



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ESTUDIOS SISTÉMICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DE LA CENTRAL
MICROHIDRÁULICA HUASCO AL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

HUMBERTO NICOLÁS TAMAYO GUZMÁN

PROFESOR GUÍA:
HÉCTOR CARRASCO MUÑOZ.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ERICK SÁNCHEZ ZAMORA.
NELSON MORALES OSORIO.

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2013

Resumen de la memoria

Actualmente las políticas energéticas en todo el mundo están apuntando al uso de fuentes de energías más limpias y eficientes, debido a múltiples factores tales como la escasez de combustibles fósiles como gas natural o petróleo diesel; aumento sostenido del precio del crudo a nivel mundial; y la incipiente contaminación atmosférica derivada de su uso. Es por ello que la energía hidráulica cumple un rol fundamental en la matriz energética de cualquier país, y en especial de Chile, debido a su gran cantidad del recurso hídrico. Bajo este contexto, la empresa "Hidroeléctrica Río Huasco S.A." ha solicitado efectuar el estudio de impacto sistémico debido a la conexión de la nueva Central hidroeléctrica al sistema interconectado, verificando que cumpla con las características exigidas por la Norma Técnica de Seguridad y calidad de servicio (NT SyCS). El proyecto contempla la inyección de una Potencia nominal de 5,7 [MVA] – 5,12 [MW]. Dicho proyecto se emplazará en la región de Atacama, específicamente entre las localidades de Vallenar y Alto del Carmen, a la fecha de mayo de 2013.

La Central Huasco, se compone de dos generadores síncronos que, a través de un conductor, lleva su energía a una subestación elevadora y mediante un Transformador de Poder de 5,7 [MVA], se aumenta la tensión de 6,6 [kV] a 110[kV] aportando energía a la línea que une Alto Del Carmen con Vallenar. En cuanto a la conexión de la Central, esta es realizada por una línea de circuito simple de 190 [m] de longitud, con una tensión nominal de 110 [kV], voltaje en la cual se encuentra la línea Alto Del Carmen – El Edén que es donde se ubicará el punto de conexión a través de un Tap off.

El objetivo del presente trabajo de título consiste en establecer la factibilidad de conexión de la Central al tramo Alto del Carmen - El Edén, para ello se analizaron los estudios solicitados por el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC-SIC) para la conexión al Sistema Interconectado Central. Dichos estudios comprenden análisis sobre los Flujos de Potencias Activa y Reactiva, revisión de los niveles de tensión y capacidades de líneas de transmisión, definición de los niveles de cortocircuito, revisión de las Capacidades de Ruptura de interruptores, estudio del comportamiento dinámico de las máquinas síncronas a través del diseño de controladores de tensión y velocidad, además de un esquema de protección para los elementos de la Central en cuanto a criterios de ajuste y coordinación se refiere.

Los resultados obtenidos mediante la simulación en el software Power Factory DIgSILENT, indican que la conexión mediante Tap-Off es completamente factible desde el punto de vista sistémico, al no observarse repercusiones negativas al sistema adyacente Atacama debido a la puesta en servicio del proyecto microhidráulico Huasco. De las diversas simulaciones realizadas se concluye que todos los elementos presentes diseñados cumplen con la Norma establecida; las cartas de operación de los generadores tienen capacidad de compensación, las líneas tienen el dimensionamiento necesario para los flujos en diversas condiciones de operación, los controladores estabilizan la central ante contingencias de diversa severidad, los interruptores soportan las distintas corrientes de falla y las protecciones aíslan de forma selectiva, coordinada, rápida y confiable, además de tener la sensibilidad adecuada para detectar condiciones anormales de operación.

*...Dedicado a mi familia, a
mis amigos y a la música...*

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por brindarme una vida llena de dicha y felicidad. Por haber puesto en mi camino a las personas que, de una u otra manera, definieron quién soy.

Quiero agradecer a mis padres por haber estado conmigo incondicionalmente a lo largo de toda mi existencia. A mi madre, por su cariño, paciencia y ternura, por todas esas largas noches de estudio donde dejaba algún bocadillo que me levantaba el ánimo y daba fuerzas para seguir estudiando. A mi padre, por su eterno apoyo, sus consejos, su particular filosofía y sus grandes sacrificios, por siempre hacerme sentir que jamás estaba solo. A ambos les agradezco el haberme querido de la forma que lo han hecho, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible...

A mi hermana Francisca, por estar siempre dispuesta a ayudarme, por sus muestras de cariño y continua preocupación. A mi Tío Carlos por quererme como un hijo y velar por mi educación, gracias por sus libros, Icaritos, películas y la paciencia por haber destrozado la mayoría cuando pequeño. Así también agradecer al resto de mi familia, los que con sus manías, locuras pero por sobre todo, buen corazón, nunca me hicieron sentir solo...

A mis amigos de las diversas bandas, por permitirme vivir los nervios de subir a un escenario y la satisfacción de mostrar nuestra música. En especial a la banda de mis amores, Fuera de Servicio, con la que mi vida cambió para siempre. A mis amigos de Scout, con los que compartimos el calor, el cansancio, las felices veladas frente al fuego, los momentos inolvidables y aquellos bellísimos lugares. A mis compañeros de universidad, con los que sufrí los fracasos y celebré las victorias. A las personas que estuvieron en mi vida y que por diversos motivos ya no están...

Finalmente, resta agradecer a la Música, eterna compañera de caminatas eternas y recuerdos profundos. Sin ella, la vida no sería lo mismo...

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Motivación	11
1.2. Objetivos Generales	12
1.3. Objetivos Específicos.....	12

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Características de las pequeñas Centrales hidráulicas	13
2.2. Turbinas Francis	14
2.3. Regulación de voltaje.....	15
2.3.1. Estándares de Control de Tensión en Estado de Operación Normal y de Alerta	16
2.4. Reguladores de velocidad	17
2.4.1. Estándares de Control de Frecuencia en Estado de Operación Normal y de Alerta.....	19
2.4.2. Estándares de Oscilaciones Electromecánicas.....	19
2.4.3. Márgenes de Estabilidad	20
2.5. Reguladores de excitación	20
2.6. Componentes de corrientes de cortocircuito	21
2.6.1. Dimensionamiento de Interruptores en el SIC	23
2.7. Sistemas de protección de sistemas eléctricos.....	23
2.7.1. Estándares de protecciones según Norma Técnica	24

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL MODELAMIENTO EN DIGSILENT DEL PROYECTO	26
3.1. Introducción.....	26
3.2. Consideraciones estudio de Flujos de Potencia	31
3.3. Consideraciones estudio de cortocircuitos.....	34
3.4. Consideraciones estudio de estabilidad	36
3.4.1. Modelamiento controlador de velocidad	37
3.4.2. Modelamiento sistema de excitación	37
3.4.3. Condiciones de las simulaciones dinámicas.....	38
3.5. Consideraciones estudio de protecciones	42
3.5.1. Ajustes propuestos	42
3.5.1.1. Protecciones de Generadores Síncronos Marelli	43
3.5.1.2. Protecciones Zona de Reunión Generadores Central, Conexión a Transformador de Poder	43
3.5.1.3. Protecciones para el Transformador de Poder Central Huasco	43
3.5.1.4. Protecciones para la Línea El Edén – Alto del Carmen.	43
3.5.1.5. Bloqueo de Cierre de Interruptor S/E El Edén e Interruptores de la Central.....	44
3.5.2. Criterios para los ajustes propuestos	45
3.5.2.1. Protección Asociados a los Generadores Síncronos.....	45
3.5.2.1.1. Función de Sobrecorriente de las Máquinas Generadoras.....	45
3.5.2.1.2. Funciones de Protección Características de Máquinas Generadoras.....	46
3.5.2.1.3. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor.	46
3.5.2.1.4. Ajuste de Funciones Relés Generadores.....	46
3.5.2.2. Protección Asociados al Transformador de Poder	47
3.5.2.2.1. Función Diferencial (87T).....	47
3.5.2.2.2. Funciones de Distancia (21/21N).....	47
3.5.2.2.3. Funciones de Sobrecorriente (51/50/51N/50N).....	47
3.5.2.2.4. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor	47
3.5.2.2.5. Ajuste de función Diferencial Transformador de Poder, Equipo GE T60	48

3.5.2.2.6. Ajuste de Funciones de protecciones Equipo GE D60, Zona 110 [kV]	49
3.5.2.3. Protecciones Zona de Reunión Generadores Central, conexión al Transformador de Poder ...	50
3.5.2.3.1. Funciones de Sobrecorriente (51/51N/50N).....	50
3.5.2.3.2. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor	51
3.5.2.3.3. Ajuste de Funciones Zona de Reunión Generadores, , Transformador de Poder	51
3.5.2.5. Protecciones para la Línea 110 [kV] El Edén – Alto del Carmen, Central Huasco.....	51
3.5.2.5.1. Funciones de Distancia (21/21N).....	51
3.5.2.5.2. Consideraciones efecto Infeed asociada al Tap Off Huasco – Alto Del Carmen.....	52
3.5.2.5.3. Funciones de Sobrecorriente (51/50/51N/50N).....	52
3.5.2.5.4. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor	53
3.5.2.6. Protecciones para la Línea 110 [kV] El Edén – Alto del Carmen, S/E El Edén	53
3.5.2.6.1. Funciones de Distancia (21/21N).....	53
3.5.3. Ajuste de Funciones de Teleprotección, Equipos GE D60 Central Huasco - S/E EL Edén.....	54
3.5.3.1. Funcionamiento del Esquema de Teleprotecciones	55
3.5.4. Consideraciones para la verificación de la coordinación de protecciones.....	57
CAPÍTULO 4	
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	58
4.1. Resultados Relevantes Estudio de Cortocircuitos.....	58
4.1.1 . Capacidades de Ruptura en Barras aledañas a la Central	59
4.1.2. Capacidades de Ruptura al interior de la Central	62
4.2. Resultados Relevantes Estudio de Flujos de Potencia.....	63
4.2.1. Resultados en Generación Máxima	64
4.2.2. Resultados en Generación Mínima	66
4.2.3. Resultados al interior de la Central.....	69
4.2.3.1. Resultados Estando en la Zona de Operación: Entregando Reactivos	69
4.2.3.2. Resultados Estando en la Zona de Operación: Absorbiendo Reactivos	70
4.2.3.3. Establecimiento del Factor de Potencia unitario en el punto de conexión de la Central	71
4.2.4. Capacidades de los transformadores a considerar	74
4.3. Resultados Relevantes Estudio de Estabilidad	75
4.3.1. Evolución Transitoria de la Tensión.....	75
4.3.2. Evolución Transitoria de la Frecuencia	75
4.3.2 Nivel de Amortiguamiento para Oscilaciones Electromecánicas	76
4.3.3. Evolución Transitoria Angular	77
4.4. Resultados Relevantes Estudio de Protecciones.....	81
4.4.1. Comprobación en Escenario con Operación de Generadores, Demanda Alta.....	81
4.4.2. Comprobación en Escenario con Operación de Generadores, Demanda Baja.....	90
4.4.3. Análisis de los tiempos de operación de la coordinación de protecciones	99
4.4.3.1. Fallas entre Fases Sin Impedancia al Interior Central Huasco, Falla en Generador.....	99
4.4.3.2. Fallas entre Fases Sin Impedancia en Tramo El Edén – Central Huasco.....	99
4.4.3.3. Fallas entre Fases Sin Impedancia en Tramo Central Huasco – Alto del Carmen.....	100
4.4.3.4. Fallas entre Fases Sin Impedancia en Línea S/E Vallenar – S/E Maitencillo.....	101
4.4.3.5. Fallas a Tierra Sin Impedancia al Interior Central Huasco, Falla en Generador.....	101
4.4.3.6. Fallas a Tierra Sin Impedancia en Tramo El Edén – Central Huasco.....	102
4.4.3.7. Fallas a Tierra Sin Impedancia en Tramo Central Huasco – Alto del Carmen.....	102
4.4.3.8. Fallas a Tierra Sin Impedancia en Línea S/E Vallenar – S/E Maitencillo.....	103
4.4.3.9. Fallas a Tierra Con Impedancia de Falla Zona de Estudio.....	104
4.4.4. Observaciones Especiales.....	104
4.4.5. Curvas y Diagramas de Coordinación de Protecciones.....	105
4.4.5.1. Análisis de Funciones de Sobrecorriente de Protecciones de Sobrecorriente Adireccional y Direccional de la Protecciones GE D60 y GE F60, S/E El Edén, Condición de Nula Demanda de Alto del Carmen.....	105

CAPITULO 5	
CONCLUSIONES FINALES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXO A	
COMPONENTES CORRIENTES DE CORTOCIRCUITOS	112
ANEXO B	
ANTECEDENTES INTERRUPTORES UTILIZADOS	118
ANEXO C	
FÓRMULAS CÁLCULO COMPONENTES DE CORTOCIRCUITO.....	124
ANEXO D	
RESULTADOS ESTUDIOS ESTABILIDAD EN DEMANDA ALTA	125
ANEXO E	
CÁLCULOS FUNCIONES DE PROTECCIÓN	135
ANEXO F	
CURVAS Y DIAGRAMAS COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	142

Índice de Tablas

Tabla 1: Designación de Centrales hidráulicas.....	13
Tabla 2: Clasificación de los elementos usados en la regulación de tensión.	15
Tabla 3: Características componentes de la corriente de cortocircuito.	22
Tabla 4: Parámetros Eléctricos de las Máquinas Utilizadas en la Modelación.....	27
Tabla 5: Configuración Topológica para Casos.	33
Tabla 6: Configuración Topológica Para el Análisis de las Instalaciones de la Central.	34
Tabla 7: Etapas de Simulación Dinámica, Caso 1.....	39
Tabla 8: Etapas de Simulación Dinámica, Casos 2, 3 y 4.	39
Tabla 9: Consideraciones Relé Siemens 7UM621	46
Tabla 10: Consideraciones Relé Siemens 7UM621	46
Tabla 11: Consideraciones Relé Siemens 7UM621, Función 50BF	46
Tabla 12: Consideraciones Relé GE T60, Función 87T.....	48
Tabla 13: Consideraciones Relé GE T60, Función 50BF	48
Tabla 14: Consideraciones Relé GE T60	48
Tabla 15: Consideraciones Relé GE T60	49
Tabla 16: Consideraciones Función 21 Tipo Mho	49
Tabla 17: Consideraciones Función 21N Tipo Cuadrilateral	49
Tabla 18: Consideraciones Relé GE D60	49
Tabla 19 Relé GE D60.....	49
Tabla 20: Función 21 Tipo Mho.....	49
Tabla 21 : Función 21 Tipo Cuadrilateral	50
Tabla 22: Relé GE D60, Función 50BF	50
Tabla 23: Consideraciones Relé Siemens 7SJ621	51
Tabla 24: Consideraciones Relé Siemens 7SJ621	51
Tabla 25: Consideraciones Relé Siemens 7SJ621, Función 50BF.....	51
Tabla 26: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Simétrica.	59
Tabla 27: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Asimétrica.	60
Tabla 28: Revisión de Capacidad de Ruptura de Cierre Contra Cortocircuito.	61
Tabla 29: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Simétrica.	62
Tabla 30: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Asimétrica.	62
Tabla 31: Revisión de Capacidad de Ruptura de Cierre Contra Cortocircuito.	62
Tabla 32: Flujos de Potencia Activa y Reactiva en Tramos de Interés. Operación Normal. Alta Demanda.....	64
Tabla 33: Niveles de Tensiones en Barras de Interés. Operación Normal. Alta Demanda.....	65
Tabla 34: Flujos de Potencia Activa y Reactiva en Tramos de Interés. Operación Normal. Baja Demanda.	66
Tabla 35: Niveles de Tensiones en Barras de Interés. Operación Normal. Baja Demanda.	67
Tabla 36: Flujos de Potencia Activa y Reactiva de la Central Huasco, Operación Normal con Variables Nulas, Zona de Entrega de Reactivos.....	69
Tabla 37: Normal con Potencias Activa y Reactivas Nulas, Zona de Entrega de Reactivos.	69
Tabla 38: Flujos de Potencia Activa y Reactiva de la Central Huasco, Operación Normal con Variables Nulas, Zona de Entrega de Reactivos.....	70
Tabla 39: Normal con Potencias Activa y Reactivas Nulas, Zona de Absorción de Reactivos. ...	70
Tabla 40: Elementos considerados y sus tramos de interés.....	74

Tabla 41: Niveles de Corriente en y Saturación del Transformador de Poder (Generación en condiciones nominales)	74
Tabla 42: Niveles de Corriente Transformador de Corriente Paño H1 S/E El Edén.....	74
Tabla 43: Niveles de Corriente Transformador de Corriente Paño CT1 S/E Alto del Carmen	74
Tabla 44: Tensión Transitoria Mínima de las Barras Cercanas al Punto de Conexión.....	75
Tabla 45: Evolución de Frecuencia en Barras Cercanas al Punto de Conexión.....	75
Tabla 46: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 1 Demanda Alta.....	76
Tabla 47: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 1 Demanda Baja.....	76
Tabla 48: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 2 Demanda Baja.....	76
Tabla 49: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 3 Demanda Baja.....	77
Tabla 50: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 3 Demanda Baja.....	77
Tabla 51: Excursión Angular del Rotor de las Centrales Cercanas a la Zona de Estudio.....	77
Tabla 52: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Alta.....	82
Tabla 53: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Alta (Continuación).....	83
Tabla 54: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Alta.....	84
Tabla 55: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Alta (Continuación).....	85
Tabla 56: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Alta.....	86
Tabla 57: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Alta (Continuación).....	87
Tabla 58: Comprobación con Falla Monofásica, Demanda Alta.....	88
Tabla 59: Comprobación con Falla Monofásica Demanda Alta (Continuación).....	89
Tabla 60: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Baja.....	91
Tabla 61: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Baja (Continuación).....	92
Tabla 62: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Baja.....	93
Tabla 63: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Baja (Continuación).....	94
Tabla 64: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Baja.....	95
Tabla 65: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Baja (Continuación).....	96
Tabla 66: Comprobación con Falla Monofásica, Demanda Baja.....	97
Tabla 67: Comprobación con Falla Monofásica Demanda Baja (Continuación).....	98
Tabla 68: Simulación de Flujo de Potencia, Escenario Demanda Alta con Consumo Nulo de la S/E Alto del Carmen.....	105
Tabla 69: Curvas de Sobrecorriente Direccionales de la S/E El Edén, Protecciones GE D60 y GE F60.....	106

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema típico de una Central hidráulica.....	13
Figura 2: Disposición del eje turbina Francis.....	14
Figura 3: Posiciones de los álabes dentro de la turbina.....	14
Figura 4: Detalle del rodete y distribuidor en una turbina Francis.....	15
Figura 5: Esquema básico de un control de frecuencia en un sistema de Potencia.....	17
Figura 6: Esquema regulador de velocidad mecánico-hidráulico.....	18
Figura 7: Diagrama de bloques regulador de velocidad.....	18
Figura 8: Diagrama de bloques de un sistema de excitación de una máquina síncrona.....	20
Figura 9: Modelo del sistema de excitación DC DC1A.....	21
Figura 10: Componentes de la corriente de cortocircuito.....	22
Figura 11: Punto de conexión del Tap - Off Huasco en el circuito de la línea El Edén – Alto Del Carmen.....	26
Figura 12: Diagrama unilineal conexión Central Hidroeléctrica Huasco.....	27
Figura 13: Carta de Operación de las Máquinas Generadoras Utilizadas en la Central Huasco.....	28
Figura 14: Parámetros Eléctricos del Transformador de Poder.....	28
Figura 15: Parámetros Técnicos de la Línea de Transmisión.....	28
Figura 16: Parámetros Eléctricos del transformador reductor S/E Alto del Carmen.....	29
Figura 17: Parámetros Eléctricos del transformador reductor S/E Vallenar.....	29
Figura 18: Parámetros Técnicos de la Línea de Transmisión Edén-Alto del Carmen.....	29
Figura 19: Parámetros Eléctricos del transformador de Corriente considerados.....	29
Figura 20: Obras de Generación Prevista en el SIC para Mayo 2013.....	30
Figura 21: Tasas de Crecimiento de Demanda, Según Proyecciones SIC.....	30
Figura 22: Despacho de Centrales nuevas en demanda alta y demanda mínima del sistema.....	31
Figura 23: Generación prevista proyectada en el SIC.....	32
Figura 24: Generación Prevista Encontrada en la Zona Atacama.....	32
Figura 25: Demanda Prevista Encontrada en el SIC.....	32
Figura 26: Generación Prevista Encontrada en la Zona de Atacama.....	32
Figura 27: Valores controlador de velocidad utilizados en el programa DIgSILENT.....	37
Figura28: Valores utilizados sistema de excitación utilizados en el programa DIgSILENT.....	38
Figura29: Diagrama Unilineal PCU (Primary Control Unit) Central Huasco.....	40
Figura30: Modelo del sistema de excitación DC1A, Central Huasco.....	41
Figura31: Sistema de protecciones modelado para Central Huasco.....	42
Figura 32: Esquema de Teleprotecciones Central Huasco / Subestación El Edén.....	56
Figura 33: Condición Normal de operación de la Central Huasco.....	71
Figura 34: Condición Normal de operación de la Central Huasco a Factor de Potencia unitario en el punto de conexión (Tap-Off).....	73
Figura 35: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta.....	78
Figura 36: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta (Acercamiento).....	78
Figura 37: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta, Central Río Huasco Fuera de Servicio.....	79
Figura 38: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta, Central Río Huasco Fuera de Servicio (Acercamiento).....	79
Figura 39: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase Central Río Huasco.....	142

Figura 40: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones Residuales Central Río Huasco.	143
Figura 41: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase y Residual, S/E Vallenar.....	143
Figura 42: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase y Residual Direccionales, S/E El Edén y S/E Maitencillo.....	144
Figura 43: Curvas Tiempo/Corriente de las Protecciones S/E Alto Del Carmen.....	144
Figura 44: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase y Residuales, Instalaciones Aledañas al Punto de Conexión.....	145
Figura 45: Diagrama X/R Equipo GE D60, Central Huasco.....	145
Figura 46: Diagrama X/R Equipo GE D60, Paño H1 S/E El Edén.....	146
Figura 47: Diagrama X/R Equipo GE D60, Paño H4 S/E Maitencillo.	146

CAPÍTULO 1

Introducción

En este capítulo se describe el contexto de la memoria de título, su motivación, objetivos generales y específicos. Finalmente, se describe la estructura del trabajo y se presenta el diagrama lógico de su desarrollo.

1.1. Motivación

Uno de los grandes recursos que presenta Chile es el agua; si se considera que la tecnología de las Centrales de pasada tienen un factor de planta (porcentaje de energía generada en un año) cercano al 70% y las de embalse un 60%¹, resulta sumamente atractiva la iniciativa de proyectos concernientes a la explotación de energía hídrica. No obstante, la construcción de grandes embalses representan proyectos con grandes barreras de entrada debido a la concesión de servidumbres; líneas de transmisión extensas; problemas de impacto medioambiental, con lo que se crea un escenario propicio para el desarrollo de Centrales de pasada y pequeños embalses.

Este trabajo de memoria de título analiza el impacto del ingreso de una Central microhidráulica al Sistema interconectado Central (SIC). El estudio del proyecto denominado “Central Hidroeléctrica Río Huasco” contempla la incorporación de una planta generadora hidráulica con una Potencia nominal de generación de aproximadamente 5,12 [MW]. Para ello se cuenta con 2 unidades generadoras síncronas de 2,85 [MVA] de Potencia cada una y un Factor de Potencia nominal de 0.9, las cuales son impulsadas por turbinas Francis de eje horizontal. Los generadores son conectados a un Transformador de Poder que eleva la tensión de 6.6 [kV] a 110 [kV]. La conexión de la Central, se realiza por una línea de circuito simple de 190 [m] de longitud, con una tensión nominal de 110 [kV], entregando la energía a la línea que une Alto Del Carmen con Vallenar. La futura Central Hidroeléctrica Río Huasco, obtendrá su energía aguas abajo del muro de cortina del embalse Santa Juana que se ubica a 15 Km. al Sur-Oriente de la ciudad de Vallenar en la III Región.

Para efectos de confección de la memoria de trabajo de título en sí, esta se ha dividido en 5 capítulos, los cuales se resumen a continuación:

- **Capítulo 1:** Consistente en la introducción de la Central Hidroeléctrica Huasco, en donde se menciona el marco del proyecto y los alcances del trabajo de título.
- **Capítulo 2:** Revisión bibliográfica de la temática en la que se enmarca el estudio.
- **Capítulo 3:** Descripción de la implementación, modelación y simulación de la Central y el Sistema Interconectado Central en el software DIgSilent PowerFactory.
- **Capítulo 4:** Resultados de las simulaciones realizadas junto con un análisis de las mismas.
- **Capítulo 5:** Conclusiones finales del trabajo de título acerca de la factibilidad de conexión de la Central en base a los estudios realizados.

¹ Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro. Emitido por la Comisión Nacional de Energía: www.ministeriodeenergia.cl/minwww/opencms

El presente proyecto consiste en una iniciativa de la empresa GPE (Gestión de Proyectos Eléctricos S.A.) delegada a la consultora IMELSA S.A. en donde se realizarán los estudios sistémicos de la Central. El departamento involucrado corresponde al Departamento de estudios de la consultora a cargo del ingeniero Erick Sánchez Z. y el ingeniero civil eléctrico Héctor Carrasco M. el cual es el encargado de la supervisión del trabajo de título del alumno Humberto Tamayo G.

1.2. Objetivos Generales

En el contexto antes señalado, el objetivo general del presente trabajo de título es:

- Realizar los estudios sistémicos para la determinación del impacto del ingreso de la Central microhidráulica Huasco al Sistema Interconectado Central.

1.3. Objetivos Específicos

Se definen a continuación los objetivos específicos:

- Establecer los Flujos de Potencia Activa y Reactiva a través de los tramos de interés cercanos al punto de conexión de la Central, así como los niveles de tensión y cargabilidad de las líneas para distintas condiciones de operación del sistema.
- Definir los niveles de las componentes de la corriente de cortocircuito (simétrica inicial; peak; simétrica de interrupción; continua; asimétrica de interrupción y de régimen permanente) para las contingencias de cortocircuito trifásico; bifásico a tierra; bifásico y monofásico, con el propósito de efectuar una revisión de la Capacidad de Ruptura de los interruptores existentes cercanos a la Central.
- Desarrollar modelos de controladores de voltaje y velocidad para realizar simulaciones dinámicas a fin de determinar la evolución transitoria de tensión y frecuencia en Barras cercanas; niveles de amortiguamiento para oscilaciones electromecánicas de líneas adyacentes y el comportamiento transitorio angular del rotor de las unidades generadoras.
- Realizar un esquema de protecciones para generadores; Transformador de Poder; líneas y Barras de la Central. Establecer criterios de ajuste y coordinación de las protecciones de la Central y las existentes en las líneas cercanas al punto de conexión, junto con una verificación de las mismas.

CAPÍTULO 2

Revisión Bibliográfica

2.1. Características de las pequeñas Centrales hidráulicas

Una Central hidráulica transforma la energía cinética del agua a eléctrica mediante las turbinas y las unidades síncronas que la conforman. Dentro de esta categoría se establecen las siguientes denominaciones:

Designación	Potencia instalada [MW]
Grandes Centrales	[5 ; ∞)
Pequeñas Centrales	[1 ; 5)
MiniCentrales	[0,1 ; 1)
MicroCentrales	[0,005 ; 0,1)
Hidrocargadores	[0 ; 0,005)

Tabla 1: Designación de Centrales hidráulicas.²

Una Central hidráulica se conforma por diversos sistemas de captación y canalización de agua, además de componentes electromecánicos (turbinas; reguladores de velocidad y tensión; sistemas de protecciones; etc.). Así, los principales componentes son los siguientes:

- **Sistema de toma de agua:** Cuya configuración depende de la topología propia del cauce.
- **Sistema de filtración:** Para la eliminación de cuerpos en suspensión en el agua
- **Sistema de conducción de aguas:** Formada por canales y ductos.
- **Caseta de control:** Donde se alojan los sistemas electromecánicos tales como grupo turbina-generator; transformador; sistemas de control; etc.
- **Sistema de restitución:** Que devuelve el agua a su curso original.

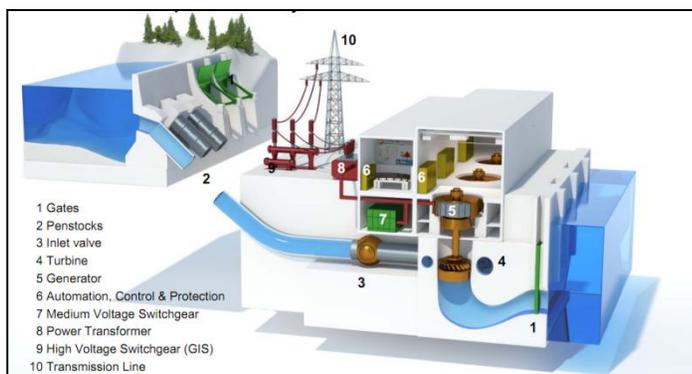


Figura 1: Esquema típico de una Central hidráulica.³

² Fuente: www.cne.cl

2.2. Turbinas Francis

Corresponden a turbinas con un campo de aplicación muy extenso, empleándose en saltos de distintas alturas dentro una amplia gama de caudales (entre 2 y 200 [m³/s]), poseen un buen rendimiento pero solamente entre determinados márgenes de descarga, los cuales varían entre un 60% y un 100% del caudal máximo. Es por esta razón que en una Central hidráulica se disponen varias de estas unidades con el objetivo que ninguna trabaje individualmente por debajo de valores del 60% de descarga total.

La instalación de este tipo de turbinas se realiza generalmente en Centrales en las que, para la alimentación de agua, se requiere de la existencia de un embalse, pudiendo ser instaladas en eje vertical u horizontal, tal como se muestra en la figura:

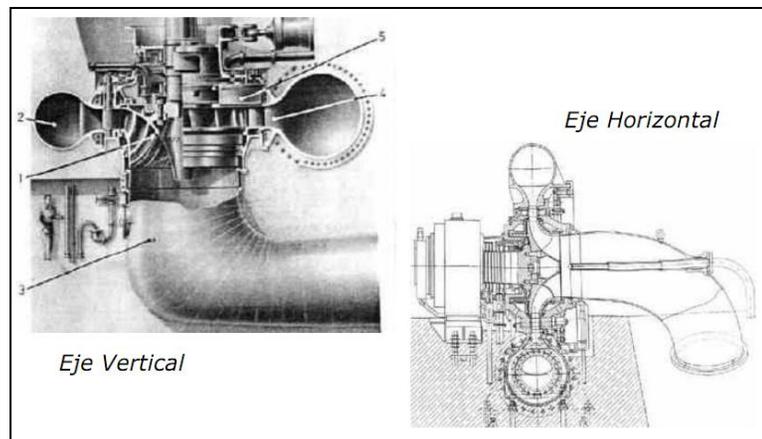


Figura 2: Disposición del eje turbina Francis

Un elemento a modelar dinámicamente propio de estas turbinas corresponde al comportamiento no lineal del distribuidor de la turbina, el cual como propósito dirigir eficazmente el agua hacia los álabes del rodete en orden de regular el caudal admitido, modificando con ello la Potencia mecánica de la turbina. Entendemos rodete como un tipo de rotor situado al interior de un conducto encargado de impulsar un fluido, el cual entra por el centro del elemento y es arrastrado por los álabes (paleta curva) en dirección radial.

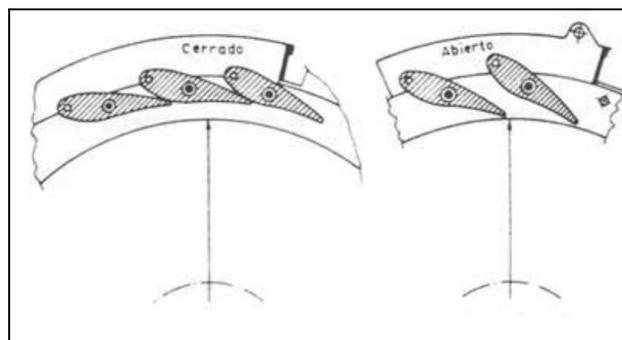


Figura 3: Posiciones de los álabes dentro de la turbina

³ Fuente: www.andrtiz.com

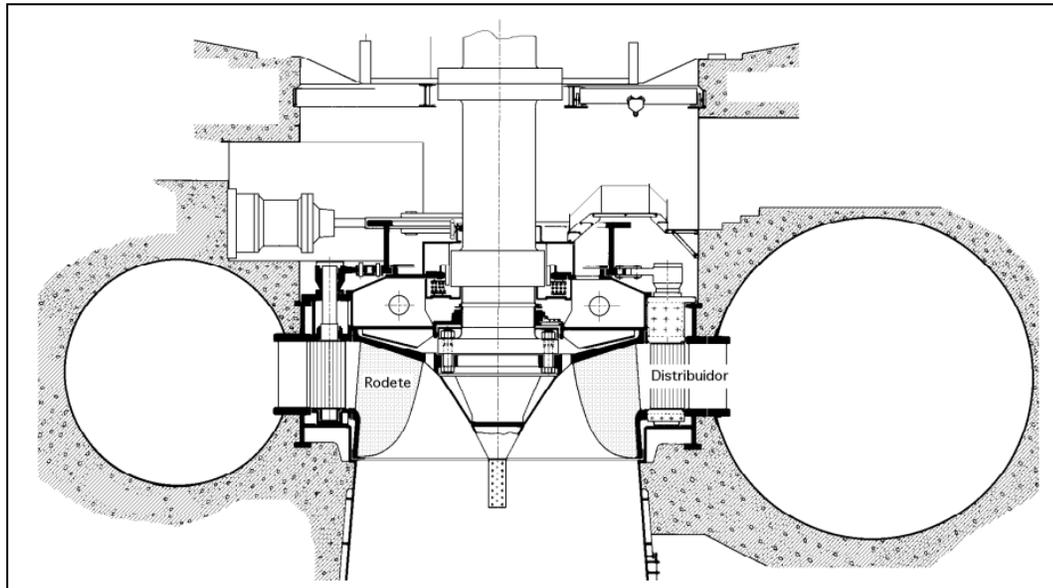


Figura 4: Detalle del rodete y distribuidor en una turbina Francis.

2.3. Regulación de voltaje

Se entiende como estabilidad de voltaje la consecuencia de la dinámica de cargas para restaurar el consumo de Potencia más allá de la capacidad de generación y transmisión del sistema eléctrico. En este contexto, la energía reactiva cumple un rol fundamental en el control de los niveles de tensión al permitir a los consumos establecer su campo magnético y así mantener los niveles de tensión deseados.

Con respecto a la regulación del voltaje, se enuncia a continuación una Tabla con la participación de los elementos en las distintas escalas de tiempo.

Escala de tiempo	Característica	Componentes
Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> - Del orden de pocos segundos. - Las componentes relevantes son las que presentan una respuesta rápida a perturbaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - SVC - AVR - PSS - Generadores - Turbinas - Motores de inducción - HVDC
Largo Plazo	<ul style="list-style-type: none"> - Desde algunos segundos hasta varios minutos. - Componentes de interés son aquellas con grandes constantes de tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> - LTC (load tap changer) - OEL (limitador de sobreexcitación) - Compensación en paralelo

Tabla 2: Clasificación de los elementos usados en la regulación de tensión.

Cabe mencionar que la tensión medida en una Barra afecta de manera directa a los elementos ahí conectados, es por ello que la Norma Técnica de seguridad y calidad de servicio ha normalizado los niveles de tensiones nominales (o de servicio) así como las variaciones máximas aceptadas.

2.3.1. Estándares de Control de Tensión en Estado de Operación Normal y de Alerta

Según los Artículos 1-4, 1-5 y 2-7 de la Norma Técnica de Calidad y Seguridad del servicio (en adelante NT de SyCS), se establece que los presentes criterios serán aplicados a los sistemas que cumplan las condiciones bajo el concepto de Coordinado, mencionado en el Art. 1 – 7 número 23. Estas características pueden ser utilizadas para instalaciones como la Central bajo estudio, tanto en los aspectos de diseño de las instalaciones que las interconectan al SIC, como en cuanto a las condiciones de operación y su correspondiente coordinación operativa con el Centro de Despacho Económico de Carga.

Art. 5-25:

El SI⁴ deberá operar en Estado Normal con todos los elementos e instalaciones del Sistema de Transmisión y compensación de Potencia Reactiva disponibles, y suficientes márgenes y reserva de Potencia Reactiva en las unidades generadoras, compensadores estáticos y sincrónicos, para lo cual el CDC⁵ y los CC⁶, según corresponda, deberán controlar que la magnitud de la tensión en las Barras del SI esté comprendida entre 0,93 y 1,07 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal inferior a 200 [kV].

Art. 5-27:

En Estado Normal, el control de las tensiones del SI dentro de la banda de variación permitida deberá efectuarse manteniendo la Potencia Reactiva de las unidades generadoras dentro del Diagrama PQ, de acuerdo a lo especificado en el TÍTULO 6-7 de la NT.

Art. 5-28:

Para cumplir con lo indicado en el artículo precedente, el aporte de Potencia Reactiva de las unidades generadoras estará limitado por los valores de la tensión máxima admisible en terminales de la unidad.

Art. 5-29:

En Estado de Alerta el CDC y los CC deberán controlar que la magnitud de la tensión en las Barras del SI esté comprendida entre: 0,91 y 1,09 por unidad, para instalaciones del Sistema de Transmisión con tensión nominal inferior a 200 [kV].

Art. 5-32:

La DO determinará la Capacidad de Transmisión en Régimen Permanente de cada Elemento Serie del Sistema de Transmisión a partir del Límite Térmico o máxima corriente admisible, según corresponda, el Límite por Regulación de Tensión, el Límite por Estabilidad Permanente y el Límite por Contingencias. La DO deberá mantener debidamente actualizada esta información en la página WEB del CDEC.

Para estos efectos, se debe entender por Límite de Estabilidad Permanente la máxima transferencia que permite operar en forma estable, sin que se ponga en riesgo el sincronismo de las unidades generadoras conectadas en las áreas determinadas por los extremos receptor y el

⁴ SI : Sistema Interconectado

⁵ CDC: Centro Despacho y Control del CDEC

⁶ CC: Centro de Control

emisor de la instalación de transmisión. El CDC y los CC, según corresponda, operarán los Elementos Serie manteniendo la corriente transportada en un valor equivalente inferior o igual al 100 % de la Capacidad de Transmisión en Régimen Permanente, tanto en Estado Normal como en Estado de Alerta.

2.4. Reguladores de velocidad

Una Central microhidráulica tiene como promotor de sus turbinas a la energía cinética proveniente del agua del río o cauce al cual esté conectado; durante este proceso las turbinas convierten dicha energía cinética en mecánica la cual es entregada al eje de la máquina síncrona para generar energía eléctrica. El sistema de control de las turbinas provee un medio para manipular la Potencia y frecuencia de la máquina mediante el control de las válvulas de las tuberías a través de la acción del regulador de velocidad.

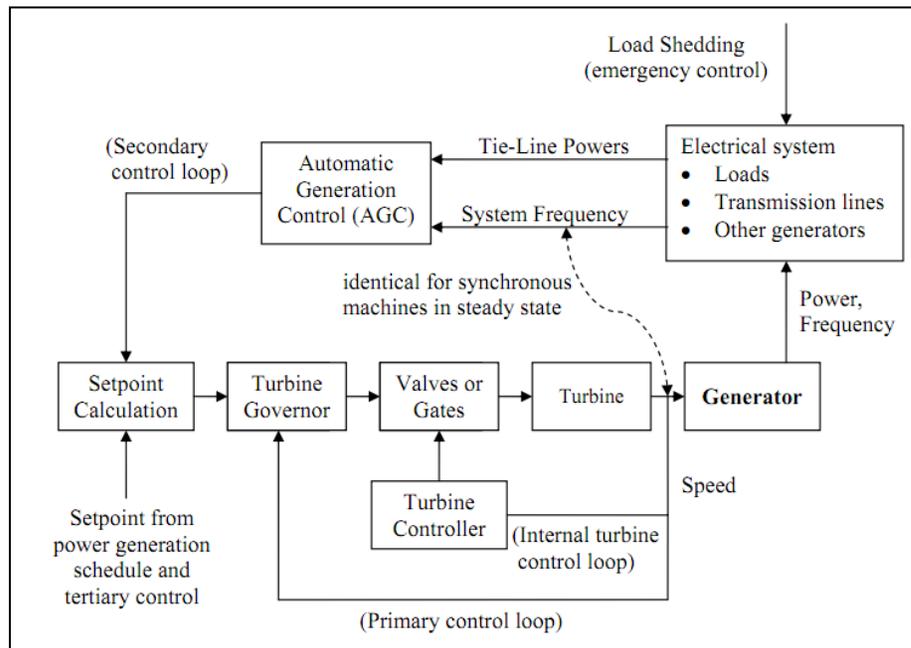


Figura 5: Esquema básico de un control de frecuencia en un sistema de Potencia.

El gobernador de turbina hidráulica se modela tal como se muestra en el diagrama descrito a continuación el cual representa un regulador de velocidad mecánico-hidráulico. En dicho modelo existen dos servomotores, los cuales controlan la válvula piloto y de distribución con el objetivo de controlar la posición de la compuerta.

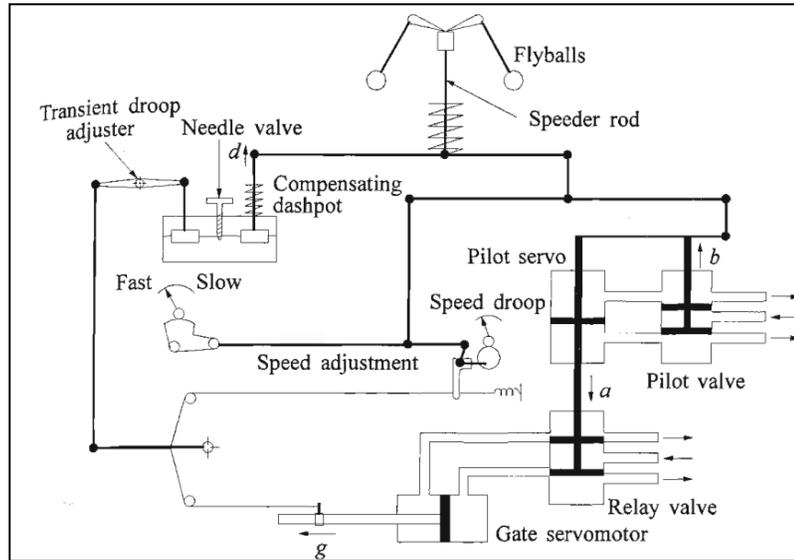


Figura 6: Esquema regulador de velocidad mecánico-hidráulico.

El servomotor de la compuerta es representado por un integrador con constante de tiempo T_g , en cambio el de la válvula piloto, se modela con una contante de tiempo T_p . Los limitadores proveen una zona segura de operación y de las posiciones máximas y mínimas de las compuertas, la banda muerta en cambio representa la sensibilidad ante pequeñas variaciones del regulador las cuales no serán detectadas si están dentro de la misma. Finalmente, en el censado de la velocidad, se realiza con una retroalimentación del estatismo permanente y transitorio.

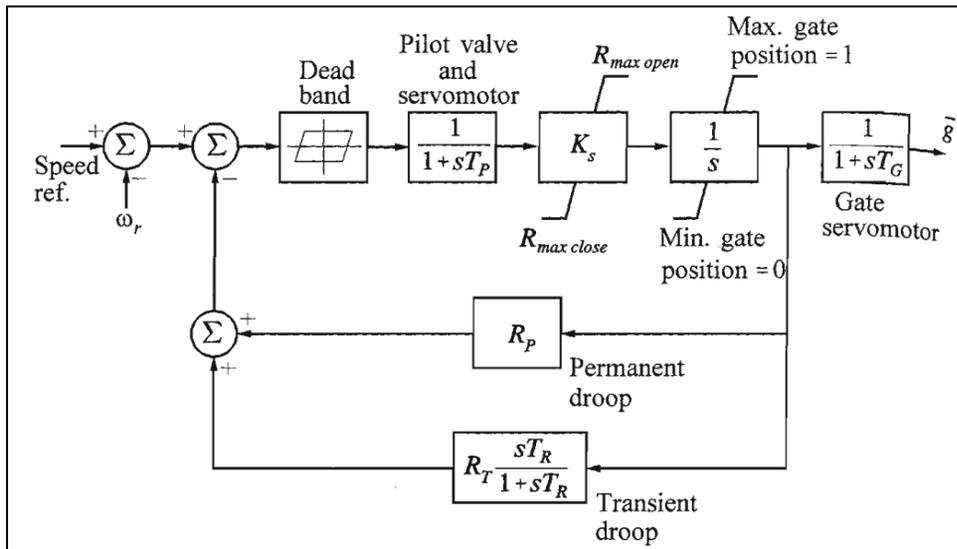


Figura 7: Diagrama de bloques regulador de velocidad.

2.4.1. Estándares de Control de Frecuencia en Estado de Operación Normal y de Alerta

Artículo 5-44:

En el caso de una contingencia simple o severa, la frecuencia mínima admitida en instalaciones del sistema de transmisión troncal será igual a 48,30 [Hz], aceptándose en instalaciones de subtransmisión o sistemas de transmisión adicional, un descenso transitorio de la frecuencia por debajo de 48,3 [Hz] durante un tiempo inferior a 200 [mseg].

Artículo 5-45:

En el caso que una Contingencia Simple dé lugar a una condición de sobrefrecuencia, causada por una desconexión de demanda o por la pérdida de un Elemento Serie, el incremento transitorio de la frecuencia se controlará prioritariamente con la reducción rápida de generación, y en la medida que sea necesario, con la actuación del EDAG⁷ y /o ERAG⁸. En ningún caso la frecuencia podrá alcanzar valores tales que se activen las protecciones contra sobrefrecuencia y/o sobrevelocidad con que está equipada cada unidad generadora.

2.4.2. Estándares de Oscilaciones Electromecánicas

Artículo 5-47:

Luego de ocurrida una Contingencia Simple, el factor de amortiguación (ζ) de las oscilaciones electromecánicas, medido sobre las oscilaciones de Potencia Activa en la línea de transmisión que transporta mayor Potencia y cuya localización sea la más cercana al lugar de ocurrencia de la contingencia, deberá tener un valor mínimo del 5 %.

Artículo 5-48:

La determinación del factor de amortiguación (ζ) se realizará a través de la medición de los máximos de la onda de Potencia Activa en la línea de transmisión evaluada, correspondientes a dos semiciclos consecutivos de igual signo, ya sea positivo o negativo, sean A1 y A2 respectivamente, y a continuación, se calculará el coeficiente RA mediante el cociente entre A2 y A1. El factor ζ resultará de aplicar la siguiente fórmula:

$$\zeta = \frac{\log_e R_A}{2\pi \sqrt{1 + \frac{(\log_e R_A)^2}{4\pi^2}}} \cdot 100$$

En el caso que las oscilaciones iniciales tengan una forma irregular y en situaciones que ello aplique se podrán utilizar metodologías para descomponer señales irregulares en sus componentes oscilatorias y amortiguadas. En este caso, se adoptará como valor de amortiguamiento el correspondiente al modo de oscilación amortiguada dominante, es decir aquel que tiene un período similar a la oscilación irregular. En el caso de no ser posible la descomposición anterior el factor de amortiguamiento se calculará luego que la forma de onda presente un comportamiento oscilatorio amortiguado, luego del tiempo irregular de la onda.

⁷ EDAG: Esquema de Desconexión Automática de Generación.

⁸ ERAG: Esquema de Reducción Automática de Generación.

2.4.3. Márgenes de Estabilidad

Artículo 5-53:

Para las contingencias y severidad especificadas en el Artículo 5-37 de la presente NT, la DO definirá la Capacidad de Transmisión en Régimen Permanente disponible para cada Elemento Serie del Sistema de Transmisión, para las configuraciones de demanda y generación más desfavorables, considerando un margen de seguridad de 30° en la excursión del ángulo del rotor en la primera oscilación para aquellas unidades generadoras que estén más exigidas, respecto del valor de excursión angular que activa la protección de pérdida de sincronismo y desconecta la unidad, con el fin de determinar el margen de estabilidad sincrónica.

En caso de no disponer de modelos precisos para la unidad generadora y su Controlador de Tensión y Controlador de Velocidad, obtenidos a partir de ensayos realizados a la unidad, se deberá adoptar un margen de seguridad de 40° en la excursión del ángulo del rotor en la primera oscilación. En el caso que no se conozca con exactitud la calibración de la protección de pérdida de sincronismo y que no se pueda representar su efecto en los estudios de estabilidad transitoria, se adoptará un valor máximo de 120° para la primera.

2.5. Reguladores de excitación

El objetivo principal de un sistema de excitación es abastecer y ajustar automáticamente la corriente de campo para mantener la tensión de salida del generador de acuerdo a valores predeterminados dentro de la curva de operación de la máquina. Además, el sistema de regulación de excitación provee funciones de control de flujos reactivos y tensión en bornes, así como de protección al asegurar que no se excedan los límites de operación.

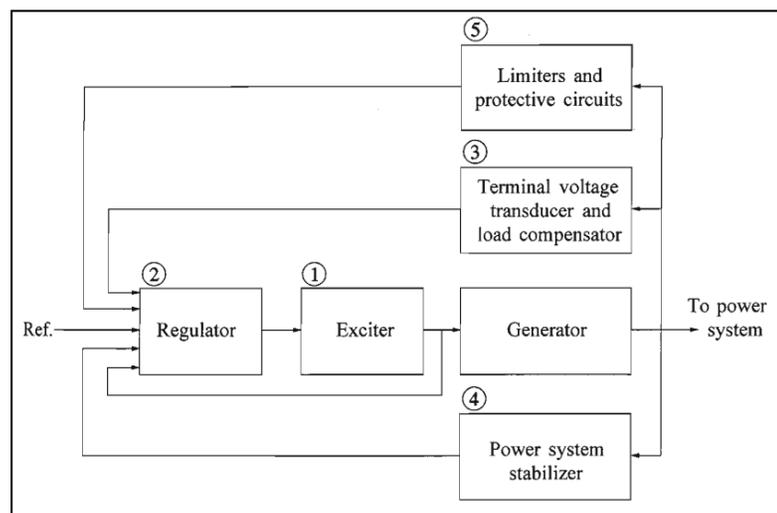


Figura 8: Diagrama de bloques de un sistema de excitación de una máquina síncrona.

La IEEE ha estandarizado 12 modelos estructurados en diagramas de bloques para representar la amplia variedad en los sistemas existentes, en donde el grado de detalle depende de los propósitos del estudio.

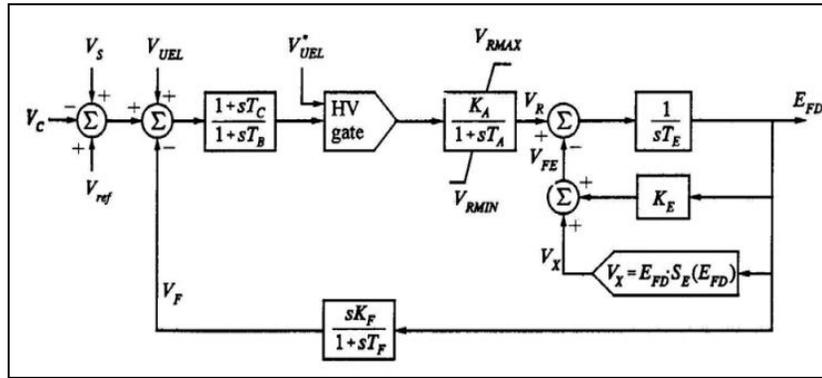


Figura 9: Modelo del sistema de excitación DC DC1A

El modelo DC DC1A se compone de una excitatriz rotativa DC de campo controlada por la continua acción del regulador de tensión, siendo V_x la salida del bloque de saturación donde el término $SE(E_{FD})$ corresponde a una función no lineal de la tensión de excitación E_{FD} ; la señal V_F es provista por el estabilizador en el lazo menor de retroalimentación con una acción derivativa de ganancia K_F y una constante de tiempo T_F ; V_R corresponde a la tensión de salida del regulador utilizada para controlar la tensión de campo de la excitatriz.

2.6. Componentes de corrientes de cortocircuito

De acuerdo a lo establecido en la Norma IEC 60909-0 (2001): “Short-Circuit current in three-phase a.c. systems” se han considerado las siguientes componentes de las corrientes de cortocircuito:

- i. **Corriente de cortocircuito simétrica:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de la corriente alterna (ca) de una corriente de cortocircuito. La componente continua o no periódica de la corriente, no es considerada.
- ii. **Corriente de cortocircuito simétrica inicial:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de ca. de una corriente de cortocircuito, aplicable en el instante de iniciado el corto circuito, considerando que la impedancia mantiene el valor del instante $t=0$.
- iii. **Componente continua (no-periódica) de la corriente de cortocircuito (DC):** Valor medio de la envolvente de la corriente de cortocircuito decayendo desde un valor inicial hasta cero.
- iv. **Corriente de cortocircuito máxima (peak):** Valor instantáneo máximo posible de la corriente de cortocircuito.
- v. **Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción:** Valor r.m.s. de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito, integrada en 1 ciclo, para el instante de separación de los contactos del primer polo del dispositivo de interrupción.

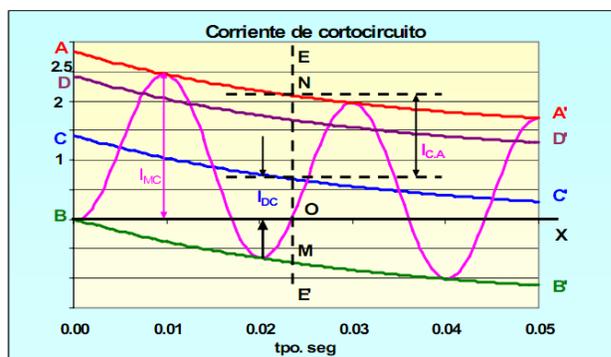


Figura 10: Componentes de la corriente de cortocircuito⁹

En el esquema anterior identificamos:

Curva - trazo – variable - expresión	Descripción
AA' y BB'	Envolvente de la onda de corriente
BX	Línea de eje cero
CC'	Desplazamiento de la línea de eje cero de la componente de corriente alterna en cualquier instante
DD'	Valor r.m.s. de la componente de c.a. de la corriente en cualquier instante, medido desde curva CC'
EE'	Instante de separación de los contactos del Interruptor (iniciación del arco de cortocircuito)
I_{Mc}	Corriente de cortocircuito máxima
I_{CA}	Valor peak de la componente ca. de la corriente en el instante definido por el trazo EE'
I_{DC}	Componente de corriente continua de la corriente en el instante EE'

Tabla 3: Características componentes de la corriente de cortocircuito.

Para los interruptores se ha definido la corriente de interrupción nominal (I_{sc}) como la corriente de cortocircuito más alta que el interruptor es capaz de interrumpir bajo condiciones de uso y comportamiento establecidas en la Norma IEC 62271-100. La corriente es caracterizada por dos valores:

- El valor r.m.s. de la componente de corriente alterna: Concerniente al valor eficaz de una señal eléctrica, dada por la siguiente expresión:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt}$$

- El porcentaje de la componente de corriente continua: Respecto de la señal original.

⁹ Fuente: Procedimiento DO: "Términos y condiciones del cálculo de corrientes de cortocircuito para la verificación del dimensionamiento de interruptores en el sic". www.cdec-sic.cl

2.6.1. Dimensionamiento de Interruptores en el SIC.

Se señala que un interruptor estará adecuadamente dimensionado si satisface las condiciones que se expresan a continuación, sujeto a las mayores corrientes de cortocircuito que se determinen en el estudio.

- La **Capacidad de Ruptura simétrica** nominal del interruptor, deberá ser mayor que la corriente de cortocircuito simétrica de interrupción que se establezca a través de éste, en el instante de 40 milisegundos después de iniciado el cortocircuito.
- La **Capacidad de Ruptura asimétrica** del interruptor, deberá ser mayor que la corriente de cortocircuito de interrupción asimétrica que se establezca a través de éste, en el instante de 40 milisegundos después de iniciado el cortocircuito.
- La **capacidad de cierre contra cortocircuito** nominal del interruptor, deberá ser mayor que la corriente de cortocircuito máxima instantánea (Peak), que se establezca a través de éste.

2.7. Sistemas de protección de sistemas eléctricos

Las principales características de un sistema de protección son las siguientes:

- **Sensibilidad:** Capacidad de detectar condición anormal, o de identificar el límite entre lo Normal y lo anormal.
- **Selectividad:** Capacidad de identificar elemento afectado por la anomalía y su aislación.
- **Coordinación:** Consecuencia de lograr simultáneamente Sensibilidad y Selectividad.
- **Rapidez:** Capacidad de responder en el menor tiempo posible para minimizar el daño causado por la anomalía.
- **Confiabilidad:** Capacidad de operar en toda situación y no en otro momento.
- **Respaldo:** Forma de reemplazo o apoyo funcional que un sistema de protección puede prestar a otro. Su existencia mejora la confiabilidad del sistema de protección.

2.7.1. Estándares de protecciones según Norma Técnica

Para definir el sistema de protección y analizar su actuación ante distintas contingencias, se deberá verificar el fiel cumplimiento de la NT SyCS en los temas que atañen en el ámbito de la protección y seguridad de instalaciones.

Artículo 3-4:

b) La conexión entre una unidad generadora y el SI debe contar con un interruptor de maniobra capaz de interrumpir la máxima corriente de cortocircuito en dicho punto y asegurar que el tiempo de despeje de falla será inferior al máximo establecido en el Capítulo N°5 de la presente NT.

c) La protección de las unidades generadoras y sus conexiones con el SI debe cumplir con las exigencias mínimas especificadas a continuación:

- i. El TMDF¹⁰, en ningún caso podrá exceder los valores límites establecidos en el Capítulo N°5 de la presente NT, el cual será determinado por el propietario. La DO podrá solicitar la modificación del TMDF si el análisis de la operación del SI así lo determina.
- ii. Cada unidad generadora conectada al SI, deberá disponer de la protección de respaldo para fallas en instalaciones del Sistema de Transmisión, debiendo los propietarios de dichas instalaciones disponer de similar protección para fallas que ocurran en las instalaciones de la unidad generadora. Los tiempos de despeje de fallas de estas protecciones serán coordinados entre las partes, bajo la supervisión de la DO, pero en ningún caso podrán exceder los valores límites establecidos en el Capítulo N°5 de la presente NT.

Artículo 3-28:

Las instalaciones del sistema de transmisión deberán estar equipadas con esquemas de protecciones eléctricas que sean capaces de aislar el componente fallado en forma rápida, oportuna y selectiva ante la ocurrencia de cortocircuitos entre fases y a tierra. Además, dichas protecciones deberán estar respaldadas local o remotamente frente al evento que ante la ocurrencia de una falla en la instalación protegida, uno de los elementos que constituye el esquema de protección no cumpla su función. Para líneas entre 100 y 200 [kV], el esquema de protección deberá ser complementado con teleprotección, si ello evita la pérdida de sincronismo de unidades generadoras ante la ocurrencia de cortocircuitos en estas líneas. En particular, dichos sistemas de protecciones deberán poseer al menos las siguientes características:

- a) **Para líneas del sistema de transmisión bajo 200 [kV]:** Cada circuito deberá contar al menos con un simple esquema de protecciones, siempre que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:
 - Las protecciones de los circuitos adyacentes que contribuyen a la falla permiten garantizar el respaldo remoto, al menos secuencialmente.

¹⁰ TMDF: Tiempo Máximo de Despeje de Falla

- Esta operación en respaldo no implica la desconexión de más de tres circuitos adyacentes.
 - Esta operación en respaldo no implica un tiempo total de despeje de la falla en respaldo que excede en más de 30 ciclos los tiempos máximos indicados en el artículo 5.49.
 - En caso contrario, el circuito deberá contar con un doble esquema de protecciones y con un esquema de protección contra falla de interruptor.
- b) **Para Barras del sistema de transmisión bajo 200 [kV]:** Cada Barra debe contar con un simple esquema de protecciones diferenciales por cada sección de Barra. Si la Barra no está seccionada, no será exigible un esquema diferencial de Barras, siempre que la falla en Barra sea despejada en un tiempo inferior a 20 ciclos por la operación de las protecciones de las instalaciones adyacentes.
- c) **Para transformadores de poder:** Para transformadores cuyo enrollado de mayor tensión sea inferior a 300 [kV], el sistema debe contar con un simple esquema de protecciones diferenciales, salvo en el caso de transformadores cuyo enrollado de mayor tensión sea inferior a 150 [kV] y que tengan una Potencia máxima inferior a 12 [MVA], los que podrán estar protegidos mediante desconectores fusibles.

Capítulo 3

Descripción del modelamiento en DIgSilent del proyecto

3.1. Introducción

El proyecto Central Hidroeléctrica Río Huasco, contempla la conexión de 2 unidades generadoras de 2,56[MW] cada una, las cuales en conjunto contienen un total de aproximadamente 5,12[MW] de Potencia inyectable al SIC, luego, considerando los posibles reactivos entregados o absorbidos de la red (Factor de Potencia 0,9 nomina), la Potencia aparente de la Central alcanzaría 5.7 [MVA].

El Punto de Conexión de la Central se encuentra ubicado en el circuito de la línea el Edén-Alto del Carmen, elemento que es parte del Sistema Atacama, a 25,3[Km] de la Subestación Alto del Carmen, dicha inclusión a la red eléctrica se realiza mediante Tap – Off. La Central se emplazará en la ribera norte del río Huasco a 15[Km] al Sur-Oriente de la ciudad de Vallenar, en la III Región. Tal conexión se representa mediante:

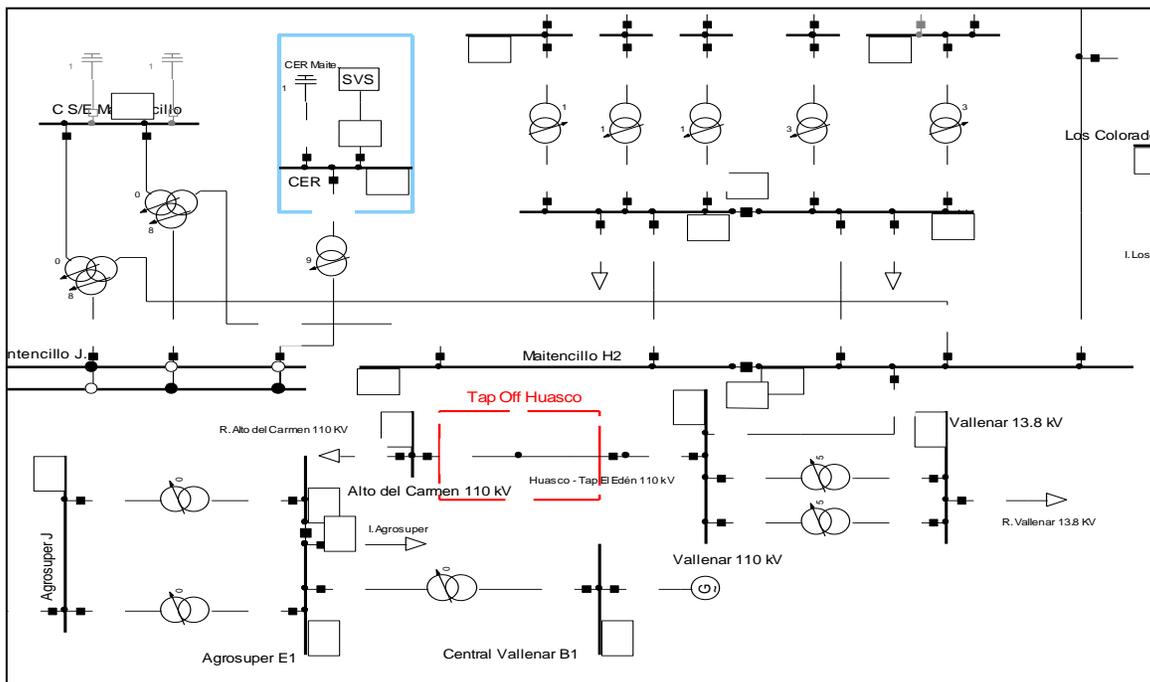


Figura 11: Punto de conexión del Tap - Off Huasco en el circuito El Edén – Alto Del Carmen.

En cuanto a la topología misma de la Central, ambas unidades generadoras inyectan su energía a una Barra común que, mediante un conductor de cobre aislado, la traslada a una subestación elevadora ubicada a 80[m], la cual eleva la tensión a 110 [kV]. Luego, la inyección al sistema se realiza mediante una línea de transmisión de 190 [m] al Tap Off Huasco 110[kV].

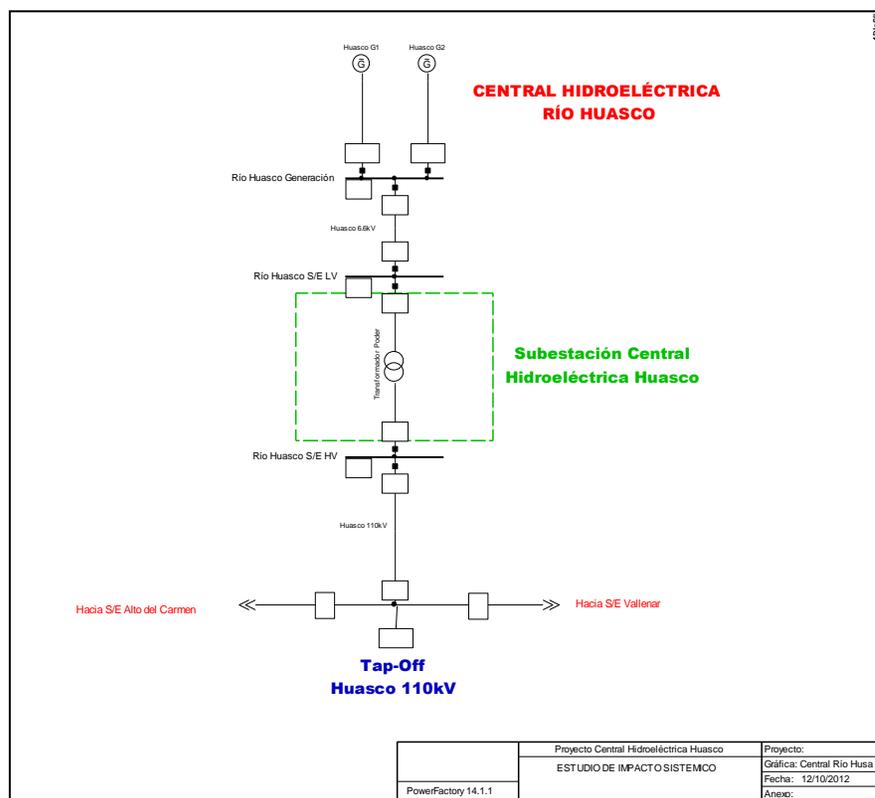


Figura 12: Diagrama unilineal conexión Central Hidroeléctrica Huasco.

A continuación, se exponen los componentes utilizados para modelación de la Central Huasco:

MÁQUINAS GENERADORAS 6,6 [kV] de 2,52[MW]		
Elemento	Valor	Unidad
Potencia Aparente Nominal	2,85	[MVA]
Potencia Activa máxima	2,56	[MW]
Potencia Activa mínima	0,44	[MW]
Potencia Reactiva máxima	0,43	[MVAr]
Potencia Reactiva mínima	0,8	[MVAr]
Tensión Nominal	6,6	[kV]
Factor de Potencia Nominal	0,9	S.U.
Frecuencia Nominal	50	Hz
Conexión	YN	-
Reactancias		
Xd	1,45	[p.u]
Xd'	0,26	[p.u]
Xd" sat	0,169	[p.u]
Xq	0,84	[p.u]
Xq'	0,84	[p.u]
Xq''	0,172	[p.u]
X2 Sec Negativa	0.171	[p.u]
X0 Sec Cero	0,064	[p.u]
T' do circuito open	2,9	[s]
T''do	0,03	[s]

Tabla 4: Parámetros Eléctricos de las Máquinas Utilizadas en la Modelación

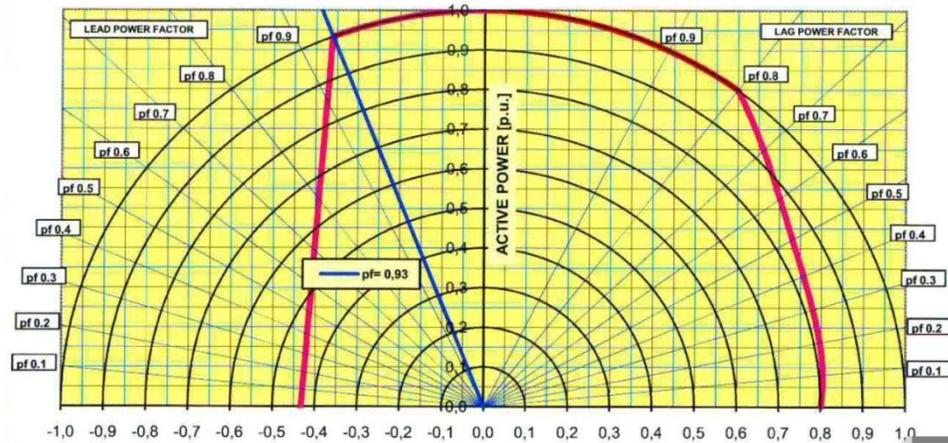


Figura 13: Carta de Operación de las Máquinas Generadoras Utilizadas en la Central Huasco.

También se modeló el Transformador de Poder para la Central en base a las siguientes características técnicas.

TRANSFORMADOR DE PODER		
Elemento	Valor	Unidad
Potencia Nominal	5,7 / 7	[MVA]
Tensión Nominal	110/6,6 K.V.	[kV]
Cambiador de Tap AT	+/- 2,5 / 5 %	S.U.
Posición nominal del Tap	0	S.U.
Posiciones Tap	-2,-1,0,1,2	S.U.
Conexión	Ydn11	S.U.
Impedancia Sec. Positiva y Negativa	7	[%]
Impedancia Sec. Cero	7	[%]
Perdidas en el cobre	39,74	[KW]
Perdidas en el Hierro	10	[KW]

Figura 14: Parámetros Eléctricos del Transformador de Poder.

Del mismo modo, se modelaron las líneas de transmisión presentes en el proyecto.

LÍNEA DE TRANSMISIÓN Subestación Huasco al Tap Off (Sección) 0,190 Km.		
CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Tipo de conductor	Azusa	[-]
Tensión nominal	110	[kV]
Corriente nominal	0,244	[kA]
Longitud de la línea	0,190	[Km.]
Resistencia de secuencia positiva	0,5903	[Ω/Km.]
Reactancia de secuencia positiva	0,524	[Ω/Km.]
Resistencia de secuencia cero	0,85172	[Ω/Km.]
Reactancia de secuencia cero	1,39195	[Ω/Km.]

Figura 15: Parámetros Técnicos de la Línea de Transmisión.

La energía obtenida por las unidades generadoras es llevada a la subestación elevadora mediante un conductor de cobre con longitud de 80 [m], para luego ser inyectada al sistema por la línea de 110 [kV] de 190 [m] de largo.

Características de equipos modelados cercanos a la Central:

TRANSFORMADOR DE PODER		
Elemento	Valor	Unidad
Potencia Nominal	8	[MVA]
Tensión Nominal	110/13,2	[kV]
Cambiador de Tap AT	+/- 2,5 / 5 %	S.U.
Posición nominal del Tap	0	S.U.
Posiciones Tap	-2,-1,0,1,2	S.U.
Conexión	Dyn1	S.U.
Impedancia Sec. Positiva y Negativa	8,55	[%]
Impedancia Sec. Cero	8,55	[%]
Perdidas en el cobre	31,939	[KW]

Figura 16: Parámetros Eléctricos del transformador reductor S/E Alto del Carmen.

TRANSFORMADOR DE PODER		
Elemento	Valor	Unidad
Potencia Nominal	8	[MVA]
Tensión Nominal	110/13,8 [kV]	[kV]
Cambiador de Tap AT	+/- 2,5 / 5 %	S.U.
Posición nominal del Tap	0	S.U.
Posiciones Tap	-2,-1,0,1,2	S.U.
Conexión	Dyn1	S.U.
Impedancia Sec. Positiva y Negativa	7,91	[%]
Impedancia Sec. Cero	8,1	[%]
Perdidas en el cobre	52,78	[KW]

Figura 17: Parámetros Eléctricos del transformador reductor S/E Vallenar.

LÍNEA DE TRANSMISIÓN Subestación Huasco al Tap Off (Sección) 0,190 Km.		
CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDAD
Tensión nominal	110	[kV]
Corriente nominal	0,42	[kA]
Longitud de la línea	41,68	[Km.]
Resistencia de secuencia positiva	0,26850192	[Ω/Km.]
Reactancia de secuencia positiva	0,41832606	[Ω/Km.]
Resistencia de secuencia cero	0,41268546	[Ω/Km.]
Reactancia de secuencia cero	1,44779247	[Ω/Km.]

Figura 18: Parámetros Técnicos de la Línea de Transmisión Edén-Alto del Carmen.

TRANSFORMADOR DE PODER		
Elemento	Valor	Unidad
Paño H1 S/E El Edén	150/5	[A]
Paño CT1 S/E Alto del Carmen	1000/1	[A]

Figura 19: Parámetros Eléctricos del transformador de Corriente considerados

Para efectos del siguiente trabajo de título se efectuarán simulaciones en el software Power Factory DlgSILENT 14.1.2. bajo la base emitida por el CDEC del Sistema Interconectado Central a la fecha de noviembre de 2012. Los modelos de máquinas han sido creados a partir de los parámetros establecidos en las cartas de operación de los diversos equipos, los cuales se enunciaron en el Capítulo 2.

A fin de establecer un punto de operación del sistema equivalente al escenario de mayo de 2013, fecha de entrada en servicio de la Central, se actualizará la base modelando las Centrales que entrarán en operación durante la ventana temporal bajo estudio:

Fecha de Entrada		Obras en Construcción de Generación	Tecnología	Potencia [MW]
Mes	Año			
Mayo	2012	Viñales	Planta térmica cogeneración	32
Julio	2012	Santa María	Carbón pulverizado	343
Septiembre	2012	San Andrés	Hidroeléctrica	40
Septiembre	2011	Providencia	Hidroeléctrica	13
Septiembre	2012	Bocamina 02	Térmica carbón	342
Noviembre	2012	Talinay Oriente	Parque eólico	99
Diciembre	2012	Pulelfu	Hidroeléctrica	9,4
Marzo	2013	Campiche	Termoeléctrica	242
Total Generación				1120,4

Figura 20. Obras de Generación Prevista en el SIC para Mayo 2013¹¹.

En la base de datos primitiva para Sept. 2012, no se encuentran modeladas algunas de las Centrales mencionadas en la Tabla anterior, por lo que estas fueron agregadas a la capacidad instalada total.

La demanda de la base de datos primitiva entregada por el CDEC-SIC se actualizó desde el mes de Abril de 2012 al mes de Mayo de 2013, basándose en la proyección de la demanda descrita en el Documento de la CNE, Fijación de Precios de Nudo - Abril de 2012, antes mencionado, el cual indica un crecimiento esperado que se muestra en la siguiente Tabla:

Tasas de Crecimiento según Previsión de Demanda SIC	
Año	Tasa
2012	6,5%
2013	6,2%

Figura 21. Tasas de Crecimiento de Demanda, Según Proyecciones SIC.

Dicho lo anterior, mediante la siguiente fórmula, la base de datos obtenida del CDEC-SIC para el mes de Abril de 2012, se actualizó a lo determinado para la fecha de entrada

$$i_{3meses(2012)} = \sqrt[12]{ia_{2012} + 1} - 1$$

$$i_{3meses(2012)} = \sqrt[12]{0,065 + 1} - 1 = 0,015868$$

¹¹ Fuente: "Fijación de Precios de Nudo, Abril de 2012, Sistema Interconectado Central (SIC) Informe Técnico Definitivo" emitido por el CDEC

$$i_{5meses(2013)} = \sqrt[12/5]{ia2013 + 1} - 1$$

$$i_{5meses(2013)} = \sqrt[12/5]{0,062 + 1} - 1 = 0,024969$$

Siendo:

i_x : Tasa de crecimiento para x meses del año correspondiente [p.u].

i_a : Tasa de crecimiento anual [p.u].

Así, se puede determinar el crecimiento de demanda total para el periodo mencionado, el cual se obtuvo:

$$CD \text{ _}[\%] = [(1 + i_{3meses(2012)}) \cdot (1 + i_{5meses(2013)})] - 1$$

$$CD \text{ _}[\%] = 0,046519 \cdot 100 = 4,16519\%$$

Una vez establecida las condiciones de operación del sistema en cuanto a generación y consumo se refiere, se procede a ajustar las bases del software DIGSilent según sea el estudio requerido:

3.2. Consideraciones estudio de Flujos de Potencia

Con el fin garantizar una correcta convergencia de los métodos iterativos (Newton-Raphson), ya que para efectos del estudio se analizarán escenarios de Alta Demanda y Baja Demanda, se ha efectuado el siguiente despacho de las nuevas Centrales, con el fin de abastecer el aumento de demanda producto de la proyección sistémica realizada:

Central	Demanda Alta			Demanda Baja		
	P [MW]	fp	V pu	P [MW]	fp	V pu
Viñales	32	0,99	-	15	0,99	-
Santa María	100	-	1,01	0,00	-	1,01
San Andrés	20	0,99	0,00	0,00	0,99	0,00
Providencia	13	0,99	-	13	0,99	-
Bocamina 02	171,5	-	-	0,00	-	-
Talinay Oriente	40	1,00	-	40	1,00	-
Pulelfu	9,4	0,99	-	9,4	0,99	-
Campiche	242	0,99	-	50	0,99	-

Figura 22: Despacho de Centrales nuevas en demanda alta y demanda mínima del sistema.

En la Tabla anterior se muestra el despacho considerado de las Centrales a fin de aproximar la generación simulada con la demanda proyectada (en orden de lograr la convergencia del método numérico del flujo de Potencia). Cabe mencionar que el parque Eólico Talinay, cuya Potencia neta es de 99 [MW], se ha ponderado con un factor de planta del 40% debido a las características propias del recurso eólico.

Finalmente, se han dispuesto la estrategia de control de generación de las plantas, la cual puede ser por Factor de Potencia o por control de voltaje.

A continuación, se muestran los valores de generación total (sin conectar aún la Central Huasco) determinado para cada escenario previsto, así también como la generación encontrada en la zona donde se conectará la Central.

Generación Máxima		Generación Mínima	
Total		Total	
Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]	Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]
7142,71	963,65	4332,68	-99,57

Figura 23: Generación prevista proyectada en el SIC.

Generación Máxima		Generación Mínima	
Total		Total	
Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]	Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]
547	-5,99	547	10,16

Figura 24: Generación Prevista Encontrada en la Zona Atacama.

Del mismo modo se muestra la demanda total prevista para los 2 escenarios, tanto para el SIC como para la zona en estudio actualizada a la fecha de la entrada de las Centrales generadoras, según lo mencionado en el Documento Fijación de Precios de nudo señalado anteriormente.

Demanda Máxima		Demanda Mínima	
Total		Total	
Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]	Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]
6846,75	1475,16	4197,1	-944,38

Figura 25: Demanda Prevista Encontrada en el SIC.

Demanda Máxima		Demanda Mínima	
Total		Total	
Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]	Pot. Activa [MW]	Pot. Reactiva [MVAR]
384,57	88,79	405,84	94,13

Figura 26: Generación Prevista Encontrada en la Zona de Atacama.

La realización del estudio de Flujos de Potencia, tiene por objetivo establecer la factibilidad técnica de conexión al SIC mediante un Tap Off en el circuito Atacama de la línea El Edén – Alto Del Carmen, en 110 [kV]; contemplando los siguientes parámetros o consideraciones:

- Los elementos modelados, con respecto a las Centrales generadoras incorporadas a la base de datos para su actualización, a la fecha de entrada de la Central Huasco, fueron diseñados con elementos de Centrales similares encontradas en el sistema. Y fueron parametrizadas según la necesidad de Potencia de demanda proyectada.

- Las simulaciones de la red eléctrica interconectada, fueron realizadas con la base de datos entregada por el CDEC – SIC. Y fue actualizada según lo expuesto anteriormente, a la fecha de entrada de la Central generadora en estudio.
- La conexión de la Central Huasco fue realizado según lo informado por parte de la empresa GPE, a una tensión nominal de 110 [kV] y mediante un Tap Off de la Línea El Edén – Alto Del Carmen.
- Los ajustes de generación de las máquinas modeladas, en la Central Huasco, fueron realizados a su máxima Potencia, es decir, con una entrega de 5,12 [MW].
- Las máquinas generadoras, se ajustaron para entregar reactivos correspondiente a un Factor de Potencia igual a 0.99, para los escenarios de Demanda Máxima y Demanda Mínima respectivamente; con el objetivo de suplir la Potencia Reactiva absorbida por los equipos transformadores de tensión.

En el presente estudio se evaluarán estos escenarios operacionales mediante Flujos de Potencia a efecto de determinar el comportamiento del sistema y de los componentes asociados a la planta generadora antes mencionada. Para efectos de los resultados se han considerado condiciones Normales de operación: unidades generadoras generando en punto de operación nominal (tensiones, Factor de Potencia, Potencia Activa) y posición nominal del Tap del Transformador de Poder, esto es, posición 0.

Demanda SIC	Configuración Topológica	Casos
Máxima	Caso Base	Condición Normal de Operación, Central Generadora En Servicio.
		Condición Normal de Operación, Central Generadora Fuera de en Servicio
Mínima	Caso Base	Condición Normal de Operación, Central Generadora En Servicio
		Condición Normal de Operación, Central Generadora Fuera de en Servicio

Tabla 5: Configuración Topológica para Casos.

Luego de realizado el estudio de impacto por el ingreso de la Central Huasco sobre la red interconectada, es necesario ejecutar algunas simulaciones de la nueva planta generadora, con el objetivo de exponer si la instalación se encuentra correctamente diseñada.

El planteamiento de la Central, contempla un sólo modelo de máquina basado en un generador síncrono, con Factor de Potencia hasta 0,9. Esto significa, que la planta tiene la capacidad de absorber, entregar reactivos, y de mantener un Factor de Potencia unitario constante en el punto de conexión. Luego, el estudio de la planta considerará si es capaz de cumplir con las exigencias mínimas en las instalaciones de generación, siguiendo lo estipulado en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, en su Capítulo 3.

Dado que para cumplir la Norma Técnica, se deberá disponer de zonas de operación con entrega y absorción de reactivos, estas fueron analizadas bajo condiciones que se produzcan realmente en el sistema eléctrico, esto significa que para la zona de entrega de reactivos, se simuló sobre el escenario de Alta Demanda; indicando que en esta condición, es necesario la inyección de

Potencia Reactiva. Por otro lado, la zona de absorción de reactivos, fue simulada sobre una Baja Demanda, explicando la absorción de reactivos por el incremento de la tensión en la zona.

El estudio de las instalaciones de la planta generadora, considera las variables de carga sobre los elementos del sistema y los índices de tensión de las Barras encontradas en la Central, para condiciones de Factor de Potencia unitario.

Los casos simulados, mostrados en la Tabla 6, están centrados en el comportamiento de la generación por parte de la Central Huasco.

Demanda SIC	Zona de Operación	Casos
Máxima	Entregando Reactivos	CNO, Huasco con Potencia Activa y Reactiva nulas
		CNO, Huasco con Potencia Activa Máxima y Reactiva nula
		CNO, Huasco con Potencia Activa y Reactiva Máximas Correspondiente a un Factor de Potencia 0,92
		CNO, Huasco con Potencia Activa Nula y Reactiva Correspondiente a un Factor de Potencia 0,92
Mínima	Absorbiendo Reactivos	CNO, Huasco con Potencia Activa y Reactiva nulas
		CNO, Huasco con Potencia Activa Máxima y Reactiva nula
		CNO, Huasco con Potencia Activa y Reactiva Máximas Correspondiente a un Factor de Potencia 0,95

CNO: Condición Normal de Operación.

Tabla 6: Configuración Topológica Para el Análisis de las Instalaciones de la Central.

3.3. Consideraciones estudio de cortocircuitos

Los Artículos 1-4, 1-5 y 2-7 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NT de SyCS), establece que todas sus disposiciones indicadas en la Normativa son aplicables a las instalaciones de la Central Hidroeléctrica Río Huasco, tanto en los aspectos de diseño que se conectarán al SIC, como a las condiciones de operación y su correspondiente coordinación operativa con el Centro de Despacho Económico de Carga, en adelante CDEC - SIC.

Los estudios desarrollados permiten la verificación del cumplimiento de aquellos aspectos que tienen relación con las condiciones de operación de la nueva instalación con el resto del SIC. Dado esta sentencia, las exigencias generales del Artículo 3-3, enmarcadas en el Capítulo 3 de la NT de SyCS, dispone que las instalaciones de unidades generadoras que operen en sincronismo y las instalaciones del Sistema de Transmisión, deban cumplir con ciertas exigencias mínimas y condiciones básicas de diseño. Entre ellas, se encuentra las disposiciones frente a cortocircuitos,

en el cual se establece que las instalaciones deberán soportar el nivel de corriente de cortocircuito existente en cada punto del SI. Indicando que el análisis de fallas debe realizarse con la metodología dictada por el Procedimiento de la DO ¹² “Cálculo del Nivel Máximo de Cortocircuito”.

El propósito estudio de cortocircuitos es verificar si los interruptores instalados en la zona cercana al punto de conexión del proyecto Central Huasco, tienen la Capacidad de Ruptura suficiente para soportar los nuevos niveles de cortocircuito tras la incorporación de la nueva generadora, para esto, se deben tener en cuenta las fallas que pudiesen ocurrir al interior de sus instalaciones o en el sistema de transmisión, de tal manera de no afectar las instalaciones existentes.

Los resultados gráficos de las simulaciones se observan en el Anexo A, donde se destaca el punto de conexión al circuito El Edén – Alto Del Carmen, con 110 [kV] de tensión nominal.

Los cálculos de niveles de cortocircuito se efectuaron según lo descrito en el capítulo 2, bajo la Norma IEC internacional, evaluándose para este estudio el nivel de las siguientes corrientes:

- a) Corriente de cortocircuito simétrica inicial (I''_K) en kA_{rms}
- b) Corriente de cortocircuito pico (i_p) en kA
- c) Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción (I_b) en kA_{rms}
- d) Componente DC de la corriente de cortocircuito (i_{dc}) en kA.
- e) Corriente asimétrica de interrupción (I_{asy}) en kA_{rms}
- f) Corriente de cortocircuito de régimen permanente (I_K) en kA_{rms}

Durante las simulaciones realizadas en el presente informe se tomaron las siguientes consideraciones:

- Para efectos del análisis de cortocircuitos, se considera que todas las Centrales estarán en funcionamiento durante la simulación. Adicionalmente se considera el máximo enmallamiento posible.
- Los análisis de fallas, se efectuaron con la base de datos entregada por el CDEC en archivo DIgSILENT, del Sistema Interconectado Central, a la fecha de Abril del 2012, la cual fue actualizada en generación y demanda al periodo que se espera que la Central Huasco se interconecte a la red eléctrica; siguiendo la información entregada por el documento “Fijación de Precios de Nudo - Abril de 2012”.
- El cálculo de la componente DC de la corriente de cortocircuito (i_{dc}) y la corriente asimétrica de interrupción (I_{asy}), se realizó de acuerdo a lo indicado en el procedimiento de la Dirección de Operación del Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC-SIC): “Términos y Condiciones del Cálculo de Corrientes de Cortocircuito para la Verificación del Dimensionamiento de Interruptores en el SIC”.
- La determinación de la fluctuación y el aumento de los niveles de cortocircuito, son visualizados mediante simulaciones con y sin la generación del nuevo proyecto.

Además, para efectos de cálculo de las respectivas variables de corriente se utilizaron las siguientes consideraciones en el uso de la Norma IEC 60909-0:

- Factor c: 1,1
- Tiempo mínimo de separación de los contactos de un interruptor: 40 [ms.].
- Tiempo de duración de la corriente de cortocircuito: 1 [s].
- Reactancias de máquinas sincrónicas: reactancia subtransitoria saturada.
- Reactancias de máquinas asíncronas: reactancia de rotor bloqueado.

3.4. Consideraciones estudio de estabilidad

Considerando que el tipo de Central en cuestión opera con turbinas de alta velocidad y, siguiendo a su vez las características técnicas, se han asumido modelos típicos para los controladores de tensión y velocidad de estas máquinas. Al no disponer de la información respecto de estos valores, se ha supuesto un modelo ya presente en otras unidades hidráulicas del SIC, tal cual se encuentran presentes en la base de datos Power Factory del SIC. Si bien estos modelos han de ser homologados mediante ensayos, se considera que para las simulaciones que se desean realizar, son compatibles.

De esta forma, el modelo de control dinámico utilizado en la elaboración del estudio de Estabilidad, fue considerado un modelo típico asociados a los generadores de las mismas características de Potencia, tensión y forma de generación.

La constante de inercia del grupo turbina-generador se ha calculado con los siguientes datos entregados:

- $J_{\text{Turbina}} = 34,5 \text{ [kgm}^2\text{]}$
- $J_{\text{Generador}} = 407,6 \text{ [kgm}^2\text{]}$
- $V_{\text{nominal}} = 750 \text{ [RPM]}$

Por lo tanto:

$$H = \frac{1}{2} * \frac{J_{\text{Conjunto}} * w^2}{S_{\text{nom}}} = \frac{1}{2} * \frac{442,1 * 78,5398^2}{2,85 * 10^6} = 0,478438[s]$$

3.4.1. Modelamiento controlador de velocidad

Modelados según diagramas de bloques típicos de gobernadores de turbinas hidráulicas. Debido a la falta de información disponible, se ha propuesto un modelo estándar usando valores representativos de los parámetros del mismo, El resto del sistema se ha considerado según el modelo de planta encontrado en la Central Sauzal, al cual se le realizaron modificaciones pertinentes. El servomotor de la compuerta es representado por un integrador con constante de tiempo T_g , en cambio el de la válvula piloto, se modela con una contante de tiempo T_p . Los limitadores proveen una zona segura de operación y de las posiciones máximas y mínimas de las compuertas, la banda muerta en cambio representa la sensibilidad ante pequeñas variaciones del regulador las cuales no serán detectadas si están dentro de la banda. A continuación se detallan los valores utilizados por el regulador de velocidad:

	Parameter
K_s Ganancia Servomotor [pu]	5,
T_p Constante de Tiempo Piloto [s]	0,05
T_g Constante de Tiempo Servomotor [s]	0,3
R_t Estatismo Transitorio [pu]	0,02
T_r Constante de Tiempo Estatismo Transitorio [s]	5,
R_p Estatismo Permanente [-]	0,05
dbn Banda Muerta - Valor negativo [pu]	-0,0005
dbp Banda Muerta - Valor positivo [pu]	0,0005
T_w Constante de Tiempo del Agua [s]	0,55
q_{NL} Caudal de Vacío [pu]	0,05
K_1 Ganancia Distribuidor [pu]	0,9
D_{turb} Constante de Amortiguación de la Turbina [-]	1,
H_{ref} Altura de Referencia [pu]	1,
T_{rate} Potencia de la Turbina [MW]	25,6
S_{min} Saturación Mínima [-]	-0,0017
S_{max} Saturación Máxima [-]	0,0017
$Maxgate$ Maxima apertura [pu]	0,996

Figura 27: Valores controlador de velocidad utilizados en el programa DIGSILENT

3.4.2. Modelamiento sistema de excitación

Se ha considerado un sistema de excitación DC1A de tipo estándar de la IEEE. El modelo DC DC1A se compone de una excitatriz rotativa DC de campo controlada con actuación continua del regulador de tensión, siendo V_x la salida del bloque de saturación donde el término $SE(E_{FD})$ corresponde a una función no lineal de la tensión de excitación E_{FD} ; la señal V_F es provista por el estabilizador en el lazo menor de retroalimentación con una acción derivativa de ganancia K_F y una constante de tiempo T_F ; V_R corresponde a la tensión de salida del regulador utilizada para controlar la tensión de campo de la excitatriz.

	Parameter
Ka Controller Gain [pu]	100,
Ta Controller Time Constant [s]	0,175
Tc Filter Derivative Time Constant [s]	0,25
Tb Filter Delay Time Constant [s]	2,09
Te Excitor Time Constant [s]	4,1
Kf Stabilization Path Gain [pu]	0,197
Tf1 Stabilization Path Time Constant [s]	1,095
Ke Excitor Constant [pu]	1,
Aex Saturation Factor 1 [pu]	0,002343
Bex Saturation Factor 2 [pu]	1,038
Vrmin Controller Minimum Output [pu]	-10,37
Vrmax Controller Maximum Output [pu]	10,37

Figura28: Valores utilizados sistema de excitación utilizados en el programa DIgSILENT

3.4.3. Condiciones de las simulaciones dinámicas

Tal como en el estudio de Flujos de Potencia, cada escenario operacional (Alta Demanda y Baja Demanda), fueron realizados con el máximo aporte de la Central Hidroeléctrica Huasco, la cual fue sometida a las siguientes contingencias:

- **Caso 1:** Falla bifásica a tierra en Barra Río Huasco HV (salida 110 [kV] transformador de Potencia) con la posterior salida de Central Río Huasco.
- **Caso 2:** Falla bifásica a tierra en línea Tap off Río Huasco – El Edén 110 [kV], con salida de servicio del tramo comprendido entre El Edén y Alto del Carmen, lo que incluye también la salida de servicio de la Central Río Huasco.
- **Caso 3:** Falla bifásica a tierra en línea Maitencillo – Punta Toro 110 [kV], con la posterior salida de servicio del tramo comprendido entre Maitencillo H1 y Cardones H1.
- **Caso 4:** Falla bifásica a tierra al 10% en línea Maitencillo 110 [kV] – Cardones 110 [kV], con la posterior salida de servicio de dicho tramo.

El Caso 1 implica una desconexión intempestiva de la nueva Central Río Huasco, realizada a través de la desconexión del interruptor del Tap Off; (debido a una falla bifásica a tierra en la Barra Huasco HV). Luego, al ser una contingencia de una unidad generadora conectada al sistema de transmisión, se considera un despeje de falla de 120 mseg (6 ciclos).

Por otro lado, los Casos 2, 3 y 4, son fallas simuladas en las instalaciones de transmisión de la zona, cercanas al punto de conexión de la nueva Central. Para estos casos, las contingencias aplicadas son consideradas de Severidad 3, definidas por la NT SyCS como Cortocircuito bifásico a tierra sin impedancia de falla aplicado sobre líneas de transmisión de simple circuito, sin redundancia de vínculo, seguido de la desconexión de la línea en tiempo Normal por acción

de la protección primaria, admitiendo la actuación del EDAC y/o EDAG y/o ERAG. Se tomarán las siguientes consideraciones para estas contingencias.

- Falla mediante un cortocircuito bifásico a tierra en el circuito mencionado, con tiempos de despeje de falla de 400 mseg (20 ciclos). Ello en concordancia con el artículo 5-49 (protecciones en sistema de subtransmisión) de la NT de SyCS (Tiempo exigido de despeje de falla inferior a 20 ciclos, para líneas y transformadores del Sistema de Transmisión Troncal o Sistemas de Subtransmisión con tensión nominal inferior a 200 [kV]).
- En todos los casos se evaluarán contingencias en el 50% de la longitud de cada tramo.

Mencionadas las consideraciones de los casos evaluados, el procedimiento de simulación dinámica es el siguiente:

Tiempo [s]	Descripción
0	Régimen permanente (Inicio de la simulación), obtención de las condiciones de operación inicial
1	Cortocircuito bifásico a tierra en las fases “a y b” de la Barra bajo contingencia. Esto se realiza para el Casos 1 previamente indicado y para la demanda alta y la baja.
1,12	Apertura por protecciones del elemento de interés (también se despeja el cortocircuito).
20 ¹³	Fin de la simulación para ambos casos.

Tabla 7: Etapas de Simulación Dinámica, Caso 1.

Tiempo [s]	Descripción
0	Régimen permanente (Inicio de la simulación), obtención de las condiciones de operación inicial
1	Cortocircuito bifásico a tierra en las fases “a y b” del circuito bajo contingencia, el cual se aplica a mitad del circuito. Esto se realiza para los Casos 2 y 3 previamente indicados y para la demanda alta y la baja.
1,4	Apertura por protecciones del circuito de interés en ambos extremos del tramo (también se despeja el cortocircuito).
20 ¹⁴	Fin de la simulación para ambos casos.

Tabla 8: Etapas de Simulación Dinámica, Casos 2, 3 y 4.

En cada simulación dinámica se registrará lo siguiente:

- Las variaciones de tensión en Barras principales de la zona, según artículo 5-43
- Las variaciones de frecuencia en Barras principales de la zona, según artículo 5-44
- Las variaciones de tensión y generación total de los generadores de la zona, según artículo 5-30
- Las variaciones de ángulo retórico relativo, según artículo 5-53
- Las variaciones del amortiguamiento en tramos de la zona, según artículo 5-47

¹³ En general el tiempo de simulación es variable dependiendo del tipo de falla que se desea analizar, para cortocircuitos la respuesta es estable dentro de los primeros segundos, no obstante se estima que para este sistema es un tiempo adecuado.

¹⁴ En general el tiempo de simulación es variable dependiendo del tipo de falla que se desea analizar, para cortocircuitos la respuesta es estable dentro de los primeros segundos, no obstante se estima que para este sistema es un tiempo adecuado.

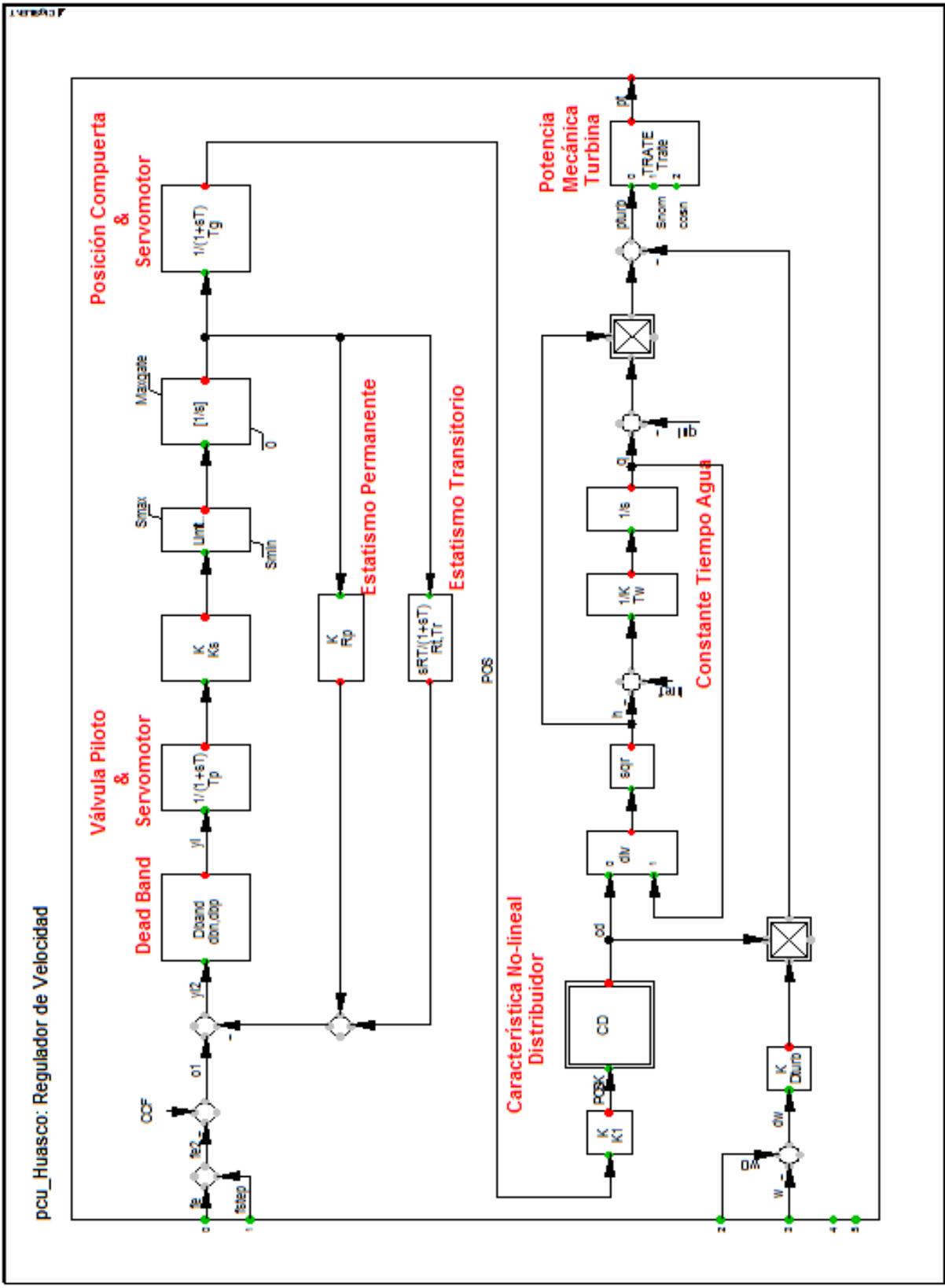


Figura29: Diagrama Unilineal PCU (Primary Control Unit) Central Huasco

vco_ESDC1A: Sistema Excitación Huasco

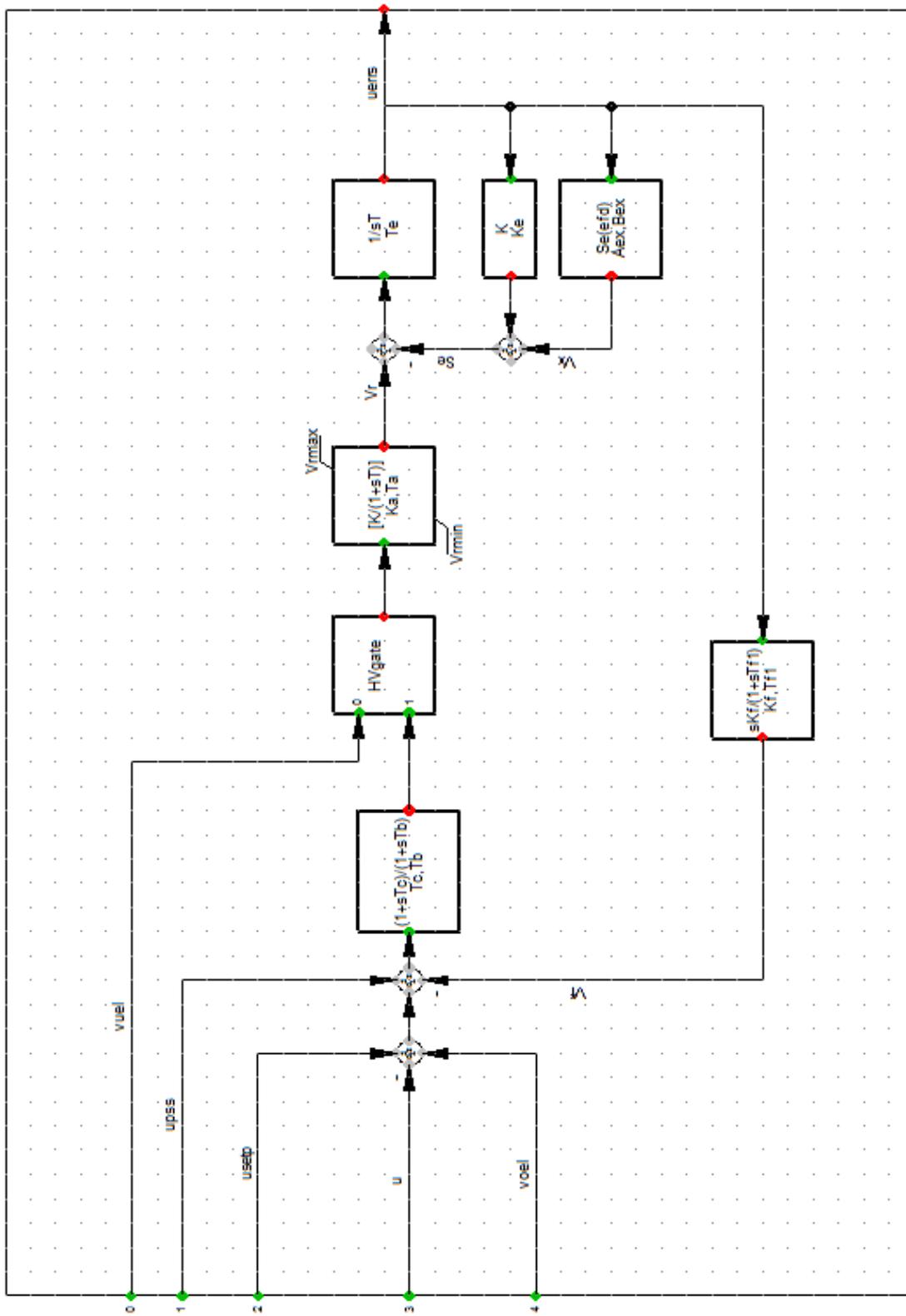


Figura30: Modelo del sistema de excitación DC1A, Central Huasco

3.5. Consideraciones estudio de protecciones

3.5.1. Ajustes propuestos

Para efectos de la resguardo de la Central frente a eventualidades, se han dispuesto las siguientes configuraciones de equipos de protección:

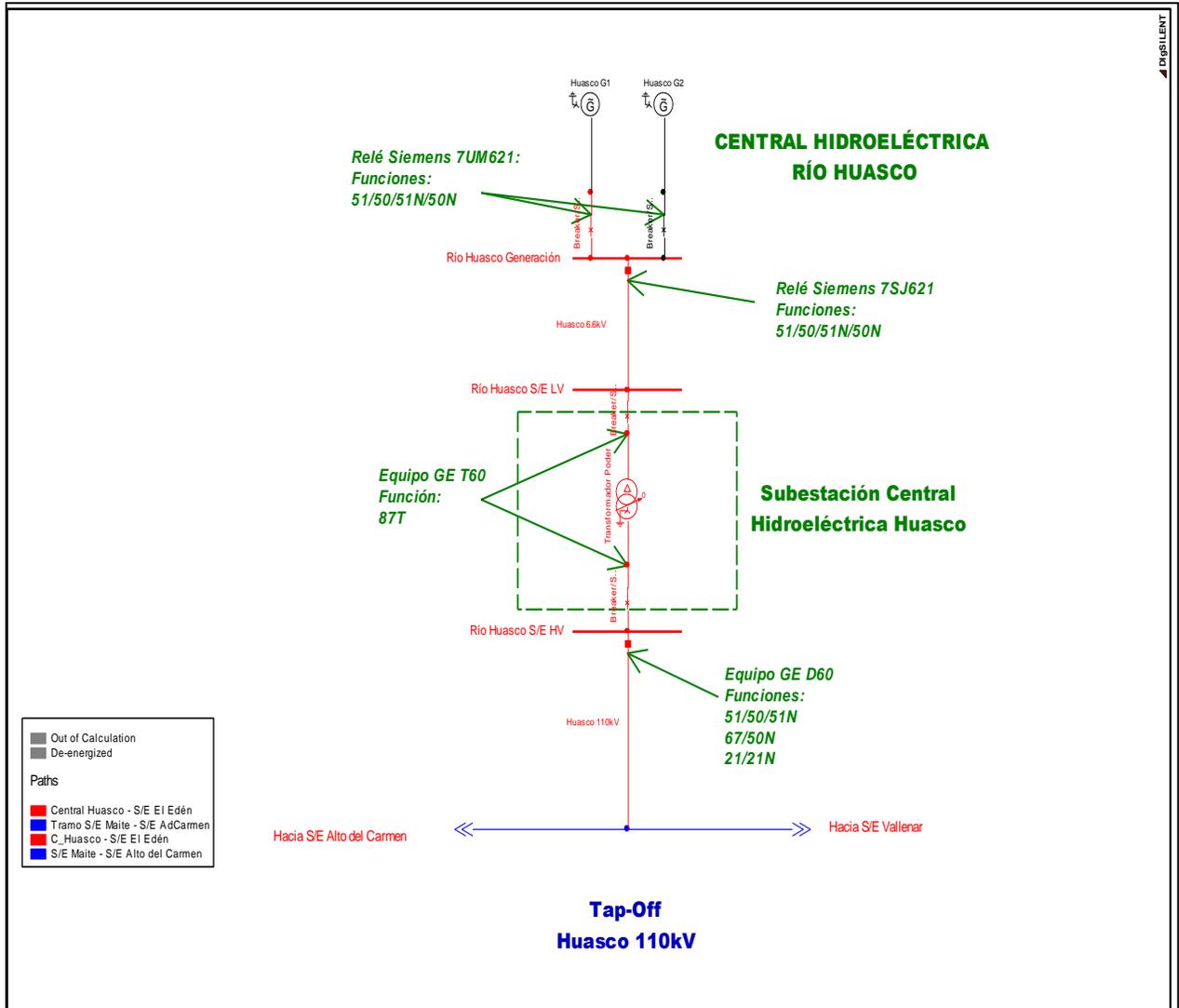


Figura31: Sistema de protecciones modelado para Central Huasco

3.5.1.1. Protecciones de Generadores Síncronos Marelli

Las protecciones de los generadores, tendrán la finalidad de aislar el equipo al momento de una contingencia, siendo la acción de disparo (Trip) sobre su propio interruptor. Se ha estimado la implementación de funciones de sobrecorriente que deberán estar coordinadas con las demás protecciones encontradas en la Central.

3.5.1.2. Protecciones Zona de Reunión Generadores Central, Conexión a Transformador de Poder

Estas protecciones tendrán como función aislar la zona de generación de Huasco, siendo también respaldo de las protecciones ubicadas en los generadores cuando no se produzca un Trip por parte de los interruptores de los equipos de generación. Esta protección deberá ser coordinada con las protecciones en el lado de alta tensión del Transformador de Poder de Huasco y también con los elementos de la S/E El Edén.

La medición de corriente para la operación de la protección, es realizada en el lado de baja tensión del transformador de la Central Huasco, gracias a que se ha dispuesto de una cantidad mayor de TT/CC para dichas funciones.

Esta protección realizará desenganche en el interruptor encontrado en la reunión de los generadores de la Central Huasco.

3.5.1.3. Protecciones para el Transformador de Poder Central Huasco

Las protecciones encontradas en el Transformador de Poder de 5,7 [MVA], realizarán la apertura de los interruptores que permitirán aislar el equipo ante cualquier contingencia producida. En este caso operará el interruptor de reunión de los generadores de la Central (Tensión 6,6 [kV]) y el interruptor en alta tensión 52HT, que conectará la Central con el Sistema Interconectado. Todo esto, es realizado mediante un relé de enclavamiento 86T.

Esta protección es inherentemente selectiva, por lo que durante una falla fuera de su zona de protección, no operará.

3.5.1.4. Protecciones para la Línea El Edén – Alto del Carmen.

Dado la configuración del sistema de transmisión El Edén – Alto del Carmen, se proyectará un sistema de comunicaciones para permitir el funcionamiento coordinado de las protecciones de la Central Huasco y las instalaciones de El Edén.

Las comunicaciones entre la Central Huasco y la S/E El Edén, permitirán el uso de teleprotecciones entre dichas instalaciones, con el objetivo de cubrir la mayor parte de la línea Alto del Carmen – El Edén.

Estos ajustes se mantendrán tanto con la Central en funcionamiento como en el estado de fuera de servicio.

En el caso de operación de la nueva Central, los ajustes de las funciones de distancias de la Central Huasco aislarán fallas en el tramo Tap Off Central Huasco – Alto del Carmen en tiempos retardados, debido al subalcance de las funciones de distancia de la Central Huasco. Esta condición es producida por efecto Infeed del Sistema Interconectado a las contingencias en la línea. Dicho esto, para solucionar este problema, se implementará un esquema de Trip Directo (TDD) desde la S/E El Edén hacia la nueva Central, cuando la zona AD (zona acelerada) de la función de distancia de la S/E El Edén detecten la falla en dicho tramo; operando de manera instantánea al momento de la recepción de la señal permisiva para la enviada de la Central Huasco. Esta señal permisiva estará dada a través de la visualización de la falla por la funciones de distancia propias de la protección ubicada en la Central Huasco.

De esta manera, se pretende aislar la contingencia de manera rápida y efectiva de la S/E El Edén y la Central Huasco en forma conjunta.

En el caso de la existencia de fallas en los tramos Tap Off Central Huasco – El Edén y hacia el SIC, no se genera el efecto mencionado anteriormente, por lo que su operación estará de acuerdo a una coordinación con las demás protecciones del sistema.

El desenganche de esta protección se realiza mediante el relé de enclavamiento 86T, con la finalidad de mantener la seguridad.

3.5.1.5. Bloqueo de Cierre de Interruptor S/E El Edén e Interruptores de la Central

Dado las consideraciones impuestas por la empresa Transnet y por razones de seguridad, es necesario realizar un bloqueo del cierre de los interruptores 52H1 de la S/E El Edén cuando se presente tensión en la línea de transmisión Alto del Carmen – El Edén (“línea viva”), debido a que la Central se encuentre aun generando; y provoque una conexión de las instalaciones de Huasco eventualmente fuera de sincronismo, repercutiendo directamente en el Sistema Interconectado, debido a que la Central se encuentre aun generando.

Para esto, se utilizará el grupo de transformadores monofásicos en el lado de línea de transmisión existentes de la S/E El Edén (52H1), con el fin de observar si existe Potencial en el circuito que alimentará la Central Huasco, realizando un bloqueo a través del relé GE D60, dado que este equipo posee la función de “Synchronism Check” a través de medida de tensión. De esta manera, se adoptará enclavamiento del paño 52H1 de la S/E El Edén condicionando su cierre cuando el mismo equipo de protección permita la conexión (encontrándose en sincronismo); aumentando la seguridad frente a este tipo de sucesos.

De igual manera que lo dictado anteriormente, las protecciones GE D60 y GE T60, es posible ajustarlas con la función “Synchronism Check” a través de la medida de tensión de los TTPP monofásicos conectados a la Barra HT (110 [kV]), de manera de mantener seguridad al momento de la conexión de la Central Huasco al SIC.

3.5.2. Criterios para los ajustes propuestos

A continuación se presentan los métodos considerados para el ajuste y coordinación de protecciones, concorde a establecer un sistema de visualización y aislación de contingencias aplicando selectividad, rapidez y seguridad.

3.5.2.1. Protección Asociados a los Generadores Síncronos

3.5.2.1.1. Función de Sobrecorriente de las Máquinas Generadoras

Esta protección será la encargada de evitar una sobrecarga en las máquinas generadoras y son configuradas con criterios típicos para este tipo de generadores. Así, operará cuando los generadores eleven sus parámetros fuera de sus valores nominales indicados, retirándolos de servicio para que no influyan en otras posibles sobrecargas en el sistema.

Dado que no se tienen los parámetros de ajustes propios de los generadores, se han utilizado las funciones de sobrecorriente de fase y residuales con la intención de proponer ajustes para realizar la coordinación con las demás equipos de la Central y del sistema de Atacama.

La función de sobrecorriente de fase temporizada, ha sido calculada con un factor de sobrecarga de 1,25 veces la corriente nominal de los equipos. La curva de tiempo seleccionada ayudará a mantener la base para las coordinaciones de las demás protecciones de la Central Huasco.

Además de esto, para funciones de sobrecorriente de fase, se ha optado también en la función instantánea, mejorando el tiempo de despeje (instantáneo) y mejorando la coordinación con las demás protecciones. El factor utilizado fue de 10 veces la corriente nominal del equipo.

Por otro lado, la función de sobrecorriente residual temporizada, ha sido parametrizado utilizado un umbral del 25 % de la corriente nominal, utilizando una curva universal con su menor dial.

Por último, la función residual instantánea, se ajustó a 10 veces la corriente Pick up residual del elemento temporizado de secuencia cero.

3.5.2.1.2. Funciones de Protección Características de Máquinas Generadoras.

Las funciones típicas de las unidades generadoras (Potencia inversa, sobretensión, sobreexcitación, etc.), no serán ajustadas en el presente proyecto dado que se ha informado que la empresa GPE es la encargada de parametrizar dichos valores.

3.5.2.1.3. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor.

Se habilita esta función de respaldo de interruptor, que dará orden de desenganche a los interruptores de las máquinas generadoras y de aguas arriba de la zona de generación, correspondiente a la reunión de generadores y del interruptor 52HT.

3.5.2.1.4. Ajuste de Funciones Relés Generadores

Relé Siemens 7UM621		
Función	TOC (51)	GTOC (51N)
Pick up	312 [A-prim]	62.5 [A-prim]
Curva	IEC Inversa	IEC Inversa
Time Dial	0,08	0,05

Tabla 9: Consideraciones Relé Siemens 7UM621

Relé Siemens 7UM621		
Función	IOC (50)	GIOC (50N)
Pick up	2500 [A-prim]	630 [A-prim]
Tiempo de Op. [Seg.]	0,0	0,0

Tabla 10: Consideraciones Relé Siemens 7UM621

Relé Siemens 7UM621, Función 50BF	
Pick- up fase	312 [Aprim]
Pick- up residual	62,5 [Aprim]
Timer 1 pickup delay	0,2 seg.

Tabla 11: Consideraciones Relé Siemens 7UM621, Función 50BF

3.5.2.2. Protección Asociados al Transformador de Poder

3.5.2.2.1. Función Diferencial (87T).

La protección diferencial (87T) del Transformador de Poder 110/6.6 [kV] y con una Potencia nominal de 5.7 [MVA], será ajustada con una corriente diferencial de mínima operación (I_{DIFF}) igual al 30 % del valor de la corriente de restricción definida para el lado de 110 [kV] del transformador. Este valor de ajuste considera la corriente de magnetización y la precisión de los transformadores de corriente asociados a la protección.

Debido a que el elemento protegido por la diferencial es un Transformador de Poder, el valor asignado a la primera pendiente debe considerar una insensibilidad adecuada a las diferencias de corriente Normales que se producen entre el lado de 66 [kV] y 110 [kV]; luego dado que este no contiene CDBC, se utilizará una pendiente de 25%.

El área de trabajo de la primera pendiente se extenderá hasta un 125% de la corriente nominal del transformador del lado de 66 [kV].

La segunda pendiente de operación, considera los efectos de saturación en los núcleos de los transformadores de corriente utilizados por la protección diferencial, producto de fallas externas al Transformador, por esta razón se debe considerar un grado mayor de insensibilidad para esta pendiente.

El área de trabajo para la segunda pendiente de 50% se iniciará a partir de una corriente de retención superior al 125% de la corriente nominal del Transformador.

Para el despeje instantáneo (sin corriente de retención) de fallas francas que se produzcan en la zona protegida, se ajustará el segundo escalón de corriente diferencial (I_{DIFF}) en un valor igual a 6 veces la corriente restrictiva definida para el lado de 110 [kV] del Transformador de Poder.

3.5.2.2.2. Funciones de Distancia (21/21N).

Las funciones de distancia de este equipo de protección, serán ajustadas igual que la protección GE D60 que protegerá la línea Alto del Carmen – El Edén (Punto 8.4.), de modo de obtener un Sistema 2 de protecciones de respaldo.

3.5.2.2.3. Funciones de Sobrecorriente (51/50/51N/50N)

De igual modo que en el punto anterior, las funciones de sobrecorriente del equipo GE T60, serán ajustadas con los mismos parámetros que la protección GE D60 que protegerá la línea Alto del Carmen – El Edén, manteniendo un sistema de respaldo frente a fallas en el sistema.

3.5.2.2.4. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor

Se habilita esta función de respaldo de interruptor, que dará orden de desenganche al interruptor 52H1 de la S/E El Edén, aislando cualquier contingencia que pudiera ocurrir en el transformador y no opere sus interruptores asociados por problemas técnicos. Esta señal es enviada a las instalaciones de El Edén a través de las teleprotecciones instaladas en la Subestación.

3.5.2.2.5. Ajuste de función Diferencial Transformador de Poder, Equipo GE T60

El Transformador de Poder de la Central, posee las siguientes características:

- TT/CC_Lado de Alta Tensión: $\frac{50}{1}$ (Conexión en D)
- TT/CC_Lado de Baja Tensión: $\frac{600}{1}$ (Conexión en Y, en Extremo zona de reunión Generadores Central)
- Grupo Vectorial Transformador de Poder: Ynd1.
- Grupo Vectorial Transformadores de Corriente: Dyn11.

Relé GE T60 , Función 87T	
Pick-up corriente diferencial	0,3 p.u.
Slope 1	25%
Slope 2	50%
Break point 1	1,25 p.u.
Break point 2	3 p.u.
Bloqueo Segunda Armónica	15 %
Bloqueo Quinta Armónica	35 %
Op. Sin restricción Diferencial	6 p.u.

Tabla 12: Consideraciones Relé GE T60, Función 87T

Relé GE T60 , Función 50BF	
Pick- up fase	37,5 [Aprim]
Pick- up residual	7,5 [Aprim]
Timer 1 pickup delay	0,2 seg.

Tabla 13: Consideraciones Relé GE T60, Función 50BF

Relé GE T60		
Función	TOC (51)	GTOC (51N)
Pick up	37,5 [Aprim]	7,5 [A-prim]
Curva	IEC Estándar Inversa A	IEC Estándar Inversa A
Time Dial	0,20	0,20

Tabla 14: Consideraciones Relé GE T60

Relé GE T60		
Función	IOC (50)	GIOC (50N)
Pick up	750 [Aprim]	78 [A-prim]
Tiempo de Op. [Seg.]	0,0	0,0

Tabla 15: Consideraciones Relé GE T60

Función 21 Tipo Mho			
	Reach [Ω''] / RCA	Tiempo [seg.]	Dirección
ZONA 1	0,421 / L57°	Instantáneo	F
ZONA 2	0,902 / L 57°	0.4	F
ZONA 3	1,327 / L 57°	1.0	F
ZONA 4	4,970 / L 85°	0.4	R

Tabla 16: Consideraciones Función 21 Tipo Mho

Función 21N Tipo Cuadrilateral $k_0 = 0,65/26$								
	X [Ω''] (Reach)	R [Ω''] (Quad Right/Left)	Ángulo Quad	Angulo de Dirección (RCA / DIR RCA)	DIR Com Limit	Non-Homogen Ang	Tiempo [seg.]	Dirección
ZONA 1	0,354	1,796	57°	57°	90°	0°	Instantáneo	F
ZONA 2	0,703	2,132	57°	57°	90°	0°	0,4	F
ZONA 3	0,999	2,456	57°	57°	90°	0°	1,0	F
ZONA 4	4,970	4,970	85°	57°	90°	0°	0,4	R

Tabla 17: Consideraciones Función 21N Tipo Cuadrilateral

3.5.2.2.6. Ajuste de Funciones de protecciones Equipo GE D60, Zona 110 [kV]

Relé GE D60		
Función	TOC (51)	GTOC (51N)
Pick up	37,5 [Aprim]	7,5 [A-prim]
Curva	IEC Estándar Inversa A	IEC Estándar Inversa A
Time Dial	0,20	0,20

Tabla 18: Consideraciones Relé GE D60

Relé GE D60		
Función	IOC (50)	GIOC (50N)
Pick up	750 [Aprim]	78 [A-prim]
Tiempo de Op. [Seg.]	0,0	0,0

Tabla 19 Relé GE D60

Función 21 Tipo Mho			
	Reach [Ω''] / RCA	Tiempo [seg.]	Dirección
ZONA 1	0,421 / L57°	Instantáneo	F
ZONA 2	0,902 / L 57°	0.4	F
ZONA 3	1,327 / L 57°	1.0	F
ZONA 4	4,970 / L 85°	0.4	R

Tabla 20: Función 21 Tipo Mho

Función 21N Tipo Cuadrilateral $k_0 = 0,65/26$								
	X [Ω''] (Reach)	R [Ω''] (Quad Right/Left)	Ángulo Quad	Angulo de Dirección (RCA / DIR RCA)	DIR Com Limit	Non- Homogen Ang	Tiempo [seg.]	Dirección
ZONA 1	0,354	1,796	57°	57°	90°	0°	Instantáneo	F
ZONA 2	0,703	2,132	57°	57°	90°	0°	0,4	F
ZONA 3	0,999	2,456	57°	57°	90°	0°	1,0	F
ZONA 4	4,970	4,970	85°	57°	90°	0°	0,4	R

Tabla 21 : Función 21 Tipo Cuadrilateral

Relé GE D60 , Función 50BF	
Pick- up fase	37,5 [Aprim]
Pick- up residual	7,5 [Aprim]
Timer 1 pickup delay	0,2 seg.

Tabla 22: Relé GE D60, Función 50BF

3.5.2.3. Protecciones Zona de Reunión Generadores Central, conexión al Transformador de Poder

3.5.2.3.1. Funciones de Sobrecorriente (51/51N/50N)

Esta protección será la encargada de evitar una sobrecarga en el transformador elevador y posibles daños en el sistema de transmisión, cuando exista una contingencia dentro de la Central Huasco.

El criterio para esta protección, fue el ser utilizado como respaldo de los elementos encontrados en los generadores, dado que si estos no aíslan la falla rápidamente, es necesario mantener seguridad al sistema y poder despejar la contingencia.

Dado que estos ajustes serán parametrizados por la empresa propietaria de la Central Huasco, se ha optado por proponer valores los cuales podrán ser utilizados posteriormente y que además coordinen con todos los elementos de protección de la zona de estudio. Para esto, se han habilitado las funciones de sobrecorriente de fase y residuales.

La función de sobrecorriente de fase temporizada, ha sido ajustada utilizado con un factor de sobrecarga de 1,25 veces la corriente nominal del transformador elevador de la Central. La curva de tiempo seleccionada ayudará a mantener un respaldo y coordinará con las protecciones ajustadas en los generadores.

Por otro lado, la función de sobrecorriente residual temporizada, fue parametrizado usando un umbral del 25 % de la corriente nominal del transformador elevador, utilizando una curva universal con menor dial dado que no es posible coordinarla con los elementos del generador debido a la conexión vectorial del transformador. Cabe destacar que la medición de corriente es realizada por los TT/CC encontrados en las instalaciones de baja tensión del transformador.

Por último, la función residual instantánea, se ajustó a 10 veces la corriente Pick up residual del elemento temporizado de secuencia cero.

3.5.2.3.2. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor

Se habilita esta función de respaldo de interruptor, que dará orden de desenganche a los interruptores de las máquinas generadoras y de aguas arriba de la zona de transformación, al interruptor 52HT.

3.5.2.3.3. Ajuste de Funciones Zona de Reunión Generadores, , Transformador de Poder

Relé Siemens 7SJ621		
Función	TOC (51)	GTOC (51N)
Pick up	624 [A-prim]	126 [A-prim]
Curva	IEC Inversa	IEC Inversa
Time Dial	0,10	0,05

Tabla 23: Consideraciones Relé Siemens 7SJ621

Relé Siemens 7SJ621	
Función	GTOC (50N)
Pick up	1242 [A-prim]
Tiempo de Op. [Seg.]	0,0

Tabla 24: Consideraciones Relé Siemens 7SJ621

Relé Siemens 7SJ621, Función 50BF	
Pick- up fase	624 [Aprim]
Pick- up residual	126 [Aprim]
Timer 1 pickup delay	0,2 seg.

Tabla 25: Consideraciones Relé Siemens 7SJ621, Función 50BF

3.5.2.5. Protecciones para la Línea 110 [kV] El Edén – Alto del Carmen, Central Huasco

3.5.2.5.1. Funciones de Distancia (21/21N)

Se habilita la función de protección de distancia que protegerá los tramos Tap Off – El Edén y Vallenar–Maitencillo. La finalidad que se desea alcanzar, es la protección y despeje oportuno de fallas que se produzcan en el sistema de transmisión hacia Alto del Carmen. Las funciones de fase serán del tipo Mho y se ajustarán de la siguiente manera.

- Zona 1: Se ajusta con un alcance del 90 % de la impedancia del tramo más corto entre Tap Off y la S/E El Edén o las instalaciones de Alto del Carmen, considerado en forma radial. Su tiempo de operación es instantáneo.

- Zona 2: Se ajusta con un alcance del 100 % de la impedancia del tramo más largo entre Tap Off y la S/E El Edén o las instalaciones de Alto del Carmen + 50% de la Línea Vallenar – Maitencillo. Su tiempo de operación es de 400 milisegundos.
- Zona 3: Se ajusta con un alcance del 100 % de la impedancia del tramo más largo entre Tap Off y la S/E El Edén o las instalaciones de Alto del Carmen + 100% de la Línea Vallenar – Maitencillo + 20 % de la Línea Maitencillo - Punta Toro 110[kV]. Su tiempo de operación es de 1000 milisegundos.
- Zona 4: Se activa una cuarta zona de protección con dirección reversa, con un alcance del 60 % de la impedancia del transformador de la Central Huasco, con un tiempo de operación que permita coordinar las protecciones aledañas a las nuevas instalaciones; no obstante, esta mantendrá selectividad y rapidez dado que su zona abarca solo el Transformador de Poder. Además, la habilitación de esta zona ayudará a la operación de la lógica de teleprotecciones entre la Central Huasco y la S/E El Edén.

Las funciones de tierra, se ajustan de igual medida y tiempos establecidos anteriormente, pero serán del tipo Cuadrilateral; de manera de observar correctamente fallas residuales con impedancias.

3.5.2.5.2. Consideraciones efecto Infeed asociada al Tap Off Huasco – Alto Del Carmen

Como fue mencionado anteriormente, este efecto se presenta debido a la existencia de fuentes intermedias que alimentan la falla, en este caso el Tap Off Huasco, por lo tanto depende de la distancia y cortocircuito. Para no provocar descoordinaciones con respecto al fusible, se utilizará un tiempo de retardo que podrá ser acelerado por la protección de la S/E El Edén y operar bajo teleprotecciones recibiendo una señal permisiva de la Central Huasco (análisis de Teleprotecciones en el Punto 9.10. del presente informe).

3.5.2.5.3. Funciones de Sobrecorriente (51/50/51N/50N)

Esta protección será la encargada de aislar alguna contingencia en la zona de alta tensión, específicamente en la línea El Edén – Alto del Carmen. Además de esto, es responsable de ser respaldo de las funciones de sobrecorriente ajustadas en la zona de media tensión de la Central Huasco.

Para la función de sobrecorriente de fase temporizada, se ha utilizado un factor de sobrecarga de 1,25 veces la corriente nominal del transformador elevador de la Central, por el lado de alta tensión. La curva de tiempo seleccionada ayudará a mantener un respaldo y coordinará con las protecciones ajustadas en los generadores y en la zona de reunión de ellos.

La función de fase de tiempo instantánea, se ajustó a un Pick up menor a la mínima corriente de cortocircuito en el interior del transformador por la zona de Alta Tensión. De esta manera, se aislará de manera inmediata la Central Huasco al momento de una falla al interior del transformador de Potencia, siendo también un respaldo para la protección diferencial. Se ajustará a 15 p.u. de la corriente nominal del TT/CC del transformador en el lado de Alta Tensión.

Por otro lado, la función de sobrecorriente residual temporizada, se ha utilizado un umbral del 25 % de la corriente nominal del transformador elevador, utilizando una curva universal que deberá coordinar con el fusible del Transformador de Poder en la S/E Alto del Carmen. Cabe destacar que la medición de corriente es realizada por los TT/CC encontrados en las instalaciones de alta tensión del transformador.

Por último, la función residual instantánea, se ajustó a 10 veces la corriente Pick up residual del elemento temporizado de secuencia cero, con dirección hacia la Central, de modo de aislar instantáneamente fallas residuales por debajo del interruptor 52HT del transformador elevador de la Central.

3.5.2.5.4. Función de Respaldo Contra Falla de Interruptor

Se habilita esta función de respaldo de interruptor, que dará orden de desenganche al interruptor 52H1 de la S/E El Edén, aislando cualquier contingencia que pudiera ocurrir en el transformador o en la Barra de 110 [kV] de la Central, y no opere el interruptor 52HT por problemas técnicos. Esta señal es enviada a las instalaciones de El Edén a través de las teleprotecciones instaladas en la Subestación.

3.5.2.6. Protecciones para la Línea 110 [kV] El Edén – Alto del Carmen, S/E El Edén

3.5.2.6.1. Funciones de Distancia (21/21N)

Con el objetivo de mantener selectividad en el sistema de transmisión de El Edén – Alto del Carmen, con la incorporación de la nueva Central Huasco, es necesario reducir el alcance de la zona 1 de la protección GE D60 de la S/E El Edén; con la finalidad de no incurrir en desenganches de la línea durante fallas en la Central generadora.

El alcance de la zona 2 de la protección GE D60, se encuentra actualmente con un ajuste para alcanzar hasta el 100% de la Línea El Edén – Alto del Carmen más un porcentaje menor a la impedancia total del transformador de Alto del Carmen, siendo estos valores:

- Alcance Zona 2 (Fase) : $1,9 L 60^\circ \Omega''$, correspondiente a $63,33 \Omega'$
- Alcance Zona 2 (X) : $1,8 L 90^\circ \Omega''$, correspondiente a $60 \Omega'$

Los ajustes actuales permitirán una correcta visualización de fallas en el tramo Tap Off Central Huasco – Alto del Carmen, no traspasando el Transformador de Poder de la Central Huasco, llegando a un alcance máximo del 35 % aprox. Dicho esto, este ajuste se mantiene dado que no traspasa hacia la zona de media tensión y además puede visualizar fallas dentro del Transformador de Poder de Huasco en la zona de Alta Tensión (dependiendo del alcance en los bobinados). Luego, el tiempo de operación deberá coordinar con las demás protecciones de la Central Huasco para lograr selectividad con las nuevas instalaciones.

El alcance actual de la zona 3, pretende detectar fallas hasta los primeros tramos de los alimentadores de distribución en Alto del Carmen. Su ajuste se encuentra a $166,65 \Omega'$ en la función de distancia de fase y no alcanzará a ver fallas en la zona de media tensión de la Central

Huasco. Bajo esta consideración, se reajustará dicha zona para detectar fallas en la zona de 6,6 [kV] con un tiempo de operación que permita coordinar con las demás protecciones de la Central, siendo respaldo de ellas.

El criterio de ajuste para la zona 3 de la función de protección de distancia, será la suma del 100 % de la impedancia de línea del tramo El Edén – Tap Off Central Huasco y el 110 % de la impedancia del transformador de la Central Huasco (el factor 110 % es utilizado para una correcta detección de fallas en la zona de 6,6 [kV] de la Central Huasco y 13,2 [kV] de la S/E Alto del Carmen).

Cabe destacar que la impedancia del equipo de la Central Huasco, es mayor a los parámetros característicos del equipo transformador de la S/E Alto del Carmen; por lo que se mantendrá la visualización en los primeros tramos de los alimentadores de media tensión de esta instalación.

Además de esto, se habilitará la zona 4 en dirección reversa hacia la línea Vallenar – Maitencillo, con un tiempo de 400 milisegundos, con la finalidad de una rápida detección y aislación de fallas que podrían aparecer en dicha línea mencionada. El tiempo ajustado en esta función no influirá en los ajustes adyacentes dado que es totalmente selectiva (80 % de la Línea Vallenar – Maitencillo) y permitirá desenganchar rápidamente a su vez la Central Huasco debido al TDD a configurar.

Por último, se ajustará una zona 5 denominada AD (zona de aceleración) que permitirá el correcto funcionamiento de la lógica de teleprotecciones con la Central Huasco, con la finalidad de acelerar el despeje durante fallas en el tramo Tap Off Central Huasco – Alto del Carmen. Esta será ajustada a un 80 % de la línea El Edén – Alto del Carmen y su operación dependerá del recibo de señal permisiva de las protecciones de la Central Huasco (ver Punto 9.10.).

Por otro lado, se modificaron algunas curvas de sobrecorriente con la finalidad de generar coordinación con respecto a la Central Huasco y obtener un tiempo de paso apropiado y de acuerdo a las Normas.

3.5.3. Ajuste de Funciones de Teleprotección, Equipos GE D60 Central Huasco - S/E EL Edén

Dada la configuración del sistema de transmisión El Edén – Alto del Carmen, se proyectará un sistema de teleprotecciones para permitir el funcionamiento coordinado de los elementos de protección de la Central Huasco y las encontradas en las instalaciones de El Edén, de manera de aislar con mayor eficacia fallas en el sistema de transmisión aledaño al Punto de Conexión.

3.5.3.1. Funcionamiento del Esquema de Teleprotecciones

La lógica de teleprotecciones, es realizada con el objetivo de una mayor protección sobre el tramo Tap Off Central Huasco – Alto del Carmen, despejando con tiempos cercanos a 0 seg.

El esquema de teleprotección es utilizado para aislar fallas en tiempos reducidos en el tramo mencionado, debido a que la protección GE D60 de la S/E El Edén, visualiza la falla en segunda zona; despejando la contingencia en tiempos de 380 – 400 mseg. aproximadamente. Por otro lado, el alcance de la protección de distancia de la Central Huasco, se ve disminuida por el “Efecto Infeed”; presente por la alta inyección de corrientes de falla por parte del SIC a contingencias más allá del Tap Off, lo que provoca que la generadora despeje en tiempos de curva de sobrecorriente.

Con el esquema en funcionamiento, al producirse una falla en el tramo de la línea Tap Off Central Huasco – Alto Del Carmen (alcance hasta aproximadamente 85 % del tramo), el relé de protección GE D60 del paño H1 de la S/E Edén visualiza la contingencia en segunda zona y zona acelerada, enviando un señal de aceleración (ADD) a las instalaciones de la Central Huasco a la espera de la señal permisiva de desenganche.

Al recibir la señal de aceleración, por parte de la Central Huasco, puede enviar la señal permisiva de desenganche mientras la protección de distancia del equipo GE D60 no visualice fallas en zona reversa (hacia el Transformador de Poder); bloqueando esta en el caso de producirse fallas al interior de las instalaciones de la Central.

En el caso que exista señal permisiva de aceleración de la Central Huasco, la protección GE D60 realizará Trip sobre el interruptor 52H1 y enviará una señal de desenganche transferido (TDD) hacia la Central para desconectarla y despejar la generadora en tiempos reducidos. Ahora sí, se da que no exista señal permisiva de aceleración de la Central Huasco (visualización en zona reversa), la protección GE D60 realizará Trip sobre el interruptor 52H1 en tiempos de segunda zona, manteniendo la selectividad con las protecciones de la generadora.

Por otro lado, en cualquier caso que exista Trip en el interruptor 52H1 de la S/E El Edén, producto de la acción de sus propias protecciones, se enviará nuevamente una señal TDD hacia la Central para desconectarla del sistema, y no mantenerla conectada en condición de isla.

En el caso que exista pérdida de comunicación entre la S/E El Edén y la Central Huasco, las protecciones son ajustadas de forma que exista coordinación sin la utilización de las teleprotecciones. Lo que permite que los esquemas de protección no sean dependientes del esquema de teleprotecciones.

El esquema de Teleprotección, incluyendo las señales transmitidas y recibidas, se muestra a continuación:

ADD: Señal de sobrealcance

TDD: Señal de disparo transferido

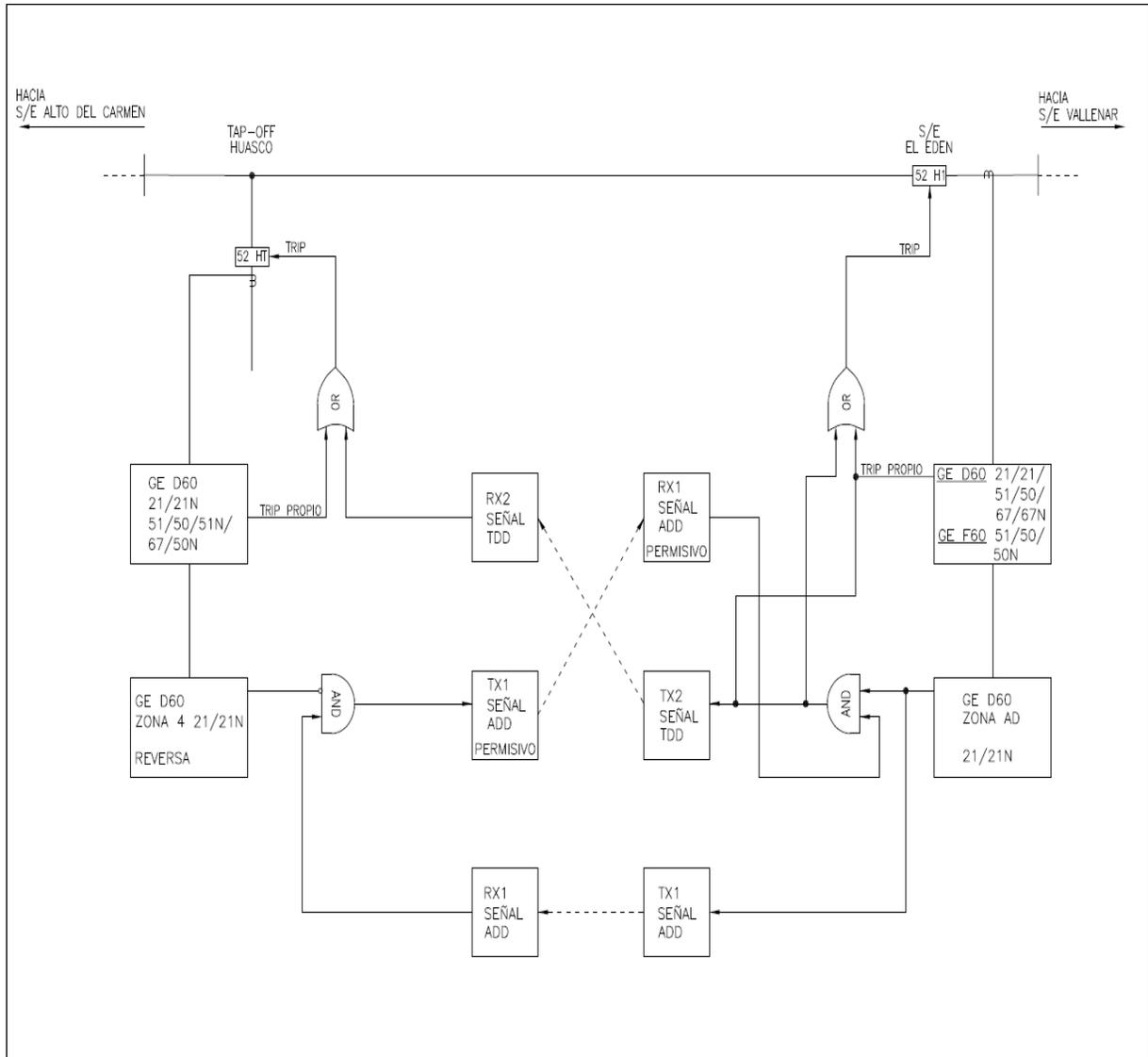


Figura 32: Esquema de Teleprotecciones Central Huasco / Subestación El Eden.

3.5.4. Consideraciones para la verificación de la coordinación de protecciones

El estudio de la coordinación de protecciones de la zona El Edén, producto del ingreso del proyecto denominado Central Hidroeléctrica Río Huasco, se enfocó en los tiempos de operación y en los tiempos de paso de cada dispositivo de protección cercano al Punto de Conexión.

Las simulaciones de fallas, se realizaron bajo consideraciones que se muestran a continuación:

- Se configuró la base del Sistema Interconectado Central, con los escenarios de Alta y Baja Demanda, siguiendo las disposiciones en la base de datos del CDEC – SIC sobre la operación de cada máquina. Se ejecutaron las simulaciones de coordinación de protecciones bajo estas configuraciones del SIC, con la finalidad de obtener los máximos y mínimos aportes hacia la contingencia, entendiendo que dado la configuración de Alta Demanda, el sistema se encuentra con una mayor generación; y la topología en Baja Demanda, la red está con una menor generación.
- El análisis de la coordinación de protecciones, se basó bajo contingencias trifásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y monofásicas, del tipo de simulación “Completo”, lo que significa que se realiza una simulación de Flujos de Potencia antes de ejecutar el cortocircuito. De esta forma se puede observar el comportamiento del sistema antes de ejecutar la falla y observando de mejor manera los tiempos de acción de los relés ajustados, determinada la influencia de los nuevos ajustes propuestos en un escenario de operacional real.
- Se analizó el comportamiento de la protección ajustada para detectar fallas residuales dentro de la Central, bajo contingencias bifásicas a tierra y monofásicas.
- La operación de las protecciones de distancia de las instalaciones involucradas en la zona de estudio, no es realizada considerando el sistema de protección para la ejecución del sistema de teleprotección. No obstante, esta es mencionada al analizar el sistema de protecciones propuesto.
- Además, se simularon contingencias a tierra con impedancia de 25 Ω , especialmente monofásicas y bifásicas a tierra, con el objetivo de determinar si los ajustes detectarán y posteriormente aislar una falla con alta impedancia.
- Los tiempos de paso para la acción de cada protección que detecte una falla simulada en la zona y que sean respaldo de otra “primaria”, ha sido de 300 mseg.; no obstante, en peor de los casos, estos no superarán los 250 mseg.

Luego de lo descrito anteriormente, a continuación se exponen los resultados del estudio de coordinación de protecciones propuesto para el proyecto Central Río Huasco.

Capítulo 4

Discusión de los resultados de las simulaciones

En el siguiente apartado se tabularán los resultados más relevantes obtenidos tras las simulaciones realizadas con el software DIGSilent y se analizan los mismos para verificar el cumplimiento del diseño de operación de la Central referente a los establecido por la Norma. Para efectos del presente trabajo de título, se han separado según los distintos estudios sistémicos, esto es; cortocircuitos; Flujos de Potencia; estabilidad y ajuste de protecciones.

4.1. Resultados Relevantes Estudio de Cortocircuitos

El estudio de cortocircuitos verifica si los interruptores instalados en la zona cercana al punto de conexión del proyecto Central Huasco, tienen la Capacidad de Ruptura suficiente para soportar los nuevos niveles de cortocircuito tras la incorporación de la nueva generadora, para esto, se deben tener en cuenta las fallas que pudiesen ocurrir al interior de sus instalaciones o en el sistema de transmisión, de tal manera de no afectar las instalaciones existentes.

Los resultados gráficos de las simulaciones se observan en forma detallada en el Anexo A, donde se destaca el punto de conexión al circuito El Edén – Alto Del Carmen, con 110 [kV] de tensión nominal.

Los escenarios de simulación se han dividido considerando dos situaciones:

- **Central Operativa (Con Central Huasco):** Correspondiente a la simulación de la respuesta del sistema considerando el funcionamiento de la Central Huasco.
- **Central Fuera de Servicio (Sin Central Huasco):** Correspondiente a la simulación sin considerar la Central Huasco, esto es, el escenario actual proyectado a la fecha de la puesta en marcha del proyecto

4.1.1 . Capacidades de Ruptura en Barras aledañas a la Central

Subestación o Barra	Tensión [kV]	Ib Mayor sin Huasco [kA]	Ib Mayor con Huasco [kA]	Variación de Ib [%]	Capacidad de Ruptura Simétrica [kA]
Agrosuper J	220	11,48	11,52	0,35	S/I
Cardones J1	220	10,17	10,18	0,10	40
Central Guacolda	220	12,72	12,75	0,24	S/I
Maitencillo J1 y J2	220	11,61	11,66	0,43	40
Alto del Carmen	110	1,67	1,73	3,59	12,5
Cardones H1 y H2	110	11,72	11,73	0,09	40
Cenizas H	110	11,2	11,21	0,11	S/I
Cerrillos H	110	4,12	4,12	0,00	31,5
Copiapó H	110	4,95	4,95	0,00	28,2 / 31,5
Los Colorados H	110	2,77	2,78	0,36	S/I
Maitencillo H1 y H2	110	8,78	8,96	2,05	28,2
Tap Castilla	110	3,01	3,02	0,33	S/I
Tap off El Edén	110	3,69	3,79	2,71	40
Tap Off Huasco	110	2,46	2,56	4,07	40
Tap Punta Toro	110	4,1	4,12	0,49	S/I
Tierra Amarilla H	110	4,52	4,53	0,22	40
Vallenar 110 [kV]	110	3,69	3,79	2,71	S/I
Agrosuper E1 y E2	23	15,9	15,9	0,00	S/I
Vallenar 13.8 [kV]	13,8	7,55	7,57	0,26	9

Tabla 26: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Simétrica.

La Tabla anterior, expone las Capacidades de Ruptura de corriente de cortocircuito simétrica de los interruptores, vinculados a cada Barra o subestación en las cual se realizaron las contingencias. Los máximos valores obtenidos en las simulaciones con la nueva Central Huasco en funcionamiento varían levemente en comparación con las magnitudes existentes en el sistema, esto significa sin la conexión de la nueva Central. Es posible notar que no existen interruptores que presenten parámetros inferiores a los valores de cortocircuitos existentes en las Barras (Capacidades de Ruptura simétrica).

Subestación o Barra	Tensión [kV]	Iasy Mayor sin Huasco [kA]	Iasy Mayor con Huasco [kA]	Variación de Iasy [%]	Capacidad de Ruptura Asimétrica [kA]
Agrosuper J	220	12,19	12,23	0,33	S/I
Cardones J1 Y J2	220	10,63	10,64	0,21	S/I
Central Guacolda	220	13,95	13,99	0,32	S/I
Maitencillo J1 y J2	220	12,08	12,13	0,40	44
Alto del Carmen	110	1,67	1,73	3,59	17
Cardones H1 y H2	110	13,02	13,02	0,09	10
Cenizas H	110	11,93	11,94	0,09	S/I
Cerrillos H	110	4,12	4,12	0,00	37,8
Copiapó H	110	4,95	4,95	0,00	33,8
Los Colorados H	110	2,77	2,78	0,36	S/I
Maitencillo H1 y H2	110	9,43	9,63	1,65	33,8
Tap Castilla	110	3,01	3,02	0,33	S/I
Tap off El Edén	110	3,69	3,80	2,98	55
Tap Off Huasco	110	2,46	2,57	4,47	40
Tap Punta Toro	110	4,10	4,12	0,49	S/I
Tierra Amarilla H	110	4,52	4,53	0,22	10
Vallenar 110 [kV]	110	3,69	3,80	2,98	S/I
Agrosuper E1 y E2	23	23,32	23,34	0,13	S/I
Vallenar 13.8 [kV]	13,8	7,61	7,65	0,77	2

Tabla 27: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Asimétrica.

La Tabla 27 exhibe los valores máximos obtenidos para las corrientes de cortocircuito asimétricas, para cada una de las Barras o subestaciones donde se aplicaron las contingencias. Además, se exponen las Capacidades de Ruptura para componente de corrientes de cortocircuito asimétricas de los interruptores asociados a las instalaciones en estudio. La Capacidad de Ruptura asimétrica de los interruptores de las Barras Cardones H1, Cardones H2 y Vallenar 13,8[kV], estos son los únicos que ven superado su valor, no obstante, cabe destacar que la condición expuesta se produce tanto con la Central en servicio como fuera de servicio, por lo que se puede deducir que este hecho no tiene relación directa con la inclusión de la Central Huasco al SIC y es una condición preexistente.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	Ip Mayor sin Huasco [kA]	Ip Mayor con Huasco [kA]	Variación de Ip [%]	Capacidad de Cierre Contra Cortocircuito [kA]
Agrosuper J	220	28	28,12	0,43	S/I
Cardones J1 y J2	220	24,43	24,45	0,08	100
Central Guacolda	220	31,75	31,84	0,28	S/I
Maitencillo J1 y J2	220	28,37	28,49	0,42	100
Alto del Carmen	110	2,75	2,9	5,45	33
Cardones H1 y H2	110	29,48	29,5	0,08	80
Cenizas H	110	27,4	27,42	0,09	S/I
Cerrillos H	110	7,69	7,69	0,00	80
Copiapó H	110	9,64	9,64	0,00	54 / 78,8
Los Colorados H	110	4,75	4,76	0,21	S/I
Maitencillo H1 y H2	110	19,46	19,78	1,64	56
Tap Castilla	110	5,13	5,14	0,19	S/I
Tap off El Edén	110	6,17	6,49	5,19	100
Tap Off Huasco	110	4,07	4,4	8,11	104
Tap Punta Toro	110	7,45	7,48	5,19	S/I
Tierra Amarilla H	110	8,59	8,59	0,00	104
Vallenar 110 [kV]	110	6,17	6,49	5,19	S/I
Agrosuper E1 y E2	23	43,56	43,58	0,05	S/I
Vallenar 13.8 [kV]	13,8	16,82	17,03	1,25	17

Tabla 28: Revisión de Capacidad de Ruptura de Cierre Contra Cortocircuito.

La Tabla 28 expone las Capacidades de Ruptura de cierre contra cortocircuito, de los interruptores vinculados a cada Barra o subestación en las que se realizaron las contingencias. Los valores obtenidos en las simulaciones con la nueva Central Huasco en funcionamiento, tienen una variación, en comparación con el sistema sin la Central, menor al 1,65%. También se observa que la capacidad del interruptor que se encuentra en la Barra de Vallenar 13.8 [kV] se encuentra en el límite de su valor de ruptura. Cabe destacar que dicha condición se genera tanto con la Central Huasco en funcionamiento como sin la conexión de esta, interpretando entonces que este hecho no tiene relación directa con la inclusión de la nueva Central a la red eléctrica.

Luego de realizar los análisis pertinentes a los resultados obtenidos, se observó que existen parámetros de algunos interruptores que se ven sobrepasados por los niveles de cortocircuitos en las Barras en estudio, es posible que a pesar de que estos interruptores no cumplen con el inciso a) del artículo 13 del Procedimiento DO de cálculos de cortocircuitos¹⁵, sí cumplan con el inciso b) del mismo; sin embargo, se constata que la inclusión de Huasco al SIC no produce aumentos relevantes en los niveles de cortocircuitos (el aumento no supera el 17,5% en S/E ya existentes) y que los parámetros sobrepasados se presentan tanto con la Central en operación como sin ella. Luego cualquier valor en los parámetros de los interruptores que se encuentre por debajo de los valores de cortocircuitos, no es responsabilidad directa de la conexión de la Central Hidroeléctrica Huasco al SIC y se debe por lo tanto a una condición preexistente del sistema.

El análisis de los resultados del estudio de cortocircuitos permite concluir, que los niveles de cortocircuito registrados en las subestaciones o Barras aledañas al Punto de Conexión de la Central Huasco, considerando la nueva generadora en funcionamiento, producen una variación

¹⁵ Procedimiento Do "Términos y Condiciones del Cálculo de Corrientes de Cortocircuito para la Verificación del Dimensionamiento de Interruptores en el SIC"

que no sobrepasa el 17,5 %; tomando en consideración que la Potencia que suministrará al sistema es poco significativa, con lo que las nuevas instalaciones prácticamente no repercuten en los niveles de Potencia de falla. Con ello, se determina que la incorporación de la nueva generadora no provoca aumentos significativos en los niveles de cortocircuito, que repercutan en cambios de equipos en las instalaciones (al menos no por acción directa de la conexión de Huasco), esto debido a que la Potencia inyectada al sistema es marginal, en relación al robusto sistema adyacente.

4.1.2. Capacidades de Ruptura al interior de la Central

A continuación se exponen valores de Capacidad de Ruptura de los interruptores que intervendrán en el despeje de fallas al interior de la Central Huasco.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	Ib Mayor con obtenida [kA]	Capacidad de Ruptura Simétrica [kA]
Río Huasco S/E HV	110	2,55	40
Tap Off Huasco	110	2,56	40
Río Huasco Generación	6,6	9,00	16
Río Huasco S/E LV	6,6	8,89	16

Tabla 29: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Simétrica.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	Iasy Mayor obtenida [kA]	Capacidad de Ruptura Asimétrica [kA]
Río Huasco S/E HV	110	2,56	40
Tap Off Huasco	110	2,57	40
Río Huasco Generación	6,6	9,70	16
Río Huasco S/E LV	6,6	9,76	16

Tabla 30: Revisión de Capacidad de Ruptura para Corriente de Cortocircuito Asimétrica.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	Ip Mayor obtenida [kA]	Capacidad de Cierre Contra Cortocircuito [kA]
Río Huasco S/E HV	110	4,37	104
Tap Off Huasco	110	4,40	104
Río Huasco Generación	6,6	22,26	40
Río Huasco S/E LV	6,6	22,41	40

Tabla 31: Revisión de Capacidad de Ruptura de Cierre Contra Cortocircuito.

Observación: Los antecedentes técnicos de los interruptores proporcionados se encuentran en el ANEXO B.

La Tablas anteriores exhiben los valores máximos obtenidos de las Componentes de Corrientes Simétricas; Asimétrica y de Cierre Contra Cortocircuito para cada una de las Barras donde se aplicaron las contingencias. Adicionalmente, se exponen las Capacidades de Ruptura para las componentes antes mencionadas, asociadas a las instalaciones en estudio, donde es posible notar

que no hay interruptores que presenten parámetros inferiores a los valores de cortocircuito existentes en las Barras. Debido a que no se dispone de los valores de Capacidad de Ruptura asimétrica para dichos dispositivos y, siendo la Componente de Cortocircuito Asimétrica (I_{asy}) mayor que la Simétrica (I_b), se determina que en el peor de los casos, esta es igual en magnitud a la corriente asimétrica. Por lo tanto se observa que su Capacidad de Ruptura esta sobre el nivel de la corriente de cortocircuito existente en las Barras. Así, los interruptores al interior de la Central, se encuentran correctamente dimensionados pudiendo aguantar las contingencias que pudiesen existir en el transcurso de su operación.

4.2. Resultados Relevantes Estudio de Flujos de Potencia

En el presente apartado se registran los escenarios operacionales mediante Flujos de Potencia a efecto de determinar el comportamiento del sistema y de los componentes asociados a la planta generadora antes mencionada.

Para efectos de los siguientes resultados se ha considerado condiciones Normales de operación:

- Unidades generadoras generando en punto de operación nominal (tensiones, Factor de Potencia, Potencia Activa).
- Posición nominal del Tap del Transformador de Poder, esto es, posición 0.

4.2.1. Resultados en Generación Máxima

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones de los Flujos de Potencia para los casos expuestos en la Tabla 33, en la configuración de generación máxima, que implica a su vez una Alta Demanda en el Sistema Interconectado Central. Los valores obtenidos, son los niveles de tensión en kilo-volt y en por unidad, además del porcentaje de caídas de tensión en cada Barra, valores de transferencia de Potencia Activa en Mega-watt, Potencia Reactiva en mega-voltamper-reactivo y porcentajes de carga.

Barra o Nudo		Caso Base Con Central Generadora Fuera de Servicio			Caso Base Con Central Generadora En Servicio		
Desde	Hasta	P [MW]	Q [MVar]	Carga [%]	P [MW]	Q [MVar]	Carga [%]
Cardones	Copiapó 110 [kV]	28,549	3,929	50,25	28,549	3,933	50,28
Cardones	Magnetita 110 [kV]	10,487	-0,093	22,31	10,487	-0,093	22,32
Cardones	Refugio 110 [kV]	9,678	1,798	9,37	9,679	1,804	9,37
Cardones	Torre 2 110 [kV]	34,95	5,119	61,5	34,951	5,123	61,53
Chuschampis	Castilla 110[kV]	12,25	-11,177	35,41	12,72	-10,93	35,79
Corona	Cardones 110[kV]	11,9	-9,747	32,74	12,36	-9,51	33, 21
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C1	107,81	-15,642	32,26	107,81	-15,337	32,26
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C2	107,81	-15,642	32,26	107,81	-15,337	32,26
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C3	101,935	-15,076	30,51	101,935	-14,788	30,51
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C4	101,935	-15,076	30,51	101,935	-14,788	30,51
Huasco	Maitencillo 110 [kV] L1	17,86	1,874	38,56	17,859	1,873	38,55
Huasco	Maitencillo 110 [kV] L2	18,11	1,847	22,87	18,11	1,846	22,86
Maitencillo	Agrosuper 220 [kV]	5,783	0,26	2,81	5,783	0,26	2,81
Maitencillo	Cardones 220[kV] L1	69,334	-0,053	34,65	69,18	-0,21	34,61
Maitencillo	Cardones 220[kV] L2	64,97	0,609	19,42	64,82	0,46	19,39
Maitencillo	Cardones 220[kV] L3	64,97	0,609	19,42	64,82	0,46	19,39
Maitencillo	Punta Toro 110 [kV]	17,42	-9,120	41,82	17,83	-9,19	42,66
Maitencillo	Vallenar 110 [kV]	12,16	-6,490	37,65	7,02	-7,03	27,12
Tap El Edén	Vallenar 110 [kV]	-2,94	3,95	8,62	2,14	4,43	8,57
Tap Huasco	Alto del Carmen 110	2,93	-3,42	7,88	2,93	-3,44	7,85
Tap Huasco	Tap El Edén	-2,93	3,36	8,62	2,15	3,84	8,57
Tap Punta Toro	Los Colorados 110 [kV]	4,869	2,269	11,6	4,869	2,269	11,6
Torre 2	Cerrillos 110 [kV]	12,204	1,192	21,48	12,204	1,194	21,5
Torre 2	Tierra Amarilla 110 [kV]	22,739	3,925	40,35	22,74	3,926	40,37

Tabla 32: Flujos de Potencia Activa y Reactiva en Tramos de Interés. Operación Normal. Alta Demanda

Barras	Tensión nominal [kV]	Caso Base Con Central Generadora Fuera de Servicio			Caso Base Con Central Generadora En Servicio		
		Tensión [p.u.]	Tensión [kV]	Des. Tensión [%]	Tensión [p.u.]	Tensión [kV]	Des. Tensión [%]
Agrosuper J	220	1,04	229,38	4,26	1,04	228,97	4,22
Cardones J1	220	1,01	222,74	1,67	1,02	223,32	1,51
Cardones J2	220	1,01	222,74	1,67	1,02	223,32	1,51
Guacolda J1	220	1,04	229,39	4,27	1,04	229,3	4,23
Guacolda J2	220	1,04	229,39	4,27	1,04	229,3	4,23
Maintencillo J1	220	1,04	229,63	4,26	1,04	228,98	4,08
Maintencillo J2	220	1,04	229,63	4,26	1,04	228,98	4,08
Alto Del Carmen 110[kV]	110	1,01	110,86	0,06	1,01	111,84	1,67
Cardones H1	110	1,01	111,29	1,17	1,01	111,12	1,11
Cardones H2	110	1,01	111,29	1,17	1,01	111,12	1,11
Cenizas H	110	1,01	111,29	1,17	1,01	111,12	1,11
Cerrillos H	110	1,00	110,54	0,49	1,00	110,37	0,43
Colorado H	110	1,00	110,43	0,39	1,00	110,44	0,40
Copiapó H	110	1,00	110,07	0,06	1,00	109,73	-0,24
Tap Off El Edén	110	1,01	111,22	0,35	1,01	111,13	1,03
Huasco H1	110	0,99	109,2	-0,73	0,99	109,35	-0,70
Huasco H2	110	0,99	109,2	-0,73	0,99	109,35	-0,70
Magnetita H	110	1,00	110,44	0,40	1,00	110,38	0,35
Maintencillo H1	110	1,01	111,5	1,00	1,01	111,25	1,14
Mainetncillo H2	110	1,01	111,5	1,00	1,01	111,25	1,14
Refugio H	110	0,98	108,12	-1,71	0,98	108,06	-1,76
Tap Castilla	110	1,01	111,18	1,07	1,01	107,95	-0,11
Tap-Off Huasco	110	1,01	110,77	0,26	1,01	111,49	1,35
Tap Punta Toro	110	1,01	110,8	0,73	1,01	110,84	0,76
Tierra Amarilla H	110	1,00	110,04	0,04	1,00	109,97	-0,03
Torre 2 (Los Lirios)	110	1,01	111,26	1,15	1,01	111,2	1,09
Vallenar 110 [kV]	110	1,01	110,65	0,35	1,01	111,13	1,03
Alto del Carmen 13.8[kV]	13.8	1,05	14,42	4,49%	1,05	14,52	5,22
Vallenar 13.8[kV]	13.80	0,97	13,40	-2,89	0,97	13,43	-2,68

Tabla 33: Niveles de Tensiones en Barras de Interés. Operación Normal. Alta Demanda

4.2.2. Resultados en Generación Mínima

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones de los Flujos de Potencia para los casos expuestos en donde la configuración es de baja generación de la Central, que implica a su vez una Baja Demanda en el Sistema Interconectado. Los valores obtenidos, son los niveles de tensión en kilo-volt y en por unidad, además del porcentaje de caídas de tensión en cada Barra, valores de transferencia de Potencia Activa en Mega-watt, Potencia Reactiva en mega-voltamper-reactivo y porcentajes de carga.

Barra o Nudo		Caso Base Con Central Generadora F/S			Caso Base Con Central Generadora En Servicio		
Desde	Hasta	P [MW]	Q [MVar]	Carga [%]	P [MW]	Q [MVar]	Carga [%]
Cardones	Copiapó 110[kV]	23,726	2,689	41,94	23,726	2,688	41,93
Cardones	Magnetita 110 [kV]	12,593	0,012	26,98	12,593	0,012	26,98
Cardones	Refugio 110 [kV]	12,494	3,957	12,27	12,494	3,955	12,26
Cardones	Torre 2 110 [kV]	33,952	4,898	60,15	33,952	4,897	60,13
Chuschampis	Castilla 110[kV]	14,663	-11,349	39,66	15,03	-11,17	39,89
Corona	Cardones 110[kV]	14,217	-10,064	37,23	14,589	-9,88	38,01
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C1	108,079	-10,993	32,14	108,079	-11,174	32,14
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C2	108,079	-10,993	32,14	108,079	-11,174	32,14
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C3	102,189	-10,681	30,4	102,189	-10,853	30,4
Guacolda	Maitencillo 220 [kV] C4	102,189	-10,681	30,4	102,189	-10,853	30,4
Huasco	Maitencillo 110 [kV] L1	16,458	1,611	35,53	16,458	1,608	35,49
Huasco	Maitencillo 110 [kV] L2	16,689	1,584	21,07	16,688	1,582	21,04
Maitencillo	Agrosuper 220 [kV]	2,722	0,221	1,33	2,722	0,221	1,33
Maitencillo	Cardones 220[kV] L1	79,631	3,271	39,82	79,502	3,293	39,74
Maitencillo	Cardones 220[kV] L2	74,595	3,860	22,31	74,474	3,88	22,27
Maitencillo	Cardones 220[kV] L3	74,595	3,860	22,31	74,474	3,88	22,27
Maitencillo	Punta Toro 110[kV]	17,42	-9,110	41,82	17,83	-9,19	46,76
Maitencillo	Vallenar 110 [kV]	12,16	-6,55	37,74	7,02	-7,03	27,62
Tap El Edén	Vallenar 110 [kV]	-2,94	4,02	8,72	2,14	4,43	8,57
Tap Huasco	Alto del Carmen 110[kV]	2,93	-3,42	7,88	2,93	-3,44	7,85
Tap Huasco	Tap El Edén	-2,93	3,43	8,72	2,15	3,84	8,57
Tap Punta Toro	Los Colorados 110[kV]	5,126	2,414	12,23	5,126	2,413	12,22
Torre 2	Cerrillos 110 [kV]	8,145	0,216	14,36	8,145	0,215	14,36
Torre 2	Tierra Amarilla 110 [kV]	25,8	4,68	46,15	25,8	4,679	46,14

Tabla 34: Flujos de Potencia Activa y Reactiva en Tramos de Interés. Operación Normal. Baja Demanda.

Barras	Tensión [kV]	Caso Base Con Central Generadora F/S			Caso Base Con Central Generadora En Servicio		
		Tensión [p.u.]	Tensión [kV]	Des. Tensión [%]	Tensión [p.u.]	Tensión [kV]	Des. Tensión [%]
Agrosuper J	220	1,04	229,31	4,23	1,04	229,37	4,26
Cardones J1	220	1,01	222,39	1,09	1,01	222,84	1,29
Cardones J2	220	1,01	222,39	1,09	1,01	222,84	1,29
Guacolda J1	220	1,04	229,59	4,36	1,04	229,64	4,38
Guacolda J2	220	1,04	229,59	4,36	1,04	229,64	4,38
Maintencillo J1	220	1,04	229,31	4,23	1,04	229,73	4,42
Maintencillo J2	220	1,04	229,31	4,23	1,04	229,73	4,42
Alto Del Carmen 110	110	1,00	110,51	0,46	1,02	112,15	1,95
Cardones H1	110	1,00	110,5	0,45	1,00	110,52	0,47
Cardones H2	110	1,00	110,5	0,45	1,00	110,52	0,47
Cenizas H	110	1,00	110,5	0,45	1,00	110,52	0,47
Cerrillos H	110	1,00	110,02	0,02	1,00	110,05	0,05
Colorado H	110	1,00	110,23	0,21	1,00	110,32	0,29
Copiapó H	110	1,00	109,51	-0,45	1,00	109,53	-0,43
Tap Off El Edén	110	1,01	110,67	0,61	1,02	111,68	1,53
Huasco H1	110	0,99	109,37	-0,57	1,00	109,47	-0,48
Huasco H2	110	0,99	109,37	-0,57	1,00	109,47	-0,48
Magnetita H	110	1,00	109,48	-0,47	1,00	109,5	-0,45
Maintencillo H1	110	1,01	111,12	1,02	1,01	111,63	1,48
Mainetncillo H2	110	1,01	111,12	1,02	1,01	111,63	1,48
Refugio H	110	0,96	105,99	-3,65	0,96	106,01	-3,63
Tap Castilla	110	1,01	110,7	0,64	1,01	111,07	0,97
Tap-Off Huasco	110	1,01	110,63	0,57	1,02	112,04	1,85
Tap Punta Toro	110	1,01	110,63	0,57	1,01	110,10	0,09
Tierra Amarilla H	110	0,99	109,07	-0,85	0,99	109,09	-0,83
Torre 2 (Los Lirios)	110	1,00	110,47	0,43	1,00	110,5	0,45
Vallenar 110 [kV]	110	1,01	110,67	0,61	1,02	111,68	1,53
Vallenar 13.8 [kV]	13,8	0,97	13,37	-3,11	0,97	13,43	-2,68
Alto del Carmen 13.8 [kV]	13,8	1,05	14,42	4,49	1,05	14,52	5,22

Tabla 35: Niveles de Tensiones en Barras de Interés. Operación Normal. Baja Demanda.

En ambos escenarios de simulación del sistema, podemos observar que los tramos más afectados corresponden a:

- **Tap Huasco-Alto del Carmen 110[kV]:** Al momento de ingresar la Central, en Demanda Alta, la Potencia Activa por la línea aumenta en 0.15%, en tanto la Potencia Reactiva disminuye en un 1.51%, la cargabilidad disminuye en un 0,794% debido al menor tránsito de reactivos por la línea. Para escenarios de Baja Demanda del sistema observamos que al inyectar energía por parte de la Central, la Potencia Activa por la línea aumenta, no presentando variación importante. En tanto la Potencia Reactiva disminuye en un 5.3%, finalmente la cargabilidad disminuye en un 0,83%.
- **Tap Huasco-Tap El Edén:** Al conectar la Central Huasco en Alta Demanda del sistema, se evidencia un cambio en el sentido del flujo pasando de ir en la dirección “Edén-Huasco” a “Huasco-Edén”. La Potencia Activa circulante por la línea aumenta en un 184,99%, la reactiva disminuye en 46,97% y la cargabilidad aumenta en un 138,62%. Cabe mencionar que la cargabilidad de línea a pesar del gran incremento porcentual, no sobrepasa el 6.7% de la capacidad del tramo. En tanto, para escenarios de Baja Demanda, ocurre el mismo fenómeno del cambio de dirección del flujo, donde la Potencia Activa circulante por la línea aumenta en un 402.97%, la reactiva disminuye en 30% y la cargabilidad aumenta en un 367.5%. Cabe mencionar que la cargabilidad de línea, al igual que en el caso anterior, a pesar del gran incremento porcentual, no sobrepasa el 7.5%.
- **Tap El Edén-Vallenar 110[kV]:** Análogamente al tramo anterior, en Demanda Alta, se tiene un cambio en el sentido del flujo pasando de “Vallenar-El Edén” (sin la Central) a “El Edén-Vallenar” (con la Central). Las Potencias activas, reactivas y cargabilidades varían numéricamente similar. (P aumenta en un 184.53%, Q disminuye en 48.13% y la cargabilidad aumenta en 177.96% manteniendo el margen 6.6%). Lo mismo ocurre en Baja Demanda, donde Las Potencias Activas, Reactivas y cargabilidades varían numéricamente similar. (P aumenta en un 402.13%, Q en 110.77% y la cargabilidad en un 364.6% manteniendo el margen 7.5%)
- **Maitencillo-Vallenar 110[kV]:** Tanto en Alta Demanda como en Baja, en el instante en que la Central comienza su despacho, disminuye la Potencia Activa circulante (en un 48.92% y 69.58%, respectivamente) debido a que los consumos son abastecidos principalmente por la microhidráulica Huasco. La Potencia Reactiva aumenta en 19,9% y 17,73%, y la cargabilidad disminuye en 43.87% y en 52,89%.

Los cambios en el sentido del flujo, al momento de conectar la Central en las líneas que van desde el Tap-Off Huasco hasta la Barra de Maitencillo, son producto de que los consumos (Barras Alto del Carmen y Vallenar) están siendo abastecidos por la microhidráulica y no se requiere la misma cantidad de energía proveniente de la Barra Maitencillo. No obstante las cargabilidades de las líneas se encuentran por debajo del 30% en cualquiera de los escenarios simulados, por lo que no habría problemas de congestión de las mismas.

4.2.3. Resultados al interior de la Central

Para efectos de simplificación, y su posterior análisis, se han separado estas simulaciones en dos grandes condiciones; Entregando y Absorbiendo Reactivos. Dado que para cumplir la Norma Técnica, se deberá disponer de zonas de operación con entrega y absorción de reactivos, estas fueron analizadas bajo condiciones que se produzcan realmente en el sistema eléctrico, esto significa que para la zona de entrega de reactivos, se simuló sobre el escenario de Alta Demanda; indicando que en esta condición, es necesario la inyección de Potencia Reactiva. Por otro lado, la zona de absorción de reactivos, fue simulada sobre una Baja Demanda, explicando la absorción de reactivos por el incremento de la tensión en la zona.

El estudio de las instalaciones de la planta generadora, considera las variables de carga sobre los elementos del sistema y los índices de tensión de las Barras encontradas en la Central, para condiciones de Factor de Potencia unitario.

4.2.3.1. Resultados Estando en la Zona de Operación: Entregando Reactivos

Caso	Tap Río Huasco a Río Huasco S/E LV			Tap Off Huasco a Alto Del Carmen			Tap Off Huasco a Tap El Edén 110k		
	P [MW]	Q [MVAR]	Carga [%]	P [MW]	Q [MVAR]	Carga [%]	P [MW]	Q [MVAR]	Carga [%]
PQ0	0	0	0	0,01	-0,006	0,03	1,318	0,864	3,78
PmaxQ0	5,12	0	50,79	5,077	-0,339	10,86	1,318	0,854	3,76
PQmax9 2	5,12	2,181	53,56	5,073	1,804	11,46	1,318	0,849	3,75
PoQ92	0	2,181	21,19	0,016	-2,128	4,55	1,318	0,858	3,77

Tabla 36: Flujos de Potencia Activa y Reactiva de la Central Huasco, Operación Normal con Variables Nulas, Zona de Entrega de Reactivos.

Barra	Tensión Nominal [kV]	PQ0		PmaxQo		PQmax92		PoQ92	
		Tensión [kV]	Des. Tensión [%]						
Alto Del Carmen 110 [kV]	110	110,06	0,05	110,69	0,63	111,04	0,95	110,41	0,37
Río Huasco S/E HV	110	110,28	0,25	110,91	0,83	111,26	1,15	110,63	0,57
Tap Off Huasco	110	110,28	0,25	110,9	0,82	111,26	1,15	110,63	0,57
Vallenar 110 [kV]	110	110,38	0,35	110,79	0,72	110,99	0,9	110,58	0,53
Río Huasco Generación	6,6	6,62	0,3	6,68	1,21	6,89	4,39	6,82	3,33
Río Huasco S/E LV	6,6	6,62	0,3	6,68	1,21	6,88	4,24	6,82	3,33

Tabla 37: Normal con Potencias Activa y Reactivas Nulas, Zona de Entrega de Reactivos.

4.2.3.2. Resultados Estando en la Zona de Operación: Absorbiendo Reactivos

Caso	Tap Río Huasco a Río Huasco S/E LV			Tap Off Huasco a Alto Del Carmen			Tap Off Huasco a Tap El Edén 110k		
	P [MW]	Q [MVAR]	Carga [%]	P [MW]	Q [MVAR]	Carga [%]	P [MW]	Q [MVAR]	Carga [%]
PQ0	0	0	0	0	0	0	0,842	0,235	2,39
PmaxQ0	110,69	0,63	111,04	110,91	0,83	111,26	110,9	0,82	111,26
PQmax92	5,12	-1,683	54,67	5,072	-2,076	11,69	0,842	0,239	2,4
PoQ92	0	0	0	0	0	0	0,842	0,235	2,39

Tabla 38: Flujos de Potencia Activa y Reactiva de la Central Huasco, Operación Normal con Variables Nulas, Zona de Entrega de Reactivos.

Donde:

PQ0: Corresponde al caso donde no hay inyección Activa ni Reactiva

PmáxQ0: Corresponde al caso donde sólo hay Potencia Activa

PQmáx92: Corresponde al caso donde P y Q son máximos para un Factor de Potencia 0,92

P0Q02: Corresponde al caso donde solo hay Potencia Reactiva para un Factor de Potencia 0,92

Barra	Tensión Nominal [kV]	PQ0		PmaxQo		PQmax92		PoQ92	
		Tensión [kV]	Des. Tensión [%]						
Alto Del Carmen 110 [kV]	110	110,06	0,05	110,69	0,63	111,04	0,95	110,41	0,37
Río Huasco S/E HV	110	110,28	0,25	110,91	0,83	111,26	1,15	110,63	0,57
Tap Off Huasco	110	110,28	0,25	110,9	0,82	111,26	1,15	110,63	0,57
Vallenar 110 [kV]	110	110,38	0,35	110,79	0,72	110,99	0,9	110,58	0,53
Río Huasco Generación	6,6	6,62	0,3	6,68	1,21	6,89	4,39	6,82	3,33
Río Huasco S/E LV	6,6	6,62	0,3	6,68	1,21	6,88	4,24	6,82	3,33

Tabla 39: Normal con Potencias Activa y Reactivas Nulas, Zona de Absorción de Reactivos.

La Central demostró que puede operar bajo las condiciones impuestas por la Norma Técnica en su Artículo 3-6 y 3-7; sin sobrepasar de sus límites nominales de los equipos y niveles de tensión descritos por el reglamento. No obstante, la inyección de Potencia Activa por parte de la Central fue disminuida para obtener resultados con Factor de Potencia de 0,92 como lo establece la Norma. Esta baja de Potencia para dicha configuración, se debe a que la alta inyección de reactivos necesarios para cumplir con FP 0,92 produce aumento en las tensiones de Barras; por lo tanto para cumplir con la Norma Técnica, en los niveles de tensión dentro de la generadora, es necesaria la disminución de inyección de Potencia Activa (mediante control PV).

4.2.3.3. Establecimiento del Factor de Potencia unitario en el punto de conexión de la Central

En el siguiente apartado se pretende establecer el criterio de despacho de las unidades generadoras tal que se compensen las pérdidas reactivas del grupo Transformador de Poder y líneas de transmisión disponibles en la Central. Para ello se procederá a identificar las pérdidas nombradas anteriormente en la simulación del proyecto y posteriormente, verificar que dicha compensación pueda entregarse por medio de las unidades generadoras sin salir de la carta de operación ni de los márgenes de operación establecidos. Se establecerá un criterio de generación que permita a la Central entregar energía a Factor de Potencia unitario medido en el punto de conexión con el sistema (es decir, medido en el Tap-Off Huasco en la línea Alto del Carmen-Vallenar).

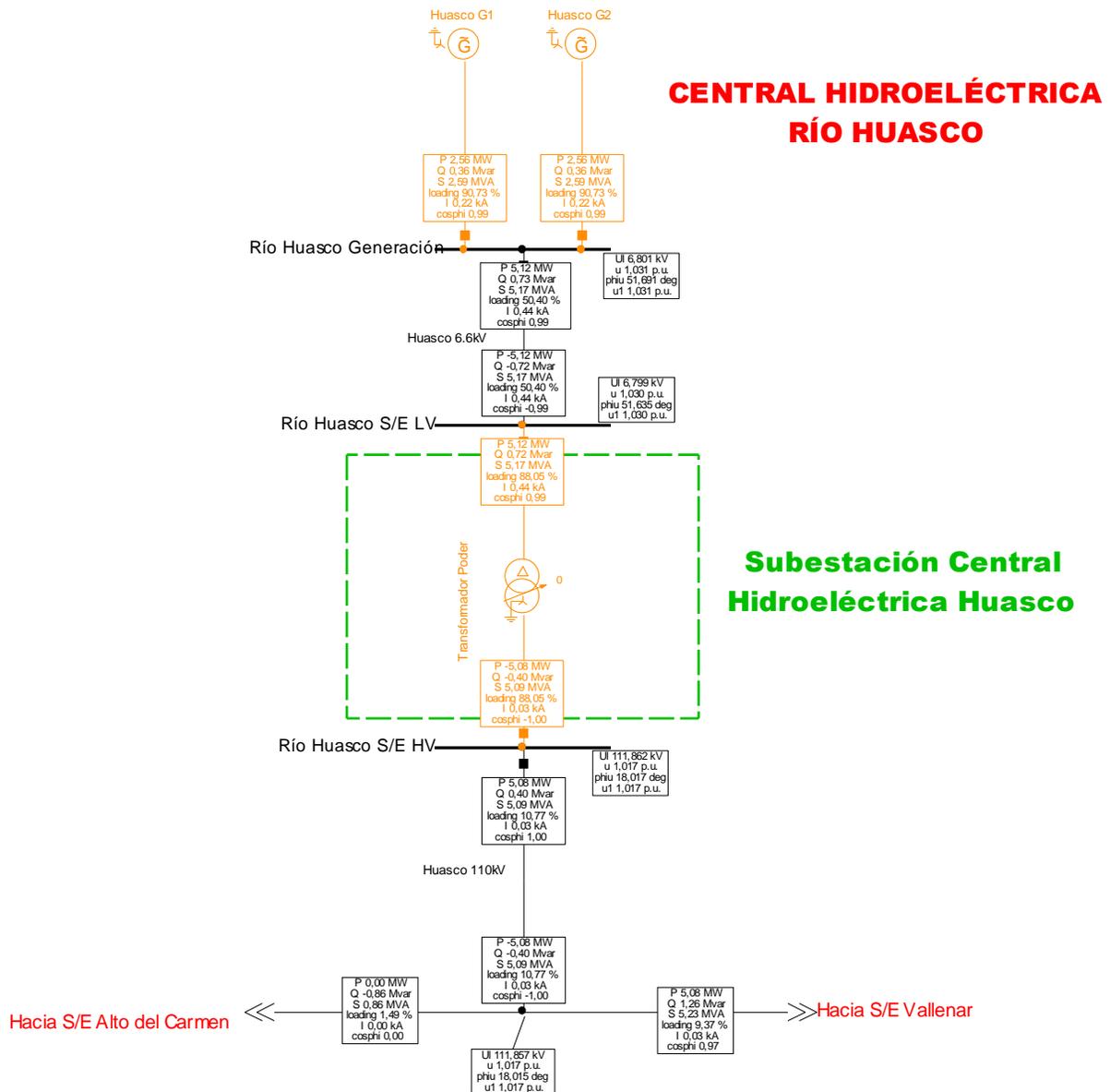


Figura 33: Condición Normal de operación de la Central Huasco

Del diagrama anterior es posible desprender que las pérdidas de la subestación corresponden a:

$$\text{Pérdidas Reactivas} = \text{Perd. Línea 80[m]} + \text{Perd. Transformador} + \text{Perd. Línea 190[m]}$$

Donde:

$$\text{Perd. Línea 80[m]} = 0,73[\text{MVar}] - 0,72[\text{MVar}] = 0,01 [\text{MVar}]$$

$$\text{Perd. Transformador} = 0,72[\text{MVar}] - 0,40[\text{MVar}] = 0,32[\text{MVar}]$$

$$\text{Perd. Línea 80[m]} = 0,401[\text{MVar}] - 0,395 [\text{MVar}] = 0,006[\text{MVar}]$$

Con esto:

$$\text{Pérdidas Reactivas} = 0,01[\text{MVar}] + 0,32 + 0,006[\text{MVar}] = 0,336[\text{MVar}]$$

Se procede a simular un despacho con tal condición de entrega de reactiva, esto es, que entreguen, al menos, en conjunto 0,336 [MVar] (0,168 [MVar] por unidad generadora).

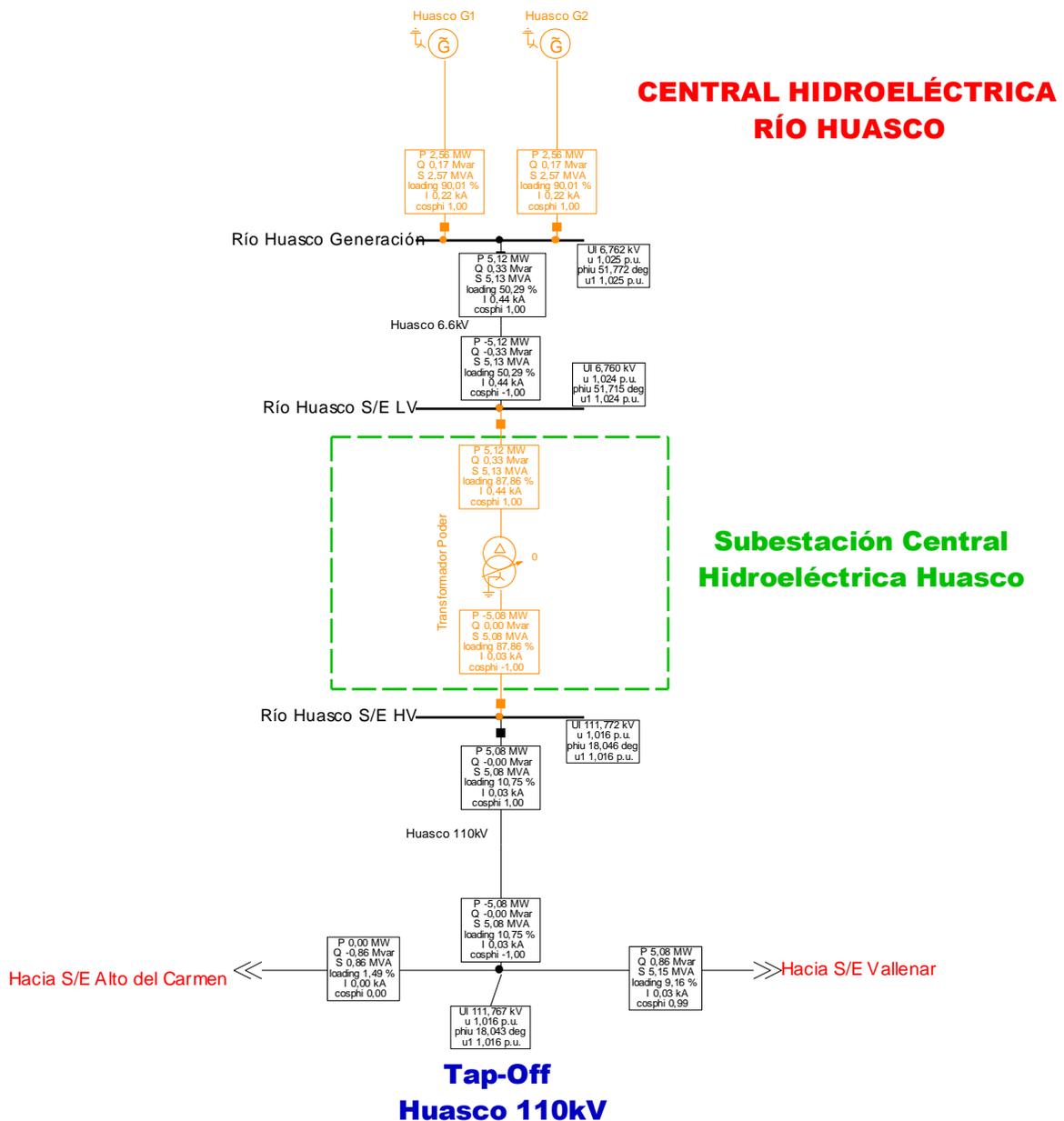


Figura 34: Condición Normal de operación de la Central Huasco a Factor de Potencia unitario en el punto de conexión (Tap-Off)

Según el estudio de la determinación de las condiciones para un Factor de Potencia unitario en el Tap Off, se desprende que las pérdidas reactivas netas presentadas en la Central (debido a líneas de transmisión y Transformador de Poder) pueden ser totalmente compensadas con una inyección reactiva desde las mismas unidades generadoras (el nuevo despacho se encuentra dentro de la carta de operación de las máquinas). Por consecuencia, para el sistema de transmisión adicional de 110[kV] cuya extensión es de 0,19[km], existe compensación para el 80% de la pérdida reactiva neta que presenta ya que con las mismas unidades se compensa totalmente.

4.2.4. Capacidades de los transformadores a considerar

Dentro del marco de estudio del presente informe se han considerado los análisis de las siguientes unidades transformadoras, en las cuales se han tabulado a continuación los niveles de corriente involucrados en los tramos donde se presentan los equipos anteriores:

- Transformador de Poder Huasco
- Transformador de Corriente Paño H1 S/E El Edén: 150/5 [A]
- Transformador de Corriente Paño CT1 S/E Alto del Carmen: 1000/1 [A]

Factor de Potencia				
Elemento	Desde	Hasta	Valor	Observación
Transformador de Poder Huasco	Río Huasco S/E LV	Río Huasco S/E HV	0,95	ABS
Transformador de Corriente Paño H1 S/E El Edén	Tap El Edén 110 [kV]	Vallenar 110 [kV]	0,93	ABS
Transformador de Corriente Paño CT1 S/E Alto del Carmen	Lado Baja tensión Trafo n°1 S/E Alto del Carmen	Consumo R. Alto del Carmen 13.8 [KV]	0,96	ABS

Tabla 40: Elementos considerados y sus tramos de interés

Escenario Demanda Sistema	Estado Central Huasco	Capacidad Nominal [MVA]	Potencia Medida [MVA]	Cargabilidad [%]	Pérdidas [MVA]	Corriente Circulante Lado BT [kA]	Corriente Circulante Lado AT [kA]
Alta Demanda	En Servicio	5,7	5,17	88,33	0,08	0,44	0,03
Baja Demanda	En Servicio	5,7	5,39	95,03	0,09	0,47	0,03

Tabla 41: Niveles de Corriente en y Saturación del Transformador de Poder (Generación en condiciones nominales)

Escenario Demanda Sistema	Estado Central Huasco	Niveles Corriente Medidos [kA]	Saturación respecto condición nominal lado AT [%]
Alta Demanda	En Servicio	0,03	20
	Fuera de Servicio	0,03	20
Baja Demanda	En Servicio	0,01	6,67
	Fuera de Servicio	0,03	20

Tabla 42: Niveles de Corriente Transformador de Corriente Paño H1 S/E El Edén

Escenario Demanda Sistema	Estado Central Huasco	Niveles Corriente Medidos [kA]	Saturación respecto condición nominal lado AT [%]
Alta Demanda	En Servicio	0,16	16
	Fuera de Servicio	0,16	16
Baja Demanda	En Servicio	0,17	17
	Fuera de Servicio	0,17	17

Tabla 43: Niveles de Corriente Transformador de Corriente Paño CT1 S/E Alto del Carmen

Estudiando el funcionamiento de la Central, se ha establecido que puede operar satisfactoriamente en todas las condiciones establecidas por la Norma Técnica en cuanto a Flujos de Potencias se refiere, esto es, en distintos escenarios de generación y Factor de Potencia, por lo que los generadores poseen cartas de operación adecuadas para el funcionamiento requerido. Del

mismo modo, los transformadores presentes, tanto de Poder como TTCC, presentaron una zona de operación dentro de sus capacidades nominales, sin presentar problemas de saturación. Se notaron que los valores presentes en condiciones de Potencia Activa y Reactiva nulas se deben principalmente a las pérdidas propias del transformador al estar sometido a una tensión. En tanto valores de las líneas cercanas a la subestación, se encuentran sometidas al flujo de Potencia producto de los consumos de la zona.

4.3. Resultados Relevantes Estudio de Estabilidad

4.3.1. Evolución Transitoria de la Tensión

A continuación se destaca el valor mínimo que alcanza la magnitud del voltaje en las Barras donde se estima un mayor impacto. La medida de la tensión informada corresponde a aquella Barra del sistema en la que se obtiene el menor valor.

Tensión Transitoria Mínima en Barras Principales de la Zona por Caso Simulado					
Tipo Falla =>	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Respuesta Dinámica
Escenario	Tensión mínima [pu]	Tensión mínima [pu]	Tensión mínima [pu]	Tensión mínima [pu]	
Dda. Alta	0,993 Cardones H1	0,977 Cardones H1	0,930 Cardones H1	0,993 Cardones H1	Amortiguada
Dda. Baja	1,008 Cardones H1	1,003 Cardones H1	0,980 Cardones H1	0,993 Cardones H1	Amortiguada

Tabla 44: Tensión Transitoria Mínima de las Barras Cercanas al Punto de Conexión.

4.3.2. Evolución Transitoria de la Frecuencia

Se expone en la siguiente Tabla el valor mínimo que alcanza transitoriamente la frecuencia del sistema para cada una de las contingencias efectuadas. La medida de la frecuencia informada corresponde a aquella Barra del sistema en la que se obtiene el menor valor.

Evolución Frecuencia en Barras Principales de la Zona por Caso Simulado					
Tipo Falla =>	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Respuesta Dinámica
Escenarios	Mínimo Hz	Mínimo Hz	Mínimo Hz	Mínimo Hz	
Dda. Alta	49,958 Cardones H1	49,868 Cardones H1	48,943 Cardones H1	49,636 Huasco Gen	Amortiguada
Dda. Baja	49,962 Cardones H1	49,878 Cardones H1	48,916 Cardones H1	49,636 Huasco HV	Amortiguada

Tabla 45: Evolución de Frecuencia en Barras Cercanas al Punto de Conexión.

Según lo anterior, podemos observar que los niveles de tensión se encuentran dentro de los márgenes solicitados por la NT de SyCS, por lo que no se producen caídas de tensiones debajo de 0,7 [pu] luego de 10 [ms] de despejada la falla. Además, la frecuencia no desciende por debajo de 48,3 [Hz], tal como solicita la NT de SyCS, pudiendo determinar por tanto que, para los dos escenarios operacionales analizados, el comportamiento dinámico de la Central, resulta estable y presenta todas sus variables dentro de las exigencias establecidas en la NT de SyCS.

4.3.2 Nivel de Amortiguamiento para Oscilaciones Electromecánicas

A continuación se muestra el nivel de amortiguación que se alcanza en las líneas de la zona de interés. Se entregan los valores de las líneas que resultan más relevantes para el estudio, esto en función, de lo expuesto en la NT de SyCS en el artículo 5-47, en donde se especifica que el valor del factor de amortiguación, en la línea de transmisión que transporta la mayor Potencia y que a su vez está más cerca del lugar de ocurrencia de la falla, debe ser como mínimo de un 5 %. Los valores son entregados para cada caso, divididos en demanda alta y baja.

Factor de Amortiguación de Potencia Activa en Líneas de la Zona, Caso 1, Demanda Alta		
Instalación Medida [Línea o Tramo]	ζ (%)	Respuesta Dinámica
Maitencillo - Vallenar 110 [kV]	22,634%	Amortiguada
Maitencillo - Punta Toro 110 [kV]	8,631%	Amortiguada

Tabla 46: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 1 Demanda Alta.

Factor de Amortiguación de Potencia Activa en Líneas de la Zona, Caso 1, Demanda Baja		
Instalación Medida [Línea o Tramo]	ζ (%)	Respuesta Dinámica
Maitencillo - Vallenar 110 [kV]	6,029%	Amortiguada
Maitencillo - Punta Toro 110 [kV]	6,958%	Amortiguada

Tabla 47: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 1 Demanda Baja.

Factor de Amortiguación de Potencia Activa en Líneas de la Zona, Caso 2, Demanda Baja		
Instalación Medida [Línea o Tramo]	ζ (%)	Respuesta Dinámica
Maitencillo - Vallenar 110 [kV]	5,974%	Amortiguada
Maitencillo - Punta Toro 110 [kV]	5,025%	Amortiguada

Tabla 48: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 2 Demanda Baja¹⁶.

Factor de Amortiguación de Potencia Activa en Líneas de la Zona, Caso 3, Demanda Baja		
Instalación Medida [Línea o Tramo]	ζ (%)	Respuesta Dinámica
Maitencillo - Vallenar 110 [kV]	15,983%	Amortiguada
Tap Off Río Huasco - El Edén 110 [kV]	7,619%	Amortiguada

Tabla 49: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 3 Demanda Baja.

Factor de Amortiguación de Potencia Activa en Líneas de la Zona, Caso 3, Demanda Baja		
Instalación Medida [Línea o Tramo]	ζ (%)	Respuesta Dinámica Cumplimiento NT Art. 5-47
Maitencillo – Vallenar 110[kV]	16.828	Amortiguada

Tabla 50: Factor de Amortiguación de la Líneas Cercanas al Punto de Conexión, Caso 3 Demanda Baja.

4.3.3. Evolución Transitoria Angular

La medida de la evolución angular se mide en los generadores de la zona en estudio respecto de un generador de referencia. El valor informado corresponde a la excursión angular de mayor magnitud que se obtiene en la primera oscilación (de entre todos los generadores considerados en el estudio), tal como se indica en el artículo 5-53 de la NT de SyCS.

Excursión Angular Rotor Centrales Cercanas a la Zona por Caso Simulado						
Tipo Falla =>	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Respuesta Dinámica	Verificación cumplimiento Norma Técnica (Art. 5-53) ° < 120° Primera Oscilación
Escenarios	Mayor []°	Mayor []°	Mayor []°	Mayor []°		
Dda. Alta	31,552 Guacolda 3	46,592 Guacolda 3	70,889 Guacolda 3	57,810 Gen Huasco G2	Oscilatoria amortiguada	Sí
Dda. Baja	20,372 Guacolda 2	30,718 Guacolda 4	51,432 Guacolda 2	57,779 Gen Huasco G2	Oscilatoria amortiguada	Sí

Tabla 51: Excursión Angular del Rotor de las Centrales Cercanas a la Zona de Estudio.

En general se aprecia que todas las variables relevantes del sistema en transmisión, tales como frecuencia, tensión, estabilidad angular y amortiguamiento, bajo las contingencias críticas evaluadas, se encuentran con pleno cumplimiento de las exigencias impuestas por la NT de SyCS, este hecho se presenta en los dos escenarios operacionales estudiados. Cabe mencionar que las oscilaciones no amortiguadas en las líneas estudiadas, que se producen en el caso 2 y 3 en demanda alta, no son producidas por el ingreso de la Central Río Huasco al SIC, como se expondrá a continuación:

En el caso 2 se aprecia, que la línea mantiene una oscilación constante, no pudiéndose calcular el factor de amortiguamiento, a pesar de que esta oscilación de Potencia es pequeña (cercana a los 0,2 MW a los 20 segundos, Línea Maitencillo – Punta Toro), es necesario determinar si es influenciada de algún modo por la conexión de la Central Río Huasco. Para ello se realizó una simulación, con las mismas características que la anterior, pero considerando a la Central Río Huasco desconectada del sistema el 100% del tiempo de simulación. Los resultados son los siguientes.

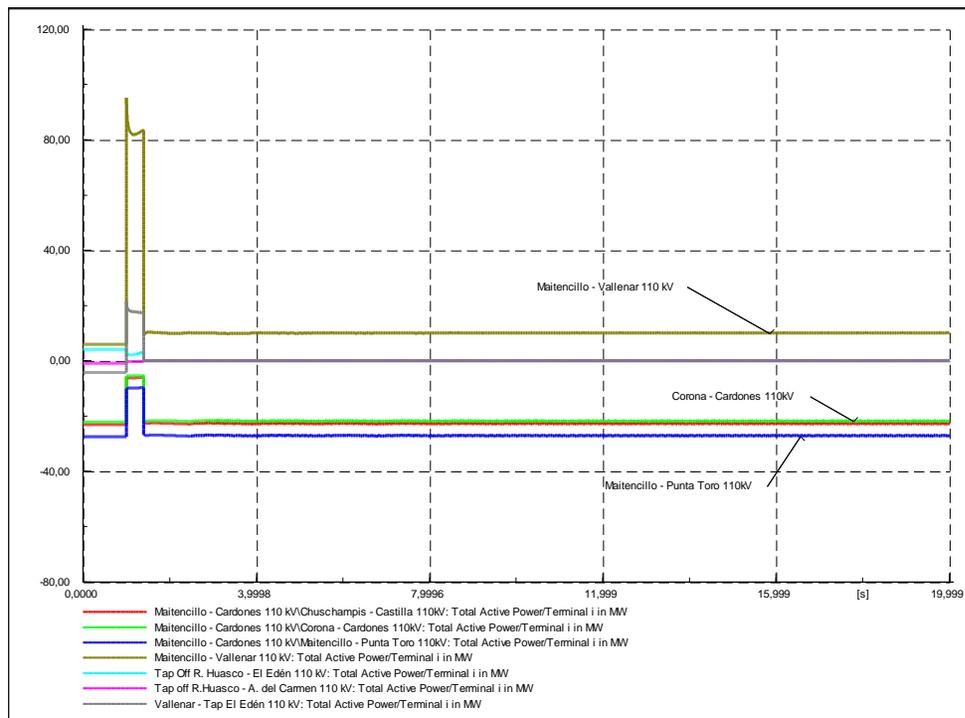


Figura 35: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta.

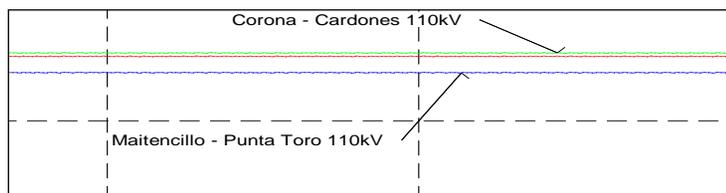


Figura 36: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta (Acercamiento).

Se contrasta este hecho con lo obtenido en el mismo caso sacando esta vez a la Central Huasco, con lo cual se registra:

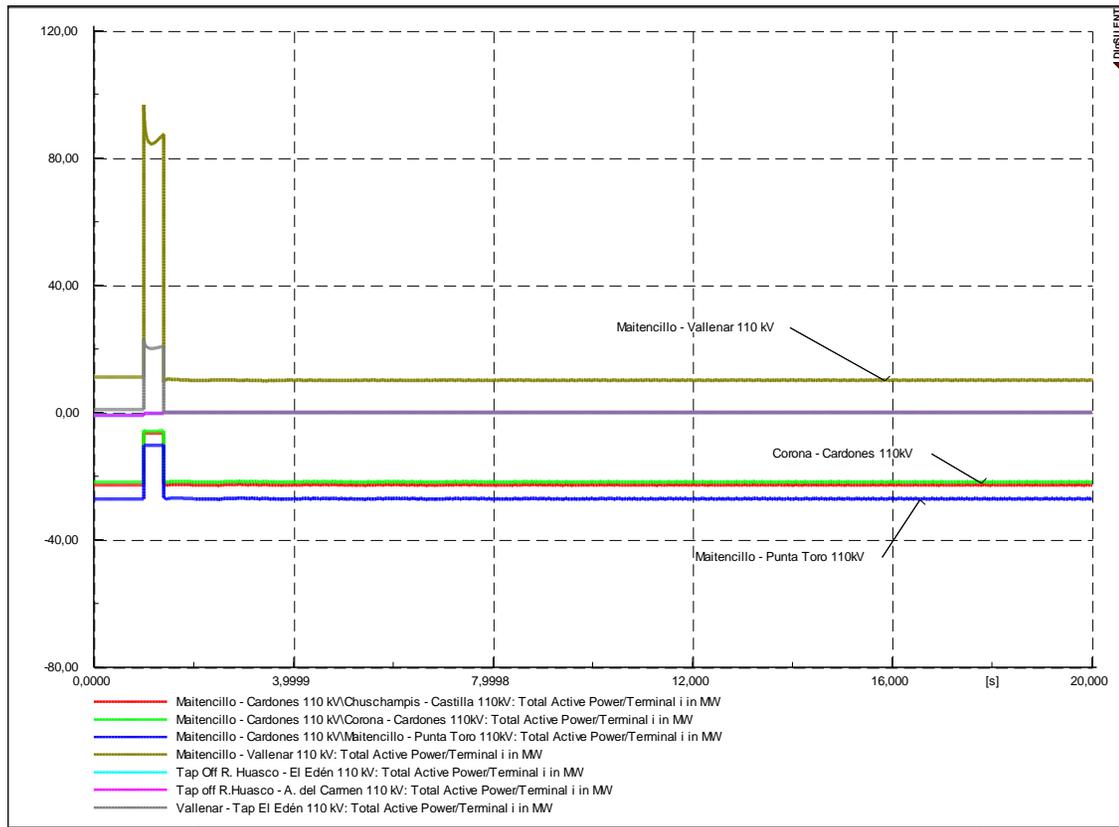


Figura 37: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta, Central Río Huasco Fuera de Servicio.

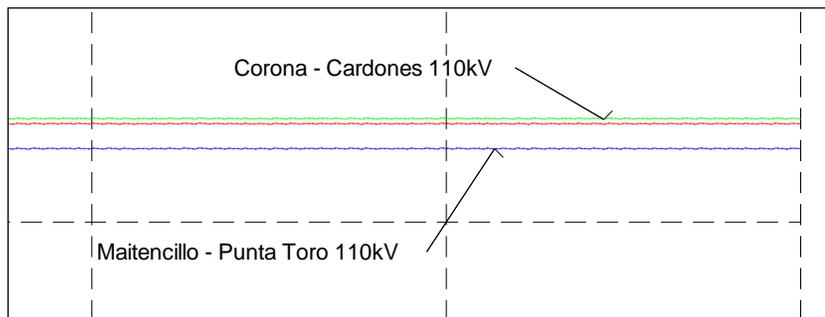


Figura 38: Oscilaciones Electromecánicas en Líneas de Transmisión Adyacentes, Caso 2 Demanda Alta, Central Río Huasco Fuera de Servicio (Acercamiento).

Se puede apreciar, que en este escenario, sucede algo bastante similar a lo sucedido en el escenario con la Central Río Huasco en servicio, por lo que se determina que es una condición preexistente en el sistema y no es provocada por la conexión de la Central Río Huasco.

En el caso 3 en demanda alta sucede algo similar, las líneas no presentan amortiguación al final del tiempo de simulación (a pesar de ser las oscilaciones de valores muy bajos de Potencia), pero este caso está enfocado en determinar el comportamiento de la Central Río Huasco, propiamente tal y no del sistema, además como se mencionó en el párrafo anterior, estas condiciones de oscilación en las líneas de la zona, son condiciones preexistente, por lo que no se profundizará en este punto.

En cuanto a los niveles de tensión, estos se encuentran dentro de los márgenes solicitados por la NT de SyCS, no se producen caídas de tensiones debajo de 0,7 pu luego de 10 [ms] de despejada la falla. La frecuencia no desciende por debajo de 48,3 [Hz], tal como solicita la NT de SyCS, permitiendo determinar por tanto que, para los dos escenarios operacionales analizados, el comportamiento dinámico de la Central, resulta estable y presenta todas sus variables dentro de las exigencias establecidas en la NT de SyCS.

Para el caso Normal de operación y luego de sacar de servicio ciertas líneas cercanas a la nueva Central, incluyendo la inyección de Potencia desde Maitencillo, los niveles de tensión en las Barras de la zona se mantuvieron dentro de lo dictado por la Norma Técnica. Por lo que se determina que no existe un impacto que provoque anomalías en el tema de estabilidad, ya que los esquemas mostraron que los índices de tensión se comportaron de manera amortiguada y dentro de lo dictado por la Normativa. Cabe mencionar la respuesta dinámica amortiguada en tensión de las Barras cercanas para demanda alta, en el caso de la salida del tramo Maitencillo H1-Cardones H1, la cual tiene un valor mínimo de 0,825 [pu] en el voltaje en Barra.

Se puede apreciar en la zona, oscilaciones no amortiguadas en las líneas de transmisión, a pesar de ser proporcionalmente pequeñas, se revisó si este hecho es producido por el ingreso de la Central Río Huasco. Según este estudio, se determina que dichas oscilaciones no son producidas, de manera directa por el ingreso de la Central, y representan más bien una condición existente en la zona.

Se observa además que las excursiones de los ángulos rotóricos, de todos los generadores analizados, se mantuvieron dentro de lo dictado por la Normativa vigente, la Central tiene un máximo de 69,045° siendo el límite reglamentario de 120°. Se observa que todas las variables expuestas muestran amortiguamiento, por tratarse de valores y modelos típicos. Se solicita mayor información respecto de los modelos utilizados para lograr una evaluación de la dinámica de la Central más representativa.

El análisis de los resultados del estudio de Estabilidad Transitoria permite concluir, tanto para el escenario de demanda alta como baja, que es técnicamente factible inyectar 5,12[MW] de Potencia al SIC a través de las instalaciones de la Central hidroeléctrica Huasco, ubicada en la región de Antofagasta. Ya que los índices de tensión, factor de amortiguamiento, frecuencia de las Barras adyacentes, se mantuvieron dentro de la Norma Técnica. Así también como los ángulos retóricos de los generadores cercanos a las contingencias aplicadas.

4.4. Resultados Relevantes Estudio de Protecciones

4.4.1. Comprobación en Escenario con Operación de Generadores, Demanda Alta.

Este escenario operacional, consta en la configuración de las máquinas generadoras de la red eléctrica del SIC con una alta inyección, lo cual implica también, que el sistema se encuentra en una condición de demanda alta.

Los ajustes de los elementos de protección en la zona, fueron analizados bajo esta configuración, ya que se establece el escenario Normal de operación de la red con una alta generación por parte del SIC y de la zona.

Se simularon 4 tipos de fallas en distintos elementos dentro y fuera de la Central Huasco, tanto fallas francas como con impedancia de falla de 25Ω , de manera de observar la operación de los elementos de protección. Estas son fallas del tipo trifásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y monofásicas, verificando la coordinación de las protecciones con funciones 51 y 21 de corrientes de fase y la coordinación para las protecciones con función 50N, 51N, 21N; correspondientes a las corrientes residuales.

Las Tablas a continuación, muestran los tiempos de actuación para todas las protecciones analizadas en la zona de estudio, incluyendo el nivel de cortocircuito en la falla simulada.

Además de observar los tiempos de acción de las protecciones involucradas en el estudio, los diagramas Tiempo/Distancia darán la facilidad de observar esquemáticamente la operación de las protecciones en la zona frente a contingencias con y sin impedancia.

Simbología de Tablas:

 Tiempos de Paso ≥ 300 mseg.

 Tiempos de Paso < 300 mseg. y ≥ 250 mseg.

 Tiempos de Paso < 250 mseg.

 Accionamiento del disparo Transferido (TDD) o Accionamiento del disparo por Zona AD

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Terminal Conexión 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen
Corriente de Falla [kA] (Ik'')				8,656	8,656	8,739	2,190	2,190	2,199	2,115	1,615	1,569	3,084
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,020	0,416	0,421	0,683	0,683	0,683	0,720	1,054	1,054	-
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,416	0,416	0,421	0,683	0,683	0,683	0,720	1,054	1,054	-
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50 59N	0,371	0,371	0,508	0,657	0,657	0,657	0,677	0,851	0,851	-
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	-	-	-	0,440	0,030	0,030	1,030	-	-	-
			51/50	0,690	0,690	0,683	0,020	1,236	1,236	1,274	1,611	1,611	-
			67/51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	-
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
GE T60	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,684
		Nova Form 6	51 51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,202
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	2,530
			21/21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-
			51/50	6,899	6,899	6,603	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	5,924
			67/51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		67/51N (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50 50N	6,899	6,899	6,603	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	5,924
S/E Vallenar	Transformadores Nº 1 y Nº2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE 12IFC51AD4A	51 51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	
			67/51/50 (Hacia El Edén)	15,437	15,437	14,656	1,000	1,000	0,995	1,039	1,409	1,458	
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	15,437	15,437	14,656	1,000	1,000	0,995	1,039	1,409	1,458	
	67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51	51 51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Transformador Nº 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado 110kV)	51 51N	-	-	-	3,584	3,584	3,541	4,023	-	-	
	Transformador Nº 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado 110kV)	51 51N	-	-	-	4,185	4,185	4,126	4,794	-	-	
Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabla 52: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Alta.

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13.8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA] (Ik")				2,262	2,937	3,054	6,082	3,204	5,165	5,552	3,920	3,511	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,685	0,696	0,698	-	0,699	0,710	0,712	1,179	1,421	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,685	0,696	0,698	-	0,699	0,710	0,712	1,179	1,421	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,658	0,664	0,665	-	0,666	0,672	0,673	0,913	1,032	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,430	0,430	-	0,430	1,030	1,030	-	-	-
			51/50	1,237	1,249	1,251	-	1,252	1,264	1,265	1,734	1,968	
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,350	0,350	0,350	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,716
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 6SE	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nova Form 6			51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,430	-	0,440	-	-	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-	-	
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,455	-	0,456	0,461	0,461	0,660	0,768	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	-
			50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,574	-	-	-	-	-	
			51	-	-	-	0,562	-	-	-	-		
		GE T60 (CT1)	51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51	-	-	-	0,589	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,680	1,030	0,630	0,030	-	-	-	
			67/51/50 (Hacia El Edén)	0,963	0,717	0,687	3,841	0,651	0,020	-	-	-	
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	0,963	0,717	0,687	3,841	0,651	0,020	-	-	-	
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51	-	-	-	-	1,843	1,635	0,542	-	-	
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	0,040	-	
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	3,242	1,811	1,698	-	1,582	0,935	0,880	1,354	1,589	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	3,726	1,953	1,823	-	1,690	0,972	0,912	1,432	1,698	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	
THS 3P6		21	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030		

Tabla 53: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Alta (Continuación)

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Terminal Conexión 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen
Corriente de Falla [kA] (k")				7,386	7,386	7,467	1,860	1,860	1,867	1,796	1,371	1,332	2,608
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,020	0,460	0,466	0,687	0,687	0,687	0,724	1,052	1,098	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,460	0,460	0,466	0,687	0,687	0,687	0,724	1,052	1,098	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,393	0,393	0,535	0,659	0,659	0,659	0,679	0,850	0,873	
			59N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	-	-	-	0,440	0,030	0,030	1,030	-	-	-
			51/50	0,697	0,697	0,690	0,020	1,286	1,323	1,639	1,680		
			67/51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	-
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50N/67N (Hacia Central)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GE T60	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,054	0,698
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,281
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	
			21/21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	
			51/50	7,216	7,216	6,899	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,342
			67/51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		67/51N (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50	7,216	7,216	6,899	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,342
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE 12FC51AD4A	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630
67/51/50 (Hacia El Edén)	16,341				16,341	15,486	1,183	1,183	1,178	1,230	1,673	1,731	14,310
67/51N/50N (Hacia El Edén)	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)			16,341	16,341	15,486	1,183	1,183	1,178	1,230	1,673	1,731	14,310
67/51N/50N (Hacia El Edén)	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51		51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CAG 12 AF57A		50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	GE GCX17A		21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)		51	-	-	-	4,233	4,233	4,178	4,785	-	-	-
51N	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)		51	-	-	-	5,096	5,096	5,016	5,917	-	-	-
51N	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P68	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabla 54: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Alta

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA] (Ik'')				1,921	2,494	2,593	5,142	2,721	4,393	4,724	3,331	2,978	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,688	0,700	0,701	-	0,703	0,714	0,715	1,185	1,431	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,688	0,700	0,701	-	0,703	0,714	0,715	1,185	1,431	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,660	0,666	0,667	6,686	0,668	0,674	0,675	0,916	1,037	
			59N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,430	0,430	-	0,430	1,030	1,030	-	-	-
			51/50	1,287	1,299	1,300	-	1,302	1,313	1,315	1,777	2,004	
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,350	0,350	0,350	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,729	-
51N			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,440	-	0,440	-	-	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-		
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-		
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,508	-	0,509	0,515	0,515	0,771	0,921	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,581	-	-	-	-		
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	0,596	-	-	-	-		
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	0,625	-	-	-	-		
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	-	0,630	0,030	-	-		
			67/51/50 (Hacia El Edén)	1,139	0,846	0,810	4,002	0,768	0,472	-	-		
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	1,139	0,846	0,810	4,002	0,768	0,472	-	-		
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	1,909	1,705	0,562	-		
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	0,040	-		
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	3,806	2,066	1,932	-	1,792	1,031	0,968	1,515	1,793	
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	4,489	2,253	2,095	-	1,931	1,076	0,101	1,613	1,932	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	
			THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	0,030	

Tabla 55: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Alta (Continuación)

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
				Terminal 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV (Generación)	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen	
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik" / 3 x Io / 3 x Vo)				7,391 / 0,010 / 5,747	7,391 / 0,010 / 5,747	7,452 / 0,000 / 5,741	2,236 / 1,686	2,236 / 1,686	2,244 / 1,690	2,142 / 1,580	1,580 / 1,010	1,531 / 0,966	3,314 / 3,531	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función											
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,020	0,460	0,465	0,686	0,686	0,686	0,723	1,051	1,095	-	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,460	0,460	0,465	0,686	0,686	0,686	0,723	1,051	1,095	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50 59N	0,394 1,020	0,394 1,020	0,535 1,020	0,659 -	0,659 -	0,659 -	0,679 -	0,849 -	0,872 -	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	-	-	-	0,430	0,030	0,030	0,030	-	-	-	-
			51/50	0,697	0,697	0,690	0,020	0,804	0,885	0,917	1,170	1,203	-	
			67/51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,322	0,322	0,333	0,350	0,350	-	
			51N	-	-	-	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	-	
	GE T60	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,042	0,698	
		Nova Form 6	51 51N	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	0,117 0,344	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	-	
			21/21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-	
			51/50	7,217	7,217	6,899	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,344	
			67/51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		67/51N (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE F60	51/50 51N	7,217 -	7,217 -	6,899 -	0,350 -	0,350 -	0,350 -	0,350 -	0,350 -	0,350 -	0,350 -	6,344 -
S/E Vallenar	Transformadores Nº 1 y Nº2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE 12IFC51AD4A	51 51N	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	
S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	-	
			67/51/50 (Hacia El Edén)	16,341	16,341	15,486	1,029	1,029	1,024	1,077	1,517	1,574	14,316	
		67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	0,722	0,722	0,721	0,740	0,881	0,898	-		
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	16,341	16,341	15,486	1,029	1,029	1,024	1,077	1,517	1,574	14,316	
	67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	0,722	0,722	0,721	0,740	0,881	0,898	-			
	Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51	51 51N	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador Nº 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51 51N	- -	- -	- -	4,834 1,900	4,834 1,900	4,752 1,896	5,937 1,962	- 2,500	- 2,569	-	
	Transformador Nº 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51 51N	- -	- -	- -	5,967 1,745	5,967 1,745	5,842 1,741	7,740 1,797	- 2,240	- 2,296	-	
	Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P68	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabla 56: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Alta.

				11	12	13	14	15	16	17	18	19
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik ³ /3 x Io / 3 x Vo)				2,309 / 1,750	3,056 / 2,530	3,197 / 2,703	6,563 / 6,906	3,353 / 2,880	5,791 / 6,800	6,541 / 8,314	3,796 / 3,030	3,285 / 2,290
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función									
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,688	0,699	0,700	-	0,702	0,712	0,714	1,183	1,428
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,688	0,699	0,700	-	0,702	0,712	0,714	1,183	1,428
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	59N	0,660	0,666	0,667	-	0,667	0,673	0,674	0,915	1,035
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,030	0,430	-	0,430	0,430	1,030	-	-
			51/50	0,892	0,950	0,958	-	0,964	1,042	1,068	1,731	4,616
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,324	0,345	0,348	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,724
			51N	0,398	0,398	0,398	-	0,398	0,398	0,400	0,599	1,409
GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,330	0,430	-	0,430	0,430	0,430	-	-
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-	-
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,344	-	0,347	0,375	0,385	0,654	3,249
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	0,365	-	0,368	0,412	0,433	0,742	4,233
		GE F60	51/50	0,360	0,360	-	-	-	-	-	-	-
			51N	0,369	0,369	0,450	-	0,452	0,505	0,531	1,185	1,633
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,581	-	-	-	-	-
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	0,544	-	-	-	-	-
			51N/50N	-	-	-	0,420	-	-	-	-	-
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	0,579	-	-	-	-	-
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	-	0,630	0,030	-	-	-
			67/51/50 (Hacia El Edén)	0,988	0,707	0,671	4,004	0,635	0,020	-	-	-
		GE F60	67/51N/50N (Hacia El Edén)	0,709	0,690	0,690	-	0,690	0,020	-	-	-
			67/51/50 (Hacia El Edén)	0,988	0,707	0,671	4,004	0,635	0,020	-	-	-
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	1,802	1,588	0,547	-
			51N	-	-	-	-	-	1,182	1,014	0,454	-
			50N	-	-	-	-	-	-	-	0,020	-
	GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	0,040	-	
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130	51	4,168	1,895	1,743	-	1,614	0,869	0,787	1,493	1,813
			51N	1,853	1,510	1,465	-	1,425	1,360	1,360	1,398	1,511
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado 110kV)	51	4,984	2,048	1,872	-	1,723	0,900	0,812	1,587	1,954
51N			1,705	1,409	1,370	-	1,360	1,360	1,360	1,360	1,410	
Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 57: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Alta (Continuación)

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Terminal 6,6 kV Generador 1 Huesco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huesco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huesco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huesco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huesco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huesco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huesco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik" / 3 x Io / 3 x Vo)				0,020 / 11,471	0,020 / 11,471	0,020 / 11,458	1,898 / 1,898	1,898 / 1,898	1,908 / 1,908	1,800 / 1,800	1,240 / 1,240	1,193 / 1,193	3,256
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huesco	G Huesco 1	Siemens 7UM621	51/50	-	-	-	1,513	1,513	1,514	1,513	3,049	3,276	-
	G Huesco 2	Siemens 7UM621	51/50	-	-	-	1,513	1,513	1,514	1,513	3,049	3,276	-
	Transformador de Poder Central Huesco (Reunión de Generación)	Siemens 7SJ621	51/50	-	-	-	1,076	1,076	1,076	1,076	1,768	1,864	-
			59N	1,020	1,020	1,020	-	-	-	-	-	-	-
	Transformador de Poder Central Huesco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	-	-	-	0,430	0,030	0,030	0,300	-	-	-
			51/50	-	-	-	0,020	0,809	0,810	0,809	1,040	1,066	-
			67/51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,294	0,294	0,304	0,350	0,350	-
			51N	-	-	-	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	-
50N/67N (Hacia Central)			-	-	-	0,020	-	-	-	-	-	-	
GE T60	87	-	-	-	0,020	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,068	1,978
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,183
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	-
			21/21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-
			51/50	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	29,109
			67/51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		67/51N (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	29,109
S/E Vallenar	Transformadores Nº 1 y Nº2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	-
			67/51/50 (Hacia El Edén)	-	-	-	1,277	1,277	1,271	1,358	2,118	2,222	-
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	0,693	0,693	0,692	0,706	0,810	0,822	-
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	-	-	-	1,277	1,277	1,271	1,358	2,118	2,222	-
		67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	0,693	0,693	0,692	0,706	0,810	0,822	-	
	Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transformador Nº 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado 110kV)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		51N	-	-	-	1,799	1,799	1,795	1,842	2,219	2,267	-	
Transformador Nº 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado 110kV)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	51N	-	-	-	1,659	1,659	1,795	1,696	2,012	2,051	-		
Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P68	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabla 58: Comprobación con Falla Monofásica, Demanda Alta

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik³/3 x Io / 3 x Vo)				1,965 / 1965	2,702 / 2,702	2,851 / 2,851	6,401 / 6,401	3,014 / 3,014	5,795 / 5,795	6,566 / 6,566	3,380 / 3,380	2,745 / 2,740	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	1,511	1,406	1,379	-	1,363	1,067	0,998	2,649	3,914	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	1,511	1,406	1,379	-	1,363	1,067	0,998	2,649	3,914	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación)	Siemens 7SJ621	51/50	1,075	1,024	1,011	-	1,004	0,858	0,822	1,594	2,128	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,030	0,430	-	0,430	0,430	0,430	-	-	-
			51/50	0,816	0,875	0,885	-	0,892	1,008	1,045	1,827	-	-
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,297	0,318	0,322	-	0,324	0,350	0,350	0,350	0,812	-
			51N	0,398	0,398	0,398	-	0,398	0,404	0,431	0,571	0,609	-
50N/67N (Hacia Central)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 6SE	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,430	-	0,430	-	-	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-		
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-		
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,322	-	0,324	0,367	0,381	0,696	0,885	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	0,359	-	0,362	0,438	0,475	0,692	0,760	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	0,369	0,369	0,443	-	0,447	0,538	0,591	1,037	1,245	
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,726	-	-	-	-		
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	0,550	-	-	-	-		
			51N/50N	-	-	-	0,420	-	-	-	-		
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	0,582	-	-	-	-		
51N	-		-	-	1,080	-	-	-	-				
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	-	0,630	0,030	-	-		
			67/51/50 (Hacia El Edén)	1,220	0,816	0,766	8,217	0,718	0,020	-	-		
		GE F60	67/51N/50N (Hacia El Edén)	0,690	0,690	0,690	-	0,690	0,020	-	-		
			67/51/50 (Hacia El Edén)	1,220	0,816	0,766	8,217	0,718	0,020	-	-		
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	1,850	0,581	-		
			51N	-	-	-	-	-	1,354	1,206	0,450		
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	0,020		
	GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	0,040			
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV (Lado110kV)	RSAS 1130	51	10,295	2,378	2,108	-	1,893	0,659	0,777	1,723	2,474	
			51N	1,758	1,473	1,437	-	1,402	1,360	1,360	1,360	1,414	
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV (Lado110kV)	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	-	2,616	2,293	-	2,042	0,888	0,801	1,845	2,731	
51N			1,624	1,377	1,360	-	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360		
Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030

Tabla 59: Comprobación con Falla Monofásica Demanda Alta (Continuación)

4.4.2. Comprobación en Escenario con Operación de Generadores, Demanda Baja.

Este escenario operacional, consta en la configuración de las máquinas generadoras de la red eléctrica del SIC con una baja inyección, lo cual implica también, que el sistema se encuentra en una condición de demanda baja.

Los ajustes de los elementos de protección en la zona, fueron analizados bajo esta configuración, ya que se establece el escenario Normal de operación de la red con una baja generación por parte del SIC y de la zona.

Se simularon 4 tipos de fallas en distintos elementos dentro y fuera de la Central Huasco, tanto fallas francas como con impedancia de falla de 25Ω , de manera de observar la operación de los elementos de protección. Estas son fallas del tipo trifásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y monofásicas, verificando la coordinación de las protecciones con funciones 51 y 21 de corrientes de fase y la coordinación para las protecciones con función 50N, 51N, 21N; correspondientes a las corrientes residuales.

Las Tablas a continuación, muestran los tiempos de actuación para todas las protecciones analizadas en la zona de estudio, incluyendo el nivel de cortocircuito en la falla simulada.

Además de observar los tiempos de acción de las protecciones involucradas en el estudio, los diagramas Tiempo/Distancia darán la facilidad de observar esquemáticamente la operación de las protecciones en la zona frente a contingencias con y sin impedancia.

Simbología de Tablas:

	Tiempos de Paso ≥ 300 mseg.		Tiempos de Paso < 250 mseg.
	Tiempos de Paso < 300 mseg. y ≥ 250 mseg.		Accionamiento del disparo Transferido (TDD) o Accionamiento del disparo por Zona AD

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
				Terminal Conexión 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen	
Corriente de Falla [kA] (k")				8,703	8,703	8,787	2,188	2,187	2,197	2,113	1,614	1,568	3,083	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función											
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,020	0,413	0,418	0,678	0,678	0,678	0,714	1,040	1,085	-	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,413	0,413	0,418	0,678	0,678	0,678	0,714	1,040	1,085	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,37	0,37	0,507	0,654	0,654	0,654	0,674	0,843	0,866	-	
			59N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	-	-	-	0,440	0,030	0,030	-	-	-	-	-
			51/50	0,688	0,688	0,682	0,020	1,230	1,230	1,268	1,597	1,642	-	
			67/51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50N/57N (Hacia Central)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
GE T80	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-			
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,665	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,203	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	2,030	2,030	2,030	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	2,530	
			21/21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-	
			51/50	7,219	7,219	6,889	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	5,954	
			67/51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		67/51N (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE F80	51/50	7,219	7,219	6,889	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	5,954	
S/E Vallenar	Transformadores Nº 1 y Nº 2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	-	
			67/51/50 (Hacia El Edén)	16,675	16,675	15,727	1,002	1,002	0,997	1,041	1,414	1,463	13,240	
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F80	67/51/50 (Hacia El Edén)	16,675	16,675	15,727	1,002	1,002	,997+	1,041	1,414	1,463	13,240	
	67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador Nº 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	-	-	-	3,613	3,613	3,568	4,052	-	-	-	
	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Transformador Nº 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	-	-	-	4,224	4,224	4,163	4,650	-	-	-		
51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabla 60: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Baja.

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA] (Ik'')				2,26	2,934	3,05	6,094	3,201	5,166	5,554	3,921	3,51	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,679	0,691	0,682	-	0,693	0,705	0,706	1,172	1,406	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,679	0,691	0,682	-	0,693	0,705	0,706	1,172	1,406	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,655	0,661	0,662	-	0,663	0,669	0,670	0,910	1,024	
			59N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,430	0,430	-	0,430	1,030	1,030	-	-	-
			51/50	1,231	1,243	1,245	-	1,246	1,258	1,259	1,728	1,953	
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,350	0,350	0,350	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,710	
51N			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,430	-	0,440	-	-	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-		
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-		
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,442	5,185	0,443	0,447	0,447	0,599	0,679	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,574	-	-	-	-		
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	0,561	-	-	-	-		
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	0,589	-	-	-	-		
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	1,030	0,630	0,030	-	-		
			67/51/50 (Hacia El Edén)	0,965	0,718	0,688	3,891	0,652	0,020	-	-		
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	0,965	0,718	0,688	3,891	0,652	0,020	-	-		
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-		
			51	-	-	-	-	1,884	1,655	0,542	-		
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
			CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-		
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	0,040	-		
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	3,263	1,815	1,701	-	1,584	0,933	0,878	1,355	1,591	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	3,754	1,958	1,826	-	1,692	0,970	0,910	1,433	1,700	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050		
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	0,030		

Tabla 61: Comprobación con Falla Trifásica, Demanda Baja (Continuación).

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Terminal Conexión 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen
Corriente de Falla [kA] (k")				7,370	7,370	7,439	1,836	1,835	1,843	1,773	1,354	1,315	2,572
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,020	0,458	0,463	0,681	0,681	0,681	0,717	1,032	1,075	-
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,458	0,458	0,463	0,681	0,681	0,681	0,717	1,032	1,075	-
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,395	0,395	0,534	0,656	0,656	0,656	0,675	0,839	0,861	-
			59N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	-	-	-	0,440	0,030	0,030	1,030	-	-	-
			51/50	0,699	0,699	0,692	0,020	1,280	1,281	1,317	1,622	1,662	-
			67/51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	-
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50N/67N (Hacia Central)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GE T60	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	0,719
		Nova Form 6	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,304
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	-
			21/21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-
			51/50	7,773	7,773	7,403	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,632
			67/51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		67/51N (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F80	51/50	7,773	7,773	7,403	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,632
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	-
			67/51/50 (Hacia El Edén)	18,364	18,364	17,255	1,210	1,210	1,204	1,258	1,719	1,780	15,144
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE F80	67/51/50 (Hacia El Edén)	18,364	18,364	17,255	1,210	1,210	1,204	1,258	1,719	1,780	15,144
	67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	-	-	-	4,597	4,597	4,531	5,262	-	-	-
	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	-	-	-	5,631	5,631	5,533	6,663	-	-	-	
51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P68	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabla 62: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Baja

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA] (Ik'')				1,896	2,461	2,559	5,083	2,686	4,341	4,668	3,292	2,937	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,683	0,694	0,696	14,041	0,697	0,708	0,710	1,170	1,403	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,683	0,694	0,696	14,041	0,697	0,708	0,710	1,170	1,403	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,657	0,663	0,664	5,373	0,665	0,671	0,672	0,909	1,023	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,430	0,430	-	0,430	1,030	1,030	-	-	-
			51/50	1,282	1,294	1,295	-	1,297	1,308	1,310	1,767	1,987	
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,350	0,350	0,350	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,723	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,440	-	0,440	-	-	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-		
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-		
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,469	3,226	0,470	0,474	0,475	0,639	0,726	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	0,020	-	-	-	-	-	-	
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	-	0,584	-	-	-	-		
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	0,602	-	-	-	-		
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	0,634	-	-	-	-		
51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	-	0,680	0,030	-	-		
			67/51/50 (Hacia El Edén)	1,165	0,863	0,826	4,153	0,783	0,472	-	-		
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	1,165	0,863	0,826	4,153	0,783	0,472	-	-		
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	1,906	1,699	0,563		
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	0,040		
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV (Lado110kV)	RSAS 1130	51	4,093	2,141	1,996	-	1,846	1,045	0,979	1,553	1,852	
	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV (Lado110kV)	Siemens 7UT613 / 7SJ621	51	4,894	2,342	2,170	-	1,995	1,091	1,020	1,657	2,001	
	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	
THS 3P6		21	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030		

Tabla 63: Comprobación con Falla Bifásica, Demanda Baja (Continuación)

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
				Terminal Conexión 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen		
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik" / 3 x Io / 3 x Vo)				7,375 / 0,010 / 5,730	7,375 / 0,010 / 5,730	7,444 / 0,010 / 5,723	1,806 / 1,671	1,806 / 1,671	2,216 / 1,680	2,115 / 1,560	1,560 / 1,000	1,512 / 0,960	3,275 / 3,511		
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función												
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51.50	0,020	0,457	0,462	0,680	0,680	0,680	0,716	1,030	1,074	-		
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51.50	0,457	0,457	0,462	0,680	0,680	0,680	0,716	1,030	1,074	-		
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51.50	0,395	0,395	0,533	0,656	0,656	0,656	0,675	0,839	0,861	-		
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21.21N	-	-	-	0,440	0,030	0,030	0,030	-	-	-	-	
			51.50	0,699	0,699	0,692	0,020	0,885	0,885	0,917	1,166	1,197	-		
			67.51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,322	0,322	0,333	0,350	0,350	-		
			51N	-	-	-	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	-		
			50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	0,020	-	-	-	-	-	-		
			GE T60	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-	
	S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,043	0,719	
Nova Form 6			51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,181		
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21.21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	-		
			21.21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-		
			51.50	7,773	7,773	7,403	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,635		
			67.51 (Hacia Matencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		GE F60	51.50	7,773	7,773	7,403	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	6,635	
			51N	-	-	-	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	-	
			S/E Vallenar	Transformadores Nº 1 y Nº2	GE T60 (HT1)	51.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S/E Matencillo	Línea Matencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21.21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	-		
			67.51/50 (Hacia El Edén)	18,365	18,365	17,256	1,042	1,042	1,038	1,091	1,538	1,596	15,151		
		67.51N/50N (Hacia El Edén)	-	-	-	0,725	0,725	0,723	0,742	0,884	0,901	-			
		GE F60	67.51/50 (Hacia El Edén)	18,365	18,365	17,256	1,042	1,042	1,038	1,091	1,538	1,596	15,151		
	Línea Matencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Transformador Nº 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				RSAS 1130	51	-	-	-	5,008	5,008	4,919	6,197	-	-	
				(Lado110kV)	51N	-	-	-	1,908	1,908	1,904	1,970	2,510	2,579	
Transformador Nº 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	-	-	-	6,234	6,234	6,097	8,190	-	-				
		51N	-	-	-	1,752	1,752	1,748	1,804	2,249	2,304				
Línea Matencillo - Las Compañías	Relé 7P68	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

Tabla 64: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Baja

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik ³ /3 x Io / 3 x Vo)				2,280 / 1,730	3,016 / 2,500	3,155 / 2,674	6,494 / 6,852	3,310 / 2,850	5,723 / 6,710	6,466 / 8,205	3,752 / 2,980	3,244 / 2,260	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	0,682	0,693	0,695	-	0,696	0,707	0,708	1,167	1,400	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	0,682	0,693	0,695	-	0,696	0,707	0,708	1,167	1,400	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación 6,6kV)	Siemens 7SJ621	51/50	0,656	0,663	0,663	-	0,664	0,670	0,671	0,907	1,020	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21/21N	0,030	0,430	0,430	-	0,430	0,430	0,430	-	-	-
			51/50	0,892	0,950	0,958	-	0,964	1,041	1,067	1,719	1,968	-
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,324	0,350	0,350	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,716	-
			51N	0,398	0,398	0,398	-	0,398	0,398	0,402	0,603	0,668	-
GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,430	-	0,430	0,430	0,430	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-	-	
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,335	3,206	0,337	0,365	0,374	0,598	0,659	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	0,367	-	0,369	0,414	0,435	0,749	0,871	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,584	-	-	-	-	-	
			51	-	-	-	0,547	-	-	-	-	-	
		GE 12FC51AD4A	51N/50N	-	-	-	0,420	-	-	-	-	-	
			51	-	-	-	0,580	-	-	-	-	-	
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	-	0,630	0,030	-	-	-	
			67/51/50 (Hacia El Edén)	1,001	0,716	0,680	4,155	0,644	0,020	-	-	-	
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	0,711	0,690	0,690	-	0,690	0,020	-	-	-	
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	1,001	0,716	0,680	4,155	0,644	0,020	-	-	-	
	67/51N/50N (Hacia El Edén)		0,711	0,690	0,690	-	0,690	0,020	-	-	-		
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	1,843	1,613	0,548	-	-	
			51N	-	-	-	-	1,189	1,019	0,455	-	-	
			CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	0,020	-	
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	4,297	1,925	1,769	-	1,636	0,875	0,792	1,515	1,866	
			51N	1,861	1,516	1,471	-	1,431	1,360	1,360	1,405	1,519	
	Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	5,170	2,082	1,901	-	1,748	0,907	0,818	1,611	2,016	
			51N	1,712	1,415	1,375	-	1,360	1,360	1,360	1,360	1,417	
Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030

Tabla 65: Comprobación con Falla Bifásica a Tierra, Demanda Baja (Continuación)

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
				Terminal Conexión 6,6 kV Generador 1 Huasco	Barra Reunión 6,6 kV	Terminal 6,6 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Terminal 110 kV Transformador de Poder Central Huasco (Conexión Equipo)	Conexión 110 kV Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff	90 % Línea S/E Central Huasco - Conexión Línea El Edén - Alto del Carmen	10 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	90 % Tramo TapOff Central Huasco - Alto del Carmen	Terminal 110 kV Debajo del Fusible, S/E Alto del Carmen	Terminal 13,8 kV, S/E Alto del Carmen	
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik" / 3 x Io / 3 x Vo)				0,020 / 0,020 / 11,437	0,020 / 0,020 / 11,437	0,020 / 0,020 / 11,423	1,877 / 1,877	1,877 / 1,877	1,884 / 1,884	1,779 / 1,779	1,227 / 1,227	1,182 / 1,182	3,326 / 3,326	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función											
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51.50	-	-	-	1,479	1,479	1,480	1,608	2,689	3,090	-	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51.50	-	-	-	1,479	1,479	1,480	1,608	2,689	3,090	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación)	Siemens 7SJ621	51.50	-	-	-	1,060	1,060	1,060	1,121	1,699	1,785	-	
			59N	1,020	1,020	1,020	-	-	-	-	-	-	-	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	21.21N	-	-	-	0,430	0,030	0,030	0,030	-	-	-	-
			51.50	-	-	-	0,020	0,810	0,811	0,836	1,037	1,063	-	
			67.51/50 (Hacia el SIC)	-	-	-	-	0,295	0,295	0,304	0,350	0,350	-	
			51N	-	-	-	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	-	
			50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	0,020	-	-	-	-	-	-	
	GE T60	87	-	-	0,020	0,020	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	0,070	2,235	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,186	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21.21N	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	-	
			21.21N_Zona AD	-	-	-	0,330	0,330	0,330	0,330	-	-	-	
			51.50	-	-	-	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	27,592	
			67.51 (Hacia Maitencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE F60	51.50	-	-	-	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,369	0,370	-
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			67.51N (Hacia Maitencillo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S/E Vallenar	Transformadores Nº 1 y Nº2	GE T60 (HT1)	51.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N/50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21.21N	-	-	-	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630
67.51/50 (Hacia El Edén)	-				-	-	1,301	1,301	1,295	1,383	2,167	2,274	-	
67.51N/50N (Hacia El Edén)	-				-	-	0,695	0,695	0,695	0,708	0,813	0,826	-	
GE F60	67.51/50 (Hacia El Edén)			-	-	-	1,301	1,301	1,295	1,383	2,167	2,274	-	
	67.51N/50N (Hacia El Edén)			-	-	-	0,696	0,696	0,695	0,708	0,813	0,826	-	
	51			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51		51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	CAG 12 AF57A		50N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	GE GCX17A		21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Transformador Nº 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)		51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			51N	-	-	-	1,808	1,808	1,804	1,851	2,231	2,279	-	
Transformador Nº 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)		51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		51N	-	-	-	1,667	1,667	1,663	1,704	2,022	2,061	-		
Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P68	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Tabla 66: Comprobación con Falla Monofásica, Demanda Baja

				11	12	13	14	15	16	17	18	19	
				10 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	90 % Tramo TapOff Central Huasco - El Edén	Barra 110 kV S/E Vallenar (Conexión de Transformadores N°1 y N°2)	Barra 13,8 kV S/E Vallenar	10 % Línea El Edén - Maitencillo	90 % Línea El Edén - Maitencillo	Barra 110 kV S/E Maitencillo	10 % Línea Maitencillo - Cardones	10 % Línea Maitencillo - Las Compañías	
Corriente de Falla [kA / kV] (Ik ³ /3 x Io / 3 x Vo)				1,942 / 1,942	2,669 / 2,669	2,815 / 2,815	6,343 / 6,343	2,976 / 2,976	5,719 / 5,719	6,482 / 6,482	3,336 / 3,366	2,706 / 2,710	
S/E o Instalación	Elemento Protegido	Protección	Función										
Central Huasco	G Huasco 1	Siemens 7UM621	51/50	1,478	1,380	1,354	-	1,339	1,058	0,990	2,589	3,764	
	G Huasco 2	Siemens 7UM621	51/50	1,478	1,380	1,354	-	1,339	1,058	0,990	2,589	3,764	
	Transformador de Poder Central Huasco (Reunión de Generación)	Siemens 7SJ621	51/50	1,059	1,012	0,999	-	0,992	0,853	0,818	1,568	2,067	
	Transformador de Poder Central Huasco (Terminal Zona 110 kV)	GE D60	59N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			21/21N	0,030	0,430	0,430	-	0,430	0,430	1,030	-	-	-
			51/50	0,817	0,876	0,886	-	0,812	1,008	1,044	1,811	2,196	-
			67/51/50 (Hacia el SIC)	0,297	0,318	0,322	-	0,325	0,350	0,350	0,350	0,799	-
51N	0,398	0,398	0,398	-	0,398	0,406	0,433	0,574	0,614	-	-		
50N/67N (Hacia Central)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
GE T60	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
S/E Alto del Carmen	Transformador de Poder 110/13,8 kV 8-10MVA	S&C SMD 2B-1 65E	Sobrecorriente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Nova Form 6	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
S/E El Edén	Línea El Edén - Alto del Carmen, Paño H1	GE D60	21/21N	0,330	0,030	0,430	-	0,430	-	-	-	-	
			21/21N_Zona AD	0,330	0,330	-	-	-	-	-	-	-	
			51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
			67/51 (Hacia Maitencillo)	-	-	0,319	6,376	0,322	0,364	0,377	0,627	0,726	
			67/51N (Hacia Maitencillo)	-	-	0,360	-	0,364	0,442	0,478	0,698	0,767	
		GE F60	51/50	0,350	0,350	-	-	-	-	-	-	-	
51N	0,369	0,369	0,445	-	0,448	0,554	0,595	1,054	1,270	-			
S/E Vallenar	Transformadores N° 1 y N°2	GE T60 (HT1)	51/50	-	-	0,020	0,735	-	-	-	-	-	
		GE T60 (CT1)	51	-	-	-	0,844	-	-	-	-	-	
			51N/50N	-	-	-	0,420	-	-	-	-	-	
		GE 12IFC51AD4A	51	-	-	-	0,583	-	-	-	-	-	
51N	-	-	-	1,080	-	-	-	-	-	-			
S/E Maitencillo	Línea Maitencillo - El Edén, Paño H4	GE D60	21/21N	0,630	0,630	0,630	-	0,630	0,030	-	-	-	
			67/51/50 (Hacia El Edén)	1,242	0,830	0,778	9,213	0,729	0,020	-	-	-	
			67/51N/50N (Hacia El Edén)	0,690	0,690	0,690	-	0,690	0,020	-	-	-	
		GE F60	67/51/50 (Hacia El Edén)	1,242	0,830	0,778	9,213	0,729	0,020	-	-	-	
	67/51N/50N (Hacia El Edén)		0,690	0,690	0,690	-	0,690	0,020	-	-	-		
	Línea Maitencillo - Cardones	GE IFC51	51	-	-	-	-	-	1,912	0,583	-	-	
			51N	-	-	-	-	-	1,363	1,212	0,451	-	
		CAG 12 AF57A	50N	-	-	-	-	-	-	-	0,020	-	
	GE GCX17A	21	-	-	-	-	-	-	-	0,040	-		
	Transformador N° 2 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	RSAS 1130 (Lado110kV)	51	-	2,441	2,158	-	1,933	0,866	0,783	1,763	2,561	
51N	1,767	1,480	1,443	-	1,409	1,360	1,360	1,360	1,421	-			
Transformador N° 1 75 - 90 MVA, 220/110/13,8 kV	Siemens 7UT613 / 7SJ621 (Lado110kV)	51	-	2,693	2,353	-	2,088	0,897	0,808	1,891	2,837		
51N	1,632	1,383	1,360	-	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360			
Línea Maitencillo - Las Compañías	Relé 7P88	51N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	
	THS 3P6	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,030	

Tabla 67: Comprobación con Falla Monofásica Demanda Baja (Continuación).

4.4.3. Análisis de los tiempos de operación de la coordinación de protecciones

Luego de realizadas las simulaciones y observar los tiempos de operación de las protecciones ajustadas, se debe analizar lo obtenido en la coordinación de protecciones.

4.4.3.1. Fallas entre Fases Sin Impedancia al Interior Central Huasco, Falla en Generador.

La secuencia de operación para el esquema de protecciones desde la Central Huasco hacia las Zonas de respaldo tiene el siguiente orden:

- a) Principal: Operación Elementos de fase 51/50 del Terminal de conexión 6.6 [kV] generadores 1 de forma instantánea.
- b) Respaldo : Operación elementos de fase del Transformador de Poder (Terminal Zona 110[kV]).
- c) Respaldo: Operación elementos de fase del Paño H1 de la S/E El Edén.
- d) Respaldo: Operación elementos de fase del Paño H4 de la S/E Maitencillo.

Las simulaciones de contingencias realizadas dentro de la Central Hidráulica, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación correcta, con tiempos de pasos que rodean los 300 mseg, lo cual permite que exista una apropiada detección y aislación coordinada de los elementos de protección.

4.4.3.2. Fallas entre Fases Sin Impedancia en Tramo El Edén – Central Huasco.

La secuencia de operación durante las contingencias aplicadas en el tramo, determinó que el sistema permite despejar fallas de forma instantánea, aislando cualquier anomalía por la acción de los interruptores de la S/E El Edén y de la Central Huasco. A continuación se describe lo observado:

- a) Principal: Operación Elementos de distancia del terminal de conexión 110 [kV] de la Central Huasco, además de la operación de primera zona de las funciones de distancia de la S/E El Edén. En el caso que el alcance no sea completo por parte de la protección GE D60 de la S/E EL Edén (de 80% al 100% del tramo), la zona AD (acelerada) ayuda a despejar inmediatamente la falla en el tramo, tanto para fallas cercanas a la S/E El Edén o al TapOff Central Huasco.

En todos los casos que la funciones de distancia u sobrecorriente de la protecciones de la S/E El Edén operen sobre el 52H1 de la Línea Alto del Carmen – El Edén, se enviará una señal TDD (desenganche transferido) hacia la Central Huasco para desconectarla del SIC, disminuyendo la velocidad de actuación frente a contingencias cercanas al El Edén.

- b) Respaldo: Operación elementos de distancia y de fase del Paño H4 de la S/E Maitencillo. Además de las protecciones de sobrecorriente de la Central Río Huasco.

Las simulaciones de contingencias realizadas en el tramo S/E El Edén – TapOff Central Huasco, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación correcta, con tiempos de pasos que rodean los 300 mseg, lo cual permite que exista una apropiada detección y aislación coordinada de los elementos de protección.

4.4.3.3. Fallas entre Fases Sin Impedancia en Tramo Central Huasco – Alto del Carmen.

La secuencia de operación durante las contingencias aplicadas en el tramo, determinó que el sistema permite visualizar las fallas pero despejarlas en forma distintos tiempos, dependiendo del alcance de la Zona AD ajustada en la protección GE D60 de la S/E El Edén.

Lo anterior se debe a que la Zona AD fue ajustada con un alcance de 80 % de la Línea El Edén – Alto del Carmen, el cual deberá actuar de forma inmediata luego de recibir el permiso de operación por parte de la Central Huasco (ver Punto 9.9.); realizando Trip inmediato despejando la falla y realizando un TDD sobre la Generadora, eliminando cualquier anomalía.

Se observó de que a pesar del ajuste al 80 % del total de la Línea El Edén – Alto del Carmen, las funciones de distancia reducen su alcance a 75 % aproximadamente debido a la inyección de la Central Huasco; no obstante, esta reducción no se considera como problemática ya que las funciones de distancia deberán visualizar fallas a un 80 % del tramo sin sobrealcanzar la S/E Alto del Carmen cuando la Central no esté operativa.

Por otro lado, las protecciones de distancia de la Central Huasco no “visualizan” las contingencias en el tramo debido al subalcance producido por el efecto infeed, operando sólo por la acción de sobrecorriente; sin embargo, la operación en Zona AD de la S/E EL Edén ayudará a despejar la falla en tiempos instantáneos, a consecuencia de la comunicación entre las instalaciones y la teleprotección asociadas.

Se observa que las protecciones en la zona, permite una perfecta coordinación con el fusible que se encuentra en la S/E Alto del Carmen, aumentando la selectividad al sistema, dado que los ajustes anteriores (de la S/E El Edén) cubrían toda la línea; no despejando de forma selectiva fallas en el transformador 110/13,8 [kV] de la S/E Alto del Carmen.

Se observó el siguiente:

- a) Principal: Operación Elementos de distancia (Zona AD o Zona 2) del terminal de conexión 110 [kV] de la S/E El Edén, además de la operación de las funciones de sobrecorriente de la Central Huasco. Envío de TDD de la S/E El Edén hacia la Central Huasco, despejando en tiempos instantáneos o de 350/400 mseg. dependiendo de la ubicación de la fallas en el tramo.
- b) Respaldo: Operación elementos de distancia y de fase del Paño H4 de la S/E Maitencillo. Además de las protecciones de sobrecorriente de la máquinas generadoras de la Central Río Huasco.

Las simulaciones de contingencias realizadas en el tramo TapOff Central Huasco – S/E Alto del Carmen, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación

correcta, con tiempos de pasos que rodean los 300 mseg, lo cual permite que exista una apropiada detección y aislación coordinada de los elementos de protección.

4.4.3.4. Fallas entre Fases Sin Impedancia en Línea S/E Vallenar – S/E Maitencillo.

La secuencia de operación para el esquema de protecciones desde la S/E Vallenar - S/E Maitencillo es el siguiente

- a) Principal: Operación Elemento de fase de la Central Río Huasco y elementos de fase y distancia de la S/E Maitencillo.
- b) Respaldo: Operación Elemento direccional (67) y elementos de sobrecorriente instalaciones aledañas. Además de las protecciones de sobrecorriente de la máquinas generadoras de la Central Río Huasco.

Se ha ajustado una protección de fase de tiempo definido en conjunto con una curva (51/50/67) con el objetivo de visualizar y coordinar durante fallas más allá de las instalaciones de El Edén. Se ha optado por un tiempo definido de 330 mseg. de manera de rápidamente cualquier falla aledaña y además, en el caso de la existencia de otra protección principal, dejando un tiempo de paso aceptable para la operación en respaldo. De este modo, la Central Huasco tendrá la posibilidad de visualizar fallas aledañas y operar cuando sea necesario, dejando en claro que dicho generadora no podrá operar en isla.

Por otro lado, las funciones ajustadas en la S/E El Edén (sobrecorriente direccionales y zona 4 reversa) despejan las fallas con tiempos retardados (respaldos) según el cobertura del tramo.

Luego, las simulaciones de contingencias realizadas en el tramo S/E El Edén – S/E Maitencillo, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación correcta, con tiempos aceptables para el despeje de la falla.

4.4.3.5. Fallas a Tierra Sin Impedancia al Interior Central Huasco, Falla en Generador.

La secuencia de operación para el esquema de protecciones desde la Central Huasco hacia las Zonas de respaldo, para fallas bifásicas a tierra tienen el siguiente orden:

- a) Principal: Operación Elementos de fase del Terminal de conexión 6.6 [kV] generadores 1 y 2 en forma instantánea.
- b) Respaldo : Operación elementos de fase del Transformador de Poder (Terminal Zona 110[kV])
- c) Respaldo: Operación elementos de fase del Paño H1 de la S/E El Edén.
- d) Respaldo: Operación elementos de fase del Paño H4 de la S/E Maitencillo.

Las simulaciones de contingencias realizadas dentro de la Central Hidráulica, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación correcta, detectando y

despejando las fallas con tiempos de pasos que rodean los 300 mseg, lo cual permite que exista una apropiada detección y aislación coordinada de los elementos de protección.

Por otro lado, las fallas monofásicas dentro de la Central, son despejadas principalmente por las funciones de sobre tensión residual ($3xV_0$), que mide dicha variable en la Barra principal de 6,6 [kV]. Este suceso es provocado debido a que las corrientes de cortocircuito monofásicas, son de bajo índice por acción de la resistencia colocada en el neutro de los generadores.

4.4.3.6. Fallas a Tierra Sin Impedancia en Tramo El Edén – Central Huasco.

La secuencia de operación durante las contingencias residuales aplicadas en el tramo, tanto monofásicas o bifásicas a tierra, determinó que el sistema permite despejar fallas de forma instantánea. Aislado cualquier anomalía por la acción de los interruptores de la S/E El Edén y de la Central Huasco. Se observó el siguiente:

- a) Principal: Operación Elementos de Distancia del terminal de conexión 110 [kV] de la Central Huasco, además de la operación de primera zona de las funciones de distancia de la S/E El Edén. En el caso que el alcance no sea completo en ambas protecciones (de 80% al 100% del tramo), la Zona AD ayuda a despejar inmediatamente la falla en el tramo, tanto para fallas cercanas a la S/E El Edén (TDD enviado a la Central Huasco) o al TapOff Central Huasco (TDD enviado a la S/E El Edén).
- b) Respaldo: Operación elementos de distancia y de fase del Paño H4 de la S/E Maitencillo. Además de las protecciones de sobrecorriente de la Central Río Huasco.

Las simulaciones de contingencias realizadas en el tramo S/E El Edén – TapOff Central Huasco, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación correcta, con tiempos de pasos que rodean los 300 mseg, lo cual permite que exista una apropiada detección y aislación coordinada de los elementos de protección.

4.4.3.7. Fallas a Tierra Sin Impedancia en Tramo Central Huasco – Alto del Carmen.

La secuencia de operación durante las contingencias aplicadas en el tramo, determinó que el sistema permite visualizar las fallas y despejarlas en forma temporizada o instantáneamente, dependiendo del alcance de la Zona AD. Esto se debe a que no existe otro punto de comunicación más que entre S/E El Edén y la Central Huasco, teniendo que ajustar un sistema de teleprotecciones con un alcance máximo del 80 % de la Línea El Edén – Alto del Carmen con señal permisiva por parte de la Central Huasco.

Además de esto, cabe destacar que de igual forma que en fallas entre fases, el efecto infeed genera que exista un subalcance de las funciones de distancia de la Central Huasco, operando sólo por la acción de sobrecorriente de fase y residual; sin embargo, nuevamente la S/E El Edén “ve” la falla sin problemas, operando en Zona 2 o Zona AD y sobrecorriente residual. Cabe destacar, que la inyección de la Central Huasco, reduce el alcance de la zona acelerada a un 75 % del total de la línea protegida.

En este caso, la Central Huasco, puede aislar la falla residual en tiempos instantáneos o que rodean los 400 mseg. dado la función de sobrecorriente residual, la que ayuda a detectar la contingencia y a despejarla.

El tiempo de retardo de zona 2 de la S/E El Edén con TDD hacia la Central Huasco y la operación de la Central Huasco (por medio de la función de sobrecorriente residual) permite una perfecta coordinación con el fusible que se encuentra en la S/E Alto del Carmen, aumentando la selectividad al sistema.

Se observó el siguiente:

- a) Principal: Operación Elementos de distancia (zona 2) y sobrecorriente residual del terminal de conexión 110 [kV] de la S/E El Edén, además de la operación de las funciones de sobrecorriente residual de la Central Huasco. Envío de TDD de la S/E El Edén hacia la Central Huasco, despejando en tiempos aproximados a 400 mseg, fallas en el tramo.
- b) Respaldo: Operación elementos de distancia y de fase del Paño H4 de la S/E Maitencillo. Además de las protecciones de sobrecorriente de la máquinas generadoras de la Central Río Huasco.

Las simulaciones de contingencias realizadas en el tramo TapOff Central Huasco – S/E Alto del Carmen, demostraron que los sistemas de protecciones tienen una secuencia de operación correcta, con tiempos de pasos que rodean los 300 mseg, lo cual permite que exista una apropiada detección y aislación coordinada de los elementos de protección.

4.4.3.8. Fallas a Tierra Sin Impedancia en Línea S/E Vallenar – S/E Maitencillo.

La secuencia de operación para el esquema de protecciones durante fallas residuales, tanto para cortocircuitos monofásicos como para bifásicos a tierra, desde la S/E Vallenar - S/E Maitencillo, es el siguiente:

- a) Principal: Operación Elemento de fase y residual direccional (67/67N) de la S/E El Edén, incluyendo la operación de las protecciones de fase y residual de la S/E Río Huasco. Operación de los elementos de distancia zona reversa de la S/E El Edén Línea Vallenar – Maitencillo. Operación de elementos de fase, residuales y de distancia de la S/E Maitencillo.
- b) Respaldo: Operación elementos de fase, residuales y de distancia de la Central Huasco.

Las contingencias aplicadas en la Línea Vallenar – Maitencillo, de igual manera que en los casos de fallas entre fases, las funciones ajustadas en la S/E El Edén visualizan correctamente las contingencias; despejando la falla con tiempos aproximados a la Central Río Huasco; no obstante, este hecho no es perjudicial debido a que el sistema de generación no puede operar en isla y siempre existirá el envío de una señal de desenganche al momento de la operación del interruptor en El Edén.

4.4.3.9. Fallas a Tierra Con Impedancia de Falla Zona de Estudio.

Se realizaron contingencias con impedancia de falla de 25Ω (Bifásicas a tierra y monofásicas) a lo largo de los tramos S/E Maitencillo – S/E Alto del Carmen y Central Huasco – S/E El Edén, determinando si el sistema es capaz de visualizar fallas de este tipo y aislarlas en forma oportuna y coordinando con otras protecciones.

Se observa que los tiempos obtenidos para fallas a tierra con impedancia, mantienen los 300 mseg. en la mayoría de las fallas realizadas; no obstante, es posible visualizar que en los peores casos, estos tiempos se reducen levemente los 250 mseg. (alrededor de 240 mseg.) en fallas residuales monofásicas en la Barra de la S/E Alto del Carmen, debiendo la Central Río Huasco y las protecciones de distancia de la S/E El Edén coordinar con el fusible actualmente en servicio. Este hecho no perjudica en mantener la selectividad y rapidez con las demás protecciones del sistema debido que el sistema de Alto del Carmen no contiene elementos de falla de interruptor (50BF, aumentando el tiempo de paso en 200 mseg. aprox.), lo que permite reducir los tiempos de paso con el objetivo de no realizar modificaciones más allá de Maitencillo, provocando descoordinaciones en el sistema.

Las contingencias con impedancias dentro de la Central, específicamente en la zona de 6,6 [kV], son despejadas efectivamente por las protecciones de sobre tensión residual ($3xV_0$) con toma de medida en la Barra principal de 6,6 [kV]. Esto debido que las corrientes de cortocircuito con componentes de secuencia cero, principalmente las contingencias monofásicos; son de bajo índice por acción de la resistencia colocada en el neutro de los generadores.

4.4.4.. Observaciones Especiales.

- Los datos entregados de las contingencias evaluadas, en ambos escenarios de demanda, mostraron una descoordinación de las instalaciones de Vallenar, específicamente entre los interruptores de los transformadores 110/13,8 [kV] (52H1 y 52CT1). Sin embargo, esta condición es preexistente y no es provocada por la interconexión de la Central Río Huasco, ya que los datos de las protecciones ingresadas a la base de datos, fueron extraídos de la página web del CDEC – SIC.
- El caso de falla denominada “Conexión 110 [kV] Transformador de Poder Central Huasco con Línea TapOff”, las protecciones de sobrecorriente de la S/E Río Huasco no quedan en “cascada” con las protecciones aledañas (S/E El Edén y S/E Maitencillo), debido a la configuración del proyecto, por lo que la coordinación se realiza con diferentes niveles de corriente. Sin embargo, se observó que el despeje de fallas en dicho punto (considerado dicha zona como la conexión de los equipos) son instantáneas debido a las protecciones de distancia; operando el interruptor de la Subestación de la Central manteniendo la selectividad y rapidez en el sistema.

4.4.5. Curvas y Diagramas de Coordinación de Protecciones

4.4.5.1. Análisis de Funciones de Sobrecorriente de Protecciones de Sobrecorriente Adireccional y Direccional de la Protecciones GE D60 y GE F60, S/E El Edén, Condición de Nula Demanda de Alto del Carmen.

Dado que se han habilitado las funciones direccionales de la protección GE D60 de la S/E El Edén, con dirección hacia las instalaciones de Maitencillo, es necesario observar si estas fueron parametrizadas de manera de poder transportar toda la Potencia de la Central sin incurrir en desenganches erróneos.

Para la siguiente simulación en estado permanente (Flujo de Potencia), se ha configurado la red de forma de obtener la peor condición posible, considerando la demanda de la S/E Alto del Carmen como nula; inyectando todo el Potencial de la nueva Central Huasco hacia el SIC.

La figura a continuación, expone los índices de Potencia, inyectados al SIC por parte de la Central Huasco. Luego cabe destacar, que se ha parametrizado la generadora para entregar su máxima capacidad en un escenario de Alta Demanda por parte de la red eléctrica.

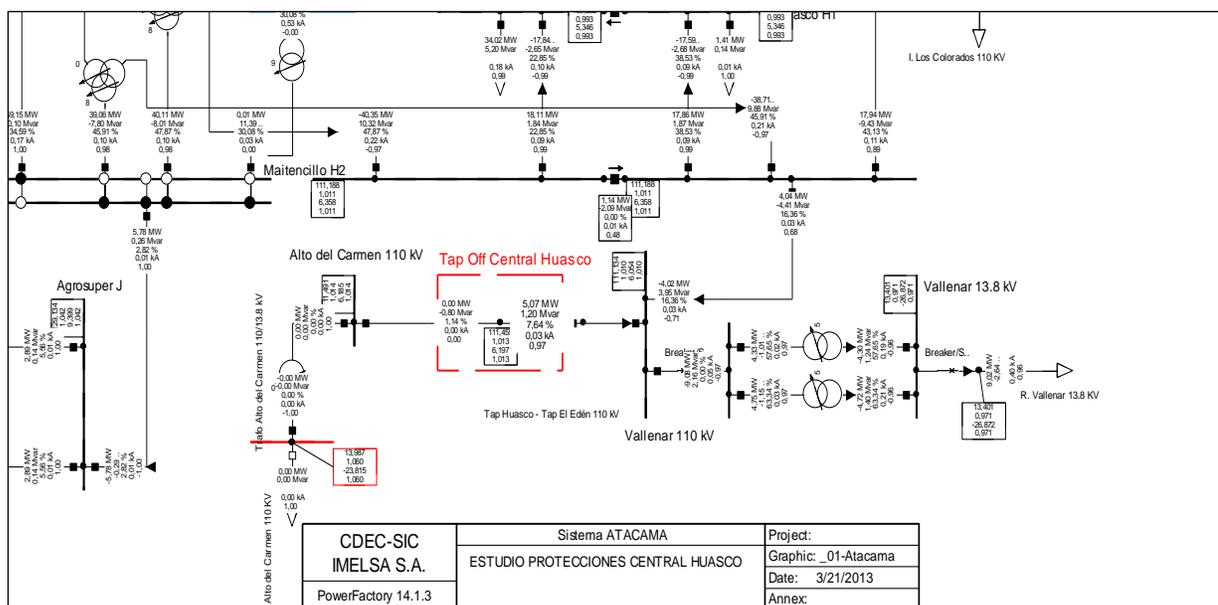


Tabla 68: Simulación de Flujo de Potencia, Escenario Demanda Alta con Consumo Nulo de la S/E Alto del Carmen.

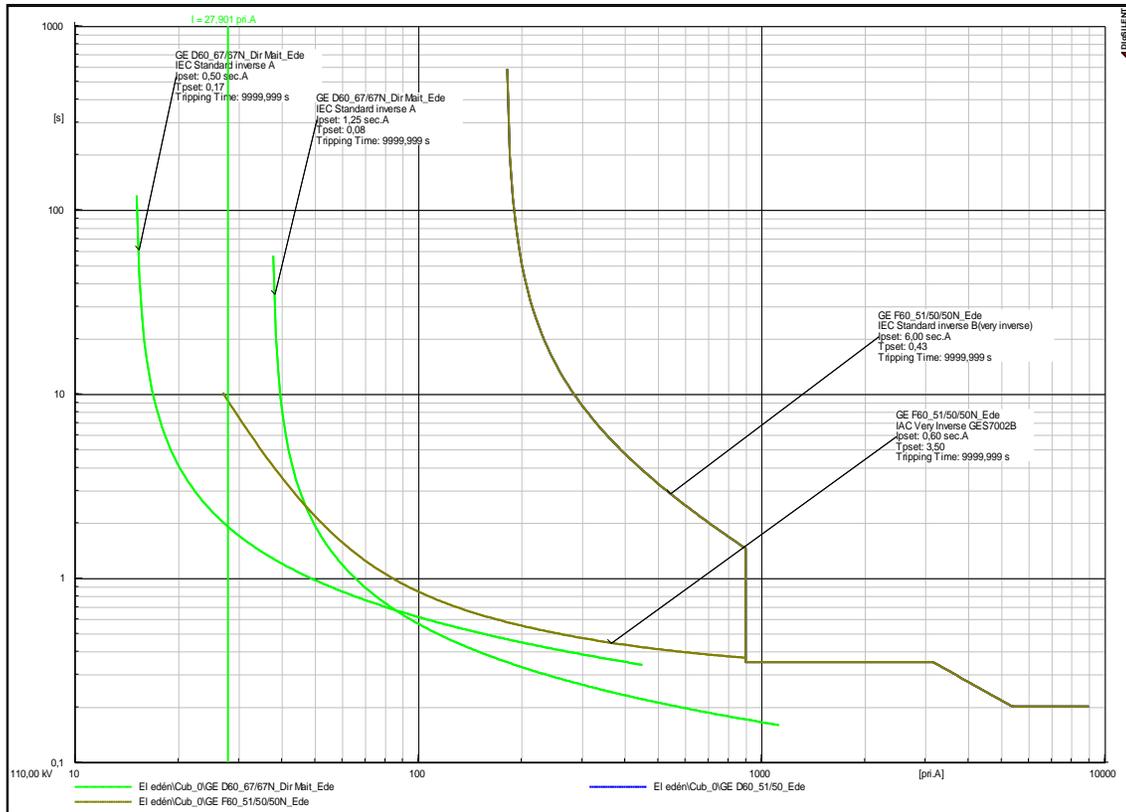


Tabla 69: Curvas de Sobrecorriente Direccionales de la S/E El Edén, Protecciones GE D60 y GE F60.

La figura anterior muestra la ubicación de la corriente, en el gráfico logarítmico de protecciones, que circula por la rama del interruptor 52H1 de la S/E El Edén; la cual no muestra posibles desenganches erróneos por la acción de la Central Huasco. Esto es debido a que las protecciones direccionales fueron ajustadas en función de la Potencia instalada de la nueva Central; lo cual mantiene una holgura en el caso que toda la Potencia de la generadora, sea direccionada hacia el SIC, como por ejemplo, en el caso que no existiese consumo por parte de Alto del Carmen.

Capítulo 5

Conclusiones Finales

Con respecto a los resultados obtenidos, tanto para la Demanda Baja como Alta, la simulación del SIC con el aporte de la nueva Central Huasco indicó que la nueva inyección de Potencia no provoca un impacto significativo en las instalaciones adyacentes al Punto de Conexión. Estas mínimas variaciones son a causa de un sistema robusto, con un transporte de energía marginal respecto del resto del sistema. Se observaron además, cambios en los flujos de las líneas gatillados por la salida de operación de la Central, la cual transmitía el excedente de energía de Alto del Carmen hacia la localidad de Vallenar, no obstante, las capacidades de las líneas no se ven sobrepasadas en ningún escenario de generación ni punto de operación del sistema. Con respecto a los niveles de tensión, estos se mantuvieron estables, dentro de los márgenes establecidos por la Norma.

Por otro lado, se ha simulado también el comportamiento de la Central generadora frente a diversos estados de operación con distintos Factores de Potencia, en la zona de entrega y absorción de Reactivos; con la finalidad de cumplir con lo solicitado por la NT de SyCS, referente a las exigencias mínimas de las instalaciones de generación. Este análisis demostró que el diseño de la Central, en cuanto a su carta de operación, cumple con la Normativa vigente. No obstante para lograr un Factor de Potencia de 0,92 fue necesario bajar la cuota de generación de Potencia Activa para mantener las máquinas síncronas dentro de rangos apropiados de operación y no reducir su vida útil. Asimismo, se logró mantener un Factor de Potencia unitario en el punto de conexión de la Central con el sistema, implicando que existe compensación suficiente para el 80% de las pérdidas reactivas de líneas de transmisión del proyecto.

Respecto de los niveles de cortocircuito, el análisis de los resultados obtenidos demuestran que las variaciones de las diversas componentes simuladas (simétrica inicial, Peak, simétrica de interrupción, continua, asimétrica de interrupción, régimen permanente), difieren muy levemente y en algunas Barras se mantienen constantes, con la Central operativa y la situación actual del sistema (las mayores variaciones no superan el 17,55 % de I_k''). Por tanto, el ingreso de la Central al Sistema Interconectado no provocaría un impacto significativo en los niveles de corrientes de cortocircuito. La revisión de las Capacidades de Ruptura de los interruptores (Componentes Simétricas, Asimétricas y Cierre contra Cortocircuito) arrojó que no existe impacto negativo al ocurrir una contingencia con la Central Huasco en operación. Las condiciones donde se ven sobrepasadas las capacidad son para las Barras Cardones H1; Cardones H2 y Vallenar 13,8 [kV], las cuales presentan esta condición de manera preexistente. Finalmente, al interior de la Central, los interruptores seleccionados cumplen cabalmente los requerimientos técnicos ante contingencias lo que indica un correcto dimensionamiento de los mismos.

Para el caso de la estabilidad, los controladores diseñados para este proyecto responden apropiadamente y mantienen un comportamiento dinámico el cual evita pérdida de sincronismos de las máquinas, oscilaciones electromecánicas peligrosas, niveles de frecuencias inadecuados o tensiones fuera de la Norma. Para el caso de operación normal y luego al sacar de servicio ciertas líneas cercanas a la nueva Central, incluyendo la inyección de Potencia desde Maitencillo, los niveles de tensión en las Barras de la zona se mantuvieron dentro de lo dictado por la Norma Técnica. Por lo que se determina que no existe un impacto que provoque anomalías en el tema de

estabilidad, ya que los esquemas mostraron que los índices de tensión se comportaron de manera amortiguada y dentro de lo dictado por la Normativa.

Cabe mencionar que la respuesta dinámica amortiguada en tensión de las Barras cercanas para demanda alta, en el caso de la salida del tramo Maitencillo H1-Cardones H1, tiene un valor mínimo de 0,825 [pu] en el voltaje en Barra. Se puede apreciar en la zona, oscilaciones no amortiguadas en las líneas de transmisión, a pesar de ser proporcionalmente pequeñas, se revisó si este hecho es producido por el ingreso de la Central Río Huasco. Según este estudio, se determina que dichas oscilaciones no son producidas, de manera directa por el ingreso de la Central, y representan más bien una condición existente en la zona.

Se observa además que las excursiones de los ángulos rotóricos, de todos los generadores analizados, se mantuvieron dentro de lo dictado por la Normativa vigente, en donde la Central tiene un máximo de $69,045^\circ$ siendo el límite reglamentario de 120° . Se observa que todas las variables expuestas muestran amortiguamiento, por tratarse de valores y modelos típicos. Se solicita mayor información respecto de los modelos utilizados para lograr una evaluación de la dinámica de la Central más representativa.

Se apreció que el sistema de transmisión en estudio para el ajuste de protecciones, esto es, S/E Maitencillo – S/E El Edén, es considerado un sistema radial alimentado desde la Barra de Maitencillo en 110 [kV]. La conexión de la Central Río Huasco generó otro punto de inyección de Potencia de falla a las contingencias que ocurran en dicho tramo, por lo que el estudio de protecciones se basó en analizar el sistema de modo de aislar cualquier tipo de contingencia de forma selectiva.

Dados los criterios utilizados para los ajustes de las protecciones analizadas, tanto de las propias de la Central Río Huasco como de las instalaciones aledañas, demostraron mantener selectividad y rapidez al momento de la detección y aislación de alguna contingencia que se pueda producir dentro de la generadora, no afectando a las zonas cercanas al Punto de Conexión.

Para cumplir lo dictado anteriormente, se debieron realizar modificaciones sobre los ajustes actuales de las protecciones de la S/E El Edén, manteniendo un tiempo de paso apropiado para los elementos de protección de la S/E Maitencillo (manteniendo sus ajustes actuales), utilizándola como instalación “techo” para la coordinación del sistema analizado.

Los cambios en los equipos de la S/E El Edén fueron principalmente el recorte de la zona 1 de la protección de distancia (21/21N) a 80 % el tramo de S/E El Edén – TapOff Huasco, con la finalidad de no operar de forma instantánea durante fallas que deberían despejar las nuevas instalaciones. Además de esto, se habilitó la función Reversa de la protección de distancia, de manera de visualizar fallas en el tramo S/E Vallenar – S/E Maitencillo, dado que se deberá despejar el aporte proveniente de la Central.

Por otro lado, las modificaciones en las funciones de sobrecorriente de la S/E El Edén fueron principalmente el cambio de las curvas actuales y habilitación de funciones de sobrecorriente residuales de tiempo inverso, con el objetivo de mantener los tiempos de paso de 300 mseg. exigidos por la NT de SyCS durante fallas en el sistema El Edén – Alto del Carmen. Luego, se habilitó la función de sobrecorriente direccional hacia Maitencillo para mantener respaldo sobre las funciones de distancia en zona Reversa habilitada y las protecciones de la Central Río Huasco.

Se observó que durante fallas en el tramo TapOff Central Huasco – S/E Alto del Carmen, el sistema interconectado produce un efecto infeed sobre las instalaciones de la Central generadora, lo cual genera un subalcanse de las protecciones de distancia. Esta problemática se solucionó mediante la incorporación de teleprotecciones (desenganche transferido y zona de aceleración) desde la S/E El Edén a la Central Huasco, dado que las instalaciones de El Edén no son afectadas por dicha anomalía.

En el caso de fallas más allá del tramo, específicamente en el S/E Alto del Carmen, las protecciones de la S/E EL Edén y de la Central Huasco, operan sobre en tiempos retardados de Zona 2 coordinando con el fusible y las protecciones de la zona de media tensión de la S/E Alto del Carmen.

La coordinación con el fusible encontrado en la S/E Alto del Carmen, fue realizada con un tiempo de paso > 200 mseg. entre dicha instalación y la S/E El Edén, de modo no realizar cambios en la S/E Maintencillo. Luego, cabe recalcar que el ajuste actual no es selectivo (hecho no producido por la Central analizada), por lo que el recorte de la zona 1 de El Edén, mejoró la selectividad del sistema frente a fallas por debajo del fusible. Por último, es posible utilizar un tiempo de paso reducido debido a que el sistema de Alto del Carmen no contiene elementos de falla de interruptor (50BF); lo que provocaría necesario el aumento del tiempo de paso.

Por otro lado, se observó una descoordinación en las instalaciones de la S/E Vallenar, específicamente entre los interruptores de los transformadores 110/13,8 [kV] (52H1 y 52CT1), los cuales fueron ajustados según la información obtenida de la página Web CDEC – SIC. Sin embargo, esta condición es denominada preexistente y no es provocada por la interconexión de la Central Río Huasco.

Dados los criterios exigidos, los ajustes de las protecciones analizadas demostraron mantener selectividad y rapidez al momento de la detección y aislación de alguna contingencia, que se pudiese producir dentro de la Central Hidroeléctrica, no afectando a las instalaciones adyacentes al Punto de Conexión.

Como desafíos futuros de continuación del trabajo de título presente, se propone realizar los estudios con los valores medidos directamente en el funcionamiento de la Central ya que en muchos casos se han utilizado parámetros entregados por el fabricante los cuales pueden variar ligeramente respecto de lo observado en la práctica. Además, como este trabajo se basa en la etapa de ingeniería conceptual y básica del proyecto, se propone realizar la etapa de ingeniería de detalles del mismo, en orden de poder realizar finalmente la construcción de la Central.

Finalmente, los estudios sistémicos comprobaron que la conexión de la Central microhidráulica Huasco al tramo Alto del Carmen - El Edén en la región de Atacama del Sistema Interconectado, es completamente factible desde el punto de vista técnico al no encontrarse anomalías tales como saturaciones de líneas, niveles de tensión fuera de la Norma, niveles de corrientes de falla peligrosos. También los controladores de voltaje y velocidad diseñados demostraron ser adecuados dinámicamente y los ajustes de protecciones de los equipos al interior de la Central correctamente efectuados y en coordinación con los sistemas de protección ya existentes cercanas al punto de conexión. Así, es posible concluir que la Central cumple con lo exigido por la autoridad y la Norma Técnica.

Bibliografía

- [1]. Leonard L. Grigby. "Electric Power Engineering Handbook", segunda edición. Taylor & Francis Group, 2006.
- [2]. Francisco González-Longatt. "Power system dynamic and renewable energy resources: Modelling, analysis and simulation using DIgSILENT PowerFactory (Basic V14)". <http://www.fglongatt.org.ve>
- [3]. Daniel Lau Lee Kah. "Control system for AVR and governor of Synchronous Machine". University of Queensland, octubre 2003.
- [4]. Goran Andersson. "Dynamics and control of electric power systems". Power system laboratory ETH Zurich, febrero 2012.
- [5]. Jan Machowski. "Power system dynamics: stability and control", segunda edición. Jhon Wiley & Sons, Ltd. 2008.
- [6]. Allen J. Wood. "Power generation, operation and control", segunda edición. Jhon Wiley & Sons, Ltd. 1996.
- [7]. Thierry Van Cutsem. "Voltage stability of electric power systems".
- [8]. COES SINAC. "Criterios de ajuste y coordinación de protecciones de los sistemas eléctricos en el SEIN", diciembre 2005.
- [9]. CEE Relays. "Application guide for the choice of protective relays". www.ceerelays.co.uk
- [10]. Russell Mason. "The art & science of protective relaying". General Electric.
- [11]. Ramón M. Mujal. "Protección de sistemas eléctricos de Potencia", primera edición. Ediciones UPC. 2002.
- [12]. David Cubillos R. "Relés de sobrecorriente". Facultad de ingeniería eléctrica, universidad de la Salle, Bogotá. Febrero 2008.
- [13]. Samuel Ramírez Custaño. "Protección de sistemas eléctricos", primera edición. Universidad nacional de Colombia.
- [14]. General Electric. "Relaying Short Lines"
- [15]. Pablo Ledesma. "Estabilidad transitoria". Universidad Carlos III de Madrid, septiembre de 2008.
- [16]. Ministerio de Energía de Chile. "Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro". www.ministeriodeenergia.cl/minwww/opencms
- [17]. EDELMAG. "Estudio de verificación y coordinación de protecciones", informe técnico, diciembre 2007.
- [18]. Andritz Hydro. "Company Presentation 2011". www.andritz.com
- [19]. César Sanabria. "Turbinas Francis". Facultad de ingeniería UNA.
- [20]. J. Schlabbach. "Short-circuit currents". Institution of engineering and technology, London. 2005
- [21]. Manuel Martínez M. "Guía para determinación de límites de operación, curva de capacidad, pruebas y mantenimiento predictivo de generadores síncronos". Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre 2003
- [22]. Carlos Latorre V. "Apuntes curso protecciones eléctricas". Universidad Santiago de Chile, departamento de ingeniería eléctrica.
- [23]. IEEE Std. C37.102-1996. Guide for AC Generator Protection.
- [24]. IEE Std.C37.106-2003.Guide for AbNormal Frequency Protection for Power Generating Plants.
- [25]. ANSI/IEEE Std. 492-1974. Guide for Operation and Maintenance of Hydro-Generators.
- [26]. IEEE Std C37.233-2009. Guide for Power System Protection Testing.

- [27]. IEE Std C37.230-2007. Guide for Protective Relay Applications to Distribution Lines
- [28]. IEEE Std C37.97-1979. Guide for Protective Relay Applications to Power System Buses.
- [29]. IEEE Std C37.91-2000. Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.
- [30]. IEEE Std C37.113-1999. Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines.
- [31]. IEEE Std C37.1110-2002. Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analyses.

Anexos

Anexo A

Componentes corrientes de Cortocircuitos

Niveles de Corriente de Cortocircuito Simétrica Inicial ($I_{k''}$) en [kA rms] – Barras cercanas.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	COCI 3 F		COCI 2 FT		COCI 2 F		COCI 1 F		Máxima Variación de la Variable [%]
		Sin Huasco	Con Huasco							
Agrosuper J	220	11,30	11,34	11,42	11,47	9,74	9,78	11,48	11,52	0,44
Cardones J1 y J2	220	8,96	8,98	9,64	9,65	7,59	7,6	10,17	10,18	0,22
Central Guacolda	220	11,36	11,39	12,01	12,04	9,82	9,85	12,72	12,75	0,31
Maitencillo J1	220	11,37	11,41	11,53	11,57	9,81	9,84	11,61	11,66	0,43
Alto del Carmen 1	110	1,67	1,73	1,41	1,46	1,45	1,5	1,19	1,32	10,92
Cardones H1 Y H2	110	9,44	9,45	11,16	11,17	8,1	8,1	11,72	11,73	0,11
Cenizas H	110	9,22	9,23	10,69	10,7	7,91	7,92	11,2	11,21	0,13
Cerrillos H	110	4,12	4,12	3,68	3,69	3,56	3,56	3,19	3,19	0,27
Copiapó H	110	4,95	4,95	4,53	4,53	4,27	4,27	4,09	4,09	0,00
Los Colorados H	110	2,77	2,78	2,32	2,33	2,4	2,41	1,91	1,91	0,43
Maitencillo H1 y H2	110	7,90	8,03	8,28	8,44	6,84	6,95	8,78	8,96	2,05
Tap Castilla	110	3,01	3,02	2,57	2,58	2,61	2,61	2,00	2,00	0,39
Tap off El edén	110	3,69	3,8	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Tap Off Huasco	110	2,46	2,57	2,08	2,18	2,13	2,23	1,88	2,21	17,55
Tap Punta Toro	110	4,10	4,12	3,58	3,6	3,55	3,57	2,96	2,98	0,22
Tierra Amarilla H	110	4,52	4,53	4,08	4,08	3,9	3,9	3,6	3,6	0,22
Vallenar 110 kV	110	3,69	3,8	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Agrosuper E1 y E2	23	15,47	15,48	15,61	15,61	13,42	13,43	15,9	15,9	0,07
Vallenar 13.8 kV	13,8	7,00	7,04	6,9	6,94	6,06	6,09	7,55	7,57	0,58

Niveles de Corriente de Cortocircuito Pico (ip) en [kA] – Barras cercanas.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	COCI 3 F		COCI 2 FT		COCI 2 F		COCI 1 F		Máxima Variación de la Variable [%]
		Sin Huasco	Con Huasco							
Agrosuper J	220	27,56	27,67	27,87	27,98	23,77	23,86	28	28,12	0,43
Cardones J1	220	21,54	21,56	23,15	23,17	18,24	18,26	24,43	24,45	0,11
Central Guacolda	220	28,37	28,45	29,99	30,08	24,53	24,6	31,75	31,84	0,30
Maitencillo J1	220	27,77	27,88	28,16	28,27	23,95	24,05	28,37	28,49	0,42
Alto del Carmen 1	110	2,75	2,9	2,32	2,44	2,39	2,51	1,96	2,21	12,76
Cardones H1	110	23,74	23,76	28,07	28,08	20,36	20,38	29,48	29,5	0,10
Cenizas H	110	22,55	22,57	26,16	26,17	19,35	19,36	27,4	27,42	0,09
Cerrillos H	110	7,69	7,69	6,87	6,87	6,63	6,64	5,95	5,95	0,15
Copiapó H	110	9,64	9,64	8,82	8,82	8,31	8,31	7,96	7,96	0,00
Los Colorados H	110	4,75	4,76	3,98	3,99	4,11	4,12	3,26	3,27	0,31
Maitencillo H1	110	19,46	19,78	20,4	20,79	16,84	17,11	21,64	22,07	1,99
Tap Castilla	110	5,13	5,14	4,38	4,38	4,44	4,44	3,4	3,4	0,19
Tap off El edén	110	6,17	6,49	5,28	5,6	5,35	5,62	5,32	5,87	10,34
Tap Off Huasco	110	4,07	4,4	3,44	3,73	3,53	3,81	3,11	3,78	21,54
Tap Punta Toro	110	7,45	7,48	6,51	6,54	6,45	6,47	5,39	5,4	0,46
Tierra Amarilla H	110	8,59	8,59	7,74	7,74	7,4	7,41	6,82	6,82	0,14
Vallenar 110 kV	23	6,17	6,49	5,29	5,6	5,35	5,62	5,33	5,87	10,13
Agrosuper E1 y E2	13,8	42,4	42,42	42,76	42,79	36,78	36,81	43,56	43,58	0,08
Vallenar 13.8 kV	13,8	15,59	15,82	15,37	15,61	13,5	13,69	16,82	17,03	1,56

Niveles de Corriente de Cortocircuito Simétrica de Interrupción (ib) en [kA] – Barras cercanas.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	COCI 3 F		COCI 2 FT		COCI 2 F		COCI 1 F		Máxima Variación de la Variable [%]
		Sin Huasco	Con Huasco							
Agrosuper J	220	11,1	11,14	11,42	11,47	9,74	9,78	11,48	11,52	0,44
Cardones J1	220	8,76	8,78	9,64	9,65	7,59	7,6	10,17	10,18	0,23
Central Guacolda	220	11,07	11,1	12,01	12,04	9,82	9,85	12,72	12,75	0,31
Maitencillo J1	220	11,17	11,21	11,53	11,57	9,81	9,84	11,61	11,66	0,43
Alto del Carmen 1	110	1,67	1,73	1,41	1,46	1,45	1,5	1,19	1,32	10,92
Cardones H1	110	9,39	9,4	11,16	11,17	8,1	8,1	11,72	11,73	0,11
Cenizas H	110	9,17	9,18	10,69	10,7	7,91	7,92	11,2	11,21	0,13
Cerrillos H	110	4,12	4,12	3,68	3,69	3,56	3,56	3,19	3,19	0,27
Copiapó H	110	4,95	4,95	4,53	4,53	4,27	4,27	4,09	4,09	0,00
Los Colorados H	110	2,77	2,78	2,32	2,33	2,4	2,41	1,91	1,91	0,43
Maitencillo H1	110	7,84	7,95	8,28	8,44	6,84	6,95	8,78	8,96	2,05
Tap Castilla	110	3,01	3,02	2,57	2,58	2,61	2,61	2	2	0,39
Tap off El edén	110	3,69	3,79	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Tap Off Huasco	110	2,46	2,56	2,08	2,18	2,13	2,23	1,88	2,21	17,55
Tap Punta Toro	110	4,1	4,12	3,58	3,6	3,55	3,57	2,96	2,98	0,68
Tierra Amarilla H	110	4,52	4,53	4,08	4,08	3,9	3,9	3,6	3,6	0,22
Vallenar 110 kV	23	3,69	3,79	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Agrosuper E1 y E2	13,8	15,42	15,43	15,61	15,61	13,42	13,43	15,9	15,9	0,07
Vallenar 13.8 kV	13,8	7	7,04	6,9	6,94	6,06	6,09	7,55	7,57	0,58

Niveles de Corriente de Cortocircuito para la Componente Continua (idc) en [kA] – Barras cercanas.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	COCI 3 F		COCI 2 FT		COCI 2 F		COCI 1 F		Máxima Variación de la Variable [%]
		Sin Huasco	Con Huasco							
Agrosuper J	220	4,02	4,06	4,07	4,1	3,47	3,5	4,09	4,12	1,00
Cardones J1	220	2,73	2,73	2,93	2,93	2,31	2,31	3,09	3,09	0,00
Central Guacolda	220	5,11	5,14	5,4	5,43	4,42	4,44	5,72	5,75	0,59
Maitencillo J1	220	4,09	4,12	4,15	4,18	3,53	3,56	4,18	4,21	0,85
Alto del Carmen 1	110	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cardones H1	110	4,56	4,56	5,39	5,39	3,91	3,91	5,66	5,66	0,00
Cenizas H	110	3,38	3,38	3,92	3,92	2,9	2,9	4,11	4,1	0,00
Cerrillos H	110	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Copiapó H	110	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,00
Los Colorados H	110	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maitencillo H1	110	3,11	3,16	3,26	3,32	2,69	2,73	3,45	3,52	2,03
Tap Castilla	110	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tap off El edén	110	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tap Off Huasco	110	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tap Punta Toro	110	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
Tierra Amarilla H	110	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00
Vallenar 110 kV	23	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agrosuper E1 y E2	13,8	16,6	16,63	16,75	16,77	14,4	14,43	17,06	17,08	0,21
Vallenar 13.8 kV	13,8	0,92	1,03	0,91	1,01	0,8	0,89	0,99	1,1	11,96

Niveles de Corriente de Cortocircuito Asimétrica de Interrupción (iasy) en [kA] – Barras cercanas.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	COCI 3 F		COCI 2 FT		COCI 2 F		COCI 1 F		Máxima Variación de la Variable [%]
		Sin Huasco	Con Huasco							
Agrosuper J	220	11,99	12,04	12,12	12,18	10,34	10,39	12,19	12,23	0,49
Cardones J1	220	9,37	9,39	10,08	10,09	7,93	7,94	10,63	10,64	0,21
Central Guacolda	220	12,46	12,50	13,17	13,21	10,77	10,81	13,95	13,99	0,36
Maitencillo J1	220	12,08	12,13	12,25	12,30	10,43	10,46	12,34	12,40	0,48
Alto del Carmen 1	110	1,67	1,73	1,41	1,46	1,45	1,50	1,19	1,32	10,92
Cardones H1	110	10,48	10,49	12,39	12,40	9,00	8,99	13,02	13,02	0,09
Cenizas H	110	9,82	9,83	11,39	11,39	8,43	8,43	11,93	11,94	0,11
Cerrillos H	110	4,12	4,12	3,68	3,69	3,56	3,56	3,19	3,19	0,27
Copiapó H	110	4,95	4,95	4,53	4,53	4,27	4,27	4,09	4,09	0,00
Los Colorados H	110	2,77	2,78	2,32	2,33	2,40	2,41	1,91	1,91	0,43
Maitencillo H1	110	8,49	8,63	8,90	9,07	7,35	7,47	9,43	9,63	2,05
Tap Castilla	110	3,01	3,02	2,57	2,58	2,61	2,61	2,00	2,00	0,39
Tap off El edén	110	3,69	3,80	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Tap Off Huasco	110	2,46	2,57	2,08	2,18	2,13	2,23	1,88	2,21	17,55
Tap Punta Toro	110	4,10	4,12	3,58	3,60	3,55	3,57	2,96	2,98	0,68
Tierra Amarilla H	110	4,52	4,53	4,08	4,08	3,90	3,90	3,60	3,60	0,22
Vallenar 110 kV	23	3,69	3,80	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Agrosuper E1 y E2	13,8	22,69	22,72	22,90	22,91	19,68	19,71	23,32	23,34	0,14
Vallenar 13.8 kV	13,8	7,06	7,11	6,96	7,01	6,11	6,15	7,61	7,65	0,78

Niveles de Corriente de Cortocircuito de Régimen Permanente (Ik) en [kA] – Barras cercanas.

Subestación o Barra	Tensión [kV]	COCI 3 F		COCI 2 FT		COCI 2 F		COCI 1 F		Máxima Variación de la Variable [%]
		Sin Huasco	Con Huasco							
Agrosuper J	220	10,16	10,20	11,42	11,47	9,74	9,78	11,48	11,52	0,44
Cardones J1	220	8,42	8,43	9,64	9,65	7,59	7,6	10,17	10,18	0,13
Central Guacolda	220	10,37	10,40	12,01	12,04	9,82	9,85	12,72	12,75	0,31
Maitencillo J1	220	10,23	10,27	11,53	11,57	9,81	9,84	11,61	11,66	0,43
Alto del Carmen 1	110	1,49	1,54	1,41	1,46	1,45	1,5	1,19	1,32	10,92
Cardones H1	110	8,79	8,80	11,16	11,17	8,1	8,1	11,72	11,73	0,11
Cenizas H	110	8,58	8,59	10,69	10,7	7,91	7,92	11,2	11,21	0,13
Cerrillos H	110	3,84	3,84	3,68	3,69	3,56	3,56	3,19	3,19	0,27
Copiapó H	110	4,61	4,61	4,53	4,53	4,27	4,27	4,09	4,09	0,00
Los Colorados H	110	2,48	2,50	2,32	2,33	2,4	2,41	1,91	1,91	0,81
Maitencillo H1	110	7,01	7,14	8,28	8,44	6,84	6,95	8,78	8,96	2,05
Tap Castilla	110	2,75	2,75	2,57	2,58	2,61	2,61	2	2	0,39
Tap off El edén	110	3,27	3,39	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Tap Off Huasco	110	2,18	2,30	2,08	2,18	2,13	2,23	1,88	2,21	17,55
Tap Punta Toro	110	3,66	3,69	3,58	3,6	3,55	3,57	2,96	2,98	0,82
Tierra Amarilla H	110	4,21	4,22	4,08	4,08	3,9	3,9	3,6	3,6	0,24
Vallenar 110 kV	23	3,27	3,39	3,16	3,28	3,19	3,29	3,18	3,44	8,18
Agrosuper E1 y E2	13,8	13,94	13,96	15,61	15,61	13,42	13,43	15,9	15,9	0,14
Vallenar 13.8 kV	13,8	6,21	6,27	6,9	6,94	6,06	6,09	7,55	7,57	0,97

Anexo B

Antecedentes Interruptores Utilizados

 S.T.E. ENERGY S.p.A. Via Sorlo 120, 35141 Padova, Italia www.ste-energy.com - ste@ste-energy.com		Progetto: CENTRAL HIDROELECTRICA RIO HUASCO	Luogo: CHILE
Cliente: HIDROELECTRICA RIO HUASCO S.A.	Commessa n°: 5433	Doc. n°: 5433-ED5011	e-mail: ste@ste-energy.com Internet: www.ste-energy.com

<p>Datasheet MV switchgear +0BBA01</p>					
---	--	--	--	--	--

2					
1					
0	Emissione per ItdO	23/03/2012	A.R.P.	A.F.	F.P.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	BY	CHK	APP

 <p>STE ENERGY S.p.A. Via Sorio 120, 35141 Padova, Italia www.ste-energy.com - ste@ste-energy.com</p>		Progetto: CENTRAL HIDROELECTRICA RIO HUASCO	Luogo: =Frontespizio!O2
Cliente:	Commissa n°:	Doc. n°:	Rev:
HIDROELECTRICA RIO HUASCO S.A.	5433	5433-ED5011	0
			Data:
			23/03/2012

CHARACTERISTICS	U. M.	REQUIRED
<i>electrical data</i>		
Manufacturer	-	...
Type	-	...
Standard	IEC	62271-200
Classification of service continuity	-	LSC2A
Classification of partitions	-	...
Rated operational voltage	kV	6,6
Rated frequency - f	Hz	50
Number of phases	-	3
Neutral earthing system	-	via resistor
Earth-fault current	A	20
Rated insulation voltage - Ur	kV	12
Rated short-duration power-frequency withstand voltage - Ud	kV	28
Rated lightning impulse withstand voltage - Up	kV	75
Rated normal current - Ir	A	630
Rated short-time withstand current - Ik (x 3 s)	kA	16
Rated peak withstand current - Ip	kA	40
Internal Arc Classification as per standard IEC 62271-200	IAC	AFLR
Arc current	kA	16
Arc duration	s	1
Auxiliary circuits rated voltages - Protection & Control, Signalisation	V	125 d.c.
Auxiliary circuits rated voltages - Anticondensation heaters, LFM	V	230 a.c.
Auxiliary circuits power-frequency withstand voltage	kV	2,5
<i>mechanical data</i>		
Installation	-	indoor
Degree of protection - With door open	-	IP20
Degree of protection - With door closed	-	IP31
Incoming feeder	-	cable
- from the top / from the bottom	-	bottom
Outgoing feeder	-	cable
- from the top / from the bottom	-	bottom
Compartments materials - C-profile and frame	mm	20/10
Compartments materials - Internal divisions	mm	15/10
Compartments materials - Housing (doors and external curtain panels)	mm	20/10
galvanization - thickness	µm	20
galvanization - surface mass	kg/m ²	...
galvanization - standard	as per	...
painting - colour	RAL	7035
painting - thickness	µm	40
painting - specification	-	epoxy powder
Busbar - main and distribution busbar supportation	-	epoxy resin
Busbar - main busbar profile WxL	mmxmm	...
Busbar - main busbar cross section	mm ²	...
Busbar - distribution busbar profile WxL	mmxmm	...
Busbar - distribution busbar cross section	mm ²	...

 <p>STE ENERGY S.p.A. Via Sorio 120, 35141 Padova, Italia www.ste-energy.com - ste@ste-energy.com</p>		Progetto: CENTRAL HIDROELECTRICA RIO HUASCO	Luogo: =Frontespizio!02
Cliente:	Commessa n°:	Doc. n°:	Rev:
HIDROELECTRICA RIO HUASCO S.A.	5433	5433-ED5011	0
			Data:
			23/03/2012

CHARACTERISTICS	U. M.	REQUIRED
Busbar - material	-	Cu-ETP 99,9%
Busbar - standard	as per	UNI 5649/1
Busbar - insulation	-	air
Busbar - treatment	-	Ag (silvered)
Earthing bar profile WxL	mmxmm	...
Earthing bar cross section	mm ²	200
Earth connector for doors	mm ²	16
Accessibility	front/back	front
Bottom of the functional unit	open/closed	open
Bottom of the functional unit (cable connection)	2x3x1x120 mm ²	
Overall dimensions - Width (front side)	mm	...
Overall dimensions - Depth (lateral side)	mm	...
Overall dimensions - High	mm	...
Overall dimensions - Weight	kg	...
<i>functional units arrangement</i>		
Number of CB-UNIDAD functional units	-	2
- Width (front side)	mm	...
- Depth (lateral side)	mm	...
- High	mm	...
- Weight (with apparatus)	kg	...
CB installation	f/w	fixed
VTs installation	f/w	fixed
DISCONNECTORs installation	f/w	fixed
Auxiliary circuits installation	f/w	fixed
Number of CT-TRANSFORMADOR functional units	-	1
- Width (front side)	mm	...
- Depth (lateral side)	mm	...
- High	mm	...
- Weight (with apparatus)	kg	...
CONTACTOR installation	f/w	fixed
VTs installation	f/w	fixed
FUSEs installation	f/w	fixed
Auxiliary circuits installation	f/w	fixed
Number of CB-ENTRADA LINEA functional units	-	1
- Width (front side)	mm	...
- Depth (lateral side)	mm	...
- High	mm	...
- Weight (with apparatus)	kg	...
CB installation	f/w	fixed
VTs installation	f/w	fixed
DISCONNECTORs installation	f/w	fixed
Auxiliary circuits installation	f/w	fixed
<i>Circuit-Breaker data</i>		
Manufacturer	-	...
Type	-	...

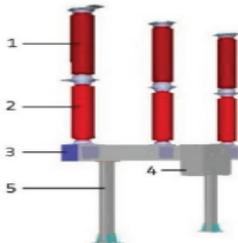
 <p>STE ENERGY S.p.A. Via Sorio 120, 35141 Padova, Italia www.ste-energy.com - ste@ste-energy.com</p>		Progetto: CENTRAL HIDROELECTRICA RIO HUASCO	Luogo: =Frontespizio!O2
Cliente:	Commessa n°:	Doc. n°:	Rev:
HIDROELECTRICA RIO HUASCO S.A.	5433	5433-ED5011	0
			Data:
			23/03/2012

CHARACTERISTICS	U. M.	REQUIRED
Standard	IEC	62271-100
Rated insulation voltage - Ur	kV	12
Rated short-duration power-frequency withstand voltage - Ud	kV	28
Rated lightning impulse withstand voltage - Up	kV	75
Rated frequency	Hz	50
Number of poles	-	3
Installation	f/w	fixed
Operating voltage	kV	6,6
Rated current (@ 40°C) - Ir	A	630
Rated short-time withstand current - Ik (x 3 s)	kA	16
Rated peak withstand current - Ip	kA	40
Rated duration of short circuit - tk	s	1
Rated short circuit breaking current - Isc	kA	16
Rated short circuit making current - Icm	kA	40
Rated operating sequence		O-0,3s-CO-15s-CO
Rated out-of-phase making and breaking current	kA	...
Rated filling pressure for operation	kPa	...
Rated filling pressure for interruption	kPa	...
Opening time (no-load)	ms	...
Rated break-time	ms	...
Closing time (no-load)	ms	...
Mechanical life - number of operations	-	10.000
Electrical life - number of operations @ breaking current	-	E2 class
Accessories:		
- Mechanical signalling device for circuit-breaker open/closed	yes/not	yes
- Manual spring charging handle coupling	yes/not	yes
- Manual manouvering handle for earthing-switch	yes/not	yes
- Shunt opening/closing release (YO/YC)	yes/not	yes
- Additional (undervoltage) shunt opening release (YU)	yes/not	yes
- Geared motor for the automatic charging of the closing springs (M)	yes/not	yes
- Contact signalling closing springs charged	yes/not	yes
- Electrical signalling of circuit-breaker open/closed	yes/not	yes
- Electrical signalling of earthing-switch open/closed	yes/not	yes
- Mechanical operation counter	yes/not	yes
- Mechanical lock for compartment door	yes/not	yes
- Protection for opening and closing pushbuttons	yes/not	no
auxiliary compartment wiring		
Auxiliary wiring terminal blocks	mm ²	6
Amp/Volt/Power supply wiring terminal blocks	mm ²	10
Type of conductor	-	N07V-K
Uo/U	V/V	450/750
- as per CEI 20-35 (non propagazione della fiamma)	yes/not	yes
- as per CEI 20-22 II (non propagazione dell'incendio)	yes/not	yes
- as per CEI 20-37 (prove sui gas emessi durante la combustione dei materiali prelevati)	yes/not	not
- as per CEI 20-38 (ridottissima emissione di fumi opachi e gas tossici e assenza di gas	yes/not	not

GL 310/311/312

Interruptor tanque vivo de 100 kV hasta 145 kV

Interruptores tanque vivo para instalación a intemperie, diseñados para temperaturas de hasta -55°C , equipados con cámara de corte de tercera generación con principio de autosoplado térmico y mecanismo de accionamiento por resorte tipo FK3. Último diseño con tecnología doble movimiento (double motion) que reduce la energía necesaria para la apertura en un 65%.



Descripción de producto

- 1 Porcelana cámara interruptora
- 2 Porcelana soporte
- 3 Bastidor
- 4 Accionamiento a resortes
- 5 Estructuras de soporte



Componentes

- Cámara de corte con tecnología de doble movimiento "double-motion" y con principio de autosoplado térmico
- Sistema de alivio de presión para una protección pasiva de la instalación y del personal
- Densímetros compensados por temperatura, con dos niveles de alarma y limbo graduado de tres colores
- Fácil acceso al bloque de llenado SF_6 (tipo DILO)
- Válvula de retención de SF_6 en cada polo
- Resortes de apertura protegidos en cada columna polar
- Componentes de acero galvanizados en caliente
- Caja del mecanismo completamente en chapa de aluminio
- Accionamiento por resorte con indicador de posición fácilmente visible desde el exterior

Instalación y mantenimiento

- Preajustes necesarios realizados en fábrica, no se necesitan realizar ajustes durante el montaje y la puesta en servicio
- Polos prellenados en fábrica con SF_6 a presión de transporte
- Desmontaje separado de la cámara de corte, sin tener que desmontar toda la columna polar
- Interruptores con mando monopolar se suministran parcialmente montados (bastidor con tres accionamientos montados y cableados entre sí)

Comprobación

Interruptores tanque vivo cumplen con los requisitos de normas nacionales e internacionales. Certificaciones y homologaciones basadas en las versiones más recientes de IEC y ANSI.

Calidad

Nuestro sistemas de gestión de calidad (ISO 9001:2008), del cuidado del medio ambiente (ISO 14001:2004) así como de gestión de la salud y la seguridad en el trabajo (OHSAS 18001:2007) determinan el proceso de desarrollo y fabricación de nuestros interruptores de alta tensión y aseguran una alta calidad de producto y servicios, los cuáles se auditan periódicamente.

Beneficios al cliente

- Temperaturas hasta
 - -40°C con SF_6 puro
 - -55°C con mezcla de gas
- Montaje y puesta en servicio simple y rápida (suministro parcialmente premontados)
- Largos intervalos de mantenimiento

GRID

ALSTOM

we are shaping the future

Características técnicas

- **Mecanismo por resorte:**
FK3
- **Secuencia de operación nominal:**
0-0,3s-CO-3 min-CO ó CO-15s-CO
- **Tensión auxiliar:**
de 24 hasta 250 V dc/ac
- **Temperatura ambiente:**
de -30°C hasta +40°C

Otros datos disponibles a solicitud.

Opciones

- Bajas temperaturas hasta -55°C
- Aisladores en polimérico
- Otras distancias entre fases a demanda
- **Sistema de monitoreo CBWatch-2:**
Sistema de monitoreo para todos los interruptores



• **SynCR3 (F3):**

Relé de sincronismo para cierre para la operación de banco de condensadores

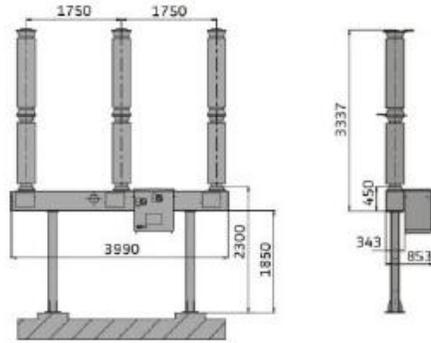


• **RPH2 controller (F3):**

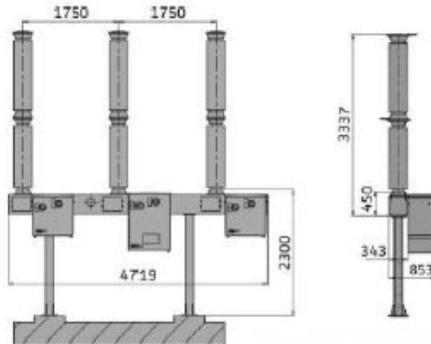
Relé de sincronismo para cierre y apertura de todas las aplicaciones



Alstom Grid Worldwide Contact Centre
www.alstom.com/grid/contactcentre/
 Tel: +44 (0) 1785 250 070
www.alstom.com



GL 311/312 F1/4031 P



GL 311/312 F3/4031 P

Datos técnicos				
Tipo de interruptor		GL 310 F1/4031 P	GL 311 F1/F3 4031 P	GL 312 F1/F3 4031 P
Tensión nominal	kV	100	123	145
Frecuencia nominal	Hz		50/60	
Tensión soportada a frecuencia industrial	kV	185	230	275
Tensión soportada al impulso tipo rayo	kV	450	550	650
Intensidad de corriente nominal	A		3150	
Corriente nominal de corte en cortocircuito	kA		40	
Corriente nominal de cierre en cortocircuito	kA		104	
Duración nominal admisible del cortocircuito	s		3	
Tiempo de apertura	ms		28	
Tiempo de corte total	ms		50	
Tiempo de cierre	ms		≤70	

G4E-CBE-L4-GL_310_311-312-06-2011_06-07 - © ALSTOM 2011. Reservados todos los derechos. La información incluida en este documento es gratuita basada en la información, si debe considerarse completa o correcta o aplicable a algún proyecto específico. Esto depende de las circunstancias técnicas y comerciales. La información no incluye ni asegura responsabilidad y está sujeta a cambios sin previo aviso. Queda expresamente prohibida su reproducción, uso o distribución sin autorización expresa por escrito.



Anexo C

Fórmulas Cálculo Componentes de Cortocircuito

FORMULAS DE CÁLCULO DE COMPONENTES DE CORTOCIRCUITO

El cálculo de la componente DC de la corriente de cortocircuito (i_{dc}) y la corriente asimétrica de interrupción (I_{asy}), se realizó de acuerdo a lo indicado en el procedimiento de la Dirección de Operación del Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC-SIC): “Términos y Condiciones del Cálculo de Corrientes de Cortocircuito para la Verificación del Dimensionamiento de Interruptores en el SIC”.

A continuación, se exponen las fórmulas matemáticas utilizadas para los valores de I_{asy} e I_{dc} :

Componente Continua de la Corriente de Cortocircuito (i_{dc})

$$I_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_{RMS} \cdot e^{-4 \left(\frac{\pi}{X/R} \right)}$$

Componente Continua de la Asimétrica de Interrupción (i_{ASY})

$$I_{ASY} = I_{RMS} \sqrt{1 + 2 \cdot e^{-8 \left(\frac{\pi}{X/R} \right)}}$$

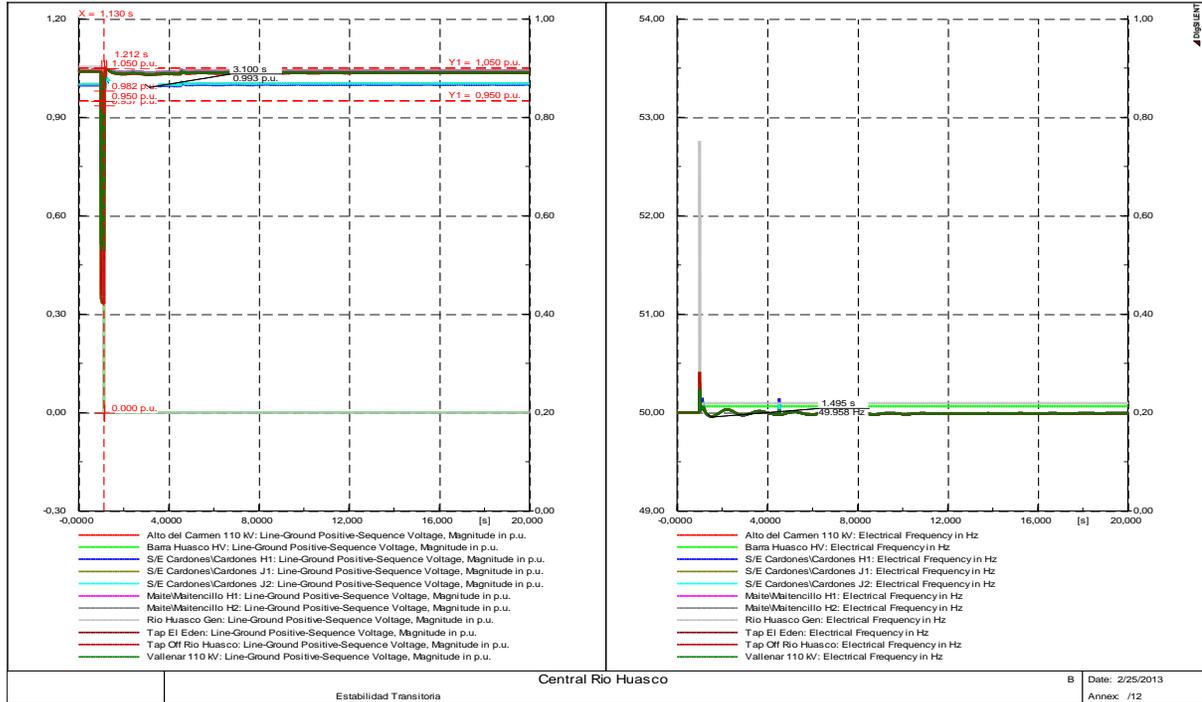
Ambas componentes con $I_{RMS} = I_{CCMAX} = I_K$ ”

Anexo D

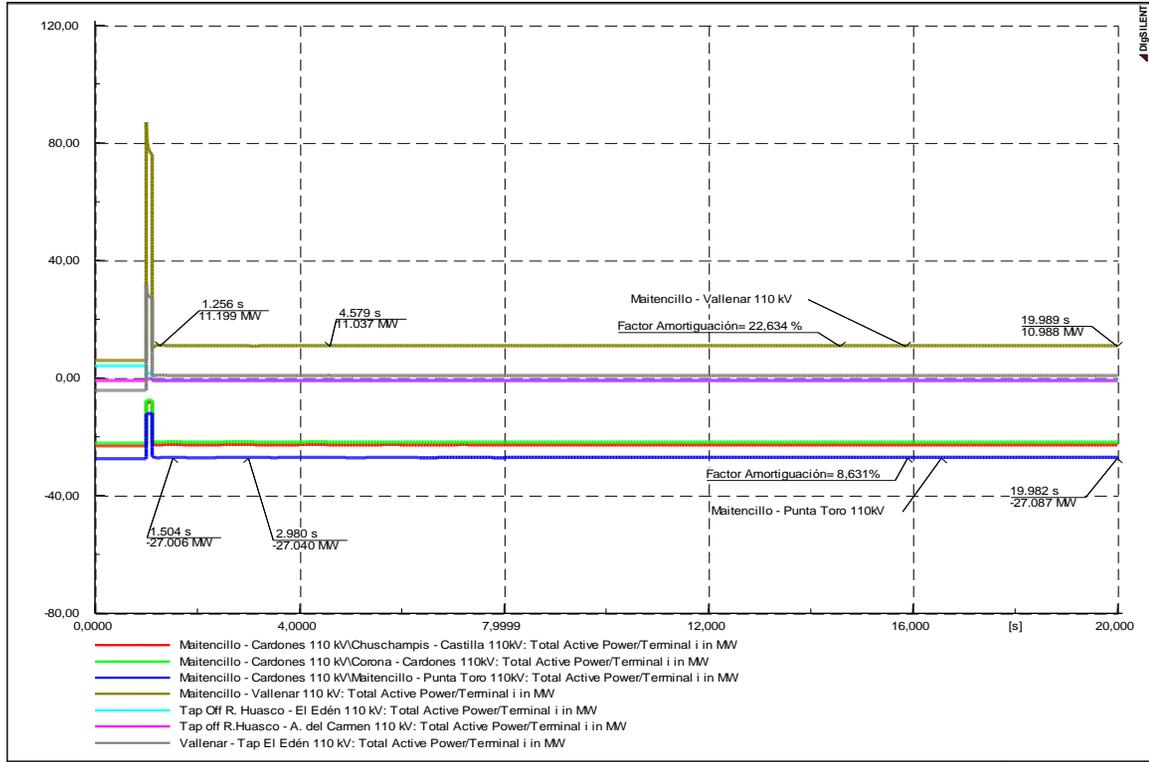
Resultados Estudios Estabilidad en Demanda Alta

CASO 1: Salida Intempestiva de la Central Río Huasco

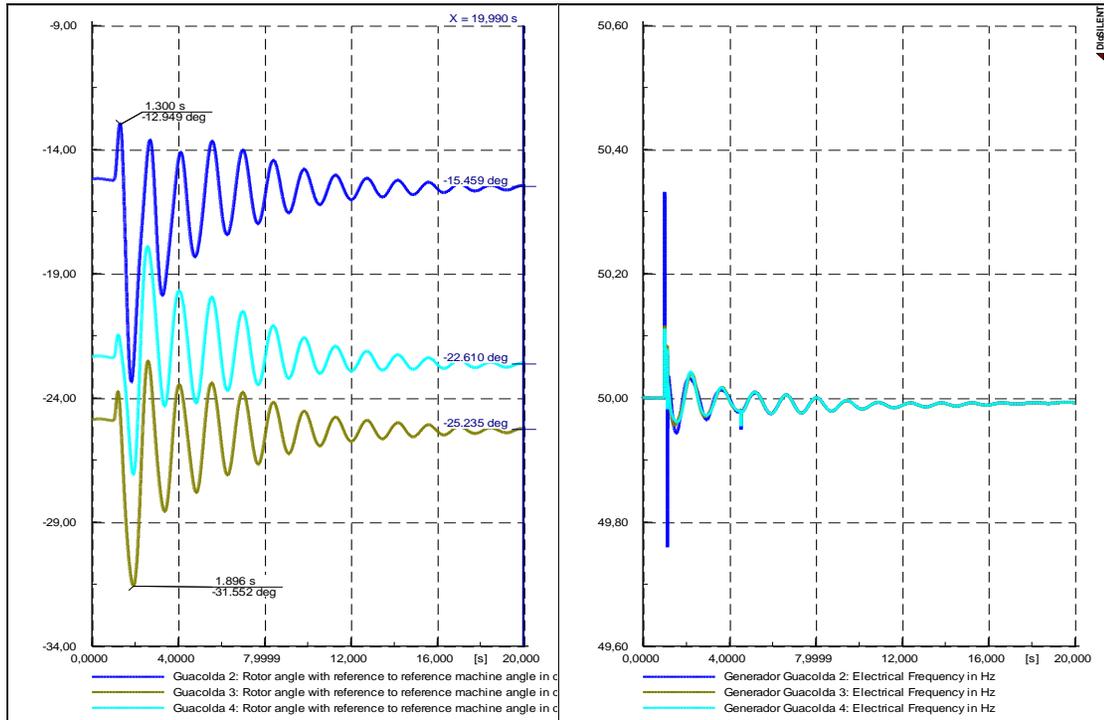
Variación Transitoria de la Frecuencia Eléctrica y de la Tensión en las Barras en Estudio



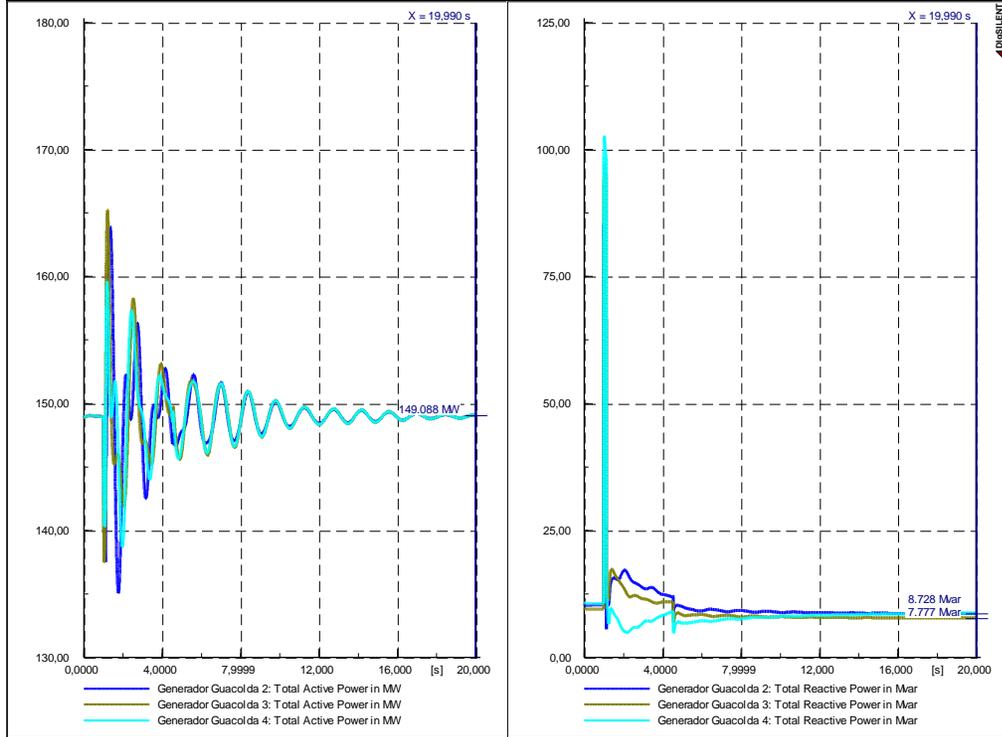
Variación Transitoria de la Potencia Activa en las Líneas o Tramos de la Zona en Estudio



Variación Transitoria del Ángulo Rotórico y de la Frecuencia Eléctrica de las Máquinas Generadoras en Estudio

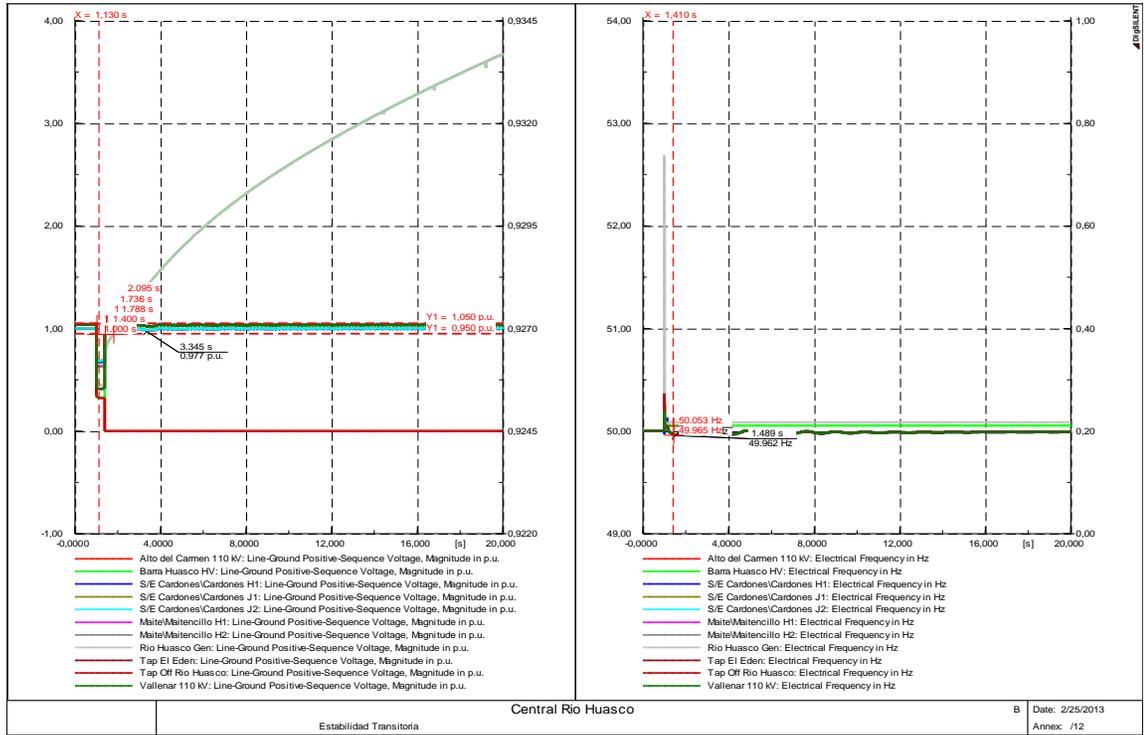


Variación Transitoria de la Potencia Activa y Reactiva de las Máquinas Generadoras en Estudio

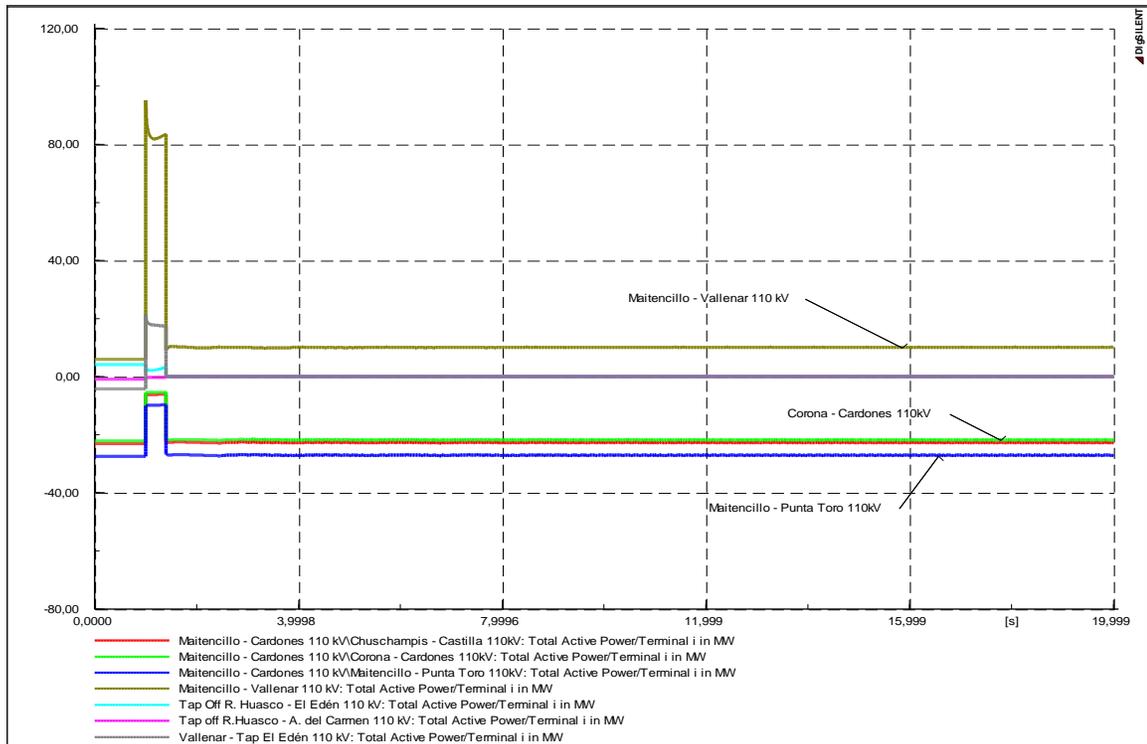


CASO 2: Falla Bifásica a Tierra, en Línea Tap off Río Huasco – El Edén 110 kV

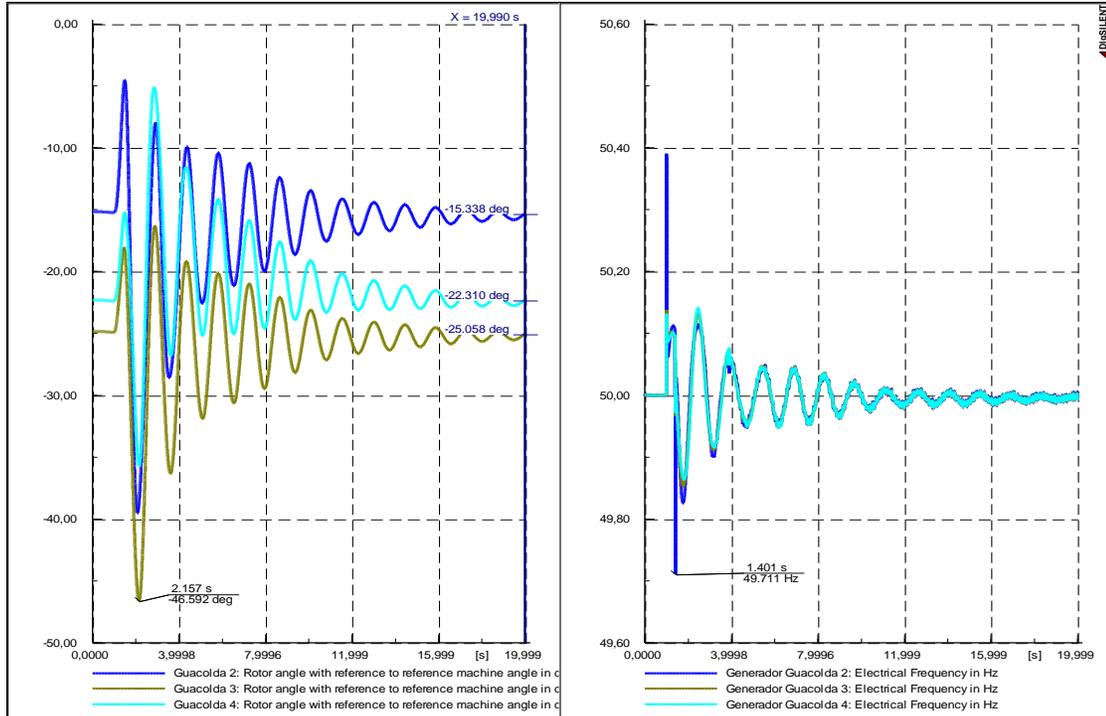
Variación Transitoria de la Frecuencia Eléctrica y de la Tensión en las Barras en Estudio



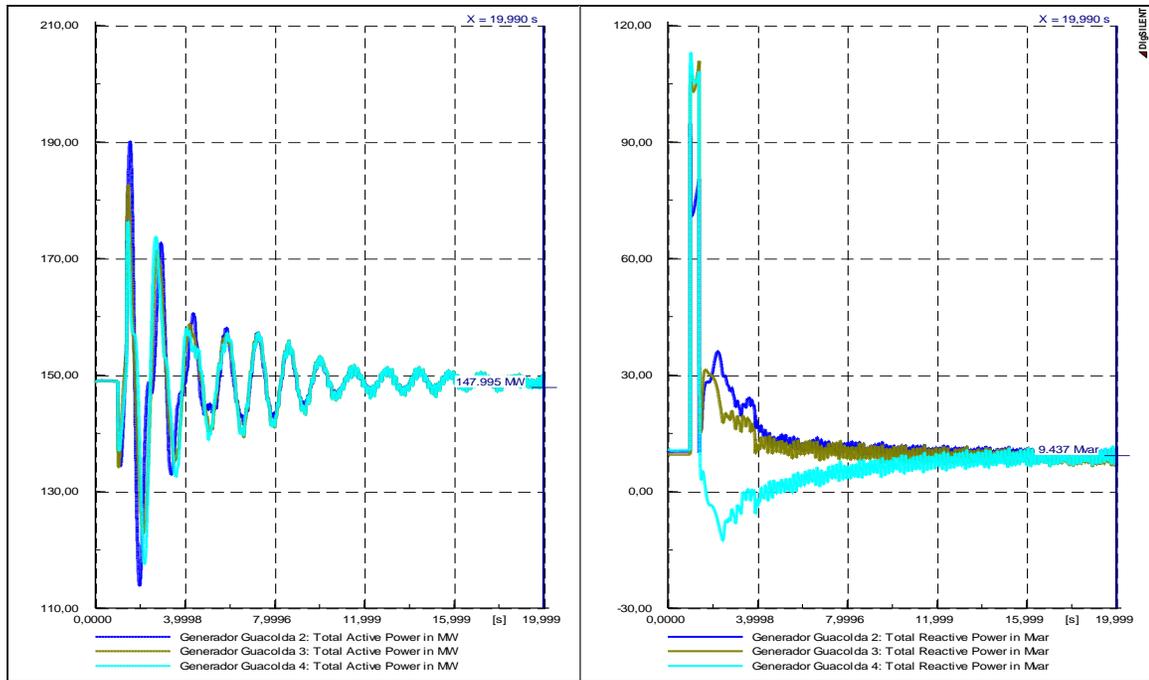
Variación Transitoria de la Potencia Activa en las Líneas o Tramos de la Zona en Estudio



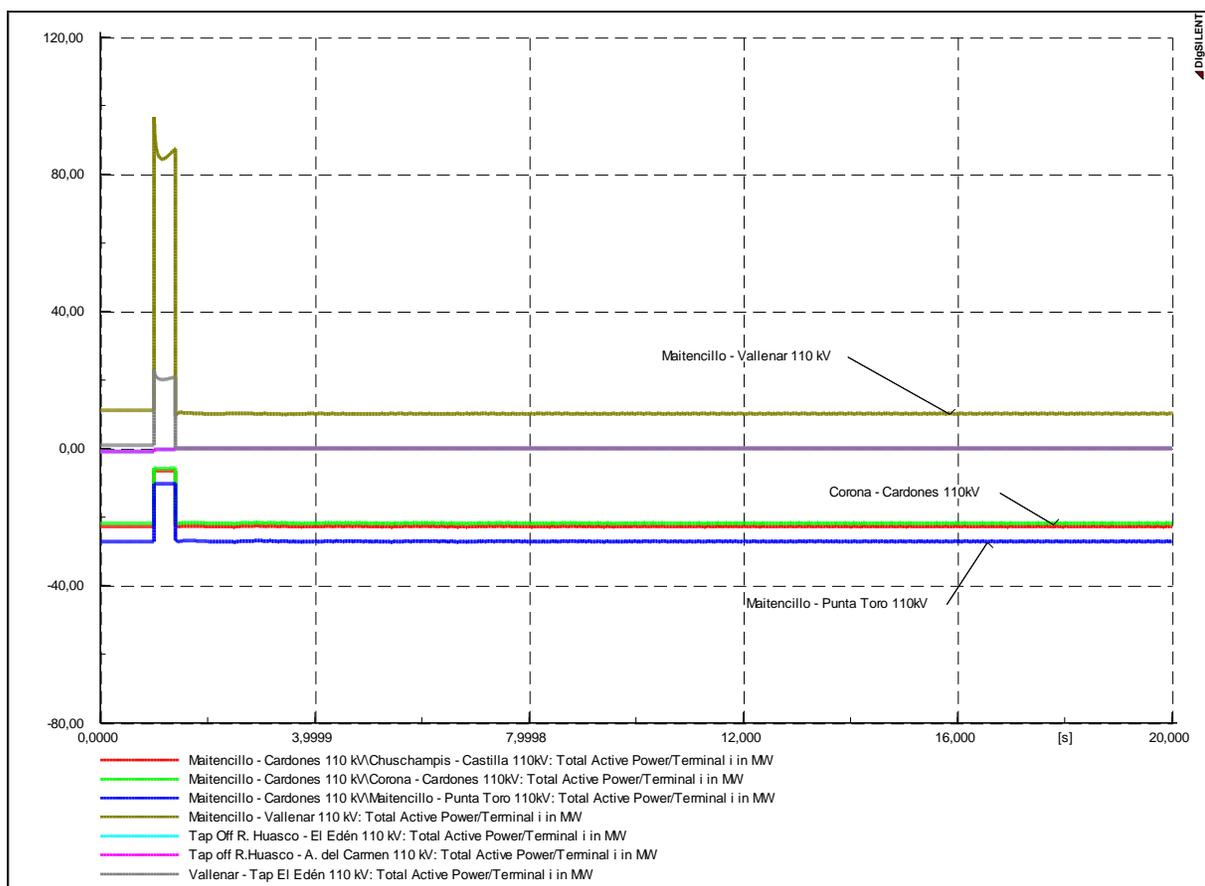
Variación Transitoria del Ángulo Rotórico y de la Frecuencia Eléctrica de las Máquinas Generadoras en Estudio



Variación Transitoria de la Potencia Activa y Reactiva de las Máquinas Generadoras en Estudio

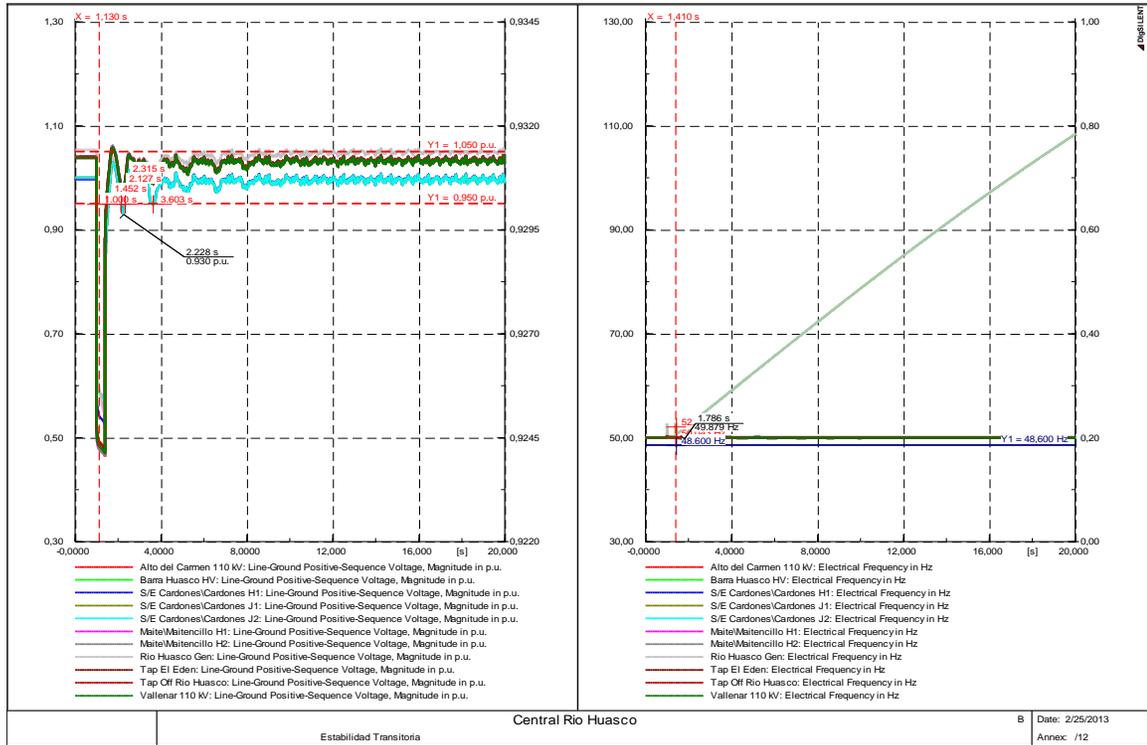


Variación Transitoria de la Potencia Activa en las Líneas o Tramos de la Zona en Estudio, Con la Central Río Huasco Fuera de Servicio.

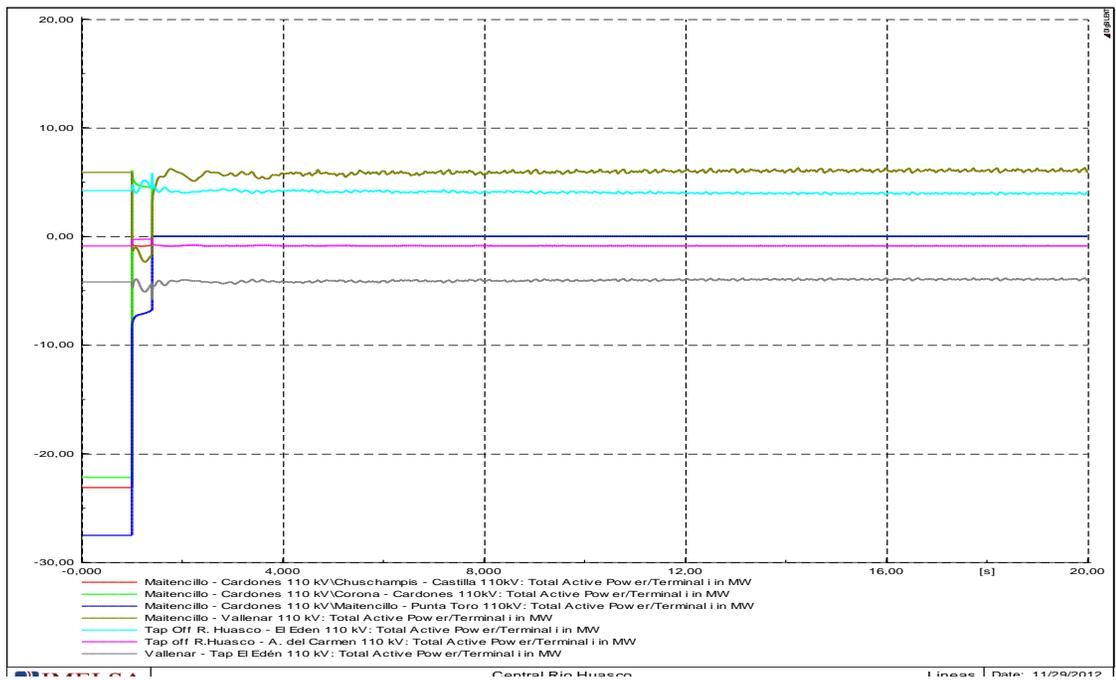


CASO 3: Falla Bifásica a Tierra, en Línea Maitencillo – Punta Toro 110 kV

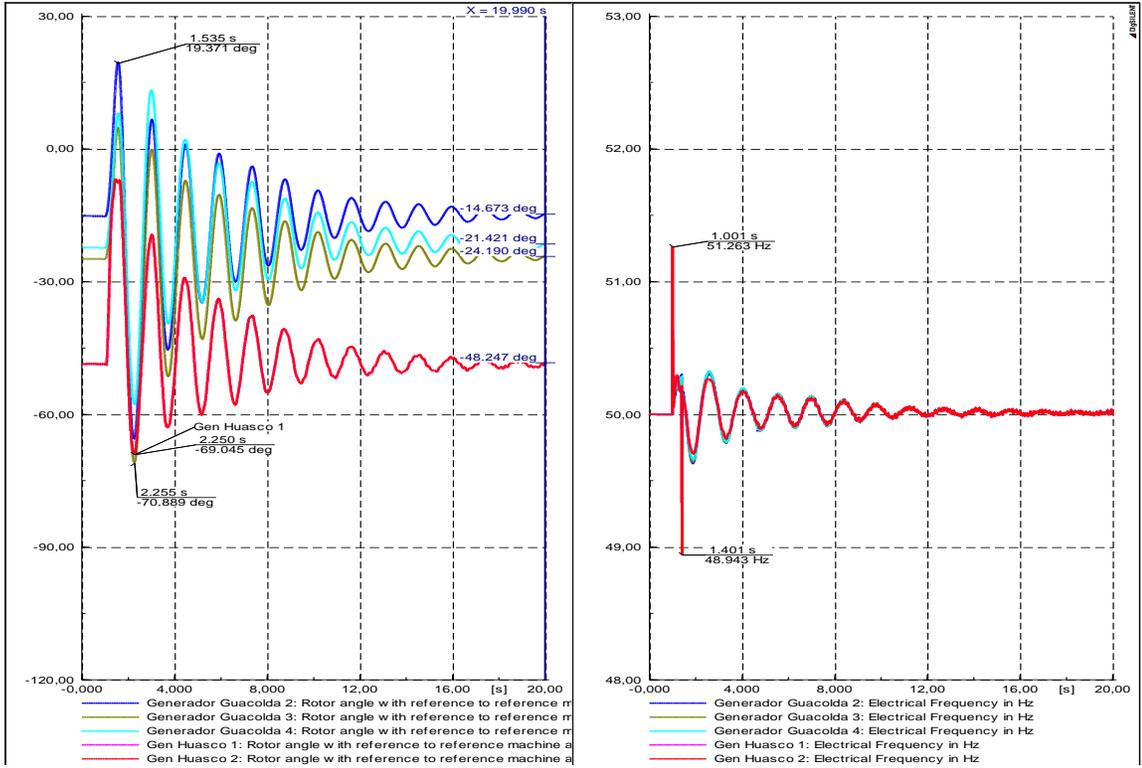
Variación Transitoria de la Frecuencia Eléctrica y de la Tensión en las Barras en Estudio



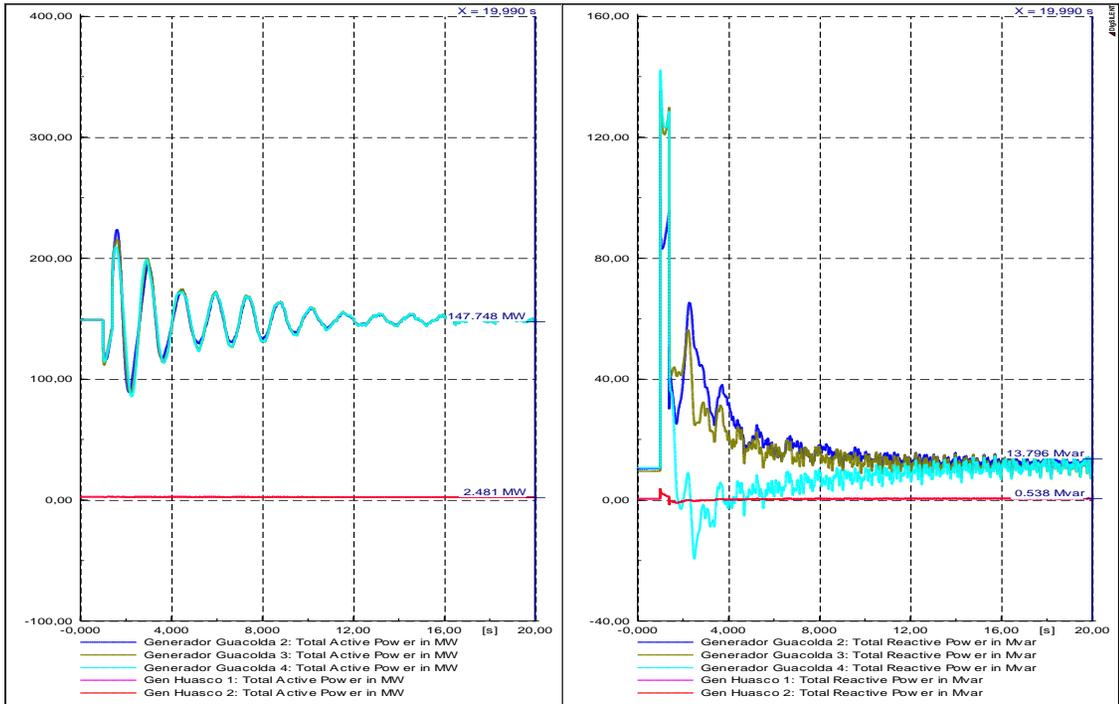
Variación Transitoria de la Potencia Activa en las Líneas o Tramos de la Zona en Estudio



Variación Transitoria del Ángulo Rotórico y de la Frecuencia Eléctrica de las Máquinas Generadoras en Estudio



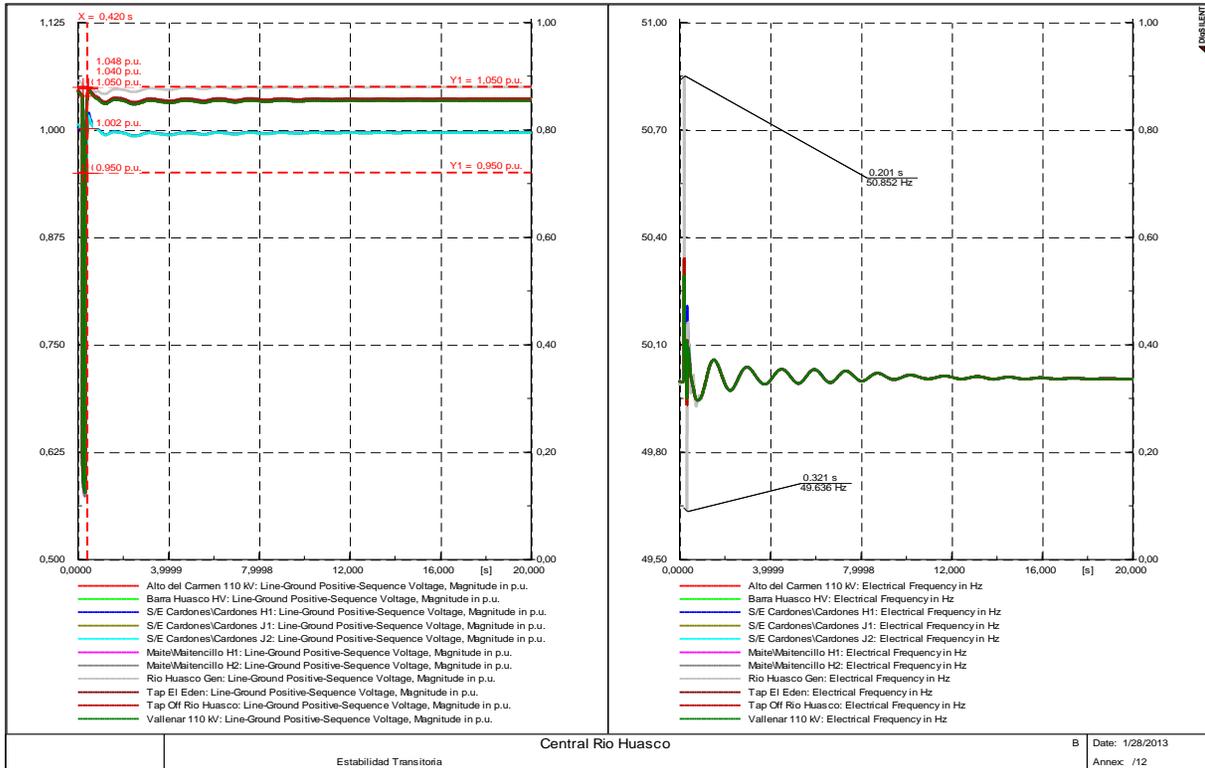
Variación Transitoria de la Potencia Activa y Reactiva de las Máquinas Generadoras en Estudio



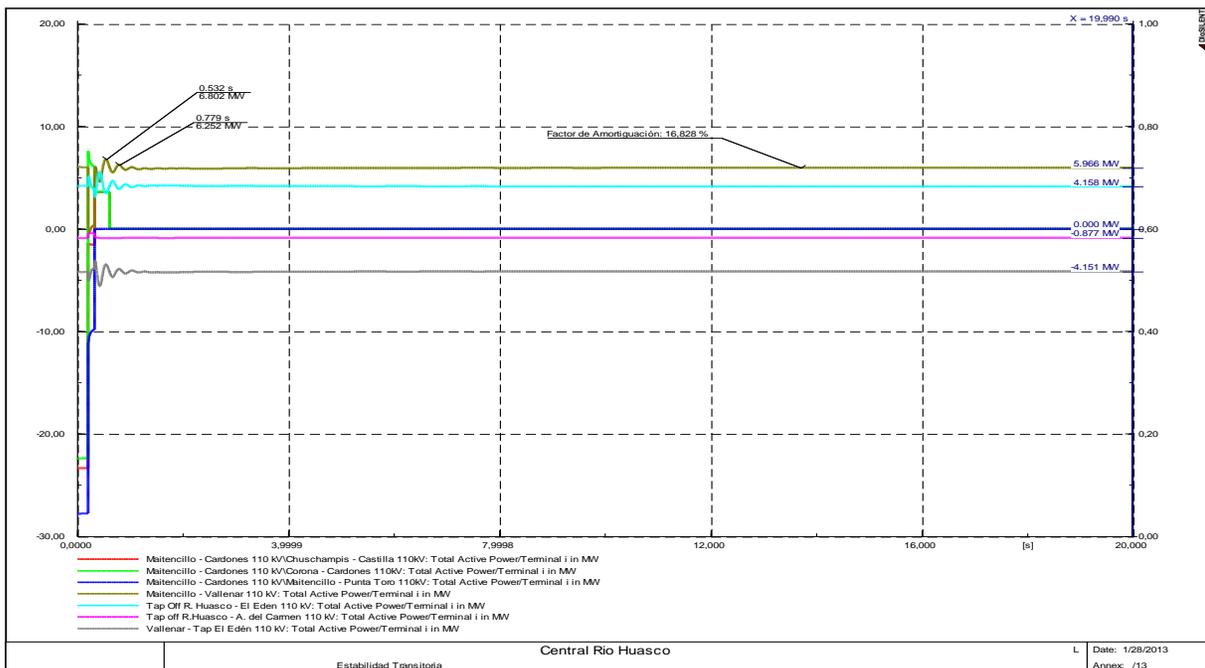
CASO 4: Falla Bifásica a Tierra, en Línea Maitencillo – Cardones

110 kV

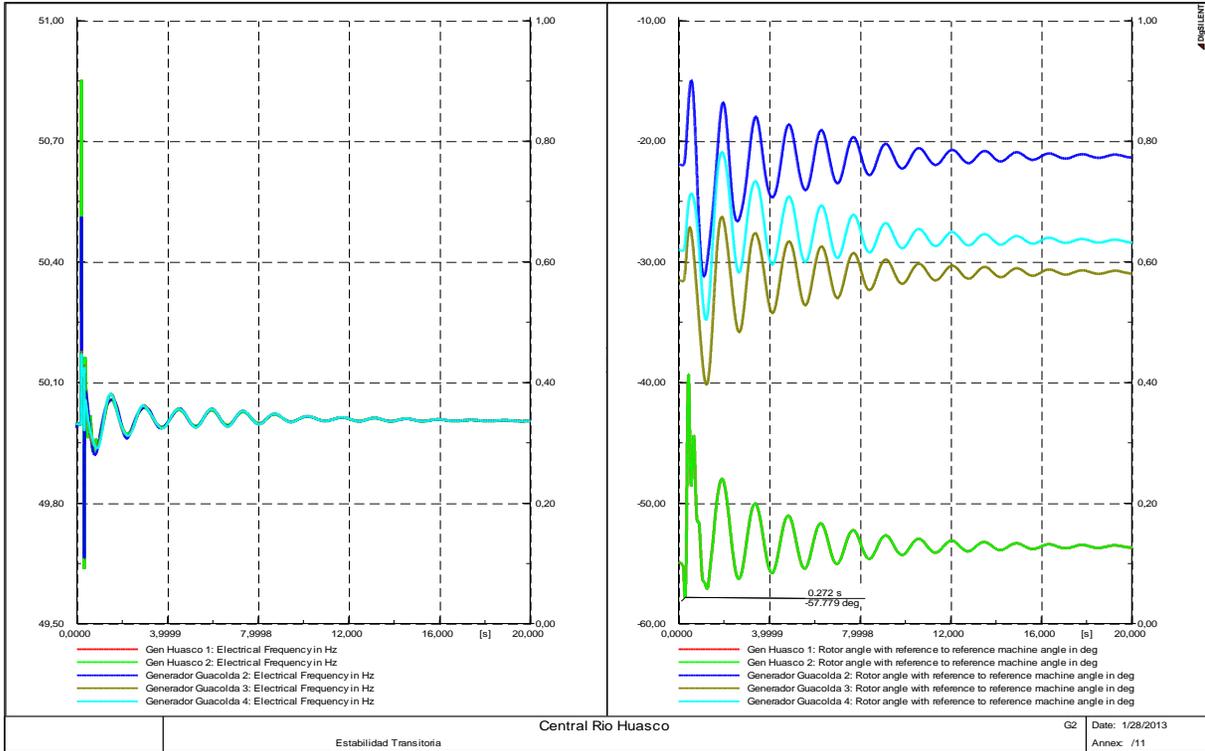
Variación Transitoria de la Frecuencia Eléctrica y de la Tensión en las Barras en Estudio



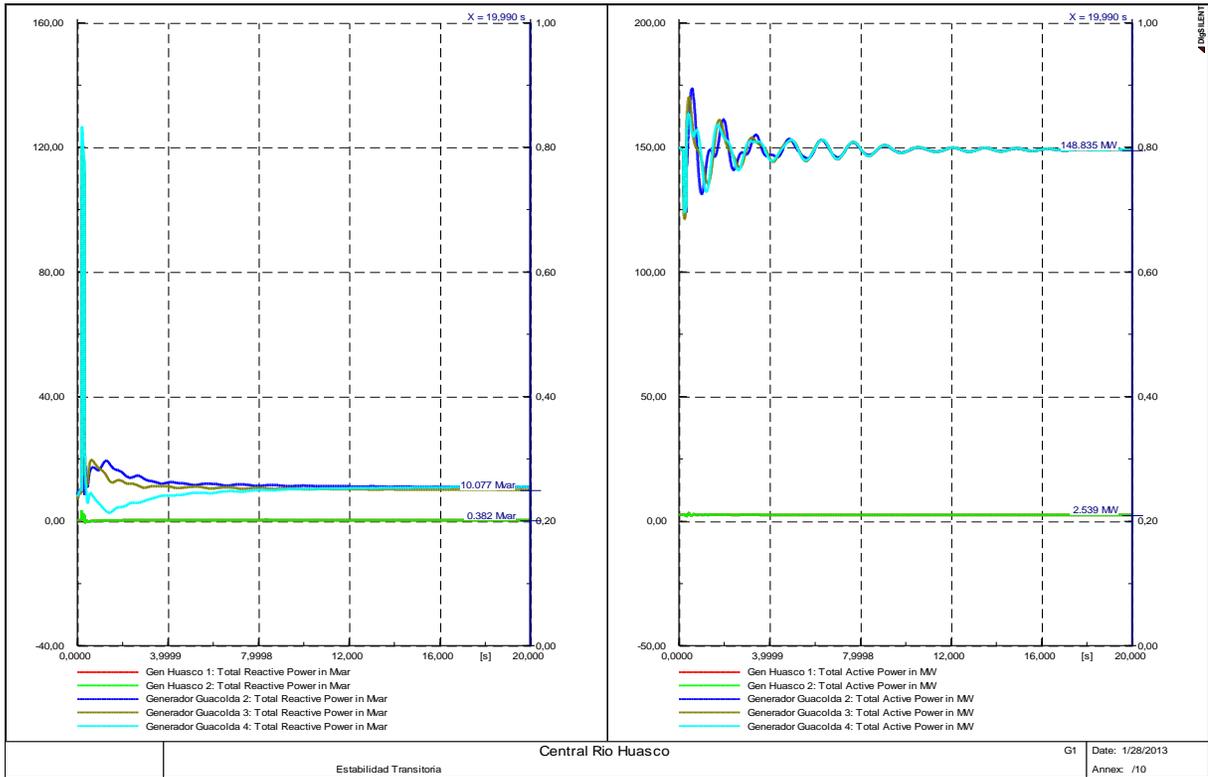
Variación Transitoria de la Potencia Activa en las Líneas o Tramos de la Zona en Estudio



Variación Transitoria del Ángulo Rotórico y de la Frecuencia Eléctrica de las Máquinas Generadoras en Estudio



Variación Transitoria de la Potencia Activa y Reactiva de las Máquinas Generadoras en Estudio



Anexo E

Cálculos Funciones de Protección

CALCULO DE AJUSTE DE PROTECCIÓN DE DISTANCIAS 21/21 TAP HUASCO

$$TT/CC: \frac{50}{1}$$

$$TT/PP: \frac{115.000}{\sqrt{3}} / 115 / \frac{115}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{TT / PP}{TT / CC} = 20$$

FUNCIÓN 21N (FALLA ENTRE FASES)

Para fallas entre fases (cortocircuitos trifásicos y bifásicos), se ha estimado la utilización de la función de distancia del tipo admitancia (Mho); con la finalidad de una correcta visualización de contingencias de este tipo.

Alcance primera zona:

$$Z_1 = 90\% \times Zl_{Huasco-El_Edén} = 0,9 \times 8,947466 = 8,05272 _ \Omega / \text{primarios}$$

$$Z_1 = \frac{8,05272}{RT} = \frac{8,05272 / 57^\circ}{20} = 0,40263 _ \Omega / \text{secundarios}$$

Alcance segunda zona:

$$Z_2 = 100\% \times Zl_{Huasco-Alto_Carmen} + 50\% \times Zl_{Mainetncilo_Vallenar} = 11,7789 / 57,3^\circ + 0,5 \times 11,35408 / 38,7^\circ$$

$$Z_2 = 17,2611 / 51,07^\circ _ \Omega / \text{primarios}$$

$$Z_2 = \frac{17,2611}{RT} = \frac{17,2611}{20} = 0,863 _ \Omega / \text{secundarios}$$

Alcance tercera zona:

$$Z_3 = 100\% \times Zl_{Huasco-Alto_Carmen} + 100\% \times Zl_{Maitencilb_Vallenar} + 20\% \times Zl_{Los_Toros}$$

$$Z_3 = 11,77089 / \underline{57,3^\circ} + 11,354 / \underline{38,7^\circ} + 0,2 \times 12,91795 / \underline{54,3^\circ} \text{ _}\Omega / \textit{primarios}$$

$$Z_3 = 25,3912 / \underline{48,7917^\circ}$$

$$Z_3 = \frac{25,3912}{RT} = \frac{25,3912}{20} = 1,26956 \text{ _}\Omega / \textit{secundarios}$$

Alcance cuarta zona (reversa):

$$Z_{4_Reversa} = 60\% \times Z_{Trafo_Central_Huasco}$$

$$Z_{4_Reversa} = 0,075 / \underline{85^\circ} \times 0,6 \times \frac{110^2}{5,7} = 95,5263 / \underline{85^\circ} \text{ _}\Omega / \textit{primarios}$$

$$Z_{4_Reversa} = \frac{95,5263}{RT} = \frac{95,5263}{20} = 4,77632 \text{ _}\Omega / \textit{secundarios}$$

Función 21N (Falla a Tierra)

Para fallas a tierras (cortocircuitos monofásicos y bifásicos a tierra), se utilizarán la función del tipo Cuadrilateral, lo que permitirá la seguridad de la visualización de fallas a tierra con o sin impedancia de falla.

Función 21N (Cuadrilateral)

Alcance primera zona:

$$X_1 = 90\% \times Xl_{Huasco-El_Edén} = 0,9 \times 7,529868 = 6,77688 \text{ _}\Omega / \textit{primarios}$$

$$X_1 = \frac{6,77688}{RT} = \frac{6,77688}{20} = 0,3388 \text{ _}\Omega / \textit{secundarios}$$

Cálculo del alcance resistivo de la zona 1, se utilizará una resistencia de falla de 30 Ω , con el objetivo de visualizar fallas a tierra con alta impedancia en la Línea Huasco – El Edén.

$$R_{1ft} = 0,9\% \times Rl_{Huasco_El_Edén} + R_{Falla} = 0,9 \times 4,833036 + 30\Omega = 34,3497 \text{ _}\Omega / \textit{primarios}$$

$$R_{1ft} = \frac{34,3497}{RT} = \frac{34,34978}{20} = 1,71749 \text{ _}\Omega / \textit{secundarios}$$

Alcance segunda zona:

$$X_2 = 100\% \times Xl_{Huasco-A.D.Carmen} + 50\% \times Xt_{Maint.-Vallenar} = 9,905959 + 0,5 \times 7,10283 = 13,4574 \text{ } \Omega / \text{ primarios}$$

$$X_2 = \frac{13,4574}{RT} = \frac{13,4574}{20} = 0,67287 \text{ } \Omega / \text{ secundarios}$$

De igual manera que en la zona 1, se utilizará una resistencia de falla de 30 Ω , con la finalidad de detectar y aislar fallas a tierra con alta impedancia.

$$R_{2,ft} = 100\% \times Rl_{Huasco-A-D-Carmen} + 50\% \times Rt_{Maint-Vallenar} + 30\Omega = 6,358128 + 0,5 \times 8,858 + 30\Omega$$

$$R_{2,ft} = 40,7871 \text{ } \Omega / \text{ primarios}$$

$$R_{2,ft} = \frac{40,7871}{RT} = \frac{40,7871}{20} = 2,03936 \text{ } \Omega / \text{ secundarios}$$

Alcance tercera zona:

$$X_3 = 100\% \times Xl_{Huasco-A-D-Carmen} + 100\% \times Xl_{Maine-Vallenar} + 20\% \times Xl_{Los_Toros}$$

$$X_3 = 9,905959 + 7,10283 + 0,2 \times 10,491 = 19,107 \text{ } \Omega / \text{ primarios}$$

$$X_3 = \frac{19,107}{RT} = \frac{19,107}{20} = 0,95535 \text{ } \Omega / \text{ secundarios}$$

Luego, utilizando la resistencia de falla de 30 Ω , el alcance resistivo para la tercera zona nos queda:

$$R_{3,ft} = 100\% \times Rl_{Huasco-A-D-Carmen} + 100\% \times Rl_{Maint-Vallenar} + 20\% \times Rl_{Los_Toros}$$

$$R_{3,ft} = 6,358128 + 8,858049 + 0,2 \times 7,5374 + 30 = 46,9877 \text{ } \Omega / \text{ primarios}$$

$$R_{3,ft} = \frac{46,9877}{RT} = \frac{46,9877}{20} = 2,34939 \text{ } \Omega / \text{ secundarios}$$

Alcance cuarta zona (reversa):

$$X_{4_Reversa} = 60\% \times X_{Trafo_Central_Huasco}$$

$$X_{4_Reversa} = 0,07467452 \times 0,6 \times \frac{110^2}{5,7} = 95,11 \text{ } \Omega / \text{ primarios}$$

$$X_{4_Reversa} = \frac{95,11}{RT} = \frac{95,11}{20} = 4,7555 \text{ } \Omega / \text{ secundarios}$$

Dado que la resistencia del Transformador de Poder de la Central Huasco (R sec. positiva) es muy pequeña comparado con la reactancia del mismo, el alcance de resistencia de la zona 4 será igual al alcance de la reactancia calculada.

AJUSTE DE FUNCIONES DE PROTECCIÓN PARA EQUIPO GE D60, S/E EL EDÉN.

Función de Distancia 21/21N

Recorte de 1ª Zona, reajuste de 3ª Zona, Habilitación 4ª Zona y 5ª Zona (AD) del equipo GE D60 S/E El Edén, Línea El Edén - Alto Del Carmen.

Cálculos Nueva Zona 1 Relé D60 S/E El Edén, Línea El Edén - Alto Del Carmen.

$$Z_1 = 80\% \times ZI_{ElEdén-Tap_Huasco} = 0,8 \times 8,947466 = 7,15797 \text{ } \Omega / \textit{primarios}$$

$$Z_1'' = \frac{7,15797}{RT} = \frac{7,15797/57,3^\circ}{33,33} = 0,214761 \text{ } \Omega / \textit{secundarios}$$

$$X_1 = 80\% \times XI_{El_Edén-Tap_Huasco} = 0,8 \times 7,529868 = 6,02389 \text{ } \Omega / \textit{primarios}$$

$$X_1 = \frac{6,02389}{RT} = \frac{6,02389}{33,33} = 0,180735 \text{ } \Omega / \textit{secundarios}$$

$$R_1 = 0,8\% \times RI_{El_Edén_Huasco} + 15\Omega = 0,8 \times 4,833036 + 15\Omega = 18,8664 \text{ } \Omega / \textit{primarios}$$

$$R_1'' = \frac{18,8664}{RT} = \frac{18,8664}{33,33} = 0,566049 \text{ } \Omega / \textit{secundarios}$$

Cálculos Nueva Zona 3 Relé D60 S/E El Edén, Línea El Edén - Alto Del Carmen.

$$Z_3 = 100\% \times ZI_{ElEdén-Tap_Huasco} + 110\% \times Z_{Trafo_Central_Huasco}$$

$$Z_3 = 8,947466/57,3^\circ + 0,075/85^\circ \times \frac{110^2}{5,7} \times 1,1 = 183,101/83,69^\circ \text{ } \Omega / \textit{primarios}$$

$$Z_3'' = \frac{183,101}{RT} = \frac{183,101/83,69^\circ}{33,33} = 5,49357 \text{ } \Omega / \textit{secundarios}$$

$$X_3 = 100\% \times XI_{El_Edén-Tap_Huasco} + 110\% \times X_{Trafo_Central_Huasco}$$

$$X_3 = 7,529868 + 1,1 \times \frac{110^2}{5,7} \times 0,0746752 = 181,903 \text{ } \Omega / \textit{primarios}$$

$$X_3 = \frac{181,903}{RT} = \frac{181,903}{33,33} = 5,4576 \text{ } \Omega / \textit{secundarios}$$

Dado que la resistencia del Transformador de Poder de la Central Huasco (R sec. positiva) es muy pequeña comparado con la reactancia del mismo, el alcance de resistencia de la zona 3 será igual al alcance de la reactancia calculada.

Cálculos Nueva Zona 4 Reversa Relé D60 S/E El Edén, Línea Vallenar - Maitencillo.

Dado los parámetros de la línea 110 kV Maitencillo – Vallenar son detallados en el punto 5.4.6

$$Z_4 = 80\% \times Zl_{\text{Maintencillo_Vallenar}} = 0,8 \times 11,35408 / 38,7^\circ = 9,08326 / 38,7 _ \Omega / \text{ primarios}$$

$$Z_4 = \frac{9,08326}{RT} = \frac{9,08326}{33,33} = 0,2725 _ \Omega / \text{ secundarios}$$

$$X_4 = 80\% \times Xl_{\text{Maint-Vallenar}} = 0,8 \times 7,10283 = 5,68226 _ \Omega / \text{ primarios}$$

$$X''_4 = \frac{5,68226}{RT} = \frac{5,68226}{33,33} = 0,170485 _ \Omega / \text{ secundarios}$$

$$R_4 = 80\% \times Rl_{\text{Maintencillo_Vallenar}} = 0,8 \times 8,858 + 30 = 37,0864 _ \Omega / \text{ primarios}$$

$$R_4 = \frac{37,0864}{RT} = \frac{37,0864}{33,33} = 1,1127 _ \Omega / \text{ secundarios}$$

Cálculos Nueva Zona 5 (AD) Relé D60 S/E El Edén, Línea El Edén - Alto Del Carmen.

$$Z_{5_AD} = 80\% \times Zl_{\text{ElEdén-Alto_de_Carmeno}} = 0,8 \times 20,71836 / 57,3^\circ = 16,5747 / 57,3^\circ _ \Omega / \text{ primarios}$$

$$Z_{5_AD}'' = \frac{16,5747}{RT} = \frac{16,5747 / 57,3^\circ}{33,33} = 0,49729 _ \Omega / \text{ secundarios}$$

$$X_{5_AD} = 80\% \times Xl_{\text{El_Edén-Alto_del_Carmen}} = 0,8 \times 17,43583 = 13,9487 _ \Omega / \text{ primarios}$$

$$X''_{5_AD} = \frac{13,9487}{RT} = \frac{13,9487}{33,33} = 0,418502 _ \Omega / \text{ secundarios}$$

$$R_{5_AD} = 0,8\% \times Rl_{\text{El_Edén-Alto_del_Carmen}} + 15\Omega = 0,8 \times 11,19116 + 15\Omega = 23,9529 _ \Omega / \text{ primarios}$$

$$R_{5_AD}'' = \frac{23,9529}{RT} = \frac{23,9529}{33,33} = 0,71866 _ \Omega / \text{ secundarios}$$

Función 21 Tipo Mho						
Ajustes Actuales				Ajustes Propuestos		
	Reach [Ω''] / RCA	Tiempo [seg.]	Dirección	Reach [Ω''] / RCA	Tiempo [seg.]	Dirección
ZONA 1	1,62 / L 60°	instantáneo	F	0,215 / L 57°	instantáneo	F
ZONA 2	1,90 / L 60°	0,3	F	1,900 / L 60°	0,3	F
ZONA 3	5,00 / L 60°	2,5	F	5,493 / L 84°	2,50	F
ZONA 4	Deshabilitado			0,273 / L 39°	0,3	R
ZONA 5 AD	Deshabilitado			0,497 / L 57°	0,3 acelerado con señal permisiva	F

Función 21N Tipo Cuadrilateral										
Zona	Ajustes Actuales					Ajustes Propuestos				
	X [Ω'''] Reach	R [Ω'''] (Quad Right/Left)	Ángulo Quad	Tiempo [seg.]	Dirección	X [Ω'''] (Reach)	R [Ω'''] (Quad Right/Left)	Ángulo Quad	Tiempo [seg.]	Dirección
1	1,410	2,000	85°	instantáneo	F	0,181	0,566	60,00	instantáneo	F
22	1,800	3,000	85°	0,30	F	1,800	3,000	85°	0,3	F
3	4,200	5,000	85°	2,50	F	5,457	5,457	85°	2,50	F
4	Deshabilitado					0,170	1,113	60,00	0,3	R
5	Deshabilitado					0,418	0,719	60,00	0,3 acelerado con señal permisiva	F

$$k_0 = 0,7/25^\circ$$

Nota: Los demás parámetros para la función de distancia, se mantiene con los ajustes actuales.

Zona 4 y 5 AD (Ajuste Propuesto función cuadrilateral):

- Ángulo RCA : 85°
- Ángulo DIR RCA : 85°
- DIR Comp Limit : 90°
- Non – Homogen Ang. : 0°

Función de Sobrecorriente 51/50/51N/50N

Función 51/ 50				
Función	Ajustes Actuales		Ajustes Propuestos	
	Sobrecorriente de Fase (51)	Sobrecorriente de Fase Instantáneo (50)	Sobrecorriente de Fase (51)	Sobrecorriente de Fase Instantáneo (50)
Pick up	180 [A-prim]	660 [A-prim]	180 [A-prim]	900 [A-prim]
Curva	IAC. Muy Inversa	-	IEC Curva B (Muy Inversa)	-
Time Dial / T. de Op.	0,5	instantáneo	0,43	0,33

Nota: Los cambios realizados a los ajustes de la función 50 de esta protección, solo presenta cambios de tiempo de operación y no de Pick up; por lo que esta no influirá en la detección corrientes Inrush (energización) de los transformadores de la S/E Vallenar, la S/E Alto del Carmen y de la nueva Central Huasco, siendo esta última con un nivel de Inrush de 5 a 8 veces la corriente nominal (150 [A] a 240 [A] aprox.).

Habilitación de Función 67/67N hacia Maitencillo

Se habilita la función de sobrecorriente direccional de fase y residual, en la protección GE D60 de la S/E El Edén, con dirección hacia la S/E Maitencillo, de manera de proteger con mayor confiabilidad la Línea S/E Vallenar – S/E Maitencillo, siendo respaldo local de la función de distancia de zona 4 reversa.

Función 67/67N		
Función	Sobrecorriente de Fase (67/51)	Sobrecorriente Residual (67N/51N)
Pick up	37,5 [A-prim]	15 [A-prim]
Curva	C1 - IEC Standard Inverse A	C1 - IEC Standard Inverse A
Time Dial	0,08	0,17
Dirección	Hacia Maitencillo	Hacia Maitencillo

Ajuste de Funciones de Protección para Equipo GE F60, S/E El Edén.

Dado que los ajustes actuales de la protección GE F60 de la S/E El Edén, contiene similares ajustes de sobrecorriente que la función GE D60, es necesario realizar reajustes a los valores actuales.

Función 51/ 50				
Función	Ajustes Actuales		Ajustes Propuestos	
	Sobrecorriente de Fase (51)	Sobrecorriente de Fase Instantáneo (50)	Sobrecorriente de Fase (51)	Sobrecorriente de Fase Instantáneo (50)
Pick up	180 [A-prim]	660 [A-prim]	180 [A-prim]	900 [A-prim]
Curva	IAC. Muy Inversa	-	IEC Inversa (Curva B)	-
Time Dial / T. de Op.	0,5	instantáneo	0,43	0,33

Función 50N		
Función	Sobrecorriente Residual Instantáneo (50N)	Sobrecorriente Residual Instantáneo (50N)
Pick up	30 [A-prim]	Deshabilitado
Tiempo de Op. [Seg.]	0,0	-

Habilitación de Función 51N:

Relé GE D60	
Función	Sobrecorriente Residual de Tiempo Inverso
Pick up	18 [Aprim] / 0,12 p.u. del TTCC de la Subestación El Edén
Curva	IAC Muy Inversa
Tiempo de Op. [Seg.]	3,5

Anexo F

Curvas y Diagramas Coordinación de Protecciones

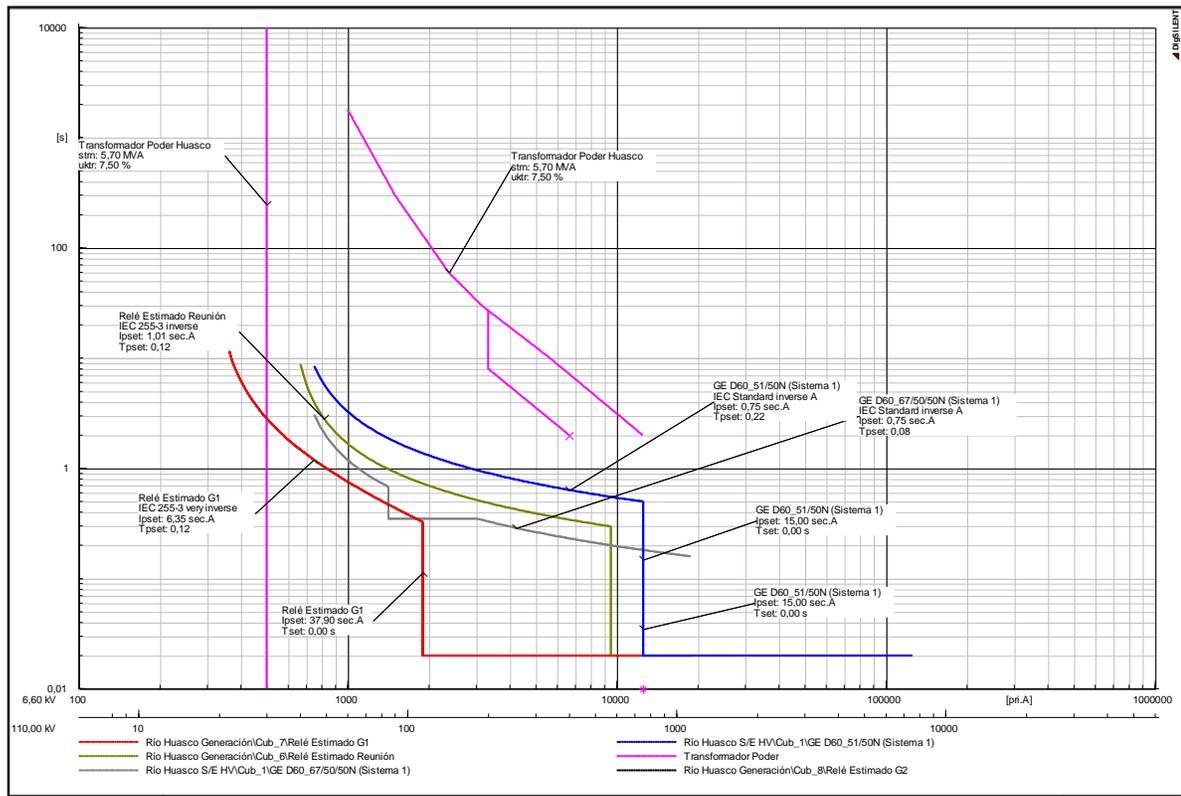


Figura 39: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase Central Río Huasco

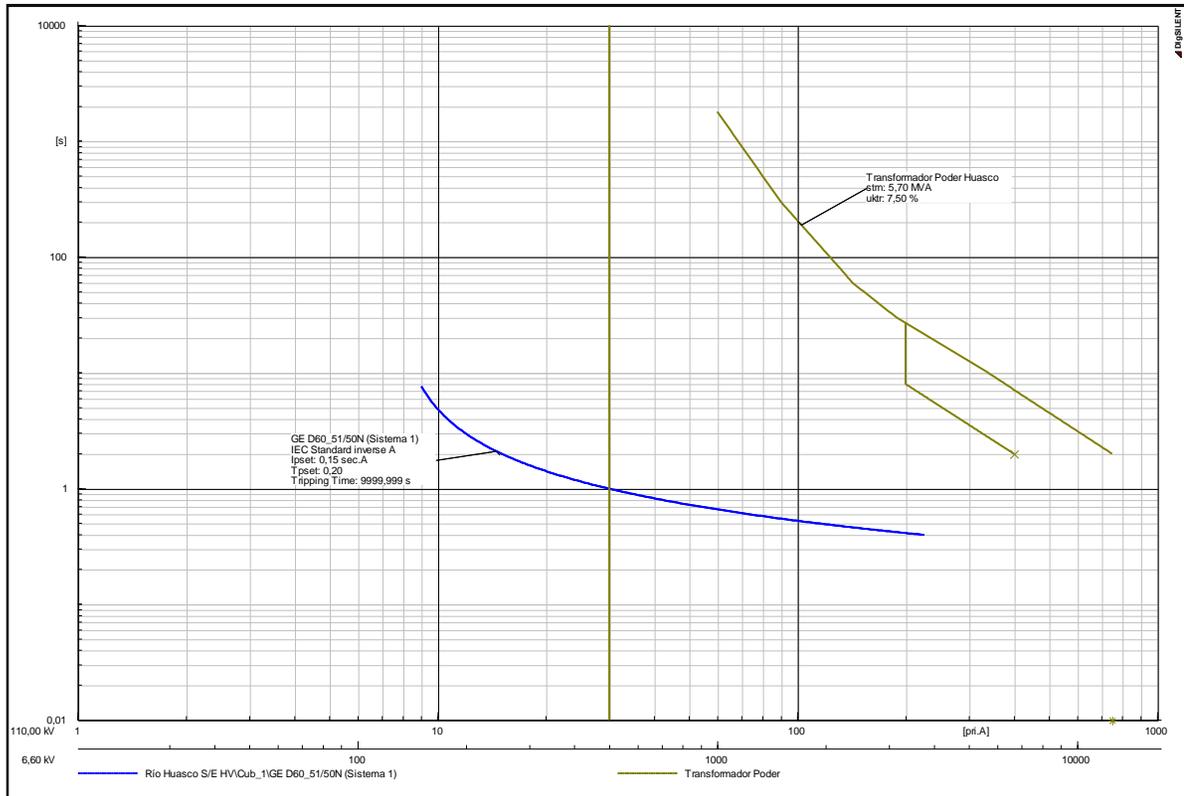


Figura 40: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones Residuales Central Río Huasco.

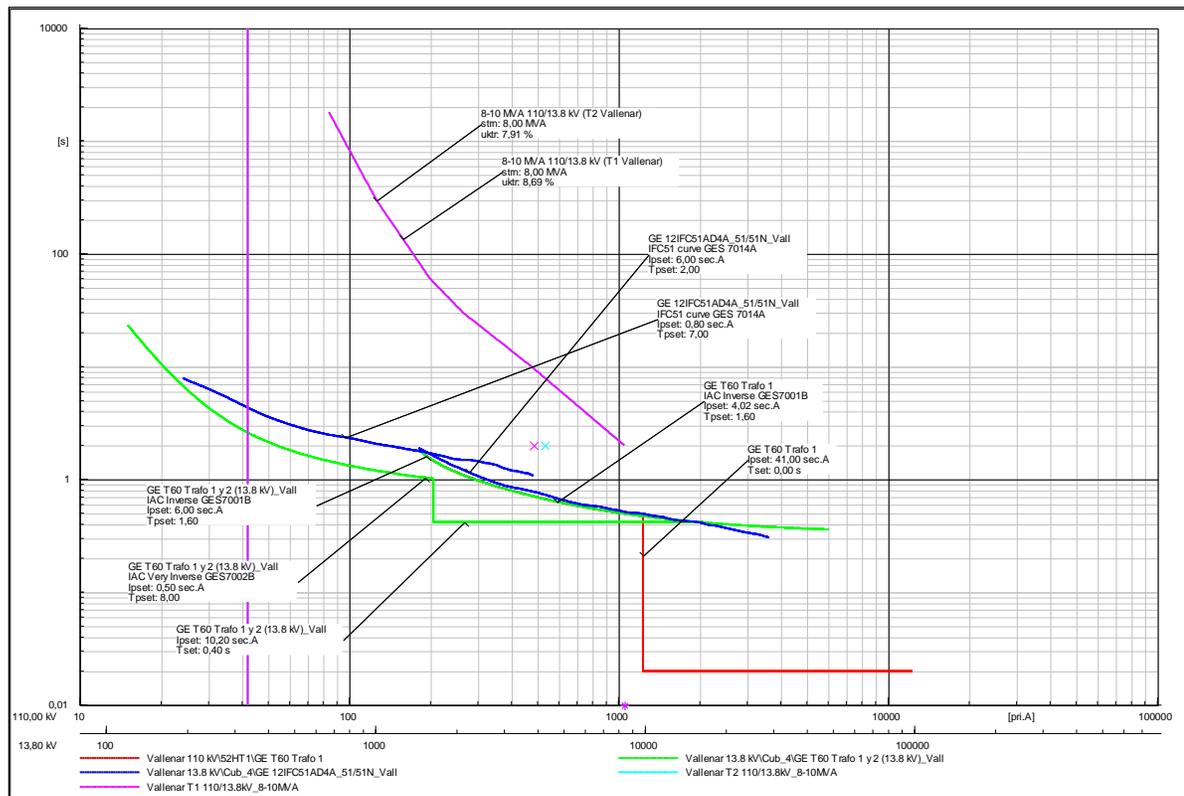


Figura 41: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase y Residual, S/E Vallenar.

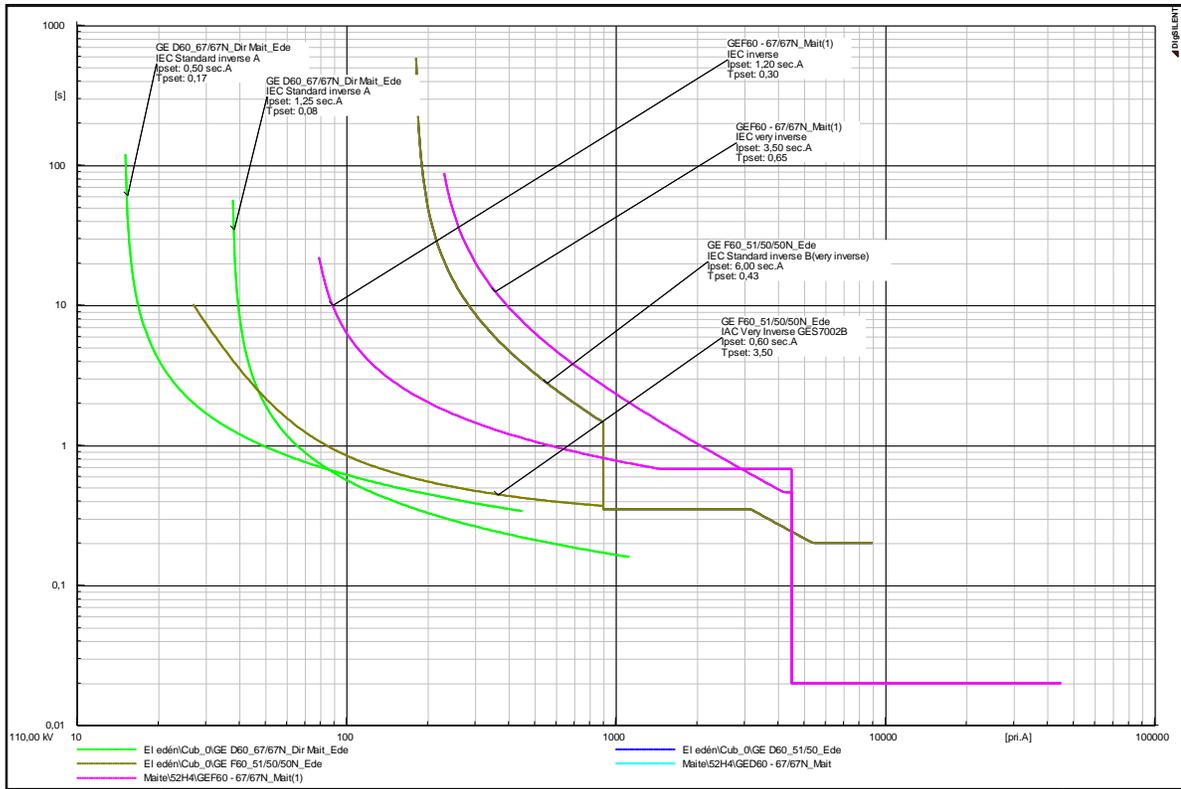


Figura 42: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase y Residual Direccionales, S/E El Edén y S/E Maitencillo.

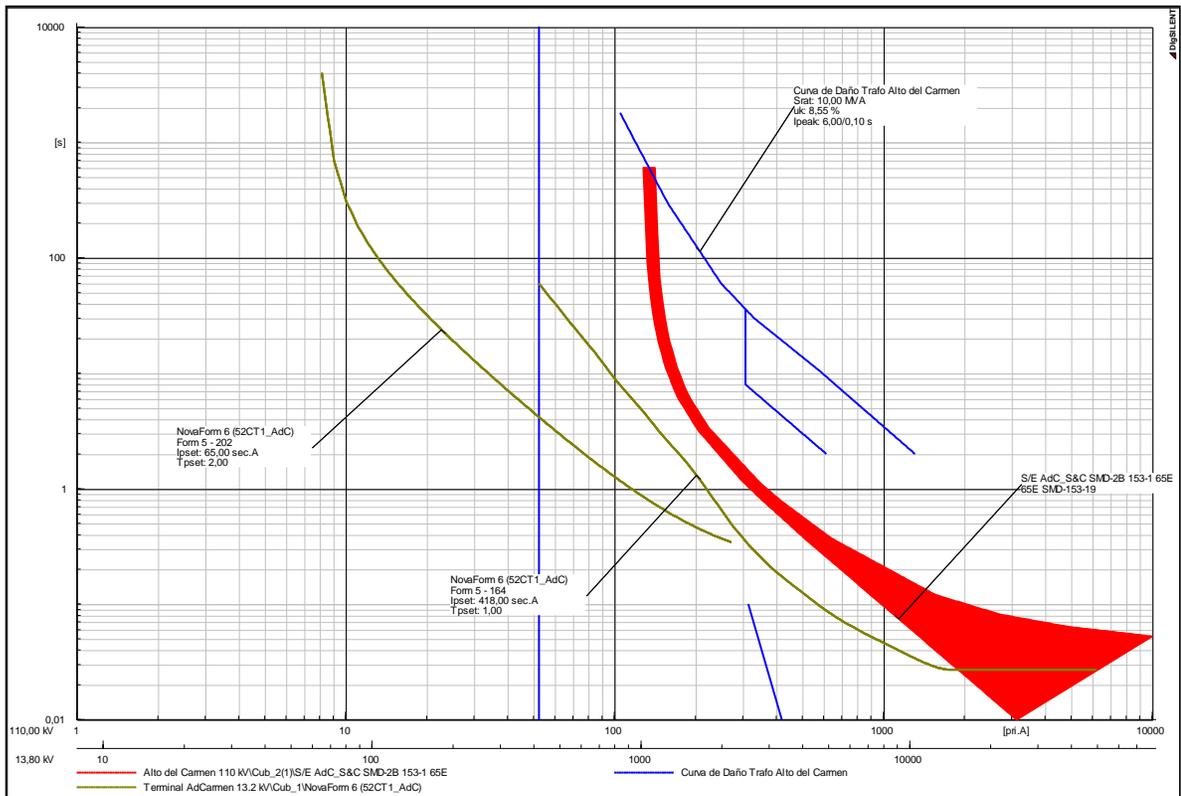


Figura 43: Curvas Tiempo/Corriente de las Protecciones S/E Alto Del Carmen.

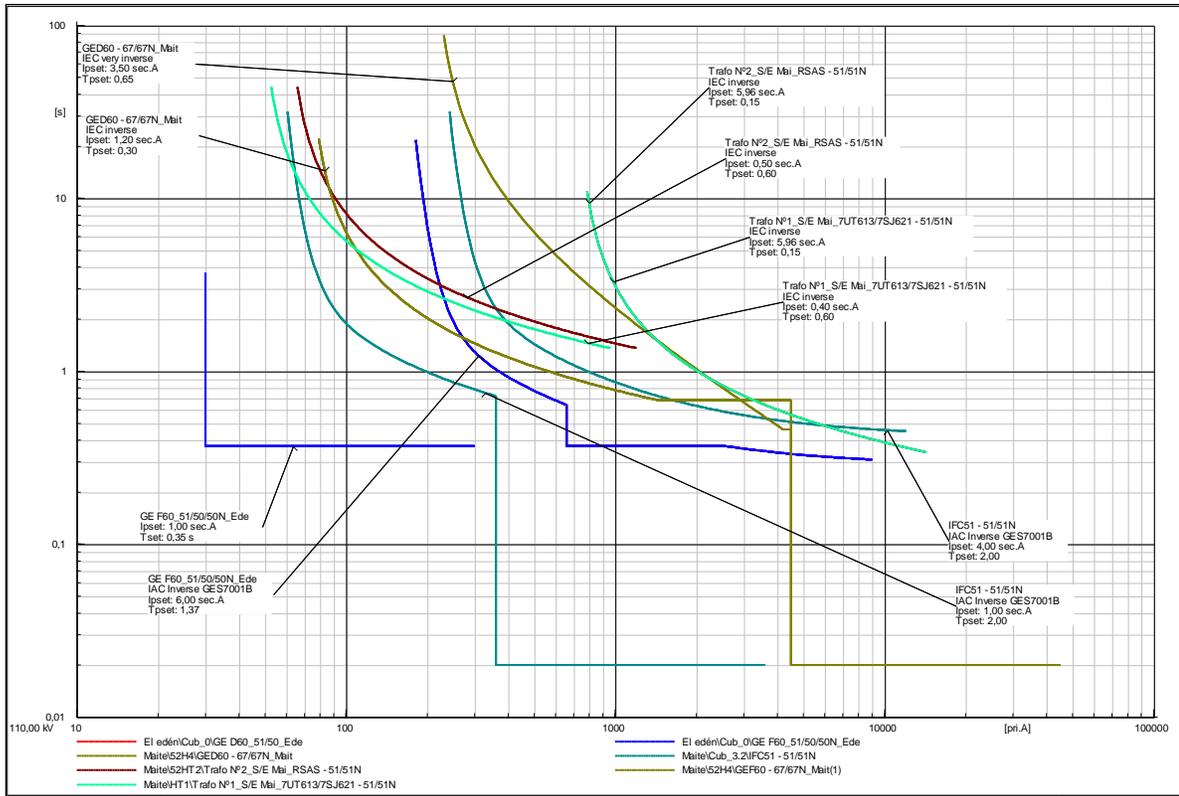


Figura 44: Curvas Tiempo/Corriente de Protecciones de Fase y Residuales, Instalaciones Aledañas al Punto de Conexión

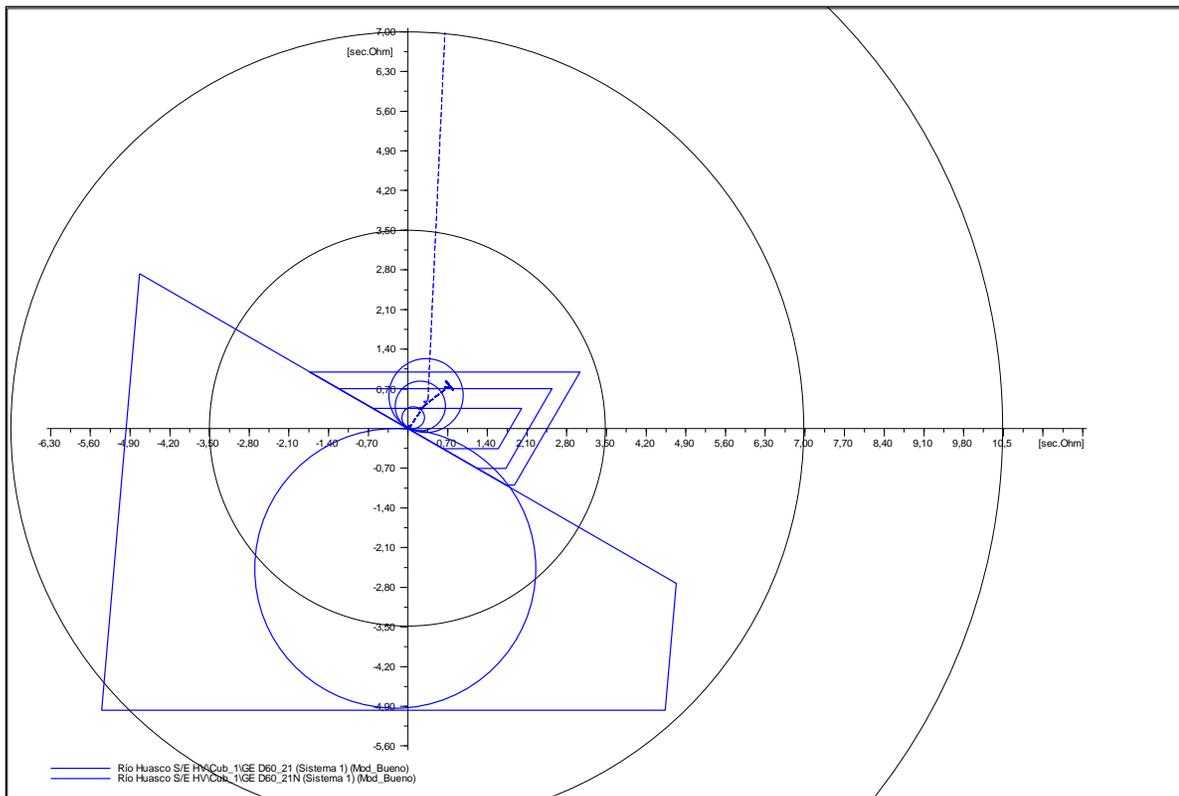


Figura 45: Diagrama X/R Equipo GE D60, Central Huasco.

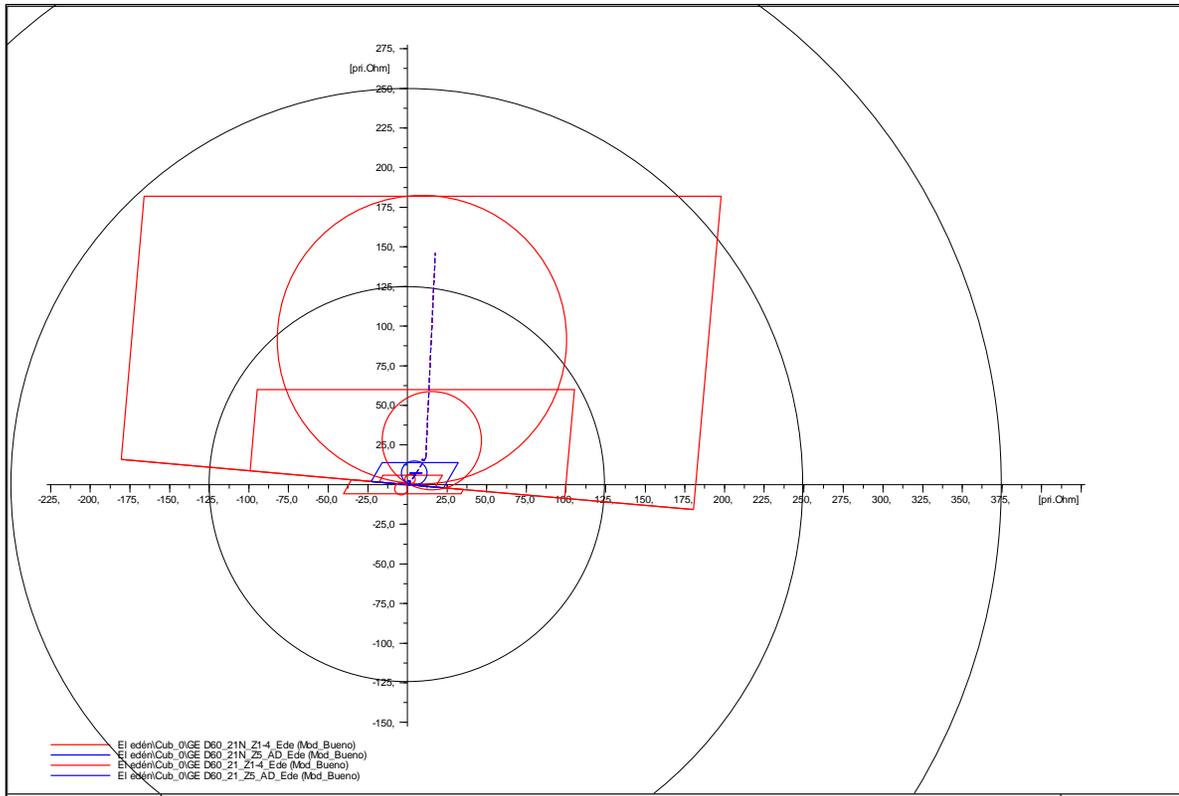


Figura 46: Diagrama X/R Equipo GE D60, Paño H1 S/E El Edén.

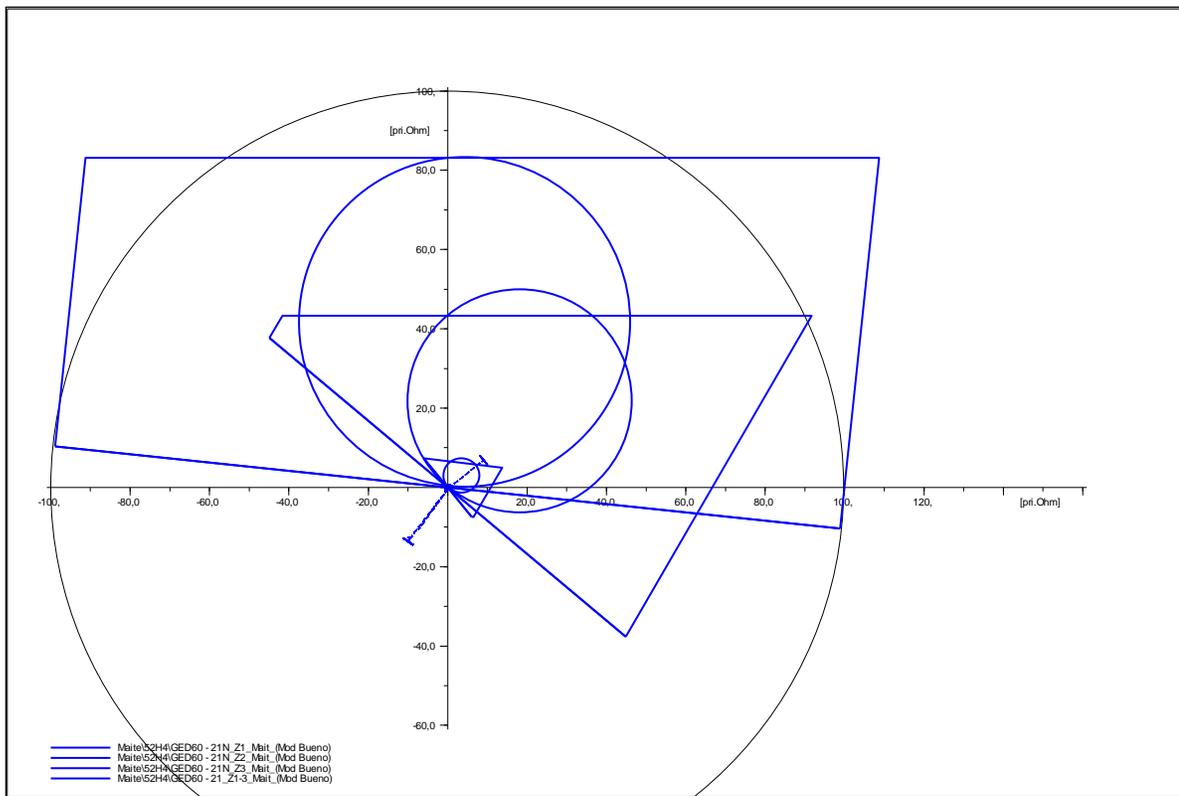


Figura 47: Diagrama X/R Equipo GE D60, Paño H4 S/E Maitencillo.