.82
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01
SURIRAY220	220	kV	220.74	220.09	220.21	221.20	218.12	217.99	219.68
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.01	0.99	0.99	1.00
COTARUSE220	220	kV	224.22	223.92	223.98	223.39	223.56	224.31	224.02
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
ABAN220	220	kV	218.54	217.10	217.45	213.09	216.95	212.39	217.86
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.97	0.99

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.

GRÁFICO 4 . 18

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV) AÑO 2016

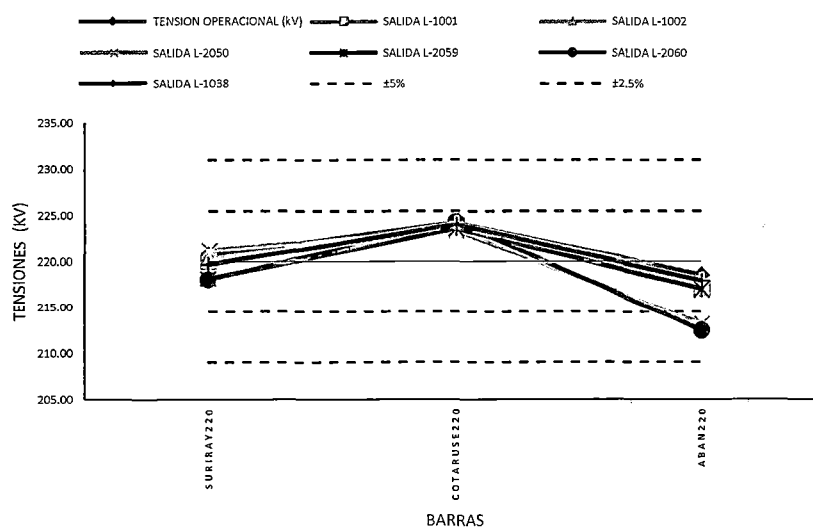


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 4 . 19

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.





**CUADRO 4.20**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
ESTIAJE - MÁXIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2016

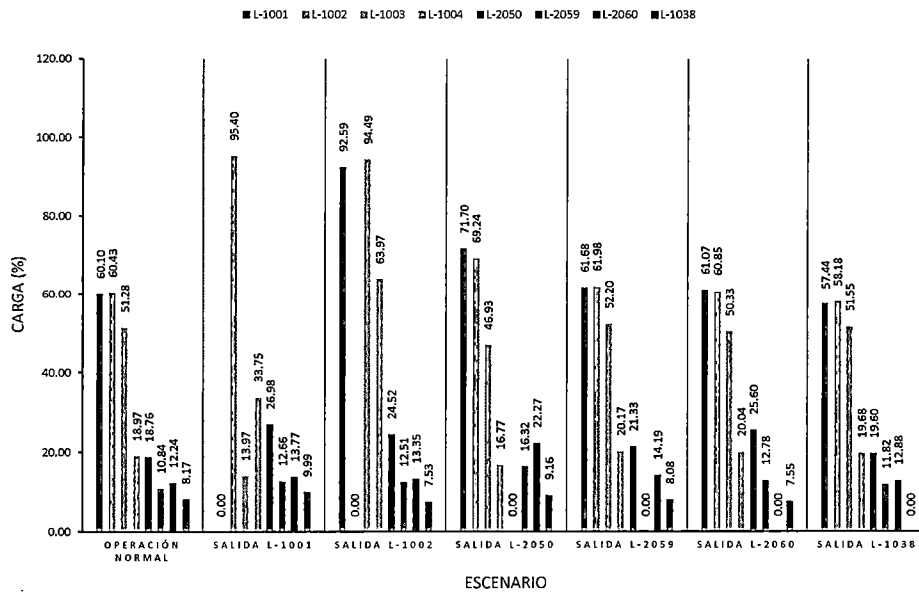
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	56.44	-54.40	60.10	230
L-1002	MACH138	QUEN138	50.97	-49.03	60.43	210
L-1003	INCA138	DOLOR138	47.23	-46.96	51.28	200
L-1004	DOLOR138	QUEN138	10.92	-10.91	18.97	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	44.32	-44.15	18.76	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	9.90	-9.85	10.84	30
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-6.04	6.10	12.24	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	19.45	-19.45	8.17	90
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	79.92	-75.06	95.40	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	11.38	-11.36	13.97	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-24.68	24.73	33.75	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	64.63	-64.27	26.98	180
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	17.08	-16.98	12.66	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-5.21	5.29	13.77	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	23.16	-23.15	9.99	100
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	86.42	-81.58	92.59	360
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	85.16	-84.26	94.49	380
L-1004	DOLOR138	QUEN138	48.22	-48.03	63.97	220
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	58.57	-58.28	24.52	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	16.64	-16.55	12.51	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-3.02	3.10	13.35	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	16.66	-16.66	7.53	80
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	67.14	-64.25	71.70	280
L-1002	MACH138	QUEN138	58.24	-55.68	69.24	240
L-1003	INCA138	DOLOR138	42.54	-42.32	46.93	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	6.28	-6.27	16.77	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	36.26	-35.95	16.32	90
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-35.49	35.81	22.27	110
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-22.30	22.30	9.16	100
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	57.61	-55.46	61.68	240
L-1002	MACH138	QUEN138	52.01	-49.95	61.98	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	47.68	-47.40	52.20	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	11.36	-11.35	20.17	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	52.01	-51.79	21.33	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	2.22	-2.14	14.19	40
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-6.54	6.54	8.08	80
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	56.69	-54.60	61.07	240
L-1002	MACH138	QUEN138	50.83	-48.86	60.85	210
L-1003	INCA138	DOLOR138	45.43	-45.17	50.33	200
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.14	-9.12	20.04	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	48.49	-48.19	25.60	170
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	5.61	-5.54	12.78	10
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-4.45	4.46	7.55	80
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	53.96	-52.10	57.44	220
L-1002	MACH138	QUEN138	49.13	-47.33	58.18	200
L-1003	INCA138	DOLOR138	47.52	-47.25	51.55	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	11.22	-11.20	19.68	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	47.37	-47.18	19.60	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	11.19	-11.12	11.82	30
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-5.69	5.76	12.88	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4 . 20

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Utilizando el mismo análisis que en los puntos anteriores.

- **Operación Normal.-** En este escenario no existen violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.) y DOLOR138 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** Con la salida de esta línea, las barras INCA138 (0.94 p.u.), QUEN138 (0.94 p.u.) y DOLOR138 (0.94 p.u.) están fuera del rango establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras COMBA138 (0.97 p.u.) y ABAN138 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas, pero la línea L-1002 trabaja cerca del límite (95.40%).
- **Salida línea L-1002.-** Con la salida de esta línea, la barra INCA138 (0.95 p.u.) trabaja en el límite inferior del rango establecido por la NTCSE y las barras QUEN138 (0.94 p.u.) y DOLOR138 (0.94 p.u.)



están fuera del rango establecido por dicha norma. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras COMBA138 (0.96 p.u.) y ABAN138 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas, pero las líneas L-1001 (92.59%) y L-1002 (94.49) trabajan cerca del límite.

- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE, pero la barra ABAN138 (0.95 p.u.). Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.97 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.97 p.u.) y ABAN138 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.96 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.) y DOLOR138 (0.97 p.u.) están fuera del límite. No existe sobrecarga en las líneas.

#### 4.4.2.1.2.2. Mínima Demanda

Los cuadros 4.21 y 4.22 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 4.21 y 4.22 (perfiles de tensión) y en el grafico 4.23 (cargabilidad de las líneas).



CUADRO 4. 21

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2016

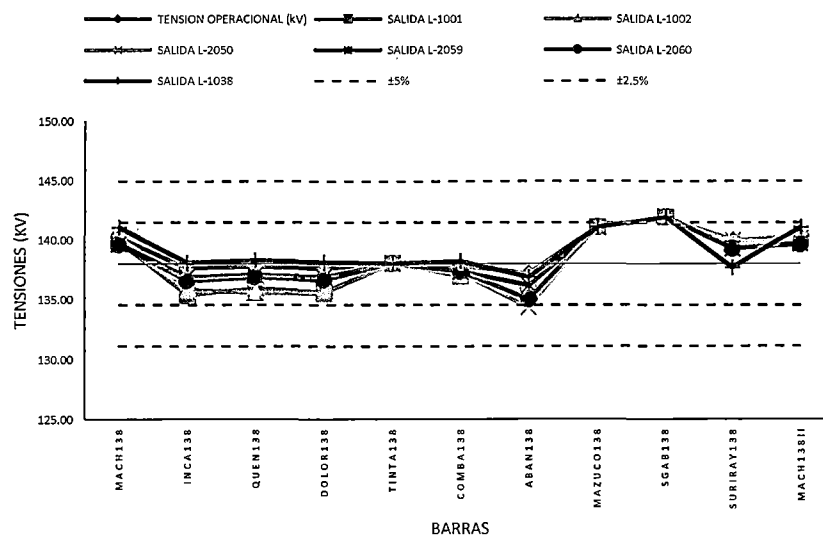
BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.19	139.86	139.86	140.14	139.63	139.60	141.00
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	137.62	135.35	135.77	136.47	136.87	136.57	138.09
		p.u.	1.00	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
QUEN138	138	kV	137.75	135.91	135.56	136.80	137.04	136.86	138.28
		p.u.	1.00	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
DOLOR138	138	kV	137.60	135.61	135.51	136.57	136.87	136.64	138.11
		p.u.	1.00	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.81	137.08	136.95	137.18	137.32	137.32	138.19
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
ABAN138	138	kV	137.15	136.38	136.47	134.33	136.15	134.99	136.84
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.99
MAZUCO138	138	kV	141.02	141.03	141.03	141.02	141.02	141.03	141.03
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	141.88	141.89	141.89	141.88	141.88	141.88	141.88
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	139.92	139.58	139.60	139.94	139.23	139.23	137.65
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
MACH138II	138	kV	140.19	139.86	139.86	140.14	139.63	139.60	141.00
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	221.20	220.80	220.84	221.55	219.16	219.33	219.44
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	221.95	221.78	221.81	221.22	221.05	221.64	221.62
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	219.32	218.53	218.68	214.47	217.62	215.24	218.19
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.99

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.

GRÁFICO 4. 21

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 KV) AÑO 2016

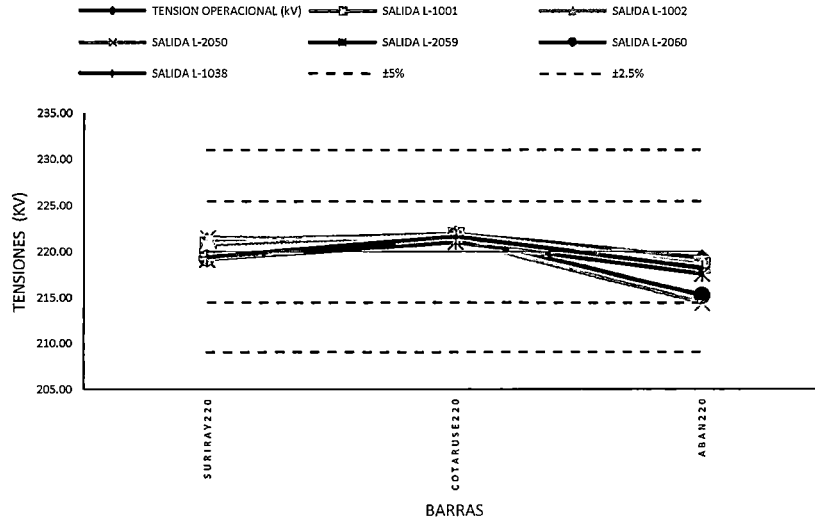


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 4. 22

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



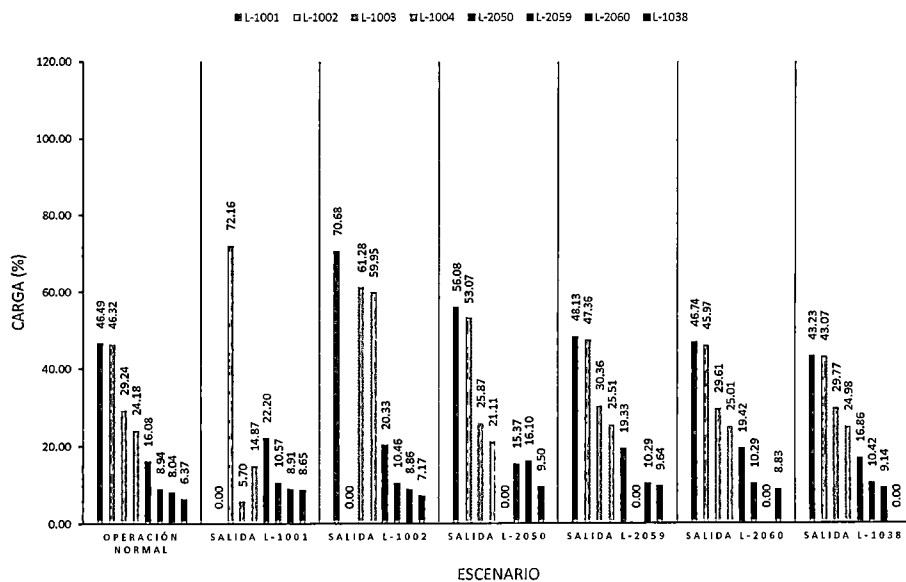
**CUADRO 4.22**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
ESTIAJE - MÍNIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2016

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	45.73	-42.53	46.49	180
L-1002	MACH138	QUEN138	39.00	-37.88	46.32	160
L-1003	INCA138	DOLOR138	26.65	-26.56	29.24	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.55	-17.52	24.18	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	37.82	-37.70	16.08	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	11.98	-11.93	8.94	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.07	-0.05	8.04	90
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	12.66	-12.66	6.37	70
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	61.49	-58.69	72.16	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	-1.21	1.21	5.70	20
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-10.22	10.23	14.87	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	53.61	-53.37	22.20	150
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	17.43	-17.35	10.57	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.63	-0.60	8.91	9
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	16.55	-16.54	8.65	90
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	66.65	-63.84	70.68	270
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	56.35	-55.97	61.28	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	46.96	-46.80	59.95	210
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	48.79	-48.59	20.33	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	17.09	-17.01	10.46	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	2.36	-2.34	8.86	10
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	11.39	-11.38	7.17	70
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	52.99	-51.22	56.08	220
L-1002	MACH138	QUEN138	45.29	-43.78	53.07	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	22.58	-22.51	25.87	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.50	-13.48	21.11	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	34.25	-33.99	15.37	90
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-24.81	24.96	16.10	70
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-20.25	20.25	9.50	10
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	45.15	-43.86	48.13	190
L-1002	MACH138	QUEN138	40.28	-39.07	47.36	170
L-1003	INCA138	DOLOR138	27.39	-27.29	30.36	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	18.28	-18.25	25.51	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	47.09	-46.91	19.33	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	9.85	-9.81	10.29	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-7.40	7.41	9.64	100
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	43.94	-42.72	46.74	180
L-1002	MACH138	QUEN138	39.09	-37.96	45.97	160
L-1003	INCA138	DOLOR138	26.20	-26.11	29.61	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.10	-17.07	25.01	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	37.19	-37.02	19.42	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	12.30	-12.24	10.29	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-5.00	5.01	8.83	90
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	41.04	-39.99	43.23	170
L-1002	MACH138	QUEN138	36.99	-35.99	43.07	150
L-1003	INCA138	DOLOR138	27.01	-26.92	29.77	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.91	-17.88	24.98	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	41.16	-41.02	16.86	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	13.35	-13.29	10.42	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.40	-0.38	9.14	9
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



**GRÁFICO 4.23**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis:

- **Operación Normal.-** En este escenario no existen violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.). No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) está fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) está fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, las barras SGAB138 (1.03 p.u.), ABAN138 (0.97 p.u.) y



ABAN220 (0.97 p.u.) está fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.

- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) está fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) está fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite establecido por la NTCSE. Respecto al límite establecido por la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) está fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.

#### 4.4.2.2. Análisis de Cargabilidad - Año 2017

En el cuadro 4.23 se muestra las tensiones de barra en operación normal en el año 2017, en las épocas de avenida y estiaje de las barras asociadas a las líneas L-1001 y L-1002, así como de las barras asociadas a la línea Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse 220 kV.

En este año, además de considerarse la operación de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu (1ra y 2da Fase) y la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa, también se considera a la Central Térmica de Quillabamba y la Central Hidroeléctrica de Vilcanota.

Como se puede observar, en las épocas de avenida y estiaje, en los escenarios de máxima demanda ya se presentan problemas con los niveles de tensión, más específicamente en las barras INCA138, QUEN138 y DOLOR138.

También en estos escenarios, la caída de tensión entre las barras MACH138 y INCA138 es mayor al 5%.



CUADRO 4. 23

TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA  
AÑO 2017

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	138.41	1.00	-25.94	130.96	0.95	-35.92	82.12	4.95	82.27	-77.75	4.32	77.87	88.02	340	5.38
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	138.41	1.00	-25.94	131.74	0.95	-34.86	74.22	5.95	74.46	-71.01	1.12	71.02	88.92	310	4.82
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	131.74	0.95	-34.86	130.09	0.94	-37.79	71.01	-1.11	71.02	-70.00	3.41	70.09	88.92	310	1.25
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	130.96	0.95	-35.92	130.07	0.94	-37.37	63.13	-2.16	63.16	-62.63	2.98	62.70	69.62	280	0.68
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	130.07	0.94	-37.37	130.09	0.94	-37.79	26.50	-8.00	27.68	-26.44	7.75	27.55	35.10	120	0.02
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	219.53	1.00	-26.57	214.85	0.98	-32.33	167.40	16.59	168.22	-165.10	-8.80	165.33	67.72	440	2.13
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	219.53	1.00	-26.57	223.56	1.02	-41.76	139.68	-22.45	141.48	-135.48	27.50	138.24	56.71	360	1.84
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	214.85	0.98	-32.33	223.56	1.02	-41.76	121.20	-42.46	128.42	-118.94	42.17	126.20	52.60	330	4.05
	Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	138.41	1.00	-25.94	138.26	1.00	-26.06	16.32	6.49	17.56	-16.32	-7.25	17.85	7.13	70	0.11
Avenida Mínima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	138.99	1.01	-30.47	135.45	0.98	-37.82	60.36	-4.98	60.57	-58.03	7.53	58.52	64.51	250	2.55
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	138.99	1.01	-30.47	136.19	0.99	-36.85	52.93	-4.31	53.11	-51.33	5.48	51.62	63.03	220	2.01
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.19	0.99	-36.85	135.40	0.98	-38.87	51.33	-5.48	51.62	-50.83	5.86	51.17	62.52	220	0.58
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.45	0.98	-37.82	135.32	0.98	-38.53	31.38	-7.41	32.24	-31.26	6.98	32.03	34.36	140	0.10
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.32	0.98	-38.53	135.40	0.98	-38.87	22.55	-9.27	24.38	-22.51	8.93	24.22	29.72	100	0.06
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	219.95	1.00	-33.09	217.26	0.99	-36.34	95.62	5.55	95.79	-94.88	-9.38	95.34	38.62	250	1.22
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	219.95	1.00	-33.09	222.53	1.01	-41.64	78.47	-24.94	82.34	-77.13	4.73	77.27	32.94	200	1.17
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	217.26	0.99	-36.34	222.53	1.01	-41.64	68.38	-32.70	75.80	-67.65	17.69	69.93	30.70	180	2.43
	Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	138.99	1.01	-30.47	138.69	1.01	-30.97	67.20	10.35	68.00	-67.15	-10.56	67.97	27.05	280	0.22
Estiaje Máxima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	138.25	1.00	-36.50	130.48	0.95	-46.01	78.54	6.52	78.81	-74.51	1.67	74.53	84.56	330	5.62
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	138.25	1.00	-36.50	131.57	0.95	-45.05	71.19	6.34	71.47	-68.22	-0.13	68.22	85.53	300	4.83
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	131.57	0.95	-45.05	129.86	0.94	-47.86	68.22	0.13	68.22	-67.29	1.90	67.31	85.53	300	1.30
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	130.48	0.95	-46.01	129.75	0.94	-47.45	61.37	-4.68	61.54	-60.90	5.43	61.14	68.08	270	0.56
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	129.75	0.94	-47.45	129.86	0.94	-47.86	24.86	-10.53	26.99	-24.80	10.27	26.85	34.32	120	0.08
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	218.84	0.99	-36.40	214.65	0.98	-41.77	155.37	13.28	155.94	-153.38	-7.76	153.58	62.96	410	1.91
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	218.84	0.99	-36.40	221.99	1.01	-50.25	126.28	-22.03	128.18	-122.81	20.81	124.56	51.55	320	1.44
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	214.65	0.98	-41.77	221.99	1.01	-50.25	108.19	-38.45	114.82	-106.40	33.96	111.68	47.07	290	3.42
	Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	138.25	1.00	-36.50	138.07	1.00	-36.48	-2.19	9.67	9.91	2.20	-10.45	10.68	4.27	40	0.13
Estiaje Mínima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.16	1.02	-42.00	137.13	0.99	-47.10	43.15	-3.36	43.28	-41.98	2.11	42.03	45.71	180	2.16
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.16	1.02	-42.00	138.19	1.00	-46.45	37.63	-4.42	37.89	-36.83	2.63	36.93	44.60	150	1.41
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	138.19	1.00	-46.45	137.48	1.00	-47.83	36.83	-2.62	36.93	-36.59	2.07	36.65	44.08	150	0.51
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	137.13	0.99	-47.10	137.25	0.99	-47.62	22.29	-9.61	24.27	-22.22	8.98	23.97	25.55	100	0.09
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	137.25	0.99	-47.62	137.48	1.00	-47.83	13.51	-11.29	17.61	-13.49	10.86	17.32	21.16	70	0.17
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	221.55	1.01	-42.34	219.40	1.00	-43.85	46.11	6.17	46.53	-45.94	-14.35	48.12	19.30	130	0.97
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	221.55	1.01	-42.34	221.90	1.01	-44.86	23.27	-19.01	30.05	-23.14	-12.12	26.12	11.93	70	0.16
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.40	1.00	-43.85	221.90	1.01	-44.86	12.48	-20.81	24.27	-12.45	-0.93	12.48	9.73	30	1.14
	Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.16	1.02	-42.00	139.92	1.01	-42.06	9.22	11.76	14.94	-9.22	-12.55	15.57	6.14	60	0.17

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent





#### 4.4.2.2.1. Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2017

##### 4.4.2.2.1.1. Máxima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.24 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.25 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.24, 4.25 y 4.26 muestran de mejor manera estos datos.

CUADRO 4.24

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
Año 2017

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	138.41	137.88	137.92	136.89	136.50	136.75	138.58
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
INCA138	138	kV	130.96	125.07	125.75	124.49	125.59	126.68	130.23
		p.u.	0.95	0.91	0.91	0.90	0.91	0.92	0.94
QUEN138	138	kV	130.09	125.09	124.30	123.94	124.26	125.24	129.26
		p.u.	0.94	0.91	0.90	0.90	0.90	0.91	0.94
DOLOR138	138	kV	130.07	124.75	124.17	123.79	124.38	125.40	129.28
		p.u.	0.94	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.94
TINTA138	138	kV	137.40	137.37	137.39	136.41	135.49	135.58	137.10
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.98	0.99
COMBA138	138	kV	130.12	128.28	128.03	125.24	123.37	123.87	129.02
		p.u.	0.94	0.93	0.93	0.91	0.89	0.90	0.93
ABAN138	138	kV	134.42	132.04	132.28	126.40	128.89	130.37	133.83
		p.u.	0.97	0.96	0.96	0.92	0.93	0.95	0.97
MAZUCO138	138	kV	139.87	139.88	139.89	139.72	139.57	139.58	139.82
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
SGAB138	138	kV	142.98	142.99	143.00	142.83	142.69	142.70	142.93
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.04
SURIRAY138	138	kV	138.26	137.64	137.71	136.91	136.25	136.47	137.43
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
MACH138II	138	kV	138.41	137.88	137.92	136.89	136.50	136.75	138.58
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
SURIRAY220	220	kV	219.53	218.53	218.67	217.89	215.36	215.79	219.09
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	1.00
COTARUSE220	220	kV	223.56	222.98	223.03	220.75	221.41	222.58	223.51
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.02
ABAN220	220	kV	214.85	212.54	212.92	205.37	206.58	208.39	214.55
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.93	0.94	0.95	0.98
QUILLAB	220	kV	220.44	219.81	219.90	219.41	217.82	218.10	220.17
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00

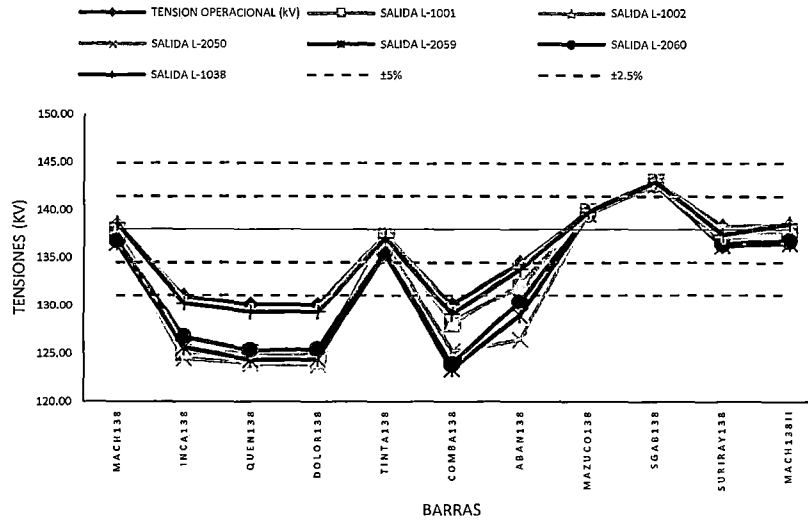
FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4. 24

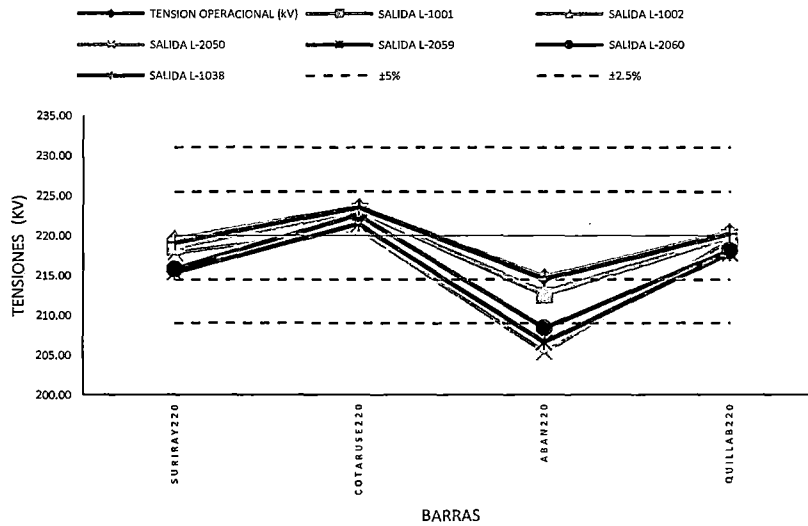
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4. 25

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



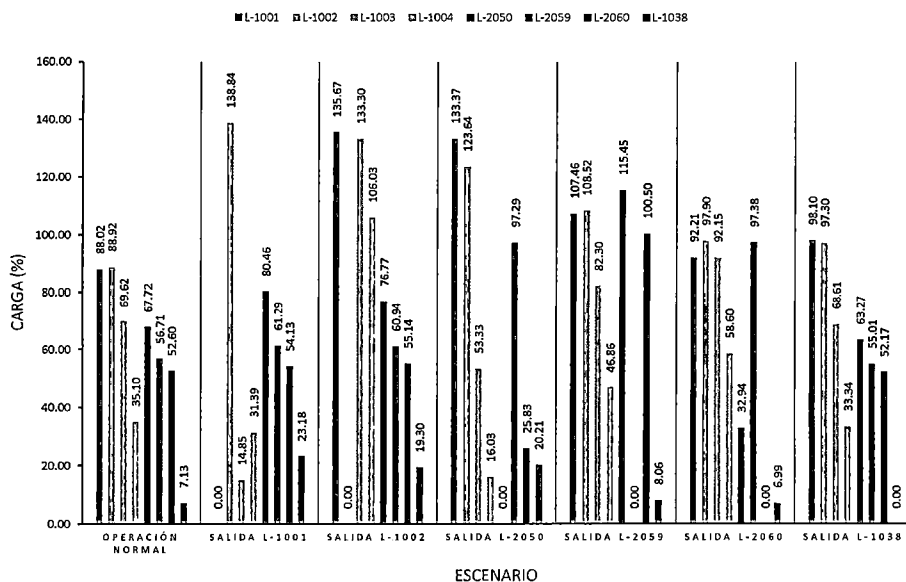
**CUADRO 4. 25**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
AVENIDA - MÁXIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2017

OPERACIÓN NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	82.12	-77.75	88.02	340
L-1002	MACH138	QUEN138	74.22	-70.00	88.92	310
L-1003	INCA138	DOLOR138	63.13	-62.63	69.62	280
L-1004	DOLOR138	QUEN138	26.50	-26.44	35.10	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	167.40	-165.10	67.72	440
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	139.68	-135.48	56.71	360
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	121.20	-118.94	52.60	330
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	16.32	-16.32	7.13	70
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	115.38	104.94	138.84	490
L-1003	INCA138	DOLOR138	12.66	-12.64	14.85	60
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-23.51	23.55	31.39	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	197.29	-194.03	80.46	530
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	150.70	-145.76	61.29	390
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	121.82	-119.45	54.13	330
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	57.28	-57.24	23.18	240
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	125.09	-114.69	135.67	530
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	115.94	-114.13	133.30	530
L-1004	DOLOR138	QUEN138	77.99	-77.49	106.03	370
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	188.36	-185.40	76.77	500
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	149.95	-145.06	60.94	380
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	125.14	-122.66	55.14	340
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	47.58	-47.55	19.30	200
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	121.79	-111.75	133.37	520
L-1002	MACH138	QUEN138	100.78	-92.63	123.64	430
L-1003	INCA138	DOLOR138	45.97	-45.68	53.33	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.54	-9.53	16.03	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	240.78	-228.03	97.29	630
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	5.62	-5.21	25.83	110
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-43.93	49.97	20.21	210
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	97.66	-91.15	107.46	420
L-1002	MACH138	QUEN138	88.00	-81.73	108.52	380
L-1003	INCA138	DOLOR138	71.61	-70.92	82.30	330
L-1004	DOLOR138	QUEN138	34.78	-34.68	46.86	160
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	277.65	-270.94	115.45	760
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	231.97	-223.46	100.50	640
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-13.03	13.04	8.06	80
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	83.64	-78.86	92.21	360
L-1002	MACH138	QUEN138	79.41	-74.32	97.90	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	80.88	-80.01	92.15	370
L-1004	DOLOR138	QUEN138	43.87	-43.72	58.60	210
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	61.48	-60.97	32.94	220
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	238.79	-226.08	97.38	620
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	9.58	-9.58	6.99	70
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.54	-86.10	98.10	380
L-1002	MACH138	QUEN138	81.13	-76.08	97.30	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	61.89	-61.42	68.61	270
L-1004	DOLOR138	QUEN138	25.28	-25.23	33.34	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	155.92	-153.91	63.27	420
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	134.84	130.90	55.01	350
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	119.59	-117.37	52.17	320
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4.26  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Siguiendo los mismos criterios de los puntos anteriores:

- **Operación Normal.-** En operación normal, la barra INCA138 (0.95 p.u.) opera en el límite inferior definido por la NTCSE y las barras QUEN138 (0.94 p.u.), DOLOR138 (0.94 p.u.) y COMBA138 (0.94 p.u.) están fuera de este límite. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) trabajan fuera de este límite. En operación normal no hay sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** Con la salida de esta línea, bajo el criterio de la NTCSE, las barras INCA138 (0.91 p.u.), QUEN138 (0.91 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.) y COMBA138 (0.93 p.u.) operan fuera del límite establecido. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.96 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) trabajan fuera de este límite. La línea L-1002 sufre una sobrecarga de 138.84%.
- **Salida línea L-1002.-** Con la salida de esta línea, bajo el criterio de la NTCSE, las barras INCA138 (0.91 p.u.), QUEN138 (0.90 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.) y COMBA138 (0.93 p.u.) operan fuera del límite



establecido. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.96 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) trabajan fuera de este límite. La línea L-1002 sufre una sobrecarga de 135.67% y la línea L-1003 sufre una sobrecarga de 133.30%.

- **Salida línea L-2050.-** Con la salida de esta línea, bajo el criterio de la NTCSE, las barras INCA138 (0.90 p.u.), QUEN138 (0.90 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.), COMBA138 (0.91 p.u.), ABAN138 (0.92 p.u.) y ABAN220 (0.93 p.u.) operan fuera del límite establecido. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.04 p.u.) trabaja fuera de este límite. La línea L-1001 y L-1002 sufren sobrecarga (133.37% y 123.64% respectivamente) y la línea L-2059 trabaja muy cerca al límite (97.29%).
- **Salida línea L-2059.-** Con la salida de esta línea, bajo el criterio de la NTCSE, las barras INCA138 (0.91 p.u.), QUEN138 (0.90 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.), COMBA138 (0.89 p.u.), ABAN138 (0.93 p.u.) y ABAN220 (0.94 p.u.) operan fuera del límite establecido. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) trabaja fuera de este límite. La salida de esta línea también provoca sobrecargas en las líneas L-1001 (107.46%), L-1002 (108.52%), L-2050 (115.45%) y L-2060 (100.50%).
- **Salida línea L-2060.-** Con la salida de esta línea, bajo el criterio de la NTCSE, las barras INCA138 (0.92 p.u.), QUEN138 (0.91 p.u.), DOLOR138 (0.91 p.u.) y COMBA138 (0.90 p.u.) operan fuera de límite. Las barras ABAN138 (0.95 p.u.) y ABAN220 (0.95 p.u.) operan en el límite inferior. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.03 p.u.) trabaja fuera de este límite. La salida de esta línea no provoca sobrecargas en las líneas, pero las líneas L-1001 (92.21%), L-1002 (97.90%), L-1003 (92.15%) y L-2059 (97.38%) están cerca del límite de carga.
- **Salida línea L-1038.-** Con la salida de esta línea, bajo el criterio de la NTCSE, las barras INCA138 (0.94 p.u.), QUEN138 (0.94 p.u.), DOLOR138 (0.94 p.u.) y COMBA138 (0.93 p.u.) operan fuera de límite. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.) y



SGAB138 (1.04 p.u.) trabajan fuera de este límite. La salida de esta línea no provoca sobrecargas en las líneas, pero las líneas L-1001 (98.10%) y L-1002 (97.30%) están cerca del límite de carga.

#### 4.4.2.2.1.2. Mínima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.26 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.27 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.27, 4.28 y 4.29 muestran de mejor manera estos datos.

CUADRO 4.26

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2017

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	138.99	138.50	138.55	138.58	138.03	138.02	138.71
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
INCA138	138	kV	135.45	132.82	133.07	132.62	133.21	133.30	131.57
		p.u.	0.98	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.95
QUEN138	138	kV	135.40	133.19	132.72	132.86	133.03	133.12	131.36
		p.u.	0.98	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95
DOLOR138	138	kV	135.32	132.97	132.70	132.67	132.99	133.07	131.34
		p.u.	0.98	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95
TINTA138	138	kV	137.62	137.68	137.70	137.18	136.89	136.87	136.38
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
COMBA138	138	kV	135.25	134.59	134.47	133.23	132.54	132.54	130.53
		p.u.	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95
ABAN138	138	kV	137.32	136.50	136.47	132.68	134.89	134.59	133.96
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.96	0.98	0.98	0.97
MAZUCO138	138	kV	142.73	142.75	143.75	142.67	142.63	142.62	142.56
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	143.52	143.54	143.54	143.47	143.42	143.42	143.35
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SURIRAY138	138	kV	138.69	138.15	138.22	138.38	137.60	137.60	136.93
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
MACH138II	138	kV	138.99	138.50	138.55	138.58	138.03	138.02	138.71
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01
SURIRAY220	220	kV	219.95	219.30	219.38	219.61	217.11	217.33	218.29
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
COTARUSE220	220	kV	222.53	222.27	222.30	221.21	221.33	222.10	222.10
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	217.26	216.19	216.34	211.04	213.51	212.18	215.37
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.96	0.97	0.96	0.98
QUILLAB	220	kV	220.16	219.51	219.60	219.82	217.33	217.54	218.50
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99

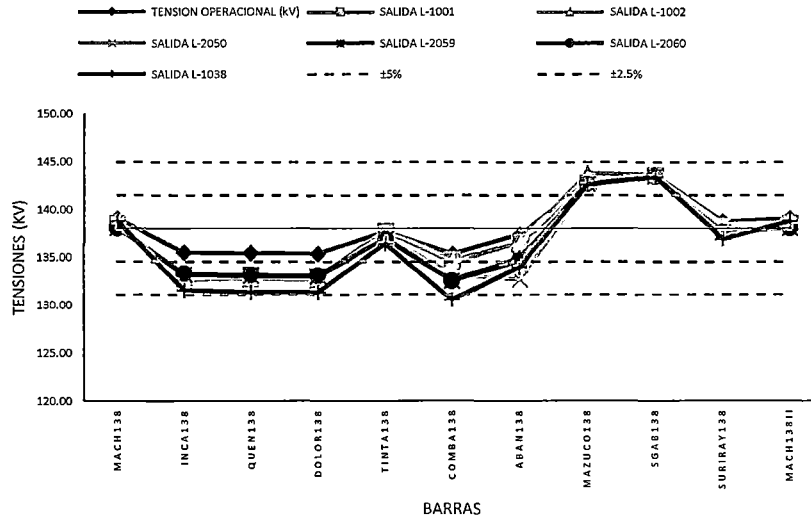
FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4 . 27

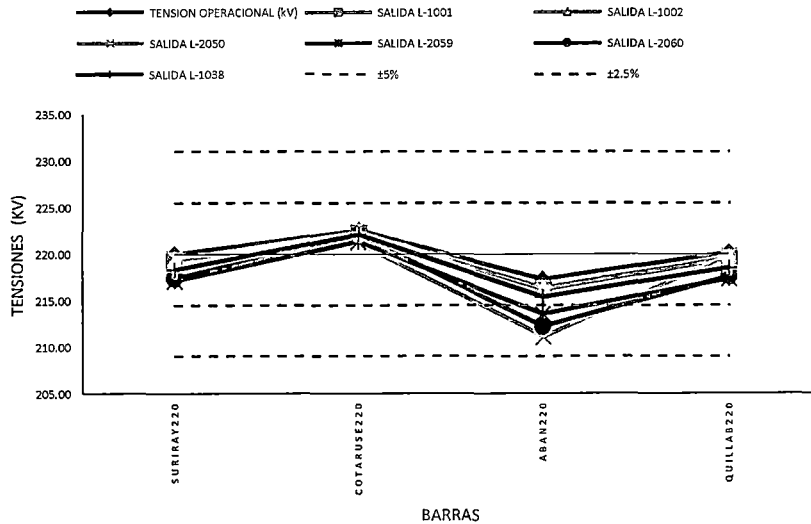
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4 . 28

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.





**CUADRO 4. 27**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
AVENIDA - MÍNIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2017

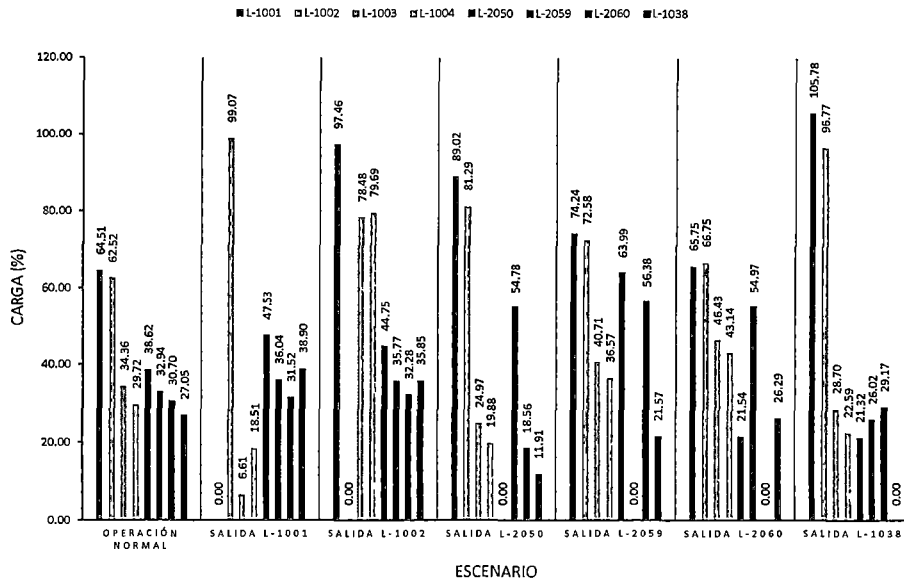
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	60.36	-58.03	64.51	250
L-1002	MACH138	QUEN138	52.93	-50.83	62.52	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	31.38	-31.26	34.36	140
L-1004	DOLOR138	QUEN138	22.55	-22.51	29.72	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	95.62	-94.88	38.62	250
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	78.47	-77.13	32.94	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	68.38	-67.65	30.70	180
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	67.20	-67.15	27.05	280
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	83.54	-78.28	99.07	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	-5.93	5.93	6.61	30
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-14.64	14.65	18.51	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	117.62	-116.49	47.53	310
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	86.16	-84.53	36.04	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	68.94	-68.17	31.52	190
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	96.05	-96.84	38.90	410
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.18	-85.84	97.46	380
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	70.93	-70.31	78.48	310
L-1004	DOLOR138	QUEN138	61.60	-61.32	79.69	280
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	110.65	-109.65	44.75	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	85.52	-83.91	35.77	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	71.29	-70.48	32.28	190
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	89.32	-89.22	35.85	370
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	83.33	-78.86	89.02	350
L-1002	MACH138	QUEN138	68.49	-64.95	81.29	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.52	-21.45	24.97	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.65	-12.73	19.88	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	135.63	-131.67	54.78	350
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	3.52	-3.34	18.56	70
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	28.68	-28.67	11.91	120
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	69.18	-66.09	74.24	290
L-1002	MACH138	QUEN138	60.94	-58.12	72.58	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	36.87	-36.70	40.71	160
L-1004	DOLOR138	QUEN138	27.99	-27.93	36.57	130
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	157.29	-155.23	63.99	420
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	131.31	-128.69	56.38	350
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	50.36	-50.32	21.57	230
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	61.29	-58.86	65.75	260
L-1002	MACH138	QUEN138	56.02	-53.63	66.75	230
L-1003	INCA138	DOLOR138	42.00	-41.78	46.43	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	33.07	-32.99	43.14	150
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	36.55	-36.34	21.54	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	133.54	-129.60	54.97	340
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	63.18	-63.13	26.29	270
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	99.09	-92.79	105.78	410
L-1002	MACH138	QUEN138	81.40	-76.39	96.77	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	25.88	-25.80	28.70	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.09	-17.07	22.59	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	48.75	-48.53	21.32	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	58.22	-57.43	26.02	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	60.96	-60.32	29.17	170
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4 . 29

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario las tensiones de barra están dentro del límite establecido por la NTCSE. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca que las tensiones de barra estén fuera del límite establecido por la NTCSE. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1002 (99.07%) trabaja muy cerca del límite.
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca que las tensiones de barra estén fuera del límite establecido por la NTCSE. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del



rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1001 (97.46%) trabaja muy cerca del límite.

- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca que las tensiones de barra estén fuera del límite establecido por la NTCSE. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138, (0.96 p.u.), COMBA138 (0.97p.u.), ABAN138 (0.96 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.96 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca que las tensiones de barra estén fuera del límite establecido por la NTCSE. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.) COMBA138 (0.96 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca que las tensiones de barra estén fuera del límite establecido por la NTCSE. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.96 p.u.), DOLOR138 (0.96 p.u.), COMBA138 (0.96 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.96 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca que las tensiones de barra estén fuera del límite establecido por la NTCSE, pero las barras INCA138 (0.95 p.u.), QUEN138 (0.95 p.u.), DOLOR138 (0.95 p.u.) y COMBA138 (0.95 p.u.) trabajan en el límite inferior. Considerando el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.



#### 4.4.2.2.2. Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2017

##### 4.4.2.2.2.1. Máxima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.28 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.29 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.30, 4.31 y 4.32 muestran de mejor manera estos datos.

CUADRO 4.28

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
Año 2017

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	138.25	137.81	137.83	136.90	136.61	136.85	138.86
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.01
INCA138	138	kV	130.48	124.28	125.32	124.75	125.96	126.89	130.97
		p.u.	0.95	0.90	0.91	0.90	0.91	0.92	0.95
QUEN138	138	kV	129.86	124.67	123.90	124.43	124.96	125.82	130.39
		p.u.	0.94	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.94
DOLOR138	138	kV	129.75	124.18	123.97	124.19	124.95	125.84	130.26
		p.u.	0.94	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	0.94
TINTA138	138	kV	137.54	137.45	137.48	136.65	136.10	136.20	137.62
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
COMBA138	138	kV	130.36	128.31	128.12	126.03	124.75	125.25	130.76
		p.u.	0.94	0.93	0.93	0.91	0.90	0.91	0.95
ABAN138	138	kV	132.23	129.76	130.14	124.92	127.57	128.85	132.23
		p.u.	0.96	0.94	0.94	0.91	0.92	0.93	0.96
MAZUCO138	138	kV	140.51	140.51	140.52	140.37	140.28	140.30	140.52
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	143.63	143.63	143.63	143.49	143.40	143.42	143.64
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SURIRAY138	138	kV	138.07	137.55	137.59	136.86	136.34	136.57	136.86
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
MACH138II	138	kV	138.25	137.81	137.83	136.90	136.61	136.85	138.86
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.01
SURIRAY220	220	kV	218.84	217.93	218.07	217.32	215.19	215.67	218.18
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99
COTARUSE220	220	kV	221.99	221.45	221.51	219.03	219.77	221.11	221.86
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	214.65	212.39	212.83	205.66	207.58	208.96	214.26
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.93	0.94	0.95	0.97
QUILLAB	220	kV	220.59	220.02	220.11	219.63	218.30	218.60	220.17
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00

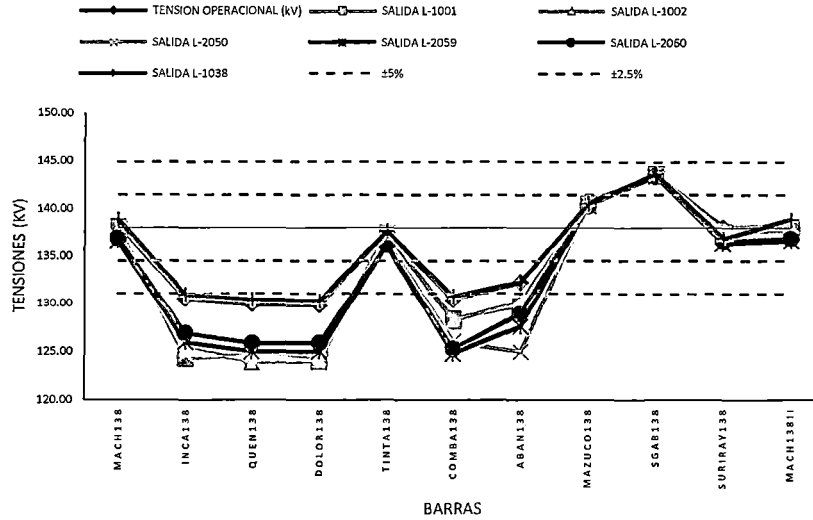
FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4 . 30

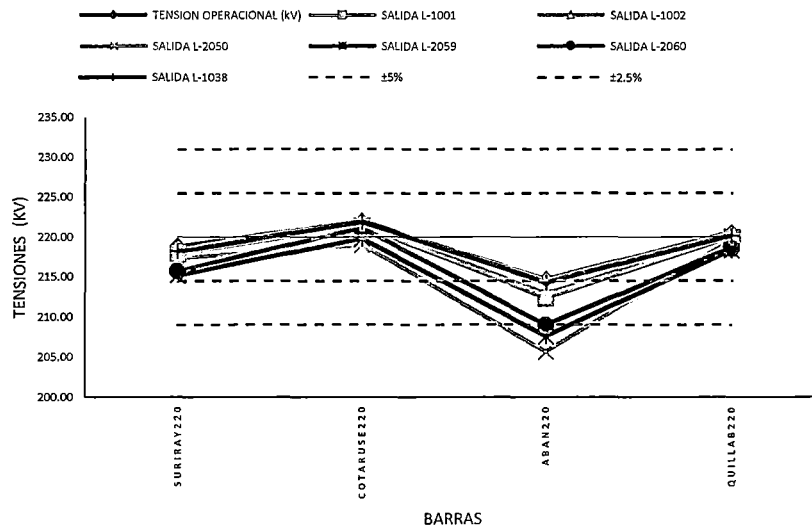
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4 . 31

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 4.29**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
ESTIAJE - MÁXIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2017

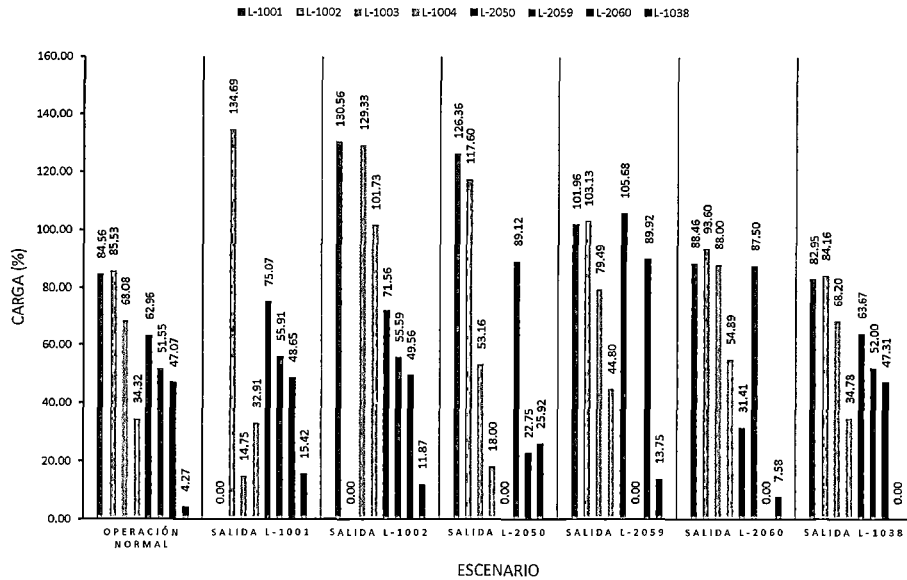
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	78.54	-74.51	84.56	330
L-1002	MACH138	QUEN138	71.19	-67.29	85.53	300
L-1003	INCA138	DOLOR138	61.37	-60.90	68.08	270
L-1004	DOLOR138	QUEN138	24.86	-24.80	34.32	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	155.37	-153.38	62.96	410
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	126.28	-122.81	51.55	320
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	108.19	-106.40	47.07	290
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-2.19	2.20	4.27	40
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	110.79	-101.11	134.69	470
L-1003	INCA138	DOLOR138	12.46	-12.44	14.75	60
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-23.61	23.66	32.91	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	183.69	-180.86	75.07	490
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	136.86	-132.76	55.91	350
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	109.06	-107.15	48.65	300
L-1038	MACH138	SURIRAY138	36.74	-36.72	15.42	160
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	119.88	-110.26	130.56	510
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	112.03	-110.33	129.33	520
L-1004	DOLOR138	QUEN138	74.28	-73.82	101.73	360
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	175.32	-172.75	71.56	470
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	136.14	-132.10	55.59	350
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	112.19	-110.20	49.56	310
L-1038	MACH138	SURIRAY138	27.65	-27.64	11.87	120
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	115.28	-106.27	126.36	490
L-1002	MACH138	QUEN138	95.91	-88.54	137.60	410
L-1003	INCA138	DOLOR138	45.79	-45.50	53.16	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.45	-9.44	18.00	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	220.07	-209.38	89.12	570
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.93	-0.63	22.75	90
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-63.69	63.74	25.92	270
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	92.60	-86.75	101.96	400
L-1002	MACH138	QUEN138	83.78	-78.12	103.13	360
L-1003	INCA138	DOLOR138	69.33	-68.69	79.49	320
L-1004	DOLOR138	QUEN138	32.64	-32.55	44.80	160
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	254.85	-249.23	105.68	690
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	208.32	-201.52	89.92	570
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-28.88	28.89	13.75	140
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	80.11	-75.71	88.46	340
L-1002	MACH138	QUEN138	76.03	-71.38	93.60	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	77.29	-76.50	88.00	350
L-1004	DOLOR138	QUEN138	40.46	-40.32	54.89	190
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	60.78	-60.31	31.41	210
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	214.35	-204.11	87.50	560
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-8.63	8.64	7.58	80
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.26	-73.38	82.95	320
L-1002	MACH138	QUEN138	70.28	-66.51	84.16	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	61.66	-61.19	68.20	270
L-1004	DOLOR138	QUEN138	25.15	-25.10	34.78	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	156.98	-154.94	63.67	420
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	126.86	-123.34	52.00	330
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	108.31	-106.50	47.31	290
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4 . 32

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, la barra INCA138 (0.95 p.u.) trabaja en el límite inferior del rango definido por la NTCSE, mientras las barras QUEN138 (0.94 p.u.), DOLOR138 (0.94 p.u.) y COMBA138 (0.94 p.u.) están fuera del rango. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.96 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del límite establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea provoca que la barras INCA138 (0.90 p.u.), QUEN138 (0.90 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.), COMBA138 (0.93 p.u.) y ABAN138 (0.94 .u.) operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite establecido. La línea L-1002 sufre una sobrecarga de 134.69%.
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea provoca que la barras INCA138 (0.91 p.u.), QUEN138 (0.90 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.), COMBA138 (0.93 p.u.) y ABAN138 (0.94 .u.) operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite



establecido. La salida de la línea provoca que la línea L-1001 sufra una sobrecarga de 130.56%, la L-1003 una sobrecarga de 129.33% y la L-1004 una sobrecarga de 101.73%.

- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea provoca que la barras INCA138 (0.90 p.u.), QUEN138 (0.90 p.u.), DOLOR138 (0.90 p.u.), COMBA138 (0.91 p.u.), ABAN138 (0.91 .u.) y ABAN220 (0.93 p.u) operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.04 p.u.) está fuera del límite establecido. La salida de la línea provoca que la línea L-1001 sufra una sobrecarga de 126.36% y la L-1002 una sobrecarga de 117.60%.
- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea provoca que la barras INCA138 (0.91 p.u.), QUEN138 (0.91 p.u.), DOLOR138 (0.91 p.u.), COMBA138 (0.90 p.u.), ABAN138 (0.92 .u.) y ABAN220 (0.94 p.u) operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.04 p.u.) está fuera del límite establecido. La salida de la línea provoca que la línea L-1001 sufra una sobrecarga de 101.96%, la L-1002 una sobrecarga de 103.13% y la línea 105.68%.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea provoca que la barras INCA138 (0.92 p.u.), QUEN138 (0.91 p.u.), DOLOR138 (0.91 p.u.), COMBA138 (0.91 p.u.) y ABAN138 (0.93 .u.) operen fuera del rango establecido por la NTCSE, y la barra ABAN220 (0.95 p.u.) opere en el límite inferior. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, la barra SGAB138 (1.04 p.u.) está fuera del límite establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea provoca que la barras INCA138 (0.95 p.u.) y COMBA138 (0.95 p.u.) operen en el límite inferior establecido por la NTCSE, y que las barras QUEN138 (0.94 p.u.), DOLOR138 (0.94 p.u.) operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.96 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del límite establecido. No existe sobrecargas en las líneas.





#### 4.4.2.2.2. Mínima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.30 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.31 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.33, 4.34 y 4.35 muestran de mejor manera estos datos.

CUADRO 4.30

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
Año 2017

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.16	139.86	139.85	140.11	139.59	139.57	140.83
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	137.13	134.58	135.25	135.83	136.29	136.05	137.20
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
QUEN138	138	kV	137.48	135.42	135.19	136.40	136.66	136.51	137.57
		p.u.	1.00	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
DOLOR138	138	kV	137.25	135.01	135.09	136.08	136.42	136.24	137.33
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.88	137.00	136.93	137.17	137.25	137.24	137.80
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
ABAN138	138	kV	136.96	136.11	136.29	133.83	135.86	134.90	136.37
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.98	0.98	0.99
MAZUCO138	138	kV	142.98	142.98	142.98	142.98	142.98	142.98	142.98
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SGAB138	138	kV	143.77	143.78	143.78	143.77	143.77	143.77	143.77
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SURIRAY138	138	kV	139.92	139.60	139.61	139.96	139.22	139.22	137.96
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
MACH138II	138	kV	140.16	139.86	139.85	140.11	139.59	139.57	140.83
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	221.55	221.14	221.19	221.97	219.50	219.69	219.93
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	221.90	221.76	221.19	221.09	220.93	221.55	221.59
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	219.40	218.57	218.77	214.10	217.56	215.45	218.33
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.99
QUILLAB	220	kV	221.77	221.35	221.41	222.19	219.72	219.91	220.15
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00

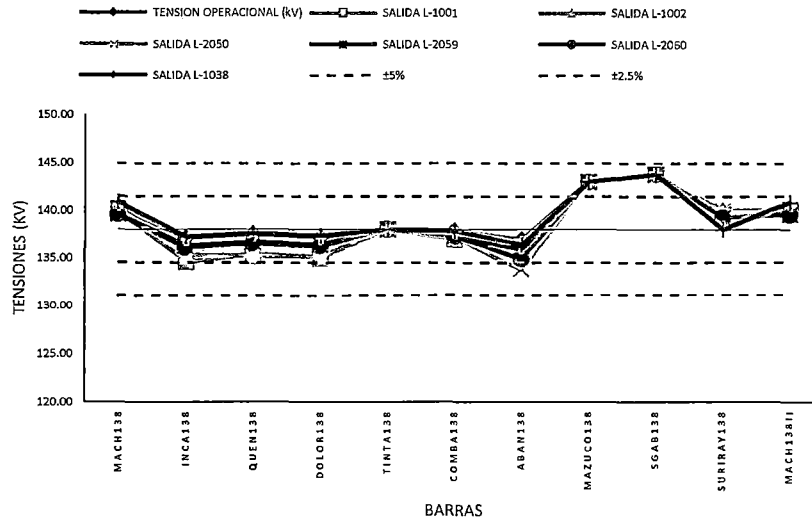
FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4.33

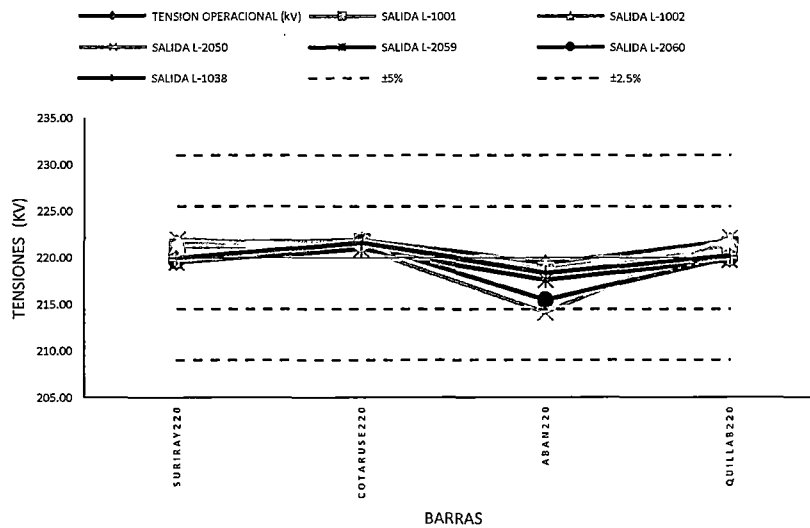
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4.34

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



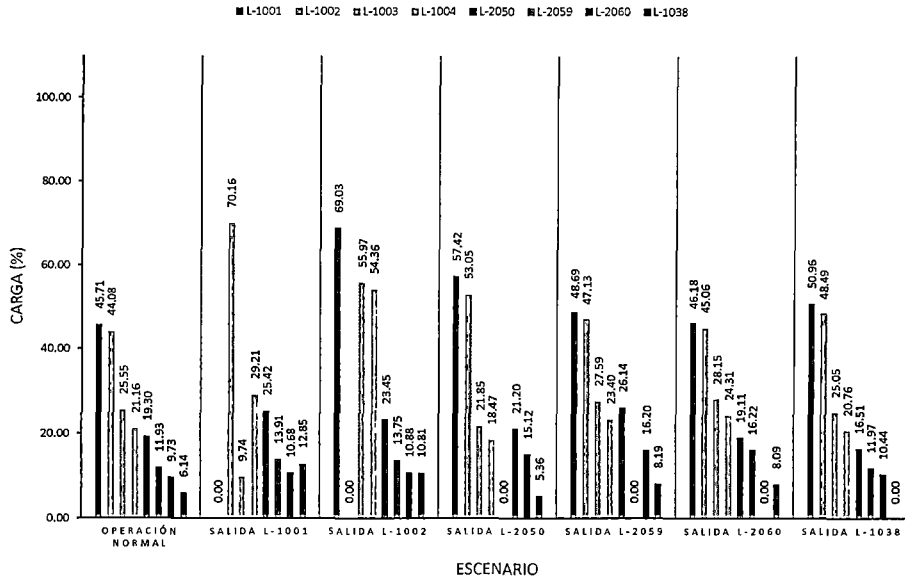
**CUADRO 4.31**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
ESTIAJE - MÍNIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
Año 2017

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	43.15	-41.98	45.71	180
L-1002	MACH138	QUEN138	37.63	-36.59	44.08	150
L-1003	INCA138	DOLOR138	22.29	-22.22	25.55	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.51	-13.49	21.16	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	46.11	-45.94	19.30	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	23.27	-23.14	11.93	70
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	12.48	-12.45	9.73	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	9.22	-9.22	6.14	60
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	59.75	-57.11	70.16	240
L-1003	INCA138	DOLOR138	-5.18	5.19	9.74	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-13.90	13.91	29.21	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	61.71	-61.39	25.42	170
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	28.71	-28.51	13.91	80
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	13.08	-13.03	10.68	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	30.25	-30.24	12.85	130
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	65.18	-62.50	69.03	270
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	50.92	-50.61	55.97	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	41.90	-41.77	54.36	190
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	56.73	-56.46	23.45	150
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	28.26	-28.07	13.75	80
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	14.73	-14.68	10.88	40
L-1038	MACH138	SURIRAY138	24.82	-24.82	10.81	110
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	54.33	-52.47	57.42	220
L-1002	MACH138	QUEN138	45.24	-43.73	53.05	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	17.45	-17.40	21.85	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	8.69	-8.67	18.47	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	50.60	-50.05	21.20	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-18.11	18.23	15.12	60
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-9.57	9.57	5.36	60
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	45.81	-44.48	48.69	190
L-1002	MACH138	QUEN138	40.07	-38.88	47.13	160
L-1003	INCA138	DOLOR138	23.90	-23.82	27.59	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.11	-15.09	23.40	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	64.29	-63.95	26.14	170
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	31.37	-31.20	16.20	80
L-1038	MACH138	SURIRAY138	4.12	-4.11	8.19	90
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	43.50	-42.30	46.18	180
L-1002	MACH138	QUEN138	38.29	-37.20	45.06	160
L-1003	INCA138	DOLOR138	23.93	-23.85	28.15	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.14	-15.12	24.31	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	34.98	-34.82	19.11	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	33.39	-33.13	16.22	90
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	8.20	-8.20	8.09	80
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	48.42	-46.96	50.96	200
L-1002	MACH138	QUEN138	41.58	-40.32	48.49	170
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.70	-21.64	25.05	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.93	-12.91	20.76	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	39.58	-39.45	16.51	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	20.60	-20.49	11.97	60
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	11.59	-11.55	10.44	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



**GRÁFICO 4 . 35**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, ninguna de las barras opera fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.04 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.04 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.04 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el



criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.04 p.u.), SGAB138 (1.04 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.

- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.04 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.04 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE, mientras que bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.04 p.u.) y SGAB138 (1.04 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.

#### 4.4.2.3. Análisis de Cargabilidad - Año 2018

En el cuadro 4.32 se muestra las tensiones de barra en operación normal en el año 2017, en las épocas de avenida y estiaje de las barras asociadas a las líneas L-1001 y L-1002, así como de las barras asociadas a la línea Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse 220 kV.

En este año, se considera la entrada en operación de la línea L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya.

Como se puede observar, con la entrada de la nueva línea los niveles de tensión en las diferentes barras se encuentran dentro del rango establecido por la NTCSE y por la NTCOTRSI.

También las caídas de tensión entre barras i y j son menores al 5%.

CUADRO 4.32

TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA  
AÑO 2018

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.07	1.01	-34.76	136.40	0.99	-41.85	59.37	-4.37	59.54	-57.16	6.50	57.52	62.92	240	2.62
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.07	1.01	-34.76	137.66	1.00	-40.80	50.83	-5.32	51.10	-49.37	5.90	49.72	60.19	210	1.72
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	137.66	1.00	-40.80	136.96	0.99	-42.71	49.37	-5.89	49.72	-48.92	6.08	49.29	59.58	210	0.51
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.40	0.99	-41.85	136.47	0.99	-42.65	34.41	-12.29	36.54	-34.26	11.95	36.29	38.67	150	0.05
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.47	0.99	-42.65	136.96	0.99	-42.71	0.14	-15.73	15.73	-0.13	15.29	15.29	19.01	60	0.36
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	222.69	1.01	-37.16	219.44	1.00	-39.75	78.98	11.36	79.80	-78.47	-17.14	80.32	32.21	210	1.46
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	222.69	1.01	-37.16	222.84	1.01	-43.01	54.84	-19.94	58.35	-54.19	-6.94	54.64	23.06	140	0.07
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.44	1.00	-39.75	222.84	1.01	-43.01	42.45	-25.90	49.72	-42.16	6.38	42.64	19.94	110	1.55
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.07	1.01	-34.76	139.90	1.01	-35.22	62.77	3.38	62.86	-62.73	-3.69	62.83	24.79	260	0.12	

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Mínima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.81	1.01	-35.33	137.97	1.00	-41.61	51.54	-9.20	52.36	-49.84	9.64	50.76	55.44	210	1.32
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.81	1.01	-35.33	138.78	1.01	-40.66	44.05	-8.91	44.94	-42.92	8.25	43.71	53.02	180	0.74
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	138.78	1.01	-40.66	138.43	1.00	-42.32	42.92	-8.24	43.71	-42.58	8.01	43.33	51.95	180	0.25
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	137.97	1.00	-41.61	138.17	1.00	-42.10	20.74	-10.95	23.45	-20.68	10.30	23.10	24.54	100	0.14
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	138.17	1.00	-42.10	138.43	1.00	-42.32	13.37	-12.28	18.15	-13.35	11.84	17.85	21.67	70	0.19
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	221.79	1.01	-38.61	219.42	1.00	-40.40	54.65	6.82	55.07	-54.40	-14.50	56.30	22.58	150	1.07
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	221.79	1.01	-38.61	221.33	1.01	-42.77	38.75	-17.94	42.70	-38.42	-11.37	40.07	16.94	100	0.21
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.42	1.00	-40.40	221.33	1.01	-42.77	30.81	-20.09	36.78	-30.67	-0.57	30.67	14.75	80	0.87
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	139.81	1.01	-35.33	139.54	1.01	-35.96	85.21	7.36	85.53	-85.13	-7.23	85.43	33.80	350	0.19	

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Estiaje Máxima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.43	1.01	-31.32	135.09	0.98	-39.17	65.24	-3.09	65.31	-62.54	6.82	62.91	69.34	270	3.11
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.43	1.01	-31.32	136.39	0.99	-38.08	56.53	-4.07	56.67	-54.71	5.98	55.04	67.05	230	2.18
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.39	0.99	-38.08	135.58	0.98	-40.23	54.71	-5.97	55.03	-54.15	6.59	54.55	66.56	230	0.59
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.09	0.98	-39.17	135.10	0.98	-40.10	39.74	-12.69	41.71	-39.53	12.52	41.47	44.57	180	0.01
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.10	0.98	-40.10	135.58	0.98	-40.23	5.01	-16.58	17.32	-4.99	16.17	16.92	21.15	70	0.36
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	220.62	1.00	-33.25	217.40	0.99	-37.00	110.95	8.53	111.27	-109.95	-10.52	110.45	44.71	290	1.46
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	220.62	1.00	-33.25	222.44	1.01	-42.69	87.13	-22.87	90.08	-85.49	5.14	85.65	35.93	220	0.82
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	217.40	0.99	-37.00	222.44	1.01	-42.69	73.61	-31.99	80.26	-72.78	17.91	74.95	32.49	190	2.32
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	139.43	1.01	-31.32	139.16	1.01	-31.68	50.08	10.19	51.11	-50.05	-10.67	51.17	20.30	210	0.19	

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Estiaje Mínima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.48	1.02	-33.65	138.62	1.00	-39.73	50.40	-8.91	51.19	-48.79	9.01	49.62	53.94	210	1.32
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.48	1.02	-33.65	139.45	1.01	-38.73	42.41	-8.63	43.28	-41.38	7.59	42.07	50.82	170	0.73
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	139.45	1.01	-38.73	139.08	1.01	-40.31	41.38	-7.59	42.07	-41.07	7.25	41.70	49.76	170	0.27
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	138.62	1.00	-39.73	138.82	1.01	-40.14	17.54	-10.01	20.20	-17.50	9.30	19.81	21.03	80	0.14
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	138.82	1.01	-40.14	139.08	1.01	-40.31	9.88	-11.39	15.08	-9.87	10.93	14.73	17.92	60	0.19
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	222.77	1.01	-36.96	220.36	1.00	-38.95	60.63	6.63	60.99	-60.33	-14.01	61.94	24.73	160	1.08
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	222.77	1.01	-36.96	222.40	1.01	-41.88	46.14	-18.55	49.73	-45.68	-9.92	46.75	19.65	120	0.17
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	220.36	1.00	-38.95	222.40	1.01	-41.88	38.65	-21.16	44.06	-38.43	1.02	38.44	17.60	100	0.93
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.48	1.02	-33.65	140.20	1.02	-34.28	86.97	8.08	87.35	-86.89	-7.92	87.25	34.35	369	0.20	

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

"ESTUDIO DE LA OPERACIÓN DE LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN L-1001 Y L-1002 DEL SEIN CON LA INCORPORACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE MACHUPICCHU (ZDA FASE) Y SANTA TERESA – CUSCO"  
 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS DE LAS LINEAS DURANTE EL DESPACHO DE LAS NUEVAS CENTRALES Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN





#### 4.4.2.3.1. Análisis de contingencias en época de avenida - Año 2018

##### 4.4.2.3.1.1. Máxima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.33 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.34 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.36, 4.37 y 4.38 muestran de mejor manera estos datos.

CUADRO 4 . 33

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS  
Año 2018

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.07	139.74	139.75	139.95	139.67	139.63	140.08
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	136.40	134.82	135.47	134.90	135.58	135.46	134.64
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
QUEN138	138	kV	136.96	135.97	136.05	136.01	136.14	136.07	135.20
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98
DOLOR138	138	kV	136.47	135.27	135.52	135.31	135.64	135.55	134.68
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.00	136.58	136.64	136.40	136.39	136.38	135.80
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98
ABAN138	138	kV	135.87	135.43	135.53	131.56	134.87	134.20	134.64
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.95	0.98	0.97	0.98
MAZUCO138	138	kV	141.60	141.61	141.61	141.57	141.56	141.57	141.59
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.15	142.16	142.16	142.12	142.12	142.12	142.14
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	139.90	139.50	139.54	139.86	139.44	139.40	139.31
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
MACH138II	138	kV	140.07	139.74	139.75	139.95	139.67	139.63	140.08
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	222.69	222.23	222.29	222.81	221.38	221.44	222.09
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
COTARUSE220	220	kV	222.84	222.69	222.73	221.62	221.80	222.54	222.64
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	219.44	218.77	218.98	212.46	217.79	216.04	218.77
		p.u.	1.00	0.99	1.00	0.97	0.99	0.98	0.99
QUILLAB	220	kV	222.94	222.65	222.69	223.01	222.12	222.16	222.56
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

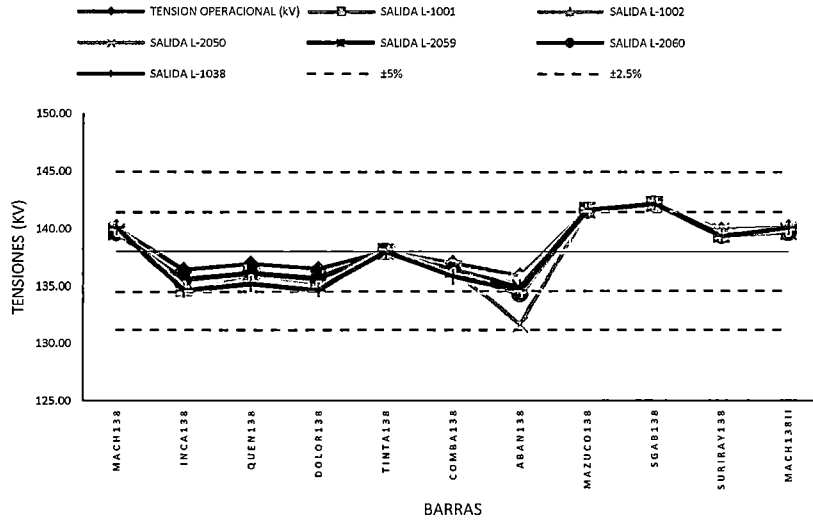
FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.



GRÁFICO 4.36

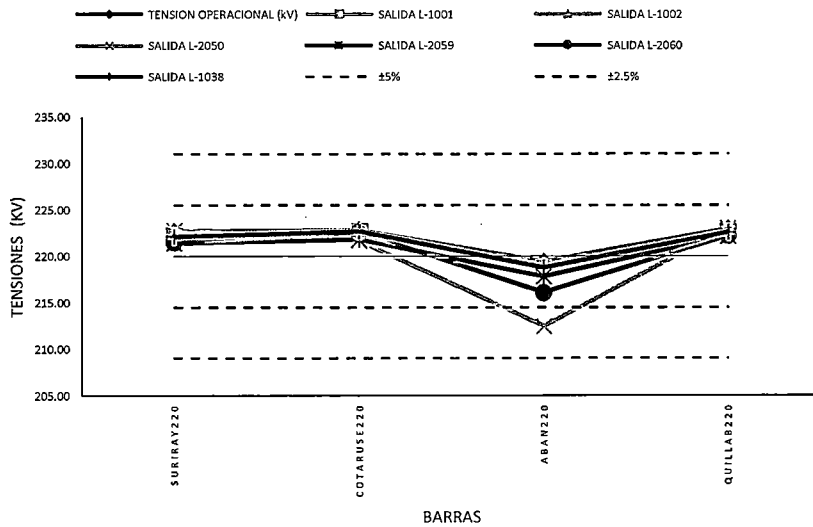
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 4.37

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.





**CUADRO 4. 34**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
AVENIDA - MÁXIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2018

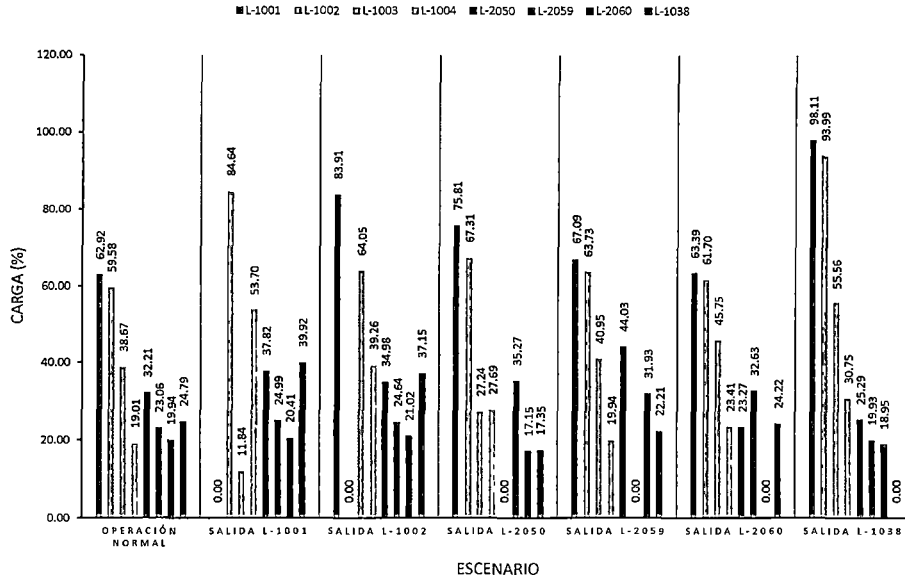
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	59.37	-57.16	62.92	240
L-1002	MACH138	QUEN138	50.83	-48.92	59.58	210
L-1003	INCA138	DOLOR138	34.41	-34.26	38.67	150
L-1004	DOLOR138	QUEN138	0.14	-0.13	19.01	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	78.98	-78.47	32.21	210
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	54.84	-54.19	23.06	140
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	42.45	-42.16	19.94	110
L-1038	MACH138	SURIRAY138	62.77	-62.73	24.79	260
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	77.03	-68.18	84.64	300
L-1003	INCA138	DOLOR138	-8.78	8.80	11.84	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-42.92	43.05	53.70	190
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	93.38	-92.67	37.82	250
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	59.64	-58.87	24.99	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	42.59	-42.30	20.41	110
L-1038	MACH138	SURIRAY138	100.94	-100.82	39.92	420
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	79.03	-75.08	83.91	320
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	57.16	-56.74	64.05	260
L-1004	DOLOR138	QUEN138	22.62	-22.55	39.26	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	86.12	-85.51	34.98	230
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	58.75	-58.01	24.64	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	44.70	-44.38	21.02	120
L-1038	MACH138	SURIRAY138	93.94	-93.84	37.15	390
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	71.65	-68.41	75.81	290
L-1002	MACH138	QUEN138	57.37	-54.94	67.31	230
L-1003	INCA138	DOLOR138	20.64	-20.56	27.24	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-13.56	13.59	27.69	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	87.86	-86.24	35.27	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-11.45	11.60	17.15	60
L-1038	MACH138	SURIRAY138	43.95	-43.93	17.35	180
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	63.20	-60.67	67.09	260
L-1002	MACH138	QUEN138	54.22	-52.04	63.73	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	36.31	-36.14	40.95	160
L-1004	DOLOR138	QUEN138	2.02	-2.01	19.94	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	109.06	-108.09	44.03	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	73.71	-72.90	31.93	190
L-1038	MACH138	SURIRAY138	55.55	-55.51	22.21	230
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	59.73	-57.47	63.39	250
L-1002	MACH138	QUEN138	52.48	-50.43	61.70	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	40.40	-40.19	45.75	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	6.07	-6.05	23.41	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	41.97	-41.72	23.27	150
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	79.19	-77.85	32.63	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	60.77	-60.72	24.22	250
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MW)	S <sub>j</sub> (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	92.78	-87.37	98.11	380
L-1002	MACH138	QUEN138	80.19	-75.45	93.99	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	49.25	-48.94	55.56	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.82	-14.77	30.75	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	59.60	-59.30	25.29	170
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	45.86	-45.40	19.93	120
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	38.47	-38.22	18.95	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4 . 38

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis para el año 2018, de igual manera que en los puntos anteriores.

- **Operación Normal.-** En este escenario, las barras operan dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2050.-** Con la salida de esta línea, la barra ABAN138 (0.95 p.u.) opera en el límite inferior establecido por la NTCSE. Bajo el



criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.03 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas.

- **Salida línea L-2059.-** Con la salida de esta línea, la barra ABAN138 (0.95 p.u.) opera en el límite inferior establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** Con la salida de esta línea, la barra ABAN138 (0.95 p.u.) opera en el límite inferior establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** Con la salida de esta línea, la barra ABAN138 (0.95 p.u.) opera en el límite inferior establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del límite. No existe sobrecargas en las líneas, pero las líneas L-1001 (98.11%) y L-1002 (93.99%) operan cerca del límite.

#### 4.4.2.3.1.2. Mínima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.35 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.36 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.39, 4.40 y 4.41 muestran de mejor manera estos datos.



CUADRO 4.35

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2018

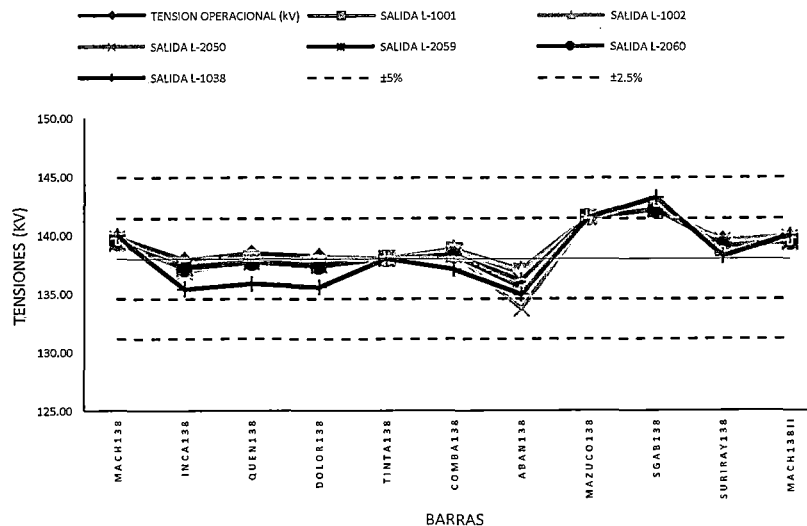
BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	139.81	139.35	139.39	139.76	139.40	139.39	139.91
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
INCA138	138	kV	137.87	137.22	137.38	136.92	137.24	137.15	135.39
		p.u.	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98
QUEN138	138	kV	138.43	137.97	137.96	137.81	137.72	137.67	135.82
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
DOLOR138	138	kV	138.17	137.62	137.63	137.39	137.45	137.38	135.55
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	138.81	138.66	138.67	138.43	138.32	138.30	137.07
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
ABAN138	138	kV	137.03	136.88	136.77	133.71	136.09	135.53	134.92
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.98
MAZUCO138	138	kV	141.51	141.52	141.52	141.50	141.49	141.50	141.50
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.21	142.21	142.22	142.19	142.19	142.19	143.19
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	139.54	139.04	139.09	139.55	139.05	139.05	138.18
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
MACH138II	138	kV	139.81	139.35	139.39	139.76	139.40	139.39	139.91
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
SURIRAY220	220	kV	221.79	221.34	221.37	221.95	220.37	220.52	220.29
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	221.33	221.22	221.23	220.43	220.28	220.86	220.89
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
ABAN220	220	kV	219.42	218.95	219.02	213.90	217.90	216.44	217.90
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.98	0.99
QUILLAB	220	kV	222.00	221.56	221.59	222.16	220.59	220.73	220.51
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.

GRÁFICO 4.39

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 KV) AÑO 2018

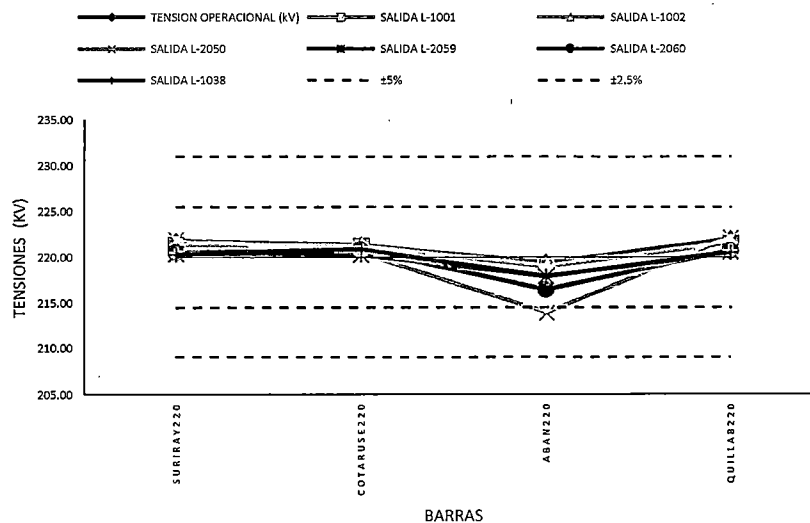


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 4 . 40

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 4.36**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
AVENIDA - MÍNIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2018

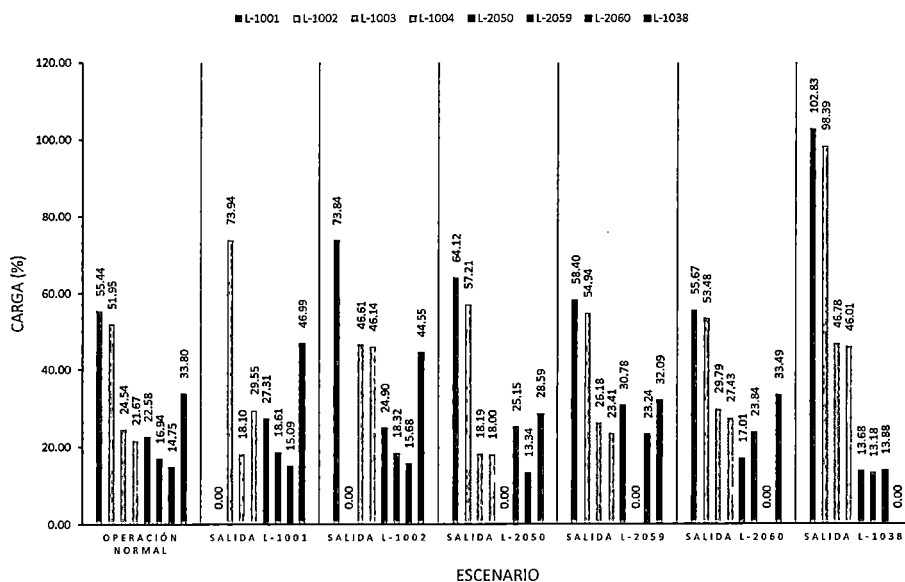
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	51.54	-49.84	55.44	210
L-1002	MACH138	QUEN138	44.05	-42.58	51.95	180
L-1003	INCA138	DOLOR138	20.74	-20.68	24.54	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.37	-13.35	21.67	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	54.65	-54.40	22.58	150
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	38.75	-38.42	16.94	100
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	30.81	-30.67	14.75	80
L-1038	MACH138	SURIRAY138	85.21	-85.13	33.80	350
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	62.43	-59.47	73.94	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	-16.91	16.95	18.10	70
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-24.26	24.29	29.55	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	67.15	-66.78	27.31	180
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	42.85	-42.45	18.61	110
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	30.93	-30.77	15.09	80
L-1038	MACH138	SURIRAY138	118.37	-118.21	46.99	490
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	68.56	-65.52	73.84	280
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	40.58	-40.36	46.61	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	33.05	-32.96	46.14	160
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	60.81	-60.51	24.90	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	42.10	-41.71	18.32	110
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	32.75	-32.59	15.68	90
L-1038	MACH138	SURIRAY138	112.24	-112.10	44.55	470
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	60.09	-57.79	64.12	250
L-1002	MACH138	QUEN138	48.59	-46.82	57.21	200
L-1003	INCA138	DOLOR138	11.00	-10.96	18.19	70
L-1004	DOLOR138	QUEN138	3.65	-3.64	18.00	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	61.41	-60.61	25.15	160
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-6.20	6.27	13.34	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	72.12	-72.06	28.59	300
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	54.31	-52.42	58.40	220
L-1002	MACH138	QUEN138	46.50	-44.87	54.94	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	22.11	-22.04	26.18	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.73	-14.71	23.41	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	75.81	-75.34	30.78	200
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	52.93	-52.52	23.24	140
L-1038	MACH138	SURIRAY138	79.98	-79.91	32.09	340
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	51.83	-50.10	55.67	210
L-1002	MACH138	QUEN138	45.27	-43.73	53.48	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	25.19	-25.10	29.79	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.79	-17.75	27.43	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	27.94	-27.82	17.01	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	56.28	-55.58	23.84	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	83.70	-83.62	33.49	350
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MW)	S <sub>j</sub> (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	96.96	-91.02	102.83	400
L-1002	MACH138	QUEN138	83.84	-78.64	98.39	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	40.85	-40.62	46.78	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	33.32	-33.22	46.01	160
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	28.33	-28.25	13.68	90
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	26.54	-26.37	13.18	70
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	25.31	-25.19	13.88	70
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4.41

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario todas las barras trabajan dentro del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** Con la salida de esta línea, las barras continúan operando dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1002.-** Con la salida de esta línea, las barras continúan operando dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2050.-** Con la salida de esta línea, las barras continúan operando dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.03 p.u.) y ABAN220 (0.97 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.



- **Salida línea L-2059.-** Con la salida de esta línea, las barras continúan operando dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** Con la salida de esta línea, las barras continúan operando dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** Con la salida de esta línea, las barras continúan operando dentro del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. Con la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 102.83% y la línea L-1002 opera cerca del límite (98.39%).

#### 4.4.2.3.2. Análisis de contingencias en época de estiaje - Año 2018

##### 4.4.2.3.2.1. Máxima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.37 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.38 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.42, 4.43 y 4.44 muestran de mejor manera estos datos.





CUADRO 4.37

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2018

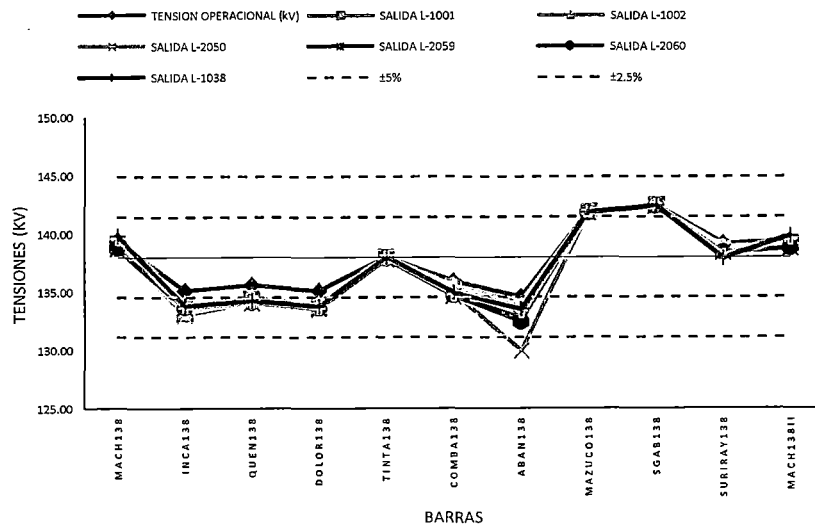
BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	139.43	139.09	139.11	139.10	138.76	138.77	139.82
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
INCA138	138	kV	135.09	133.21	133.94	133.03	133.59	133.64	133.79
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.96	0.97	0.97	0.97
QUEN138	138	kV	135.58	134.39	134.47	134.12	134.05	134.11	134.25
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
DOLOR138	138	kV	135.10	133.67	133.94	133.42	133.57	133.62	133.76
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	137.79	137.89	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.91	135.42	135.49	134.96	134.64	134.72	134.94
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
ABAN138	138	kV	134.57	133.93	134.05	129.91	132.74	132.47	133.53
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.94	0.96	0.96	0.97
MAZUCO138	138	kV	141.85	141.86	141.86	141.81	141.77	141.79	141.84
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.43	142.44	142.45	142.40	142.36	142.38	142.42
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	139.16	138.73	138.77	138.88	138.39	138.41	137.90
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
MACH138II	138	kV	139.43	139.09	139.11	139.10	138.76	138.77	139.82
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
SURIRAY220	220	kV	220.62	220.02	220.10	220.15	218.60	218.79	219.84
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00
COTARUSE220	220	kV	222.44	222.22	222.27	221.07	221.35	222.12	222.26
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	217.40	216.50	216.75	210.89	214.55	213.29	216.72
		p.u.	0.99	0.98	0.99	0.96	0.98	0.97	0.99
QUILLAB	220	kV	221.70	221.32	221.37	221.40	220.43	220.55	221.21
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.

GRÁFICO 4.42

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 KV) AÑO 2018

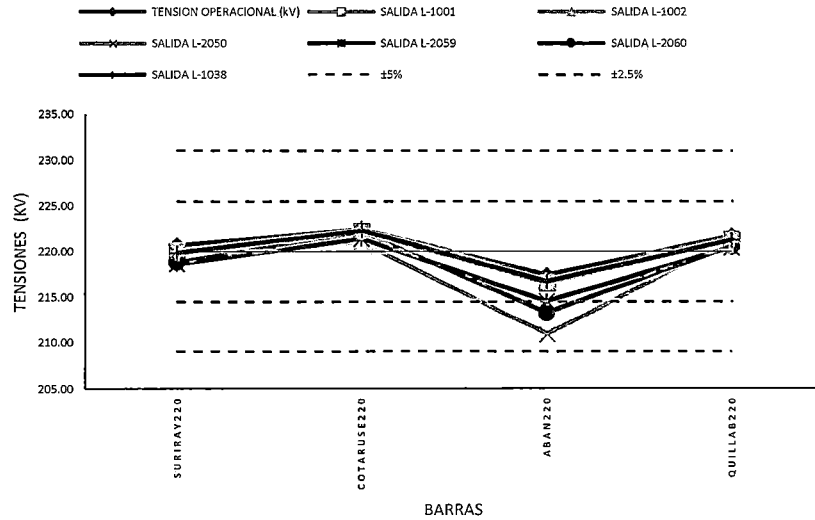


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 4.43

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 4.38**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
ESTIAJE - MÁXIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS.  
AÑO 2018

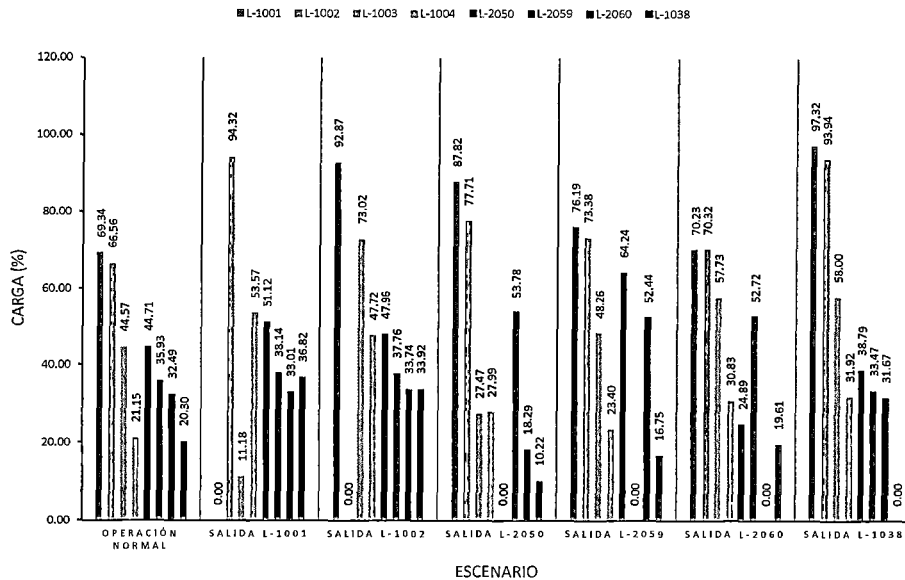
OPERACION NORMAL						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	65.24	-62.54	69.34	270
L-1002	MACH138	QUEN138	56.53	-54.15	66.56	230
L-1003	INCA138	DOLOR138	39.74	-39.53	44.57	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	5.01	-4.99	21.15	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	110.95	-109.95	44.71	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	87.13	-85.49	35.93	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	73.61	-72.78	32.49	190
L-1038	MACH138	SURIRAY138	50.08	-50.05	20.30	210
SALIDA L-1001						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	79.91	-75.13	94.32	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	-7.60	7.61	11.18	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-42.14	-42.27	53.57	190
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	126.74	-125.43	51.12	340
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	92.46	-90.61	38.14	240
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	73.71	-72.86	33.01	200
L-1038	MACH138	SURIRAY138	91.94	-91.83	36.82	390
SALIDA L-1002						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	87.20	-82.36	92.87	360
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	64.84	-64.30	73.02	290
L-1004	DOLOR138	QUEN138	29.77	-29.67	47.72	170
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	118.88	-117.73	47.96	310
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	91.51	-89.70	37.76	230
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	76.07	-75.18	33.74	200
L-1038	MACH138	SURIRAY138	84.64	-84.55	33.92	400
SALIDA L-2050						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	82.51	-78.17	87.82	340
L-1002	MACH138	QUEN138	65.80	-62.56	77.71	270
L-1003	INCA138	DOLOR138	20.88	-20.80	27.47	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-13.73	13.76	27.99	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	133.59	-129.77	53.78	340
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-2.79	2.97	18.29	60
L-1038	MACH138	SURIRAY138	23.53	-23.52	10.22	110
SALIDA L-2059						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	71.40	-68.14	76.19	300
L-1002	MACH138	QUEN138	61.98	-50.09	73.38	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	42.73	-42.49	48.26	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.97	-7.94	23.40	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	158.59	-156.52	64.24	420
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	122.72	-120.47	52.44	330
L-1038	MACH138	SURIRAY138	38.46	-38.44	16.75	170
SALIDA L-2060						
LÍNEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	65.83	-63.05	70.23	270
L-1002	MACH138	QUEN138	59.40	-56.75	70.32	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	50.28	-49.95	57.73	230
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.43	-15.38	30.83	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	46.80	-46.52	24.89	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	129.20	-125.58	52.72	330
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	46.61	-46.58	19.61	200
SALIDA L-1038						
LÍNEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.91	-86.58	97.32	380
L-1002	MACH138	QUEN138	79.94	-75.21	93.94	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	51.53	-51.19	58.00	230
L-1004	DOLOR138	QUEN138	16.67	-16.62	31.92	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	95.43	-94.68	38.79	250
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	79.95	-78.55	33.47	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	70.43	-69.65	31.67	190
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent



GRÁFICO 4 . 44

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, no existe violaciones del límite de tensión establecido por la NTCSE. Con respecto al criterio establecido por la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1002 opera cerca del límite (94.32%).
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecargas en las líneas, pero la línea L-1001 opera cerca del límite (92.87%).



- **Salida línea L-2050.-** Con la salida de esta línea, la barra ABAN138 (0.94 p.u.) opera fuera del límite establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.96 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.03 p.u.) y ABAN220 (0.96 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.96 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.96 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.), SGAB138 (1.03 p.u.) y ABAN220 (0.97p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca violaciones del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras INCA138 (0.97 p.u.), QUEN138 (0.97 p.u.), DOLOR138 (0.97 p.u.), ABAN138 (0.97 p.u.), MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango. No existe sobrecargas en las líneas, pero las líneas L-1001 (97.32%) y L-1002 (93.94%) operan cerca al límite.

#### 4.4.2.3.2.2. Mínima Demanda

Se presenta en el cuadro 4.39 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 4.40 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 4.45, 4.46 y 4.47 muestran de mejor manera estos datos.



CUADRO 4.39

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS AÑO 2018

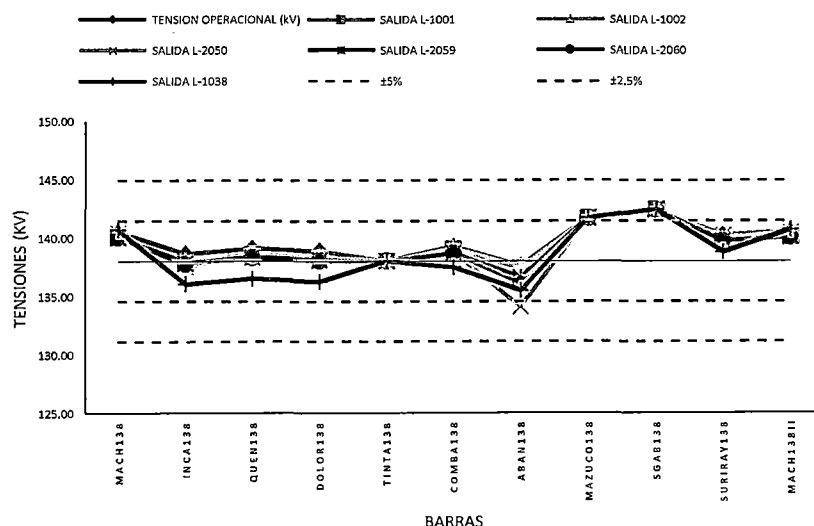
BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.48	140.04	140.08	140.43	140.06	140.05	140.65
		p.u.	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	138.62	137.83	138.04	137.51	137.85	137.78	136.05
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
QUEN138	138	kV	139.08	138.60	138.60	138.43	138.32	138.29	136.49
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
DOLOR138	138	kV	138.82	138.24	138.28	138.00	138.06	138.00	136.21
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	139.20	139.03	139.04	138.79	138.66	138.64	137.46
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
ABAN138	138	kV	137.57	137.41	137.32	134.12	136.54	136.09	135.45
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.99	0.98
MAZUCO138	138	kV	141.68	141.68	141.69	141.66	141.66	141.66	141.67
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.42	142.43	142.43	142.40	142.40	142.40	142.41
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	140.20	139.72	139.77	140.21	139.70	139.70	138.76
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01
MACH138II	138	kV	140.48	140.04	140.08	140.43	140.06	140.05	140.65
		p.u.	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	222.77	222.33	222.37	222.91	221.30	221.45	221.22
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
COTARUSE220	220	kV	222.40	222.30	222.31	221.47	221.32	221.90	221.97
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	220.36	219.90	219.97	214.77	218.70	217.37	218.81
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99	0.99	0.99
QUILLAB	220	kV	222.99	222.55	222.59	223.13	221.52	221.67	221.44
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.

GRÁFICO 4.45

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 138 KV) AÑO 2018

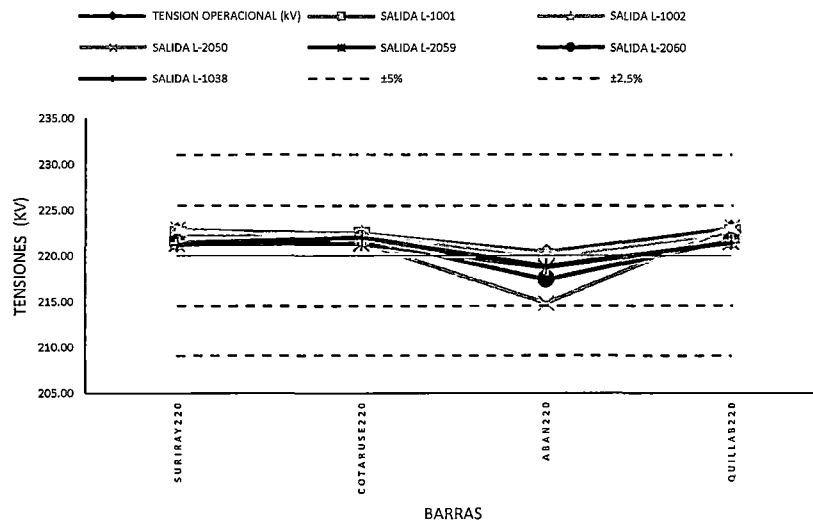


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 4.46

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 4.40**  
CARGABILIDAD DE  
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN  
EN EL ESCENARIO DE  
ESTIAJE - MÍNIMA  
DEMANDA EN  
OPERACIÓN NORMAL Y  
CONTINGENCIAS  
AÑO 2018

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	50.40	-48.79	53.94	210
L-1002	MACH138	QUEN138	42.41	-41.07	49.76	170
L-1003	INCA138	DOLOR138	17.54	-17.50	21.03	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.88	-9.87	17.92	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	60.63	-60.33	24.73	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	46.14	-45.68	19.65	120
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	38.65	-38.43	17.60	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	86.97	-86.89	34.35	360
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	60.39	-57.66	71.16	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	-19.30	19.34	20.40	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-26.95	27.00	32.51	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	72.86	-72.43	29.39	190
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	50.15	-49.61	21.28	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	38.76	-38.53	17.90	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	119.40	-119.23	47.18	490
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	66.79	-63.94	71.57	270
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	36.70	-36.52	42.09	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	28.91	-28.84	40.85	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	66.57	-66.22	26.99	180
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	49.37	-48.84	20.98	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	40.52	-40.28	18.49	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	113.00	-112.85	44.65	470
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	59.88	-57.62	63.56	250
L-1002	MACH138	QUEN138	47.45	-45.78	55.58	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	6.81	-6.78	14.85	60
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-0.83	0.84	16.41	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	71.39	-70.31	28.89	180
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-2.53	2.61	13.55	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	72.46	-72.40	28.61	300
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	53.68	-51.84	57.41	220
L-1002	MACH138	QUEN138	45.31	-43.77	53.26	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	19.16	-19.11	22.94	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	11.50	-11.48	19.87	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	85.87	-85.27	34.58	230
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	64.99	-64.37	27.85	170
L-1038	MACH138	SURIRAY138	80.80	-80.73	32.32	340
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	50.71	-49.08	54.19	210
L-1002	MACH138	QUEN138	43.91	-42.47	51.60	180
L-1003	INCA138	DOLOR138	23.18	-23.10	27.40	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.49	-15.46	24.65	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	27.19	-27.07	16.86	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	68.12	-67.12	28.26	170
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	85.16	-85.08	33.96	360
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	96.76	-90.91	102.07	400
L-1002	MACH138	QUEN138	83.03	-77.98	96.92	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	38.12	-37.93	43.57	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	30.32	-30.24	42.18	150
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	33.74	-33.64	15.36	100
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	33.65	-33.39	15.68	90
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	33.02	-32.84	16.52	90
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

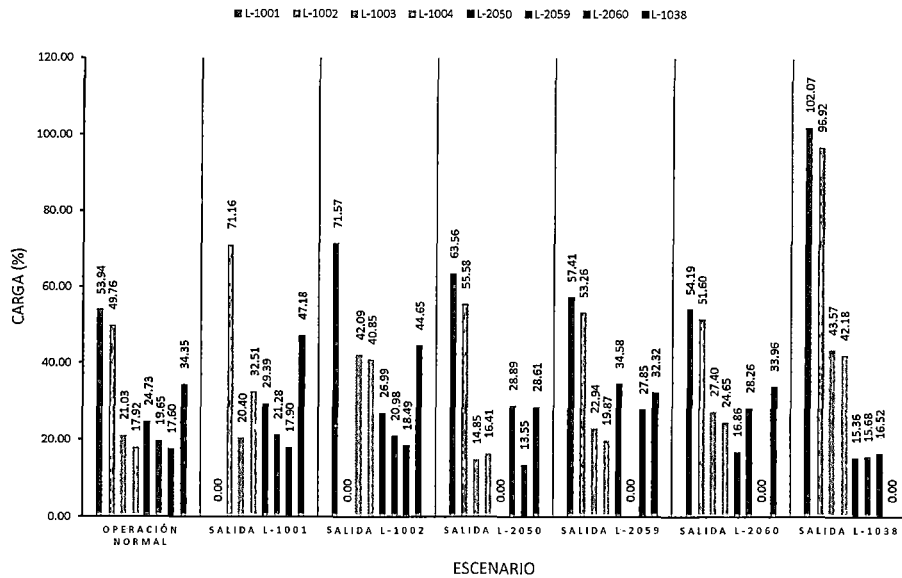
FUENTE:  
Elaboración  
propia mediante  
software  
DigSilent





GRÁFICO 4. 47

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, todas las barras operan dentro del límite de tensión establecido por la NTCSE. Bajo el criterio de la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) están fuera del rango establecido. No existe sobrecarga en las líneas.
- **Salida línea L-1001.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Considerando el rango establecido por la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1002.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Considerando el rango establecido por la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2050.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Considerando el rango establecido por la NTCOTRSI, las barras ABAN138 (0.97 p.u.),



MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.

- **Salida línea L-2059.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Considerando el rango establecido por la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-2060.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Considerando el rango establecido por la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango establecido. No existe sobrecargas en las líneas.
- **Salida línea L-1038.-** La salida de esta línea no provoca que las barras operen fuera del rango establecido por la NTCSE. Considerando el rango establecido por la NTCOTRSI, las barras MAZUCO138 (1.03 p.u.) y SGAB138 (1.03 p.u.) operan fuera del rango establecido. La salida de esta línea provoca que la línea L-1001 sufra una sobrecarga de 102.07% y que la línea L-1002 opere muy cerca al límite (96.92%).

A continuación se presenta un resumen anual del análisis de cargabilidad realizado, indicando cuales son los problemas que se presentan en cada año.

- **Año 2015.-** En el año 2015, como se mostró en los cuadros, se puede observar que durante ese periodo el sistema será sumamente frágil, más aun durante eventos de contingencias, los cuales provocan fuertes caídas de tensión y sobrecargas en las líneas. Esto se debe a que entraran nuevos centros de generación y también a que la nueva línea Machupicchu - Suriray - Abancay Nueva - Cotaruse se encuentra retrasada.
- **Año 2016.-** En el año 2016, durante eventos de contingencias, especialmente durante las salidas de las líneas L-1001 y L-1002 se presentan violaciones en los límites de tensión en diferentes barras del sistema estudiado, siendo en el escenario de Avenida y Estiaje -



Máxima Demanda donde varias barras trabajan fuera de los límites permitidos. También durante este año, en escenarios de contingencias existe sobrecargas de líneas de transmisión, siendo el escenario de Avenida - Máxima Demanda donde se presentan sobrecargas en las líneas.

Lo anteriormente mencionado, indica que durante contingencias existe el peligro de sobrecargas en varias líneas de transmisión y también hay violaciones de los límites de tensión en varias barras durante estas contingencias. Es necesario mencionar también que con la entrada en operación de la línea Machupicchu - Suriray - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV, el efecto de las contingencias se reduce con respecto al año 2015, pero que aún existen problemas en varias barras y líneas.

- **Año 2017.-** En el año 2017, con la entrada de nuevos centros de generación, durante los diferentes eventos de contingencias considerados se tiene que varias barras trabajan muy por debajo del límite de tensión y también se observa que varias líneas sufren sobrecargas muy graves durante estos eventos, esto en los escenarios de Avenida y Estiaje - Máxima Demanda.

Lo anteriormente mencionado indica que durante este año, a pesar de que la línea Machupicchu - Suriray - Abancay Nueva - Cotaruse entre en operación, el sistema sufre severos problemas durante los diferentes eventos de contingencias, lo que afectaría en gran manera la operación del sistema.

- **Año 2018.-** En el año 2018, con la entrada en operación de la línea Machupicchu - Onocora - Quencoro - Tintaya en 220 kV, durante eventos de contingencias se puede observar que las barras operan dentro del límite de tensión y que no existe sobrecargas en las líneas.

Los resultados remiten a plantear el uso de un equipo o equipos que fortalezcan la operatividad de las líneas en estudio, para que puedan



despachar la mayor cantidad de energía eléctrica posible, sin que estas sobrepasen la capacidad de transmisión y sufran colapsos. Para el problema de cargabilidad de las líneas de estudio, se considerará soluciones de caracteres favorables y factibles.

#### 4.5. PROPUESTA DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La selección de las alternativas de solución se realizó mediante la determinación de los límites de transmisión de las líneas, para lo cual se selecciona tres alternativas que mejorarán la capacidad de transporte de estas; primordialmente la mejor opción se basará en el comportamiento operativo respecto a las otras opciones; además se toma en consideración los siguientes criterios:

- Reducir la impedancia serie de las líneas.
- Mejor control en el voltaje en los nodos extremos.
- Análisis simple de costos.

Se sabe que la tecnología FACTS incluye alternativas de solución referidas al tema de cargabilidad en líneas de transmisión. Para su selectividad se toma en cuenta el cuadro 4.41.

CUADRO 4.41  
CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE FACTS DE ACUERDO AL ESCENARIO

TEMÁ	PROBLEMA	ACCIÓN CORRECTIVA	SOLUCION CONVENCIONAL	DISPOSITIVO FACTS
Límites de tensión	Baja tensión con alta carga	Incrementar suministro de reactivos	Condensadores en serie y paralelo	SVC, TCSC, STATCOM
	Alta tensión con baja carga	Suspender suministro de reactivos	Conmutar línea o condensador en paralelo	SVC, TCSC, STATCOM
		Absorber reactivos	Conmutar condensador en paralelo, reactor en paralelo	SVC, STATCOM, TCVR
	Baja tensión y sobrecarga	Incrementar suministro de reactivos y limitar la sobrecarga	Combinar dos o más dispositivos	TCSC, UPFC, STATCOM, SVC
Límites térmicos	Sobrecarga de línea	Reducir sobrecarga	Implementar línea	TCSC, UPFC, TCPAR
			Implementar reactor en serie	SVC, TCSC
	Salida de circuito paralelo	Limitar la cargabilidad del circuito	Implementar reactor en serie, condensador	UPFC, TCSC
Flujos de Potencia	Sobrecarga asimétrica de líneas en paralelo	Ajustar reactancia en serie	Implementar condensador/reactor en serie	UPFC, TCSC, IPFC
		Ajustar el ángulo de fase	Implementar regulador de ángulo de fase	TCPAR, UPFC
	Desequilibrio del flujo de potencia, post falla	Reconfiguración de la red de acuerdo con los límites térmicos	Regulador de ángulo de fase, condensador/reactor en serie	TCSC, UPFC, SVC, TCPAR
Nivel de corto circuito	Excesiva corriente de fallas en interruptores	Limitar corriente de corto circuito	Implementar reactor en serie, nuevo interruptor	SCCL, UPFC, TCSC
Resonancia Subsíncrona	Resonancia subsíncrona	Posible deformación del eje turbina - generador	Mitigar oscilaciones	NGH, TCSC

FUENTE: Klaus Habur, FACTS for Cost and Reliable Transmission of Electrical Energy



#### 4.5.1. Utilización de FACTS tipo TCSC (Thyristor Controlled Series Compensation)

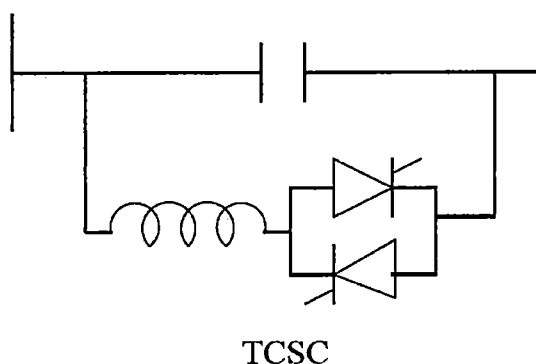
La selección de este FACTS se basa en el cuadro número 4.41 donde el TCSC (Capacitor Serie Controlado por Tiristores) cumple funciones primordiales para el desarrollo del presente estudio.

##### 4.5.1.1. Información Básica de un TCSC

El TCSC es un dispositivo de compensación y control, cuya construcción se basa en la electrónica de potencia. Este dispositivo permite obtener un ajuste rápido y continuo de la impedancia en una línea de transmisión y su estructura básica consta de un banco de condensadores el cual se encuentra conectado en paralelo a un reactor controlado por tiristores (TCR).

La configuración de un TCSC se muestra en la imagen 4.9; aquí el TCR está ubicado en paralelo con un capacitor fijo para permitir el control continuo sobre la compensación serie, teniendo en esta su primordial función, haciendo posible la reducción o incremento de flujo de potencia en una línea de transmisión. En forma adicional el TCSC provee protección inherente contra los sobrevoltajes. [3] [5]

IMAGEN 4.9  
CONFIGURACIÓN DE LA COMPENSACIÓN EN SERIE UTILIZANDO FACTS TIPO TCSC



La idea básica detrás de la configuración del TCSC consiste en ajustar el valor de la capacitancia efectiva del banco de condensadores por medio del TCR.



Operando a la frecuencia fundamental del sistema, el TCR se comporta como una reactancia variable controlada por el ángulo de disparo de los tiristores, por lo tanto, la reactancia del TCSC en estado estable es la de un circuito LC compuesto por una reactancia capacitiva fija  $X_c$  y una reactancia inductiva variable  $X_L(\alpha)$ .

#### **4.5.2. Utilización de FACTS tipo UPFC (Unified Power Flow Controller)**

La selección de este FACTS se basa en el cuadro número 4.23 donde el UPFC (Controlador Unificado de Flujo de Potencia) cumple funciones primordiales para el desarrollo del presente estudio.

##### **4.5.2.1. Información Básica de un UPFC**

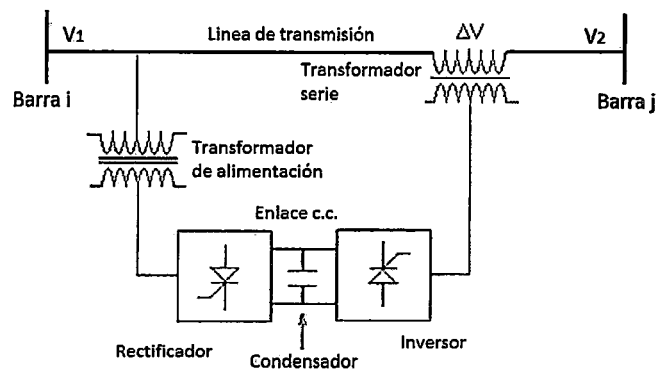
El UPFC es un dispositivo que provee control simultáneo e independiente de todas las variables que interviene en el flujo de potencia AC (voltaje, impedancia y ángulo de fase), en cada fase. También hace posible controlar de manera independiente el flujo de potencia activa y reactiva en la línea, maximizando su utilización y minimizando el flujo de potencia reactiva, con su consecuente reducción de las pérdidas.

##### **4.5.2.2. Operación de un UPFC**

Este tipo de FACTS realiza compensación serie como paralela y permite la variación continua de la tensión en serie con la línea de transmisión tanto magnitud como en fase, permitiendo un rango de regulación mayor que el cambiador de fase y superando su limitación al usar de manera más eficiente los tiristores que conforman los convertidores utilizados. Está conformado por un transformador que sirve como alimentación para un convertidor C.A. – C.C, un convertidor trabajando como rectificador, otro trabajando como inversor y un transformador cuyo secundario está conectado en serie con la línea de transmisión. [5]



IMAGEN 4 . 10  
CONFIGURACIÓN DEL FACTS TIPO UPFC



En la imagen 4.8 el inversor regula el ángulo de fase y magnitud del voltaje  $V_1$  alimentando al transformador serie, tal que el voltaje de la línea de transmisión  $V_2$  puede tomar cualquier valor alrededor de  $V_1$  mostrando por la línea. Esto permite que el flujo real de potencia real y reactiva en la red sea controlado y también el amortiguamiento de las oscilaciones electromecánicas, El rectificador puede trabajar como una fuente de corriente controlable cuando el enlace continuo deba contener una inductancia que asegure corriente continua constante.

#### 4.5.3. Utilización de bancos de condensadores en serie

Un condensador, conectado en serie con una línea eléctrica fundamentalmente compensa la caída de voltaje en ella. La compensación de la caída de voltaje de una línea eléctrica, debido a la aplicación de un condensador en serie con ella, a su vez trae los siguientes efectos:

- Mejora la regulación de voltaje.
- Mejora el factor de potencia.
- Aumento de transferencia de potencia.

##### 4.5.3.1. Mejoramiento de la Regulación de Voltaje

Un condensador en serie que está presente en cualquier línea de transmisión introduce una reactancia capacitiva (negativa), en serie con la reactancia



inductiva (positiva) propia de la línea; reactancia capacitiva que por su parte lo que hace es reducir la impedancia equivalente que tiene una línea entre los terminales de envío y recepción. El condensador serie a través de su reactancia capacitiva actúa como un generador de reactivos que permite elevar el voltaje a nivel de la carga, de tal manera que disminuya la caída de voltaje de la línea y en consecuencia mejora la regulación de voltaje de la misma.

Así, si la caída de voltaje de una línea viene dada por:

$$\Delta V = IR \cos \theta + IX_L \sin \theta \quad (4.1)$$

con:

$$\Delta V = V_S - V_R \quad (4.2)$$

Donde:

- $\Delta V$  : Caída de voltaje de la línea, [V].
- $V_S$  : Voltaje del terminal de envío de la línea, [V].
- $V_R$  : Voltaje del terminal de recepción de la línea, [V].
- $I$  : Corriente de la línea, [A].
- $R$  : Resistencia de la línea, [ $\Omega$ ].
- $X_L$  : Reactancia inductiva de la línea, [ $\Omega$ ].
- $\theta$  : Angulo del factor de potencia de la carga [ $^\circ$ ].

Si en la línea se inserta un condensador serie, su reactancia capacitiva [ $X_{CS}$ ], disminuye la reactancia total de la línea y el efecto puede verse en la siguiente ecuación:

$$\Delta V = IR \cos \theta + I(X_L - X_{CS}) \sin \theta \quad (4.3)$$

Donde:

- $X_{CS}$  : Reactancia capacitiva del condensador en serie, ( $\Omega$ ).



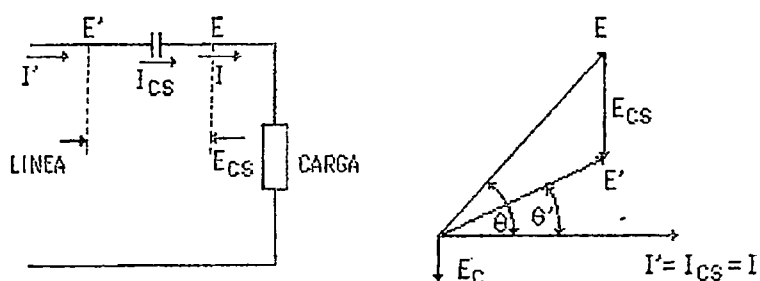


### 4.5.3.2. Mejoramiento del factor de potencia

Un condensador en serie mejora el factor de potencia del circuito visto desde el lado que da hacia la fuente o terminal de envío de la línea; lo cual se puede verificar observando la imagen 4.9 y su correspondiente diagrama fasorial.

IMAGEN 4 . 11

CONDENSADOR EN SERIE VISTO DESDE LA FUENTE Y DIAGRAMA FASORIAL



### 4.5.3.3. Aumento de la transferencia de potencia

El condensador en serie, al disminuir la caída de voltaje de una línea permite aumentar la transferencia de potencia a través de ella.

Así, en una línea sin condensador en serie (no considerando la resistencia en línea), la ecuación de transferencia de potencia activa es:

$$P = \frac{V_S V_R}{X_L} \sin \delta \quad (4.4)$$

Donde:

- $V_S$  : Voltaje del terminal de envío de la línea, [V].
- $V_R$  : Voltaje del terminal de recepción de la línea, [V].
- $X_L$  : Reactancia inductiva de la línea, [ $\Omega$ ].
- $\delta$  : Angulo de operación de la línea, [ $^\circ$ ].

Si un condensador en serie, es insertado en la línea, el efecto en la ecuación de transferencia de potencia activa se puede ver en la siguiente ecuación:



$$P = \frac{V_S V_R}{X_L - X_{CS}} \sin \delta \quad (4.5)$$

Donde:

$X_{CS}$  : Reactancia capacitiva del condensador en serie, ( $\Omega$ ).

Es decir que, la presencia de un condensador en serie en una línea eléctrica, al disminuir la reactancia total de la línea y disminuir la caída de voltaje de ella, mejora la habilidad de dicha línea para transportar potencia hacia la carga.

#### 4.5.3.4. Tamaño del condensador en serie

Para el tamaño del condensador en serie, en cada fase de la línea, se considera el porcentaje (%) de compensación serie que se desea. Estos condensadores serie tienen un valor óhmico que es el  $a(\%)$  de la reactancia inductiva de la línea; con lo que la reactancia capacitiva ( $\Omega$ ) del condensador en serie es:

$$X_{CS} = \frac{a}{100} X_L \quad (4.6)$$

La corriente (en amperios) a través del condensador en serie ( $I_{CS}$ ), es la misma que la corriente de línea, pues el condensador está en serie con la línea.

El voltaje (en voltios) a través del condensador en serie ( $V_{CS}$ ) se calcula mediante la relación:

$$V_{CS} = I_{CS} X_{CS} \quad (4.7)$$

En cada fase de la línea, el tamaño del condensador en serie (en MVar) se determina por la relación siguiente:

$$Q_{CS} = \frac{V_{CS} I_{CS}}{1000000} \quad (4.8)$$



Donde:

- $V_{CS}$  : Voltaje a través del condensador en serie, [V].
- $I_{CS}$  : Corriente a través del condensador en serie, [A].
- $Q_{CS}$  : Potencia reactiva del condensador en serie, [MVA<sub>r</sub>].

**Nota:** Una desventaja de los bancos de capacitores en serie, es que es necesario tener que instalar dispositivos automáticos de protección, para poder desviar las altas corrientes durante las fallas y volver a insertar los capacitores una vez que se hayan eliminado estas. Así mismo puede excitar oscilaciones de baja frecuencia, un fenómeno conocido como resonancia sub-síncrona las cuales pueden dañar las flechas de los generadores.

#### 4.6. DETERMINACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

De entre las tres alternativas de solución planteadas se consideró básicamente soluciones puntuales, no convencionales y de costos que den como resultado beneficios económicos (Anexo B).

Siguiendo estos parámetros, se consideró entonces desarrollar la utilización del FACTS tipo TCSC por ser esta:

- Una solución no convencional, como lo es la utilización de banco de condensadores.
- Una solución cuya función primordial es la de incrementar el flujo de potencia en líneas de transmisión, mediante dispositivos de control basada en la electrónica de potencia.
- Una alternativa de solución que presenta costos de inversión, con beneficios a corto o mediano plazo.
- Una solución innovadora en la región sur este del Perú.



## Capítulo V: **Desarrollo de la propuesta de solución**

---

### **5.1. INTRODUCCION**

En el presente capítulo se desarrollará la propuesta de solución seleccionada, mostrando los flujos de carga, perfil de tensiones y cargabilidad de las líneas, todo con la incorporación de dispositivo FACTS seleccionado en ambas líneas de transmisión y de un banco de condensadores en paralelo para mejorar los niveles de tensión.

### **5.2. HORIZONTES Y ESCENARIOS DE ANALISIS**

EL horizonte elegido para el desarrollo del presente capítulo se da de la misma forma que en el capítulo cuarto, horizonte (Años 2015-2018), así mismo los escenarios elegidos son:

- Avenida Máxima.
- Avenida Mínima.

Tomando los mismos criterios que en el capítulo anterior, tanto para operación normal y en contingencias, se tiene:

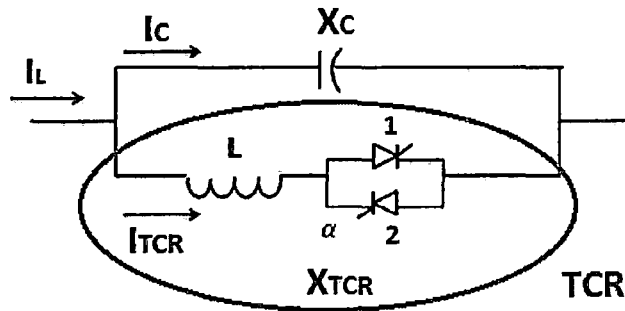
- En estado estacionario de operación normal (n), las tensiones en barra no deben ser inferior al 95% ni superior al 105% de la tensión nominal, resultando dentro de 0.95 y 1.05 en valores p.u., establecido por la NTCSE.
- En estado estacionario de operación en contingencias (n-1), las tensiones de emergencia se consideran en el rango de 0.90 y 1.10 p.u. por ser líneas de transmisión primordiales para el Sur Este del país.
- También se tomara en cuenta los límites de tensión establecidos por la NTCOTRSI ( $\pm 2.5\%$  de la tensión nominal).



### 5.3. FUNCIONAMIENTO DEL TCSC (THYRISTOR CONTROLLED SERIES COMPENSATION)

La utilización de un TCSC en líneas de transmisión [5], puede analizarse mediante una simple representación gráfica expuesta a continuación:

IMAGEN 5.1  
MODULO BÁSICO DE UN TCSC



Según la imagen 5.1 la impedancia serie del TCSC está dada por:

$$Z_{TCSC} = \frac{-j X_c \cdot j X_{TCR}}{j(X_{TCR} - X_c)} = \frac{-j X_c}{(1 - \frac{X_c}{X_{TCR}})} \dots \dots \dots (5.1)$$

Dónde:

- $Z_{TCSC}$  : Impedancia TCSC [ $\Omega$ ].
- $X_c$  : Reactancia capacitiva [ $\Omega$ ].
- $X_{TCR}$  : Reactancia TCR [ $\Omega$ ].

Cuando se desprecian las pérdidas en la línea, la impedancia se vuelve puramente reactiva entonces la reactancia capacitiva del TCSC se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$X_{TCSC} = \frac{X_c \cdot X_{TCR}}{(X_{TCR} - X_c)} \dots \dots \dots (5.2)$$

Así mismo, la ecuación que corresponde a la corriente que pasa a través del TCR ( $I_{TCR}$ ) esta expresada por [3]:



$$I_{TCR} = \frac{-jX_C}{j(X_{TCR} - X_C)} I_L \dots \dots \dots (5.3)$$

Donde:

- $I_{TCR}$  : Intensidad de corriente a través del TCR.
- $I_L$  : Intensidad de corriente de línea [A].
- $X_{TCR}$  : Reactancia del TCR en función del ángulo [Ω].
- $X_C$  : Reactancia capacitiva [Ω].

Representando también la corriente a través del TCR en función a la variación del ángulo se expresa [3]:

$$I_{TCR(\alpha)} = \frac{V}{\omega L} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \alpha - \frac{1}{\pi} \alpha - \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha \right) \dots \dots \dots (5.4)$$

Donde:

- $I_{TCR(\alpha)}$  : Intensidad de corriente a través del TCR en función del ángulo [α].
- $V$  : Tensión nominal del sistema [V].
- $\omega$  : Frecuencia angular [Ω]:
- $L$  : Inductancia del TCR [Wb/A].
- $\alpha$  : Angulo de disparo [°].

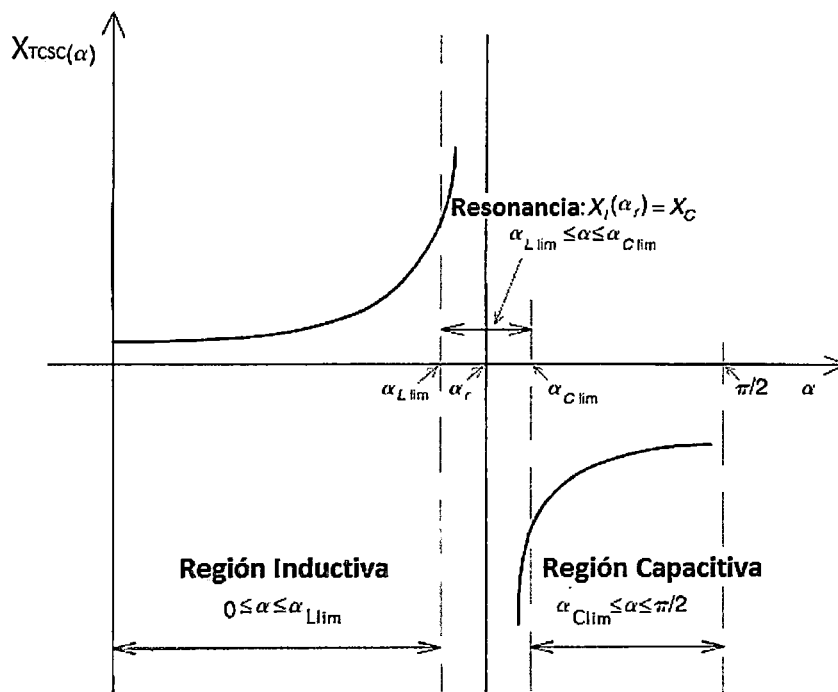
### 5.3.1. Curva característica de la reactancia del TCSC en función del ángulo de disparo

Como se ha indicado anteriormente la reactancia del TCSC varía en función al ángulo de disparo de los tiristores del TCR; obteniendo la curva característica de la impedancia TCSC, mostrada en la figura 5.2, que está representada por la reactancia efectiva del TCSC y el ángulo de disparo  $\alpha$  [3]. La impedancia característica del TCSC muestra que tanto en la región capacitiva e inductiva se puede variar el ángulo de disparo como se muestra en el siguiente gráfico:



IMAGEN 5.2

CURVA CARACTERÍSTICA DE LA REACTANCIA DEL TCSC VS EL ÁNGULO DE DISPARO DEL TCR



Donde:

$\alpha_{Llim}$ : Es el límite máximo de operación del TCSC en su región inductiva, y es el punto en el cual a pequeñas variaciones en el ángulo de disparo el valor de la reactancia inductiva del TCSC aumenta en grandes proporciones.

$\alpha_{Clim}$ : Es el límite mínimo de operación de TCSC en su región capacitiva, y el punto en el cual a pequeñas variaciones en el ángulo de disparo el valor de la reactancia capacitiva del TCSC aumenta en grandes proporciones.

$\alpha_r$ : Es el punto de resonancia del TCSC para el cual  $X_C = X_{TCR}$  y por lo tanto su reactancia es teóricamente infinita.

La reactancia del TCSC consta de un componente controlable  $X_{TCR}(\alpha)$  y de un componente fijo  $X_C$  de modo que sus límites de operación dependen del rango de operación de  $X_{TCR}(\alpha)$  o de forma más exacta, de  $\alpha$  (ángulo de disparo de los tiristores) como se indica en la fórmula (5.3) [3][5]:



$$X_{TCSC(\alpha)} = \frac{X_C \cdot X_{TCR(\alpha)}}{(X_{TCR(\alpha)} - X_C)} \dots \dots \dots (5.5)$$

Donde:

$$X_{TCR(\alpha)} = X_{TCR} \frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \text{sen}\alpha} ; X_{TCR} \leq X_{TCR(\alpha)} \leq \infty \dots \dots \dots (5.6)$$

y:

- $X_{TCSC(\alpha)}$  : Reactancia del dispositivo TCSC en función al ángulo de disparo [ $\Omega$ ].
- $X_{TCR(\alpha)}$  : Reactancia del TCR [ $\Omega$ ].
- $X_C$  : Reactancia del capacitor fijo [ $\Omega$ ].
- $\alpha$  : Angulo de disparo [ $^\circ$ ].

Para obtener las mejores condiciones de operación del TCSC, como parámetros de diseño del mismo se requiere que  $X_C < X_{TCR}$ .

### 5.3.2. Operación de un TCSC

En la operación de un TCSC se pueden considerar uno o más FACTS de este tipo, esto dependiendo del requerimiento.

Cada módulo TCSC posee tres modos de operación los cuales pueden exhibir distintamente diferentes valores de reactancia; las cuales son:

#### a) Bypass:

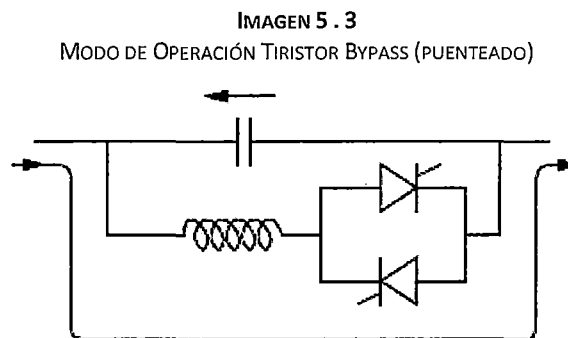
En el modo Bypass el switch del tiristor es disparada continuamente y por lo tanto permanece conduciendo todo el tiempo; el voltaje resultante en estado estacionario a través del TCSC es inductivo y la corriente en la válvula es algo más grande que la corriente de línea debido a la generación de corriente en el banco capacitor; es por eso que en el modo Bypass la mayoría de la





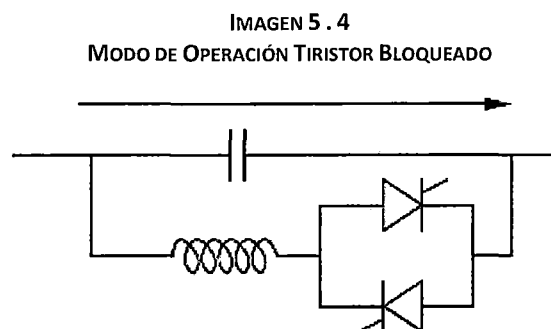
corriente fluye a través del reactor y el tiristor, poca será la corriente que fluye a través del capacitor.

El modo bypass es principalmente usado para proteger al capacitor contra los sobrevoltajes (durante las sobrecorrientes transitorias en la línea) y también para propósitos de control. [5]



**b) Tiristor bloqueado:**

En este modo de operación no fluye corriente a través del switch, bloqueando la entrada mediante pulsos hace que los tiristores permanezcan en estado de no conducción. La corriente de línea pasa a través del banco de condensador y la reactancia equivalente en este modo de operación está dada por el banco fijo de condensadores; es decir en este modo es equivalente a insertar un condensador de valor fijo en la línea. [5]

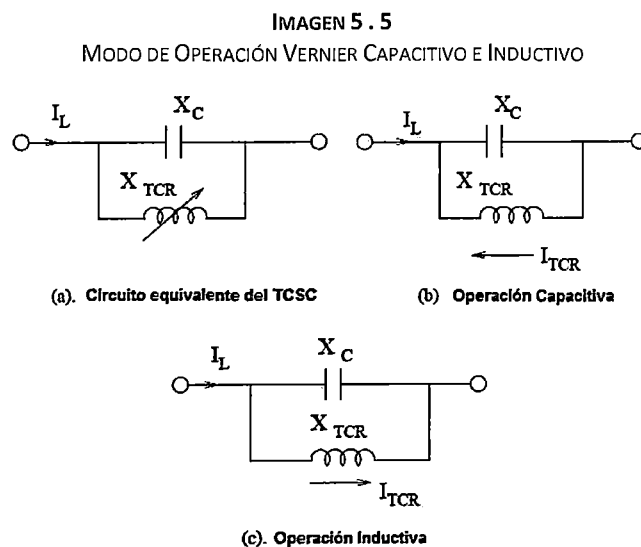




### c) Operación tipo Vernier:

En este modo de operación los tiristores son disparados en la región  $\alpha_{min} < \alpha < 90^\circ$  es decir que están conduciendo todo tiempo. El valor efectivo de la reactancia del TCSC (región capacitiva) aumenta a medida que el ángulo de disparo aumenta desde el valor cero. El ángulo de disparo mínimo  $\alpha_{min}$ , se encuentra por encima del ángulo de disparo de la resonancia en paralelo de entre el TCR y el capacitor fijo. De igual forma la operación tipo Vernier permite al TCSC comportarse como reactancia capacitiva continuamente variable o como una reactancia inductiva continuamente siendo esta última la menos utilizada. [5]

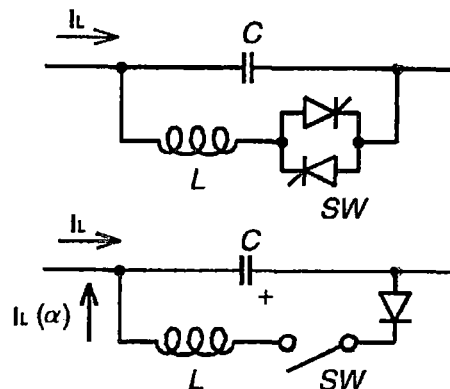
Para trabajar en el modo capacitivo usualmente se considera al ángulo de disparo  $\alpha$  entre  $56^\circ$  y  $90^\circ$ .



Habitualmente el TCSC opera en la región capacitiva, compensando capacitivamente a la línea permitiendo el incremento de transferencia de potencia activa; desde el punto de vista del sistema de potencia, este modo inserta una capacitancia a la línea de hasta tres veces el valor del capacitor fijo, este modo vernier - capacitivo es el modo de operación normal del TCSC.



IMAGEN 5.6  
CIRCUITO EQUIVALENTE DEL TCSC EN EL INSTANTE DE DISPARO DEL ÁNGULO  $\alpha$



Del mismo modo puede operar en la región inductiva, incrementando la inductancia de la línea, así que esto se contrapone a la ventaja asociada con la aplicación del TCSC. Las máximas condiciones de operación inductiva son limitadas por la alta corriente circulante y voltaje del TCSC, haciendo que las formas de onda para la tensión en el condensador están mucho más distorsionadas de lo que es deseado, generando un sobreesfuerzo eléctrico sobre los tiristores, haciendo que este modo de operación sea poco atractivo para su uso.

### 5.3.3. Compensación Serie de una línea de transmisión proyectando un TCSC

Para compensar una línea de transmisión es necesario conectar el TCSC en serie con la línea, y considerar que el punto de resonancia debe ser evitado para prevenir problemas de armónicos y de grandes corrientes internas a través del compensador que puede llegar a dañarlo, o inclusive puede interrumpir una línea.

Debe de determinarse el grado máximo de compensación que el TCSC puede suministrar al sistema, teniendo en cuenta que el hecho de proyectar un compensador para un máximo en la práctica es de hasta un 35%, debido principalmente a las limitaciones térmicas de las líneas de transmisión.



$$k = \frac{X_C}{X_L} ; \quad 0 \leq k < 1 \quad \dots \dots \dots (5.7)$$

Donde:

- $k$  : Grado máximo de compensación en serie [%].
- $X_C$  : Reactancia capacitiva del TCSC [ $\Omega$ ].
- $X_L$  : Reactancia de la línea [ $\Omega$ ].

Debe determinarse el factor correspondiente a la razón de la frecuencia de resonancia del TCSC con la frecuencia de red, para determinar la frecuencia de resonancia, y evitar corrientes armónicas grandes e incluso desconexión de la línea. [5]

$$\lambda = \frac{w_r}{w} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad \dots \dots \dots (5.8)$$

Donde:

- $\lambda$  : Factor de diseño
- $w_r$  : Frecuencia de resonancia [Hz].
- $w$  : Frecuencia de la red [Hz].
- $X_C$  : Reactancia capacitiva [ $\Omega$ ].
- $X_L$  : Reactancia inductiva [ $\Omega$ ].

Valores típicos usuales de  $\lambda$  oscilan entre 2 y 4. Dependiendo del valor de  $\lambda$  proyectado se puede determinar el ángulo de disparo que produce la resonancia, el cual obviamente debe ser evitado. [5]

$$\beta_{res} = \frac{\pi}{2\lambda} \quad \dots \dots \dots (5.9)$$

Donde:

- $\beta_{res}$  : Angulo de resonancia [ $^\circ$ ].
- $\lambda$  : Factor de diseño.



Una vez conocido el valor del condensador fijo del TCSC, se procederá a determinar el valor de la inductancia de la rama del TCR [7], mediante la siguiente expresión:

$$X_{TCR} = \frac{X_C}{\lambda^2} \dots \dots \dots (5.10)$$

Donde:

- $X_{TCR}$  : Reactancia de la rama del TCR [ $\Omega$ ].
- $X_C$  : Reactancia del condensador fijo del TCSC [ $\Omega$ ].
- $\lambda$  : Factor de diseño.

El modelo cuasi-estocástico representa al TCSC como una reactancia variable a frecuencia fundamental, la cual depende del ángulo de disparo  $\alpha$ . El TCSC aumenta su compensación de tal manera que si el ángulo de transmisión aumenta, este extiende su capacidad para suplir el flujo de potencia demandado; por el contrario cuando el ángulo de transmisión oscila en forma decreciente, el TCSC decrece su compensación o la hace nula pues no tiene sentido suplir un flujo de potencia que disminuye.

#### 5.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DEL TCSC PARA EL ESTUDIO

La determinación de parámetros del TCSC se da en consideración al punto 5.3 desarrollado anteriormente, datos que serán ingresados al programa DigSilent, al cual se le incluyó el modelamiento del TCSC; a continuación se menciona los parámetros a asignar:

- $X_C$ : Reactancia del capacitor fijo fue calculada en base a la fórmula 5.7.
- $X_l$ : Reactancia inductiva, calculada en base a la fórmula 5.8.
- $X_{TCSC}(\alpha)$ : Reactancia del TCSC en función al ángulo de disparo, calculada en base a la fórmula 5.5.
- $\alpha$ : Angulo de disparo para la región capacitiva.
- $\beta_{res}$ : Angulo de resonancia en base a la ecuación 5.9.



Del mismo modo se asigna un grado de compensación máxima de 27% para evitar problemas de estabilidad térmica en las líneas y un factor de diseño de 2.5.

## 5.5. ANÁLISIS DE LAS LINEAS L-1001 Y L-1002 CON LA INCORPORACIÓN DEL TCSC

El análisis ante la incorporación del TCSC en las líneas L-1001 y L-1002, tiene como objetivo principal; determinar la mejoría que presentan estas con respecto al funcionamiento sin compensación, comparando los resultados de flujo obtenidos en el capítulo 4. Así mismo en función al gráfico de Costos Totales para la Inversión en TCSC y UPFC del anexo B del, se tiene en consideración un análisis básico de costos en función a la potencia reactiva a instalar.

Hay que mencionar que debido a que el programa Digsilent no cuenta con el dispositivo TCSC en su librería, se optó por la opción de dibujar los elementos que lo conforman, obteniendo resultados cercanos a los calculados mediante las fórmulas de los dispositivos, lo cual sirve para demostrar el funcionamiento del TCSC en un sistema de potencia.

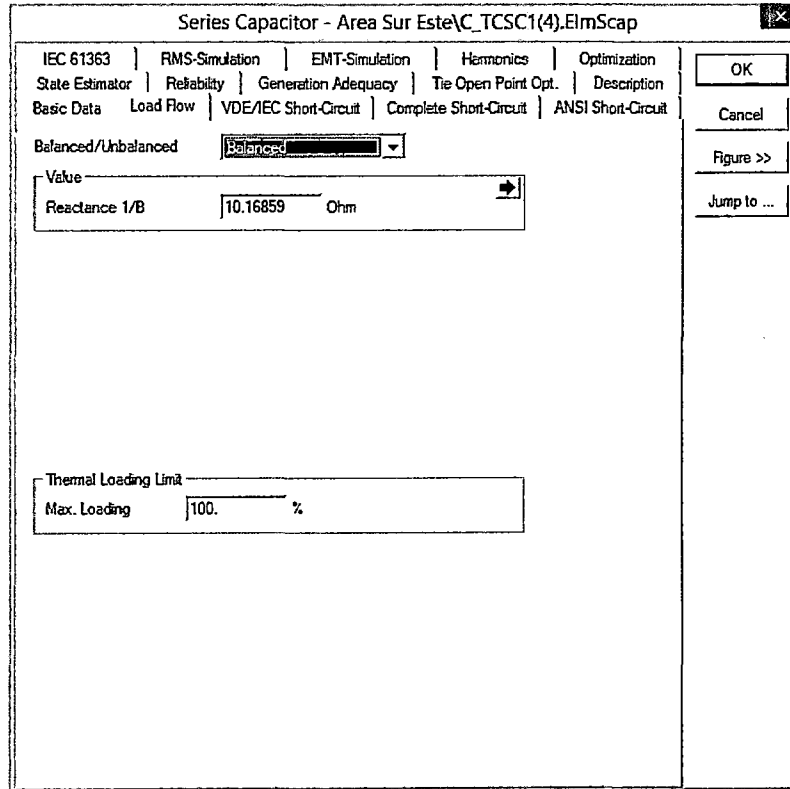
### 5.5.1. Cálculo de parámetros del TCSC en la línea L-1001

En base al punto 5.4 se determinan los siguientes parámetros que servirán como iniciales, recordando que el ángulo de disparo hará que la reactancia del TCR varíe para cada escenario haciendo el funcionamiento del TCSC el más óptimo posible.

$$X_C = kX_L = 0.27 \times \left( 0.49019196 \frac{\Omega}{km} \times 76.83 km \right) = 10.16859 \Omega$$



IMAGEN 5.7  
VALOR DE LA REACTANCIA CAPACITIVA - DIGSILENT (L-1001)



$$X_l = X_{TCR} = \frac{X_C}{\lambda^2} = \frac{10.16859}{2.5^2} = 1.62697 \Omega$$

Para un ángulo de disparo de  $\alpha = 56.87^\circ$  (ángulo que se encuentra dentro del margen de operación capacitiva)

$$X_{TCR(\alpha)} = X_{TCR} \frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \sin \alpha} = 1.62697 \frac{\pi}{\pi - 2\left(\frac{56.87\pi}{180}\right) - \sin\left(\frac{56.87\pi}{180}\right)}$$

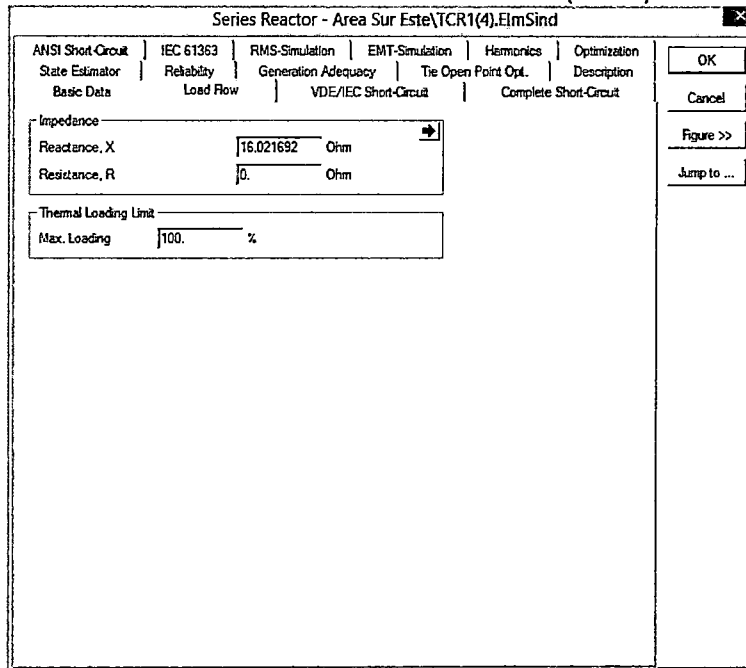
$$= 16.021692 \Omega$$

Lo anterior solo es el valor utilizado en el escenario de avenida – máxima demanda en el año 2015, ya que según el ángulo se puede obtener diferentes valores de  $X_{TCR(\alpha)}$  para los distintos escenarios.



IMAGEN 5.8

VALOR DE LA REACTANCIA INDUCTIVA - DIGSILENT (L-1001)



$$X_{TCSC(\alpha)} = \frac{X_C X_{TCR(\alpha)}}{X_{TCR(\alpha)} - X_C} = \frac{10.16859(16.021692)}{16.021692 - 10.16859} = 27.83448 \Omega$$

**Nota:**  $\beta_{res} = \frac{\pi}{2\lambda} = \frac{180}{2(2.5)} = 54^\circ$ . Este valor da conocer el ángulo en el cual el dispositivo TCSC se encuentra en plena zona de resonancia.

### 5.5.2. Cálculo de parámetros del TCSC en la línea L-1002

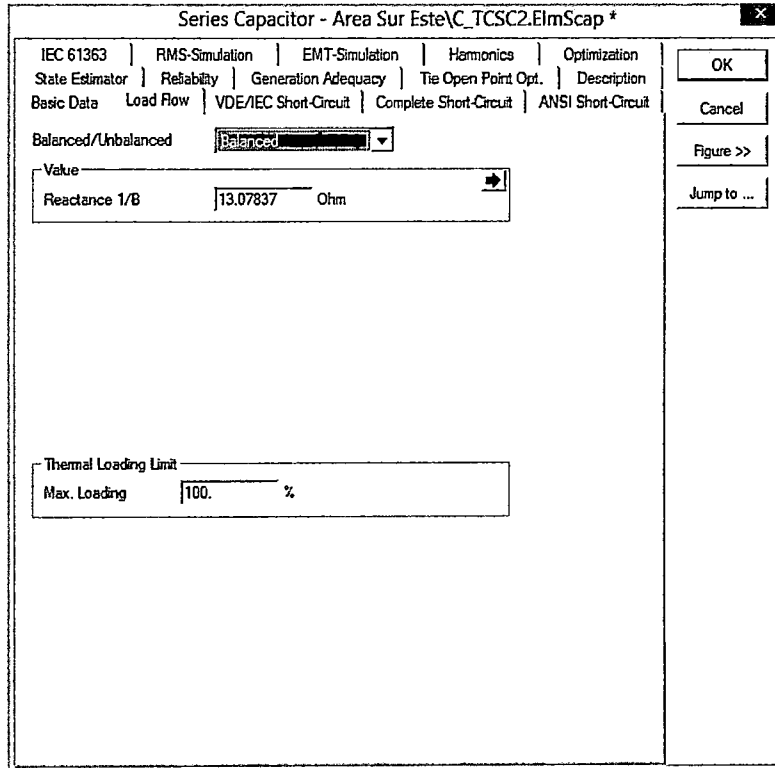
En base al punto 5.4 se determinan los siguientes parámetros que servirán como iniciales, recordando que el ángulo de disparo hará que la reactancia del TCR varíe para cada escenario haciendo el funcionamiento del TCSC el más óptimo posible.

$$X_C = k \cdot X_L = 0.27 \times (0.50827274 \Omega/km \times 95.30 km) = 13.07837 \Omega$$





IMAGEN 5.9  
VALOR DE LA REACTANCIA CAPACITIVA - DIGSILENT (L-1002)



$$X_l = X_{TCR} = \frac{X_C}{\lambda^2} = \frac{13.07837}{(2.5)^2} = 2.09254 \Omega$$

Para un ángulo de disparo de  $\alpha = 57.09^\circ$  (ángulo que se encuentra dentro del margen de operación capacitiva).

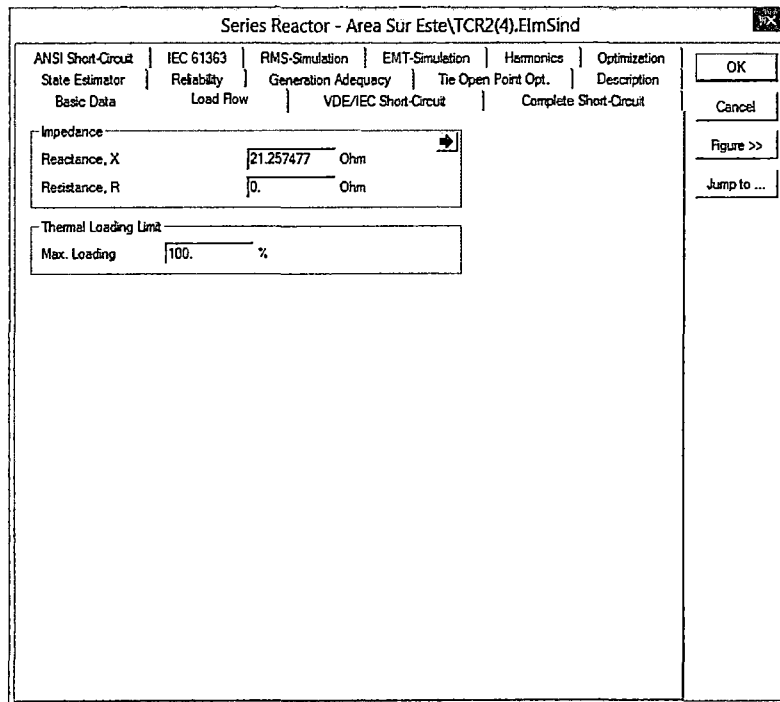
$$X_{TCR(\alpha)} = X_{TCR} \frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \text{sen}\alpha} = 2.09254 \frac{\pi}{\pi - 2\left(\frac{57.09\pi}{180}\right) - \text{sen}\left(\frac{57.09\pi}{180}\right)}$$

$$= 21.257477 \Omega$$

De igual manera que el anterior caso, la reactancia  $X_{TCR(\alpha)}$  varía según el ángulo de disparo.



IMAGEN 5 . 10  
VALOR DE LA REACTANCIA INDUCTIVA - DIGSILENT (L-1002)



$$X_{TCSC(\alpha)} = \frac{X_C \cdot X_{TCR(\alpha)}}{X_{TCR(\alpha)} - X_C} = \frac{13.07836(21.257477)}{21.257477 - 13.07836} = 33.99062 \Omega$$

**Nota:**  $\beta_{res} = \frac{\pi}{2\lambda} = \frac{180}{2(2.5)} = 54^\circ$ . Este valor da conocer el ángulo en el cual el dispositivo TCSC se encuentra en plena zona de resonancia.

Para poner un ejemplo aplicativo de como ante la variación del ángulo de disparo se podrá incrementar la potencia transmitida (permitiendo un incremento de flujo de corriente en el conductor se aplicara la formula (5.4):

Se toma como punto de partida el escenario del año 2015 en época de avenida con máxima demanda, insertando a la formula los siguientes datos:

Para la línea L-1001:  $V = 138 \text{ kV}$ ,  $L = 0.043 \text{ Wb/A}$  y  $\alpha = 56.87^\circ$ .

$$I_{TCR(\alpha)} = \frac{138}{(2\pi 60)(0.043)} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \left( \frac{56.87\pi}{180} \right) - \frac{1}{\pi} \sin \left( 2 \times \frac{56.87\pi}{180} \right) \right)$$



$$I_{TCR(\alpha)} = 639.88 \text{ A}$$

Entonces, de la formula (5.3) se tiene que:

$$I_L = \frac{(16.022 - 10.169)}{-10.169} (-639.88)$$

$$I_L = 354.97 \text{ A}$$

Para la línea L-1002:  $V = 138 \text{ kV}$ ,  $L = 0.057 \text{ Wb/A}$  y  $\alpha = 57.09^\circ$ .

$$I_{TCR(\alpha)} = \frac{138}{(2\pi 60)(0.057)} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \left( \frac{57.09\pi}{180} \right) - \frac{1}{\pi} \sin \left( 2 \times \frac{57.09\pi}{180} \right) \right)$$

$$I_{TCR(\alpha)} = 475.254 \text{ A}$$

Entonces, de la formula (5.3) se tiene que:

$$I_L = \frac{(21.257 - 13.078)}{-13.078} (-475.254)$$

$$I_L = 290.19 \text{ A}$$

Estos resultados son los obtenidos en el cuadro 5.1, en el escenario de Avenida – Máxima Demanda.

### 5.5.3. Desarrollo de los horizontes y escenarios

#### 5.5.3.1. Análisis ante la entrada provisional de la Central Hidroeléctrica de Luz del Sur con la incorporación de dispositivos TCSC

En el cuadro 5.1 se muestran los datos en operación normal en el año 2015 durante los escenarios de Avenida y Estiaje en Máxima y Mínima Demanda con la incorporación de dispositivo FACTS.



**CUADRO 5.1**  
**TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA**  
**CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC**  
**Año 2015**

CASO	LINEA DE TRANSMISIÓN	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	141.33	1.02	-25.51	136.02	0.99	-28.58	71.85	-10.50	72.62	-68.49	16.35	70.42	77.63	300	3.76
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	141.33	1.02	-25.51	136.05	0.99	-26.90	65.43	-4.59	65.59	-62.99	8.73	63.60	77.67	270	3.74
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.05	0.99	-26.90	135.30	0.98	-29.40	62.99	-8.73	63.60	-62.24	10.03	63.04	77.11	270	0.55
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.02	0.99	-28.58	135.32	0.98	-29.34	36.71	2.26	36.78	-36.56	-2.58	36.65	39.09	160	0.51
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.32	0.98	-29.34	135.30	0.98	-29.40	4.45	-0.75	4.52	-4.45	0.27	4.46	5.50	20	0.02
Avenida Mínima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.54	1.02	-28.88	136.04	0.99	-32.01	66.58	-15.01	68.25	-63.56	19.83	66.58	73.81	280	3.20
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.54	1.02	-28.88	135.74	0.98	-30.29	60.68	-9.70	61.45	-58.49	13.03	59.92	73.83	250	3.42
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	135.74	0.98	-30.29	135.49	0.98	-32.67	58.49	-13.02	59.92	-57.82	14.03	59.50	72.82	250	0.19
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.04	0.99	-32.01	135.61	0.98	-32.48	22.75	1.22	22.78	-22.69	-1.85	22.76	24.23	100	0.32
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.61	0.98	-32.48	135.49	0.98	-32.67	14.38	-0.34	14.38	-14.37	-0.10	14.37	17.50	60	0.09
Estiaje Máxima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.15	1.02	-69.55	135.20	0.98	-71.45	41.29	7.20	41.92	-40.18	-8.59	41.09	44.99	180	3.53
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.15	1.02	-69.55	136.36	0.99	-69.08	38.00	-0.38	38.01	-37.18	-1.25	37.20	45.00	160	2.70
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.36	0.99	-69.08	135.28	0.98	-70.49	37.18	1.26	37.20	-36.92	-1.72	36.95	45.07	160	0.79
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.20	0.98	-71.45	135.02	0.98	-71.12	-13.03	7.31	14.95	13.06	-8.04	15.34	16.40	60	0.13
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.02	0.98	-71.12	135.28	0.98	-70.49	-45.37	4.65	45.61	45.51	-4.64	45.74	55.78	200	0.19
Estiaje Mínima Demanda 2015	Línea L-1001	MACH138	INCA138	142.13	1.03	-57.92	138.77	1.01	-60.08	42.30	-6.35	42.77	-41.18	4.87	41.47	44.95	170	2.36
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	142.13	1.03	-57.92	138.51	1.00	-58.19	35.09	-13.36	37.55	-34.31	11.59	36.21	44.97	150	2.54
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	138.51	1.00	-58.19	138.66	1.00	-59.57	34.31	-11.59	36.21	-34.07	10.98	35.80	43.12	150	0.11
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	138.77	1.01	-60.08	138.64	1.00	-59.83	-10.75	5.70	12.17	10.77	-6.50	12.58	13.09	50	0.10
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	138.64	1.00	-59.83	138.66	1.00	-59.57	-18.88	4.30	19.36	18.90	-4.72	19.48	23.18	80	0.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



Como se puede observar en el cuadro 5.1, con la incorporación de los dispositivos TCSC en las líneas L-1001 y L-1002 se logra incrementar el nivel de transporte de energía a través de las líneas de transmisión.

### 5.5.3.1.1. Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2015

#### 5.5.3.1.1.1. Máxima Demanda

Los datos de tensiones de barra y cargabilidad de las líneas, tanto en operación normal y en contingencias, se muestran en los cuadros 5.2 y 5.3. En el gráfico 5.1 se muestran los perfiles de tensiones en cada escenario y en el gráfico 5.2 la cargabilidad de las líneas.

**CUADRO 5.2**  
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015

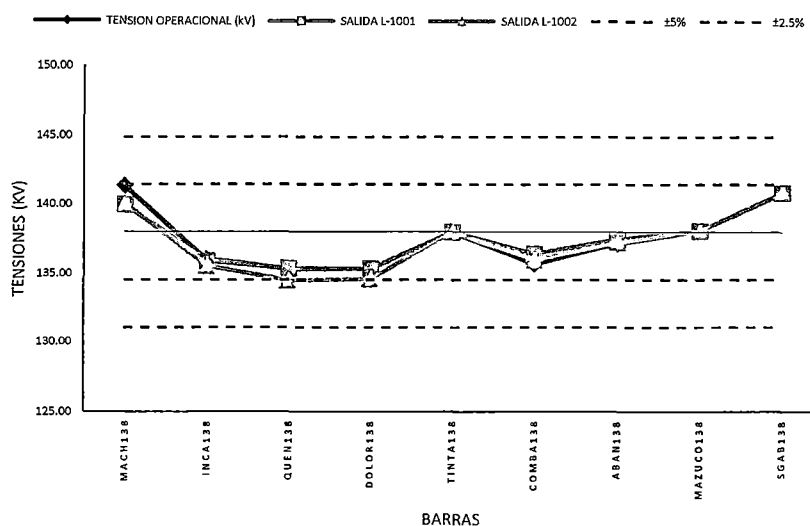
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	141.33	139.96	140.07
		p.u.	1.02	1.01	1.01
INCA138	138	kV	136.02	135.89	135.54
		p.u.	0.99	0.98	0.98
QUEN138	138	kV	135.30	135.37	134.47
		p.u.	0.98	0.98	0.97
DOLOR138	138	kV	135.32	135.34	134.57
		p.u.	0.98	0.98	0.98
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.66	136.42	135.99
		p.u.	0.98	0.99	0.99
ABAN138	138	kV	137.16	137.48	137.24
		p.u.	0.99	1.00	0.99
MAZUCO138	138	kV	138.08	138.09	138.09
		p.u.	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.81	140.82	140.82
		p.u.	1.02	1.02	1.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.1

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el margen del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal, y los límites de color rojo, el margen del  $\pm 2.5\%$ .

CUADRO 5.3

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2015

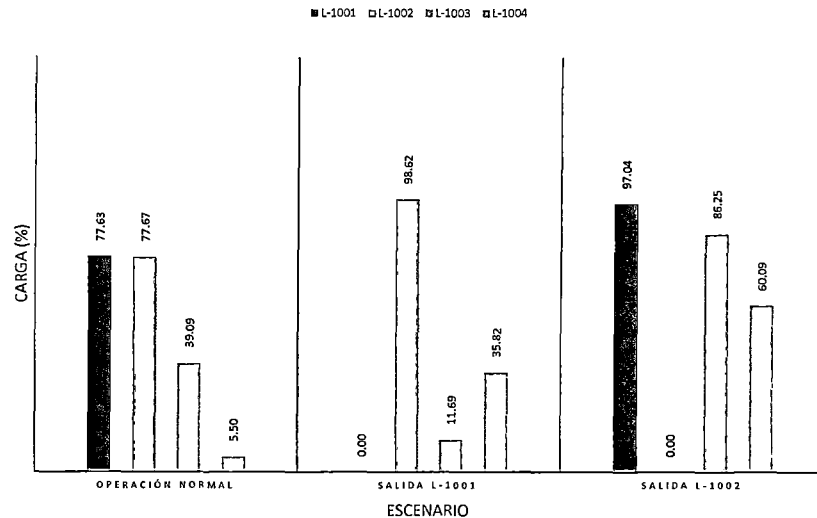
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	71.85	-68.49	77.63	300
L-1002	MACH138	QUEN138	65.43	-62.24	77.67	270
L-1003	INCA138	DOLOR138	36.71	-36.56	39.09	160
L-1004	DOLOR138	QUEN138	4.45	-4.45	5.50	20
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	83.62	-78.46	98.62	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	3.69	-3.68	11.69	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-28.43	28.48	35.82	120
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		S <sub>i</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.68	-86.39	97.04	380
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	80.84	-80.08	86.25	350
L-1004	DOLOR138	QUEN138	47.98	-47.82	60.09	210

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5. 2

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
 AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

El análisis se realizó con la incorporación de dispositivos FACTS del tipo TCSC, utilizando las ventajas que estos últimos ofrecen para el incremento de la capacidad de transmisión de las líneas y también la posibilidad de realizar un balance de carga entre las líneas L-1001 y L-1002.

Debido que al aumentar la cantidad de potencia transmitida por las líneas los niveles de tensión se ven afectados en las barras, se vio la necesidad de instalar un banco de condensadores en Shunt en la barra INCA138, esto para mantener en los límites los niveles de tensión de las barras.

- **Operación Normal.-** En este escenario, se determinó un ángulo de disparo de  $56.87^\circ$  para el TCSC<sub>1</sub> (L-1001) y un ángulo de  $57.09^\circ$  para el TCSC<sub>2</sub> (L-1002), logrando así un incremento de la potencia transportada de las líneas y un equilibrio entre la dos líneas en 77% de carga en las dos. Además, todas las tensiones de barra se encuentran dentro de los límites establecidos.
- **Salida línea L-1001.-** Con la salida de esta línea, el dispositivo TCSC<sub>2</sub> opera en su modo Bypass, logrando así que no exista



sobrecarga en la línea L-1002. Las tensiones de barra están todas dentro de los límites.

- **Salida línea L-1002.-** En este escenario también el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, con lo que no hay sobrecarga en la línea L-1001 y todos los niveles de tensión están dentro de los rangos establecidos.

### 5.5.3.1.1.2. Mínima Demanda

Los datos de tensiones de barra y cargabilidad de las líneas, tanto en operación normal y en contingencias, se muestran en los cuadros 5.4 y 5.5. En el gráfico 5.3 se muestran los perfiles de tensiones en cada escenario y en el gráfico 5.4 la cargabilidad de las líneas.

CUADRO 5.4

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2015

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	140.54	139.16	139.29
		p.u.	1.02	1.01	1.01
INCA138	138	kV	136.04	138.15	137.39
		p.u.	0.99	1.00	1.00
QUEN138	138	kV	135.49	137.62	136.86
		p.u.	0.98	1.00	0.99
DOLOR138	138	kV	135.61	137.75	136.93
		p.u.	0.98	1.00	0.99
TINTA138	138	kV	136.94	137.64	137.61
		p.u.	0.99	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.08	137.48	137.13
		p.u.	0.98	1.00	0.99
ABAN138	138	kV	136.27	137.52	137.10
		p.u.	0.99	1.00	0.99
MAZUCO138	138	kV	139.57	139.68	139.68
		p.u.	1.01	1.01	1.01
SGAB138	138	kV	140.36	140.46	140.46
		p.u.	1.02	1.02	1.02

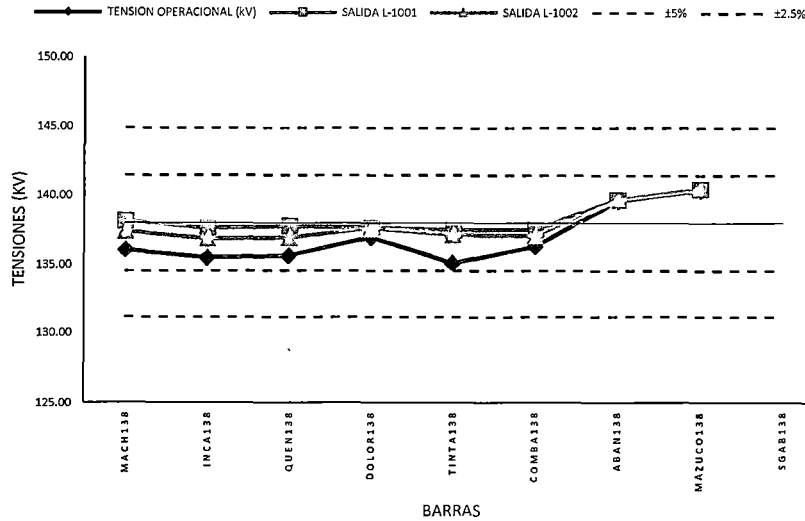
FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent





GRÁFICO 5.3

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el margen del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal, y los límites de color rojo, el margen del  $\pm 2.5\%$ .

CUADRO 5.5

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015

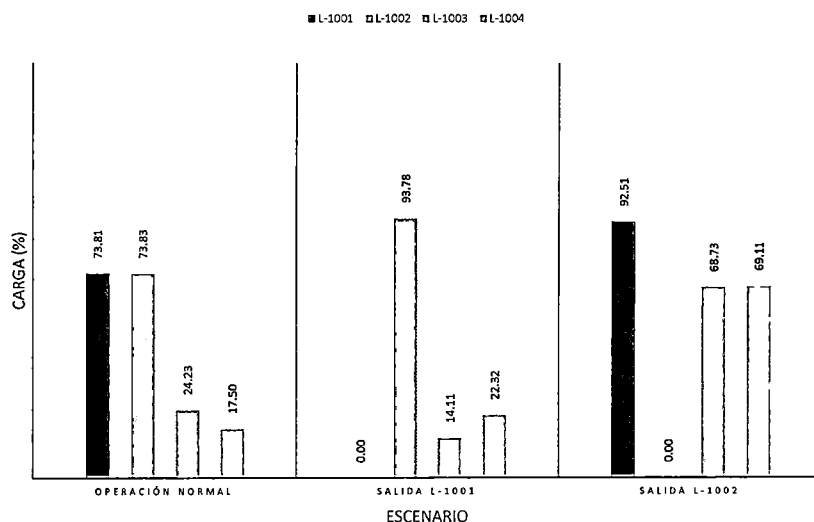
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		S <sub>j</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	66.58	-63.56	73.81	280
L-1002	MACH138	QUEN138	60.68	-57.82	73.83	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	22.75	-22.69	24.23	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.38	-14.37	17.50	60
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		S <sub>j</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	78.40	-73.77	93.78	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	-7.88	7.89	14.11	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-16.21	16.23	22.32	80
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		S <sub>j</sub> (MVA)	S <sub>j</sub> (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	86.05	-81.28	92.51	360
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	64.58	-64.10	68.73	270
L-1004	DOLOR138	QUEN138	55.79	-55.58	69.11	240

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.4

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis al igual que en el punto anterior:

- **Operación Normal.-** En este escenario, para el TCSC<sub>1</sub> se determinó un ángulo de  $56.93^\circ$  y para el TCSC<sub>2</sub>, un ángulo de  $57.05^\circ$ , logrando un incremento de carga en las líneas y un balance de carga de 73.8% en cada línea. Los niveles de tensión se encuentran dentro de los límites establecidos.
- **Salida línea L-1001.-** Para este escenario, el TCSC opera en su modo Bypass, evitando así una sobrecarga en la línea L-1002. Los niveles de tensión se encuentran dentro de los límites establecidos.
- **Salida línea L-1002.-** Al igual que en el anterior caso, el TCSC opera en su modo Bypass, evitando que la línea L-1001 opere en sobrecarga. Los niveles de tensión se encuentran dentro de los límites establecidos.



### 5.5.3.1.2. Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2015

#### 5.5.3.1.2.1. Máxima Demanda

Los datos de tensiones de barra y cargabilidad de las líneas, tanto en operación normal y en contingencias, se muestran en los cuadros 5.6 y 5.7. En el gráfico 5.5 se muestran los perfiles de tensiones en cada escenario y en el gráfico 5.6 la cargabilidad de las líneas.

CUADRO 5.6

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015

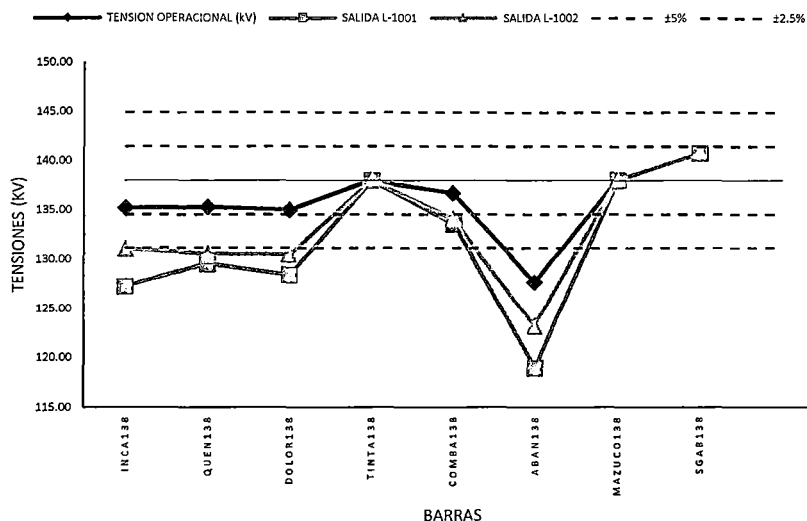
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	140.15	139.39	139.44
		p.u.	1.02	1.01	1.01
INCA138	138	kV	135.20	127.29	131.05
		p.u.	0.98	0.92	0.95
QUEN138	138	kV	135.28	129.57	130.55
		p.u.	0.98	0.94	0.95
DOLOR138	138	kV	135.02	128.43	130.48
		p.u.	0.98	0.93	0.95
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	136.69	133.54	134.11
		p.u.	0.99	0.97	0.97
ABAN138	138	kV	127.67	118.95	123.16
		p.u.	0.93	0.86	0.89
MAZUCO138	138	kV	138.02	138.01	138.01
		p.u.	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.74	140.74	140.74
		p.u.	1.02	1.02	1.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.5

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el margen del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal, y los límites de color rojo, el margen del  $\pm 2.5\%$ .

CUADRO 5.7

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015

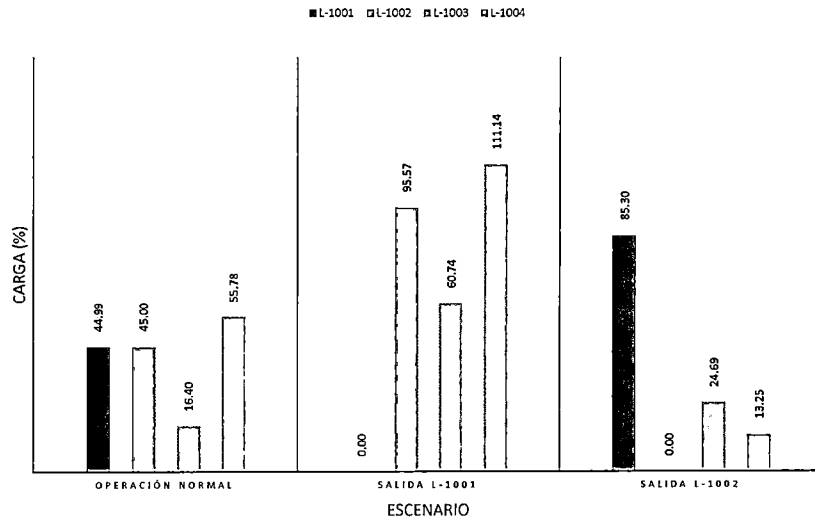
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	41.29	-40.18	44.99	180
L-1002	MACH138	QUEN138	38.00	-36.92	45.00	160
L-1003	INCA138	DOLOR138	-13.03	13.06	16.40	60
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-45.37	45.51	55.78	200
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	79.29	-74.45	95.57	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	-53.37	53.75	60.74	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-86.06	86.61	111.14	390
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	79.29	-75.21	85.30	330
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.94	-21.88	24.69	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-10.43	10.44	13.25	50

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.6

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Se realiza el análisis de igual manera que en los anteriores puntos, recordando que en este escenario la línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV no se encuentra en operación por diversos retrasos sufridos durante su ejecución, lo que hace a este escenario muy frágil ante contingencias.

- **Operación Normal.-** Para este escenario, se definió el ángulo de disparo para el TCSC\_1 en  $57.98^\circ$  y para el TCSC\_2 en  $56.10^\circ$ , logrando un balance de carga de un 45% en las dos líneas. También se mejoró los niveles de tensión de las barras, siendo la única que se encuentra fuera de los límites la barra ABAN138.
- **Salida línea L-1001.-** Para este escenario, se definió un ángulo de  $56.10^\circ$  para el TCSC\_2, logrando la mayor cantidad de potencia transportada por la línea, sin sobrepasar su límite de carga. Se presentó una sobrecarga de 111.14% en la línea L-1004, que es inferior al obtenido en el capítulo 4. Dado la fragilidad del sistema, aún existen caídas de tensión en las barras, pero son mucho menores a las obtenidas en el capítulo 4.



- **Salida línea L-1002.-** Para este escenario, se definió un ángulo de  $57.95^\circ$  para el TCSC\_1, evitando sobrecarga en la línea L-1001. También mejoraron los niveles de tensión de las barras, siendo la única con caída de tensión la barra ABAN138.

### 5.5.3.1.2.2. Mínima Demanda

Los datos de tensiones de barra y cargabilidad de las líneas, tanto en operación normal y en contingencias, se muestran en los cuadros 5.8 y 5.9. En el gráfico 5.7 se muestran los perfiles de tensiones en cada escenario y en el gráfico 5.8 la cargabilidad de las líneas.

**CUADRO 5.8**

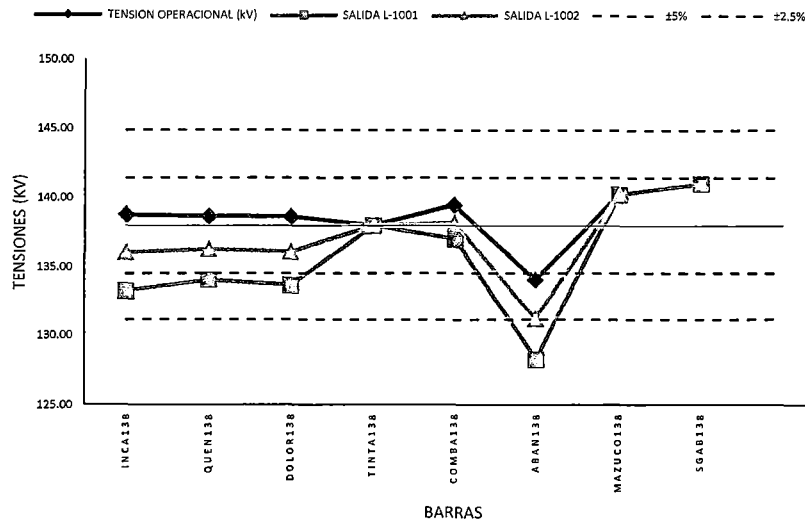
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2015

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)	
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002
MACH138	138	kV	142.13	141.50	141.26
		p.u.	1.03	1.03	1.02
INCA138	138	kV	138.77	133.26	136.06
		p.u.	1.01	0.97	0.99
QUEN138	138	kV	138.66	134.06	136.27
		p.u.	1.00	0.97	0.99
DOLOR138	138	kV	138.64	133.68	136.10
		p.u.	1.00	0.97	0.99
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	139.48	137.01	138.20
		p.u.	1.01	0.99	1.00
ABAN138	138	kV	134.05	128.25	131.21
		p.u.	0.97	0.93	0.95
MAZUCO138	138	kV	140.26	140.26	140.26
		p.u.	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	141.03	141.03	141.03
		p.u.	1.02	1.02	1.02

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



**GRÁFICO 5.7**  
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el margen del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal, y los límites de color rojo, el margen del  $\pm 2.5\%$ .

**CUADRO 5.9**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015

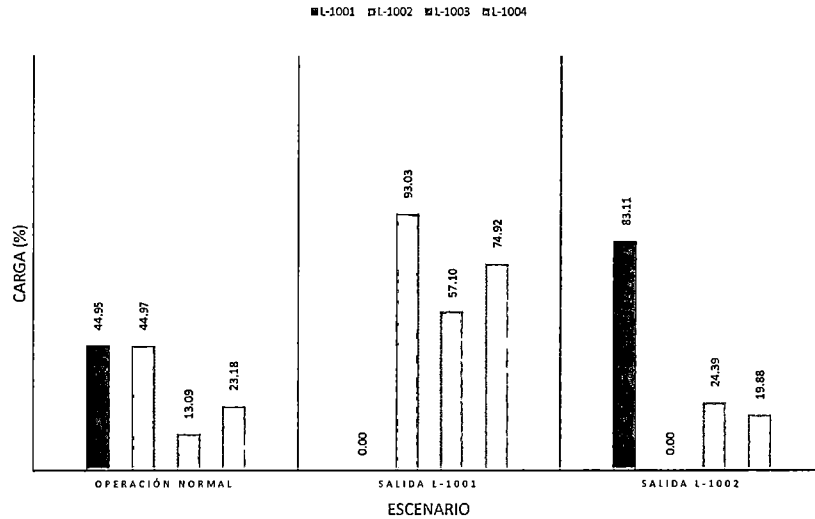
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	42.30	-41.18	44.95	170
L-1002	MACH138	QUEN138	35.09	-34.07	44.97	150
L-1003	INCA138	DOLOR138	-10.75	10.77	13.09	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-18.88	18.90	23.18	80
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	77.40	-72.82	93.03	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	-51.97	52.30	57.10	230
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-60.41	60.66	74.92	260
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.40	-73.54	83.11	320
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.60	-21.54	24.39	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.43	-13.41	19.88	70

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.8

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis, se tiene:

- **Operación Normal.-** En este escenario, se definió el ángulo de disparo para el TCSC<sub>1</sub> en 57.60° y para el TCSC<sub>2</sub> en 56.32°, logrando un equilibrio entre las dos líneas en 44.9% de carga. Todos los niveles de tensiones se encuentran dentro de los rangos.
- **Salida línea L-1001.-** Para la salida de esta línea, se definió un ángulo de 56.32° para el TCSC<sub>2</sub>, evitando que existe sobrecarga en la línea L-1002. La barra ABAN138 está fuera del rango establecido.
- **Salida línea L-1002.-** Para este escenario, se definió un ángulo de 57.60° para el TCSC<sub>1</sub>, evitando sobrecarga en la línea L-1001. Todos los niveles de tensiones se encuentran dentro de los rangos.





### **5.5.3.2. Análisis ante la entrada conjunta de las Centrales Hidroeléctricas de Santa Teresa y Machupicchu (2da. Fase) al SEIN (Conexionado Definitivo)**

#### **5.5.3.2.1. Análisis de Cargabilidad - Año 2016**

En el cuadro 5.10 se muestra las tensiones de barra en operación normal de las barras asociadas a las líneas L-1001 y L-1002, así como de las barras asociadas a la línea Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse 220 kV, todo esto con la incorporación del TCSC.

Ahora bien, para el año 2016, también se desarrolla el análisis de contingencias con las salidas de las líneas L-1001 y L-1002, así como con la salida de las nuevas líneas, esto para ver cuál es el comportamiento del sistema en condiciones críticas y de qué manera esto afectaría su funcionamiento.

Se menciona que durante las salidas de las líneas L-1001 y L-1002 los dispositivos TCSC trabajan en su modo Bypass, esto para evitar excesivas sobrecargas en las líneas. En los otros escenarios (salidas de las líneas L-2050, L-2059 y L-2060) los dispositivos TCSC trabajan con diferentes ángulos de disparo, esto para lograr un balance de carga entre las líneas L-1001 y L-1002. Esto también se aplica en los escenarios de los años 2017 y 2018.

Como se puede apreciar, con la incorporación de los dispositivos TCSC, se logró aumentar la cargabilidad de las líneas L-1001 y L-1002 y también un equilibrio de carga entre estas. Además, todos los niveles de tensión se encuentran dentro de los rangos establecidos y la caída de tensión entre barras  $i$  y  $j$  es menor a  $l$  5%.

CUADRO 5. 10

TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC AÑO 2016

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	141.00	1.02	-32.63	136.72	0.99	-38.26	75.31	-9.72	75.93	-71.68	16.34	73.52	80.53	310	3.04
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	141.00	1.02	-32.63	136.43	0.99	-36.90	68.50	-3.09	68.56	-65.86	7.88	66.33	80.64	280	3.24
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.43	0.99	-36.90	135.54	0.98	-39.49	65.86	-7.87	66.33	-65.04	9.39	65.72	80.20	280	0.65
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.72	0.99	-38.26	135.69	0.98	-39.29	51.02	4.76	51.25	-50.73	-4.64	50.94	54.18	220	0.75
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.69	0.98	-39.29	135.54	0.98	-39.49	14.99	0.27	15.00	-14.98	-0.70	14.99	18.25	60	0.11
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	224.35	1.02	-33.83	223.68	1.02	-36.35	76.36	-8.30	76.81	-75.91	1.84	75.93	31.13	200	0.30
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	224.35	1.02	-33.83	226.72	1.03	-39.27	51.70	-25.59	57.69	-51.12	-2.67	51.19	22.63	130	1.06
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	223.68	1.02	-36.35	226.72	1.03	-39.27	39.46	-25.20	46.82	-39.23	4.42	39.47	18.42	100	1.36
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	141.00	1.02	-32.63	140.91	1.02	-32.86	31.76	1.82	31.81	-31.75	-2.52	31.85	12.48	130	0.06	
Avenida Mínima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.14	1.02	-31.53	136.94	0.99	-36.30	66.58	-15.12	68.27	-63.59	19.75	66.59	73.35	280	2.28
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.14	1.02	-31.53	136.45	0.99	-34.81	61.25	-9.34	61.96	-59.05	12.66	60.39	73.99	260	2.63
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.45	0.99	-34.81	136.15	0.99	-37.19	59.05	-12.65	60.39	-58.38	13.66	59.95	73.01	250	0.22
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.94	0.99	-36.30	136.35	0.99	36.90	30.12	2.23	30.21	-30.02	-2.73	30.14	31.91	130	0.43
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.35	0.99	36.90	136.15	0.99	-37.19	21.21	0.42	21.21	-21.18	-0.81	21.20	25.68	90	0.15
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	220.58	1.00	-33.55	218.27	0.99	-36.24	79.73	4.00	79.83	-79.21	-9.60	79.79	32.17	210	1.05
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	220.58	1.00	-33.55	223.29	1.01	-40.86	67.32	-25.66	72.04	-66.32	2.15	66.36	28.74	170	1.23
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	218.27	0.99	-36.24	223.29	1.01	-40.86	59.88	-31.88	67.84	-59.32	15.13	61.22	27.35	160	2.30
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.14	1.02	-31.53	139.72	1.01	-31.91	52.67	18.12	55.70	-52.64	-18.54	55.81	22.05	230	0.30	
Estiaje Máxima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.31	1.02	-42.48	135.77	0.98	-46.54	63.95	-6.33	64.26	-61.33	9.79	62.11	68.39	260	3.24
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.31	1.02	-42.48	136.04	0.99	-45.47	57.67	-2.51	57.73	-55.79	4.67	55.98	68.22	240	3.04
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.04	0.99	-45.47	135.08	0.98	-47.66	55.79	-4.66	55.98	-55.20	5.37	55.46	67.88	240	0.71
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.77	0.98	-46.54	135.04	0.98	-47.51	46.27	0.24	46.27	-46.02	-0.27	46.02	49.19	200	0.54
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.04	0.98	-47.51	135.08	0.98	-47.66	9.98	-4.31	10.87	-9.98	3.85	10.69	13.28	50	0.03
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	221.55	1.01	-41.76	219.45	1.00	-42.87	34.50	7.03	35.21	-34.39	-15.75	37.83	15.17	100	0.95
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	221.55	1.01	-41.76	224.41	1.02	-42.43	5.51	-23.57	24.21	-5.48	-8.79	10.36	9.61	30	1.29
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.45	1.00	-42.87	224.41	1.02	-42.43	-7.76	-27.32	28.40	7.81	5.42	9.51	11.39	20	2.26
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.31	1.02	-42.48	140.08	1.02	-42.34	-18.54	14.13	23.31	18.54	-14.88	23.77	9.37	100	0.16	
Estiaje Mínima Demanda 2016	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.91	1.02	-44.45	138.12	1.00	-47.72	48.81	-11.54	50.15	-47.24	11.57	48.63	53.37	200	1.98
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.91	1.02	-44.45	138.18	1.00	-46.80	44.24	-9.11	45.17	-43.10	8.57	43.94	53.54	180	1.94
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	138.18	1.00	-46.80	137.86	1.00	-48.48	43.10	-8.56	43.94	-42.75	8.37	43.56	52.45	180	0.23
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	138.12	1.00	-47.72	137.86	1.00	-48.25	25.35	-3.07	25.53	-25.28	2.45	25.40	26.68	110	0.19
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	137.86	1.00	-48.25	137.86	1.00	-48.48	16.26	-4.78	16.95	-16.24	4.34	16.81	20.28	70	0.00
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	221.71	1.01	-43.86	219.77	1.00	-44.84	30.59	6.28	31.23	-30.51	-15.18	34.07	13.64	90	0.88
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	221.71	1.01	-43.86	222.06	1.01	-44.83	8.89	-17.83	19.92	-8.85	-14.22	16.75	7.91	40	0.16
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.77	1.00	-44.84	222.06	1.01	-44.83	-1.04	-18.79	18.82	1.06	-3.25	3.42	7.54	10	1.04
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.91	1.02	-44.45	140.58	1.02	-44.33	-15.02	19.40	24.53	15.02	-20.15	25.14	9.87	100	0.23	

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent





### 5.5.3.2.1.1. Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2016

Se desarrolla el análisis con la incorporación de dispositivos FACTS tipo TCSC en las líneas L-1001 y L-1002, esto para ver cómo operan durante operación normal y contingencias.

#### 5.5.3.2.1.1.1. Máxima Demanda

Los cuadros 5.11 y 5.12 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.9 y 5.10 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.11 (cargabilidad de las líneas).

CUADRO 5 . 11

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2016

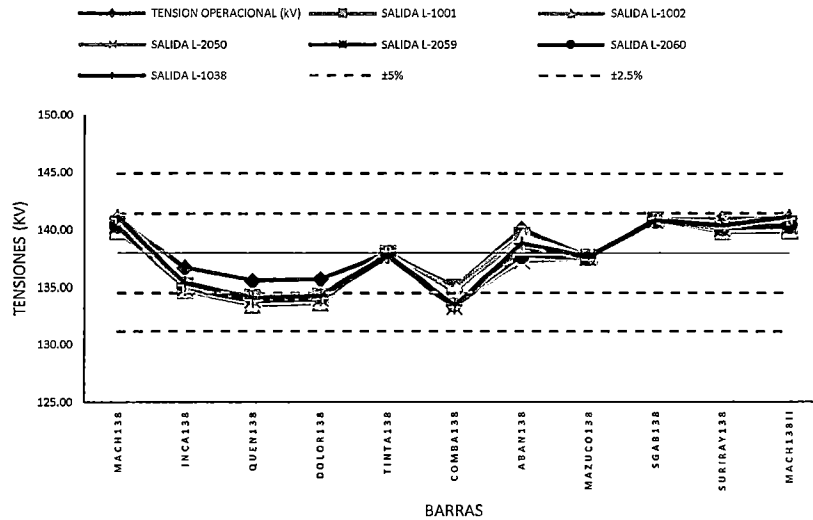
BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	141.00	139.90	140.06	140.68	140.34	140.40	141.14
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02
INCA138	138	kV	136.72	135.16	134.76	134.75	134.98	135.18	135.32
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
QUENI138	138	kV	135.54	134.20	133.34	133.65	133.76	134.02	134.07
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
DOLOR138	138	kV	135.69	134.29	133.51	133.77	133.92	134.15	134.24
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	137.91	137.77	137.83	137.80
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	134.95	134.99	134.64	133.47	133.16	133.40	133.33
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.97	0.97
ABANI138	138	kV	140.05	139.56	139.35	137.30	138.24	137.80	138.79
		p.u.	1.01	1.01	1.01	0.99	1.00	1.00	1.01
MAZUCO138	138	kV	137.63	137.64	137.64	137.62	137.59	137.60	137.60
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.86	140.86	140.87	140.84	140.82	140.83	140.82
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY138	138	kV	140.91	139.82	139.98	140.59	140.11	140.21	140.35
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02
MACH138II	138	kV	141.00	139.90	140.06	140.68	140.34	140.40	141.14
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY220	220	kV	224.35	223.38	223.49	223.47	221.98	222.50	223.75
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02
COTARUSE220	220	kV	226.72	226.38	226.40	225.95	225.79	226.31	226.56
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
ABAN220	220	kV	223.68	222.38	222.49	220.64	221.10	219.65	223.02
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.9

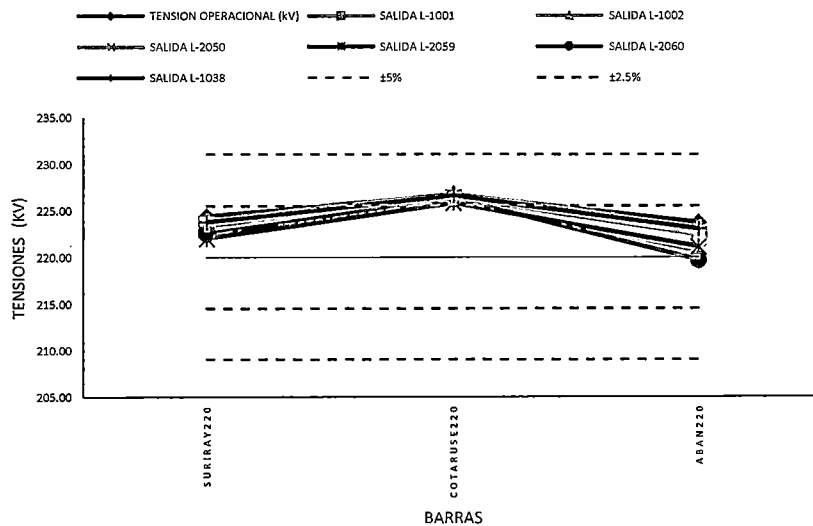
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 5.10

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 5.12**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2016

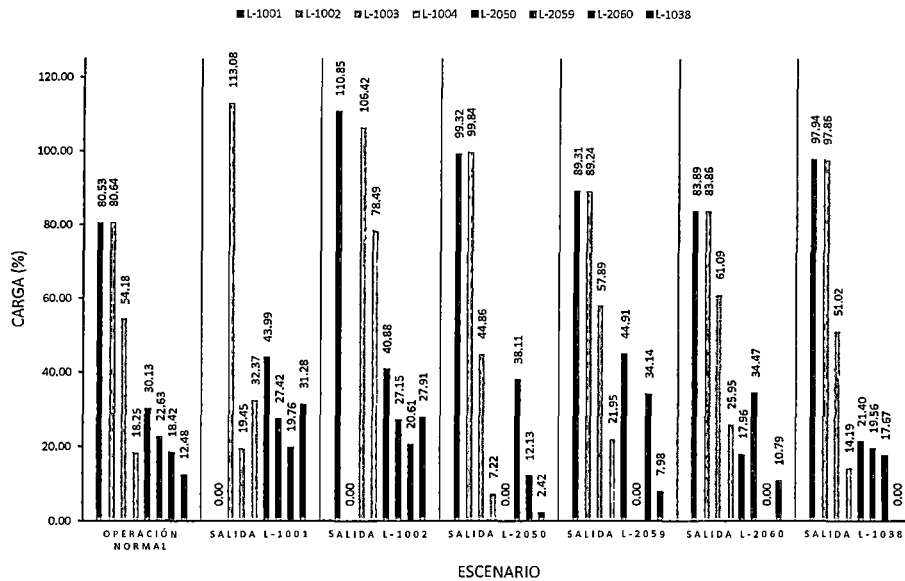
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	75.31	-71.68	80.53	310
L-1002	MACH138	QUEN138	68.50	-65.04	80.64	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	51.02	-50.73	54.18	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.99	-14.98	18.25	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	76.36	-75.91	30.13	200
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	51.70	-51.12	22.63	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	39.46	-39.23	18.42	100
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	31.76	-31.75	12.48	130
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	96.32	-89.46	113.08	390
L-1003	INCA138	DOLOR138	11.41	-11.37	19.45	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-24.36	24.41	32.37	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	111.32	-110.35	43.99	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	64.16	-63.26	27.42	160
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	41.05	-40.78	19.76	110
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	79.24	-79.17	31.28	330
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	104.76	-97.86	110.85	430
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	99.25	-98.09	106.42	430
L-1004	DOLOR138	QUEN138	62.36	-62.09	78.49	270
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	103.51	-102.68	40.88	270
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	63.53	-62.66	27.15	160
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	43.79	-43.49	20.61	110
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	70.80	-70.74	27.91	290
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	93.55	-88.01	99.32	380
L-1002	MACH138	QUEN138	84.78	-79.47	99.84	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	41.26	-41.08	44.86	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	5.33	-5.32	7.22	30
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	93.55	-91.71	38.11	240
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-10.89	10.95	12.13	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-2.76	2.76	2.42	20
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	83.38	-78.91	89.31	350
L-1002	MACH138	QUEN138	75.61	-71.37	89.24	310
L-1003	INCA138	DOLOR138	53.89	-53.55	57.89	230
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.82	-17.80	21.95	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	112.88	-111.87	44.91	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	79.76	-78.84	34.14	210
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	16.57	-16.57	7.98	80
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	78.40	-74.46	83.89	320
L-1002	MACH138	QUEN138	71.13	-67.38	83.86	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	57.11	-56.73	61.09	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	21.00	-20.96	25.95	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	39.91	-39.76	17.96	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	82.43	-80.97	34.47	210
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	26.04	-26.03	10.79	110
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Sj (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	92.19	-86.81	97.94	380
L-1002	MACH138	QUEN138	83.37	-78.27	97.86	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	47.25	-46.99	51.02	200
L-1004	DOLOR138	QUEN138	11.26	-11.25	14.19	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	54.11	-53.89	21.40	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	42.20	-41.80	19.56	110
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	36.00	-35.80	17.67	90
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.11

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis, tanto en operación normal como en contingencias, recordando que las tensiones de barra deben estar dentro del margen establecido por la NTCSE ( $\pm 5\%$  de la tensión nominal). También se tomó en cuenta el margen establecido por la NTCOTRSI, pero solo como referencia de la mejora que se espera con la incorporación de los dispositivos FACTS, ya que esta es una norma de operación diaria en tiempo real.

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $59.80^\circ$  (TCSC\_1) y  $60.40^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 80% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, para así de esta manera evitar mayores sobrecargas en la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás



líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, al igual que el caso anterior, el dispositivo TCSC opera en su modo Bypass para evitar que la línea L-1001 sufra mayores sobrecargas. La línea L-1003 sufre una pequeña sobrecarga de 106.42%. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $59.70^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.30^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 99% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.60^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.20^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 89% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.50^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.40^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 83% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.90^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 97% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.



**Nota:** En el balance de carga, los niveles de carga de las líneas L-1001 y L-1002 tienen diferencia en decimas e incluso centésimas entre una línea y la otra, lo cual se aprecia de mejor manera en los cuadros de datos. Esto se aplica en todo los análisis posteriores.

### 5.5.3.2.1.1.2. Mínima Demanda

Los cuadros 5.13 y 5.14 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.12 y 5.13 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.14 (cargabilidad de las líneas).

CUADRO 5.13

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2016

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.14	138.85	138.96	139.68	139.07	138.99	140.61
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	136.94	136.67	135.98	134.07	134.37	134.48	134.41
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97
QUEN138	138	kV	136.15	136.13	135.34	133.60	133.62	133.77	133.63
		p.u.	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97
DOLOR138	138	kV	136.35	136.26	135.43	133.69	133.80	133.93	133.83
		p.u.	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97
TINTA138	138	kV	137.24	137.68	137.67	136.77	136.51	136.51	136.32
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
COMBA138	138	kV	135.09	136.16	135.84	132.98	132.32	132.38	131.82
		p.u.	0.98	0.99	0.98	0.96	0.96	0.96	0.96
ABAN138	138	kV	138.08	138.21	137.82	133.54	135.60	135.08	135.26
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	0.98
MAZUCO138	138	kV	140.65	140.71	140.72	140.59	140.55	140.55	140.53
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	141.47	141.54	141.54	141.41	141.38	141.38	141.35
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY138	138	kV	139.72	138.47	138.59	139.37	138.54	138.47	136.86
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	0.99
MACH138II	138	kV	140.14	138.85	138.96	139.68	139.07	138.99	140.61
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	220.58	219.59	219.64	220.27	217.67	217.82	218.18
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
CÓTARUSE220	220	kV	223.29	222.99	222.97	222.12	222.19	222.93	222.75
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	218.27	217.33	217.29	212.23	214.78	212.91	216.10
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.96	0.98	0.97	0.98

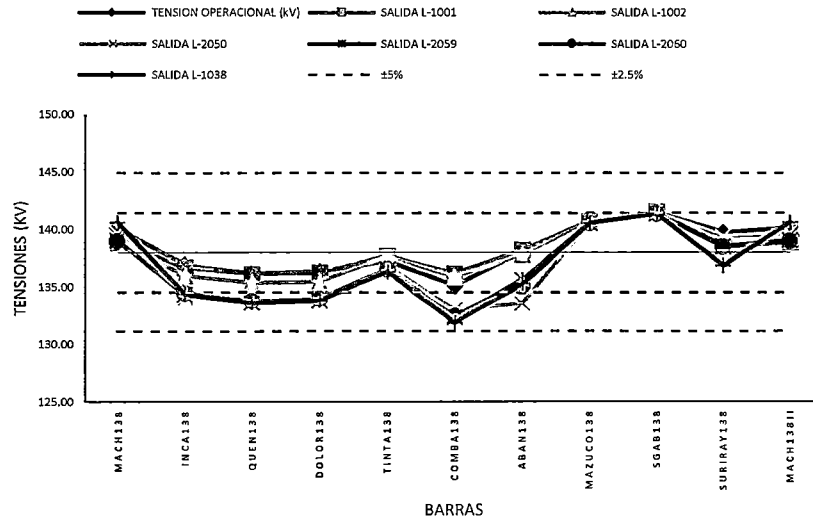
FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent





GRÁFICO 5 . 12

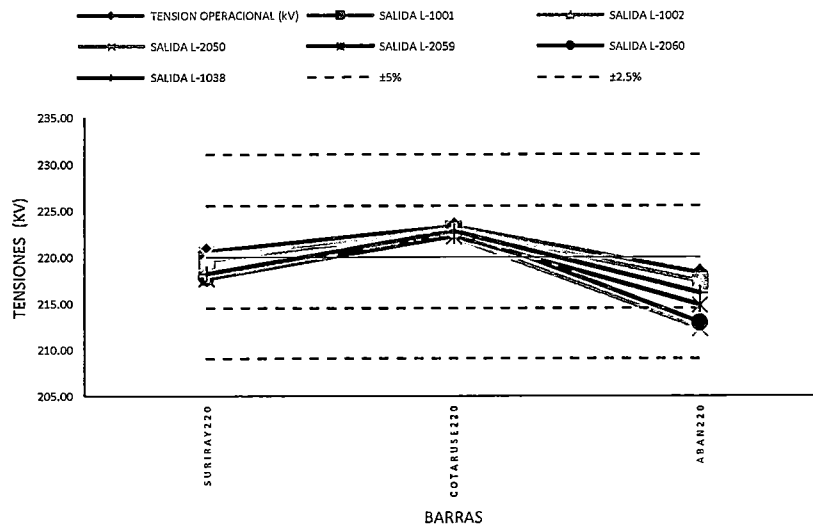
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS DE 138 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 5 . 13

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS DE 220 kV)  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 5.14**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC Año 2016

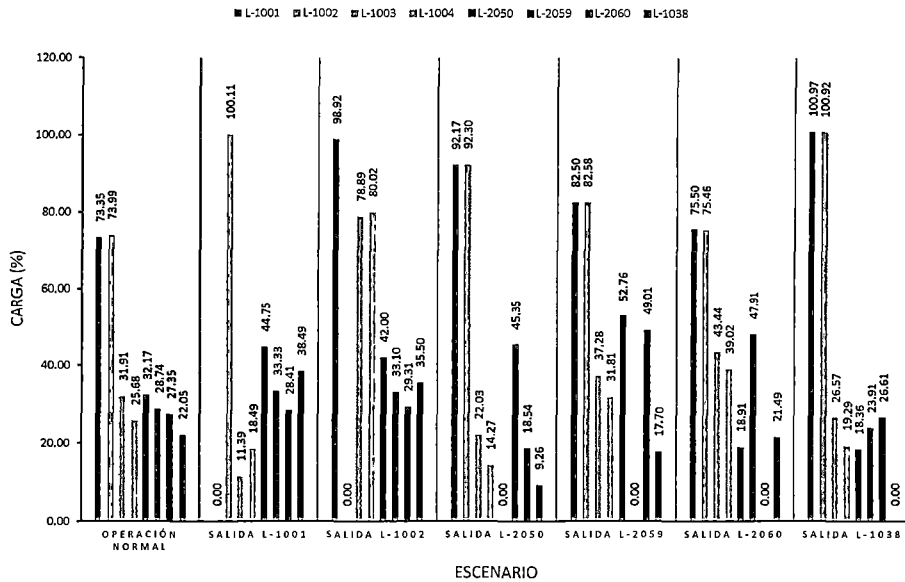
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	66.58	-63.59	73.35	280
L-1002	MACH138	QUEN138	61.25	-58.38	73.99	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	30.12	-30.02	31.91	130
L-1004	DOLOR138	QUEN138	21.21	-21.18	25.68	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	79.73	-79.21	32.17	210
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	67.32	-66.32	28.74	170
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	59.88	-59.32	27.35	160
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	52.67	-52.64	22.05	230
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	84.55	-79.16	100.11	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	-4.12	4.13	11.39	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-12.94	12.96	18.49	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	111.49	-110.48	44.75	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	78.75	-77.38	33.33	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	61.43	-60.83	28.41	160
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	95.95	-95.84	38.49	400
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	92.16	-86.68	98.92	380
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	73.47	-72.84	78.89	310
L-1004	DOLOR138	QUEN138	64.03	-63.74	80.02	280
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	104.46	-103.58	42.00	280
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	78.19	-76.84	33.10	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	63.86	-63.21	29.31	170
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	88.34	-88.25	35.50	370
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	86.05	-81.28	92.17	360
L-1002	MACH138	QUEN138	77.31	-72.79	92.30	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	20.40	-20.35	22.03	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	11.54	-11.53	14.27	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	111.55	-108.88	45.35	280
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	7.24	-7.06	18.54	70
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	17.14	-17.14	9.26	90
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	75.92	-72.12	82.50	320
L-1002	MACH138	QUEN138	68.84	-65.23	82.58	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	34.70	-34.56	37.28	150
L-1004	DOLOR138	QUEN138	25.75	-25.70	31.81	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	130.12	-128.72	52.76	350
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	113.25	-111.29	49.01	300
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	35.73	-35.71	17.70	180
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	69.44	-66.26	75.50	290
L-1002	MACH138	QUEN138	62.99	-59.97	75.46	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	40.42	-40.23	43.44	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	31.42	-31.35	39.02	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	27.13	-26.98	18.91	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	115.32	-112.37	47.91	300
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	48.07	-48.04	21.49	220
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	95.04	-89.31	100.97	390
L-1002	MACH138	QUEN138	85.46	-80.04	100.92	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	24.35	-24.28	26.57	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.47	-15.45	19.29	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	43.06	-42.89	18.36	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	51.36	-50.73	23.91	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	53.95	-53.44	26.61	150
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5 . 14

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis, de la misma manera que en los puntos anteriores:

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.90^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 73% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, evitando una mayor sobrecarga en la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** De igual modo que en el anterior caso, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, evitando que la línea L-1001 sufra sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las



tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $59.20^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.60^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 92% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.60^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.90^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 82% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.40^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.20^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 75% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $59.20^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.70^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un equilibrio de carga de 100% en cada línea, esto con una pequeña sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### **5.5.3.2.1.2. Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2016**

##### **5.5.3.2.1.2.1. Máxima Demanda**

Los cuadros 5.15 y 5.16 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima



demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.15 y 5.16 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.17 (cargabilidad de las líneas).

CUADRO 5.15

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC

AÑO 2016

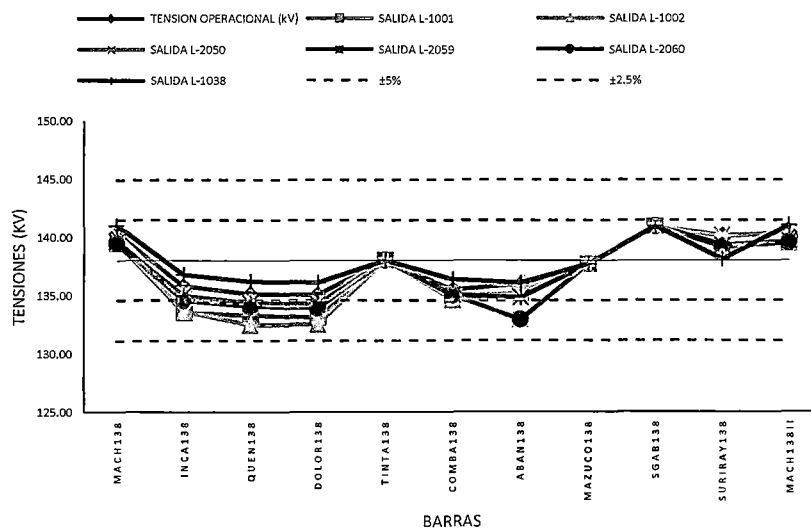
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.31	139.47	139.53	140.26	139.63	139.48	140.98
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	135.77	133.50	133.61	134.72	134.95	134.52	136.77
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.98	0.98	0.97	0.99
QUEN138	138	kV	135.08	133.26	132.42	134.19	134.31	134.02	136.17
		p.u.	0.98	0.97	0.96	0.97	0.97	0.97	0.99
DOLOR138	138	kV	135.04	133.06	132.51	134.08	134.24	133.90	136.09
		p.u.	0.98	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.99
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.44	134.99	134.60	134.83	134.96	134.94	136.34
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
ABAN138	138	kV	135.90	135.11	135.13	132.89	134.77	132.89	136.01
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.96	0.99
MAZUCO138	138	kV	137.65	137.65	137.65	137.64	137.64	137.65	137.65
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SGAB138	138	kV	140.87	140.87	140.87	140.87	140.87	140.87	140.87
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SURIRAY138	138	kV	140.08	139.26	139.32	140.12	139.23	139.10	138.07
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00
MACH138II	138	kV	140.31	139.47	139.53	140.26	139.63	139.48	140.98
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	221.55	220.80	220.87	222.04	219.06	218.98	220.10
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	224.41	224.16	224.19	223.64	223.70	224.41	224.16
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
ABAN220	220	kV	219.45	218.26	218.43	214.16	217.55	213.76	218.57
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

GRÁFICO 5.15

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 kV)

AÑO 2016



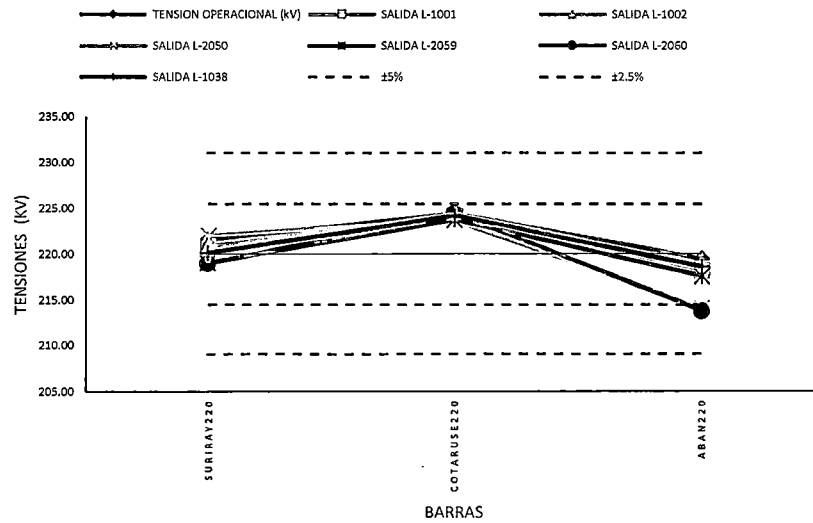
FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5 . 16

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)

AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



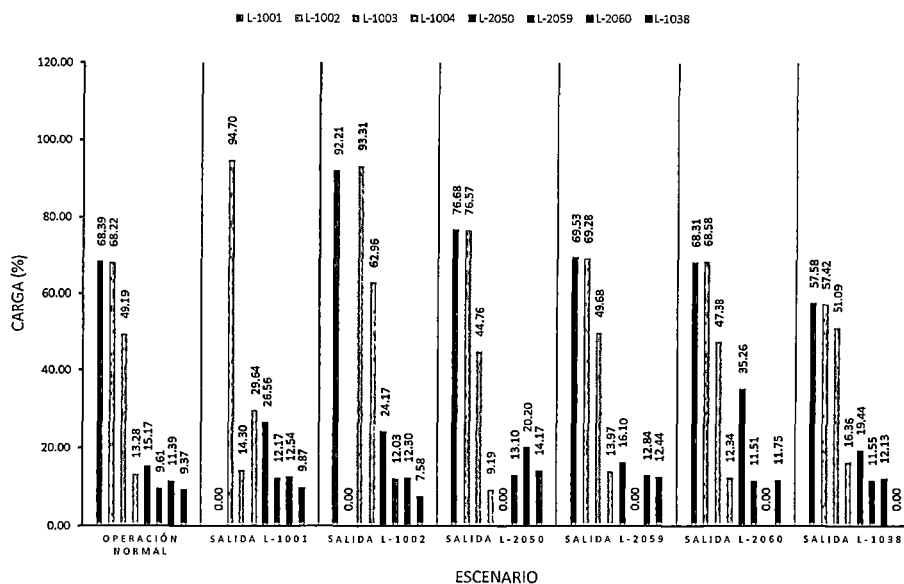
**CUADRO 5. 16**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC Año 2016

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	63.95	-61.33	68.39	260
L-1002	MACH138	QUEN138	57.67	-55.20	68.22	240
L-1003	INCA138	DOLOR138	46.27	-46.02	49.19	200
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.98	-9.98	13.28	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	34.50	-34.39	15.17	100
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	5.51	-5.48	9.61	30
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-7.76	7.81	11.39	20
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-18.54	18.54	9.37	100
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	80.31	-75.50	94.70	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	12.16	-12.14	14.30	60
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-23.90	23.93	29.64	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	64.73	-64.38	26.56	170
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	16.60	-16.51	12.17	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-5.90	5.96	12.54	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	22.78	-22.77	9.87	100
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	86.90	-82.12	92.21	360
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	86.28	-85.39	93.31	370
L-1004	DOLOR138	QUEN138	49.36	-49.18	62.96	220
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	58.55	-58.27	24.17	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	16.18	-16.09	12.03	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-3.63	3.69	12.30	20
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	16.18	-16.18	7.58	80
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	72.27	-68.96	76.68	300
L-1002	MACH138	QUEN138	64.86	-61.74	76.57	270
L-1003	INCA138	DOLOR138	41.77	-41.57	44.76	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	5.53	-5.53	9.19	30
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	24.50	-24.35	13.10	70
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-30.06	30.31	20.20	90
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-34.04	34.06	14.17	150
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	64.80	-62.09	69.53	270
L-1002	MACH138	QUEN138	58.30	-55.76	69.28	240
L-1003	INCA138	DOLOR138	46.45	-46.20	49.68	200
L-1004	DOLOR138	QUEN138	10.16	-10.15	13.97	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	38.53	-38.40	16.10	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-3.20	3.27	12.84	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-20.02	20.03	12.44	130
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	63.92	-61.30	68.31	260
L-1002	MACH138	QUEN138	57.72	-55.22	68.58	240
L-1003	INCA138	DOLOR138	44.13	-43.90	47.38	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.86	-7.86	12.34	40
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	40.33	-40.09	35.26	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	-0.33	0.38	11.51	10
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-18.55	18.56	11.75	120
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	54.23	-52.38	57.58	220
L-1002	MACH138	QUEN138	48.86	-47.10	57.42	200
L-1003	INCA138	DOLOR138	48.39	-48.12	51.09	200
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.09	-12.08	16.36	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	47.58	-47.39	19.44	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	10.99	-10.92	11.55	30
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-6.08	6.13	12.13	30
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



**GRÁFICO 5.17**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.50^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.20^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 68% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** En este escenario, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass para evitar sobrecarga en la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** También en este escenario, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, evitando así sobrecarga en la línea L-1001. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.80^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un





equilibrio de carga de 76% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.50^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.20^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 69% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.60^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.10^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 68% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.20^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.40^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 57% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.1.2.2. Mínima Demanda

Los cuadros 5.17 y 5.18 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.18 y 5.19 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.20 (cargabilidad de las líneas).

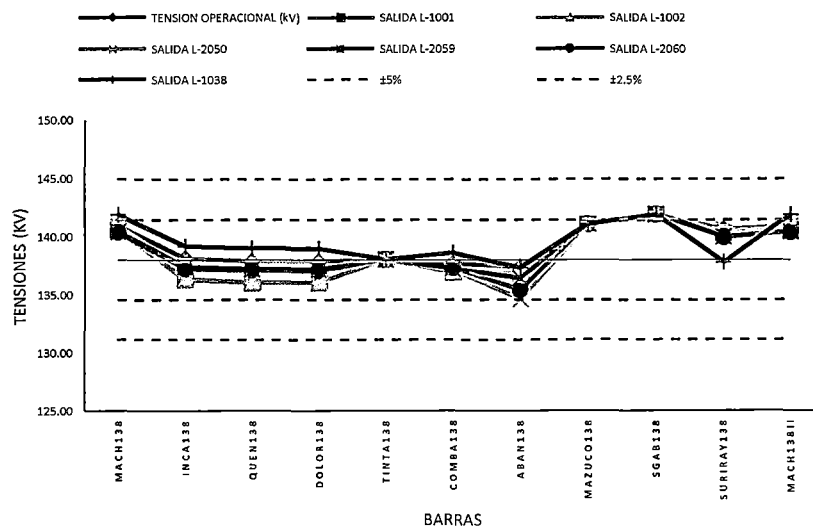


**CUADRO 5.17**  
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2016

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.91	140.59	140.55	140.90	140.40	140.36	141.85
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
INCA138	138	kV	138.12	136.28	136.35	137.13	137.39	137.21	139.14
		p.u.	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	1.01
QUEN138	138	kV	137.86	135.99	136.02	137.04	137.18	137.10	138.99
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01
DOLOR138	138	kV	137.86	136.02	136.01	136.98	137.16	137.04	138.95
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.70	136.88	137.04	137.12	137.23	137.28	138.58
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
ABAN138	138	kV	137.38	136.81	136.74	134.58	136.41	135.37	137.29
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.98	0.99	0.98	0.99
MAZUCO138	138	kV	141.02	141.03	141.03	141.02	141.02	141.02	141.03
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	141.88	141.88	141.89	141.88	141.88	141.88	141.88
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	140.58	140.26	140.23	140.64	139.93	139.92	137.76
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
MACH138II	138	kV	140.91	140.59	140.55	140.90	140.40	140.36	141.85
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
SURIRAY220	220	kV	221.71	221.38	221.35	222.17	219.78	219.94	219.62
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	222.06	221.91	221.92	221.35	221.12	221.71	221.68
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	219.77	219.16	219.18	214.83	218.16	215.94	218.50
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.98	0.99	0.98	0.99

FUENTE: Elaboración propia mediante software Di@Silent

**GRÁFICO 5.18**  
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2016



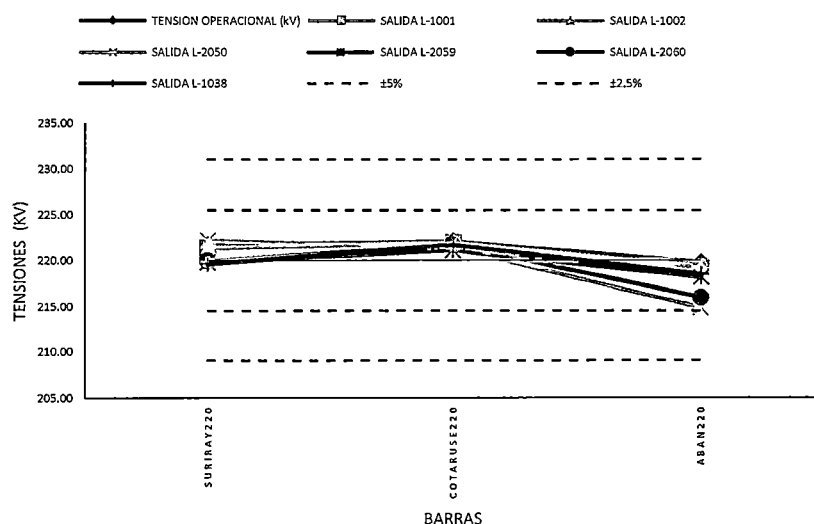
FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5.19

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)

AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 5 . 18**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2016

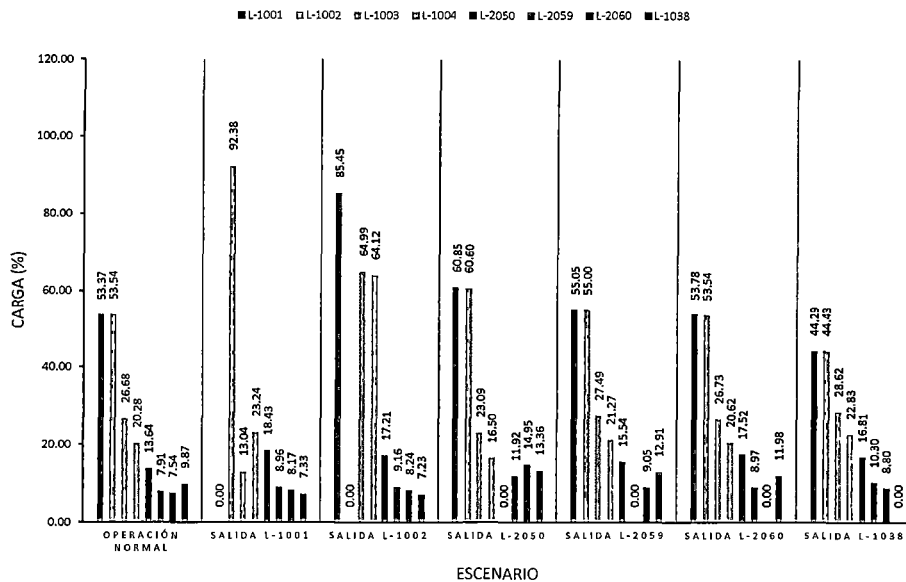
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	48.81	-47.24	53.37	200
L-1002	MACH138	QUEN138	44.24	-42.75	53.54	180
L-1003	INCA138	DOLOR138	25.35	-25.28	26.68	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	16.26	-16.24	20.28	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	30.59	-30.51	13.64	90
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	8.89	-8.85	7.91	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-1.04	1.06	7.54	10
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-15.02	15.02	9.87	100
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	76.32	-71.83	92.38	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	-8.99	9.00	13.04	50
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-18.01	18.04	23.24	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	43.46	-43.30	18.43	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	12.74	-12.69	8.96	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-1.40	1.42	8.17	10
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	1.71	-1.70	7.33	80
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	78.99	-74.92	85.45	330
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	60.29	-59.87	64.99	260
L-1004	DOLOR138	QUEN138	50.85	-50.67	64.12	220
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	40.13	-39.99	17.21	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	13.40	-13.35	9.16	50
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	1.07	-1.05	8.24	9
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-0.96	0.96	7.23	70
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	56.72	-54.66	60.85	60.85
L-1002	MACH138	QUEN138	50.55	-48.62	60.60	210
L-1003	INCA138	DOLOR138	-21.58	-21.53	23.09	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.52	-12.50	16.50	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	25.24	-25.10	11.92	80
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-20.39	20.51	14.95	60
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-29.24	29.25	13.36	140
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	50.30	-48.62	55.05	210
L-1002	MACH138	QUEN138	45.37	-43.79	55.00	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	25.90	-25.82	27.49	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	16.81	-16.79	21.27	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	36.85	-36.74	15.54	100
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	6.01	-5.98	9.05	20
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-17.63	17.64	12.91	130
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	49.43	-47.83	53.78	210
L-1002	MACH138	QUEN138	44.24	-42.75	53.54	180
L-1003	INCA138	DOLOR138	24.97	-24.89	26.73	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.88	-15.86	20.62	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	30.73	-30.60	17.52	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	8.12	-8.08	8.97	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-15.64	15.65	11.98	120
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	40.95	-39.87	44.29	170
L-1002	MACH138	QUEN138	37.08	-36.05	44.43	43.45
L-1003	INCA138	DOLOR138	27.16	-27.08	28.62	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	18.06	-18.04	22.83	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	41.26	-41.12	16.81	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	13.24	-13.18	10.30	40
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.21	-0.19	8.80	9
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5 . 20

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2016



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis:

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.60^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 53% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** En este escenario, el dispositivo TCSC\_2 trabajo con un ángulo de  $58.40^\circ$ , logrando un incremento de la potencia transmitida por la línea, esto sin superar el límite. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** En este escenario, el dispositivo TCSC\_1 trabajo con un ángulo de  $59.10^\circ$ , logrando un incremento de la potencia transmitida por la línea, esto sin superar el límite. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.



- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.60^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.60^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 60% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.41^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.85^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 55% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.41^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.85^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 53% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.20^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.10^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 44% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.2. Análisis de Cargabilidad - Año 2017

En el cuadro 5.19 se muestra las tensiones de barra en el año 2017 en operación normal de las barras asociadas a las líneas L-1001 y L-1002, así como de las barras asociadas a la línea Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse 220 kV.

CUADRO 5. 19

TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC AÑO 2017

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	138.92	1.01	-25.92	133.57	0.97	-36.37	81.85	-2.04	81.88	-77.57	10.89	78.33	87.24	340	3.85
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	138.92	1.01	-25.92	133.51	0.97	-35.29	73.53	1.63	73.54	-70.42	4.98	70.60	87.35	310	3.89
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	133.51	0.97	-35.29	132.24	0.96	-38.16	70.42	-4.97	70.60	-69.45	7.09	69.82	87.23	300	0.95
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	133.57	0.97	-36.37	132.42	0.96	-37.75	64.34	2.96	64.41	-63.85	-2.17	63.89	69.64	280	0.86
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	132.42	0.96	-37.75	132.24	0.96	-38.16	27.71	-2.62	27.84	-27.66	2.35	27.76	34.68	120	0.14
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	219.95	1.00	-26.58	215.59	0.98	-32.36	168.49	14.10	169.08	-166.17	-6.27	166.29	67.88	450	1.98
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	219.95	1.00	-26.58	223.72	1.02	-41.71	139.58	-22.00	141.30	-135.39	26.75	138.01	56.53	360	1.71
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	215.59	0.98	-32.36	223.72	1.02	-41.71	120.88	-40.74	127.56	-118.67	39.97	125.22	52.07	320	3.77
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	138.92	1.01	-25.92	138.72	1.01	-26.04	17.30	9.14	19.56	-17.29	-9.89	19.92	7.93	80	0.14	
Avenida Mínima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.06	1.01	-31.83	136.26	0.99	-36.29	67.54	-12.93	68.77	-64.51	17.75	66.91	73.88	280	2.71
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.06	1.01	-31.83	136.08	0.99	-34.80	61.23	-8.14	61.77	59.04	11.43	60.13	73.76	260	2.84
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.08	0.99	-34.80	135.67	0.98	-37.17	59.04	-11.43	60.13	-58.36	12.44	59.67	72.89	250	0.30
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.26	0.99	-36.29	135.80	0.98	-36.89	29.02	-0.04	29.02	-28.93	-0.48	28.93	30.75	120	0.34
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.80	0.98	-36.89	135.67	0.98	-37.17	20.22	-1.82	20.30	-20.19	1.43	20.24	24.66	90	0.10
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	220.69	1.00	-33.81	217.95	0.99	-36.67	84.91	6.85	85.19	-84.32	-11.91	85.16	34.38	230	1.24
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	220.69	1.00	-33.81	222.71	1.01	-41.80	73.73	-23.90	77.51	-72.55	2.09	72.58	30.91	190	0.92
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	217.95	0.99	-36.67	222.71	1.01	-41.80	66.62	-31.07	73.51	-65.94	15.51	67.74	29.68	180	2.18
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.06	1.01	-31.83	139.68	1.01	-32.20	51.73	16.57	54.32	-51.70	-17.01	54.42	21.51	220	0.27	
Estiaje Máxima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	139.82	1.01	-38.66	133.29	0.97	-43.70	91.32	-4.91	91.45	-85.92	17.35	87.66	98.00	380	4.67
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	139.82	1.01	-38.66	133.32	0.97	-42.08	82.95	4.07	83.05	-79.04	5.41	79.22	98.06	340	4.65
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	133.32	0.97	-42.08	131.91	0.96	-45.31	79.04	-5.40	79.22	-77.82	8.43	78.27	98.02	340	1.06
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	133.29	0.97	-43.70	132.11	0.96	-44.98	59.71	4.84	59.90	-59.28	-4.26	59.43	64.93	260	0.89
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	132.11	0.96	-44.98	131.91	0.96	-45.31	23.24	-0.61	23.25	-23.20	0.28	23.21	29.03	100	0.15
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	219.88	1.00	-37.60	216.07	0.98	-42.35	138.73	11.25	139.18	-137.15	-8.93	137.44	55.98	370	1.73
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	219.88	1.00	-37.60	222.37	1.01	-50.49	118.41	-21.70	120.38	-115.39	16.33	116.54	48.18	300	1.13
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	216.07	0.98	-42.35	222.37	1.01	-50.49	105.07	-35.43	110.88	-103.41	29.42	107.52	45.16	280	2.92
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	139.82	1.01	-38.66	139.49	1.01	-38.45	-26.72	20.29	33.54	26.73	-20.95	33.96	13.44	140	0.24	
Estiaje Mínima Demanda 2017	Línea L-1001	MACH138	INCA138	141.29	1.02	-43.32	137.38	1.00	-45.32	51.04	-13.03	52.70	-49.28	13.72	51.16	56.49	210	2.77
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	141.29	1.02	-43.32	137.35	1.00	-44.13	45.90	-10.44	47.07	-44.64	-10.38	45.83	55.04	190	2.79
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	137.35	1.00	-44.13	137.16	0.99	-45.91	44.64	-10.38	45.83	-44.26	10.33	45.44	55.04	190	0.14
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	137.38	1.00	-45.32	137.15	0.99	-45.75	20.06	-2.08	20.17	-20.02	1.39	20.07	21.19	80	0.17
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	137.15	0.99	-45.75	137.16	0.99	-45.91	11.31	-3.70	11.90	-11.30	3.23	11.75	14.31	50	0.01
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	222.31	1.01	-43.03	219.96	1.00	-44.14	34.78	8.90	35.90	-34.67	-17.64	38.90	15.56	100	1.06
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	222.31	1.01	-43.03	222.03	1.01	-45.01	18.44	-17.25	25.26	-18.36	-14.40	23.33	10.00	60	0.13
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.96	1.00	-44.14	222.03	1.01	-45.01	10.79	-19.21	22.03	-10.76	-2.69	11.09	8.81	30	0.94
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	141.29	1.02	-43.32	140.95	1.02	-43.25	-6.94	19.28	20.49	6.94	-20.05	21.22	8.31	80	0.24	

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

"ESTUDIO DE LA OPERACIÓN DE LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN L-1001 Y L-1002 DEL SEIN CON LA INCORPORACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE MACHUPICCHU (2DA FASE) Y SANTA TERESA - CUSCO"

CAPITULO V: DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN





Como se puede apreciar en el cuadro 5.19, todas las tensiones de barra están dentro del límite establecido por la NTCSE, así como todas las caídas de tensión entre barras i y j son menores al 5%. También ninguna de las líneas trabaja con sobrecarga.

### 5.5.3.2.2.1. Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2017

Se realiza el análisis considerando que este año se incrementará la generación de energía en la zona con la entrada de nuevos proyectos.

#### 5.5.3.2.2.1.1. Máxima Demanda

Se presenta en el cuadro 5.20 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 5.21 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 5.21, 5.22 y 5.23 muestran de mejor manera estos datos.

**CUADRO 5. 20**  
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC  
AÑO 2017

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	KV	138.92	138.25	138.35	137.36	137.02	137.31	139.23
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01
INCA138	138	KV	133.57	129.13	128.93	127.08	128.17	129.32	132.90
		p.u.	0.97	0.94	0.93	0.92	0.93	0.94	0.96
QUÉN138	138	KV	132.24	128.37	127.18	126.08	126.43	127.45	131.47
		p.u.	0.96	0.93	0.92	0.91	0.92	0.92	0.95
DOLOR138	138	KV	132.42	128.35	127.40	126.12	126.72	127.79	131.68
		p.u.	0.96	0.93	0.92	0.91	0.92	0.93	0.95
TINTA138	138	KV	137.63	137.71	137.70	136.65	135.91	136.00	137.33
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.99	1.00
COMBA138	138	KV	131.50	130.33	129.89	126.67	124.92	125.43	130.43
		p.u.	0.95	0.94	0.94	0.92	0.91	0.91	0.95
ABAN138	138	KV	135.55	133.72	133.62	127.87	130.11	131.79	134.98
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.93	0.94	0.95	0.98
MAZUCO138	138	KV	139.91	139.93	139.93	139.76	139.63	139.64	139.86
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
SGA8138	138	KV	143.01	143.04	143.04	142.87	142.75	142.76	142.97
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.04
SURIRAY138	138	KV	138.72	137.99	138.11	137.32	136.73	136.99	137.60
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00
MACH138II	138	KV	138.92	138.25	138.35	137.36	137.02	137.31	139.23
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01
SURIRAY220	220	KV	219.95	218.96	219.09	218.16	215.83	216.33	219.36
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.98	1.00
COTARUSE220	220	KV	223.72	223.18	223.20	220.97	221.56	222.67	223.65
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01	1.02
ABAN220	220	KV	215.59	213.54	213.75	206.75	207.41	209.46	215.24
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.94	0.94	0.95	0.98
QUILLAB	220	KV	220.70	220.09	220.16	219.58	218.12	218.44	220.33
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00

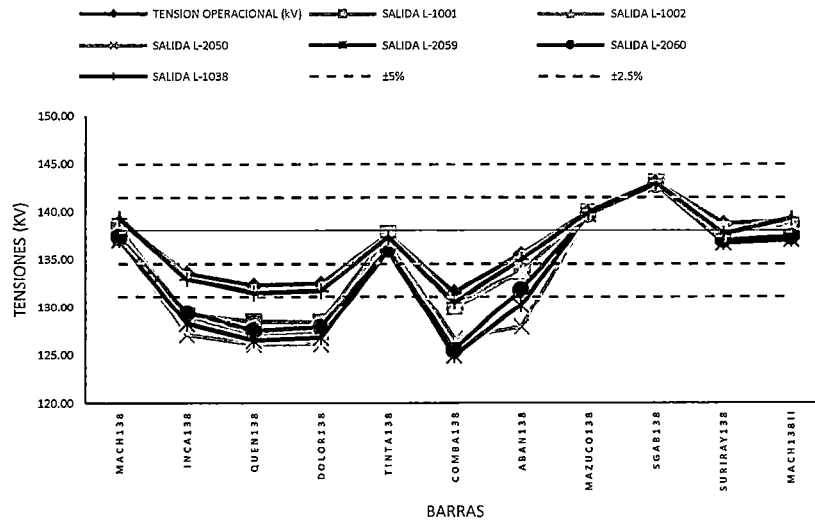
FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent





GRÁFICO 5.21

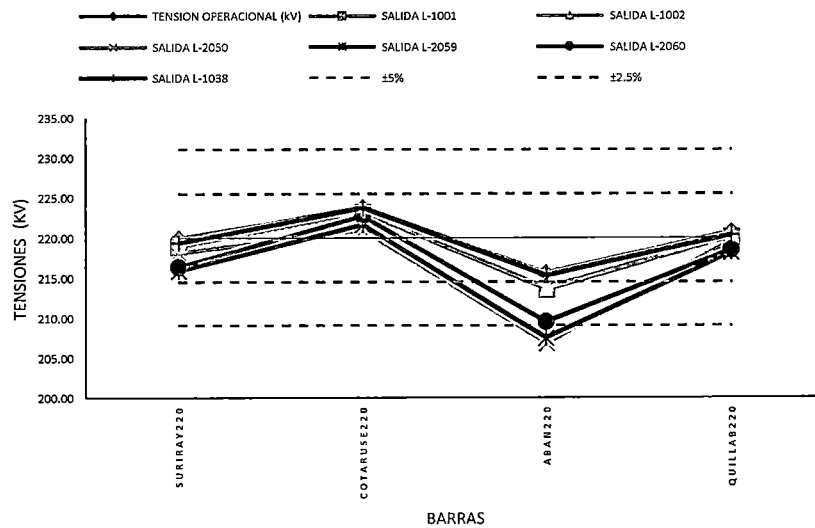
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 5.22

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 5. 21**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2017

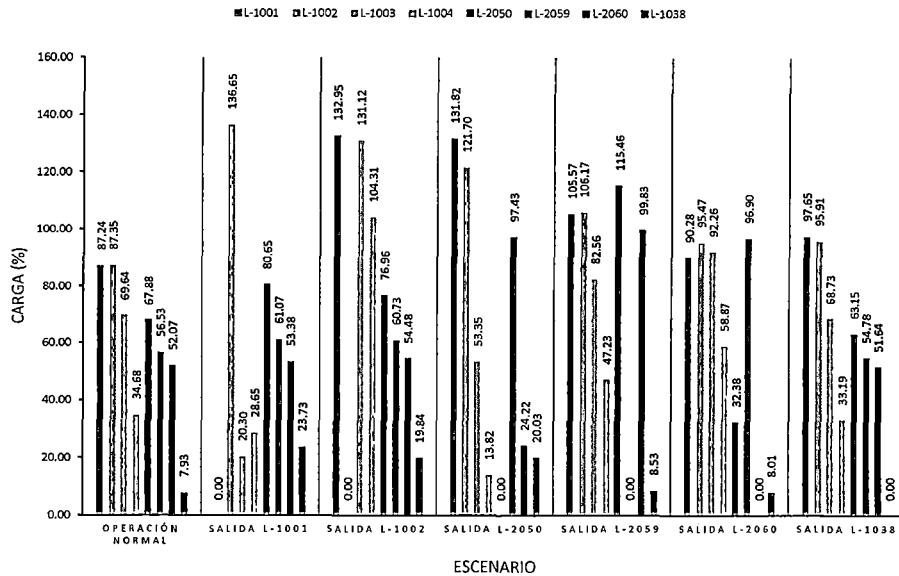
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	81.85	-77.57	87.24	340
L-1002	MACH138	QUEN138	73.53	-69.45	87.35	300
L-1003	INCA138	DOLOR138	64.34	-63.85	69.64	280
L-1004	DOLOR138	QUEN138	27.71	-27.66	34.68	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	168.49	-166.17	67.88	450
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	139.58	-135.39	56.53	360
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	120.88	-118.67	52.07	320
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	17.30	-17.29	7.93	80
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	114.00	-104.03	136.65	480
L-1003	INCA138	DOLOR138	14.66	-14.62	20.30	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-21.52	21.56	28.65	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	198.88	-195.60	80.65	530
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	150.51	-145.60	61.07	390
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	121.39	-119.07	53.38	330
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	58.67	-58.62	23.73	250
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	123.90	-113.93	132.95	520
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	117.01	-115.26	131.12	520
L-1004	DOLOR138	QUEN138	72.12	-78.64	104.31	360
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	189.74	-186.76	76.96	500
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	149.76	-144.91	60.73	380
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	124.68	-122.25	54.48	340
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	48.77	-48.74	19.84	210
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	121.71	-111.89	131.82	510
L-1002	MACH138	QUEN138	100.24	-92.33	121.70	430
L-1003	INCA138	DOLOR138	46.79	-46.50	53.35	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	10.36	-10.35	13.82	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	241.42	-228.63	97.43	630
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	5.11	-4.76	24.22	100
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-49.30	49.33	20.03	210
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	97.34	-91.04	105.57	410
L-1002	MACH138	QUEN138	87.17	-81.15	106.17	370
L-1003	INCA138	DOLOR138	73.08	-72.39	82.56	330
L-1004	DOLOR138	QUEN138	36.25	-36.15	47.23	170
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	278.82	-272.11	115.46	760
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	231.63	-223.23	99.83	640
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	-11.87	11.87	8.53	90
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	83.37	-78.77	90.28	350
L-1002	MACH138	QUEN138	78.56	-73.70	95.47	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	82.52	-81.65	92.26	370
L-1004	DOLOR138	QUEN138	45.51	-45.36	58.87	210
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	63.21	-62.71	32.38	210
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	238.22	-225.62	96.90	620
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	10.72	-10.72	8.01	80
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.84	-86.47	97.65	380
L-1002	MACH138	QUEN138	80.84	-75.92	95.91	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	63.08	-62.60	68.73	270
L-1004	DOLOR138	QUEN138	26.47	-26.42	33.19	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	156.30	-154.29	63.15	410
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	134.47	-130.56	54.78	340
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	119.24	-117.06	51.64	320
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5. 23

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Durante este escenario, tanto en operación normal y contingencias, los dispositivos TCSC operaron en modo Bypass, esto para evitar sobrecargas en las líneas debido al incremento de generación de energía en la zona.

- **Operación Normal.-** Durante este escenario, las líneas L-1001 y L-1002 están balanceadas con un 87%. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra están dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1002 sufre una sobrecarga de 136.65%, y las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y COMBA138 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 132.95%, la línea L-1003 una sobrecarga de 131.12% y la línea L-1004 una sobrecarga 104.31%. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y COMBA138 operan fuera del límite establecido.



- **Salida línea L-2050.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 131.82% y la línea L-1002 una sobrecarga de 121.70%. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138, COMBA138, ABAN138 y ABAN220 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-2059.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 105.57%, la línea L-1002 una sobrecarga de 106.17% y la línea L-2050 una sobrecarga de 115.46%. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138, COMBA138, ABAN138 y ABAN220 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-2060.-** Durante la salida de esta línea no existe sobrecargas en las líneas. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y COMBA138 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, no existe sobrecargas en las líneas y todas las tensiones de barra están dentro de los límites.

#### 5.5.3.2.2.1.2. Mínima Demanda

Se presenta en el cuadro 5.22 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 5.23 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 5.24, 5.25 y 5.26 muestran de mejor manera estos datos.



CUADRO 5 . 22

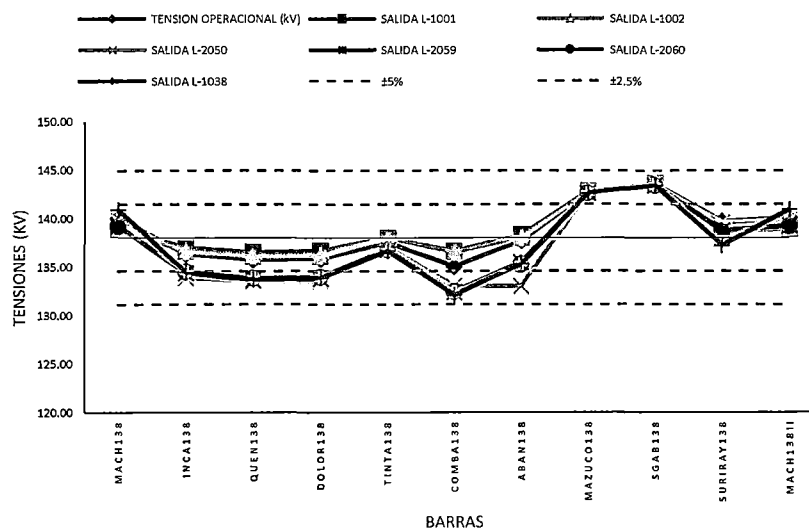
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2017

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.06	138.90	139.05	139.81	139.22	139.16	140.87
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
INCA138	138	kV	136.26	137.00	136.57	133.86	134.32	134.49	134.41
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97
QUEN138	138	kV	135.67	136.52	136.06	133.45	133.60	133.78	133.67
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97
DOLOR138	138	kV	135.80	136.63	136.11	133.52	133.77	133.95	133.86
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.97
TINTA138	138	kV	137.47	138.00	138.00	137.02	136.75	136.73	136.62
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
COMBA138	138	kV	134.98	136.62	136.48	133.03	132.38	132.42	132.08
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.96	0.96	0.96	0.96
ABAN138	138	kV	137.64	138.26	137.99	132.99	135.44	135.23	135.25
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.96	0.98	0.98	0.98
MAZUCO138	138	kV	142.71	142.78	142.79	142.64	142.60	142.60	142.59
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	143.50	143.58	143.58	143.44	143.40	143.40	143.38
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SURIRAY138	138	kV	139.68	138.55	138.70	139.53	138.71	138.66	137.18
		p.u.	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
MACH138II	138	kV	140.06	138.90	139.05	139.81	139.22	139.16	140.87
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
SURIRAY220	220	kV	220.69	219.87	219.97	220.66	218.12	218.26	218.69
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99
COTARUSE220	220	kV	222.71	222.49	222.51	221.50	221.53	222.26	222.26
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	217.95	217.30	217.34	211.51	214.59	213.28	216.18
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.96	0.98	0.97	0.98
QUILLAB	220	kV	220.91	220.09	220.19	220.88	218.33	218.47	218.90
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

GRÁFICO 5 . 24

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 KV)  
AÑO 2017

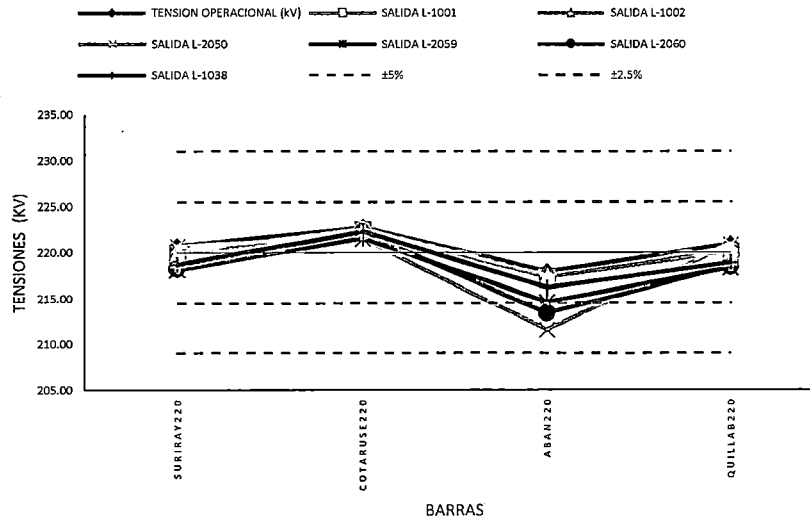


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5. 25

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 5. 23**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA – MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC Año 2017

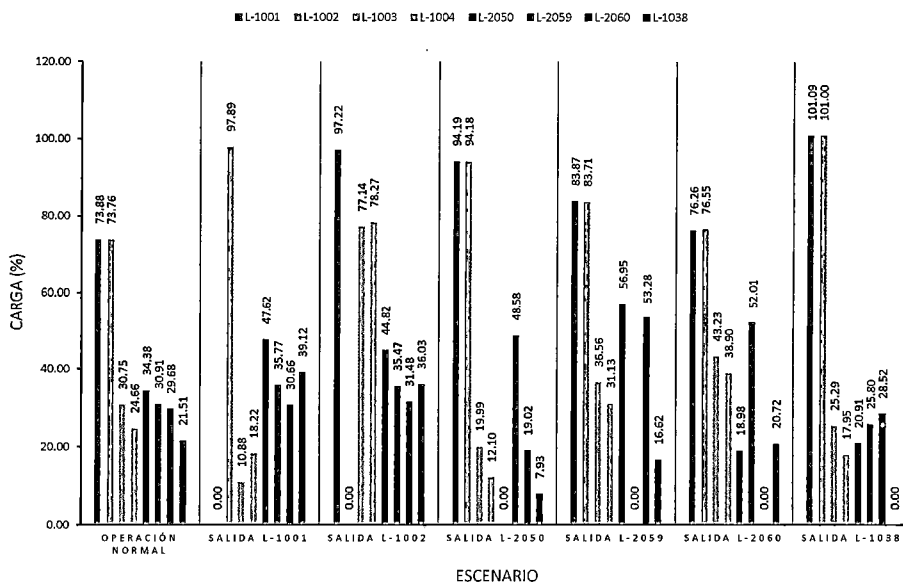
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	67.54	-64.51	73.88	280
L-1002	MACH138	QUEN138	61.23	-58.36	73.76	250
L-1003	INCA138	DOLOR138	29.02	-28.93	30.75	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	20.22	-20.19	24.66	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	84.91	-84.32	34.38	230
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	73.73	-72.55	30.91	190
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	66.62	-65.94	29.68	180
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	51.73	-51.70	21.51	200
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	82.77	-77.62	97.89	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	-4.37	4.38	10.88	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-13.10	13.11	18.22	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	118.65	-117.51	47.62	310
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	85.90	-84.29	35.77	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	68.40	-67.67	30.66	180
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	97.72	-97.61	39.12	410
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	90.59	-85.31	97.22	370
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	71.90	-71.30	77.14	310
L-1004	DOLOR138	QUEN138	62.59	-62.32	78.27	270
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	111.55	-110.54	44.82	290
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	85.21	-83.62	35.47	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	70.69	-69.92	31.48	190
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	89.90	-89.81	36.03	380
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	88.04	-83.06	94.19	360
L-1002	MACH138	QUEN138	78.89	-74.19	94.18	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	18.49	-18.45	19.99	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.74	-9.74	12.10	40
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	120.51	-117.41	48.58	310
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	10.43	-10.23	19.02	70
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	13.56	-13.56	7.93	80
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.23	-73.30	83.87	320
L-1002	MACH138	QUEN138	69.83	-66.12	83.71	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	34.02	-33.38	36.56	150
L-1004	DOLOR138	QUEN138	25.17	-25.13	31.13	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	140.38	-138.74	56.95	370
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	124.80	-122.47	53.28	330
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	33.43	-33.41	16.62	170
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	70.09	-66.84	76.26	290
L-1002	MACH138	QUEN138	63.91	-60.81	76.55	270
L-1003	INCA138	DOLOR138	40.24	-40.05	43.23	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	31.34	-31.27	38.90	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	26.65	-26.50	18.98	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	126.77	-123.25	52.01	330
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	46.50	-46.47	20.72	220
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	95.05	-89.31	101.09	390
L-1002	MACH138	QUEN138	85.45	-80.03	101.00	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	23.19	-23.12	25.29	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.42	-14.40	17.95	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	48.99	-48.78	20.91	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	57.98	-57.21	25.80	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	60.63	-60.02	28.52	160
L-1038	MACH138II	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.26

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.40^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.60^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por las líneas y un equilibrio de carga de 73% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass para evitar que la línea L-1002 sufra sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** Al igual que el caso anterior, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, así de esta manera se evita que la línea L-1001 sufra sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.





- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.73^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.19^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 94% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.32^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.61^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 83% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.00^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.70^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 76% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.18^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.90^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un equilibrio de carga de 101% en cada línea con una pequeña sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.2.2. Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2017

##### 5.5.3.2.2.2.1. Máxima Demanda

Se presenta en el cuadro 5.24 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 5.25 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 5.27, 5.28 y 5.29 muestran de mejor manera estos datos.



CUADRO 5 . 24

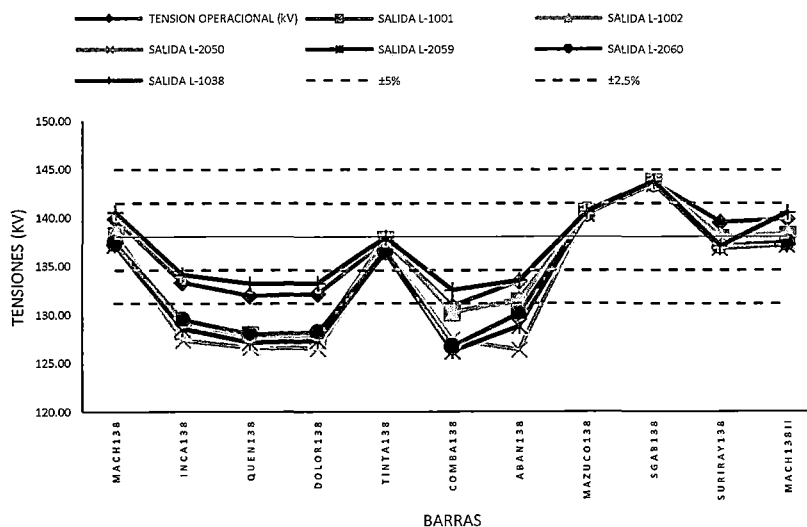
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
Año 2017

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038	
MACH138	138	kV	139.82	138.18	138.29	137.37	137.14	137.39	140.50
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.02
INCA138	138	kV	133.29	128.27	128.68	127.33	128.50	129.44	134.07
		p.u.	0.97	0.93	0.93	0.92	0.93	0.94	0.97
QUENI138	138	kV	131.91	127.88	127.18	126.55	127.07	127.94	133.16
		p.u.	0.96	0.93	0.92	0.92	0.92	0.93	0.96
DOLOR138	138	kV	132.11	127.71	127.31	126.50	127.25	128.13	133.18
		p.u.	0.96	0.93	0.92	0.92	0.92	0.93	0.97
TINTA138	138	kV	137.44	137.78	137.81	136.88	136.38	136.44	137.90
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
COMBA138	138	kV	130.81	130.31	130.14	127.43	126.19	126.66	132.48
		p.u.	0.95	0.94	0.94	0.92	0.91	0.92	0.96
ABAN138	138	kV	133.38	131.38	131.54	126.37	128.75	130.06	133.49
		p.u.	0.97	0.95	0.95	0.92	0.93	0.94	0.97
MAZUCO138	138	kV	140.49	140.56	140.56	140.40	140.32	140.33	140.56
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
SGAB138	138	kV	143.61	143.67	143.68	143.53	143.44	143.45	143.68
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SURIRAY138	138	kV	139.49	137.90	138.02	137.27	136.81	137.06	137.04
		p.u.	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
MACH138II	138	kV	139.82	138.18	138.29	137.37	137.14	137.39	140.50
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.02
SURIRAY220	220	kV	219.88	218.36	218.51	217.60	215.65	216.17	218.47
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99
COTARUSE220	220	kV	222.37	221.64	221.69	219.31	219.96	221.19	222.01
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	216.07	213.36	213.71	207.05	208.39	209.94	215.01
		p.u.	0.98	0.97	0.97	0.94	0.95	0.95	0.98
QUILLAB	220	kV	221.24	220.28	220.38	219.81	218.58	218.91	220.35
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

GRÁFICO 5 . 27

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 KV)  
AÑO 2017

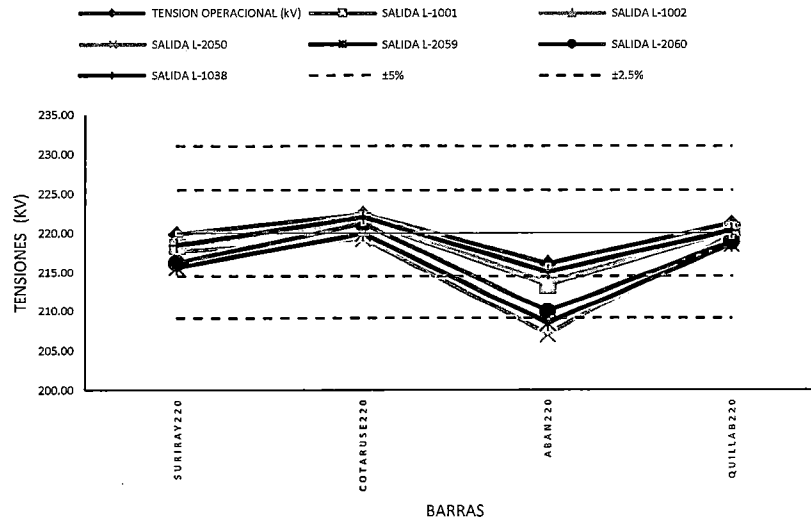


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5. 28

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 5. 25**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE – MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2017

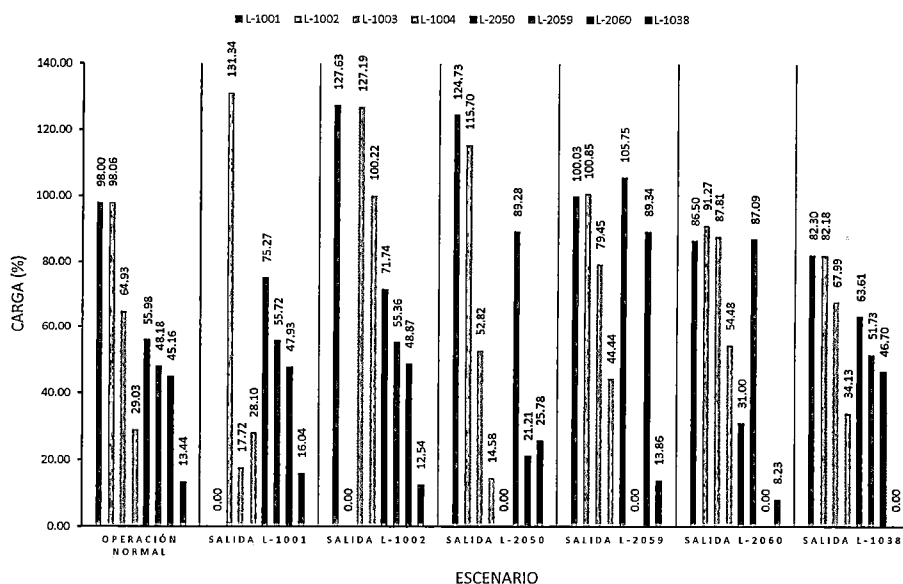
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	91.32	-85.92	98.00	380
L-1002	MACH138	QUEN138	82.95	-77.82	98.06	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	59.71	-59.28	64.93	260
L-1004	DOLOR138	QUEN138	23.24	-23.20	29.03	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	138.73	-137.15	55.98	370
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	118.41	-115.39	48.18	300
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	105.07	-103.41	45.16	280
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-26.72	26.73	13.44	140
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	109.41	-100.19	131.34	460
L-1003	INCA138	DOLOR138	14.36	-14.33	17.72	70
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-21.71	21.74	28.10	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	185.24	-182.39	75.27	490
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	136.70	-132.63	55.72	350
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	108.63	-106.78	47.93	290
L-1038	MACH138	SURIRAY138	38.12	-38.10	16.04	170
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	118.80	-109.61	127.63	500
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	113.18	-111.53	127.19	510
L-1004	DOLOR138	QUEN138	75.49	-75.04	100.22	350
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	176.65	-174.06	71.74	470
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	135.91	-131.89	55.36	350
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	111.66	-109.73	48.87	300
L-1038	MACH138	SURIRAY138	28.73	-28.72	12.54	130
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	115.18	-106.38	124.73	490
L-1002	MACH138	QUEN138	95.38	-88.23	115.70	400
L-1003	INCA138	DOLOR138	46.57	-46.28	52.82	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	10.24	-10.23	14.58	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	220.73	-210.00	89.28	580
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.38	-0.13	21.21	80
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-63.04	63.09	25.78	270
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	92.27	-86.61	100.03	390
L-1002	MACH138	QUEN138	82.95	-77.53	100.85	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	70.68	-70.04	79.45	320
L-1004	DOLOR138	QUEN138	33.99	-33.91	44.44	160
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	256.04	-250.41	105.75	690
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	208.05	-201.33	89.34	570
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-27.71	27.72	13.86	140
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	79.81	-75.59	86.50	340
L-1002	MACH138	QUEN138	75.19	-70.75	91.27	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	78.73	-77.95	87.81	350
L-1004	DOLOR138	QUEN138	41.91	-41.78	54.48	190
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	62.42	-61.97	31.00	200
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	213.87	-203.72	87.09	560
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-7.49	7.49	8.23	90
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.71	-73.89	82.30	320
L-1002	MACH138	QUEN138	69.85	-66.24	82.18	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	63.13	-62.66	67.99	270
L-1004	DOLOR138	QUEN138	26.63	-26.58	34.13	290
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	157.45	-155.42	63.61	420
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	126.39	-122.90	51.73	320
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	107.78	-106.01	46.70	290
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5 . 29

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

En este escenario, los dispositivos TCSC operaron en su modo Bypass, esto para evitar mayores sobrecargas en las líneas, a excepción del escenario en operación normal y durante la salida de la línea L-1038.

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.68^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.34^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 98% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1002 sufre una sobrecarga de 131.34%, y las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138 y COMBA138 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 127.63%, la línea L-1003 una sobrecarga de 127.19% y la línea L-1004 una sobrecarga 100.22%. Las barras



INCA138, QUEN138, DOLOR138 y COMBA138 operan fuera del límite establecido.

- **Salida línea L-2050.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 124.73% y la línea L-1002 una sobrecarga de 115.70%. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138, COMBA138, ABAN138 y ABAN220 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-2059.-** Durante la salida de esta línea, la línea L-1001 sufre una sobrecarga de 100.03%, la línea L-1002 una sobrecarga de 100.85% y la línea L-2050 una sobrecarga de 105.75%. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138, COMBA138 y ABAN138 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-2060.-** Durante la salida de esta línea no existe sobrecargas en las líneas. Las barras INCA138, QUEN138, DOLOR138, COMBA138 y ABAN138 operan fuera del límite establecido.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.43^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.48^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 82% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.2.2. Mínima Demanda

Se presenta en el cuadro 5.26 los niveles de tensión de las diferentes barras en los diferentes escenarios, y en el cuadro 5.27 la cargabilidad de estas líneas en esos escenarios. Los gráficos 5.30, 5.31 y 5.32 muestran de mejor manera estos datos.



CUADRO 5 . 26

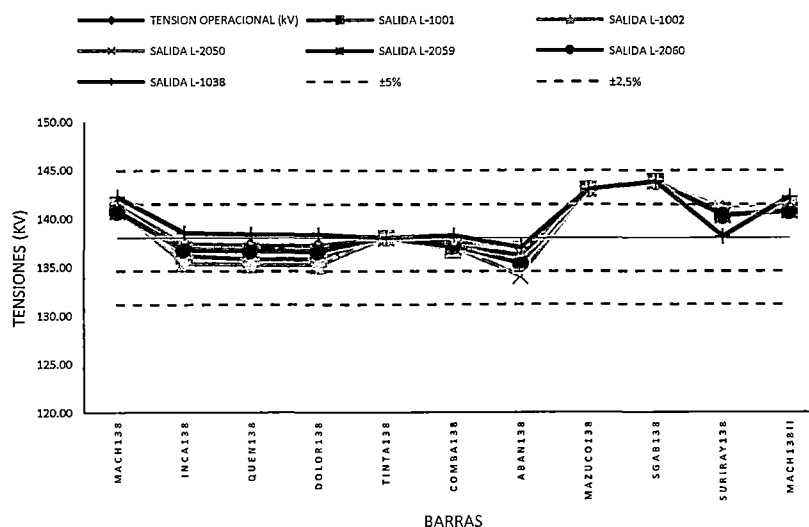
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ÉSTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2017

BARRA	TENSION KV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (KV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (KV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038	
MACH138	138	kV	141.29	140.86	141.04	141.24	140.73	140.69	142.20
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
INCA138	138	kV	137.38	136.10	135.30	136.67	136.86	136.75	138.51
		p.u.	1.00	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
QUEN138	138	kV	137.16	135.75	135.23	136.59	136.67	136.63	138.35
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
DOLOR138	138	kV	137.15	135.81	135.12	136.53	136.65	136.58	138.32
		p.u.	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.46	136.93	136.71	137.02	137.03	137.06	138.23
		p.u.	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
ABAN138	138	kV	137.07	136.80	136.32	134.03	136.16	135.32	136.95
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.97	0.99	0.98	0.99
MAZUCO138	138	kV	142.98	142.98	142.98	142.97	142.97	142.97	142.98
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SGAB138	138	kV	143.77	143.77	143.77	143.77	143.77	143.77	143.77
		p.u.	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
SURIRAY138	138	kV	140.95	140.53	140.70	141.00	140.28	140.26	138.10
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.00
MACH138II	138	kV	141.29	140.86	141.04	141.24	140.73	140.69	142.20
		p.u.	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03
SURIRAY220	220	kV	222.31	221.96	221.99	222.92	220.43	220.59	220.16
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
CÓTARUSE220	220	kV	222.03	221.93	221.92	221.25	221.03	221.63	221.66
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	219.96	219.47	219.37	214.45	218.33	216.40	218.71
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.98	0.99
QUILLAB	220	kV	222.53	222.18	222.21	223.14	220.65	220.81	220.38
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

GRÁFICO 5 . 30

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 KV)  
AÑO 2017

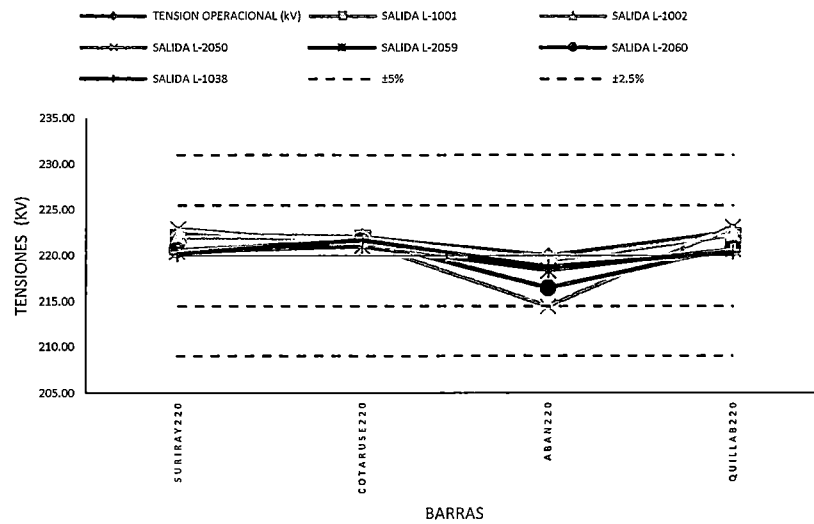


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5 . 31

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.





**CUADRO 5.27**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE – MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2017

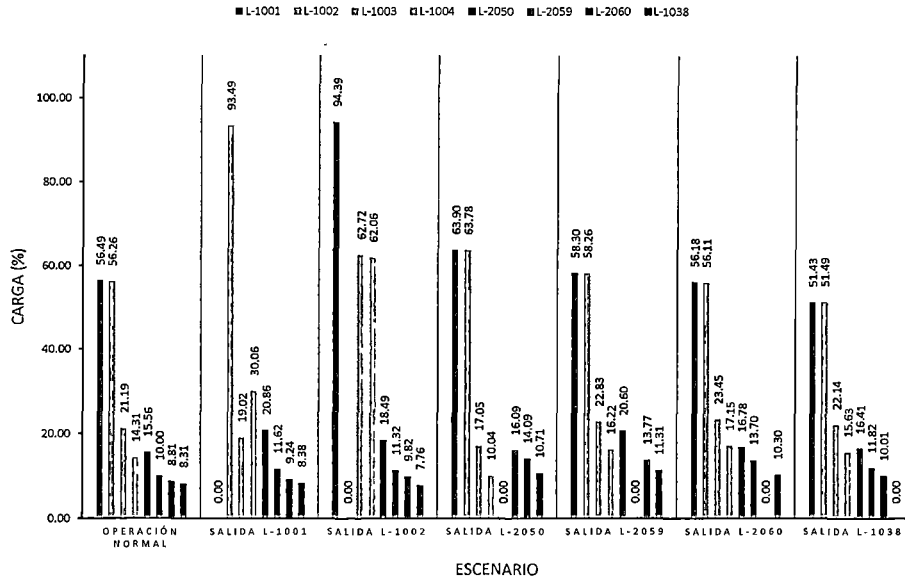
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	51.04	-49.28	56.49	210
L-1002	MACH138	QUEN138	45.90	-44.26	56.26	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	20.06	-20.02	21.19	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	11.31	-11.30	14.31	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	34.78	-34.67	15.56	100
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	18.44	-18.36	10.00	60
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	10.79	-10.76	8.81	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-6.94	6.94	8.31	80
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	77.52	-72.81	93.49	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	-14.41	14.44	19.02	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-23.15	23.19	30.06	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	49.60	-49.39	20.86	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	23.04	-22.91	11.62	70
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	10.57	-10.54	9.24	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	12.48	-12.47	8.38	80
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	85.59	-80.62	94.39	360
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	57.11	-56.71	62.72	250
L-1004	DOLOR138	QUEN138	48.00	-47.83	62.06	220
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	42.40	-42.24	18.49	120
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	22.17	-22.05	11.32	70
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	12.62	-12.58	9.82	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	4.41	-4.40	7.76	80
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	59.56	-57.28	63.90	250
L-1002	MACH138	QUEN138	52.74	-50.62	63.78	220
L-1003	INCA138	DOLOR138	15.93	-15.90	17.05	70
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.19	-7.19	10.04	30
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	37.84	-37.53	16.09	100
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-11.92	12.01	14.09	40
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-22.31	22.31	10.71	110
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	52.95	-51.07	58.30	220
L-1002	MACH138	QUEN138	47.64	-45.87	58.26	200
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.47	-21.42	22.83	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.71	-12.70	16.22	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	49.57	-49.37	20.60	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	25.85	-25.73	13.77	70
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-10.59	10.60	11.31	120
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	51.25	-49.51	56.18	210
L-1002	MACH138	QUEN138	45.94	-44.30	56.11	190
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.91	-21.85	23.45	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.14	-13.13	17.15	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	25.62	-25.50	16.78	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	27.35	-27.17	13.70	80
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-7.19	7.20	10.30	100
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	47.39	-45.93	51.43	200
L-1002	MACH138	QUEN138	42.60	-41.22	51.49	180
L-1003	INCA138	DOLOR138	21.03	-20.98	22.14	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.27	-12.26	15.63	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	39.71	-39.58	16.41	110
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	20.47	-20.36	11.82	60
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	11.36	-11.32	10.01	30
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.32

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2017



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.60^\circ$  (TCSC\_1) y  $56.80^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 56% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera con un ángulo de  $57.50^\circ$  consiguiendo incrementar la cantidad de potencia transmitida por la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera con un ángulo de  $56.80^\circ$  consiguiendo incrementar la cantidad de potencia transmitida por la línea L-1001. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.



- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.10^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 63% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.90^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.10^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 58% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.79^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.03^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 56% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.78^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.03^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un equilibrio de carga de 51% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.3. Análisis de Cargabilidad - Año 2018

En el cuadro 5.28 se muestra las tensiones de barra en el año 2018 en operación normal de las barras asociadas a las líneas L-1001 y L-1002, así como de las barras asociadas a la línea Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse 220 kV.

En el escenario del año 2018 se incluye a la línea Suriray - Quencoro - Onocora - Tintaya en 220 kV.

CUADRO 5. 28

TENSIONES DE BARRA EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE - MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC AÑO 2018

CASO	LINEA DE TRANSMISION	BARRAS		TENSION EN BARRAS						POTENCIA I			POTENCIA J			CARGA (%)	CORRIENTE I (Amp)	CAIDA DE TENSION I-J (%)
		i	j	Uij (kV)	ui (p.u.)	phiui (deg)	Uij (kV)	uj (p.u.)	phiuj (deg)	Pi (MW)	Qi (MVAR)	Si (MVA)	Pj (MW)	Qj (MVAR)	Sj (MVA)			
Avenida Máxima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	141.53	1.03	-37.06	136.04	0.99	-40.35	77.51	-13.74	78.72	-73.53	21.61	76.64	84.59	330	3.88
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	141.53	1.03	-37.06	136.17	0.99	-38.70	69.82	-11.12	70.70	-66.94	16.90	69.04	84.71	290	3.79
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.17	0.99	-38.70	136.09	0.99	-41.42	66.94	-16.89	69.04	-66.05	18.65	68.64	83.63	290	0.06
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.04	0.99	-40.35	135.79	0.98	-41.28	41.96	-8.14	42.74	-41.75	7.98	42.50	45.34	180	0.18
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	135.79	0.98	-41.28	136.09	0.99	-41.42	7.63	-11.83	14.07	-7.61	11.38	13.70	17.10	60	0.22
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	223.21	1.01	-38.01	219.77	1.00	-40.20	67.67	13.95	69.10	-67.29	-20.68	70.39	28.19	180	1.54
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	223.21	1.01	-38.01	222.91	1.01	-43.27	49.50	-18.86	52.97	-48.97	-9.17	49.83	20.88	130	0.13
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.77	1.00	-40.20	222.91	1.01	-43.27	40.02	-24.95	47.16	-39.77	5.10	40.10	18.89	100	1.43
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	141.53	1.03	-37.06	141.21	1.02	-37.23	25.63	15.30	29.85	-25.62	-16.02	30.22	11.81	120	0.23	
Avenida Mínima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	141.20	1.02	-37.35	136.61	0.99	-40.23	67.38	-18.76	69.94	-64.19	24.10	68.57	75.92	290	3.25
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	141.20	1.02	-37.35	136.48	0.99	-38.76	60.48	-16.11	62.59	-58.18	19.83	61.47	75.85	260	3.34
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.48	0.99	-38.76	136.85	0.99	-41.16	58.18	-19.83	61.47	-57.49	20.90	61.17	74.29	260	0.27
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.61	0.99	-40.23	136.67	0.99	-40.86	27.30	-10.01	29.07	-27.20	9.48	28.81	30.72	120	0.04
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.67	0.99	-40.86	136.85	0.99	-41.16	19.89	-11.45	22.95	-19.86	11.08	22.74	27.70	100	0.13
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	222.18	1.01	-39.35	219.45	1.00	-40.80	44.85	10.70	46.11	-44.68	-18.91	48.51	19.45	130	1.23
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	222.18	1.01	-39.35	221.34	1.01	-43.01	34.23	-16.88	38.17	-33.97	-13.12	36.41	15.12	90	0.38
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	219.45	1.00	-40.80	221.34	1.01	-43.01	28.80	-19.91	35.01	-28.67	-0.91	28.68	14.04	70	0.86
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	141.20	1.02	-37.35	140.77	1.02	-37.72	52.94	18.83	56.19	-52.90	-19.26	56.30	22.08	230	0.30	
Estiaje Máxima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	140.80	1.02	-33.62	135.11	0.98	-37.70	83.26	-11.14	84.00	-78.71	20.84	81.42	90.22	350	4.04
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	140.80	1.02	-33.62	135.40	0.98	-36.05	75.03	-7.97	75.46	-71.75	15.17	73.34	90.18	310	3.83
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	135.40	0.98	-36.05	135.06	0.98	-38.98	71.75	-15.17	73.34	-70.74	17.40	72.85	89.34	310	0.25
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	135.11	0.98	-37.70	134.79	0.98	-38.76	47.27	-8.22	47.98	-47.00	8.26	47.72	51.25	210	0.24
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	134.79	0.98	-38.76	135.06	0.98	-38.98	12.48	-12.36	17.56	-12.45	11.95	17.26	21.49	80	0.21
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	221.23	1.01	-34.12	217.89	0.99	-37.46	99.76	10.25	100.28	-98.95	-13.69	99.89	40.34	260	1.51
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	221.23	1.01	-34.12	222.57	1.01	-42.94	81.80	-22.11	84.74	-80.37	2.49	80.40	33.71	220	0.61
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	217.89	0.99	-37.46	222.57	1.01	-42.94	71.19	-30.83	77.58	-70.42	16.13	72.25	31.33	210	2.15
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	140.80	1.02	-33.62	140.40	1.02	-33.70	13.56	20.89	24.90	-13.55	-21.63	25.53	10.04	100	0.29	
Estiaje Mínima Demanda 2018	Línea L-1001	MACH138	INCA138	142.08	1.03	-35.94	136.72	0.99	-38.14	68.54	-19.35	71.22	-65.23	25.07	69.88	77.32	300	3.77
	Línea L-1002/1	MACH138	CAELP138	142.08	1.03	-35.94	136.45	0.99	-36.55	61.09	-17.71	63.60	-58.70	21.77	62.61	77.37	260	3.96
	Línea L-1002/2	CAELP138	QUEN138	136.45	0.99	-36.55	136.99	0.99	-38.99	58.70	-21.77	62.61	-57.98	22.94	62.35	75.69	260	0.39
	Línea L-1003	INCA138	DOLOR138	136.72	0.99	-38.14	136.80	0.99	-38.72	25.09	-9.69	26.90	-25.01	9.11	26.62	28.40	100	0.06
	Línea L-1004	DOLOR138	QUEN138	136.80	0.99	-38.72	136.99	0.99	-38.99	17.40	-11.19	20.69	-17.38	10.79	20.45	24.95	90	0.14
	Línea L-2050	SURIRAY220	ABAN220	223.14	1.01	-37.81	220.28	1.00	-39.39	49.49	11.34	50.77	-49.27	-19.37	52.94	21.15	130	1.29
	Línea L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	223.14	1.01	-37.81	222.40	1.01	-42.16	40.99	-17.54	44.59	-40.63	-11.83	42.32	17.58	120	0.33
	Línea L-2060	ABAN220	COTARUSE220	220.28	1.00	-39.39	222.40	1.01	-42.16	36.34	-21.30	42.12	-36.14	0.95	36.15	16.83	110	0.96
Línea L-1038	MACH138II	SURIRAY138	142.08	1.03	-35.94	141.60	1.03	-36.28	50.15	21.89	54.72	-50.12	-22.36	54.88	21.39	220	0.33	

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent





En el cuadro 5.28 se puede observar que tanto en época de avenida y estiaje, en los escenarios de máxima y mínima demanda, las tensiones de barra se encuentran dentro de los límites establecidos y que las caídas de tensión entre barras  $i$  y  $j$  están por debajo del 5%.

También se observa que ninguna línea opera con sobrecarga y que hubo un incremento de la cantidad de potencia transmitida por las líneas L-1001 y L-1002.

Ahora bien, para el año 2018, también se desarrolla el análisis de contingencias con las salidas de las líneas L-1001 y L-1002, así como con la salida de la nueva línea, esto para ver cuál es el comportamiento del sistema en condiciones críticas y de qué manera esto afectaría su funcionamiento.

#### **5.5.3.2.3.1. Análisis de contingencias en época de avenida con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2018**

##### **5.5.3.2.3.1.1. Máxima Demanda**

Los cuadros 5.29 y 5.30 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.33 y 5.34 (perfiles de tensión) y en el gráfico 5.35 (cargabilidad de las líneas).

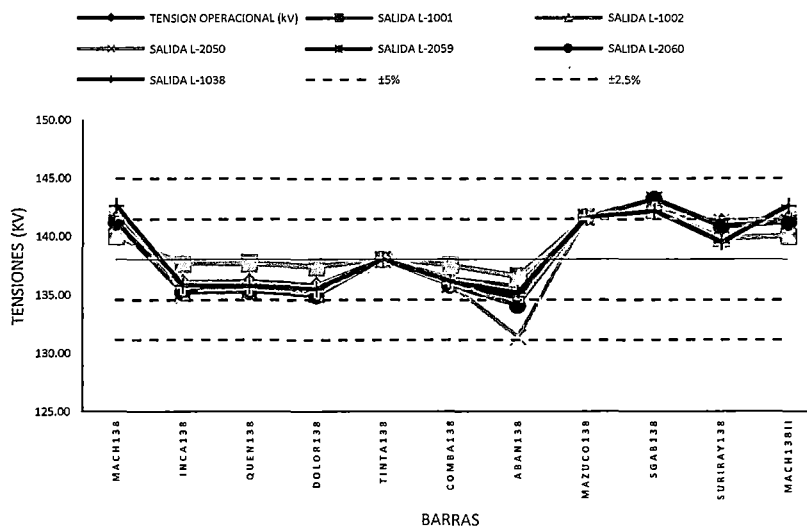


**CUADRO 5.29**  
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC  
AÑO 2018

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038	
MACH138	138	kV	141.53	139.97	140.07	141.44	141.18	141.14	142.56
		p.u.	1.03	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03
INCA138	138	kV	136.04	137.60	137.66	134.94	135.32	135.15	135.77
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98
QUEN138	138	kV	136.09	137.72	137.58	135.34	135.37	135.27	135.73
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98
DOLOR138	138	kV	135.79	137.43	137.32	134.91	135.06	134.93	135.46
		p.u.	0.98	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	136.39	137.55	137.48	135.89	135.83	135.78	136.09
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.99
ABAN138	138	kV	135.68	136.60	136.47	131.33	134.76	134.08	135.15
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.95	0.98	0.97	0.98
MAZUCO138	138	kV	141.59	141.61	141.61	141.56	141.56	141.56	141.58
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.14	142.16	142.16	142.12	143.11	143.11	142.14
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	141.21	139.74	139.84	141.20	140.80	140.76	139.42
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.01
MACH138II	138	kV	141.53	139.97	140.07	141.44	141.18	141.14	142.56
		p.u.	1.03	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03
SURIRAY220	220	kV	223.21	222.68	222.73	223.53	222.03	222.04	222.26
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01
COTARUSE220	220	kV	222.91	222.85	222.86	221.71	221.85	222.60	222.71
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
ABAN220	220	kV	219.77	219.55	219.64	212.38	218.28	216.51	219.10
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.98	1.00
QUILLAB	220	kV	223.26	222.93	222.96	223.46	222.52	222.53	222.67
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

**GRÁFICO 5.33**  
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2018

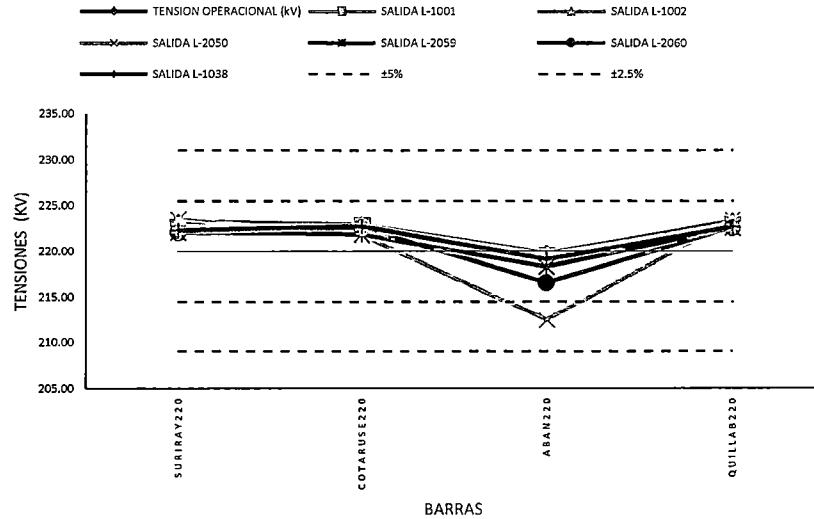


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5.34

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVO TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 5.30**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA – MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2018

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.51	-73.53	84.59	330
L-1002	MACH138	QUEN138	69.82	-66.05	84.71	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	41.96	-41.75	45.34	180
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.63	-7.61	17.10	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	67.67	-67.29	28.19	180
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	49.50	-48.97	20.88	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	40.02	-39.77	18.89	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	25.63	-25.62	11.81	120
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	70.15	-66.50	82.37	290
L-1003	INCA138	DOLOR138	-8.26	8.27	10.96	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-42.39	42.50	51.02	180
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	93.85	-93.14	37.72	250
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	59.61	-58.85	24.85	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	42.48	-42.20	19.87	110
L-1038	MACH138	SURIRAY138	102.82	-102.70	40.59	420
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	77.53	-73.72	82.70	320
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	56.38	-56.01	60.13	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	21.89	-21.85	31.57	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	86.59	-85.98	34.94	230
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	58.72	-57.98	24.50	150
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	44.54	-44.23	20.55	120
L-1038	MACH138	SURIRAY138	95.44	-95.33	37.66	390
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	88.89	-83.86	94.79	370
L-1002	MACH138	QUEN138	78.42	-73.68	94.89	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	30.38	-30.26	33.91	130
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-3.86	3.87	16.05	50
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	76.58	-75.35	30.73	200
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-5.98	6.13	17.15	60
L-1038	MACH138	SURIRAY138	5.65	-5.65	5.61	60
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	82.02	-77.57	89.23	340
L-1002	MACH138	QUEN138	73.79	-69.59	89.21	310
L-1003	INCA138	DOLOR138	44.12	-43.89	47.95	190
L-1004	DOLOR138	QUEN138	9.77	-9.75	19.34	70
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	93.99	-93.26	38.29	250
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	67.89	-67.21	29.46	180
L-1038	MACH138	SURIRAY138	17.17	-17.16	10.43	110
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	79.68	-75.47	86.83	86.83
L-1002	MACH138	QUEN138	71.92	-67.94	86.88	300
L-1003	INCA138	DOLOR138	48.67	-48.39	53.24	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	14.27	-14.24	25.14	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	32.17	-31.97	21.34	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	72.00	-70.89	29.69	180
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	21.37	-21.36	11.43	120
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	90.93	-85.60	97.56	380
L-1002	MACH138	QUEN138	82.03	-76.99	97.65	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	47.79	-47.52	51.63	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	13.40	-13.38	22.38	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	59.71	-59.40	25.14	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	45.76	-45.30	19.84	120
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	38.31	-38.07	18.67	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

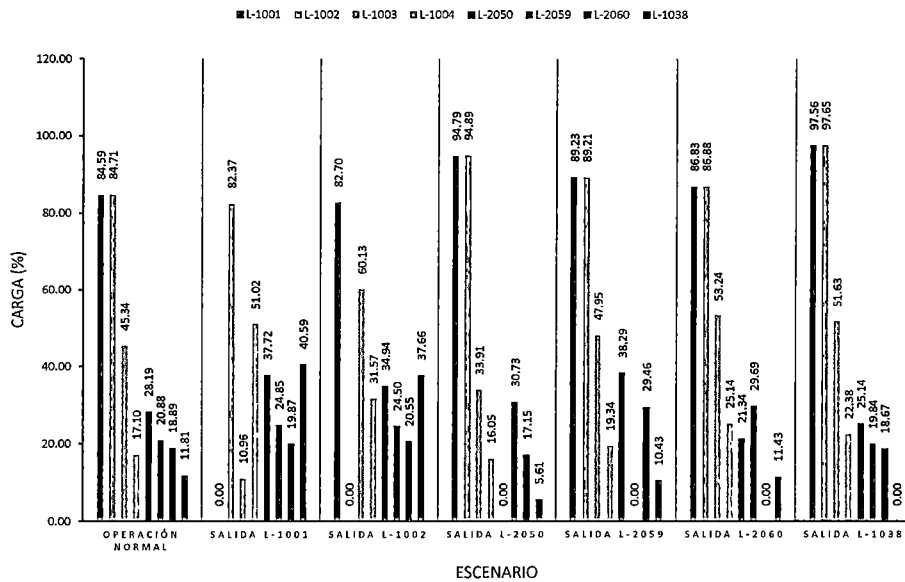
FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent





GRÁFICO 5.35

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis de la misma manera que en los puntos anteriores, tanto en operación normal como en contingencias:

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.77^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.04^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 84% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass para evitar que la línea L-1002 sufra sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** Al igual que el caso anterior, el dispositivo TCSC opera en modo Bypass, así de esta manera se evita que la línea L-1001 sufra sobrecarga. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las



tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.15^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 94% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.80^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.09^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 89% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.58^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.00^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 86% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.59^\circ$  (TCSC\_1) y  $56.89^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un equilibrio de carga de 97% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.3.1.2. Mínima Demanda

Los cuadros 5.31 y 5.32 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.36 y 5.37 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.38 (cargabilidad de las líneas).



CUADRO 5.31

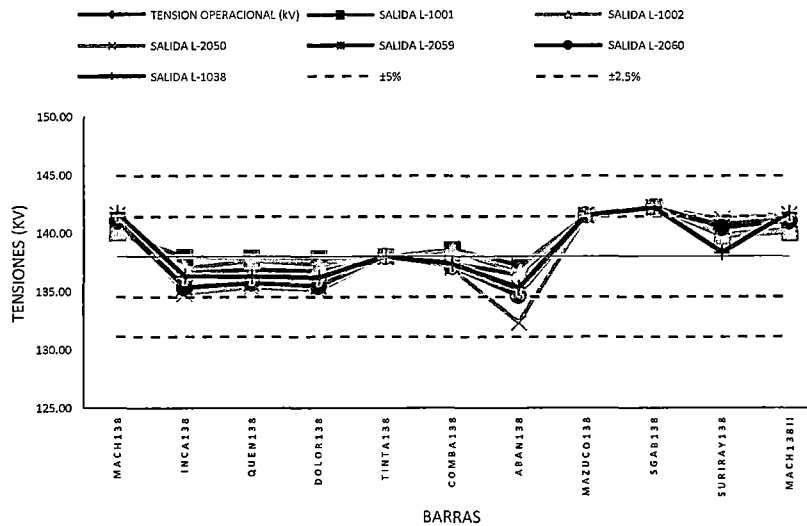
TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2018

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CONSALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	141.20	140.06	140.26	141.62	141.06	140.98	141.70
		p.u.	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.02	1.03
INCA138	138	kV	136.61	137.99	136.97	134.86	135.37	135.31	136.29
		p.u.	0.99	1.00	0.99	0.98	0.98	0.98	0.99
QUEN138	138	kV	136.85	137.88	137.61	135.39	135.68	135.70	136.28
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.99
DOLOR138	138	kV	136.67	137.87	137.24	135.10	135.47	135.45	136.18
		p.u.	0.99	1.00	0.99	0.98	0.98	0.98	0.99
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.44	138.56	138.43	136.95	137.08	137.09	137.32
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
ABAN138	138	kV	136.42	137.26	136.62	132.33	135.28	134.69	135.34
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.96	0.98	0.98	0.98
MAZUCO138	138	kV	141.51	141.52	141.52	141.49	141.49	141.49	141.50
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.20	142.21	142.21	142.19	142.18	142.19	142.19
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	140.77	139.71	139.89	141.21	140.52	140.45	138.30
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.00
MACH138II	138	kV	141.20	140.06	140.26	141.62	141.06	140.98	141.70
		p.u.	1.02	1.01	1.02	1.03	1.02	1.02	1.03
SURIRAY220	220	kV	222.18	221.80	221.79	222.68	220.88	220.92	220.49
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	221.34	221.31	221.29	220.35	220.25	220.88	220.95
		p.u.	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
ABAN220	220	kV	219.45	219.42	219.24	212.73	217.95	216.35	218.20
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.98	0.99
QUILLAB	220	kV	222.40	222.02	222.01	222.90	221.10	221.14	220.70
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

GRÁFICO 5.36

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2018

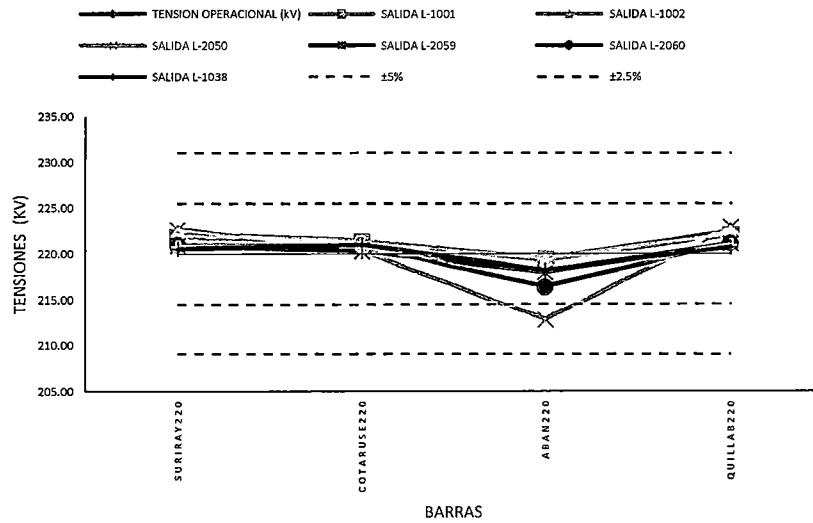


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5.37

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



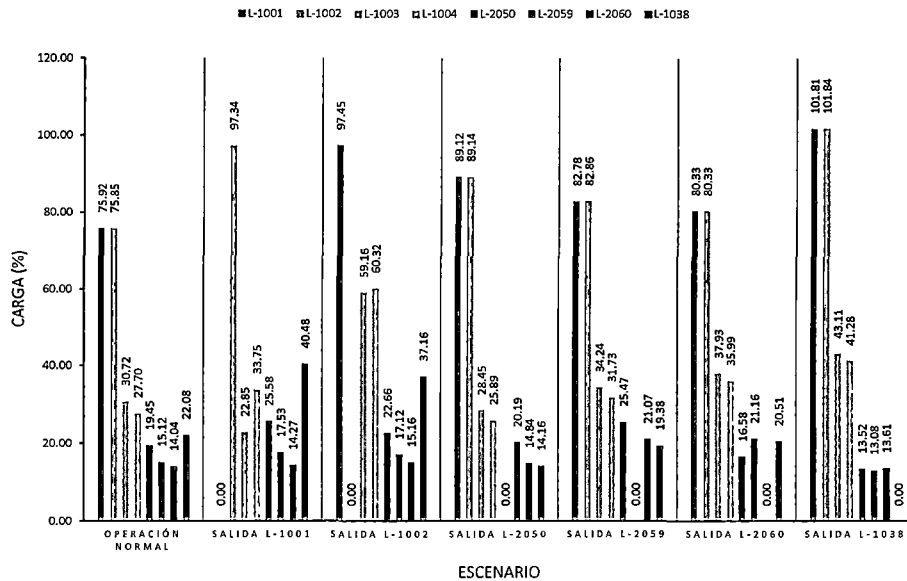
**CUADRO 5.32**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA – MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2018

OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	67.38	-64.19	75.92	290
L-1002	MACH138	QUEN138	60.48	-57.49	75.85	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	27.30	-27.20	30.72	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	19.89	-19.86	27.70	100
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	44.85	-44.68	19.45	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	34.23	-33.97	15.12	90
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	28.80	-28.67	14.04	70
L-1038	MACH138	SURIRAY138	52.94	-52.90	22.08	230
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	78.74	-73.78	97.34	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	-19.81	19.86	22.85	90
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-27.17	27.22	33.75	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	62.72	-62.39	25.58	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	40.39	-40.03	17.53	120
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	29.46	-29.33	14.27	90
L-1038	MACH138	SURIRAY138	102.06	-101.94	40.48	420
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	87.33	-82.05	97.45	370
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	51.84	-51.49	59.16	240
L-1004	DOLOR138	QUEN138	44.18	-44.01	60.32	210
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	54.40	-54.15	22.66	140
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	39.27	-38.94	17.12	110
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	31.65	-31.50	15.16	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	93.47	-93.37	37.16	390
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	81.20	-76.77	89.12	340
L-1002	MACH138	QUEN138	69.74	-65.60	89.14	310
L-1003	INCA138	DOLOR138	23.56	-23.48	28.45	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	16.17	-16.15	25.89	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	49.16	-48.64	20.19	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	-0.05	0.15	14.84	100
L-1038	MACH138	SURIRAY138	29.86	-29.84	14.16	150
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	73.27	-69.47	82.78	320
L-1002	MACH138	QUEN138	65.89	-62.31	82.86	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	29.94	-29.82	34.24	140
L-1004	DOLOR138	QUEN138	22.51	-22.47	31.73	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	60.90	-60.59	25.47	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	47.27	-46.94	21.07	140
L-1038	MACH138	SURIRAY138	41.64	-41.61	19.38	200
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	71.04	-67.46	80.33	310
L-1002	MACH138	QUEN138	64.12	-60.75	80.33	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	32.97	-32.82	37.93	150
L-1004	DOLOR138	QUEN138	25.52	-25.46	35.99	130
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	18.41	-18.30	16.58	90
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	49.55	-49.02	21.16	140
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	45.65	-45.62	20.51	210
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	95.14	-89.34	101.81	390
L-1002	MACH138	QUEN138	85.66	-80.17	101.84	350
L-1003	INCA138	DOLOR138	39.39	-39.20	43.11	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	31.90	-31.82	41.28	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	28.42	-28.33	13.52	80
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	26.46	-26.30	13.08	90
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	25.18	-25.07	13.61	90
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.38  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE AVENIDA - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis:

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.63^\circ$  (TCSC\_1) y  $56.90^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 75% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera con un ángulo de disparo de  $60.10^\circ$ , logrando incrementar la cantidad de potencia transmitida por la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera con un ángulo de disparo de  $58.70^\circ$ , logrando incrementar la cantidad de potencia transmitida por la línea L-1001. No existe



sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.10^\circ$  (TCSC\_1) y  $56.15^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 89% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.22^\circ$  (TCSC\_1) y  $56.50^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 82% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $56.16^\circ$  (TCSC\_1) y  $56.53^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 80% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.39^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.65^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un equilibrio de carga de 101% en cada línea, provocándose una pequeña sobrecarga en las líneas. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.3.2. Análisis de contingencias en época de estiaje con la incorporación de dispositivos TCSC - Año 2018

##### 5.5.3.2.3.2.1. Máxima Demanda

Los cuadros 5.33 y 5.34 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima



demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.39 y 5.40 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.41 (cargabilidad de las líneas).

CUADRO 5.33

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2018

BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	140.80	139.32	139.43	140.21	140.21	140.15	141.92
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03
INCA138	138	kV	135.11	136.00	136.14	134.04	133.77	133.88	135.38
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.98
QUEN138	138	kV	135.06	136.15	136.01	134.36	133.67	133.81	135.19
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.98
DOLOR138	138	kV	134.79	135.84	135.75	133.96	133.40	133.52	134.97
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	137.73	137.81	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	135.46	136.40	136.35	134.97	134.21	134.33	135.47
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.98
ABAN138	138	kV	134.58	135.15	135.05	130.27	132.89	132.67	134.24
		p.u.	0.98	0.98	0.98	0.94	0.96	0.96	0.97
MAZUCO138	138	kV	141.84	141.86	141.86	141.80	141.76	141.77	141.84
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.43	142.44	142.45	142.39	142.35	142.36	142.42
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	140.40	138.97	139.08	139.90	139.72	139.67	138.08
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
MACH138II	138	kV	140.80	139.32	139.43	140.21	140.21	140.15	141.92
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03
SURIRAY220	220	kV	221.23	220.49	220.55	220.88	219.39	219.52	220.13
		p.u.	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COTARUSE220	220	kV	222.57	222.39	222.41	221.27	221.47	222.24	222.36
		p.u.	0.98	0.99	0.99	0.97	0.97	0.97	0.98
ABAN220	220	kV	217.89	217.32	217.45	211.34	215.31	214.02	217.20
		p.u.	0.99	0.99	0.99	0.96	0.98	0.97	0.99
QUILLAB	220	kV	222.08	221.62	221.65	221.86	220.92	221.00	221.39
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01

FUENTE: Elaboración propia mediante software DigSilent

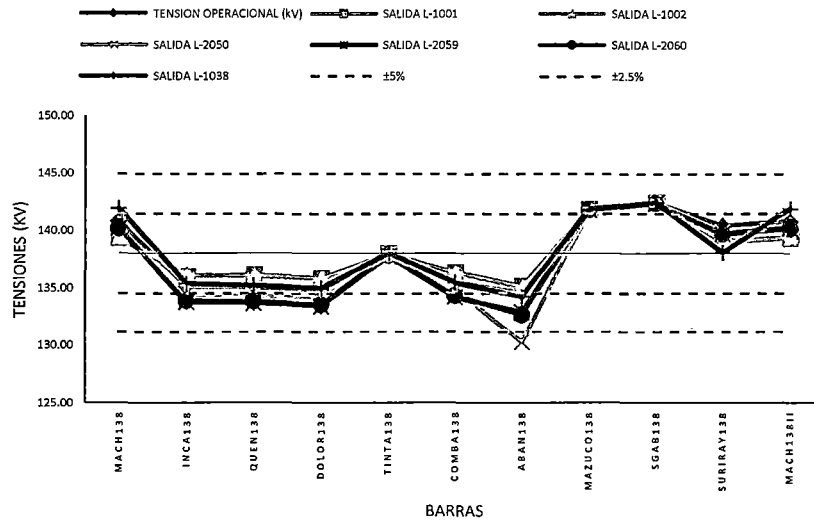
**Nota:** Los valores de color rojo son los que no cumplen con el límite de tensión del  $\pm 5\%$  de la tensión nominal.





GRÁFICO 5 . 39

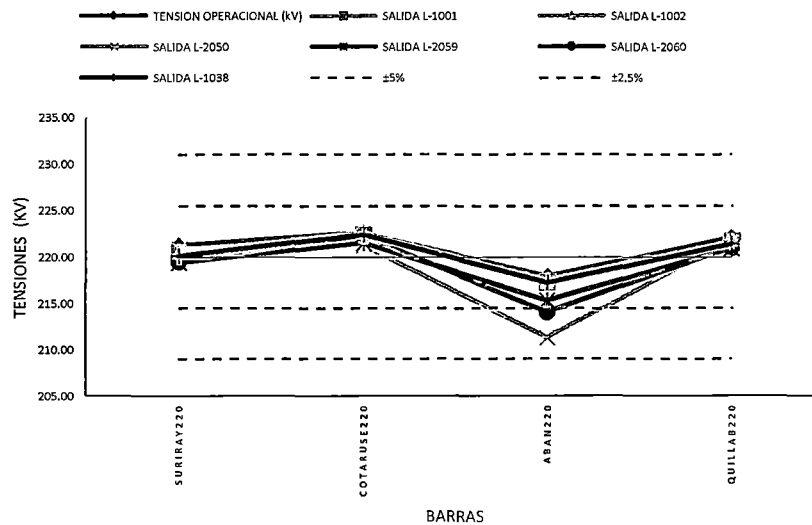
PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

GRÁFICO 5 . 40

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Los límites de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por los límites de color rojo.



**CUADRO 5.34**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE – MÁXIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2018

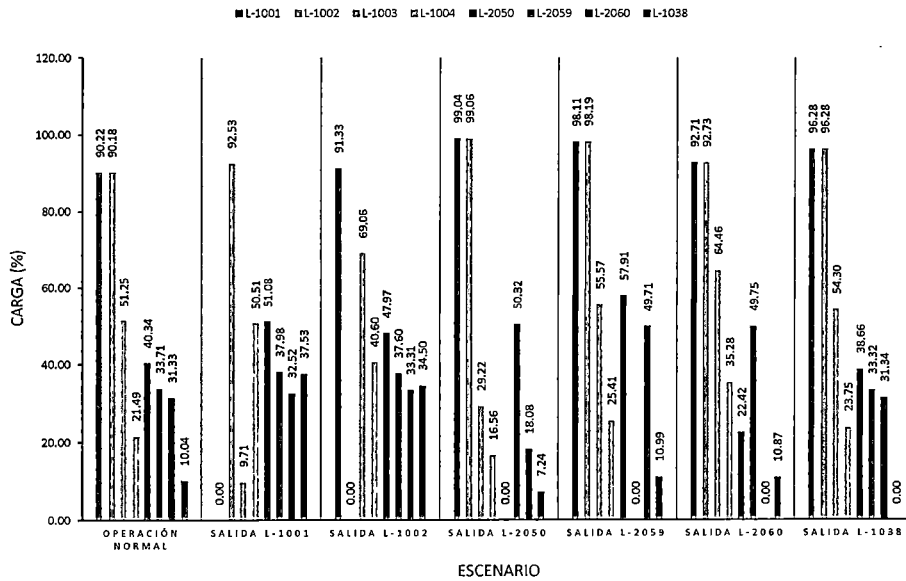
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	83.26	-78.71	90.22	350
L-1002	MACH138	QUEN138	75.03	-70.74	90.18	310
L-1003	INCA138	DOLOR138	47.27	-47.00	51.25	210
L-1004	DOLOR138	QUEN138	12.48	-12.45	21.49	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	99.76	-98.95	40.34	260
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	81.80	-80.37	33.71	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	71.19	-70.42	31.33	210
L-1038	MACH138	SURIRAY138	13.56	-13.55	10.04	100
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	77.87	-73.35	92.53	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	-7.00	7.01	9.71	40
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-41.53	41.64	50.51	180
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	127.28	-125.97	51.08	330
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	92.42	-90.58	37.98	250
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	73.65	-72.82	32.52	210
L-1038	MACH138	SURIRAY138	93.97	-93.87	37.53	390
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	85.59	-80.93	91.33	350
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	64.07	-63.59	69.06	280
L-1004	DOLOR138	QUEN138	29.07	-28.99	40.60	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	119.42	-118.26	47.97	310
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	91.47	-89.67	37.60	250
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	75.95	-75.08	33.31	220
L-1038	MACH138	SURIRAY138	86.25	-86.16	34.50	360
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	93.15	-87.63	99.04	380
L-1002	MACH138	QUEN138	82.97	-77.77	99.06	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	26.25	-26.16	29.22	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-8.36	8.37	16.56	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	125.27	-121.93	50.32	330
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	1.10	-0.93	18.08	120
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-4.26	4.27	7.24	80
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	90.85	-85.46	98.11	380
L-1002	MACH138	QUEN138	81.92	-76.81	98.19	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	50.79	-50.48	55.57	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.95	-15.92	25.41	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	143.04	-141.35	57.91	380
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	116.72	-114.70	49.71	330
L-1038	MACH138	SURIRAY138	-0.93	0.93	10.99	110
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MVA)	Sj (MVA)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	85.71	-80.90	92.71	360
L-1002	MACH138	QUEN138	77.53	-72.97	92.73	320
L-1003	INCA138	DOLOR138	58.78	-58.35	64.46	260
L-1004	DOLOR138	QUEN138	23.83	-23.77	35.28	120
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	37.30	-37.08	22.42	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	122.18	-118.96	49.75	330
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	8.61	-8.60	10.87	110
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	90.38	-85.18	96.28	370
L-1002	MACH138	QUEN138	81.47	-76.55	96.28	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	50.39	-50.09	54.30	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	15.57	-15.55	23.75	80
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	95.51	-94.76	38.66	250
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	79.79	-78.41	33.32	220
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	70.29	-69.53	31.34	210
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.41

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÁXIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis:

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.34^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.67^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 90% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera en su modo Bypass, esto para evitar que exista sobrecarga en la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera en su modo Bypass, esto para evitar que exista sobrecarga en la línea L-1001. No existe sobrecarga en las demás



líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $60.86^\circ$  (TCSC\_1) y  $59.91^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 99% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE a excepción de la barra ABAN138 que opera por debajo del límite establecido.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.31^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.68^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 98% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.15^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.81^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 92% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.22^\circ$  (TCSC\_1) y  $58.58^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un equilibrio de carga de 96% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

#### 5.5.3.2.3.2.2. Mínima Demanda

Los cuadros 5.35 y 5.36 muestran las tensiones de barra y cargabilidad de las líneas en operación normal y contingencias en el escenario de máxima demanda. Estos resultados se aprecian de mejor manera en los gráficos 5.42 y 5.43 (perfiles de tensión) y en el grafico 5.44 (cargabilidad de las líneas).



CUADRO 5 . 35

TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC

AÑO 2018

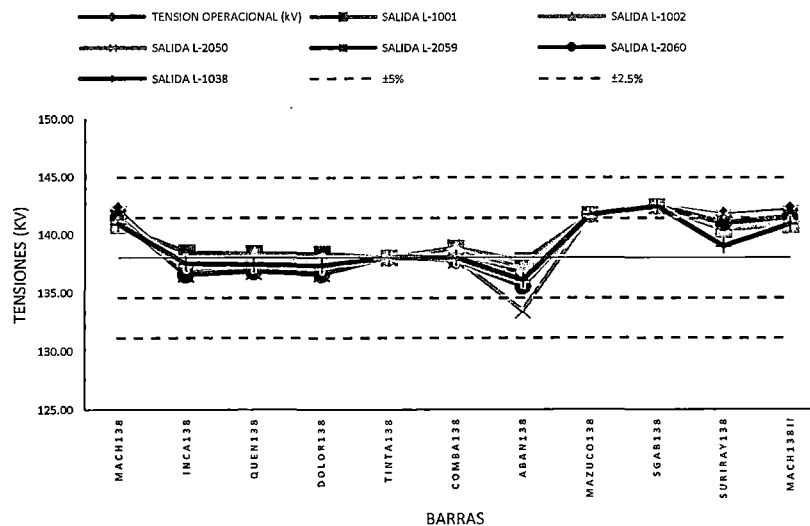
BARRA	TENSION kV	UNIDAD	TENSION OPERACIONAL (kV)	TENSION CON SALIDA DE LINEAS (kV)					
				SALIDA L-1001	SALIDA L-1002	SALIDA L-2050	SALIDA L-2059	SALIDA L-2060	SALIDA L-1038
MACH138	138	kV	142.08	140.81	140.99	141.84	141.50	141.44	140.88
		p.u.	1.03	1.02	1.02	1.03	1.03	1.02	1.02
INCA138	138	kV	136.72	138.46	137.52	136.57	136.58	136.52	137.46
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
QUEN138	138	kV	136.99	138.35	138.17	137.04	136.80	136.80	137.39
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
DOLOR138	138	kV	136.80	138.34	137.80	136.78	136.62	136.60	137.32
		p.u.	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
TINTA138	138	kV	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00	138.00
		p.u.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
COMBA138	138	kV	137.94	138.84	138.76	137.92	137.72	137.71	137.97
		p.u.	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
ABAN138	138	kV	136.71	137.73	137.11	133.45	136.01	135.52	136.07
		p.u.	0.99	1.00	0.99	0.97	0.99	0.98	0.99
MAZUCO138	138	kV	141.67	141.68	141.68	141.66	141.65	141.66	141.67
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SGAB138	138	kV	142.42	142.42	142.43	142.40	142.40	142.40	142.41
		p.u.	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
SURIRAY138	138	kV	141.60	140.44	140.60	141.48	140.98	140.94	138.98
		p.u.	1.03	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01
MACH138II	138	kV	142.08	140.81	140.99	141.84	141.50	141.44	140.88
		p.u.	1.03	1.02	1.02	1.03	1.03	1.02	1.02
SURIRAY220	220	kV	223.14	222.79	222.78	223.56	221.81	221.88	221.55
		p.u.	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01
COTARUSE220	220	kV	222.40	222.39	222.37	221.48	221.32	221.94	222.06
		p.u.	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
ABAN220	220	kV	220.28	220.34	220.16	214.24	218.87	217.42	219.28
		p.u.	1.00	1.00	1.00	0.97	0.99	0.99	1.00
QUILLAB	220	kV	223.37	223.01	223.00	223.78	222.08	222.10	221.77
		p.u.	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01

FUENTE: Elaboración propia mediante software DieSilent

GRÁFICO 5 . 42

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 138 kV)

AÑO 2018

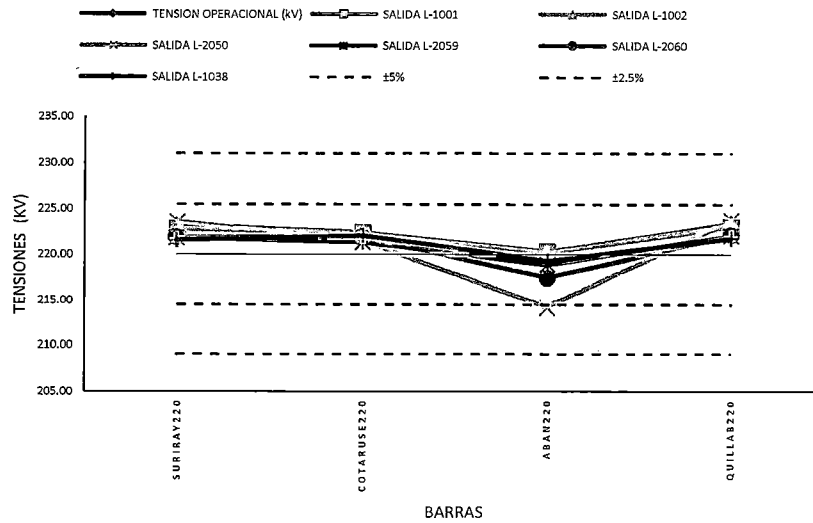


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5.43

PERFIL DE TENSIONES DE BARRA EN EL ESCENARIO DE ÉSTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC (BARRAS 220 kV)  
 Año 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

**Nota:** Las marcas verticales de color celeste indican el límite de tensión definido por la NTCSE ( $\pm 5\%$ ). También se considera el límite de tensión en operación en tiempo real ( $\pm 2.5\%$ ), definido por las marcas de color rojo.



**CUADRO 5.36**  
CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE – MÍNIMA DEMANDA EN OPERACIÓN NORMAL Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2018

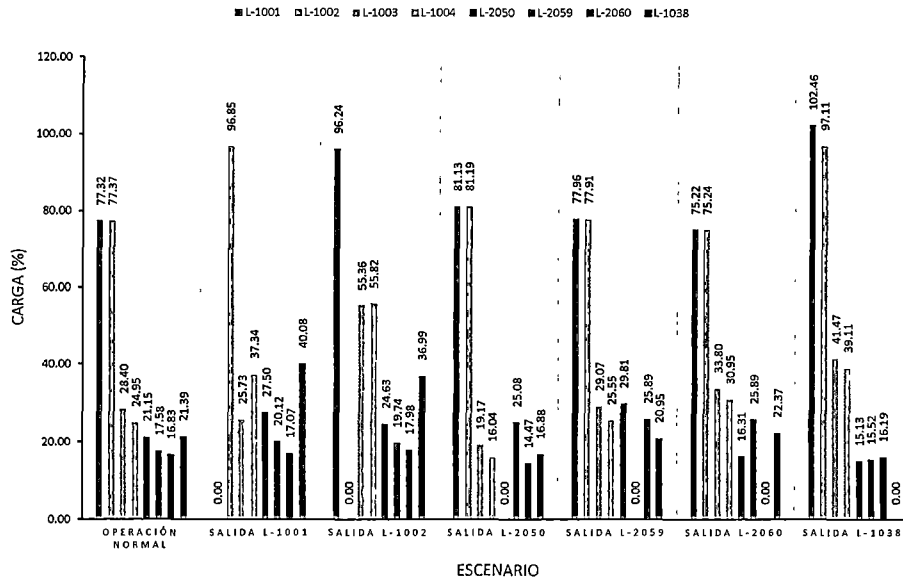
OPERACION NORMAL						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	68.54	-65.23	77.32	300
L-1002	MACH138	QUEN138	61.09	-57.98	77.37	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	25.09	-25.01	28.40	110
L-1004	DOLOR138	QUEN138	17.40	-17.38	24.95	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	49.49	-49.27	21.15	130
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	40.99	-40.63	17.58	120
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	36.34	-36.14	16.83	110
L-1038	MACH138	SURIRAY138	50.15	-50.12	21.39	220
SALIDA L-1001						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	0.00	0.00	0.00	0
L-1002	MACH138	QUEN138	78.35	-73.45	96.85	330
L-1003	INCA138	DOLOR138	-22.51	22.58	25.73	100
L-1004	DOLOR138	QUEN138	-30.19	30.25	37.34	130
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	67.99	-67.62	27.50	180
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	47.47	-46.98	20.12	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	37.18	-36.97	17.07	110
L-1038	MACH138	SURIRAY138	101.43	-101.31	40.08	420
SALIDA L-1002						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	86.42	-81.27	96.24	370
L-1002	MACH138	QUEN138	0.00	0.00	0.00	0
L-1003	INCA138	DOLOR138	48.50	-48.19	55.36	220
L-1004	DOLOR138	QUEN138	40.58	-40.44	55.82	200
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	59.88	-59.58	24.63	160
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	46.44	-45.97	19.74	130
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	39.39	-39.16	17.98	120
L-1038	MACH138	SURIRAY138	93.37	-93.27	36.99	390
SALIDA L-2050						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	74.92	-71.25	81.13	310
L-1002	MACH138	QUEN138	65.05	-61.61	81.19	280
L-1003	INCA138	DOLOR138	15.54	-15.51	19.17	80
L-1004	DOLOR138	QUEN138	7.90	-7.89	16.04	60
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	0.00	0.00	0.00	0
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	62.00	-61.19	25.08	160
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	2.19	-2.10	14.47	90
L-1038	MACH138	SURIRAY138	39.81	-39.79	16.88	180
SALIDA L-2059						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	70.01	-66.64	77.96	300
L-1002	MACH138	QUEN138	62.50	-59.34	77.91	270
L-1003	INCA138	DOLOR138	25.90	-25.81	29.07	120
L-1004	DOLOR138	QUEN138	18.20	-18.17	25.55	90
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	72.87	-72.43	29.81	190
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	60.07	-59.55	25.89	170
L-1038	MACH138	SURIRAY138	47.27	-47.24	20.95	220
SALIDA L-2060						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	67.38	-64.25	75.22	290
L-1002	MACH138	QUEN138	60.55	-57.60	75.24	260
L-1003	INCA138	DOLOR138	29.96	-29.85	33.80	140
L-1004	DOLOR138	QUEN138	22.24	-22.20	30.95	110
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	18.84	-18.73	16.31	90
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	62.27	-61.44	25.89	170
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	0.00	0.00	0.00	0
L-1038	MACH138	SURIRAY138	51.86	-51.82	22.37	230
SALIDA L-1038						
LINEA	BARRAS		Si (MW)	Sj (MW)	CARGA (%)	CORRIENTE (A)
	i	j				
L-1001	MACH138	INCA138	97.07	-91.20	102.46	400
L-1002	MACH138	QUEN138	82.71	-77.72	97.11	340
L-1003	INCA138	DOLOR138	38.37	-38.20	41.47	170
L-1004	DOLOR138	QUEN138	30.59	-30.52	39.11	140
L-2050	SURIRAY220	ABAN220	33.66	-33.56	15.13	90
L-2059	SURIRAY220	COTARUSE220	33.57	-33.31	15.52	100
L-2060	ABAN220	COTARUSE220	32.96	-32.79	16.19	110
L-1038	MACH138	SURIRAY138	0.00	0.00	0.00	0

FUENTE:  
Elaboración propia mediante software DigSilent



GRÁFICO 5.44

CARGABILIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN EL ESCENARIO DE ESTIAJE - MÍNIMA DEMANDA EN CONDICIONES NORMALES Y CONTINGENCIAS CON LA INCORPORACIÓN DE DISPOSITIVOS TCSC AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

Realizando el análisis:

- **Operación Normal.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.32^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.52^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 77% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1001.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera con un ángulo de disparo de  $60.50^\circ$ , logrando incrementar la cantidad de potencia transmitida por la línea L-1002. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1002.-** Durante la salida de esta línea, el dispositivo TCSC opera con un ángulo de disparo de  $59.50^\circ$ , logrando incrementar la cantidad de potencia transmitida por la línea L-1001. No existe





sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

- **Salida línea L-2050.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $58.06$  (TCSC\_1) y  $57.90^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 81% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2059.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.73^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.93^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 77% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-2060.-** En este escenario, los ángulos definidos son  $57.62^\circ$  (TCSC\_1) y  $57.95^\circ$  (TCSC\_2), logrando de esta manera un incremento en la cantidad de potencia transmitida por la líneas y un equilibrio de carga de 75% en cada línea. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.
- **Salida línea L-1038.-** En este escenario, los dispositivos TCSC operan en su modo Bypass, esto para evitar que haya mayores sobrecargas en las líneas. No existe sobrecarga en las demás líneas y todas las tensiones de barra se encuentran dentro del margen establecido por la NTCSE.

Como se puede apreciar, en los diferentes análisis desarrollados en las diferentes épocas y escenarios de cada año, la instalación de los dispositivos TCSC ayuda notablemente a incrementar la capacidad de transporte de potencia a través de las líneas donde son instalados, además que brindan la facilidad de realizar un balance de carga en las líneas gracias a su capacidad de operación según el ángulo de disparo con el que operen.



También es necesario señalar que debido al incremento de carga por las líneas y la fragilidad del sistema, se vio la necesidad de instalar un banco de condensadores en Shunt en la barra INCA138 para poder mantener dentro de los límites las tensiones de barra.

Son durante el año 2015 (época de avenida), 2016 y 2018 donde se aprecia en gran manera la mejora que aportan los TCSC y el banco en Shunt, dado que es en estos años donde el sistema es menos frágil.

El año 2015 (época de estiaje) presenta severas caídas de tensión durante escenarios de contingencias ya que aún no se cuenta con la operación de la línea de transmisión Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV.

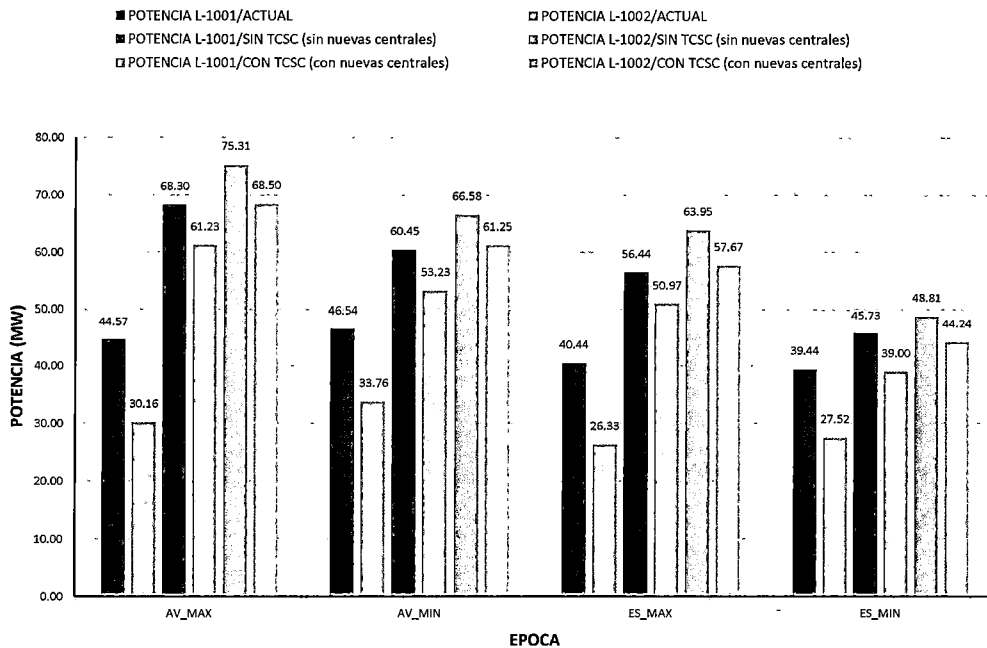
El año 2017 también presenta fuertes caídas de tensión durante los escenarios de contingencias debido a que en este año entraran en operación nuevos centros de generación y que la línea de transmisión Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya en 220 kV se encuentra retrasada.

En el gráfico 5.45 se puede apreciar el aumento de transmisión de potencia a través de las líneas con el ingreso de las dos nuevas centrales de generación, y como esta transmisión se ve incrementada con el uso de los dispositivos TCSC.



GRÁFICO 5.45

COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE POTENCIA TRANSMITIDOS POR LA LÍNEAS L-1001 Y L-1002 EN OPERACIÓN ACTUAL, CON EL INGRESO DE LAS NUEVAS CENTRALES DE GENERACIÓN (MACHUPICCHU 2DA. FASE Y SANTA TERESA) Y CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC.



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel

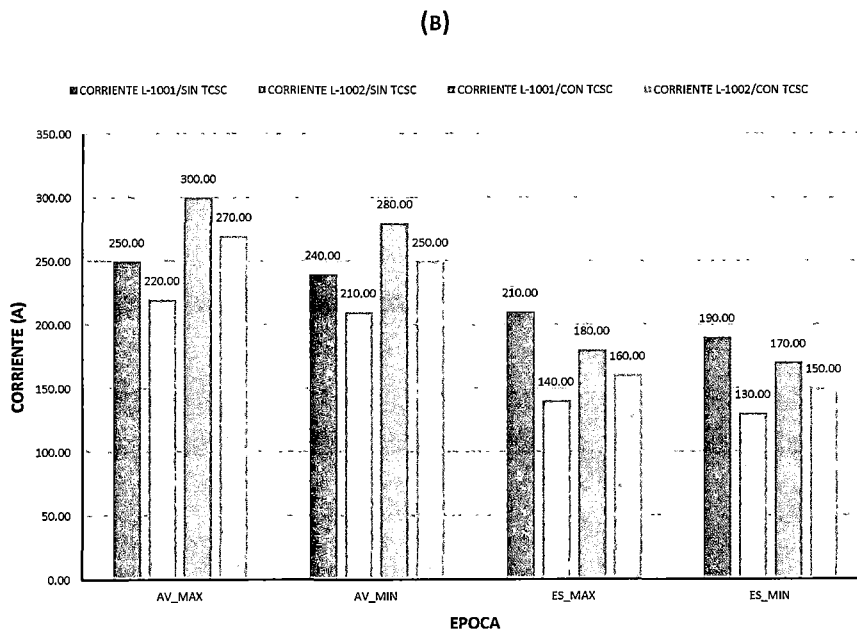
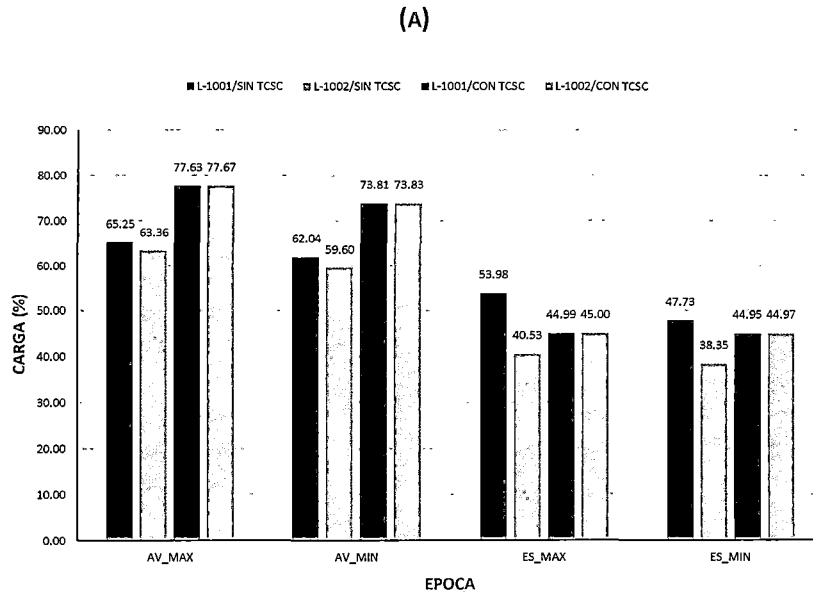
En los gráficos 5.46, 5.47, 5.48 y 5.49 se realiza una comparación entre los cargabilidad y los niveles de corriente en operación normal de las líneas L-1001 y L-1002 del capítulo 4 (sin incorporación de los dispositivos TCSC) y del capítulo 5 (con la incorporación de los dispositivos TCSC) en cada uno de los años analizados, en máxima y mínima demanda.

Como se puede apreciar en los gráficos, con la utilización de los dispositivos TCSC (barras de color verde), se logró incrementar el porcentaje de transporte de potencia a través de las líneas, además que también se logró un balance de carga entre las líneas L-1001 y L-1002.



**GRÁFICO 5 . 46**

COMPARACIÓN ENTRE LA CARGABILIDAD (A) Y LOS NIVELES DE CORRIENTE (B) EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE EN MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA DE LAS LÍNEAS L-1001 Y L-1002 SIN LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC Y CON LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2015

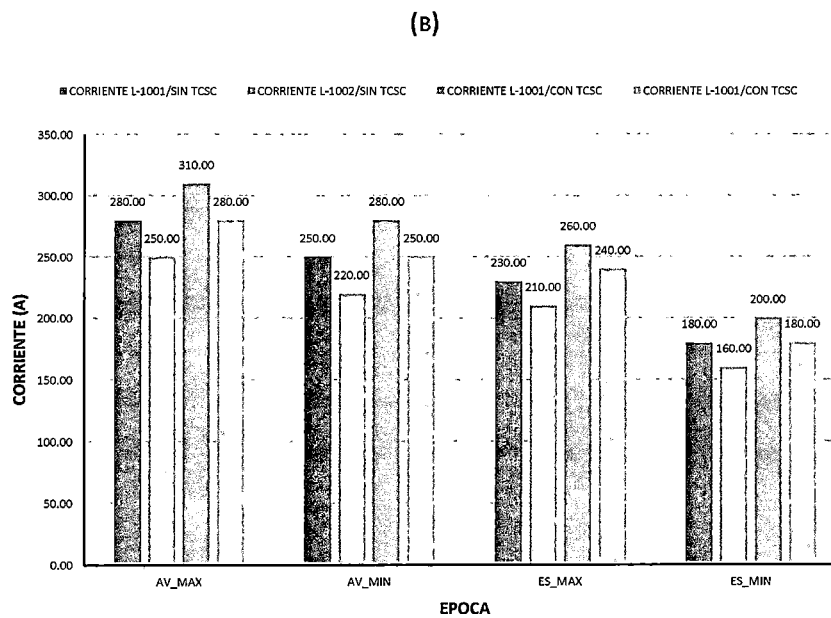
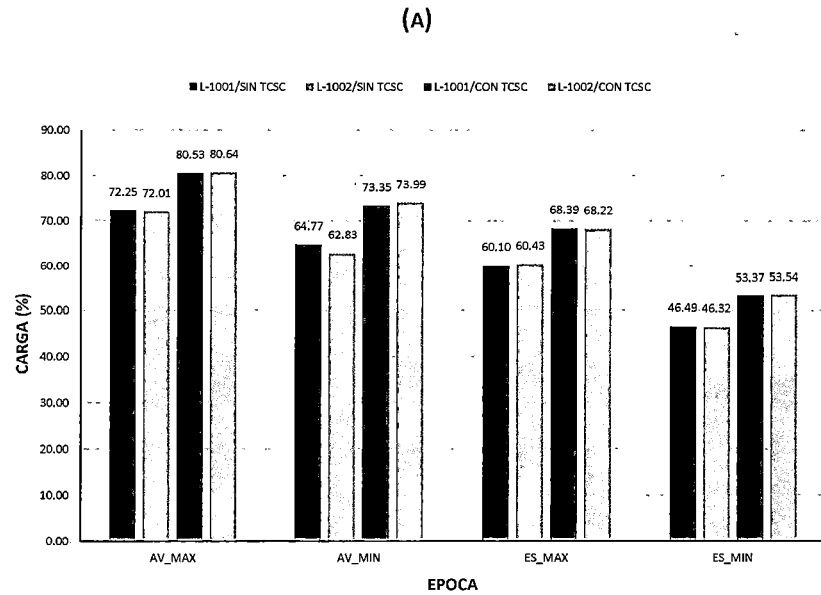


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5.47

COMPARACIÓN ENTRE LA CARGABILIDAD (A) Y LOS NIVELES DE CORRIENTE (B) EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE EN MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA DE LAS LÍNEAS L-1001 Y L-1002 SIN LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC Y CON LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2016

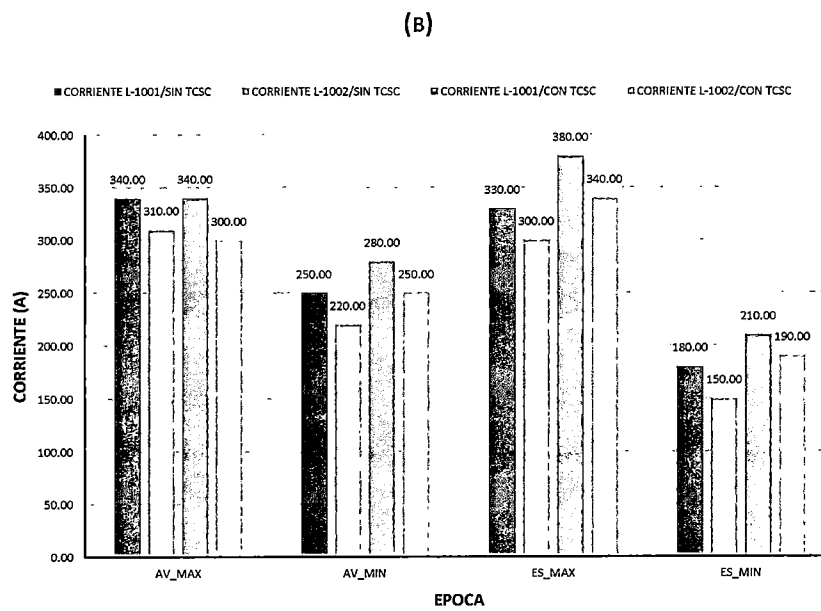
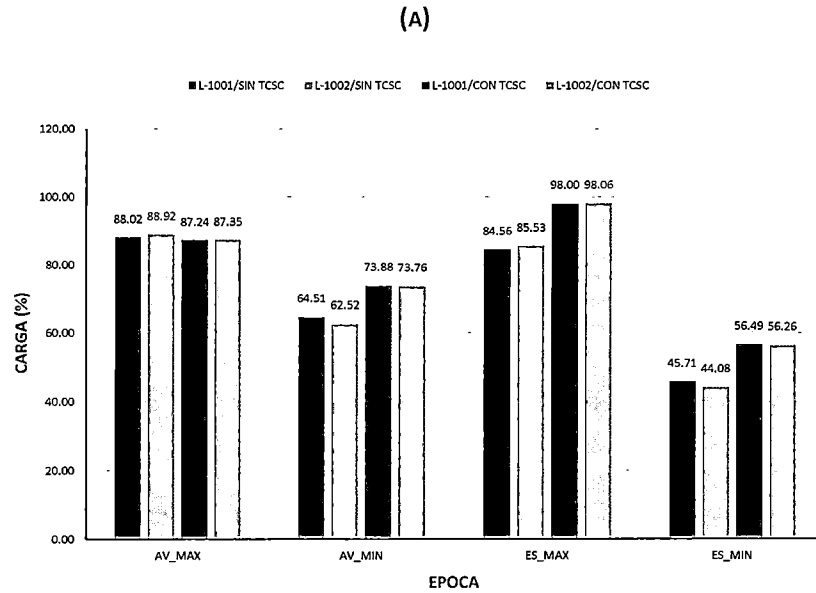


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5 . 48

COMPARACIÓN ENTRE LA CARGABILIDAD (A) Y LOS NIVELES DE CORRIENTE (B) EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE EN MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA DE LAS LÍNEAS L-1001 Y L-1002 SIN LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC Y CON LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2017

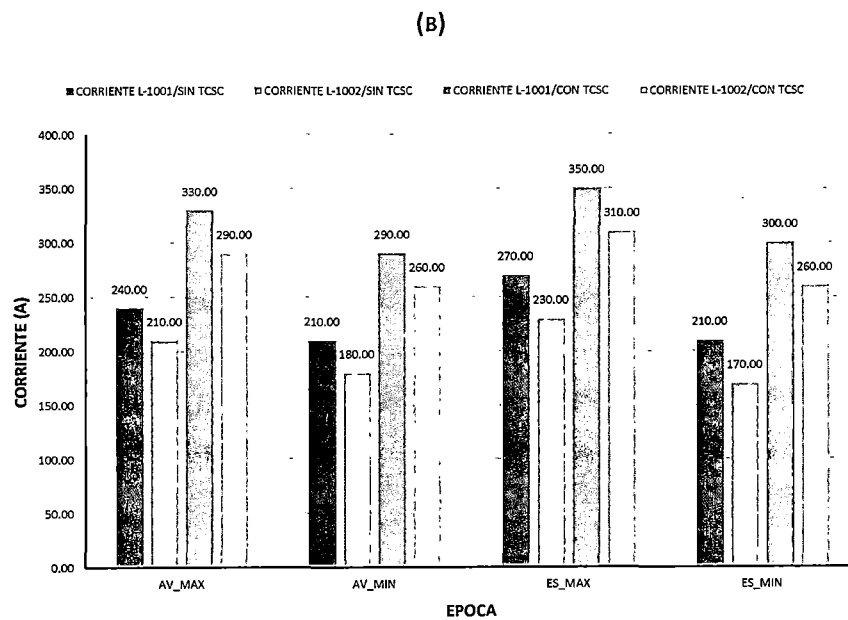
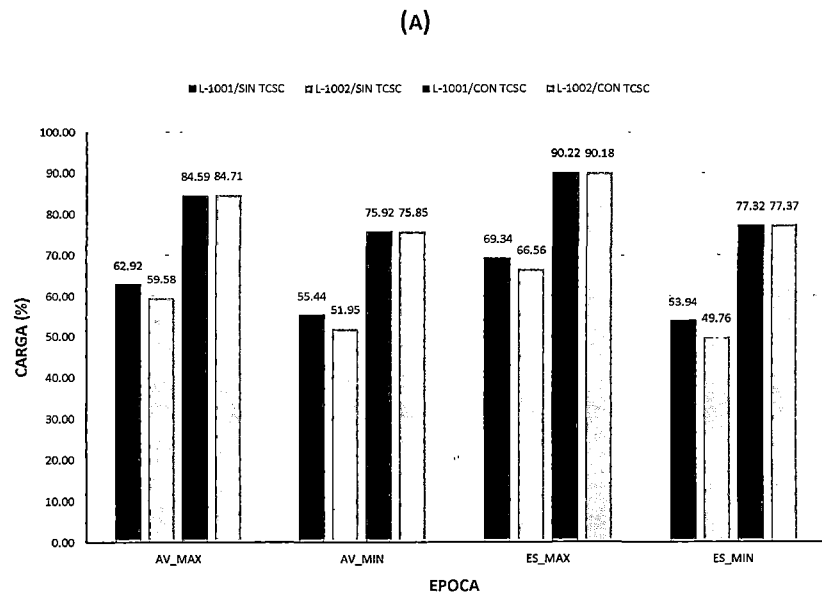


FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



GRÁFICO 5.49

COMPARACIÓN ENTRE LA CARGABILIDAD (A) Y LOS NIVELES DE CORRIENTE (B) EN OPERACIÓN NORMAL EN LOS ESCENARIOS DE AVENIDA Y ESTIAJE EN MÁXIMA Y MÍNIMA DEMANDA DE LAS LÍNEAS L-1001 Y L-1002 SIN LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC Y CON LA INCORPORACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS TCSC  
AÑO 2018



FUENTE: Elaboración propia mediante software Microsoft Excel



#### 5.5.4. Análisis básico de beneficio económico

Adicionalmente, se realiza un análisis básico del beneficio que implica la utilización de los dispositivos TCSC.

Para esto, se tomó como base el escenario de la salida de la línea 2050 en el año 2016, en época de avenida, ya que es en esta época donde más fallas atmosféricas se presentan en la zona de estudio.

El análisis mostrara el beneficio de transmitir un adicional de potencia por las líneas L-1001 y L-1002 ante la salida de esta línea, esto utilizando valores de costos marginales en la barra MACH138 del año 2014.

CUADRO 5.37  
COSTOS MARGINALES - AÑO 2014

Fecha y Hora	ENERO	FEBRERO	MARZO	DICIEMBRE
01/01/2014 00:15	0.0536107	0.04145548	0.13116031	0.03938264
01/01/2014 00:30	0.0536107	0.04145548	0.13116031	0.03938264
01/01/2014 00:45	0.04099333	0.04048967	0.04302946	0.03939998
01/01/2014 01:00	0.04099333	0.04048967	0.04302946	0.03939998
01/01/2014 01:15	0.03852518	0.0404958	0.0429335	0.03928555
01/01/2014 01:30	0.03852518	0.0404958	0.0429335	0.03928555
01/01/2014 01:45	0.03852839	0.04054463	0.04292763	0.03927515
01/01/2014 02:00	0.03852839	0.04054463	0.04292763	0.03927515
01/01/2014 02:15	0.03853161	0.04049288	0.0429247	0.04011187
01/01/2014 02:30	0.03853161	0.04049288	0.0429247	0.04011187
01/01/2014 02:45	0.03853161	0.04048983	0.04291883	0.03929064
01/01/2014 03:00	0.03853161	0.04048983	0.04291883	0.03929064
01/01/2014 03:15	0.00912183	0.04048983	0.04292177	0.04006659
01/01/2014 03:30	0.00912183	0.04048983	0.04292177	0.04006659
01/01/2014 03:45	0.00912073	0.04048983	0.04291883	0.03928555
01/01/2014 04:00	0.00912073	0.04048983	0.04291883	0.03928555
01/01/2014 04:15	0.00912183	0.04048983	0.04291883	0.03929738
01/01/2014 04:30	0.00912183	0.04048983	0.04291883	0.03929738
01/01/2014 04:45	0.0091163	0.04049288	0.0429247	0.03941386
01/01/2014 05:00	0.0091163	0.04049288	0.0429247	0.03941386
01/01/2014 05:15	0.00911491	0.04062682	0.0429247	0.03959644
01/01/2014 05:30	0.00911491	0.04062682	0.0429247	0.03959644
01/01/2014 05:45	0.00911491	0.04062987	0.04293057	0.03937427
01/01/2014 06:00	0.00911491	0.04062987	0.04293057	0.03937427
01/01/2014 06:15	0.00911658	0.04133724	0.04286017	0.04190924
01/01/2014 06:30	0.00911658	0.04133724	0.04286017	0.04190924
01/01/2014 06:45	0.00910189	0.04133412	0.04275165	0.04199445
01/01/2014 07:00	0.00910189	0.04133412	0.04275165	0.04199445
01/01/2014 07:15	0.00911436	0.041289	0.04288364	0.04199445
01/01/2014 07:30	0.00911436	0.041289	0.04288364	0.04199445
01/01/2014 07:45	0.00912794	0.0416265	0.04214051	0.04230794
01/01/2014 08:00	0.00912794	0.0416265	0.04214051	0.04230794
01/01/2014 08:15	0.00912157	0.04157932	0.09147594	0.04229148

FUENTE: Gerencia Comercial - EGEMSA

NOTA: Los costos marginales son valores calculados todos los días cada 15 minutos, por motivos de espacio solo se colocó la primera parte del cuadro.





Se obtuvo un promedio de los 4 meses del costo de la energía en barra de 0.06293046 S/./kWh, lo que en MWh es 62.9304626 S/./MWh.

Considerando un factor de disponibilidad ( $fd$ ) de líneas de transmisión de 0.95, se tiene el tiempo de salida de la línea durante un año:

$$t_{SLA} = (1 - fd) \times 24 \text{ hr} \times 365 \text{ días} = 438 \text{ horas} \dots \dots (5.11)$$

Por otro lado, el incremento de transmisión de las líneas L-1001 y L-1002 en conjunto con la utilización de los dispositivos TCSC es de 164.04 MW a 178.33 MW, lo que significa un incremento de 14.29 MW.

Valorizando esta potencia adicional transmitida por las líneas, se tiene:

$$\text{Valor en S/.} = CM \times t_{SLA} \times P = 393,883.02$$

Donde:

- $CM$  : Costo marginal promedio, [S/./MWh].
- $t_{SLA}$  : Tiempo de salida de línea en un año, [hr].
- $P$  : Potencia adicional transmitida, [MW].



## Conclusiones

---

1. Al realizar el estudio de la operación de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002 del SEIN con la incorporación de las centrales hidroeléctricas de Machupicchu (2da. Fase) y Santa Teresa en el horizonte 2015 - 2018, se aprecia que durante la época de estiaje del año 2015 los niveles de tensiones de las barras operan muy cerca del límite inferior establecido por la NTCSE, y que la barra INCA138 opera por debajo de este límite (0.94 p.u.). Ya en la época de avenida del año 2015 y el año 2016 se observa una mejora en los niveles de tensión de las barras asociadas a las líneas estudiadas, con valores que van desde 0.97 p.u. hasta 1.02 p.u., esto debido a la entrada en operación de la L.T. Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse en 220 kV. En el año 2017 se vuelven a presentar caídas de tensión por debajo del límite establecido, esta vez en las barras DOLOR138 y QUEN138 (0.94 p.u.) y que la barra INCA138 opera con una tensión de 0.95 p.u., esto debido al ingreso de nuevos centros de generación. El año 2018 el sistema muestra un buen funcionamiento, con niveles de tensión de 0.98 p.u. a 1.03 p.u. También en el estudio se muestran resultados de cargabilidad de las líneas, con valores en operación normal menores al 89% y en contingencias valores menores a 139%.
2. Al evaluar la operación actual de las líneas, se observa que los niveles de tensión de las barras asociadas a las líneas en operación normal se encuentran dentro de la tolerancia establecida por la NTCSE, aunque con valores cercanos a los límites (de 0.94 p.u. a 1.05 p.u) y alcanzando niveles de corriente de 190 A. En el análisis de contingencias se observa que ante salida de líneas de transmisión, se presentan fuertes caídas de tensión en las barras, siendo la más crítica la barra ABAN138, con una tensión de 0.84 p.u. ante la salida de la línea L-1001, esto en época de estiaje. También durante la salida de esta línea se alcanzan niveles de corriente de 340 A, siendo este el máximo valor alcanzado en este año.



3. Mediante la utilización del software PLS CADD, se determinó que los límites máximos de transmisión de las líneas L-1001 y L-1002 deben ser 396.30 A para la línea L-1001 y 398.5 A para la línea L-1002 (máxima corriente admisible), siendo el límite adecuado de transmisión de estas líneas valores de corriente inferiores en 5% a los máximos anteriormente mencionados.
  
4. Mediante el análisis de diferentes alternativas, se propuso la utilización de dispositivos FACTS para mejorar la operación de las líneas, ya que estos permiten mejorar la cargabilidad de las líneas controlando el flujo de potencia a través de ellas. El dispositivo seleccionado fue el TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) ya que cumple funciones primordiales para el estudio realizado.
  
5. Adicionalmente, se demuestra que mediante la implementación de dispositivos TCSC en las líneas L-1001 y L-1002, no solo se logró el aumento de transmisión de potencia a través de estas, sino que también se logró un balance de carga entre las dos líneas, esto mediante el control del flujo de potencia.



## Recomendaciones

---

1. Es recomendable que se realicen estudios adicionales en otras áreas (estabilidad, protección, etc.) para complementar el estudio realizado y así buscar mejorar la operación del sistema.
2. Es necesario que se profundice más en el estudio de los dispositivos FACTS, ya que estos son una gran herramienta, no solo en la mejora de la cargabilidad de las líneas de transmisión, sino también para el control del flujo de potencia, estabilidad de sistemas de potencias, etc.
3. Es necesario realizar estudio para la implementación de dispositivos FACTS en otras líneas de transmisión del SEIN, de tal manera que se pueda mejorar la operación del sistema.



## Bibliografía

---

- [1]. *Luis Maria Checa*; "Lineas de Transporte de Energia"; 3ª edición, Barcelona 2004, ISBN: 978-84-267-0684-3.
- [2]. *J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma*; "Sistemas de Potencia, Análisis y Diseño"; 3ª edición, México D.F. 2004, ISBN: 0-534-95367-0.
- [3]. *Naraing G. Hingorani y Lazlo Gyugyi*; "Understanding FACTS"; NY 2000, ISBN: 0-7803-3455-8, IEEE Order N° PC5713.
- [4]. *Klaus Habur and Donal O'Leary*; "FACTS for Cost Effective and Reliable Transmission of Electrical Energy".
- [5]. *K. R. Padiyar*; "FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution"; India 2007, ISBN: 978-81-224-2541-3.
- [6]. *Kalyan K. Sen and Mey Ling Sen*; "Introduction to FACTS Controllers; Theory, Modelling and Applications"; NJ 2009, ISBN: 978-0-470-47875-2, IEEE Press Editorial Board.
- [7]. *Fernando Cueva Urgilez y Juan Carvajal Zambrano*; "Diseño y Simulación del TCSC"; Ecuador 2012, Trabajo de Tesis.
- [8]. *Sandra Tellez Gutierrez*, "Comportamiento de conductores eléctricos usados en líneas de transmisión ante esfuerzos electromecánicos y térmicos combinados", Colombia 2011, trabajo de tesis.
- [9]. *Alberto Martinez Mares*, "Análisis y estudio de líneas de transmisión en C.A. desbalanceadas", España 2002, trabajo de tesis.
- [10]. *Tamayo y Tamayo, Mario*. "El Proceso de la Investigación Científica", México D.F. 2003, Editorial Limusa, S.A.
- [11]. *Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio*; "Metodología de la investigación", México D.F. 2010, McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A.
- [12]. *Raúl Tafur Portilla*; "La Tesis Universitaria"; Lima 1995, Editorial Mantaro.
- [13]. *COES SINAC*; "Informe del Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN; periodo 2015-2024", Setiembre 2014.
- [14]. *OSINERGMIN*; "Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica" Enero 2015.



- [15]. MEM/DGE; "Código Nacional de Electricidad - Suministro 2011" (CNE-S 2011).
- [16]. MEM/DGE; "Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)".
- [17]. MEM/DGE; "Norma Técnica para Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados", Marzo 2005.
- [18]. COES SINAC; "Estadística de Operación 2013".
- [19]. COES SINAC; "Propuesta definitiva de actualización del plan de transmisión 2015-2024".
- [20]. COES SINAC; "Categorización de las líneas de transmisión existente del SEIN", Julio 2013.
- [21]. ISA Consorcio Transmantaro S.A.; "Memoria descriptiva Contrato de Concesión de SGT de la Línea de Transmisión Machupicchu – Abancay Nueva – Cotaruse en 220kV".
- [22]. Ingeniería de proyectos LDS; "Estudio de operatividad para la conexión provisional al SEIN de la C.H. Santa Teresa, volumen IV".
- [23]. Comité de PROINVERSION en Proyectos de Telecomunicaciones, Energía e Hidrocarburos - PRO CONECTIVIDAD, "Proyecto: Línea de Transmisión Machupicchu - Abancay - Cotaruse en 220 kV, Lima, 2010".
- [24]. CESEL Ingenieros; "Plan de Manejo Ambiental del Proyecto, Línea de Transmisión Machupicchu - Abancay - Cotaruse a 220 kV"; Setiembre 2013.
- [25]. Banco Central de Reserva del Perú – BCRP; "Reporte de Inflación: Panorama Actual y Proyecciones Macroeconómicas 2014 – 2016", Enero 2015.
- [26]. [www.egemsa.com.pe](http://www.egemsa.com.pe)
- [27]. IEEE Standard 738-2006 (International Electrical and Electronical Engineers – Standard for Calculating the Current - Temperature Relationship of Bare Conductors).



# Anexos

---



## Anexo A: Principales Proyectos de Demanda

CUADRO A. 1  
PRINCIPALES PROYECTOS DE GENERACIÓN

FECHA	PROYECTO	EMPRESA	MW
ene-15	C.H. Carpapata III	Cemento Andino	12.8
ene-15	C.H. Cheves	SN Power	168.0
ene-15	C.H. Runatullo III	Empresa de Generación Eléctrica Junín	20.0
ene-15	C.H. Runatullo III	Empresa de Generación Eléctrica Junín	17.6
ene-15	C.H. 8 de Agosto	Andes Generating Corporation	19.0
ene-15	C.H. El Carmen	Andes Generating Corporation	8.4
ene-15	Parque Eólico Tres Hermanas	Consorcio Tres Hermanas	90.0
ene-15	Central Solar Moquegua FV	Solarpark Corporation Tecnología	16.0
ene-15	C.H. Canchayllo	Aldana Contratistas Generales	3.7
ene-15	C.H. Huatziroki I	Arsac Contratistas Generales	11.1
ene-15	C.H. RenovAndes H1	Renovables de los Andes	20.0
ene-15	C.H. Rucuy	Empresa de Generación Eléctrica Rio Baños S.A.C.	20.0
ene-15	C.H. Vilcanota 2	Renewable Energy Perú S.A.C.	19.0
mar-15	Reserva Fría de Generación DUAL	Planta Puerto Maldonado	18.0
mar-15	Reserva Fría de Generación DUAL	Planta Pucallpa	40.0
jul-15	C.H. Ángel III	Generadora de Energía del Perú	20.0
jul-15	C.H. Chaglla	Empresa de Generación de Huallaga	456.0
jul-15	C.H. Cola 1	Hidroeléctrica Cola	10.4
jul-15	C.H. Tulumayo IV	Egejunin Tulumayo IV	40.0
jul-15	C.H. Tulumayo V	Egejunin Tulumayo V	65.0
jul-15	C.H. Maçon	Egejunin Maçon	10.0
jul-15	C.H. Chancay	Sinersa	19.2
oct-15	C.H. Zaña	Electro Zaña	13.2
ene-16	C.H. Cerro del Águila	Cerro del Águila S.A.	525.0
ene-16	C.H. Nueva Esperanza	Andes Generating Corporation	8.0
feb-16	C.H. La Virgen	Peruana de Energía	64.0
mar-16	C.H. Chancay 2	Empresa de Generación Eléctrica Rio Baños S.A.C.	40.0
oct-16	C.H. Potrero	Empresa Eléctrica Agua Azul	19.9
oct-16	C.H. Pucará	Empresa de Generación Macusani	149.8
dic-16	C.T. Quillabamba	Electroperú	200.0
ene-17	C.H. Ángel I	Generadora de Energía del Perú	20.0
ene-17	C.H. Ángel II	Generadora de Energía del Perú	20.0
jul-17	C.H. Las Cruces	General Commerce	15.0

FUENTE: Estadística Anual COES 2013





CUADRO A . 2  
PRINCIPALES PROYECTOS DE DEMANDA

PRINCIPALES PROYECTOS DE DEMANDA	2015		2016	
	MW	GWh	MW	GWh
Proyecto Tía María			10.00	62.00
Ampliación Cerro Verde	200.0	1069.0	406.0	2838.0
Ampliación Quimpac (Oquendo)	25.0	182.0	25.0	182.0
El Brocal (Colquijirca)	27.0	198.0	27.0	198.0
Ampliación Shougang Hierro Perú	70.0	514.0	70.0	514.0
Ampliación Antamina	48.0	372.0	104.0	804.0
Ampliación Concentradora Toquepala	72.0	600.0	72.0	600.0
Ampliación Concentradora Cuajone	63.0	525.0	63.0	525.0
Ampliación de Aceros Arequipa	20.0	154.0	55.0	504.0
Ampliación Cerro Lindo	7.0	53.0	7.0	53.0
Ampliación Bayovar	12.0	71.0	15.0	138.0
Ampliación Cemento Pacasmayo	25.0	173.0	25.0	173.0
Ampliación Cementos Lima	20.0	124.0	20.0	124.0
Toromocho	152.0	1198.0	152.0	1202.0
Pachapaqui	12.0	104.0	16.0	138.0
Antapacay	96.0	771.0	96.0	773.0
Marcobre (Mina Justa)	5.0	37.0	5.0	37.0
Quellaveco	10.0	36.0	12.0	90.0
Mina Chapi	7.0	55.0	26.0	205.0
Chucapaca - Cañahuire	10.0	60.0	62.0	360.0
Pukaqaqa (Milpo)	10.0	79.0	40.0	315.0
Shahuindo	10.0	79.0	10.0	79.0
Haquira (Antares)	12.0	105.0	24.0	210.0
Ampliación de la Fundición de Ilo	10.0	83.0	10.0	83.0
Ampliación de la Refinería de Cobre	8.0	65.0	8.0	65.0
Corani	41.0	323.0	41.0	323.0
Salmueras de Sechura	25.0	175.0	25.0	175.0
La Arena	5.0	43.0	65.0	541.0
El Porvenir	24.0	144.0	24.0	144.0
Mina Alpamarca	15.0	79.0	15.0	105.0
Cementos Piura	25.0	175.0	25.0	175.0
Nueva Planta de Óxidos Volcán	16.0	118.0	16.0	118.0
Ampliación de SIDER PERU	26.0	44.0	34.0	180.0

FUENTE: Estadística Anual COES 2013



CUADRO A . 3  
PRINCIPALES PROYECTOS DE TRANSMISIÓN

FECHA	PROYECTO	EMPRESA
ene-14	LT. 220 kV San Juan - Chilca de 350 MVA (cuarto circuito)	REP
ene-14	S.E. Nueva Huaral 220/60/20 - 50/50/20 MVA	CONEHUA
ene-14	S.E. Nueva Jicamarca 220 kV - 120 MVA	EDELNOR
ene-14	LT. 220 kV Carabayillo - Nueva Jicamarca (doble circuito)	EDELNOR
ene-14	S.E. Paramonga Nueva 220 kV: Transformación Trifásico de 220/60/10 kV - 30 MVA	EDELNOR
ene-14	S.E. Santa Rosa 220 kV: Transformación Trifásico 220/60/10 kV - 180 MVA	EDELNOR
ene-14	S.E. Los Industriales (Nueva) 220/60/10 kV - 180 MVA	LUZ DEL SUR
ene-14	S.E. Shahuindo 220 kV	MINERA SULLIDEN
ene-14	LT. 138 kV Socabaya - Parque Industrial (simple circuito) y Ampliación de Subestaciones	SEAL
feb-14	Nueva S.E. Pariñas 220 kV	REP
abr-14	Nueva S.E. Reque 220 kV (antes llamada S.E. Chiclayo Sur)	REP
abr-14	S.E. Trujillo Norte	REP
may-14	Repotenciación de la LT. 138 kV Paragsha II - Huánuco de 45 MVA a 75 MVA	REP
may-14	S.E. Puno: Instalación de bancos de capacitores de 2x12.5 MVAR en la barra de 60 kV	REP
jun-14	LT. 220 kV Ventanilla - Chavarria de 180 MVA (cuarto circuito)	REP
dic-14	LT. 220 kV La Planicie REP - Industriales	
dic-14	LT. 220 kV Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse (doble circuito) y S.S.EE. Asociadas	CTM
ene-15	S.E. Nueva Nazca 220/60 kV - 75 MVA	
ene-15	S.E. Nueva Chíncha 220/60 kV - 75 MVA	
ene-15	Ampliación de capacidad de transformación en las S.S.EE: Aguaytia 220/138/22.9 kV y Pucallpa 138/60/10 kV	
ene-15	LT. 138 kV Santiago de Cao - Malabrigo (41.36 km) y S.E. Malabrigo de 138/60 kV	
ene-15	Proyecto Anillo en 138 kV Sistema Eléctrico Trujillo con 8.32 km de LT. 138kV	
ene-15	S.E. Orcotuma 220/60 kV, 40 MVA y dos líneas de transmisión en 220 kV	
ene-15	LT. 220 kV Friaspata - Mollepata y S.E. Mollepata 220/60 kV - 50 MVA	
ene-15	LT. 220 kV Industriales - Corpac	
ene-15	Nueva S.E. Corpac 220 kV - 2x50 MVA	
jul-16	Nueva S.E. Lurín 220 kV	
ene-16	LT. 220 kV Moquegua - Los Héroes y Ampliación de la S.E. los Héroes (2do circuito)	
ene-16	Repotenciación de la LT. 220 kV San Juan - Bañerios de 2x860 A a 2x1300 A	LUZ DEL SUR
ene-16	Nueva S.E. Colonial 220/60/10 kV - 2x180 MVA	EDELNOR
ene-16	LT. 220 kV Nueva Jicamarca - Colonial	EDELNOR
abr-16	LT. 220 kV Carhuaquero - Cajamarca Norte - Caclic - Moyobamba	
may-16	LT. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintay y Subestaciones Asociadas	

FUENTE: Estadística Anual COES 2013



Anexo B:

## **Análisis Simple de Costos**

---

### **B.1. INTRODUCCION**

Para la identificación de los costos que son en su medida pertinentes para su evaluación, es necesario definir los costos de inversión ante la implementación de los TCSCs y banco de capacitores en derivación comparándolos con las ganancias líquidas por venta de energía eléctrica (US\$) de la empresa que administra y opera las líneas de estudio.

El costo de inversión de los dispositivos FACTS puede ser dividido en dos categorías:

#### **B.1.1. Costos de los equipos**

Estos costos no solamente dependen de la envergadura en las instalaciones sino también incluye requerimientos tales como:

- Necesidad de control y sistemas de protección en los componentes instalados.
- Condiciones ambientales (temperatura, niveles de sismicidad, niveles de contaminación).
- Sistemas de comunicación, tanto entre la subestación y el centro de control remoto.

#### **B.1.2. Costos por infraestructura**

Los costos por infraestructura dependen de la ubicación geográfica de la subestación, en la cual finalmente van a ser instalados los dispositivos, estos costos por infraestructura incluyen:

- Adquisición de terrenos, si es que el espacio en la subestación no es el adecuado.



- Modificaciones en la actual subestación (Cambio de sistemas de protección de equipos, mallas a tierra, etc.).
- Trabajos civil involucrado, ingeniería, estudios, etc.

### B.1.3. Cálculos de costos de inversión del estudio

#### B.1.3.1. Cálculo de costos de inversión del TCSC

Para los típicos elementos FACTS, el límite inferior de las áreas de costo de la figura D-1 exhibe el costo en equipamiento y el límite superior indica los costos de inversión total incluyendo los costos de infraestructura.

Los costos totales de inversión son mostrados en la figura D-2, los cuales son exclusivos de impuestos y servicios [4].

Para determinar el costo aproximado de la implementación del TCSC en las líneas de transmisión L-1001 y L-1002, se debe hallar la potencia reactiva de los capacitores en serie, expresada por la siguiente fórmula:

$$Q_c = I^2 X_c \dots \dots \dots (D.1)$$

Donde:

- $Q_c$  : Potencia reactiva que compensarán los bancos (MVAR).
- $I$  : Corriente nominal en la línea de transmisión (A).
- $X_c$  : Reactancia capacitiva del TCSC ( $\Omega$ ).

Aplicando la formula D.1 se obtiene los siguientes resultados para ambas líneas de transmisión:

#### **Línea L-1001:**

$$I = 390 \text{ A}$$

$$X_c = 10.17 \Omega$$



$$Q_{C. L-1002} = 1.6 \text{ MVar}$$

### Línea L-1002:

$$I = 350 \text{ A}$$

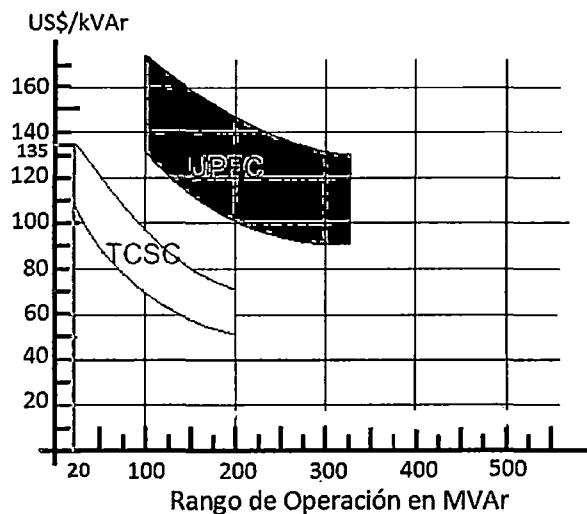
$$X_c = 13.08 \Omega$$

$$Q_{C. L-1002} = 1.6 \text{ MVar}$$

La potencia reactiva resultante es de 4.8 MVar tanto para la línea L-1001 como para la línea L-1002.

En base a lo determinado se prevé un rango de operación de 20 MVar por línea de transmisión, identificando el costo de implementación del TCSC para las mismas.

GRÁFICO B . 1  
COSTOS TOTALES PARA LA INVERSIÓN EN UN TCSCS Y EN UN UPFC



FUENTE: Siemens AG Database

El rango de operación de 20 MVar tiene un costo de implementación de 135 US\$/kVar entonces para la línea L-1001 el TCSC a instalar tendría un costo aproximado de US\$ 648 000 dólares americanos y para la línea L-1002 un costo aproximado de US\$ 648 000 dólares americanos.



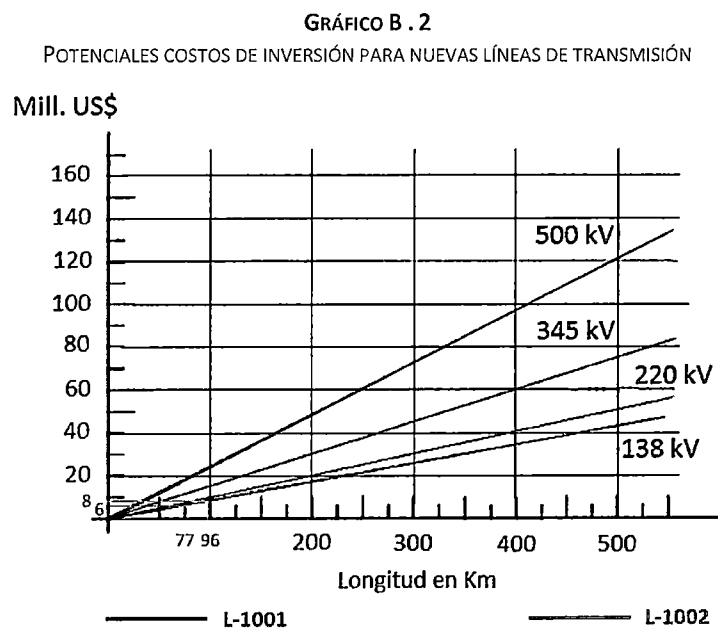
### B.1.3.2. Cálculo de costos de inversión del banco de capacitores en derivación

Los costos de banco de capacitores en derivación se obtiene del documento “**Clausula quinta: Precio y forma de pago**” del contrato entre EGEMSA y ABB ante la adquisición de bancos de condensadores para la S.E. Dolorespata, de dicho documento se obtiene un equivalente de 72 683.56 \$/MVAR instalados.

Entonces para una potencia de 17 MVAR se tendrá una inversión de US\$ 1 235 620 para la implementación e instalación.

### B.1.3.3. Cálculo de costos montaje de nuevas líneas

En la imagen D-2 se puede apreciar los costos aproximados de inversión requerida para poder adicionar una nueva línea de transmisión en función a su longitud. Para líneas de 138 kV de 96 km y 77 km se tendrá un costo inversión aproximado a 8 millones de dólares y 6 millones de dólares aproximadamente que excluyen costos de mano de obra e IGV (líneas L-1002 y L-1001 respectivamente).





Existen tres áreas en las cuales los beneficios de los FACTS pueden ser fácilmente evaluados:

- Ventas adicionales, debido al aumento de las capacidades de las líneas de transmisión.
- Evita o retarda nuevas inversiones, debido a la inclusión de los FACTS se pueden utilizar hasta su límite térmico líneas antes subutilizadas.

#### B.1.4. Ingreso aproximado en dólares (US\$) por la venta de energía

Para este punto, se tomó los ingresos de EGEMSA por venta de energía eléctrica a sus diferentes clientes, tanto libres como regulados del mes de Diciembre del año 2014.

De los resultados de costos obtenemos el siguiente cuadro comparativo:

CUADRO B . 1  
CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS DEL ESTUDIO

INSTALACION	INVERSION TOTAL DEL PROYECTO (US\$)	CONSTRUCCION DE NUEVA LÍNEA DE TRANSMISION (US\$)	INGRESO MENSUAL APROXIMADO POR VENTA DE ENERGIA (US\$)
L-1001	648,000.00	6,000,000.00	4,180,526.81
L-1002	648,000.00	8,000,000.00	
Banco de capacitores - Barra INCA138	1,235,620.00	0.00	
<b>TOTAL</b>	<b>2,531,620.00</b>	<b>14,000,000.00</b>	<b>4,180,526.81</b>



Anexo C:

## **Diagrama unifilar y planimetría del conexionado provisional de la C.H Santa Teresa a línea L-1001 y L-1002**

---

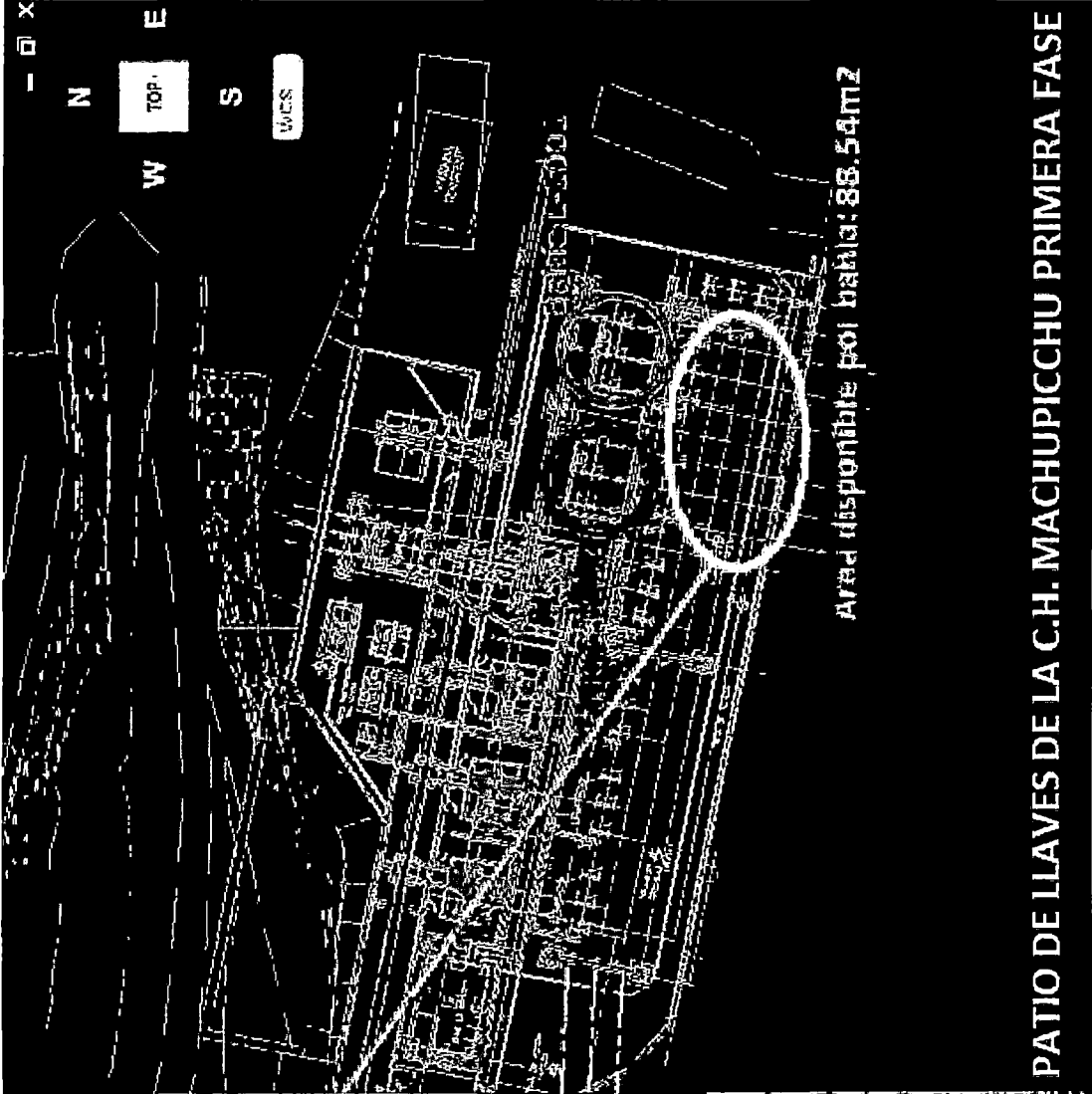
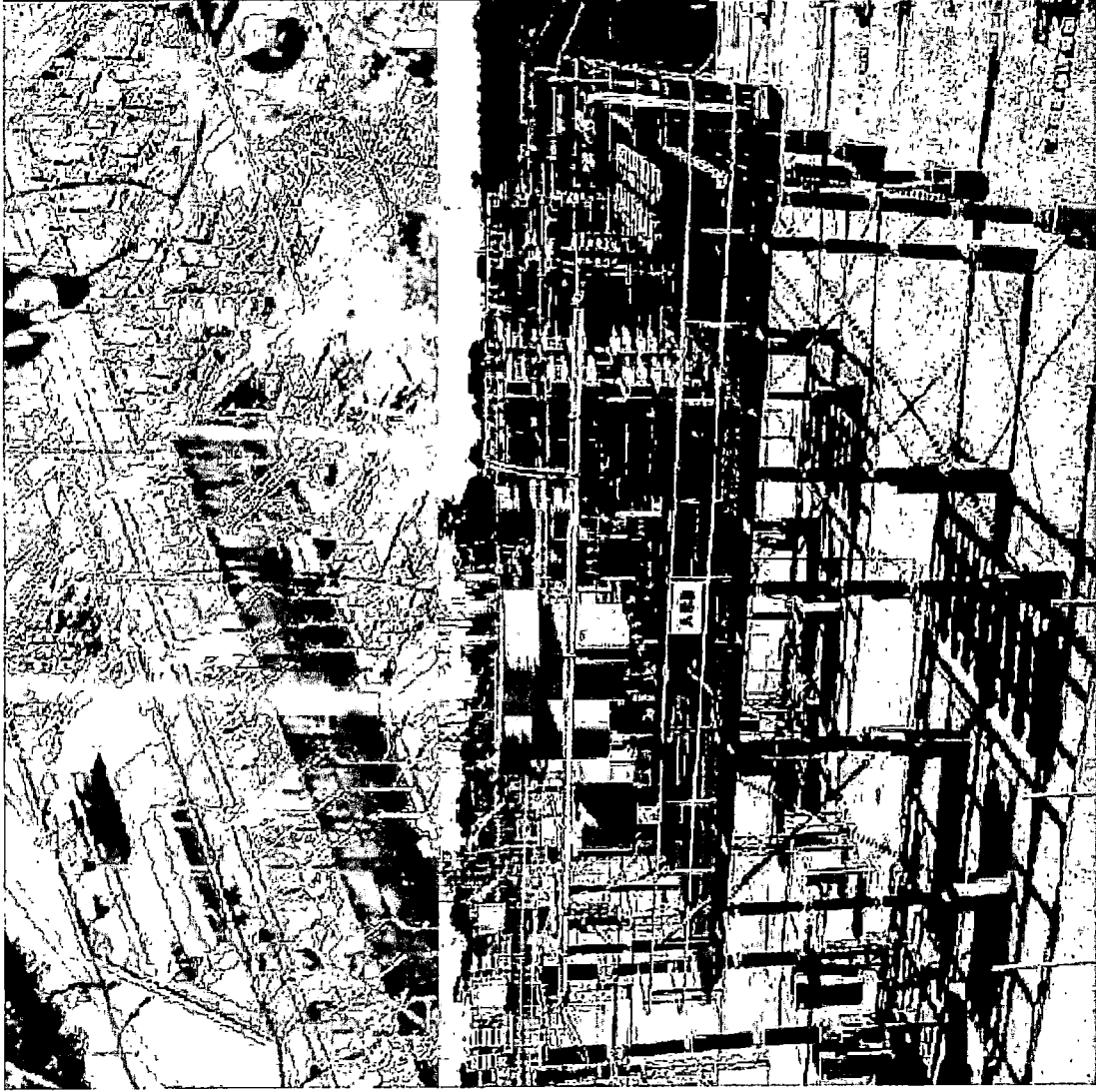




Anexo D:

## **Disposición física tentativa de la instalación del TCSC en patio de llaves de la C.H Machupicchu 1ra fase**

---



Arad disponible por basis: 88.54m2

# PATIO DE LLAVES DE LA C.H. MACHUPICCHU PRIMERA FASE

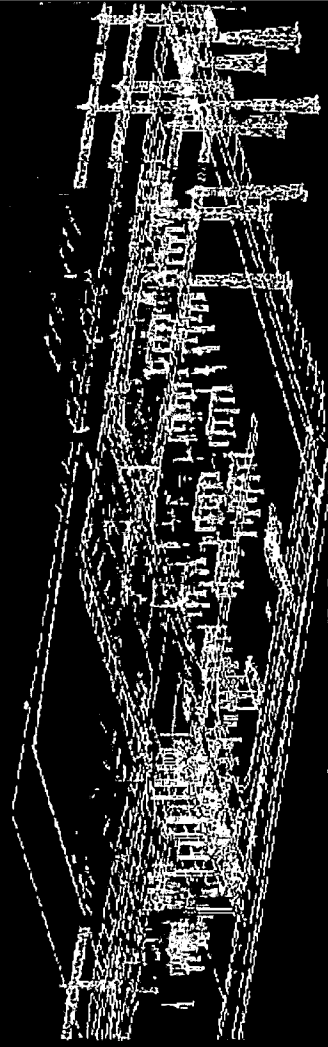


Anexo E:

## **Ubicación Satelital de la S.E Suriray 220/138 kV (Proyecto MACO)**

---

S.E. SURIRAY 220/138 kV (SANTA TERESA - LA CONVENCION-CUSCO).



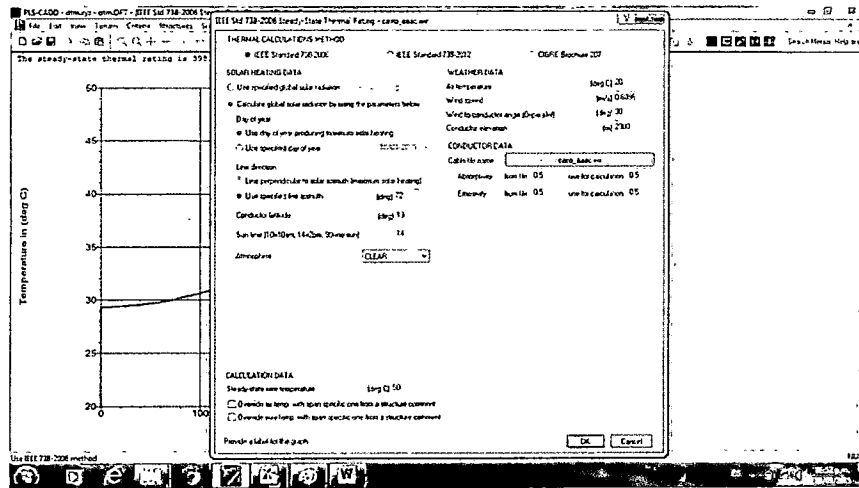
Google



## Anexo F: Cálculo de la capacidad térmica de las líneas L-1001 y L-1002 por medio del PLS CADD

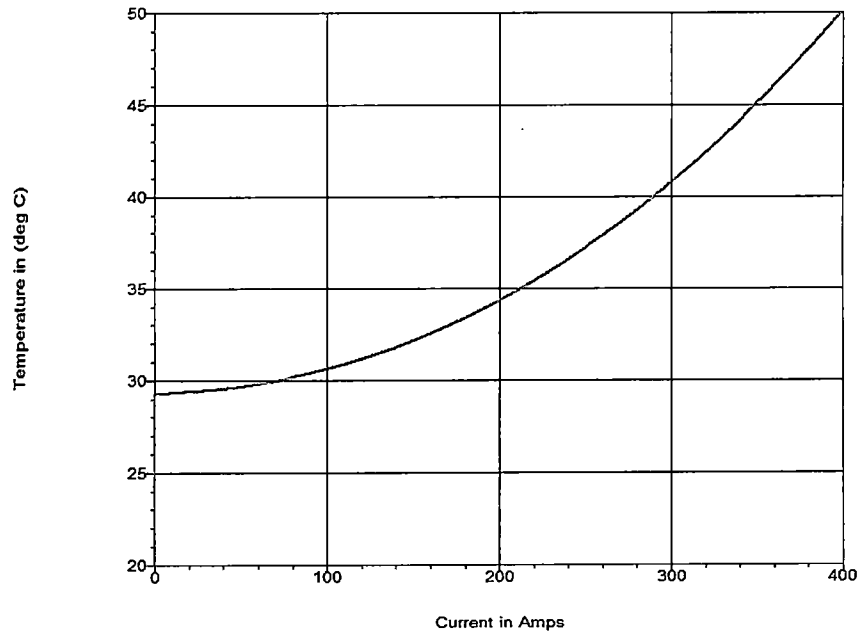
### F.1. CAPACIDAD TERMICA EN LINEAS DE TRANSMISION

IMAGEN F . 1  
INGRESO DE DATOS AL PROGRAMA PLS CADD



FUENTE: Software PLS CADD

GRÁFICO F . 1  
CURVA CARACTERÍSTICA



FUENTE: Software PLS CADD



### F.1.1. Línea L-1001:

Cálculo de la capacidad térmica a temperatura normal de operación (50°C), los datos arrojados por el programa computacional PLS CADD son:

IMAGEN F. 2

RESULTADOS ARROJADOS POR EL PROGRAMA PLS CADD PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TÉRMICA DE LA LÍNEA L-1001

```
IEEE Std. 738-2006 method of calculation
Air temperature is 20.00 (deg C)
Wind speed is 0.61 (m/s)
Angle between wind and conductor is 90 (deg)
Conductor elevation above sea level is 2300 (m)
Conductor bearing is 72 (deg) (user specified bearing, may not be value producing maximum solar heating)
Sun time is 14 hours (solar altitude is 60 deg. and solar azimuth is -65 deg.)
Conductor latitude is 13.0 (deg)
Atmosphere is CLEAR
Day of year is 172 (corresponds to junio 21 in year 2015) (day of the year with most solar heating)

Conductor description: 397.5 kcmil 24/7 Strands BRANT ACSR - Adapted from 1970's Publicly Available Data
Conductor diameter is 1.961 (cm)
Conductor resistance is 0.1442 (Ohm/km) at 25.0 (deg C)
                        and 0.1726 (Ohm/km) at 75.0 (deg C)
Emissivity is 0.5 and solar absorptivity is 0.5

Solar heat input is 10.976 (Watt/m) (corresponds to Global Solar Radiation of 1119.490 (Watt/m^2) - which was calculated)
Radiation cooling is 6.142 (Watt/m)
Convective cooling is 29.713 (Watt/m)

Given a maximum conductor temperature of 50.0 (deg C),
The steady-state thermal rating is 396.3 amperes
```

FUENTE: Software PLS CADD

### F.1.2. Línea L-1002:

Cálculo de la capacidad térmica a temperatura normal de operación (50°C), los datos arrojados por el programa computacional PLS CADD son:

Resultados arrojados por el PLS CADD:

IMAGEN F. 3

RESULTADOS ARROJADOS POR EL PROGRAMA PLS CADD PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TÉRMICA DE LA LÍNEA L-1001

```
IEEE Std. 738-2006 method of calculation
Air temperature is 20.00 (deg C)
Wind speed is 0.61 (m/s)
Angle between wind and conductor is 90 (deg)
Conductor elevation above sea level is 2300 (m)
Conductor bearing is 72 (deg) (user specified bearing, may not be value producing maximum solar heating)
Sun time is 14 hours (solar altitude is 60 deg. and solar azimuth is -65 deg.)
Conductor latitude is 13.0 (deg)
Atmosphere is CLEAR
Day of year is 172 (corresponds to junio 21 in year 2015) (day of the year with most solar heating)

Conductor description: 465.4 kcmil 19/0 Strands CAIRO AACR - Adapted from 1970's Publicly Available Data
Conductor diameter is 1.989 (cm)
Conductor resistance is 0.1453 (Ohm/km) at 25.0 (deg C)
                        and 0.1698 (Ohm/km) at 75.0 (deg C)
Emissivity is 0.5 and solar absorptivity is 0.5

Solar heat input is 11.132 (Watt/m) (corresponds to Global Solar Radiation of 1119.490 (Watt/m^2) - which was calculated)
Radiation cooling is 6.230 (Watt/m)
Convective cooling is 29.926 (Watt/m)

Given a maximum conductor temperature of 50.0 (deg C),
The steady-state thermal rating is 398.5 amperes
```

FUENTE: Software PLS CADD