UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO Y CORTO CIRCUITO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y EL IMPACTO QUE GENERA AL CONECTARSE AL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL

PRESENTADO POR:

BACH. CCORI HUAMANI JOHAN MANUEL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

AREQUIPA - PERÚ

2019

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios

Señor Director de la Escuela Profesional de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica.

Señores Ingenieros Miembros del Jurado Dictaminador.

Cumpliendo con el reglamento de grados de títulos de la Escuela profesional de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios, de la Universidad Nacional de San Agustín, pongo a vuestra consideración el trabajo que acredita mi suficiencia profesional: **"ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO Y CORTO CIRCUITO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y EL IMPACTO QUE GENERA AL CONECTARSE AL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL",** a fin de que sea revisado y evaluado de acuerdo al reglamento de grados y títulos de nuestra universidad, que me permita obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista.

BACHILLER: CCORI HUAMANI JOHAN MANUEL

PARTE I: CURRICULUM VITAE

Nombre:
Johan Manuel Ccori Huamani
Bachiller en Ingeniería Eléctrica
DNI:
45974921
Dirección:
Av. Salaverry 104 – Int. La Gruta – Huaranguillo – Sa
Celular:
959368875
E-mail:
Ccoris.net@gmail.com
Brevete:
H45974921 AII – B

PERFIL PROFESIONAL

Capacidad 1 / Área: Automatización y Control

Habilidades: Destreza para el diseño y puesta en marcha de aplicaciones SCADA logrando implementar soluciones, como:

Logros: Implementación de la aplicación del SCADA y Diseño de equipamiento (PLC y Sensores) para un Sistema Hidropónico en la UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI (Centro de Control e Investigación). Enero 2014.

Diseño e implementación de un aplicativo SCADA para un módulo a escala de Generación Hidroeléctrica para capacitación de personal en ELECTROCENTRO de HUÁNUCO, Octubre 2013.

Capacidad 2 / Área: Ingeniería Eléctrica

Habilidades: Destreza para el análisis, modelamiento y estudio de casos de Sistemas Eléctricos de Potencia, mediante programación en lenguaje DPL y DSL del Software DigSILENT PowerFactory.

Logros: Determinación de potencia por alimentador (Análisis desarrollado en el software DigSELENT PowerFactory y NEPLAN) para sectores típicos 2 y 3; parte del PLAN DE INVERSIONES EN TRANSMISIÓN 2017-2021 DE ELECTROSUR.

Estudio ejecutado por la Consultora P&S Ingenieros S.A.C, proyecto del PLAN DE INVERSIONES EN TRANSMISIÓN 2017-2021 DE ELECTROSUR, Noviembre del 2015.

FORMACIÓN ACADÉMICA

2011 - 2015 Ingeniería Eléctrica

Universidad Nacional de San Agustín - Arequipa

Título: Bachiller en Ingeniería Eléctrica

2002 - 2004 Electrónica

Honorio Delgado Espinoza

Título: Técnico Electrónico

CONOCIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

ELECTRICA

- Dominio del Software DigSELENT PowerFactory, en modelamiento y análisis de flujo de Sistemas de Potencia e Implementación de Script con el Lenguaje DPL.
- Dominio de DLTCAD 2010, para diseño de Líneas de Transmisión.
- Dominio del Software NEPLAN, para análisis de redes me media y baja tensión.

CONTROL

- Programación de PLC: En ladder, bloques de función, texto estructurado, PL7 Junior, RSlogix 5000 para ControlLogix de Allen Bradley, PLC S7-1200 Siemens.
- Redes de bus de campo Industrial: Fibra Optica, Cableado estructurado, RS485,
- Programación de Sistemas SCADA PCVUE 9 y 10 de Arc Informatique, RS View
- Protocolos de comunicación Industrial: Modbus TCP, OPC para integración de dispositivos de campo a Sistemas SCADA, ICCP para entrega de información al COES-SINAC

INFORMÁTICA

- Bases de datos: Administración de Oracle 11g dirigido a sistemas SCADA
- Lenguajes de Programación: Microsoft VisualBasic, C#
- Diseño: AutoCAD
- Ofimática: Microsoft Office, Project, Word, Excel Avanzado (macros), Power point.
- Presupuestos S10 2005
- SAP PM

EXPERIENCIA LABORAL

Actualidad	**EMPRESA:**	**COMPAÑÍA MINERA ANTAPACCAY S.A.**
	Gerencia:	MANTENIMIENTO
	Superintendencia	ELÉCTRICO
	Cargo:	**TÉCNICO ELECTRICO DE DISTRIBUCIÓN**
	Trabajos ejecutados:	• Atención en campo de corte y reposición de subestaciones eléctricas móviles ABB de 12MVA que alimentan a palas y perforadoras en el tajo de mina. • Operación y comando a distancia de las SE Móviles mediante el software COM600 de ABB. • Descarga de los oscilogramas y eventos de falla de los relés ABB tanto de la sala principal como de las SE Móviles para análisis de causa y raíz de un evento no deseado causado por un cortocircuito trifásico, monofásico, sobrecargas u oscilación de tensión. • Ajuste de parámetros de RELE ABB REF543, REF630 • Prueba de ajuste de parámetros de RELES ABB con maleta de pruebas CMC356 • Prueba de interruptor de potencia con maleta de pruebas ACTAS P14 KOKOS en las celdas GIS de las SE Móvil de ABB. • Prueba de Transformadores con maleta de pruebas ARTR-03 • Tratamiento y regeneración de aceite de transformadores de MT y BT. • Preparación de poste de madera y armado de ferretería eléctrica para estructuras tipo anclaje y pasante; montaje de seccionador omnirupter en postes para bajada en 22.9kV y cut-out para

		bajada en 10kV. • Montaje y flechado de líneas eléctricas en 22.9kV de nuevas radiales que derivan de Loop de Mina para alimentar palas y perforadoras. • Montaje y flechado de líneas eléctricas en 10kV de nuevas radiales que derivan de Loop para alimentar cargas de Drenaje Mina. • Armado de terminaciones y cabezales en cables secos de 15kV. • Montaje de acometidas eléctricas en baja tensión en todo campamento de la minera. • Reporte de órdenes de trabajo en la plataforma Elipse y ERP SAP PM
01/01/2019-30/04/2019	**EMPRESA:**	**GRUPO CIVIL Y ELECTROMECANICO S.A.C.**
	Proyecto/obra:	MEJORAMIENTO DEL ALIMENTADOR CALLALLI 22.9 kV EN EL TRAMO CABANACONDE – LLANCA PROVINCIAS DE CAYLLOMA Y CASTILLA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA
	Cargo:	**SUPERVISOR DE OFICINA TECNICA**
	Descripción del puesto:	Encargo de la elaboración de planos de detalle de estructuras de la línea de transmisión de 22.9 kV
05/12/2017-31/12/2018	**EMPRESA:**	**COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A. UNIDAD TAMBOMAYO**
	Gerencia:	MANTENIMIENTO
	Superintendencia	PLANEAMIENTO
	Cargo:	**PROGRAMADOR DE MANTENIMIENTO**

	Trabajos ejecutados:	• Elaboración de programa de mantenimiento diario y semanal en el software ERP SAP PM de equipos de Planta concentradora para trabajos de mantenimiento Mecánico, Eléctrico e Instrumentación de: CHANCADO (faja concentradora), MOLIENDA (molino sag, molino vertical VTM, zaranda vibratoria TYLER, Alimentador de placas, electroimán autolimpiante, concentrador gravimétrico), FLOTACION (líneas de agua de flotación de zinc y plomo, bombas de transferencia espiasa, tanque de repulpador de plomo). • Parte eléctrico e instrumentación: Variador de media tensión ALTIVAR 1260, Salas eléctricas de media tensión y baja tensión, PLCs, DSCs. • Creación de planes de mantenimiento, hojas de ruta, puntos de medida, en el software ERP SAP PM. • Elaboración de gantt de todos los trabajos críticos a ejecutarse para la parada de planta concentradora en coordinación con el área operativa. • Gestión de solicitudes de materiales y componentes con el área logística almacén en la unidad, logística de compras lima, logística de reparaciones lima. • Generación y envío de reporte diario al área de gerencia y operaciones mina sobre la disponibilidad de equipos mina, equipos de planta concentradora y reporte de consumo de energía.

	EMPRESA:	**SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE** **ISELCON S.A.C.**
	Proyecto/obra:	SERVICIO DE INSTALACION DE ACOMETIDAS ELECTRICAS PARA LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LOS SWITCHGEARS DEL ANILLO DE POTENCIA 34.5 kV DE MINA
	Cargo:	**SUPERVISOR DE CAMPO**
03/04/2017- 02/12/2017	Descripción del puesto:	Encargo de supervisar la ejecución de los siguientes trabajos: • Excavación e Izaje de postes de madera de 70 pies (uno para cada Switchgear) • Montaje de transformadores monofásicos en aceite, 5 kVA, 34.5/0.22 kV., en postes de madera. • Montaje de armados monoposte, incluido la instalación de crucetas de madera, aisladores Line Post, ferretería eléctrica, pararrayos y fusibles en poste. • Montaje de bandejas portacables y tubería Conduit. • Tendido de cables de MT y BT y Conexionado de cables de MT (Celdas GIS y primario del transformador) y cables de BT en secundario del transformador. • Armado de terminaciones en MT, aéreas para uso exterior y tipo GIS • Pruebas eléctricas: VLF a terminaciones GIS Megado de cables MT, BT • Puesta en marcha.
01/03/2016	**EMPRESA:**	**ALDESA PERU S.A. (Proyecto SEAL)**

- 31/03/2017		**ISELCON S.A.C.**
	Proyecto/obra:	INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 60 kV BELLA UNIÓN-CHALA Y SSEE ASOCIADAS DE LA PROVINCIA DE CARAVELÍ-AREQUIPA
	Cargo:	**SUPERVISOR DE CAMPO**
	Descripción del puesto:	Encargado de supervisar la ejecución de los siguientes trabajos: • Excavación, retenidas, erección y cimentación de estructuras para postes de madera de 50 y 70 pies. • Montaje de estructuras de Madera (incluye aisladores) Armado Tipo Suspensión (S,S1,SB,SC) Armado Tipo Angular (A1,A2) Armado Tipo Angular (A1C,A2C) Armado Tipo Angular - Anclaje (A3) Armado Tipo Angular - Anclaje (R, RC) Armado Tipo Anclaje Especial (RE) • Tendido de conductor AAAC 120mm2/fase (inc. Accesorios y amortiguadores)
12/2015 - 03/2016	**EMPRESA:**	**MINA MMG LAS BAMBAS** **MANPOWER PROFESSIONAL SERVICES S.A**
	Proyecto/obra:	Mantenimiento mina -MMG LAS BAMBAS
	Cargo:	**Técnico Electricista.**
	Descripción del puesto:	Técnico Electricista, mantenimiento mina en la Ciudad de Nueva Fuerabamba – Mina MGG Las BAMBAS. • Mantenimientos de tableros de distribución. • Acometidas eléctricas. • Mantenimiento de tableros de transferencia.

06/2015 – 07/2015	**EMPRESA:**	**MINA MMG LAS BAMBAS** **MANPOWER PERU S.A.**
	Proyecto/obra:	Mantenimiento mina
	Cargo:	**Técnico Electricista.**
	Descripción del puesto:	Técnico Electricista mantenimiento mina de Grupos Electrógenos de 20MW en el proyecto Mina MMG Las BAMBAS.
11/2006 – 11/2011	**EMPRESA:**	**PC MULTISERVIS INGENIERIA E.I.R.L.**
	Proyecto/obra:	Proyecto Mantenimiento Minero Industrial.
	Cargo:	**Operario Electricista e Instrumentista.**
	Descripción del puesto:	Encargado del área de Mantenimiento Eléctrico; Encargado de Lectura y Elaboración de Planos Eléctricos, Diseño de Tableros Eléctricos y Electrónicos; Encargado de Programar Equipos Autómatas PLC's, Variadores de velocidad, Transferencia Automática.

EXPERIENCIA LABORAL EN DOCENCIA

02/2014 – 03/2014	**EMPRESA:**	**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN – INGENIERIA ELECTRICA**
	Proyecto/Obra:	Capacitación en Sistema SCADA y PLC's.
	Cargo:	Ponente especialista en Sistemas SCADA y Automatas Programables.
	Descripción del puesto:	Capacitación Técnica en Implementación de un Sistema SCADA en LabView e Integración de dispositivos autómatas PLC's Siemens S7-1200 para Control de un Proceso.
06/2013 – 12/2013	**EMPRESA:**	**UNIDAD DE CAPACITACION DE PRODUCCION Y SERVICIOS – UNSA**
	Proyecto/Obra:	Carrera: Técnico en Electrónica.
	Cargo:	Docente especialista en Programación de PLC's.

	Descripción del puesto:	Docente Especialista en programación de PLCs Siemens S7-1200 a nivel intermedio y avanzado.
12/2012 – 04/2013	**EMPRESA:**	**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA – PUCALLPA UCAYALI**
	Proyecto/Obra:	Diplomado en Gestión de la Automatización en el sector sub sector electricidad. Ministerio de Energía y Minas – CARELEC.
	Cargo:	Ponente especialista en Sistemas SCADA y Automatas Programables.
	Descripción del puesto:	Instructor especialista en el programa de capacitación en Electro Ucayali y ElectroCentro – Huánuco; automatización mediante pc; programación básica y avanzada de PLC's siemens; implementación básico de sistemas scada y base de datos aplicado a una central hidroeléctrica a escala.
06/2013	**EMPRESA:**	**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI – PUCALLPA**
	Proyecto/Obra:	Capacitación en Sistema SCADA y PLC's.
	Cargo:	Ponente especialista en Sistemas SCADA y Automatas Programables.
	Descripción del puesto:	PONENTE PRINCIPAL del primer seminario de Aplicación de Sistemas SCADA, PLCs, Microcontroladores e Instrumentación en la Automatización Industrial.

PARTE II, DESCRIPCION DE LA EMPRESA

Tambomayo (100% BVN) es una operación subterránea de oro y plata de alta ley que se ubica en el distrito de Tapay, provincia de Caylloma, región Arequipa, a 4,800 MSNM. Produjo exitosamente su primera barra doré en diciembre de 2016. La mina fue descubierta por Buenaventura.

Geología: Tambomayo es un yacimiento polimetálico epitermal-mesotermal en vetas de oro y plata con metales base en gangas de cuarzo, emplazados en volcánicos andesíticos del terciario. El oro se encuentra en estado nativo y electrum, mientras que la plata en sulfuros y sulfosales acompañados por galena y esfalerita. Se tiene dos sistemas de vetas principales: Mirtha, de orientación NW-SE, y Paola, de orientación N-NE. También se cuenta con áreas de exploración cercanas.

Minado: Las vetas principales del depósito corresponden a los sistemas Mirtha y Paola. El mineral es extraído a través de rampas y el crucero 4840 mediante camiones de 30 toneladas. Los métodos de explotación utilizados son los de corte y relleno ascendente y bench & fil mecanizados con equipos de bajo perfil. Para la ventilación de las labores se cuenta con dos ventiladores principales de 300,000 cfm y ventiladores secundarios para las exploraciones y desarrollos. Para el drenaje de mina se cuenta con una estación de bombeo de agua, con una capacidad de 60 l/s que evacúa el agua hacia el nivel 4740 para su tratamiento.

Metalurgia: El proceso metalúrgico de Tambomayo consiste en chancado primario, molienda fina, gravimetría y cianuración en tanques para obtener una solución rica en oro y plata a ser procesada en la planta de Merill Crowe (precipitación con zinc). El precipitado es secado y fundido obteniendo barras doré (oro y plata). El relave de cianuración ingresa al proceso de flotación, de donde se obtienen concentrados de plomo-plata y zinc-plata.

Capacidad de tratamiento: 2,000 TMD

ÍNDICE

PRESENTACIÓN ..... **I**

PARTE I: CURRICULUM VITAE ..... **II**

PARTE II, DESCRIPCION DE LA EMPRESA ..... **XII**

LISTA DE CUADROS **6**

LISTA DE FIGURAS **7**

LISTA DE GRÁFICOS **8**

RESUMEN **9**

ABSTRACT **12**

GLOSARIO Y DEFINICIONES **15**

CAPITULO I **16**

1. GENERALIDADES **16**

1.1. INTRODUCCION **16**

1.2. OBJETIVOS **17**

1.2.1. Objetivo general 17

1.2.2. Objetivo específico 17

1.3. HIPÓTESIS **17**

1.4. ALCANCES 17

CAPITULO II 19

2. GENERALIDADES 19

2.1. CONCEPTOS GENERALES 19

2.1.1. Línea de transmisión 19

2.1.2. Subestación 19

2.1.3. Generación 20

2.2. PRINCIPALES INCONVENIENTES EN UN SISTEMA ELÉCTRICO 21

2.2.1. Sobrecargas 21

2.2.2. Variación de voltaje 22

2.2.3. Cortocircuitos (Fallas) 22

2.3. COMPONENTES SIMETRICOS 23

2.3.1. Sistema de secuencia positiva 23

2.3.2. Sistema de secuencia negativa 24

2.3.3. Sistema de secuencia cero 25

2.3.4. Matriz de transformación A 26

2.3.5. Impedancia de secuencia positiva, negativa y cero 29

2.4. FALLAS EN UN SISTEMA DE POTENCIA 35

2.4.1. Fallas simétricas 35

2.4.2. Fallas asimétricas 36

2.5. ESTABILIDAD TRANSITORIA Y OSCILACIONES DE POTENCIA. 38

2.5.1. Estabilidad de un sistema eléctrico de potencia. 38

2.5.2. Estabilidad transitoria. 39

2.5.3. Ecuación de oscilación o de swing de un sistema eléctrico. 42

2.5.4. Critical Clearing Time (CCT). 46

2.5.5. Estabilidad de frecuencia 46

2.5.6. Estabilidad de tensión 47

2.6. FLUJOS DE POTENCIA DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA 51

CAPITULO III 53

3. DESCRIPCION DEL SOTWARE POWER FACTORY–DIGSILENT 53

3.1. DESCRIPCION GENERAL 53

3.2. FLUJO DE CARGA 55

3.3. CALCULOS DE CORTOCIRCUITO 57

3.3.1. Cálculo de Cortocircuito en una barra de una subestación. 58

3.3.2. Cálculo de Cortocircuito en una línea de transmisión. 60

3.4. ESTABILIDAD 60

3.4.1. Definición de los Eventos 61

3.5. CASO REAL 62

CAPITULO IV 63

4. DESCRIPCION DEL PROYECTO 63

4.1. LOCALIZACIÓN 63

4.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO 64

4.3. INFORMACION UTILIZADA 68

4.3.1. Documentos de referencia 68

4.3.2. Sistema eléctrico interconectado nacional 70

4.3.3. Expansión del sistema eléctrico interconectado nacional 71

CAPITULO V 79

5. ALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA 79

5.1. CONCEPTOS GENERALES 79

5.2. METODOLOGIA EMPLEADA 80

5.2.1. Horizonte de Análisis 80

5.2.2. Escenarios de Generación 81

5.2.3. Análisis en Estado Estacionario 81

5.3. CRITERIOS DE OPERACION 82

5.3.1. Operación Normal 82

5.3.2. Operación en Estado de Emergencia 83

5.4. CONSIDERACIONES 83

5.5. ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN OPERACIÓN NORMAL 86

5.5.1. CASO DE OPERACIÓN BASE – SIN CONSIDERAR EL PROYECTO 87

5.5.2. CASO DE OPERACIÓN PROYECTADO 91

5.6. ANÁLISIS DE CONTINGENCIA EN ESTADO ESTACIONARIO 97

CAPITULO VI 102

6. ANALISIS DE CORTOCIRCUITO 102

6.1. CONCEPTOS GENERALES 102

6.2. METODOLOGIA Y CRITERIOS 104

6.2.1. Horizonte de Análisis 104

6.2.2. Escenarios de Generación y Tipos de Falla 104

6.2.3. Metodología Empleada 106

6.3. APLICACIÓN Y ALCANCES 107

6.3.1. Evaluación de los incrementos de corriente de cortocircuito 107

6.3.2. Evaluación de interruptores de potencia 107

6.3.3. Evaluación de transformadores de corriente 107

6.4. RESULTADOS OBTENIDOS 109

6.5. VERIFICACION DE LA CAPACIDAD DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA 111

6.6. VERIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 112

CAPITULO VII 114

7. DETERMINACION DE LOS TIEMPOS CRITICOS DE DESPEJE DE FALLA .. 114

7.1. CRITERIOS Y METOLOGIA 114

7.2. EVENTOS SIMULADOS 114

7.3. RESULTADOS 114

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 119

IX. BIBLIOGRAFIA 122

X. ANEXOS 124

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Características Generales de la Línea de Transmisión en 138 kV Talta-Tambomayo 66
Cuadro 2: Tipos de Conductores de la Línea de Transmisión 66
Cuadro 3: Parámetros Teóricos Obtenidos Para la Línea de Transmisión Talta-Tambomayo 67
Cuadro 4: PROYECCIÓN DE DEMANDA DE NUEVOS PROYECTOS 2015 – 2018 . 71
Cuadro 5: Programa de Obras de Generación 2015-2018 73
Cuadro 6: Programa de Obras de Generación 2015-2018 76
Cuadro 7: Tensiones de Operación de las Barras del Sistema de Transmisión 86
Cuadro 8: Tensiones de Operación de las Barras de 138kV y 66kV 88
Cuadro 9: Niveles de Carga de los Transformadores de potencia de las Subestaciones 89
Cuadro 10: Tensiones de Operación de las Líneas de Transmisión en 138kV y 66kV 90
Cuadro 11: Resumen de los Resultados Obtenidos de las Tensiones de Operación .. 93
Cuadro 12: Niveles de Carga en Transformadores de Potencia de la Zona de Influencia del Proyecto 95
Cuadro 13: Niveles de Carga en Líneas de Transmisión en 138kV y 66kV 96
Cuadro 14: Niveles de Tensión en las Barras Aledañas al Proyecto 98
Cuadro 15: Niveles de tensión de la Línea L-1020 Santuario - Callalli 138kV 99
Cuadro 16: Máximos y Mínimos Niveles de Corriente de Cortocircuitos 109
Cuadro 17: Máximos y Mínimos Niveles de Corriente de Corto Circuito para el Caso Proyectado 110
Cuadro 18: Comparación de los Niveles de Corriente de Cortocircuito y la Ruptura de los Interruptores de Potencia 111
Cuadro 19: Comparación de los Niveles de Corriente de Cortocircuito y la Ruptura de los Interruptores de Potencia 111
Cuadro 20: Máximos Niveles de Corriente de Corrientes de Corto Circuito 112
Cuadro 21: Máximos Niveles de Corriente de Corrientes de Corto Circuito 113
Cuadro 22: Máximos niveles de corriente de cortocircuitos obtenidos para el caso base y el caso proyectado. 120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Proyecto Minero Tambomayo 63
Figura 2: Área de Influencia del Proyecto Minero Tambomayo 65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Aplicación de una falla trifásica al 1% en 387ms 116
Gráfico 2: Aplicación de una falla trifásica al 1% en 388ms 118

RESUMEN

Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. ha desarrollado el proyecto Minero Tambomayo, ubicado en el Distrito de Tapay, Provincia de Caylloma, Región Arequipa, para lo cual ha requerido energía y potencia para la explotación de dicho proyecto y sus futuras ampliaciones.

El Suministro Eléctrico para el Proyecto Minero Tambomayo es mediante la Derivación de la Línea de Transmisión 138kV Callalli - Ares entre las estructuras T-116 y T-117, donde se ha construcción la nueva subestación Talta 138kV, desde dicho punto de alimentación mediante una Línea de Transmisión en 138kV de 32.2 km de longitud se transporta la energía y potencia hasta el proyecto Minero Tambomayo, donde se ha construido la subestación Tambomayo 138/22/10kV y desde allí se alimentan a las diferentes cargas mineras mediante circuitos en 10kV.

La demanda de energía prevista para la Mina se estima en 12 MW durante el inicio de las operaciones en el primer trimestre del año 2016.

Como parte de los estudios necesarios, se ha desarrollado el presente Estudio de **ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO Y CORTO CIRCUITO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y EL IMPACTO QUE GENERA AL CONECTARSE AL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL**, de acuerdo a la Resolución de Consejo Directivo OSINERGMIN N° 035-2013-OS/CD, en el cual se Aprueba el nuevo Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en SEIN”.

Del Análisis de Flujo de Potencia en Operación Normal

- En los escenarios analizados para el caso base se puede apreciar que el sistema eléctrico de la zona de influencia del proyecto opera satisfactoriamente. Actualmente las barras que presentan el nivel de tensión más bajo son las barras de Ares (Conenhua) 138 kV con 0.97 p.u., Ares (Hochschild) 66kV con 0.95 p.u. y

Caylloma 66kV con 0.96p.u., cabe mencionar que en todas estas subestaciones se cuenta con transformadores de potencia con regulación automática bajo carga por lo tanto no existirá problemas de caída de tensión en sus respectivas barras de media tensión o baja tensión.

- Con el ingreso del proyecto Tambomayo los perfiles de tensión y niveles de cargabilidad en la zona de influencia del proyecto se mantienen dentro de los límites permitidos. El nivel de tensión de la barra de Ares (Conenhua) 138 kV se reduce de 0.97 p.u a 0.95 p.u, este valor se encuentra dentro de los límites de operación normal, adicionalmente el transformador de potencia de Ares tiene una relación de transformación 132±10x1% / 66/21.9 kV, lo cual garantiza que no existirá problemas de caída de tensión en las subestaciones aguas abajo de 66kV.
- El transformador de la S.E. Tambomayo trabajará con un nivel de carga máximo del 51%. La nueva línea en 138 kV Talta - Tambomayo presenta un nivel máximo de carga del 18.9%.

Del Análisis de Contingencias

- De todos los casos analizados sólo se aprecia que el caso 1(Salida L-1008 Tintaya-Callalli) y caso 2 (Salida L-1020 Santuario-Callalli) son los que producen un mayor impacto en los niveles de tensión en la zona de influencia del proyecto, sin embargo, los valores encontrados están dentro de los límites permisibles para casos de contingencias.

Del Análisis de Cortocircuito

- En el siguiente cuadro resumen se puede observar los máximos niveles de corriente de cortocircuito obtenidos para el caso base y el caso proyectado:

Subestación	Barra Fallada (kV)	Año 2016 Caso Base		Año 2016 Caso Proyectado	
		Falla Trifásica	Falla Monofásica	Falla Trifásica	Falla Monofásica
		I"k (kA)	3IO" (kA)	I"k (kA)	3IO" (kA)
Santuario	138	7.889	8.767	7.907	8.783
Tintaya	138	4.081	4.832	4.081	4.834
Callalli	138	2.579	2.474	2.586	2.531
	66	1.403	0.019	1.398	0.019
	24	2.772	3.760	2.760	3.744
Ares (Conenhua)	138	1.077	1.167	1.076	1.210
	66	1.286	1.545	1.277	1.544
Ares (Hochschild)	66	0.588	0.018	0.586	0.018
	33	0.806	0.830	0.799	0.828
	4.16	5.475	0.410	5.438	0.414
Talta	138	-	-	1.413	1.500
Tambomayo	138	-	-	1.078	1.225
	10	-	-	7.040	0.000

- El ingreso del proyecto Tambomayo produce un mínimo incremento en la corriente de falla de las barras de 138kV de Callalli y Ares, para fallas monofásicas se tiene un incremento menor a 100A, debido al aporte del neutro puesto a tierra del transformador de potencia de Tambomayo.
- Con los niveles máximos de corriente de cortocircuito se verificó la saturación de los transformadores de corriente y la capacidad de ruptura de los interruptores de potencia de las subestaciones Talta y Tambomayo, encontrándose los valores dentro de lo permitido.

De los Tiempos Críticos de Despeje de Falla

- De las simulaciones efectuadas se obtiene que el tiempo crítico de despeje para fallas al 1% de la línea de transmisión Talta-Tambomayo 138kV es de 387 milisegundos.

Palabras Claves: Barras, Cargabilidad, Cortocircuito, Tiempo Crítico.

ABSTRACT

The Company Mining Buenaventura SAA has developed the Mining Tambomayo project, located in the District of Tapay, Province of Caylloma, Arequipa region, for which it has energy and power required for the operation of the project and its future expansion.

The power supply for the Tambomayo Mining Project is by Deriving Transmission Line 138kV Callalli - Ares between structures T-116 and T-117, which has built the new substation Talta 138kV from said feed point via a line broadcast 138kV 32.2 km long energy and power is transported to the mining Tambomayo project, which has built Tambomayo 138/22 / 10kV substation and from there are fed to the various loads by mining circuits 10kV.

Energy demand expected for the mine is estimated at 12 MW during the start of operations in the first quarter of 2016.

As part of the necessary studies, the present STABILITY ANALYSIS IN STATIONARY AND SHORT CIRCUIT STATUS OF THE 138kV TALTA TRANSMISSION LINE - TAMBOMAYO AND THE IMPACT THAT GENERATES TO CONNECT TO THE NATIONAL INTERCONNECTED ELECTRICAL SYSTEM, has been developed Resolution of the OSINERGMIN Board of Directors N ° 035-2013-OS / CD, in which the new Technical Procedure COES PR-20 “Entrance, Modification and Removal of Facilities in SEIN” is approved.

Analysis of Power Flow in Normal Operation

- In the scenarios analyzed for the base case it can be seen that the electrical system in the area of influence operates satisfactorily. Currently the bars have low voltage level are more bars Ares (Conenhua) 138 kV with 0.97 pu, Ares (Hochschild) 66kV to 66kV Caylloma 0.95 pu and with 0.96pu worth mentioning that in all these substations has power transformers with automatic adjustment under load therefore there will be no problems of voltage drop respective rods medium voltage or low voltage.
- With the entry of Tambomayo project profiles tension and chargeability levels in the area of influence of the project they are kept within allowable limits. The voltage

level bar Ares (Conenhua) 138 kV is reduced to 0.97 pu to 0.95 pu, this value is within the limits of normal operation, further power transformer Ares has a transformation ratio 132 ± 10x1 % / 66 / 21.9 kV, which ensures that there will be no voltage drop problems in downstream substations 66kV.

- The transformer SE Tambomayo will work with a maximum charge level of 51%. The new line 138 kV Talta - Tambomayo has a maximum loading level of 18.9%.

Contingency Analysis

- In all cases analyzed only seen that the case 1 (Output L-1008 Tintaya- Callalli) and case 2 (Output L-1020 Sanctuary-Callalli) are those that produce a greater impact on the voltage levels in the area of influence project, however, the values found are within permissible limits for contingency cases.

Short Circuit Analysis

- The following table summary shows the maximum short-circuit current levels obtained for the base case and the case projected:

substation	Bar Fallada (KV)	2016 Base case		2016 Screened case	
		Failure Three-phase	Failure monophasic	Failure Three-phase	Failure monophasic
		I "k (kA)	3IO "(kA)	I "k (kA)	3IO "(kA)
Sanctuary	138	7,889	8,767	7,907	8,783
Tintaya	138	4,081	4,832	4,081	4,834
Callalli	138	2,579	2,474	2,586	2,531
	66	1,403	0.019	1,398	0.019
	24	2,772	3,760	2,760	3,744
Ares (Conenhua)	138	1,077	1,167	1,076	1,210
	66	1,286	1,545	1,277	1,544
Ares (Hochschild)	66	0.588	0.018	0.586	0.018
	33	0.806	0.830	0.799	0.828
	4.16	5,475	0.410	5,438	0.414
Talta	138	-	-	1,413	1,500
Tambomayo	138	-	-	1,078	1,225
	10	-	-	7,040	0,000

- The income Tambomayo project produces a minimal increase in the fault current bars 138kV Callalli and Ares, for single-phase faults you have a less than 100A increased due to the contribution of neutral earthing transformer power Tambomayo.
- With the highest levels of short circuit current saturation of current transformers and the breaking capacity of the circuit breakers of substations Tambomayo Talta and verified, being values as allowed.

Critics fault clearance times

- The simulations carried out it is found that the critical clearing time for failure to 1% of the transmission line Talta-Tambomayo 138kV is 387 milliseconds.

Keywords: Bars, sibility Load, Short Circuit, Time Critical.

GLOSARIO Y DEFINICIONES

ONAN: Transformador con circulación natural de aceite y aire

ONAF: Transformador con circulación natural de aceite y ventilación forzada por aire

COES: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional

SEIN: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

CCT: Tiempo crítico de despeje de falla

Digsilent power factory: Software computarizado para el diseño asistido de ingeniería para el análisis de sistemas eléctricos de potencia comerciales, industriales y a gran escala

Estado estacionario: Se dice que un sistema o proceso está en estado estacionario si las variables que definen su comportamiento (las llamadas variables de estado), respecto del tiempo, permanecen invariantes

Avenida: Período de lluvias

Estiaje: Periodo de pocas lluvias

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

Compañía de Minas Buenaventura S.A.A actualmente ha desarrollado el Proyecto Minero Tambomayo, en cuyas instalaciones se lleva a cabo la explotación de oro y plata de alta ley. El proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Tapay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa.

El suministro de energía eléctrica para el Proyecto Tambomayo será desde la nueva S.E. Talta 138kV, esta subestación secciona a la línea existente L-1040 Callalli – Ares de 138kV entre las estructuras T-166 y T-167, desde la S.E. Talta se ha construido una línea de transmisión en simple terna de 32.2km en 138kV hasta la nueva S.E. Tambomayo; en la S.E. Tambomayo se ha instalado un transformador de 138/22/10kV, el cual alimenta las diferentes cargas mineras mediante circuitos en 10kV. Se ha iniciado la puesta en marcha operacional del proyecto Tambomayo en el primer trimestre del año 2016 con una máxima demanda de 12 MW.

El presente informe da a conocer los criterios, metodología y resultados del análisis de flujos de potencia y cortocircuito en las distintas condiciones de operación del sistema eléctrico bajo estudio, así como de la zona de influencia. Igualmente, se anexa todos los datos utilizados que han servido de referencia para la actualización del presente estudio y el desarrollo de futuros proyectos de expansión.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Determinar mediante el análisis de flujo de potencia de la operación en estado estacionario, que con el ingreso del proyecto Tambomayo los perfiles de tensión y niveles de cargabilidad en la zona de influencia del proyecto se mantienen dentro de los límites permitidos.

1.2.2. Objetivo específico

- Determinar los niveles de corriente de cortocircuito en cada una de las barras y niveles de tensión de las subestaciones Talta y Tambomayo, cuyos resultados serán utilizados para la evaluación de los equipos de maniobra, medida y protección proyectados.
- Determinar el tiempo crítico de despeje para fallas al 1% de la línea de transmisión Talta-Tambomayo 138kV

1.3. HIPÓTESIS

Demostrar, mediante el análisis de la operación en estado estacionario, que la conexión al SEIN de la demanda correspondiente al proyecto minero Tambomayo no tendrá un impacto negativo sobre la capacidad y condiciones de operación del sistema de transmisión en 138 kV adyacente a la S.E. Talta.

1.4. ALCANCES

a) Realizar el análisis del comportamiento en estado estacionario del sistema de transmisión en 138 kV del área de influencia del proyecto, tanto en condiciones normales de operación como en contingencia, para los escenarios hidrológicos de avenida y estiaje 2016, en condiciones de máxima demanda, media demanda y mínima demanda, considerando los principales proyectos de generación, transmisión y demanda a ejecutarse en el SEIN en dicho horizonte de análisis.

b) Determinar los niveles de corriente de cortocircuito en las subestaciones Talta y Tambomayo para el año 2016, considerando los principales proyectos de generación y transmisión a ejecutarse en el SEIN en dicho horizonte de análisis.
c) Verificar la capacidad de cortocircuito de los interruptores de potencia y la clase de precisión de los transformadores de corriente destinados a los dispositivos de protección de la línea de transmisión en 138kV Talta - Tambomayo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2. GENERALIDADES

2.1. CONCEPTOS GENERALES

2.1.1. Línea de transmisión

Una línea de transmisión es una estructura que sirve para transmitir la potencia eléctrica de un lugar a otro. Las líneas de transmisión se las utiliza específicamente para cubrir distancias largas y transmitir grandes potencias.

Usualmente las líneas de transmisión emplean valores de voltaje de 138kV o superiores, denominados alta tensión. Las líneas de transmisión sirven para transmitir la potencia eléctrica desde un punto de generación hasta los puntos de consumo (cargas).

2.1.2. Subestación

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, con el fin de facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador. Tiene como finalidad aportar con el control del voltaje de un sistema interconectado, brindando confiabilidad y estabilidad al sistema, y, por ende, a la zona en la que se encuentra ubicada la misma.

Existen varios tipos de subestaciones:

- **Subestación Elevadora**

Subestación de transformación en la cual la potencia de salida de los transformadores está a una tensión más alta que la potencia de entrada. Las subestaciones eléctricas elevadoras se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para aumentar la tensión de salida de sus generadores.

- **Subestación Reductora**

Estación de transformación en la cual la potencia que sale de los transformadores tiene una tensión más baja que la potencia de entrada. Estas subestaciones son por lo general las subestaciones de transmisión y de distribución.

- **Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito**

Es la destinada a la conexión entre dos o más circuitos y su maniobra. Estas subestaciones son por lo general de un solo nivel de voltaje.

2.1.3. Generación

Es donde se produce la energía eléctrica, por medio de las centrales generadoras, las que representan el centro de producción, y dependiendo de la fuente primaria de energía; las centrales más comunes son: Centrales hidroeléctricas, Centrales térmicas, Centrales eólicas, Centrales solares.

En régimen normal, todas las unidades generadoras del sistema se encuentran en "sincronismo", es decir, mantienen ángulos de cargas constantes. En este régimen, la frecuencia debe ser nominal (60 Hz) o

muy cercana a ésta. Los voltajes de generación varían de 2.4 a 24 kV, siendo 13.8 kV la más común.

2.2. PRINCIPALES INCONVENIENTES EN UN SISTEMA ELÉCTRICO

En el sistema eléctrico interconectado nacional se presentan varios problemas o inconvenientes, ya sea en las líneas de transmisión, en los equipos de patio de las subestaciones, en las centrales de generación o en los puntos de carga, como lo son las sobrecargas, las fluctuaciones de voltaje y los cortocircuitos.

Todo sistema interconectado tiene que tener un balance entre la generación total y la carga total para poder mantener el valor de la frecuencia en su valor fundamental (60 Hz).

$$\sum Generacion = \sum Carga$$

2.2.1. Sobrecargas

Una sobrecarga es cuando la suma total de las potencias de los equipos o cargas conectadas a una red o circuito, es mayor a la potencia para la cual está diseñada dicha red.

Una sobrecarga produce bajos voltajes en el circuito al cual está conectada dicha carga, y además puede llegar a causar daños mayores cuando esta es muy prolongada.
Las sobrecargas producen calentamiento excesivo en los conductores, lo que puede significar la destrucción de su aislamiento.

2.2.2. Variación de voltaje

Los sobrevoltajes nunca son deseados en los sistemas eléctricos de potencia, debido a que con el paso del tiempo este puede traer daños en los equipos, tales como:

- Perdida del aislamiento, debido a que los aisladores se ven sometidos a altos voltajes que pueden deteriorarlos.
- Los sobrevoltajes transitorios pueden originarse por maniobras de conexión o desconexión, descargas atmosféricas y descargas electrostáticas. Los transitorios eléctricos más severos son los ocasionados por las descargas atmosféricas. Éstas pueden dañar el aislamiento de transformadores, motores, capacitores, cables y ocasionar fallas en líneas de transmisión por la ionización del aire. La protección del aislamiento del equipo eléctrico se ha llevado a cabo tradicionalmente con pararrayos y capacitores.

2.2.3. Cortocircuitos (Fallas)

Se originan por la unión fortuita de dos líneas eléctricas sin aislación, entre las que existe una diferencia de potencial eléctrico (fase-neutro, fase-fase). Durante un cortocircuito el valor de la intensidad de corriente se eleva de tal manera, que los conductores eléctricos pueden llegar a fundirse en los puntos de falla, generando excesivo calor, chispas e incluso flamas, con el respectivo riesgo de incendio.

Se producen también cortocircuitos cuando existe la ruptura del aislador, debido muchas veces, al deterioro del material dieléctrico. Debido a que un cortocircuito puede causar importantes daños en las instalaciones eléctricas e incluso incendios en subestaciones, estas

instalaciones están normalmente dotadas de equipos de protección, como fusibles o interruptores, con el fin de proteger a las personas y a los equipos.

2.3. COMPONENTES SIMETRICOS

Las componentes simétricas es un artificio matemático mediante el cual se realiza una descomposición de valores de voltajes y corrientes desbalanceados con la finalidad de transformar un sistema de tres fases desbalanceado en tres sistemas balanceados.

Esta descomposición es muy útil para analizar el sistema de potencia con fallas asimétricas que producen un desbalance en los voltajes y las corrientes. Cualquier sistema trifásico desbalanceado se puede descomponer en tres sistemas balanceados que son:

a) Sistema de secuencia positiva.
b) Sistema de secuencia negativa.
c) Sistema de secuencia cero.

2.3.1. Sistema de secuencia positiva

El sistema de secuencia positiva es el común sistema trifásico balanceado, es de secuencia ABC y cuando los fasores de las fases a, b y c rotan en el mismo igual sentido al de las manecillas del reloj se observa que pasan en secuencia ABC, tal como se indica en la figura 2.1 Los fasores de la secuencia positiva se los identifica con el subíndice 1.

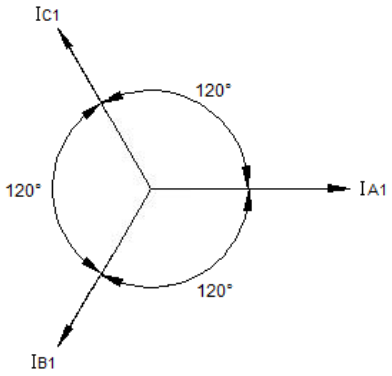


Figura 2.1 Sistema de secuencia positiva. [9]

2.3.2. Sistema de secuencia negativa

El sistema de secuencia negativa es un sistema trifásico balanceado en la secuencia ACB y cuando los fasores de las fases a, b y c rotan en sentido contrario al de las manecillas del reloj se observa que pasan en secuencia ACB, tal como se indica en la figura 2.3 Los fasores de la secuencia negativa se los identifica con el subíndice 2.

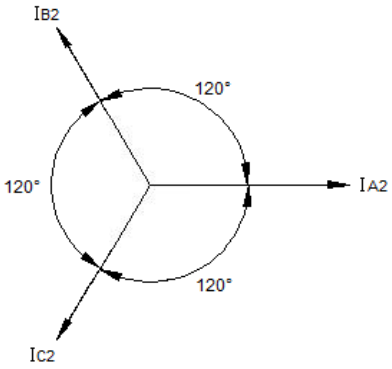


Figura 2.2 Sistema de secuencia negativa. [9]

2.3.3. Sistema de secuencia cero

El sistema de secuencia cero es un sistema formado por tres fasores de igual magnitud y en fase, tal como se muestran en la figura 2.4. Los fasores de la secuencia cero se los identifica con el subíndice 0.

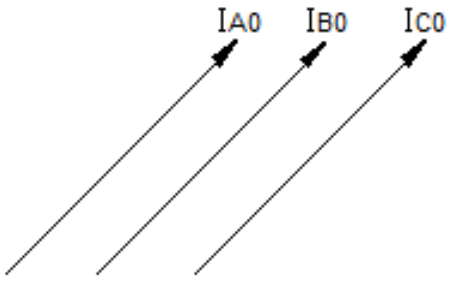


Figura 2.3 Sistema de secuencia cero. [9]

Estos tres sistemas de las componentes simétricas tienen la particularidad que sumados fasorialmente en cada una de las fases da como resultado el sistema desbalanceado original. De manera que las corrientes desbalanceadas son:

$$I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2}$$
$$I_B = I_{B0} + I_{B1} + I_{B2}$$
$$I_C = I_{C0} + I_{C1} + I_{C2}$$

Las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero, físicamente no están descompuestas en el sistema eléctrico de potencia, sino que es un artificio matemático que facilita el estudio de los sistemas eléctricos con fallas asimétricas. Realmente tenemos una sola corriente en cada fase, estas corrientes son IA, IB, IC en cada una de ellas.

2.3.4. Matriz de transformación A

Considere las componentes simétricas de corrientes desbalanceadas como las que se presentan en la figura 2.4, los mismos que sumados representan el sistema de trifásico desbalanceado. Nótese que no necesariamente si IA1 está a cero grados, IA2 también lo está.

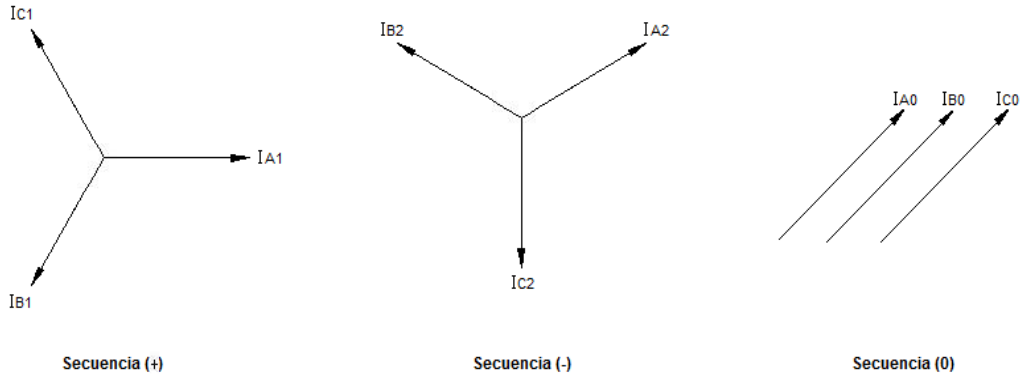


Figura 2.4 Componentes simétricas de corrientes desbalanceadas. [9]

Si tomamos como referencia los fasores de secuencia positiva, negativa y cero de la fase A, podríamos obtener los fasores de las otras fases, únicamente desplazándolos a 120, 240 ó 360 grados.

Para facilitar la transformación se utilizará el fasor unitario a, que se lo define así:

$$a = 1\angle 120°;\ a^2 = 1\angle 240°;\ a^3 = 1\angle 0°$$

Luego,

$$I_{A1} = I_{A1} \qquad I_{A2} = I_{A2} \qquad I_{A0} = I_{A0}$$
$$I_{B1} = a^2 I_{A1} \qquad I_{B2} = a\ I_{A2} \qquad I_{B0} = I_{A0}$$
$$I_{C1} = a\ I_{A1} \qquad I_{C2} = a^2 I_{A2} \qquad I_{C0} = I_{A0}$$

Luego, las corrientes desbalanceadas quedan así:

$$I_A = I_{A0} + I_{A1} + I_{A2}$$
$$I_B = I_{B0} + I_{B1} + I_{B2} = I_{A0} + a^2 I_{A1} + aI_{A2}$$
$$I_C = I_{C0} + I_{C1} + I_{C2} = I_{A0} + aI_{A1} + a^2 I_{A2}$$

Lo que se puede agrupar así:

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix}$$

$$\left[I_\phi\right] = \left[A\right]\left[I_{0,1,2}\right]$$

Luego, conociendo IA0, IA1 e IA2 se pueden encontrar todas las corrientes.

Además,

$$\left[A\right]^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

Además, se puede sacar el subíndice “A” sabiendo que siempre nos referimos a la fase A. Así:

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix}$$

Por lo que las corrientes de secuencia positiva, negativa y cero se pueden escribir así:

$$I_0 = \frac{1}{3}\left(I_A + I_B + I_C\right)$$
$$I_1 = \frac{1}{3}\left(I_A + aI_B + a^2 I_C\right)$$
$$I_2 = \frac{1}{3}\left(I_A + a^2 I_B + aI_C\right)$$

La ecuación matricial anterior es usada para determinar las corrientes de secuencias positiva, negativa y cero de la fase A, (a partir de las cuales se encuentran las de las fases B y C desplazándolas 120° y 240° según la secuencia) en base a las corrientes desbalanceadas reales.

En un sistema con impedancias desbalanceadas como el que se presenta en la figura 2.5 circularán corrientes desbalanceadas y el voltaje en la carga también será desbalanceado.

Cuando la carga es desbalanceada y tiene un neutro conectado a tierra, la corriente en el neutro es solamente la suma de las componentes de secuencia cero de las tres fases, pues la suma de las corrientes de secuencia positiva y negativa son cero. Por lo indicado la corriente en el neutro es igual a tres veces la corriente de secuencia cero.

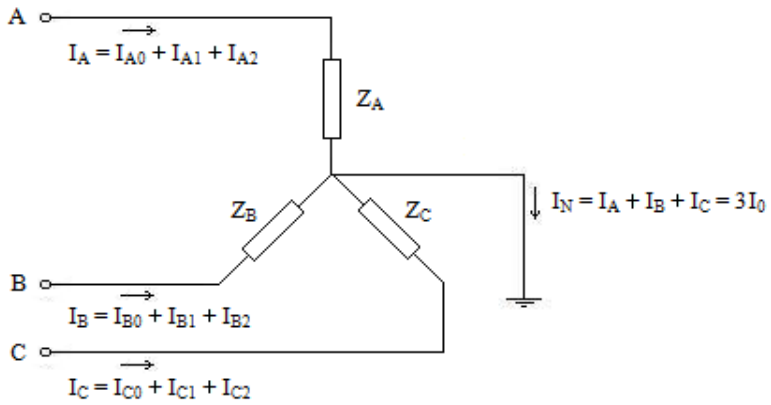


Figura 2.5 Componentes simétricas de corrientes desbalanceadas. [10]

Así mismo para los voltajes:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}$$

2.3.5. Impedancia de secuencia positiva, negativa y cero

Considere la línea de transmisión trifásica con impedancias de fase, propias y de acoplamiento, desbalanceadas como se muestra en la figura 2.6.

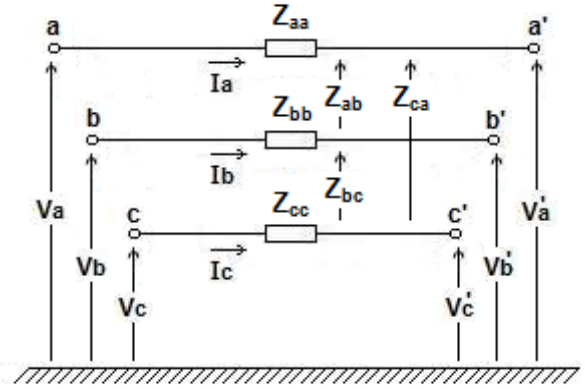


Figura 2.6 Impedancias de fases propias y de acoplamiento desbalanceadas. [10]

Las ecuaciones que rigen el comportamiento de la línea son las siguientes:

$$V_a = I_a Z_{aa} + I_b Z_{ab} + I_c Z_{ca} + V_a^{'}$$
$$V_b = I_b Z_{bb} + I_a Z_{ab} + I_c Z_{bc} + V_b^{'}$$
$$V_c = I_c Z_{cc} + I_a Z_{ca} + I_b Z_{bc} + V_c^{'}$$

Reordenando, la caída de voltaje en cada fase es:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$\left[\Delta V_\phi\right] = \left[Z_\phi\right]\left[I_\phi\right]$$

Donde:

$\left[\Delta V_\phi\right]$ Es la matriz caída de voltajes por fase

$\left[Z_\phi\right]$ Es la matriz impedancia de fase

$\lfloor I_\phi \rfloor$ Es la matriz de las corrientes de fase

Usualmente las impedancias de las fases son iguales, por lo que se tiene que:

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc}$$

Además, si se considera que Zab = Zbc = Zca se tiene que:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_a \\ \Delta V_b \\ \Delta V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ab} \\ Z_{ab} & Z_{aa} & Z_{ab} \\ Z_{ab} & Z_{ab} & Z_{aa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

Pero,

$$\lfloor \Delta V_\phi \rfloor = [A][\Delta V_{0,1,2}]$$
$$\lfloor I_\phi \rfloor = [A][I_{0,1,2}]$$

Reemplazando se pueden escribir las siguientes ecuaciones:

$$[A][\Delta V_{0,1,2}] = [Z_\phi][A][I_{0,1,2}]$$

$$[\Delta V_{0,1,2}] = [A]^{-1}[Z_\phi][A][I_{0,1,2}]$$

Agrupando matrices del segundo término de la ecuación se tiene:

$$[A]^{-1}[Z_\phi][A] = [Z_{0,1,2}]$$

La ecuación anterior se la puede llamar como la matriz impedancia de secuencia o de componentes simétricas.

$$[\Delta V_{0,1,2}] = [Z_{0,1,2}][I_{0,1,2}]$$

Todo el desarrollo realizado se cumple para la situación de que las impedancias de los acoplamientos son iguales, esto es si Zab = Zbc = Zca. Esta especial condición en los parámetros de las líneas de transmisión se cumple exclusivamente cuando la línea está dispuesta como se muestra en la figura 2.7.

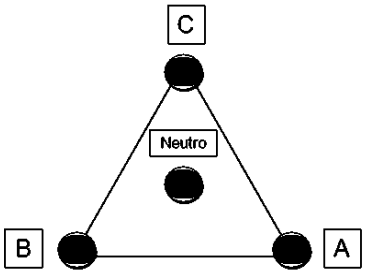


Figura 2.7 Configuración de la línea de transmisión para la condición especial. [10]

Sin embargo, consideramos que Zab = Zbc = Zca para propósitos de simplificación ya que en la práctica no se tiene el neutro como en la figura anterior.

Con esta consideración, se procede a determinar que se obtienen como matriz de impedancias de secuencia, para lo cual se deberá resolver lo que sigue, así:

$$[Z_{0,1,2}] = [A]^{-1}[Z_{\phi}][A] = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ab} \\ Z_{ab} & Z_{aa} & Z_{ab} \\ Z_{ab} & Z_{ab} & Z_{aa} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\left[Z_{0,1,2}\right]=\begin{bmatrix} Z_{aa}+2Z_{ab} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{aa}-Z_{ab} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{aa}-Z_{ab} \end{bmatrix}$$

De modo que:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_0 \\ \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Donde:

$Z_0 = Z_{aa} + 2Z_{ab}$, es la impedancia de secuencia cero

$Z_1 = Z_{aa} - Z_{ab}$, es la impedancia de secuencia positiva, y

$Z_2 = Z_{aa} - Z_{ab}$, es la impedancia de secuencia negativa

Notar que la impedancia Z0 es la mayor que las impedancias Z1 = Z2. Esto ocurre para líneas de transmisión ya que en las máquinas rotativas la impedancia de secuencia cero es la menor que las impedancias de secuencia positiva y negativa.

De lo anterior se puede escribir que:

$$\Delta V_0 = Z_0 I_0$$
$$\Delta V_1 = Z_1 I_1$$
$$\Delta V_2 = Z_2 I_2$$

Este resultado es importante ya que indica que corrientes de una determinada secuencia sólo producen caídas de voltaje en las impedancias de su misma secuencia. Es decir, los circuitos de secuencia positiva, negativa y cero, son totalmente independientes o están desacoplados.

El resultado logrado, esto es la completa independencia de los circuitos de secuencia, se debe a las diferentes simplificaciones que se realizaron, pero es una buena aproximación de ingeniería, la misma que se utilizará en el análisis de las fallas asimétricas de los sistemas eléctricos de potencia.

Según esto, los circuitos de secuencia totalmente independientes y desacoplados son como se muestra en la figura 2.8.

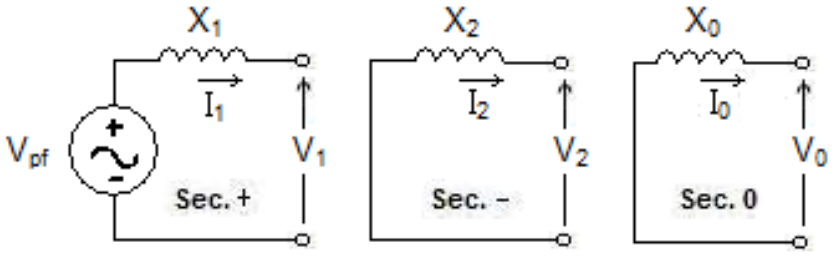


Figura 2.8 Circuitos de secuencia independientes y desacoplados. [10]

Donde,

$$V_1 = V_{pf} - jI_1X_1$$
$$V_2 = -jI_2X_2$$
$$V_0 = -jI_0X_0$$

Nótese que sólo el circuito de secuencia positiva posee fuente de voltaje. Esto es debido a que se considera que sólo serán generados voltajes de secuencia positiva.

2.4. FALLAS EN UN SISTEMA DE POTENCIA

El análisis de las fallas en los sistemas eléctricos de potencia se realiza con la finalidad de conocer los valores de voltaje en las barras, la corriente y la potencia que circula en las líneas durante este disturbio, conocer la afectación que estos disturbios producen en los elementos del sistema, y así proponer la protección más adecuada a los elementos que forman el sistema de potencia.

Las fallas se pueden clasificar en simétricas y asimétricas:

2.4.1. Fallas simétricas

Las fallas simétricas en los sistemas eléctricos existen solo de un tipo, la falla trifásica.

Falla trifásica

La falla trifásica a tierra que se analizará, es una falla simultánea en las tres fases que se conectan sólidamente a tierra; por lo que el análisis que se debe realizar es de un sistema balanceado, tal como se realizó el análisis de flujo de carga en condiciones normales de operación.

La frecuencia de ocurrencia de esta falla es de alrededor del 4% del total de fallas. Tienen la misma impedancia entre cada línea y el punto común.

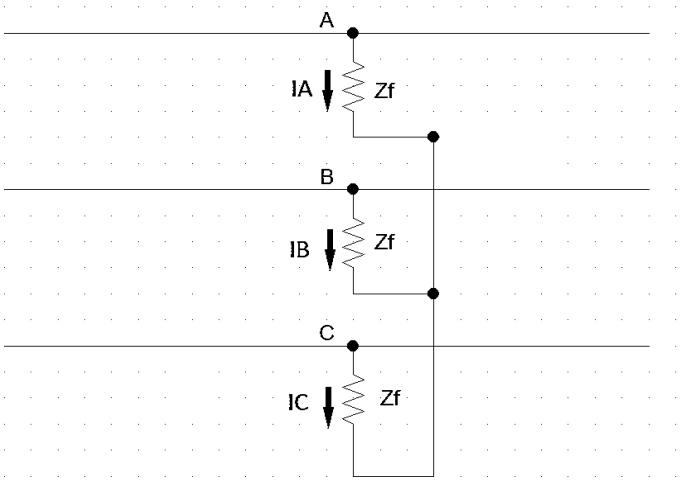


Figura 2.9 Falla trifásica. [9]

2.4.2. Fallas asimétricas

Las fallas asimétricas en los sistemas eléctricos de potencia son más comunes que las fallas trifásicas simétricas. Dependiendo de la ubicación de la falla en el sistema de potencia, la falla de una fase a tierra podría ser mayor que la corriente de falla trifásica a tierra.

Se analizarán tres tipos de fallas asimétricas en paralelo con la tierra o la referencia, estas son:

a) Falla de una fase tierra
b) Falla de dos fases a tierra
c) Falla de línea a línea

Falla de una fase a tierra

El análisis de las fallas en los sistemas de potencia, en este caso particular la falla de una fase a tierra, se inicia estableciendo cuales son los voltajes y las corrientes de las fases en la condición de la falla.

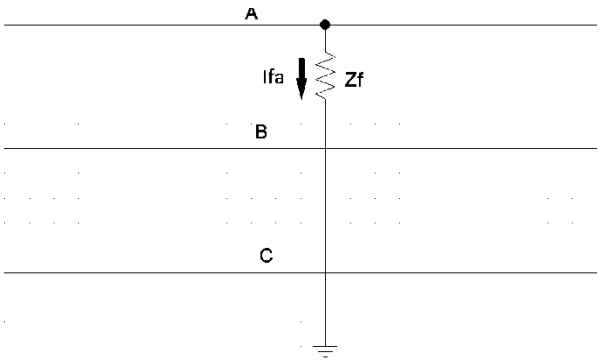


Figura 2.10 Falla de una fase a tierra. [9]

Falla de dos fases a tierra

La falla de dos fases a tierra se la considera se presenta entre las fases b y c, tal como se presenta en la figura 2.12. Cuando la falla de dos fases a tierra se realiza a través de una impedancia de falla, como se presenta en la figura.

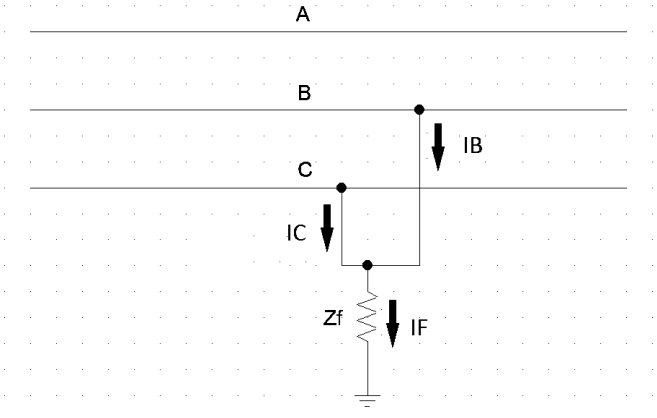


Figura 2.11 Falla de dos fases a tierra (Fases B y C a tierra). [9]

Falla de fase a fase

La falla de línea a línea se la considera entre las fases b y c tal como se presenta en la figura 2.20. Las condiciones que se cumplen en los voltajes y corrientes de fase son:

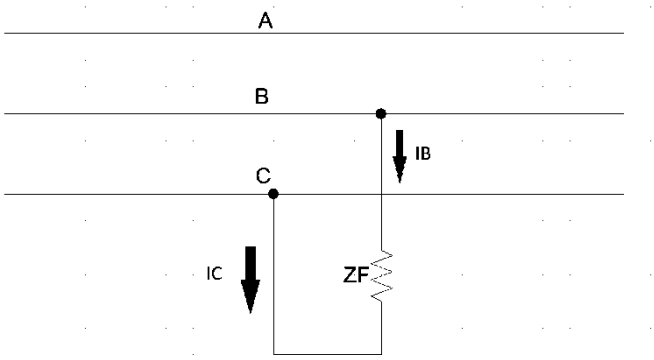


Figura 2.12 Falla de fase a fase (Fases B y C). [9]

2.5. ESTABILIDAD TRANSITORIA Y OSCILACIONES DE POTENCIA.

2.5.1. Estabilidad de un sistema eléctrico de potencia.

La estabilidad de un sistema eléctrico de potencia es la propiedad que le permite permanecer operando en estado de equilibrio en condiciones de operación normal y que le permite luego de ser sometido a una perturbación recuperar un estado de equilibrio aceptable.

Un sistema de potencia en equilibrio o régimen estacionario opera muy cerca de su frecuencia nominal por ejemplo en un entorno $(1\pm 0.5\%)f_N$ y las tensiones de las diferentes barras están cerca de la tensión nominal.

Para la clasificación en tipos de estabilidad, se toman en cuenta aspectos como: la naturaleza física de la inestabilidad, el "tamaño" de la perturbación o contingencia, el período de tiempo a considerar, los equipos y procesos involucrados y el método más apropiado de cálculo y predicción de la estabilidad o inestabilidad.

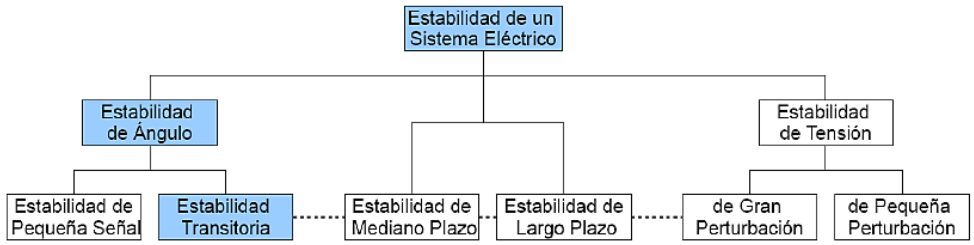


Figura 2.13 Clasificación de la estabilidad de un sistema eléctrico [Kundur, 1994].

Otra posible clasificación de estabilidad es la siguiente.

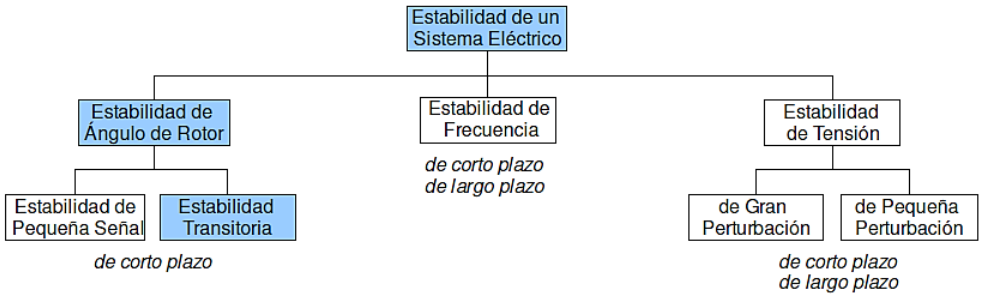


Figura 2.14 Clasificación de la estabilidad de un sistema eléctrico [CIGRE WG C4.601, 2007].

2.5.2. Estabilidad transitoria.

Un requerimiento para que un sistema eléctrico sea estable es que opere en sincronismo. Esta es la estabilidad de ángulo.

Para que el sistema eléctrico esté en sincronismo los rotores de sus generadores síncronos deben estar en sincronismo o sea girando a la misma velocidad, lo que está directamente vinculado a la frecuencia eléctrica en el sistema ya que en un generador síncrono el campo magnético del rotor induce en los bobinados trifásicos del estator la tensión alterna generada.

Este aspecto de la estabilidad se relaciona entonces con la electrodinámica del sistema y sus generadores, la dinámica del ángulo de sus rotores y la relación potencia-ángulo. Dentro de la estabilidad de ángulo es la llamada estabilidad transitoria ante grandes perturbaciones, como se muestra en las figuras Figura 2.13 y Figura 2.14

Debido a la relación antedicha de la frecuencia de la red eléctrica y la velocidad de giro de los rotores de los generadores, el ángulo de los rotores de los generadores sincrónicos y la fase de su tensión de salida guardan relación.

Por ejemplo, en el modelo en régimen estacionario balanceado de un generador síncrono que tiene el siguiente equivalente Thévenin

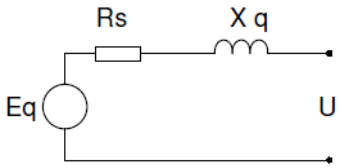


Figura 2.15 Modelo en régimen estacionario balanceado de un generador síncrono. [6]

la fase de la tensión Eq coincide con el ángulo del rotor (posición de su eje q).

Xq es la reactancia síncrona de eje en cuadratura, U es la tensión directa a la salida del generador y Eq es la tensión detrás de la reactancia síncrona de eje en cuadratura que está sobre el eje q del rotor y S R la resistencia del bobinado estatórico.

En régimen transitorio balanceado el modelo de un generador con el siguiente equivalente Thévenin

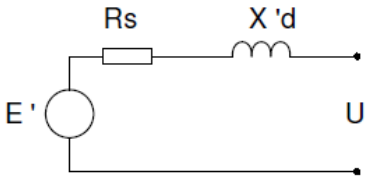


Figura 2.16 Modelo en régimen transitorio balanceado de un generador síncrono. [6]

es una aproximación suficientemente precisa usada por programas de simulación para estudios de estabilidad transitoria, en que la fase de la tensión detrás de la reactancia transitoria de eje directo E' (barra ficticia "interna" al generador) se usa como una aproximación del ángulo del rotor, más allá de que E' no es estrictamente colineal con el eje q del rotor. X'd es la reactancia transitoria de eje directo.

Entonces en un generador síncrono a veces se utiliza indistintamente como una aproximación del ángulo del rotor el ángulo de la tensión de secuencia positiva o tensión directa E' e inclusive el ángulo de la propia tensión de salida U (que introduce más error).

En general se usan ángulos relativos a referenciales de velocidad $\overline{w}_0$ o frecuencia f_0 nominales.

La inestabilidad transitoria se da cuando como consecuencia de una perturbación importante un generador o un grupo de generadores no logra mantener acotado el ángulo relativo de sus rotores respecto de los rotores del resto de los generadores del sistema. En ese caso se dice que el o los generadores pierdan su "paso polar".

2.5.3. Ecuación de oscilación o de swing de un sistema eléctrico.

Un aspecto importante en la estabilidad transitoria de los sistemas eléctricos es la relación no lineal entre el intercambio de potencia activa y la posición angular de los rotores de los generadores síncronos.

En régimen estable, en un sistema eléctrico de potencia existe un balance entre la potencia activa generada (generación) o potencia mecánica Pm y la potencia activa consumida (carga) Pe en cada generador, o sea Pm = Pe y estos balances de potencia definen los valores de los ángulos de los rotores de los generadores como se verá a continuación.

El modelo más sencillo de sistema eléctrico de potencia es el de máquina – bus infinito u OMIB (One Machine Infinite Bus).

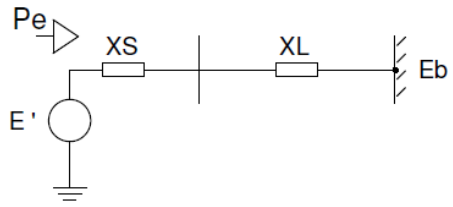


Figura 2.17 Modelo máquina – bus infinito de un sistema de potencia [6]

El bus infinito tiene amplitud de tensión E_b, frecuencia f_0 (velocidad angular w_0) y defasaje $\delta_0 = 0$ constantes. Se asume que las dos tensiones E' y Eb tienen amplitud constante.

La ecuación de *swing* del sistema máquina – bus infinito es

$$\boxed{\frac{2H}{\omega_0}\frac{d\omega}{dt}+\frac{K_D}{\omega_0}\omega = P_m - P_e}$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega \qquad P_e = P_{mx}\, sen\,\delta \qquad P_{mx} = \frac{E' \cdot E_b}{X_{total}} = constante$$

Pm = potecia mecánica del generador [pu]

Pe = potencia eléctrica entregada por el generador a la red [pu]

H = constante de inercia [MWs /MVA]

δ = ángulo del rotor [radianes eléctricos] E'< δ

w =w_r −w_0 = velocidad relativa del rotor del generador [radianes eléctricos / s]

w_0 = velocidad nominal [radianes eléctricos / s] del bus infinito

K_D = factor de amortiguación [torque pu / velocidad pu]

t = tiempo [s]

En equilibrio:

$$\omega_r = \omega_0$$

$$\omega = 0 \;\Rightarrow\; \frac{d\omega}{dt} = 0 \;\Rightarrow\; \boxed{P_m = P_e \;\left(balance\ de\ potencias\right)}$$

como ya se mencionó:

$$\Rightarrow \boxed{\delta = \delta_s}$$

como se muestra en la siguiente figura

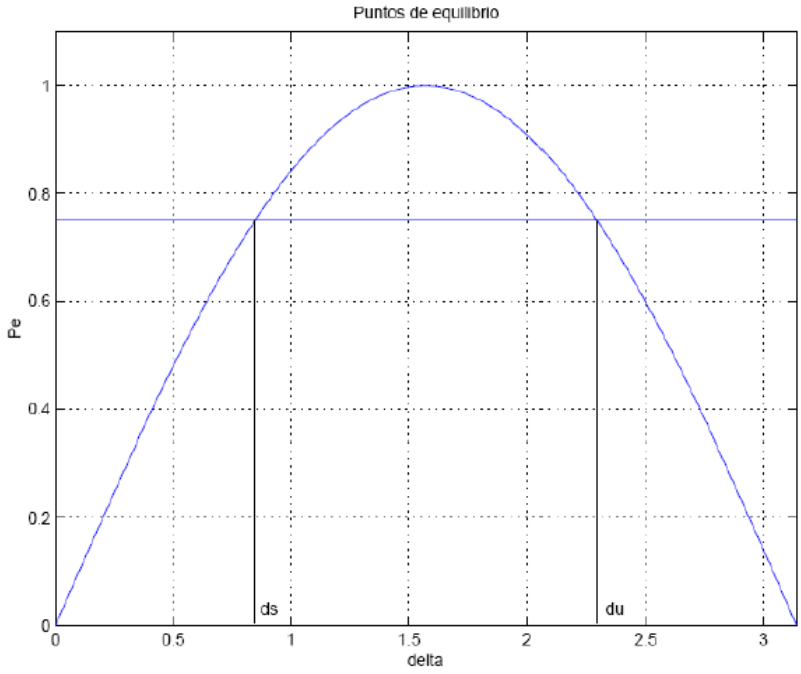


Figura 2.18 Potencia eléctrica y mecánica del generador. Puntos de equilibrio estable e inestable. [7]

Para un sistema de dos máquinas

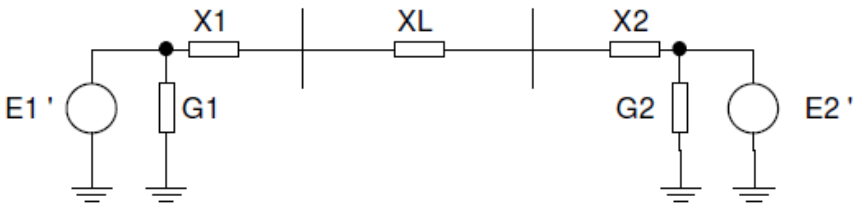


Figura 2.19 Modelo de dos máquinas de un sistema de potencia. [7]

también vale una ecuación de *swing* similar a la anterior en que δ es el ángulo relativo del rotor del generador 1 respecto del 2 ($\delta = \delta_1 - \delta_2$, E'$_1$< δ_1 , E'$_2$ < δ_2)

Para el caso de múltiples generadores sincrónicos en un sistema eléctrico, con simplificaciones adecuadas, la dinámica del sistema queda representada con ecuaciones de similar forma que la ecuación de swing para el modelo máquina – bus infinito.

En estos casos multimáquina, sumando las ecuaciones de swing de los generadores individuales, se puede definir un centro de inercia de los rotores (G), su ángulo δ_G y velocidad angular w_G.

$$M_T \frac{d\omega_G}{dt} + \sum_{i=1}^{n} \frac{K_D}{\omega_0} \omega_i = \sum_{i=1}^{n} P_{mi} - \sum_{i=1}^{n} P_{ei}$$

$$M_T = \sum_{i=1}^{n} \frac{2H_i}{\omega_0} \qquad \delta_G = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1}^{n} \frac{2H_i}{\omega_0} \delta_i \qquad \omega_G = \frac{d\delta_G}{dt}$$

Los generadores “eléctricamente cercanos” se pueden agrupar con este criterio ya que se comportan de manera parecida; entonces cada grupo A de generadores “coherentes” puede ser considerado como un único gran generador.

$$M_A \frac{d\omega_A}{dt} + \frac{K_D}{\omega_0} \omega_A = P_{mA} - P_{eA}$$

$$M_A = \sum_{j \in A} \frac{2H_j}{\omega_0} = \frac{2H_A}{\omega_0} \qquad K_D = \sum_{j \in A} K_{Dj} \qquad \delta_A = \frac{1}{M_A} \sum_{j \in A} \frac{2H_j}{\omega_0} \delta_j \qquad \omega_A = \frac{d\delta_A}{dt}$$

P_{eA} es el intercambio de potencias eléctricas de los generadores del grupo A con cada máquina de fuera de A y con la carga en “bornes” de A, asumiendo una red sin pérdidas.

P_{mA} es la potencia mecánica de todos los generadores de grupo A.

Para el estudio de la estabilidad transitoria interesa el comportamiento de los ángulos δ_j , por lo que en la ecuación anterior recuadrada interesa el comportamiento del ángulo δ_A ($w_A = d\delta_A/dt$).

2.5.4. Critical Clearing Time (CCT).

En estabilidad transitoria se define CCT (Critical Clearing Time o Critical Fault- Clearing Time o Tiempo Crítico de Despeje de Faltas) como el mayor tiempo en despejar una falta (cortocircuito) para el cual los generadores continuarán en sincronismo

El CCT depende del tipo de falta y del lugar del sistema eléctrico en que se aplica la misma. Entonces un cortocircuito que dure un tiempo mayor al CCT producirá inestabilidad transitoria y la pérdida de paso polar o sincronismo de algún generador.

2.5.5. Estabilidad de frecuencia

La estabilidad de frecuencia es la capacidad del sistema de potencia para mantener constante la frecuencia luego de la ocurrencia de una severa perturbación, la misma que, por su magnitud genera un significante desbalance entre generación y carga. Por lo tanto, el análisis de la estabilidad de frecuencia se centra en el estudio de las variaciones en la frecuencia del sistema debido a los grandes y repentinos cambios en el equilibrio generación-carga.

La frecuencia puede mantener solamente si el balance entre la generación y la carga del sistema pueden ser restauradas tan pronto como sea posible luego de ocurrida la perturbación, con la salida no

intencional de la menor cantidad de carga posible. Si el sistema entra en una condición de inestabilidad de frecuencia, la frecuencia puede caer rápidamente o en su defecto puede producirse una oscilación sostenida de frecuencia, lo cual conllevará al disparo de generadores y cargas por actuación de los relés de frecuencia.

Los problemas de estabilidad de frecuencia generalmente son asociados con inadecuadas respuestas de los equipos, deficiente coordinación y control de equipos de control o insuficientes reservas de generación. Debe tomarse en cuenta que, cualquier perturbación que pueda ser causante de pérdida significativa de carga o generación puede ser motivo de preocupación respecto de la estabilidad de frecuencia del sistema.

2.5.6. Estabilidad de tensión

En términos generales, la estabilidad de tensión se define como la capacidad de un sistema de potencia para mantener estables las tensiones en todas las barras luego de haber sido sometido a una perturbación a partir de un punto de operación inicial conocido como caso base. Esto básicamente depende de la capacidad para mantener o restablecer un equilibrio entre la demanda y la generación del sistema de potencia.

Un sistema entra en inestabilidad de tensión cuando una perturbación, incremento de carga o cambio en las condiciones del sistema causan una progresiva e incontrolable caída o aumento de tensión en algunas barras. El principal factor causante de la inestabilidad es la incapacidad del sistema de potencia para proveer la demanda de energía reactiva. Sin embargo, de aquello, el corazón del problema usualmente es la caída de tensión que ocurre cuando las potencias activa y reactiva

fluyen a través de reactancias inductivas asociadas con las redes de transmisión.

Un criterio para la estabilidad de tensión, indica que, en una condición de operación dada para todas las barras del sistema, la magnitud de la tensión de barra (V) incrementa en tanto la inyección de potencia reactiva (Q) en esa barra es incrementada; por tanto y análogamente, se puede deducir que, un sistema es inestable en tensión si, para al menos una barra del sistema, la magnitud de la tensión de barra decrece como la inyección de potencia reactiva en la misma barra es incrementada. En forma resumida se puede decir que, un sistema es estable en tensión si la sensibilidad V-Q es positiva para todas las barras y es inestable si la sensibilidad V-Q es negativa para al menos una de las barras.

Uno de los posibles resultados de la inestabilidad de tensión es la pérdida de carga en un área o el disparo de líneas de transmisión y demás elementos del sistema por actuación de los elementos de protección, lo que conlleva a salidas de operación en cascada que pueden conducir a la pérdida de sincronismo de algunos generadores. La inestabilidad de tensión esencialmente es un fenómeno local, sin embargo, sus consecuencias pueden tener un impacto global.

Las caídas progresivas de tensión en las barras pueden también ser asociadas con la pérdida de sincronismo de diversos generadores del sistema, es decir un sistema que presenta problemas de estabilidad de ángulos puede resultar en problemas de estabilidad de tensión y, viceversa, sistemas que presentan un colapso de tensión llevan eventualmente a una separación angular de sus generadores. Cabe aclarar que, las causas para estos dos problemas de estabilidad son completamente diferentes, puesto que, la inestabilidad de tensión se debe principalmente a la ausencia total de un punto de equilibrio después de la ocurrencia de una perturbación, mientas que, la

inestabilidad de ángulo se debe básicamente a la ausencia de un par de sincronismo entre varios generadores.

Para un mejor análisis, la estabilidad de tensión se lo clasifica en dos grupos: estabilidad de tensión de gran perturbación y estabilidad de tensión de pequeña perturbación.

a) Estabilidad de tensión de gran perturbación

La estabilidad de tensión de gran perturbación corresponde a la capacidad del sistema para mantener y controlar las tensiones en presencia de grandes perturbaciones, tales como: fallas, pérdidas de generadores o contingencias de líneas importantes. Esta capacidad es determinada por las características de las cargas del sistema y por las interacciones entre los dispositivos de control y protección.

La determinación de la estabilidad de tensión para una gran perturbación, requiere de la evaluación del sistema desde el punto de vista dinámico no-lineal y modelamiento detallado a través de un sistema de ecuaciones algebraico-diferencial no lineales. El comportamiento del sistema debe ser analizado por un período de tiempo lo suficientemente grande como para permitir la identificación de las interacciones entre los dispositivos de control y protección, tales como: los transformadores con ajuste de la posición del tap y los limitadores de la corriente de campo de los generadores; para tal efecto, el período de estudio puede ir desde unos pocos segundos hasta decenas de minutos.

Un criterio para determinar la estabilidad de tensión de gran perturbación de un sistema de potencia indica que, después de haberse producido una perturbación dada y de haberse realizado las acciones de control correspondientes, si la tensión en todas las barras alcanza

niveles aceptables, entonces el sistema es considerado estable. Sin embargo, este criterio en la actualidad es discutible, puesto que, un colapso de tensión también puede producirse incluso con niveles altos de tensión en las barras, especialmente cuando existe una elevada compensación de potencia reactiva (capacitores), es por esta razón que, en lugar de niveles de tensión se han definido los márgenes de cargabilidad como criterios para determinar la estabilidad de tensión de un sistema.

b) Estabilidad de tensión de pequeña perturbación

La estabilidad de tensión de pequeña perturbación corresponde a la capacidad de un sistema de potencia para mantener las tensiones cuando el sistema es sometido a pequeñas perturbaciones, tales como pequeñas variaciones en la carga del sistema. Esta forma de estabilidad es determinada por las características de las cargas y por las interacciones entre los dispositivos de control y protección en un cierto instante de tiempo. Básicamente este concepto es usado para determinar, en cualquier instante, como responde la tensión del sistema ante pequeños cambios en el sistema.

Los procesos básicos que contribuyen a la inestabilidad de tensión de pequeña perturbación son esencialmente de naturaleza correspondientes al régimen de estado estable; por lo tanto, los análisis estáticos pueden ser usados efectivamente en la determinación de los márgenes de estabilidad, identificando los factores determinantes del fenómeno y estudiando una amplia variedad de condiciones de operación del sistema, incluyendo un considerable número de escenarios post-contingencia.

Un criterio para evaluar la estabilidad de tensión de pequeña perturbación está basado en la sensibilidad entre la magnitud de las

tensiones y la inyección de potencia reactiva en las barras, es decir, un sistema es estable respecto a la tensión si la sensibilidad V-Q es positiva para todas las barras y, es inestable si la sensibilidad V-Q es negativa para al menos una de las barras del sistema.

2.6. FLUJOS DE POTENCIA DE UN SISTEMA ELECTRICO DE POTENCIA

El objetivo principal de un Sistema Eléctrico de Potencia es satisfacer la demanda. Como consecuencia se debe prever caídas de tensión, regulación de transformadores, inyección de potencia reactiva, etc.

Los estudios de flujo de potencia, más normalmente llamados estudios de flujo de carga, son sumamente importantes para evaluar el funcionamiento de los sistemas de potencia, su control y planificación para expansiones futuras.

Los principios en los estudios del flujo de potencia son fáciles, pero un estudio relativo a un sistema de potencia real sólo se puede llevar a cabo con un ordenador digital. Entonces la necesidad sistemática de cálculos numéricos requiere que se ejecuten por medio de un procedimiento iterativo; dos de los normalmente más usados son el método Gauss-Seidel y el método Newton-Raphson.

$$V_k = \frac{1}{Y_{kk}} \left(\frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} - \sum_{n=1}^{N} Y_{kn} V_n \right)$$

Para k= 1, 2,... N

Este sistema de N ecuaciones constituyen las ecuaciones del flujo de potencia.

CAPITULO III

3. DESCRIPCION DEL SOTWARE POWER FACTORY–DIgSILENT

En este capítulo se describirá los módulos básicos del software que se utilizará para realizar tanto los estudios de flujos de potencia, como los de cortocircuitos. Este software es el Power Factory, y que en este capítulo se describirá sus funciones principales.

3.1. DESCRIPCION GENERAL

El análisis de los flujos de potencia y simulaciones de cortocircuitos se lo realizará a través del software POWER FACTORY – DIgSILENT.

El software DIgSILENT PowerFactory es una herramienta para realizar análisis de sistemas eléctricos de potencia, el cual combina el modelamiento de sistemas confiables y flexibles con distintos tipos de algoritmos para encontrar soluciones dependiendo de lo que se necesite, además hace uso de una base de datos orientada al objeto (Object-Oriented). El usuario puede desarrollar modelos detallados de un sistema de potencia, utilizando una única base de datos, con un amplio rango de datos, datos de un sistema balanceado, de un sistema desbalanceado, datos de frecuencia, de tiempo, y sistemas con características estocásticas. El programa soporta estudios para sistemas con un máximo de 100, 250 e infinitas barras, dependiendo del tipo de licencia que se adquiera. PowerFactory también realiza análisis de confiabilidad, proyección de demanda, análisis de contingencias, modelamiento de elementos de electrónica de potencia.

Las funciones del PowerFactory son:

Flujos de Potencia

Flujos de carga/Transmisión

- Algoritmo de Flujos de carga, rápido y preciso. (Newton Raphson completo, Newton-Raphson iterativo).
- Redes de CD y CA.
- Control secundario de frecuencia.
- Control primario.
- Control secundario de potencia reactiva.
- Curvas P-V.
- Todo tipo de sensibilidades (dV/dQ, dphi/dP, etc.).
- Análisis Modal.

Despacho de Potencia Activa y Reactiva

- Minimización de pérdidas.
- Minimización del costo de combustible.
- Limites de flujo en ramas.
- Límites de voltaje en barras.
- Límites de potencia Activa y Reactiva.
- Límites en la corriente de estator.
- Restricciones de reserva.

Corto Circuito

- Cálculo de corto circuito de acuerdo a: ANSIC 37, IEC 60909 y al método completo de superposición.
- Implementación completa de la norma IEC 60909/2001.
- Análisis de fallas múltiples.
- Tipos de falla:

  - Trifásicas.
  - De dos fases.
  - Dos fases a tierra.
  - Falla a tierra.
- Fallas a lo largo de una línea.
- Muestra resultados en forma gráfica en diagrama unifilar, diagramas vectoriales, etc.

Estabilidad

- Estabilidad transitoria y dinámica.
- Modelos detallados de generador y cargas.
- Amplia librería de modelos estándar.
- Permite modelos de usuario.
- Algoritmo de paso de integración variable.
- Gran facilidad para la creación de gráficas.
- Definición de eventos a simular de manera interactiva.
- Análisis a pequeños disturbios (Análisis modal).

3.2. FLUJO DE CARGA

El software PowerFactory es un programa especializado en todo tipo de análisis de los sistemas eléctricos de potencia, por lo tanto, el estudio de flujos de carga es uno de ellos.

El procedimiento que se debe seguir para determinar el flujo de potencia usando el sistema es el siguiente:

- Dar un clic en el icono que se encuentra en la barra de funciones del software.
- A continuación, se abre la siguiente ventana:

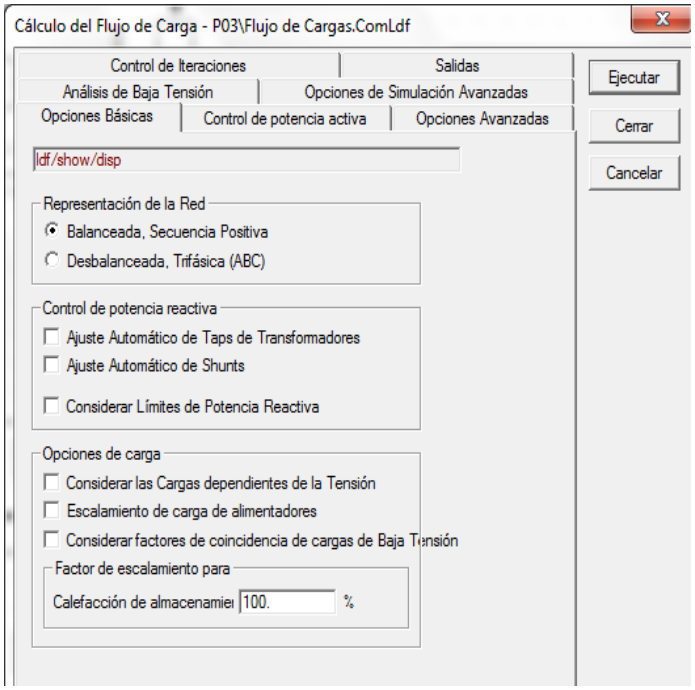


Figura 3.1 Ventana de simulación de flujos de cargas del software.

Fuente: Elaboración propia

- En esta ventana se puede especificar al programa qué tipo de flujo de carga se desea, por ejemplo, balanceada o desbalanceada, control de potencia activa, etc. Nos interesa la simulación de cargas balanceado, por lo tanto, simplemente se da clic en “Ejecutar” para empezar la simulación.

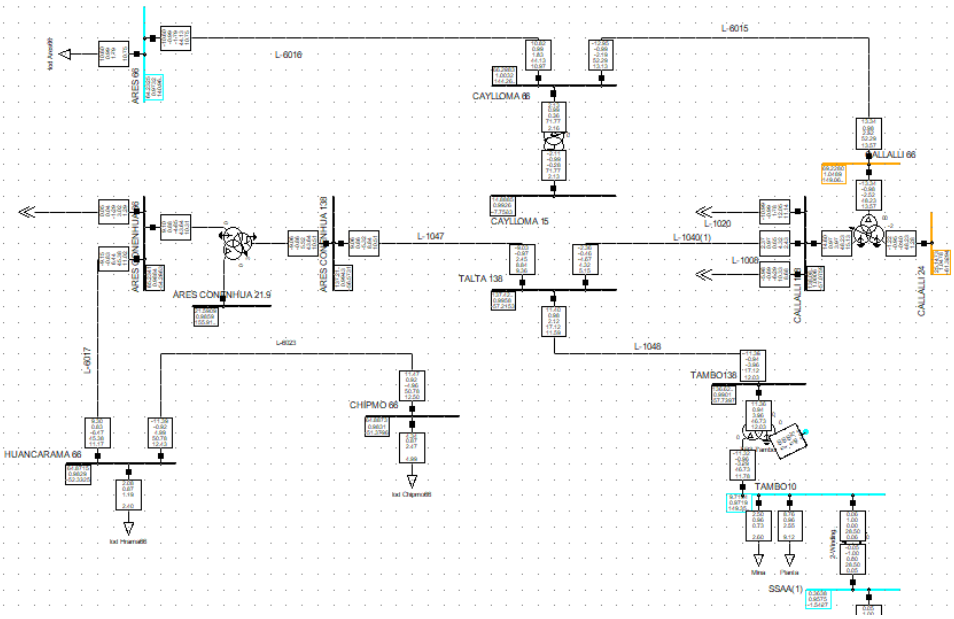


Figura 3.2 Vista de la zona Talta-Tambomayo después de correr el flujo de carga.

Fuente: Elaboración propia

3.3. CALCULOS DE CORTOCIRCUITO

Otro de los análisis completos y de vital importancia que cumple el Power Factory, es el análisis de cortocircuitos, que no es más que análisis que se debe hacer a la red, en el caso de presentarse un cortocircuito.

Como se indicó en el capítulo anterior, un cortocircuito o falla, puede darse en cualquiera de los elementos que componen un sistema eléctrico de potencia, sea ésta una barra, líneas de transmisión, generadores, transformadores.

Para analizar cualquier tipo de cortocircuito, en cualquier elemento del sistema se debe dar clic en el icono que se encuentra en la barra de funciones del programa.

3.3.1. Cálculo de Cortocircuito en una barra de una subestación.

Para realizar un cortocircuito en una barra de una subestación cualquiera se realiza lo siguiente: Se tomará como ejemplo la barra de Talta 138 kV:

- Dar clic derecho en la barra y seleccionar la opción calcular cortocircuito.

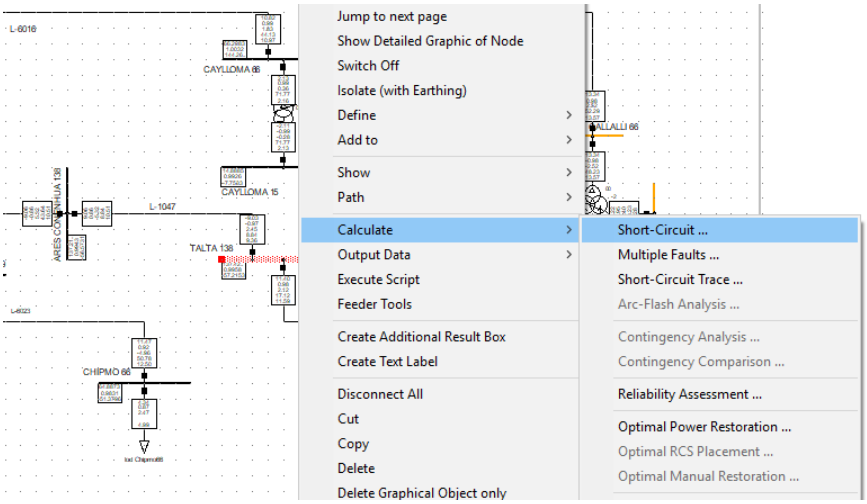


Figura 3.2 Cortocircuito en barra (Paso 1).

Fuente: Elaboración propia

- Se presenta la siguiente ventana:

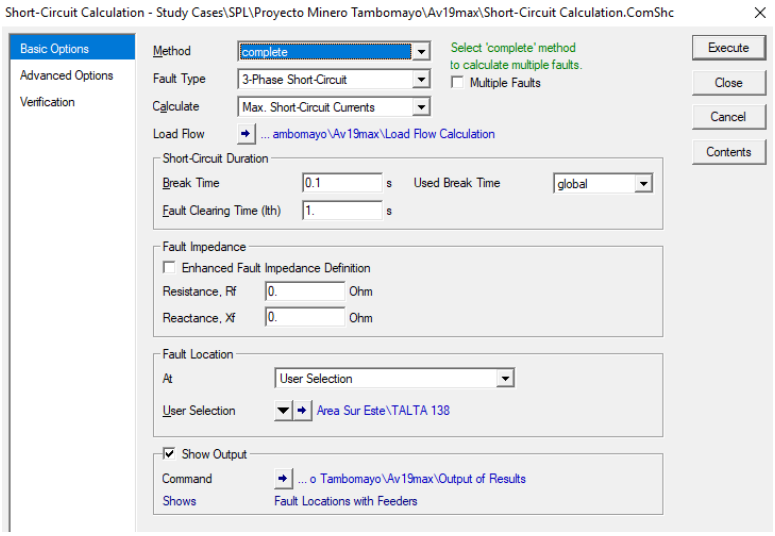


Figura 3.3 Cortocircuito en barra (Paso 2).

Fuente: Elaboración propia

En donde se escoge el tipo de falla. Para nuestro caso se simulará una falla trifásica. Dar clic en ejecutar, y la simulación empieza.

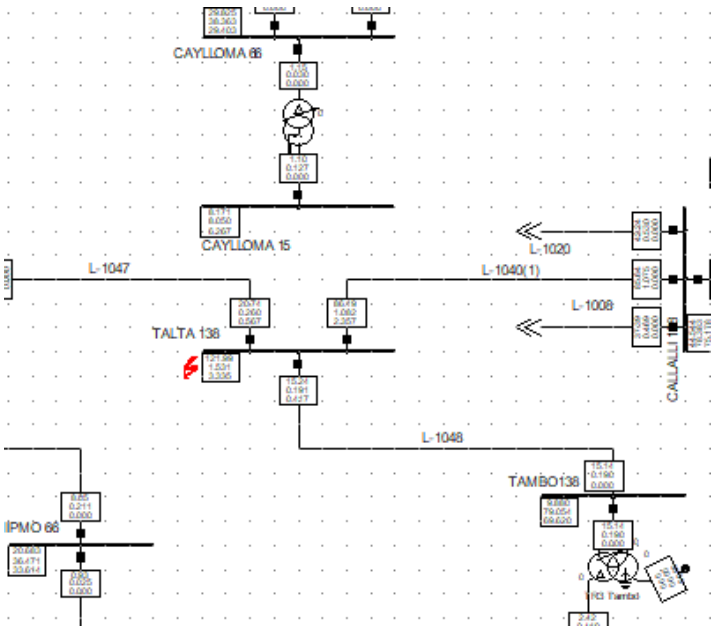


Figura 3.4 Cortocircuito en la barra Talta 138 kV.

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Cálculo de Cortocircuito en una línea de transmisión.

Para el cálculo de cortocircuitos en una línea de transmisión, se debe hacer seguir el mismo procedimiento que para una barra, con la diferencia de que se debe dar clic derecho en la línea de transmisión que se desea simular la falla, y no en barra como se realizó anteriormente.

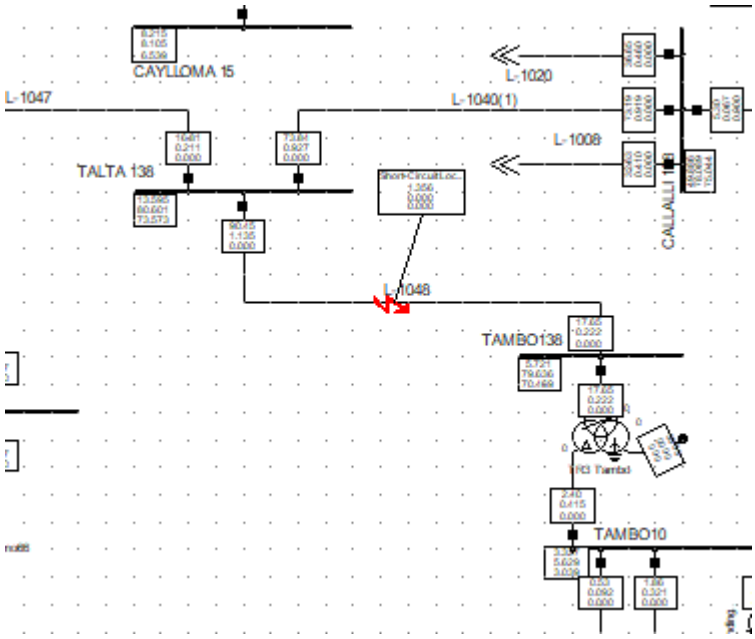


Figura 3.5 Cortocircuito monofásico en la L/T L-1048 de 138 kV.

Fuente: Elaboración propia

Se observa la falla (Fase A a tierra) con un aporte de corriente de 1.135 kA desde la barra Talta138, y 0.222 kA desde la barra Tambo138, dando como resultado final una corriente de falla de 1.356 kA en la línea de transmisión.

3.4. ESTABILIDAD

Los estudios de estabilidad son de vital importancia para todo sistema de potencia, y que nos ayuda a mantener los parámetros del sistema, dentro de sus valores permitidos, con el fin de evitar problemas en el presente y futuro del sistema eléctrico.

En el estudio de estabilidad se estudia las variaciones bruscas de corriente, voltaje, potencias o frecuencias, debido a la presencia de una falla en el sistema.

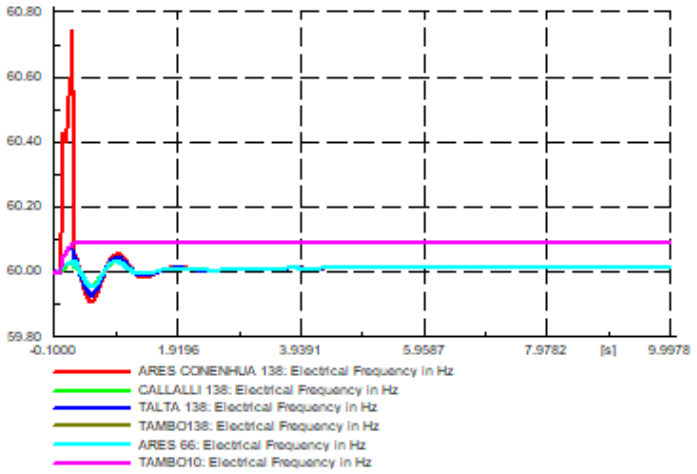


Figura 3.6 ***Comportamiento de la frecuencia en las barras al ocurrir una falla monofásica al final de la línea L-1048.***

Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Definición de los Eventos

Para realizar estudios de estabilidad usando el Power Factory se debe definir los eventos que se van a realizar.

- El primero es el evento de cortocircuito, donde se define el tipo de cortocircuito a simular, y además el tiempo de duración del mismo.

- El segundo es el evento cortocircuito, en donde se define el despeje de la falla, junto con el tiempo de cierre del interruptor.

3.5. CASO REAL

El DIgSILENT Power Factory posee una ideología diferente en lo que se refiere a la forma de guardar los cambios y la información, toda vez que lo hace automáticamente y de manera inmediata cada que se hace una modificación en el directorio Data base. Una vez que se ejecuta una acción esta ya está guardada en la base de datos y generalmente no pueden deshacerse.

Sin embargo, es posible crear archivos de cada uno de los proyectos que se creen, los cuales permitirían guardar una memoria del sistema hasta ese momento o montar este sistema en otro equipo. La manera de hacerlo es exportando la base de datos con un formato DZ. Para exportar un proyecto, es necesario que éste esté desactivado.

1. Pulsando el botón derecho del ratón sobre la carpeta del proyecto se selecciona la opción **Export**.

2. Para importar un proyecto, en el menú **File** se selecciona la opción **Import**. Esto abre una caja de diálogo **Abrir** en la que se selecciona el archivo que contiene la base de datos a importar.

CAPITULO IV

4. DESCRIPCION DEL PROYECTO

4.1. LOCALIZACIÓN

a. Ubicación

El proyecto Tambomayo está ubicado en el distrito de Tapay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa.

Figura 1: Ubicación del Proyecto Minero Tambomayo

Fuente: Elaboración propia

a) Condiciones Climáticas

El terreno es montañoso con profundas quebradas, la altitud del terreno en la zona está en un promedio de 4600 msnm.

El clima de la zona es del tipo frígido con escasa humedad, las precipitaciones pluviales en forma de granizo y nieve son altas, registrándose intensas descargas atmosféricas.
La temperatura varía entre los -15°C y 25°C, con una humedad relativa promedio de 60%.

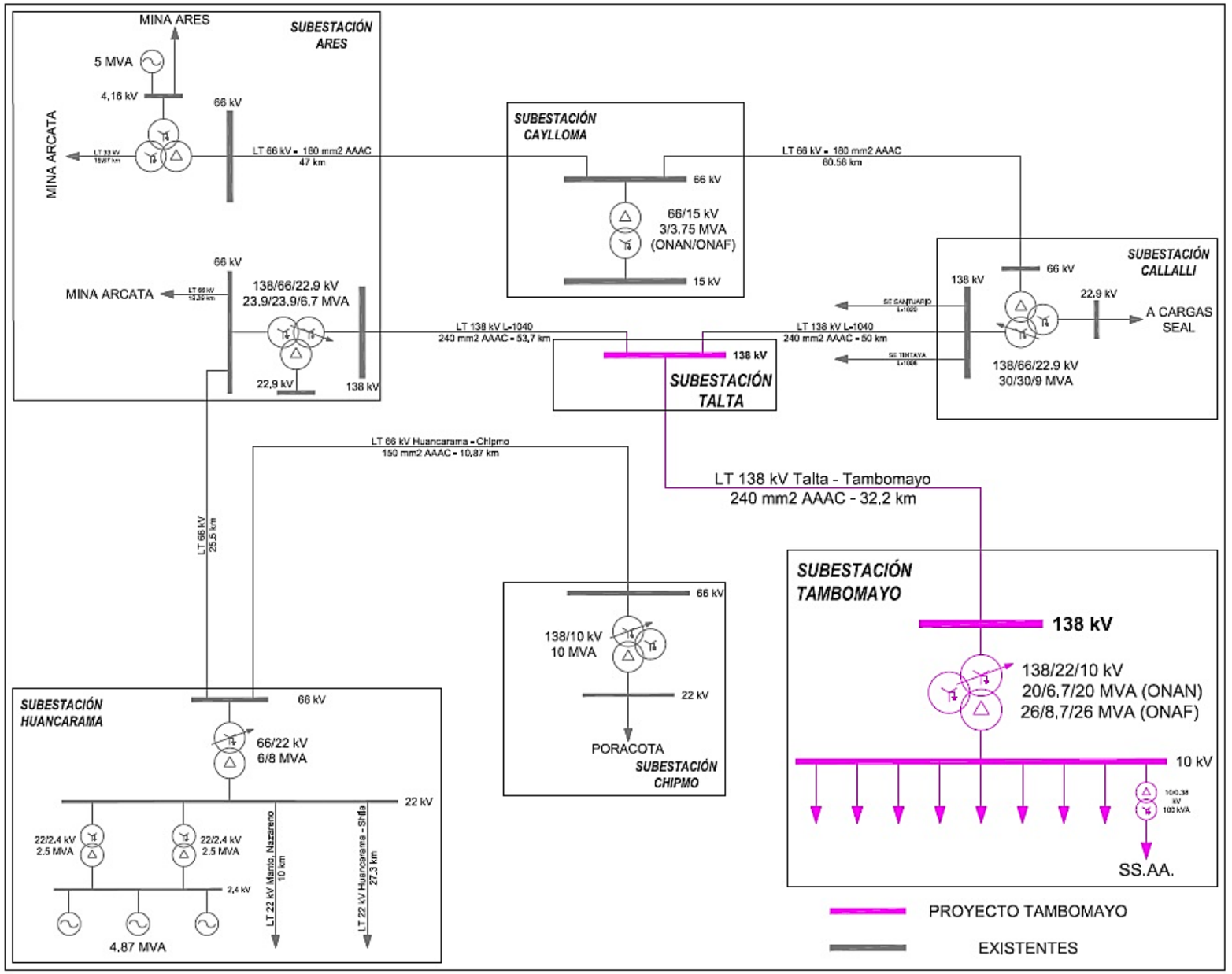
4.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO DEL PROYECTO

a. Conexión al Sistema Interconectado Nacional

El suministro de energía para el Proyecto Tambomayo será desde la nueva S.E. Talta 138kV, esta subestación seccionará a la línea existente L-1040 Callalli – Ares de 138kV entre las estructuras T-166 y T-167, dejando a la línea Callalli-Talta con una longitud de 59.61 km y a la línea Talta-Ares con una longitud de 44.25 km. Desde la S.E. Talta se construirá una línea de transmisión en simple terna de 32.2 km en 138kV hasta la nueva S.E. Tambomayo, en la S.E.

Tambomayo se instalará un transformador de 138/22/10kV, el cual alimentará las diferentes cargas mineras mediante circuitos en 10kV, tal como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 2: Área de Influencia del Proyecto Minero Tambomayo



Fuente: Elaboración propia

b. Características de la Línea de Transmisión Talta – Tambomayo 138 kV

Las principales características de la línea de transmisión en 138 kV Talta-Tambomayo de simple terna, se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro 1: Características Generales de la Línea de Transmisión en 138 kV Talta-Tambomayo

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN	
Descripción	**Valor**
Subestaciones que interconecta	Talta – Tambomayo
Tensión nominal	138 kV
N° de circuitos o ternas	Uno (01)
Capacidad de transmisión	71 MVA
Longitud	32.2 km
Cable de guarda	Un (01) OPGW + Un (01) EHS

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2: Tipos de Conductores de la Línea de Transmisión

TIPOS DE CONDUCTORES DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN		
Tramo	**Conductor de fase**	**Cable de guarda**
SE Talta-SE Tambomayo	AAAC 240mm2 RDC a 20 °C: 0.1322 Ohm/km Sección AL: 253 mm2 Diámetro AL: 20.6 N° hilos AL: 19	Acero galvanizado EHS RDC a 20 °C: 4.52 Ohm/km (38.25 mm2)
		OPGW de 48 fibras ópticas RDC a 20 °C: 0.943 Ohm/km (61.60 mm2)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3: Parámetros Teóricos Obtenidos Para la Línea de Transmisión Talta-Tambomayo

LINEA	LONGITUD	R+(75°C)	X+	Ro	Xo	B+	Bo
	Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km	μ S/Km	μ S/Km
TALTA-TAMBOMAYO	32.20000	0.15944	0.51186	0.55640	1.47370	3.24736	2.18366

Fuente: Elaboración propia

c. Descripción de la Subestación Talta 138Kv

La S.E. Talta será de configuración barra simple y contará con tres bahías equipadas:

- Salida Línea 138kV hacia Callalli
- Salida Línea 138kV hacia Ares
- Salida Línea 138kV hacia Tambomayo

d. Descripción de la Subestación Tambomayo (138/22/10 kV)

La subestación Tambomayo, ubicada en el departamento de Arequipa, es la instalación principal que atenderá el suministro eléctrico del Proyecto Minero Tambomayo.

Todo equipamiento del sistema de maniobra y medición en alta tensión será del tipo convencional con aislamiento tipo AIS. La barra en 10 kV tendrá una capacidad de 2000A, capacidad suficiente para la demanda de la mina en operación normal o en emergencia.

En el nivel de 138kV no existirá barra, solamente se contará con un interruptor en 138kV, el cual será utilizado para la línea de transmisión Talta-Tambomayo y para el transformador 138/22/10kV.

La subestación está compuesta por un transformador de potencia 138/22/10 kV de las siguientes características:

Relación de transformación	: 138+2/-14x1.25%/22/10 kV (regulación bajo carga)
Potencia ONAN	: 20/6.7/20 MVA
Potencia ONAF	: 26/8.7/26 MVA
Grupo de conexión	: YN0yn0d5

En el nivel de 10 kV se tiene una sola barra común, el cual alimentará a 14 celdas para las diferentes cargas de la mina.

e. Demanda del Proyecto Tambomayo

La máxima demanda del proyecto Tambomayo será de 12MW, este valor se ha considerado en todas las simulaciones.

4.3. INFORMACION UTILIZADA

4.3.1. Documentos de referencia

Para el desarrollo del presente informe se tomaron como referencia los siguientes documentos:

- Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN Periodo 2015-2024 Informe Técnico COES/DP-01-2013

- **Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN”, aprobado mediante resolución N°035-2013-OS/CD.**

  Relación de Normas Técnicas:

  [1] «IEC 60071: Insulation co-ordination», IEC International Standard.

  [2] «IEC/TS 60815: Selection and Dimensioning of High-Voltage Insulators
  Intended for Use in Polluted Conditions», IEC Technical Specification.

  [3] «IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding», IEEE Std 80.

  [4] «IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Overhead
  Conductors», IEEE Std 738.

  [5] «IEC 60865: Short-circuit Currents – Calculation of Effects», IEC International
  Standard.

  [6] «EPRI AC Transmission Line Reference Book - 200 kV and Above», Electric
  Power Research Institute (EPRI).

  [7] «IEC CISPR 18-1 Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines
  and High-Voltage Equipment - Part 1: Description of Phenomena.», IEC –
  CISPR Technical Report.

  [8] «IEC CISPR 18-2 Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines
  and High-Voltage Equipment - Part 2: Methods of Measurement and Procedure
  for Determining Limits.», IEC – CISPR Technical Report.

[9] «IEC CISPR 18-3 Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines
and High-Voltage Equipment - Part 3: Code of Practice for Minimizing the
Generation of Radio Noise.», IEC – CISPR Technical Report.
[10] «IEC 60826: Design Criteria of Overhead Transmission Lines», IEC
International Standard.

4.3.2. Sistema eléctrico interconectado nacional

La información del sistema eléctrico interconectado nacional fue suministrada por el organismo operador (COES-SINAC), en formato *.pfd (archivo generado por el programa Digsilent Power Factory), en el cual se encuentra la siguiente información:

- Modelo de la topología de red del SEIN para el año 2016.
- Biblioteca de los equipos con sus parámetros eléctricos, capacidad nominal de transmisión de las líneas, potencia nominal de los transformadores de potencia y generadores síncronos del SEIN.
- Despachos de generadores y distribución de demandas del SEIN para el año 2016, para los escenarios hidrológicos de avenida y estiaje en máxima, media y mínima demanda respectivamente.
- Equipos de compensación reactiva del SEIN.
- Motores síncronos y asíncronos de las plantas de algunas compañías mineras.
- Modelos dinámicos de los reguladores de tensión y velocidad de generadores síncronos, compensadores síncronos, equipos de compensación estática de potencia reactiva y cargas.

4.3.3. Expansión del sistema eléctrico interconectado nacional

Para el horizonte de análisis establecido se han considerado los principales proyectos de generación, transmisión e ingreso o ampliación de cargas mineras e industriales, los cuales se resumen a continuación:

CONEXIÓN DE NUEVAS CARGAS Y AMPLIACIONES

Cuadro 4: PROYECCIÓN DE DEMANDA DE NUEVOS PROYECTOS 2015 – 2018
Actualizado al 11 May 2015

PRINCIPALES NUEVOS PROYECTOS DE DEMANDA	2015		2016		2017		2018	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Tía María (SPCC)								
Los Chancas (SPCC)								
Ampliación Concentradora Cuajone (SPCC)	6	9	27	131	28	192	67	382
Ampliación Concentradora Toquepala (SPCC)	9	50	12	100	104	675	104	865
Ampliación Fundición (SPCC)								
Ampliación Refinería (SPCC)								
Ampliación Cerro Verde 500kV	152	374	259	1876	370	2877	370	2877
Ampliación Quimpac-Oquendo II (Cloro Soda)								
Ampliación El Brocal								
Ampliación Shougang Hierro Perú	10	18	10	73	41	300	70	514
Ampliación Antamina	15	128	30	284	30	281	76	616
Ampliación Aceros Arequipa-Pisco		7		26		26	6	201
Ampliación Toromocho (Chinalco)	28	165	62	553	96	832	102	1005
Ampliación Bayovar (Mishki Mayo)			10	75	19	150	21	162
Fosfatos de Bayovar-CCPSA								
Cementos Piura- CCPSA	14	44	14	114	14	105	14	105
Ampliación UNACEM-Cementos Lima								
Ampliación UNACEM-Condorcocha	11	61	11	124	11	125	11	125
Pachapaqui (ICM)								
Minas Conga								
Ampliación Antapaccay								
Las Bambas (MMG)	41	134	90	688	150	1192	150	1192
Coroccohuayco-Antapaccay								
Constancia Ampliación								
Galeno (Lumina)	3	24	10	79	20	157	48	377
Bongará-Cajamarquilla (Volorantim)								
Mina Quechua								
Quellaveco (Angloamerican)							2	22
Mina Chapi (Milpo)								
Chucapaca								
Hilarión (Milpo)								
Pukaqaqa (Milpo)							16	128

Pampa de Pongo (JMP)					16	140	16	140
Los Calatos (Hampton)								
Michiquillay (Angloamerican)								
Cañariaco (Candete Cupper)								
La Granja (Rio Tinto)								
Sulliden (Shahuindo)								
Haquira (Antares)								
Mina Justa (Marcobre)			5	39	5	39	5	39
Rio Blanco (Zhin Mining Group)								
Ampliación Refinería Talara (PETROPERU)	3	24	4	31	29	256	78	682
Coraní (Bear Creek)					20	133	41	266
Inmaculada-Suyamarca (Hochschild)			10	70	20	140	20	140
La Afena (Río Blanco)					16	125	17	134
El Porvenir (Milpo)	3	9	6	31	6	31	10	60
Mina Alpamarca (Volcan)								
Nueva Planta de Oxidos VOLCAN			8	59	17	118	17	118
Ampliación SIDERPERU								
Ollaches (Kuri Kullu)			4	16	7	59	10	80
Salmueras Sudamericanas - CCPSA							2	17
Accha- Azcd- (Zincore Metals)								
Total de Proyectos - Zona Norte	20	91	37	299	98	793	179	1477
Total de Proyectos - Zona Centro	68	388	142	1260	226	1892	334	2946
Total de Proyectos - Zona Sur	207	568	392	2810	695	5268	759	5824
TOTAL PROYECTOS	295	1047	572	4369	1019	7953	1273	10247

Fuente: Elaboración propia

EXPIACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

En el siguiente cuadro se presenta un cuadro resumen de los principales proyectos de generación a ejecutarse en el SEIN en el horizonte de estudio:

Cuadro 5: Programa de Obras de Generación 2015-2018

INFORMACIÓN REFERENCIAL PARA ESTUDIOS **Actualizado al: 10 abr 2015**

FECHA	PROYECTO	TECNOLOGÍA	EMPRESA	MW	NOTAS
abr-2015	CB La Gringa V	Biomasa	CONSORCIO ENERGIA LIMPIA	2.00	(1)
may-2015	CT Eten - Reserva Fría	Dual Diesel B5/Gas Natural	PLANTA DE RESERVA DE GENERACIÓN DE ETEN	219.00	(2)
may-2015	CH Machupicchu II	Hidroeléctrica	EGEMSA	99 86	(3)
jul-2015	CH Santa Teresa	Hidroeléctrica	LUZ DEL SUR	98.12	(3)
ago-2015	CH Quitaracsa	Hidroeléctrica	ENERSUR	111.80	(3)
sep-2015	CH Chevez 1	Hidroeléctrica	STATKRAFT	168.00	(3)
sep-2015	CH Tingo	Hidroeléctrica	COMPAÑÍA HIDROELECTRICA TINGO	8.80	(1)
sep-2015	CT Puerto Maldonado - Reserva Fría	Dual Diesel B5/Gas Natural	INFRAESTRUCTURAS Y ENERGÍAS DEL PERÚ	16.00	(1)
nov-2015	CT Pucalpa - Reserva Fria	Dual Diesel B5/Gas Natural	INFRAESTRUCTURAS Y ENERGÍAS DEL PERÚ	40.00	(1)
ene-2016	CE Parque Tres Hermanas	Eólica	PARQUE ECOLOGICO TRES HERMANAS	97.15	(1)
ene-2016	CH Chancay	Hidroeléctrica	SINERSA	19.20	(1)
feb-2016	CH Cerro del Águila - G1	Hidroeléctrica	CERRO DEL ÁGUILA	170.00	(3)

mar-2016	CH 8 de Agosto	Hidroeléctrica	GENERACIÓN ANDINA	19.00	(1)
mar-2016	CH El Carmen	Hidroeléctrica	GENERACIÓN ANDINA	8.40	(1)
mar-2016	CH Cerro del Águila - G2	Hidroeléctrica	CERRO DEL ÁGUILA	170.00	(3)
mar-2016	CT Reckca	Dual Diesel B5/Gas Natural	MINERA CERRO VERDE	181.30	(1)
may-2016	CT Puerto Bravo - Nodo Energético del Sur	Dual Diesel B5/Gas Natural	SAMAY I	500.00	(3)
may-2016	CH Cerro del Águila - G3	Hidroeléctrica	CERRO DEL ÁGUILA	170.00	(3)
ago-2016	CH Chaglla	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN DE HUALLAGA (COEBRECHT)	405.82	(1)
sep--2016	CT Chilca 1 - TG4	Ciclo Simple	ENERSUR	74.00	(3)
nov-2016	CH Renovandes H1	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN SANTA ANA	19.99	(1)
nov-2016	CH Carpapata III	Hidroeléctrica	GENERACIÓN ELECTRICA ATOCONGO	12.80	(1)
dic-2016	CH Colca	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN ELECTRICA CANCHAYLLO	12.05	(1)
ene-2017	CH Yarucaya	Hidroeléctrica	HUAHURA POWER GROUP	16.50	(1)
ene-2017	CH Laguna Azul	Hidroeléctrica	HIDROELECTRICA LAGUNA AZUL	20 00	(1)
mar-2017	CH Cola 1	Dual Diesel B5/Gas Natural	HIDROELECTRICA COCA	10.40	(1)
mar-2017	CT Ilo - Nodo Energetico del Sur	Ciclo Combinado	ENERSUR	500.00	(1)
mar-2017	CT Chilca 1 - TV2	Ciclo Combinado	ENERSUR	38.80	(3)
abr-2017	CT Santo Domingo de los Olleros TV	Hidroeléctrica	TERMOCHILCA	86.00	(3)
may-2017	CH La Virgen	Hidroeléctrica	LA VIRGEN	64.00	(4)
jul-2017	CH Karpa	Hidroeléctrica	HIDROELECTRICA KARPA	19 00	(3)
ago-2017	CH Huatziroki I	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN HIDRAULICA SELVA	11.08	(3)
ene-2018	CH Pucará	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN HIDROELECTRICA DEL CUSCO	149.80	(1)
ene-2018	CH Angel III	Hidroeléctrica	GENERADORA DE ENERGÍA DEL PERÚ	19.95	(1)
ene-2018	CH Angel I	Hidroeléctrica	GENERADORA DE ENERGÍA DEL PERÚ	19 95	(1)
ene-2018	CH Angel II	Hidroeléctrica	GENERADORA DE ENERGÍA DEL PERÚ	19.95	(1)
ene-2018	CH Tulumayo IV	Hidroeléctrica	EGEJUNN TULUMAYO IV	40.00	(5)

ene-2018	CH Tulumayo V	Hidroeléctrica	EGEJUNN TULUMAYO V	65.00	(5)
ene-2018	CH Macon	Hidroeléctrica	EGEJUNN MACON	10.00	(6)
ene-2018	CH Langui II	Hidroeléctrica	CENTRAL HIDROELECTRICA DE LANGUI	2.90	(6)
ene-2018	CH Huasicancha	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN ELECTRICA CANCHAYLLO	6.25	(6)
ene-2018	CH Chilcay	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN ELECTRICA CANCHAYLLO	12.01	(6)
ene-2018	CH Pallca	Hidroeléctrica	ANDEAN POWER	10.10	(6)
ene-2018	CH Muchcapata	Hidroeléctrica	NUEVA ESPERANZA ENERGY	8.10	(6)
ene-2018	CH Nueva Esperanza	Hidroeléctrica	NUEVA ESPERANZA ENERGY	9.34	(6)
ene-2018	CH Campanayocc	Hidroeléctrica	MFU CONSULTING	4.62	(7)
feb-2018	CH Hidryka 5	Hidroeléctrica	INTERNATIONAL BUSINESS AND TRADE LLC SUCURSAL PERÚ	10.00	(1)
feb-2018	CH Hidryka 2	Hidroeléctrica	INTERNATIONAL BUSINESS AND TRADE LLC SUCURSAL PERÚ	4.00	(1)
mar-2018	CH Manta	Hidroeléctrica	PERUANA DE INVERSIONES EN ENERGIAS RENOVABLES	19.78	(3)
jun-2018	CH Santa Rosa - TV	Ciclo Combinado	EDEGEL	129.10	(8)
jul-2018	CH Hidryka 4	Hidroeléctrica	INTERNATIONAL BUSINESS AND TRADE LLC SUCURSAL PERÚ	8.00	(1)
jul-2018	CH Hidryka 1	Hidroeléctrica	INTERNATIONAL BUSINESS AND TRADE LLC SUCURSAL PERÚ	6.60	(1)
jul-2018	CH Hidryka 3	Hidroeléctrica	INTERNATIONAL BUSINESS AND TRADE LLC SUCURSAL PERÚ	10.00	(1)
jul-2018	CH Las Cruces	Hidroeléctrica	GENERAL COMMERCE	14.60	(9)
nov-2018	CH Carhuac	Hidroeléctrica	ANDEAN POWER	15.80	(1)
ene-2019	CH Santa Lorenza 1	Hidroeléctrica	EMPRESA DE GENERACIÓN ELECTRICA SANTA LORENZA	18.70	(1)

Fuente: Elaboración propia

EXPANSION DEL SISTEMA DE TRANSMISION

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los principales proyectos de transmisión a ejecutarse en el SEIN en el horizonte de análisis:

Cuadro 6: Programa de Obras de Generación 2015-2018

Información referencial para estudios Actualizado al: 10 abr 2015

FECHA	PROYECTO	EMPRESA	NOTAS
jun-2015	Repotenciación de la LT 220 kV Huanza - Carabayllo	REP	(1)
jun-2015	Repotenciación de la LT 138 kV Paragsha II - Huanuco de 45 MVA a MVA	REP	(1)
jun-2015	Nueva SE Reque 220/60/22.9 kV y 100 MVA (antes llamada SE Chiclayo Sur)	REP	(2)
jul-2015	SE San Jose 500/220 vK	ATN	(3)
ago-2015	Ampliación de la Capacidad de transmisión de la linea 220kV Ventanilla - Zapalla (L-2242/L-2243) de 152 MVA a 270 MVA por terna	REP	(2)
sep-2015	LT 220kV Machupicchu - Avancay Nueva - Cotaruse (doble circuito) 500 MVA y SSEE Asociadas	CTM	(2)
sep-2015	Repotenciación de la LT 138 kV Aguaytia - Pucallpa de 50 MVA a 80 MVA	ISA	(2)
dic-2015	LT 220kV Ventanilla - Chavania de 189 MVA (cuarto circuito)	REP	(2)
dic-2015	LT 138kV Socavaya - Parque industrial (simple circuito) y Ampliacion de Subestaciones	SEAL	(4)
ene-2016	SE Amanlis 138 kV y Obras Conexas	REP	(2)
mar-2016	Nueva SO Ilo 3 138 kV de 400 MVA	SOUTHERN PERU	(5)
may-	LT 220 kV Carhuaquero - Cajamarca Norte (300 MVA) y LT 220 kV Cajamarca Norte - Caclic - Moyobamba (200 MVA)	COBRA	(2)

2016			
jun-2016	SE Puno instalacíon de bancos capacitores de 2x7 MVAR en la barra de 60 kV	REP	(6)
jun-2016	Ampliación de la Capacidad de transmisión de la SE Pucallpa 138/60/10 kV (55/55/18 MVA)	ISA	(2)
jun-2016	Instalación de Compensación Reactiva (SVC) de 10 a 45 MVAR en 60 kV en la SE Pucallpa	ISA	(2)
jun-2016	Ampliación de la capacidad de transformación en la SE Aguaytia 220/138/229 kV (60/60/20 MVA)	ISA	(2)
ago-2016	LT 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya y SSEE Asociadas	AVENGOA PERU	(2)
sep-2016	LT 220 kV La Planicia - Industriales	CTM	(2)
dic-2016	SE Barsi: cambio de transformador de 85 MVA a 180 MVA		(4)
dic-2016	SE Malvinas (Nueva Colonial) 220/60 kV - 180 MVA	EDELNOR	(4)
dic-2016	LT 220 kV Mirador (Nueva Jicamarca) - Malvinas (Nueva Colonial)	EDELNOR	(4)
dic-2016	Ampliación de la SE Friaspata 220 kV (Huancavalca) y seccionamiento de la LT 220 kV Mantaro - Independencia (L-2203)	REP	(5)
ene-2017	SE Paramonga Nueva 220 kV Transformador Trifasico de 220/60/10 kV - 30 MVA	REP	(6)
ene-2017	LT 138 kV Santiago de Cao - Malabrigo (41 36 km) y SE Malabrigo de 138/60 kV	-	(7)
ene-2017	Proyecto Anillo en 138 kV Sistema Electrico trujillo con B.32 km de LT 138 kV	-	(7)
ene-2017	Repotenciación de la LT 220 kV San Juan - Balnearios de 2x860 A a 2x1300 A	LUZ DEL SUR	(8)
ene-2017	Repotenciación de la LT 220 kV Pomacocha - San Juan	-	(9)
ene-2017	LT 500 kV Mantaro - Marcona - Nueva Socabaya - Montalvo y SSEE Asociadas	CTM	(8)
ene-2017	SE Orcotuna 220/60 kV - 50 MVA y dos lineas de transmision en 220 kV Huayucachi - Huanza	CTM	(2)
ene-2017	LT 220 kV Friaspara - Mollepata 250 MVA y SE Mollepata 220/66 kV - 50 MVA	CTM	(2)
ene-2017	Repotenciación de la LT 220 kV Pachachanca - Callahuanca	-	(9)
abr-2017	SE Nueva Nazca 220/60 kV - 75 MVA	-	(7)
abr-2017	SE Nueva Chincha 220/60 kV - 75 MVA	-	(7)
jul-2017	LT 220 kV Moquegua - Los heroes (2do circuito) y Ampliación de la SE Los Heroes	-	(10)
jul-2017	LT 220 kV Asia - Drv. Asia	-	(4)

jul-2017	Nueva SE Asia 220/60/10 kV - 85 MVA	-	(4)
jul-2017	SE Alto Praderas 220/60/10 kV - 120 MVA y lineas de Enlace en 220 kV y 60 kV	-	(4)
jul-2017	LT 220 kV Industriales - San Luis	-	(4)
jul-2017	Nueva SE San Luis 220/60/10 kV - 240 MVA	-	(4)
oct-2017	SE Carapongo 500/220 kV y enlaces de conexión de lineas aledañas	-	(11)
ene-2018	Repotenciación de la LT 220 kV Tingo Maria - Vizcarra - Conococha	-	(9)
ene-2018	Repotenciación de la LT 220 kV Trujillo - Cajamarca	-	(9)
feb-2018	LT 220 kV Azangaro - Juliaca - Puno y SSEE Asociadas	-	(11)
feb-2019	LT 220 kV Moyobamba - Iquitos y SSEE Asociadas	LTP	(2)

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

5. ALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA

5.1. CONCEPTOS GENERALES

El flujo de potencia es la denominación que se le da a la solución de estado estacionario de un sistema eléctrico de potencia bajo ciertas condiciones preestablecidas de generación, demanda y topología de la red.

Por lo tanto, los análisis de flujos de potencia consisten en obtener las condiciones de operación en estado estacionario de un sistema eléctrico de potencia, más concretamente dados los consumos en cada barra y la potencia generada por los generadores, se trata de encontrar las tensiones en las barras, los flujos de potencia por las líneas y los transformadores.

El análisis del flujo de potencias permite:

- En la operación diaria, constituye la base del análisis de la seguridad del sistema, los análisis de flujos de potencia se ejecutan periódicamente para identificar posibles problemas de sobrecargas o tensiones inaceptables, como consecuencia del crecimiento de la demanda o cuando ocurre algún cambio brusco en la topología de la red.
- Los análisis de los flujos de potencia son de gran importancia en la planificación y diseño de los futuros proyectos de expansión del sistema de potencia como también en la determinación de las de las mejores condiciones de operación de los sistemas ya existentes.

- En la planificación permite simular el estado en que se encontrarían los distintos escenarios que se estén analizando ante una demanda estimada.
- Evaluar el impacto de la incorporación de las nuevas instalaciones y/o cargas sobre el comportamiento en estado estacionario de un sistema de potencia, en particular de la zona de influencia del proyecto para dimensionarlo correctamente, evitando que se produzcan sobrecargas y caídas de tensión.
- Especificar las características de regulación automática bajo carga de los transformadores de potencia, equipos de compensación reactiva y la capacidad de transmisión de líneas, los cuales deben ser las adecuadas a fin de permitir la operación del sistema en los distintos estados previstos de demanda y despacho de generación.
- Estudiar los efectos sobre la distribución de potencias, cuando se producen pérdidas temporales de generación o circuitos de transmisión.

5.2. METODOLOGIA EMPLEADA

El análisis se realizó con la ayuda del módulo de flujo de potencia “Load Flow Analysis” del programa de análisis de sistemas eléctricos de potencia Digsilent Power Factory, esta herramienta brinda la posibilidad de hacer simulaciones de flujo de potencia mediante dos métodos numéricos. El método que se consideró y se utilizó para los cálculos fue el de Newton-Raphson.

5.2.1. Horizonte de Análisis

Para el horizonte de análisis se ha considerado el año 2016 periodo de avenida y estiaje, en donde el proyecto Tambomayo entra en servicio con una máxima demanda de 12 MW, en este año se incluyen los

proyectos de generación, transmisión, ampliaciones de cargas y conexión de nuevas cargas mineras establecidas para dicho año.

5.2.2. Escenarios de Generación

Los escenarios hidrológicos y condiciones de demanda considerados para el año 2016 son los siguientes:

- Máxima Demanda en Avenida 2016
- Media Demanda en Avenida 2016
- Mínima Demanda en Avenida 2016
- Máxima Demanda en Estiaje 2016
- Media Demanda en Estiaje 2016
- Mínima Demanda en Estiaje 2016

5.2.3. Análisis en Estado Estacionario

Para los escenarios hidrológicos y condiciones de demanda establecidos, para el horizonte de análisis, se simularon flujos de potencia en operación normal para verificar las tensiones de operación, ángulos de fase y niveles de carga de los transformadores de potencia, así como de las líneas de transmisión a fin de evaluar el comportamiento en estado estacionario del sistema de transmisión de la zona de influencia al proyecto minero Tambomayo.

Para el análisis de la seguridad del sistema de transmisión del área de influencia al proyecto se simularán flujos de potencia para las condiciones de red N–1 del sistema de transmisión (contingencia simple), con el objetivo de identificar aquellos casos críticos de operación que puedan poner en riesgo el suministro eléctrico a las instalaciones del proyecto minero Tambomayo e instalaciones

adyacentes o puedan variar significativamente la operación en la zona de influencia.

Los escenarios hidrológicos y condiciones de demanda considerados para el análisis de contingencias son los escenarios de máxima demanda en avenida 2016 y máxima demanda en estiaje 2016, por ser los escenarios más representativos de la estacionalidad de la generación y los más críticos desde el punto de vista de la operación.

En los resultados gráficos se pueden observar la siguiente información:

- Módulo y ángulo de fase de la tensión en las barras.
- Potencia activa, reactiva y nivel de carga en las líneas.
- Potencia activa, reactiva y posición del tap en los transformadores de potencia.
- Potencia activa y reactiva en máquinas síncronas y asíncronas.
- Potencia reactiva inyectada o absorbida por los equipos de compensación reactiva.

5.3. CRITERIOS DE OPERACION

Para la condición de operación normal y en estado de emergencia del sistema eléctrico en estudio, los resultados de flujos de potencia se evaluarán en base a los Criterios de Desempeño establecidos por el COES, los cuales se describen a continuación:

5.3.1. Operación Normal

- Las tensiones en barras deben estar dentro del rango ± 5 % de los equipos instalados en las subestaciones, principalmente transformadores de potencia. Asimismo, en el caso de las barras del

sistema de transmisión, las tensiones en Estado Normal deben estar en el rango de ± 2.5 % de las tensiones de operación.

- Capacidad de transporte de líneas y capacidad de carga de transformadores:

  Líneas de transmisión : 100% de su potencia nominal
  Transformadores de potencia : 100% de su potencia nominal

  No se admiten sobrecargas ni en líneas ni en transformadores de potencia.

5.3.2. Operación en Estado de Emergencia

Ante una contingencia se debe satisfacer los siguientes criterios de operación:

- Límites de tensión admisibles en barras:
  Nivel de 220kV : 0.90 p.u. / 1.10 p.u. de la Tensión de Operación.
  Nivel igual o menor a 138kV : 0.90 p.u. / 1.05 p.u. de la Tensión de Operación.

- Capacidad de transporte de líneas y capacidad de carga de transformadores:
  Líneas de transmisión : 120% de su potencia nominal
  Transformadores de potencia : 120% de su potencia nominal

5.4. CONSIDERACIONES

- Para la solución matemática del flujo de potencia se considera como máquina de referencia al generador síncrono SAM G1 de la C.H. Campo Armiño para el año 2016.

- Las barras de Socabaya 220kV y Tintaya 138kV, operan con una tensión consigna de 1.0 p.u. debido a la regulación de los compensadores estáticos de potencia reactiva (SVC) instalados en estas subestaciones.
- El SVC de Tintaya (REP) opera en un valor fijo de 15 MVar capacitivos, en tanto que el SVC de Xstrata es quien realiza el control de la tensión en la barra de 138kV de la S.E. Tintaya.

- La máxima demanda proyectada para la subestación Tambomayo para el año 2016 es de 12MW con un factor de potencia de 0.96 inductivo, en las simulaciones se ha considerado un diagrama de carga plano, es decir que la máxima, media y mínima demanda es la misma en los diferentes escenarios de análisis, esto se debe a la forma de operación de la mina Tambomayo.

- Como parte de la ampliación de la minera Bateas está previsto la instalación de un nuevo transformador en la S.E. Caylloma de 6 MVA, 66/15 kV en reemplazo del existente (3MVA), también está considerada la instalación de una segunda terna de 15kV entre las subestaciones Caylloma y Huayllacho; para el análisis del presente estudio se ha tenido en cuenta la ampliación de la minera Bateas junto con el nuevo equipamiento que la ampliación conlleva.

- Las demandas de las subestaciones Huancarama, Chipmo, Ares y Arcata fueron tomadas del Estudio de Pre Operatividad (EPO) del proyecto Tambomayo aprobado por el COES en Abril del presente año, el EPO establece que las demandas de Huancarama y Chipmo fueron

proporcionadas por Conenhua, en tanto que las demandas de Ares y Arcata fueron declaradas por Hochschild Mining Perú.

- De acuerdo al diseño de la nueva línea de transmisión en 138kV Talta - Tambomayo, ésta puede transmitir en operación normal 71 MVA.

- Para el regulador automático de tensión del transformador 138+2/-14x1.25%/22/10 kV de la subestación Tambomayo se considera una tensión consigna de 1.0 p.u. en la barra de 10 kV.

- En el siguiente cuadro se muestran las tensiones de operación de las barras del sistema de transmisión que se encuentran en la zona de influencia del proyecto, así mismo se muestran la tensión nominal del devanado primario de los transformadores de potencia:

Cuadro 7: Tensiones de Operación de las Barras del Sistema de Transmisión

Tensiones de Operación		
Barra	**Tensión Operación (kV)**	**Tensión Nominal Devanado Primario** (kV)
Santuario	138	-
Tintaya	137	-
Callalli	137	132±13x1%
Ares (Conenhua)	138	132±10x1%
Huancarama	66	62+8/-10 x 1.25%
Chipmo	66	62+8/-10 x 1.25%
Ares (Hochschild)	66	66±8x1.25%
Talta	138	-
Tambomayo	138	138+2/-14 x1.25%

Fuente: Elaboración propia

- Se utilizó como referencia la demanda establecida para el año 2016 en el archivo *.pfd del programa Digsilent Power Factory proporcionado por el COES, actualizado al mes de marzo del 2015.

- Para los generadores síncronos se consideran sus respectivas curvas de capabilidad, la generación de potencia activa y reactiva en los respectivos despachos se mantienen dentro del diagrama de capacidad de cada unidad generadora.

5.5. ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN OPERACIÓN NORMAL

Con el objetivo de determinar el impacto de la conexión de la demanda del proyecto minero Tambomayo, cuyo punto de suministro eléctrico es la subestación Talta 138 kV, sobre las condiciones de operación del sistema de transmisión del área de influencia del proyecto, el análisis de flujos de potencia para el año 2016 se efectuó para los siguientes casos:

- Caso Base: Sin considerar las instalaciones del proyecto
- Caso Proyectado: Considerando la demanda del proyecto

5.5.1. CASO DE OPERACIÓN BASE – SIN CONSIDERAR EL PROYECTO

Los resultados gráficos de las simulaciones de flujos de potencia en operación normal, para el caso base establecido se presenta en el Anexo Nº 3, en el cual se muestran los siguientes gráficos:

- Figura MXAVE16-B: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MDAVE16-B: Media Demanda Avenida 2016
- Figura MNAVE16-B: Mínima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-B: Máxima Demanda Estiaje 2016
- Figura MDEST16-B: Media Demanda Estiaje 2016
- Figura MNEST16-B: Mínima Demanda Estiaje 2016

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la zona de influencia del proyecto, para los escenarios hidrológicos y condiciones de demanda considerados para el caso base:

- Las tensiones de operación en las barras de 138 kV y 66 kV de las subestaciones comprendidas en la zona de influencia del proyecto están dentro de los límites de operación establecidos para casos de operación normal, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 8: Tensiones de Operación de las Barras de 138kV y 66kV

Tensiones de Operación													
Escenario		Avenida 2016						Estiaje 2016					
Subestación	Tensión Nominal (kV)	Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda		Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda	
		(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.
Santuario	138	139.25	1.01	139.09	1.01	139.10	1.01	137.64	1.00	137.54	1.00	138.06	1.00
Tintaya	138	138.00	1.00	138.00	1.00	138.00	1.00	139.65	1.01	140.08	1.02	139.50	1.01
Callalli	138	137.13	0.99	137.29	0.99	137.39	1.00	136.91	0.99	137.43	1.00	137.63	1.00
	66	66.89	1.01	66.71	1.01	66.83	1.01	66.81	1.01	66.84	1.01	66.56	1.01
	24	24.22	1.01	24.21	1.01	24.26	1.01	24.19	1.01	24.26	1.01	24.18	1.01
Ares (Conenhua)	138	133.80	0.97	133.80	0.97	133.98	0.97	133.08	0.96	133.65	0.97	133.98	0.97
	66	66.83	1.01	66.69	1.01	66.84	1.01	66.94	1.01	66.55	1.01	66.77	1.01
Huancarama	66	65.20	0.99	65.00	0.98	65.21	0.99	65.13	0.99	64.77	0.98	65.01	0.98
Chipmo	66	64.59	0.98	64.38	0.98	64.60	0.98	64.52	0.98	64.15	0.97	64.41	0.98
Caylloma	66	63.69	0.97	63.43	0.96	63.66	0.96	63.62	0.96	63.62	0.96	63.60	0.96
	15	15.00	1.00	15.00	1.00	15.00	1.00	15.00	1.00	15.00	1.00	14.93	1.00
Ares (Hochschild)	66	63.02	0.95	62.67	0.95	62.99	0.95	62.96	0.95	62.95	0.95	62.92	0.95
	33	33.05	1.00	33.20	1.01	33.03	1.00	33.47	1.01	33.02	1.00	32.99	1.00
	4.16	4.18	1.01	4.19	1.01	4.18	1.00	4.24	1.02	4.18	1.00	4.17	1.00

Fuente: Elaboración propia

- Los transformadores de potencia de las subestaciones que se encuentran en la zona de influencia del proyecto presentan los siguientes niveles de carga:

Cuadro 9: Niveles de Carga de los Transformadores de potencia de las Subestaciones

Nivel de Carga en Transformadores de Potencia						
Escenario	Avenida 2016			Estiaje 2016		
	Máxima Demanda	Media Demanda	Mínima Demanda	Máxima Demanda	Media Demanda	Mínima Demanda
Transformador	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Transformador Callalli 30/30/9MVA, 132/66/24kV	56.07	48.26	47.71	57.23	49.36	46.70
Transformador Ares (Conenhua) 28.7/28.7/8.6MVA, 132/66/21.9kV	74.24	74.70	74.38	79.39	79.00	77.88
Transformador Ares (Hochschild) 15/6.25/8.75MVA, 66/33/4.16kV	69.04	68.70	69.07	68.06	69.11	69.17

Fuente: Elaboración propia

- Las líneas de transmisión en 138 kV y 66 kV comprendidos en la zona de influencia del proyecto presentan los siguientes niveles de carga:

Cuadro 10: Tensiones de Operación de las Líneas de Transmisión en 138kV y 66kV

Tensiones de Operación														
Escenario			Avenida 2016						Estiaje 2016					
Subestación	Código	kV	Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda		Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda	
			MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)
Santuario-Callalli	L-1020	138	32.22	29.12	30.23	27.35	28.17	25.49	26.18	24.27	22.54	21.33	18.58	17.43
Tintaya-Callalli	L-1008	138	5.85	6.56	5.69	6.20	7.60	7.43	13.41	14.20	14.94	15.08	18.04	16.73
Callalli -Ares (Conenhua)	L-1040	138	21.06	18.64	21.06	18.75	21.05	18.67	22.27	19.93	22.27	19.83	22.04	19.55
Callalli-Caylloma	L-6015	66	13.53	54.93	13.53	55.22	13.53	54.91	13.90	56.29	13.95	56.51	13.95	56.25
Caylloma-Ares (Hochschild)	L-6016	66	9.22	38.41	9.22	38.86	9.22	38.43	9.22	38.41	9.22	38.44	9.22	38.48
Ares (Conenhua)-Arcata	L-6018	66	7.29	16.92	7.29	16.97	7.29	17.01	7.29	16.94	7.29	17.10	7.32	17.04
Ares (Conenhua)-Huancarama	L-6017	66	13.43	54.60	13.44	55.10	13.43	54.61	14.60	59.48	14.60	59.64	14.35	58.50
Huancarama-Chipmo	L-6023	66	10.68	44.93	10.68	45.08	10.68	44.94	10.68	44.98	10.68	45.25	10.44	44.02

Fuente: Elaboración propia

- Las barras que presentan el nivel de tensión más bajo son las barras de Ares (Conenhua) 138 kV con 0.97 p.u., Ares (Hochschild) 66kV con 0.95 p.u. y Caylloma 66kV con 0.96p.u., cabe mencionar que en todas estas subestaciones se cuenta con transformadores de potencia con regulación automática bajo carga por lo tanto no existirá problemas de caída de tensión en sus respectivas barras de media tensión o baja tensión, esta condición está presente antes del ingreso del proyecto Tambomayo.

- Para los escenarios de generación y condiciones de demanda considerados para el año 2016 el sistema eléctrico de la zona de influencia del proyecto opera satisfactoriamente; por lo tanto, dichas condiciones de operación son favorables para la conexión de las instalaciones del proyecto minero Tambomayo.

5.5.2. CASO DE OPERACIÓN PROYECTADO

Los resultados gráficos de las simulaciones de flujos de potencia en operación normal, para el caso proyectado se presentan en el Anexo Nº 4, en el cual se muestran los siguientes gráficos:

- Figura MXAVE16-P: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MDAVE16-P: Media Demanda Avenida 2016
- Figura MNAVE16-P: Mínima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-P: Máxima Demanda Estiaje 2016
- Figura MDEST16-P: Media Demanda Estiaje 2016
- Figura MNEST16-P: Mínima Demanda Estiaje 2016

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los escenarios hidrológicos y condiciones de demanda considerados en este caso de análisis:

- Con el ingreso del proyecto, las tensiones de operación en las barras de las subestaciones comprendidas en la zona de influencia del proyecto presentan los siguientes valores:

Cuadro 11: Resumen de los Resultados Obtenidos de las Tensiones de Operación

Tensiones de Operación													
Escenario		Avenida 2016						Estiaje 2016					
Subestación	Tensión Nominal (kV)	Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda		Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda	
		(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.	(kV)	p.u.
Santuario	138	139.09	1.01	138.92	1.01	138.92	1.01	137.48	1.00	137.37	1.00	137.87	1.00
Tintaya	138	138.00	1.00	138.00	1.00	138.00	1.00	139.34	1.01	139.75	1.01	139.15	1.01
Callalli	138	135.90	0.98	135.99	0.99	136.02	0.99	135.64	0.98	136.11	0.99	136.23	0.99
	66	66.42	1.01	66.73	1.01	66.83	1.01	66.30	1.00	66.33	1.01	66.53	1.01
	24	24.05	1.00	24.22	1.01	24.26	1.01	24.01	1.00	24.08	1.00	24.17	1.01
Ares (Conenhua)	138	131.10	0.95	131.03	0.95	130.98	0.95	130.62	0.95	131.01	0.95	131.25	0.95
	66	66.84	1.01	66.68	1.01	67.33	1.02	65.88	1.00	66.00	1.00	66.19	1.00
Huancarama	66	65.21	0.99	64.98	0.98	65.66	0.99	64.15	0.97	64.26	0.97	64.47	0.98
Chipmo	66	64.60	0.98	64.37	0.98	65.06	0.99	63.53	0.96	63.64	0.96	63.86	0.97
Caylloma	66	63.42	0.96	63.45	0.96	63.66	0.96	63.30	0.96	63.33	0.96	63.56	0.96
	15	15.00	1.00	15.00	1.00	15.00	1.00	15.00	1.00	15.00	1.00	14.92	0.99
Ares (Hochschild)	66	62.75	0.95	62.68	0.95	62.98	0.95	62.62	0.95	62.66	0.95	62.88	0.95
	33	33.36	1.01	33.20	1.01	33.03	1.00	33.29	1.01	33.32	1.01	32.97	1.00
	4.16	4.22	1.01	4.19	1.01	4.18	1.00	4.21	1.01	4.22	1.01	4.17	1.00
Talta	138	132.82	0.96	132.81	0.96	132.80	0.96	132.42	0.96	132.85	0.96	133.04	0.96
Tambomayo	138	131.93	0.96	131.92	0.96	131.91	0.96	131.52	0.95	131.96	0.96	132.15	0.96
	10	10.01	1.00	10.01	1.00	10.01	1.00	9.98	1.00	10.01	1.00	10.03	1.00

Fuente: Elaboración propia

- De acuerdo a los resultados obtenidos las tensiones de operación en la zona de influencia del proyecto se encuentran dentro de los límites de operación normal para las condiciones de demanda establecidos para el año 2016.
- Las tensiones en las barras de Caylloma 66kV y Ares (Hochschild) 66kV se mantienen en 0.96 p.u y 0.95 p.u respectivamente.
- El nivel de tensión de la barra de Ares (Conenhua) 138 kV se reduce de 0.97 p.u a 0.95 p.u, este valor se encuentra dentro de los límites de operación normal, adicionalmente el transformador de potencia de Ares tiene una relación de transformación 132±10x1% / 66/21.9 kV, lo cual garantiza que no existirá problemas de caída de tensión en las subestaciones aguas abajo de 66kV.
- Las subestaciones de Talta y Tambomayo trabajaran con una tensión de 0.96 p.u.

- Para las condiciones de demanda establecidas para el proyecto, los transformadores de potencia de las subestaciones que se encuentran en la zona de influencia del proyecto presentan los siguientes niveles de carga:

Cuadro 12: Niveles de Carga en Transformadores de Potencia de la Zona de Influencia del Proyecto

Nivel de Carga en Transformadores de Potencia						
Escenario	Avenida 2016			Estiaje 2016		
	Máxima Demanda	Media Demanda	Mínima Demanda	Máxima Demanda	Media Demanda	Mínima Demanda
Transformador	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Transformador Callalli 30/30/9MVA, 132/66/24kV	56.11	48.74	48.19	57.36	49.45	47.19
Transformador Ares (Conenhua) 28.7/28.7/8.6MVA, 132/66/21.9kV	75.78	76.27	76.47	80.12	80.16	79.07
Transformador Ares (Hochschild) 15/6.25/8.75MVA, 66/33/4.16kV	68.32	68.68	69.07	68.49	68.41	69.22
Transformador Tambomayo 26/8.7/26MVA, 168/22/10kV	51.35	51.35	51.35	51.51	51.33	51.26

Fuente: Elaboración propia

El transformador de la S.E. Tambomayo trabajará con un nivel de carga máximo del 51%.

- Las líneas de transmisión en 138kV y 66kV comprendidos en la zona de influencia del proyecto presentan los siguientes niveles de carga:

Cuadro 13: Niveles de Carga en Líneas de Transmisión en 138kV y 66kV

Niveles de Cargas en Líneas														
Escenario			Avenida 2016						Estiaje 2016					
Línea de Transmisión	Código	kV	Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda		Máxima Demanda		Media Demanda		Mínima Demanda	
			MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)	MV	(%)
Santuario-Callalli	L-1020	138	39.08	35.58	37.08	33.76	35.02	31.97	32.97	30.17	29.32	26.99	25.41	23.23
Tintaya-Callalli	L-1008	138	11.69	12.20	11.52	11.97	13.43	13.32	19.35	19.61	20.86	20.59	23.91	22.36
Callalli-Caylloma	L-6015	138	13.53	54.88	13.53	55.22	13.53	54.91	13.90	56.35	13.95	56.50	13.95	56.28
Caylloma-Ares (Hochschild)	L-6016	66	9.22	38.55	9.22	38.85	9.22	38.43	9.22	38.64	9.22	38.59	9.22	38.51
Ares (Conenhua)-Arcata	L-6018	66	7.29	16.91	7.29	16.97	7.28	16.96	7.30	17.09	7.29	17.16	7.33	17.12
Ares (Conenhua)-Huancarama	L-6017	66	13.43	54.60	13.44	55.11	13.43	54.46	14.61	59.93	14.61	59.86	14.35	58.73
Huancarama-Chipmo	L-6023	66	10.68	44.92	10.68	45.09	10.68	44.61	10.68	45.70	10.68	45.60	10.44	44.41
Callali-Talta	-	138	33.46	29.20	33.47	29.28	33.46	29.31	34.70	30.34	34.69	30.29	34.46	30.01
Talta-Ares (Conenhua)	-	138	20.88	19.02	20.88	19.15	20.87	19.20	22.07	20.11	22.07	20.12	21.85	19.85
Talta-Tambomayo	-	138	12.09	18.81	12.09	18.81	12.09	18.81	12.09	18.87	12.09	18.80	12.09	18.77

Fuente: Elaboración propia

- La nueva línea en 138 kV Talta - Tambomayo presenta un nivel máximo de carga del 18.9%. También se aprecia que existe un incremento en el nivel de carga de la línea 138kV Callalli - Talta del 19.9% al 30.3%.

Por lo tanto, de los resultados de flujos de potencia obtenidos para el año 2016, bajo condiciones de operación normal, el ingreso del proyecto Tambomayo no produce un efecto dañino en los niveles de tensión y cargabilidad de las líneas y transformadores del sistema de transmisión de la zona de influencia del proyecto, por lo que el correcto funcionamiento del proyecto estaría garantizado.

5.6. ANÁLISIS DE CONTINGENCIA EN ESTADO ESTACIONARIO

Para el análisis de contingencias en estado estacionario se tendrá como base la topología de red considerada para el caso proyectado.

Los escenarios hidrológicos y condiciones de demanda considerados para el análisis de contingencias son los escenarios de máxima demanda en avenida 2016 y máxima demanda en estiaje 2016, por ser los escenarios más representativos de la estacionalidad de la generación y más críticos de operación.

Los casos de contingencia evaluados son aquellas desconexiones de líneas, transformadores de potencia, generadores, equipos de compensación o cambio de configuraciones, que pueden variar significativamente la operación en la zona de influencia del proyecto.

Los casos simulados de contingencia simple (N-1) son:

- CASO 01: Línea L-1008 Tintaya – Callalli 138 kV fuera de servicio

- CASO 02: Línea L-1020 Santuario – Callalli 138 kV fuera de servicio
- CASO 03: Transformador Callalli – 132/66/24 kV fuera de servicio
- CASO 04: Línea Talta - Ares 138 kV fuera de servicio
- CASO 05: Desconexión de todo el Proyecto Tambomayo

Los resultados gráficos de las simulaciones de contingencias se muestran en el Anexo N° 5.

A continuación, se describe los resultados obtenidos para cada caso de contingencia simulado:

a) CASO 01: Línea L-1008 Tintaya – Callalli 138kV fuera de servicio

Ante la salida de la línea L-1008 Tintaya – Callalli toda la demanda de la zona será suministrada por la línea L-1020 Santuario – Callalli 138kV llegando hasta un máximo nivel de carga del 51.4%.

Los niveles de tensión en las barras aledañas al proyecto presentarán los siguientes valores:

Cuadro 14: Niveles de Tensión en las Barras Aledañas al Proyecto

Escenario		Avenida 2016		Estiaje 2016	
Subestación	Tensión Nominal (kV)	Máxima Demanda		Máxima Demanda	
		(kV)	p.u.	(kV)	p.u.
Callalli	138	131.77	0.95	129.05	0.94
	66	66.40	1.01	66.38	1.01
Talta	138	128.58	0.93	125.50	0.91
Tambomayo	138	127.65	0.93	124.54	0.90
	10	9.95	1.00	9.98	1.00
Ares (Conenhua)	138	126.88	0.92	123.60	0.90
	66	66.17	1.00	65.05	0.99

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que las barras que sufren una mayor caída de tensión son las barras de Talta 138kV, Tambomayo 138kV y Ares 138kV, sin embargo, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles para casos de contingencias.

Los gráficos mostrados en el anexo N°5 para este caso de contingencia son:

- Figura MXAVE16-C1: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-C1: Máxima Demanda Estiaje 2016

b) CASO 02: Línea L-1020 Santuario – Callalli 138kV fuera de servicio

Ante la salida de la línea L-1020 Santuario – Callalli toda la demanda de la zona será suministrada por la línea L-1008 Tintaya – Callalli 138kV llegando hasta un máximo nivel de carga del 51.2%.
Los niveles de tensión en las barras aledañas al proyecto presentarán los siguientes valores:

Cuadro 15: Niveles de tensión de la Línea L-1020 Santuario - Callalli 138kV

Escenario		Avenida 2016		Estiaje 2016	
Subestación	Tensión Nominal (kV)	Máxima Demanda		Máxima Demanda	
		(kV)	p.u.	(kV)	p.u.
Callalli	138	130.61	0.95	129.74	0.94
	66	66.48	1.01	66.67	1.01
Talta	138	127.45	0.92	126.19	0.91
Tambomayo	138	126.51	0.92	125.24	0.91
	10	10.00	1.00	10.01	1.00
Ares (Conenhua)	138	125.80	0.91	124.27	0.90
	66	65.01	0.98	65.35	0.99

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que las barras que sufren una mayor caída de tensión son las barras de Talta 138kV, Tambomayo 138kV y Ares

138kV, sin embargo, estos valores se encuentran dentro de los límites permisibles para casos de contingencias.

Los gráficos mostrados en el anexo N°5 para este caso de contingencia son:

- Figura MXAVE16-C2: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-C2: Máxima Demanda Estiaje 2016

c) CASO 03: Transformador Callalli – 132/66/24 kV fuera de servicio

Ante la salida fuera de servicio del transformador de potencia de la S.E. Callalli toda la demanda de Caylloma y Ares (Hochschild) también saldrían fuera de servicio, ya que los generadores de San Ignacio, San Antonio y Huayllacho no podrán cubrir toda la demanda de la zona.
Bajo este escenario el suministro de energía al proyecto Tambomayo estaría garantizado, no se aprecia problemas de caída de tensión ni de sobrecarga en líneas o transformadores.

Los gráficos mostrados en el anexo N°5 para este caso de contingencia son:

- Figura MXAVE16-C3: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-C3: Máxima Demanda Estiaje 2016

d) CASO 04: Línea Talta - Ares 138kV fuera de servicio

Ante la salida fuera de servicio de la línea Talta – Ares 138 kV toda la demanda de Arcata, Huancarama y Chipmo también saldrían fuera de servicio, ya que los generadores de Huancarama y Misapuquio no podrán cubrir toda la demanda de la zona.

Bajo este escenario el suministro de energía al proyecto Tambomayo estaría garantizado, no se aprecia problemas de caída de tensión ni de sobrecarga en líneas o transformadores.

Los gráficos mostrados en el anexo N°5 para este caso de contingencia son:

- Figura MXAVE16-C4: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-C4: Máxima Demanda Estiaje 2016

e) CASO 05: Desconexión de todo el Proyecto Tambomayo

Para las condiciones de demanda establecidas en el horizonte de análisis, en los escenarios considerados este caso de contingencia no causa ningún efecto significativo sobre las condiciones de operación del sistema de transmisión del área de influencia del proyecto, no se aprecia problemas de sobretensión por el efecto capacitivo de la línea Talta-Tambomayo 138kV.

Los gráficos mostrados en el anexo N°5 para este caso de contingencia son:

- Figura MXAVE16-C5: Máxima Demanda Avenida 2016
- Figura MXEST16-C5: Máxima Demanda Estiaje 2016

CAPITULO VI

6. ANALISIS DE CORTOCIRCUITO

La planificación, el diseño y la operación de los sistemas eléctricos de potencia, requiere diversos estudios para evaluar su comportamiento, confiabilidad y seguridad. Un buen diseño debe estar basado en un cuidadoso estudio en que se incluye la selección de tensión, adecuado tamaño del equipamiento y selección apropiada de protecciones. Los estudios de cortocircuito son típicos ejemplos de éstos, siendo esencial para la selección de equipos y evaluar sus respectivas protecciones.

Mediante la realización del estudio de cortocircuito, se determinan las corrientes que circulan por cada uno de los elementos que conforman el sistema eléctrico y las tensiones en todas las barras del sistema eléctrico cuando se presenta una falla.

6.1. CONCEPTOS GENERALES

El análisis de cortocircuito se fundamenta en el cálculo o determinación de las magnitudes de las corrientes de falla y los aportes de cada uno de los elementos a esta falla, permitiendo determinar las características de los elementos de protección que deberán soportar o cortar la corriente de falla, por lo que es necesario realizar el cálculo para cada uno de los niveles de tensión del sistema. La magnitud de la corriente que fluirá a través de un cortocircuito depende principalmente de dos factores:

- Las características y el número de fuentes que alimentan al cortocircuito.
- La oposición o resistencia que presente el propio circuito de distribución.

Las fuentes principales de corrientes de cortocircuito entre fases sin contacto a tierra (trifásica y bifásica) son los generadores y compensadores síncronos existentes en el sistema de potencia local y la generación remota del sistema de transmisión del SEIN, sin embargo, los motores síncronos y de inducción que antes de la falla representaban una carga para el sistema, en condiciones de cortocircuito, se comportan como generadores durante un tiempo relativamente corto. En el caso de cortocircuitos con contacto a tierra (monofásica y bifásico a tierra), además de los generadores con neutro puesto a tierra, también son fuentes de corrientes de secuencia cero los puntos de conexión a tierra, tal como sucede con los neutros puestos a tierra de las conexiones en estrella de los transformadores de potencia.

La oposición que presenta el propio circuito de distribución al flujo de la corriente de cortocircuito se denomina “impedancia” en términos eléctricos y depende de la configuración del sistema eléctrico y se calcula a partir de la impedancia de cada uno de los componentes del sistema.

Otro de los factores que influyen sobre la magnitud de la corriente de cortocircuito son el momento, tipo y ubicación de la falla.

Entre las causas más frecuentes de cortocircuitos a nivel de instalaciones comerciales e industriales podemos mencionar las debidas a la ruptura, debilitamiento del aislamiento de conductores y/o equipos y los producidos por agentes ambientales.

Los efectos de las corrientes de cortocircuitos son muy variados, pero los más importantes son el debido al efecto Joule (calentamiento de los equipos eléctricos debido a la gran circulación de corriente), esfuerzos electromecánicos en las máquinas eléctricas y destrucción física del

lugar de la falla cuando se producen grandes arcos eléctricos. De los efectos de las fallas por cortocircuito, el más notorio es la interrupción del suministro eléctrico debido a la necesaria apertura del circuito eléctrico por parte de los dispositivos de protección para despejar la falla y evitar mayores daños en el sistema.

Aun cuando se diseñe muy cuidadosamente un sistema de potencia, este estará siempre expuesto al daño que puedan causar flujos de corriente en condiciones de cortocircuito tales como sobrecalentamientos y arcos eléctricos destructivos. Para asegurar que los equipos de protección puedan aislar fallas rápidamente y minimizar el daño de cada uno de los componentes del sistema de potencia y el riesgo del personal, el estudio de corrientes de cortocircuito debe ser incluido en el diseño de los sistemas de potencia y también cuando se hagan modificaciones a los sistemas existentes.

6.2. METODOLOGIA Y CRITERIOS

6.2.1. Horizonte de Análisis

El horizonte de análisis considerado es el correspondiente al año 2016, correspondiente al año de la puesta en servicio del proyecto Tambomayo.

6.2.2. Escenarios de Generación y Tipos de Falla

Para el cálculo de las máximas corrientes de cortocircuito se tomará como base la topología de red del SEIN establecida para el escenario hidrológico de avenida 2016 en la condición de máxima demanda. Los tipos de falla considerados para este escenario son:

- Cortocircuito trifásico.
- Cortocircuito monofásico.

Para el cálculo de las mínimas corrientes de cortocircuito se tomará como base la topología de red del SEIN establecida para el escenario hidrológico de estiaje 2016 en la condición de mínima demanda. Los tipos de falla considerados para este escenario son:

- Cortocircuito bifásico.
- Cortocircuito monofásico.

Las mínimas corrientes de cortocircuito se obtienen cuando en el sistema el número de generadores operando es el menor. Para este último escenario se consideraron resistencias de falla con la finalidad de verificar la sensibilidad y alcance de las protecciones.

Para cada uno de los tipos de cortocircuito considerados para el año 2016, en el Anexo Nº 6 se presentan las salidas gráficas con resúmenes de fallas en barras que muestran la corriente total de falla en barras y la contribución que llega a cada barra a través de líneas, transformadores y generadores, en dicho anexo se muestran los siguientes gráficos:

Topología de red de máxima demanda – avenida año 2016 – Caso Base

- Cortocircuito trifásico franco (Figura MX3-B).
- Cortocircuito bifásico franco (Figura MX2-B).
- Cortocircuito monofásico franco (Figura MX1-B)

Topología de red de mínima demanda – estiaje año 2016 – Caso Base

- Cortocircuito trifásico franco (Figura MN3-B).
- Cortocircuito bifásico franco (Figura MN2-B).

- Cortocircuito monofásico franco (Figura MN1-B)

Topología de red de máxima demanda – avenida año 2016 – Caso Proyectado

- Cortocircuito trifásico franco (Figura MX3)
- Cortocircuito bifásico franco (Figura MX2).
- Cortocircuito monofásico franco (Figura MX1).

Topología de red de mínima demanda - estiaje año 2016 – Caso Proyectado

- Cortocircuito trifásico franco (Figura MN3).
- Cortocircuito bifásico franco (Figura MN2).
- Cortocircuito bifásico con Resistencia de falla de 5 Ohms (Figura MN2-5).
- Cortocircuito monofásico franco (Figura MN1).
- Cortocircuito monofásico con Resistencia de falla de 20 Ohms (Figura MN1-20).
- Cortocircuito monofásico con Resistencia de falla de 50 Ohms (Figura MN1-50).

Siendo las variables mostradas:

- Para cortocircuito trifásico se muestra la corriente subtransitoria: I''k= Ia = Ib = Ic
- Para cortocircuito bifásico se muestra la corriente en las fases B y C: Ib, Ic
- Para cortocircuito monofásico se muestra la corriente homopolar: 3Io

6.2.3. Metodología Empleada

Los niveles de corriente de cortocircuito fueron calculados con el método completo del programa de análisis de sistemas eléctricos de

potencia, Digsilent Power Factory, basado en el método de la superposición, con una evaluación previa de flujo de potencia para obtener las tensiones prefalla, este método permite incluir el efecto de la corriente prefalla o de carga.

6.3. APLICACIÓN Y ALCANCES

6.3.1. Evaluación de los incrementos de corriente de cortocircuito

En caso de que se conecten nuevas instalaciones al sistema eléctrico interconectado nacional (líneas de transmisión, subestaciones, centrales de generación, plantas industriales y mineras) uno de los objetivos es determinar los niveles de corriente de cortocircuito en las principales barras de las subestaciones adyacentes al proyecto, a fin de evaluar el incremento de la corriente de falla por el ingreso de las nuevas instalaciones.

6.3.2. Evaluación de interruptores de potencia

Una de las características de los interruptores de potencia que está necesariamente relacionado con los niveles de las corrientes de cortocircuito es la capacidad de ruptura (también denominado capacidad de cortocircuito o corriente de corte) y son valores normalizados de acuerdo a la norma europea IEC- 56 o la norma americana ANSI-C37-06, por lo tanto con los máximos niveles de corrientes de cortocircuito obtenidos se verifica la capacidad de ruptura o corte de los interruptores de potencia proyectados.

6.3.3. Evaluación de transformadores de corriente

Los transformadores de corriente dedicados a los sistemas de protección están descritos en las normas IEC-185 y ANSI C57.13,

dichos transformadores de corriente tienen una característica técnica especial que expresa la precisión y está relacionada principalmente a la curva de saturación.

La clase de precisión de acuerdo a la norma IEC, está definida por #1P#2, donde:

- #1: Precisión cuando la corriente alcanza el valor expresado por #2 (%).
- P: Significa que el devanado está diseñado para protección.
- #2: Número de veces la corriente nominal primaria del transformador de corriente que puede pasar a través del primario del transformador de corriente manteniéndose el error de su clase de precisión expresado por #1.

Este último valor es el que se compara con los máximos niveles de corriente de cortocircuito obtenidos para determinar la saturación del núcleo de los devanados de los transformadores de corriente destinados para el sistema de protecciones.

Lo valores típicos IEC son 5P10 y 5P20

Bajo las normas ANSI la clase protección (C__ o T__) designa la mínima tensión en terminales secundarias del transformador de corriente a 20 veces la corriente nominal secundaria sin exceder el 10% de error de relación para el máximo burden especificado.

Lo valores típicos ANSI son C ó T100, C ó T200, C ó T400 y C o T800.

6.4. RESULTADOS OBTENIDOS

Las simulaciones fueron hechas para el caso base y el caso proyectado, con la finalidad de evaluar la variación o incremento de la corriente de falla ante el ingreso del nuevo proyecto Tambomayo.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los máximos y mínimos niveles de corriente de cortocircuito obtenidos para la condición actual.

Cuadro 16: Máximos y Mínimos Niveles de Corriente de Cortocircuitos

Caso Base – Sin Proyecto

Subestación	Barra Fallada (kV)	Máxima Demanda Avenida 2016			Mínica Demanda Estiaje 2016		
		Falla Trifásica	Falla Bifásica	Falla Monofásica	Falla Trifásica	Falla Bifásica	Falla Monofásica
		I"K (kA)	Ib",Ic" (kA)	3I0" (kA)	I"K (kA)	Ib",Ic" (kA)	3I0" (kA)
Santuario	138	7.889	6.577	8.767	8.007	6.672	8.847
Tintaya	138	4.081	3.513	4.832	4.509	3.875	5.315
Callalli	138	2.579	2.220	2.474	2.621	2.255	2.489
	66	1.403	1.212	0.019	1.395	1.205	0.019
	24	2.772	2.397	3.760	2.748	2.376	3.728
Ares (Conenhua)	138	1.077	0.931	1.167	1.076	0.929	1.166
	66	1.286	1.109	1.545	1.264	1.090	1.524
Ares (Hochschild)	66	0.588	0.508	0.018	0.587	0.507	0.018
	33	0.806	0.698	0.830	0.804	0.695	0.829
	4.16	5.475	4.740	0.410	5.458	4.724	0.410

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los máximos y mínimos niveles de corriente de cortocircuito obtenidos para el caso proyectado.

Cuadro 17: Máximos y Mínimos Niveles de Corriente de Corto Circuito para el Caso Proyectado

Subestación	Barra Fallada (kV)	Máxima Demanda Avenida 2016			Mínica Demanda Estiaje 2016		
		Falla Trifásica	Falla Bifásica	Falla Monofásica	Falla Trifásica	Falla Bifásica	Falla Monofásica
		I"K (kA)	Ib",Ic" (kA)	3I0" (kA)	I"K (kA)	Ib",Ic" (kA)	3I0" (kA)
Santuario	138	7.907	6.592	8.783	8.009	6.675	8.849
Tintaya	138	4.081	3.513	4.834	4.507	3.874	5.313
Callalli	138	2.586	2.227	2.531	2.623	2.258	2.549
	66	1.398	1.208	0.019	1.393	1.203	0.019
	24	2.760	2.387	3.744	2.745	2.374	3.725
Ares (Conenhua)	138	1.076	0.930	1.210	1.072	0.926	1.203
	66	1.277	1.101	1.544	1.255	1.083	1.522
Ares (Hochschild)	66	0.586	0.507	0.018	0.585	0.506	0.018
	33	0.799	0.691	0.828	0.803	0.695	0.828
	4.16	5.438	4.708	0.414	5.455	4.722	0.409
Talta	138	1.413	1.220	1.500	1.416	1.223	1.501
Tambomayo	138	1.078	0.931	1.225	1.080	0.933	1.227
	10	7.040	6.093	0.000	7.050	6.101	0.000

Fuente: Elaboración propia

- El ingreso del proyecto Tambomayo produce un mínimo incremento en la corriente de falla de las barras de 138kV de Callalli y Ares, para fallas monofásicas se tiene un incremento menor a 100A, debido al aporte del neutro puesto a tierra del transformador de potencia de Tambomayo.

- Los mayores valores de corriente de cortocircuito para el proyecto son:

  Talta 138kV→1.5kA (monofásica)
  Tambomayo 138kV→1.2kA (monofásica)
  Tambomayo 10kV→7.0kA (trifásica).

6.5. VERIFICACION DE LA CAPACIDAD DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA

En el siguiente cuadro se efectúa una comparación entre los niveles de corrientes de cortocircuito obtenidos y las capacidades de ruptura de los interruptores de potencia proyectados:

Cuadro 18: Comparación de los Niveles de Corriente de Cortocircuito y la Ruptura de los Interruptores de Potencia

S.E. TALTA

N°	UBICACIÓN	Tipo	Vn (kV)	In (A)	Icc (kA)	Icc Máxima 2016 (Vista)	
						kA	Observación
1	Línea 138kV A S.E. Callalli	ABB LTB145D1/B	145	3150	40	1.31	OK
2	Línea 138kV A S.E. Ares	ABB LTB145D1/B	145	3150	40	1.30	OK
3	Línea 138kV A S.E. Tambomayo	ABB LTB145D1/B	145	3150	40	1.41	OK

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19: Comparación de los Niveles de Corriente de Cortocircuito y la Ruptura de los Interruptores de Potencia

S.E. TAMBOMAYO

N°	UBICACIÓN	Tipo	Vn (kV)	In (A)	Icc (kA)	Icc Máxima 2016 (Vista)	
						kA	Observación
1	Línea 138kV A S.E. Talta	ABB LTB145D1/B	145	3150	40	1.08	OK
2	Lado 10kV Transformador TR1	ABB VD4/P	24	2000	25	7.04	OK
3	Salidas 10kV	ABB VD4/P	24	630/1250	25	7.04	OK

Fuente: Elaboración propia

- Como se puede apreciar las capacidades de cortocircuito de los interruptores de potencia en nivel de 138 kV están muy por encima de los niveles de corriente de cortocircuito obtenidos en el horizonte de análisis.

- En el horizonte de análisis el máximo valor de corriente de cortocircuito obtenido en la barra de 10 kV es de 7.04 kA, este valor representa aproximadamente el 28% de la capacidad de ruptura de los interruptores en 10kV, garantizando de este modo la operación segura de los interruptores de potencia en 10 kV.

6.6. VERIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

En el siguiente cuadro se compara los máximos niveles de corrientes de cortocircuito obtenidos con las corrientes de saturación de los transformadores de corriente proyectados en la S.E. Talta y en la S.E. Tambomayo:

Cuadro 20: Máximos Niveles de Corriente de Corrientes de Corto Circuito

S.E. TALTA

N°	UBICACIÓN	RELACIÓN	POT	CLASE	# DE DEV.	I (kA) saturac.	Ith (kA/Is)	Icc Máxima Vista (2016)	
		I_1/I_2 (A)	VA					kA	Obs.
1	Línea 138kV A S.E. Callalli	200-400/1	30	5P20 0.2	2 1	8	32	1.31	OK
2	Línea 138kV A S.E. Ares	200-400/1	30	5P20 0.2	2 1	4	16	1.30	OK
3	Línea 138kV A S.E. Tambomayo	200-400/1	30	5P20 0.2	2 1	4	16	1.41	OK

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21: Máximos Niveles de Corriente de Corrientes de Corto Circuito

S.E. TAMBOMAYO

N°	UBICACIÓN	RELACIÓN	POT	CLASE	# DE DEV.	I (kA) saturac.	Ith (kA/ls)	Icc Máxima Vista (2016)	
		I_1/I_2 (A)	VA					kA	Obs.
1	Línea 138kV A S.E. Talta	60-120/1	30	5P20 0.2	2 1	2.4	9.6	1.08	OK
2	Lado 138kV Transformador TR1	100-200/1	30	5P20 0.2	1 1	4	16	1.08	OK
3	Lado 22kV Transformador TR1	175-250/1	15 10	5P20 0.2	2 1	5	20	3.26	OK
4	Lado 10kV Transformador TR1	1200-1650/5	15	5P20 0.2	2 1	33	132	7.04	OK
5	Celda de Llegada 10kV	1000-2000/5	15	5P20 0.2	2 1	40	160	7.04	OK

Fuente: Elaboración propia

- En el cuadro mostrado, se aprecia que la corriente de cortocircuito máxima no supera los valores de corriente de saturación de los transformadores de corrientes de las subestaciones Talta y Tambomayo.

- Igualmente se comparan los niveles de corriente de cortocircuito obtenidos con la corriente de límite térmico (Ith) de los transformadores de corriente, el cual establece la máxima corriente de cortocircuito que puede soportar durante un segundo sin sufrir deterioros, generalmente es especificado como 80 veces la corriente nominal primaria, cuyos valores se encuentran muy por encima de las corrientes de cortocircuito obtenidas.

CAPITULO VII

7. DETERMINACION DE LOS TIEMPOS CRITICOS DE DESPEJE DE FALLA

7.1. CRITERIOS Y METOLOGIA

Para determinar los tiempos críticos de despeje de falla se ha analizado el escenario de flujo de potencia de máxima demanda en avenida 2016, establecido para el caso proyectado, por tratarse del escenario de mayor exigencia de operación del SEIN.

7.2. EVENTOS SIMULADOS

Los eventos simulados son los siguientes:

EVENTO 1:

- Se aplica una falla trifásica al 1% de la línea de transmisión 138kV Talta - Tambomayo.
- Se mantiene la falla trifásica por un tiempo CCT (tiempo crítico de despeje de falla) de manera que los generadores aledaños al proyecto no pierdan el sincronismo.

EVENTO 2:

- Se aplica una falla trifásica al 1% de la línea de transmisión 138kV Talta - Tambomayo.
- Se mantiene la falla trifásica por un tiempo superior al CCT (tiempo crítico de despeje de falla) de manera que los generadores aledaños al proyecto pierdan el sincronismo.

7.3. RESULTADOS

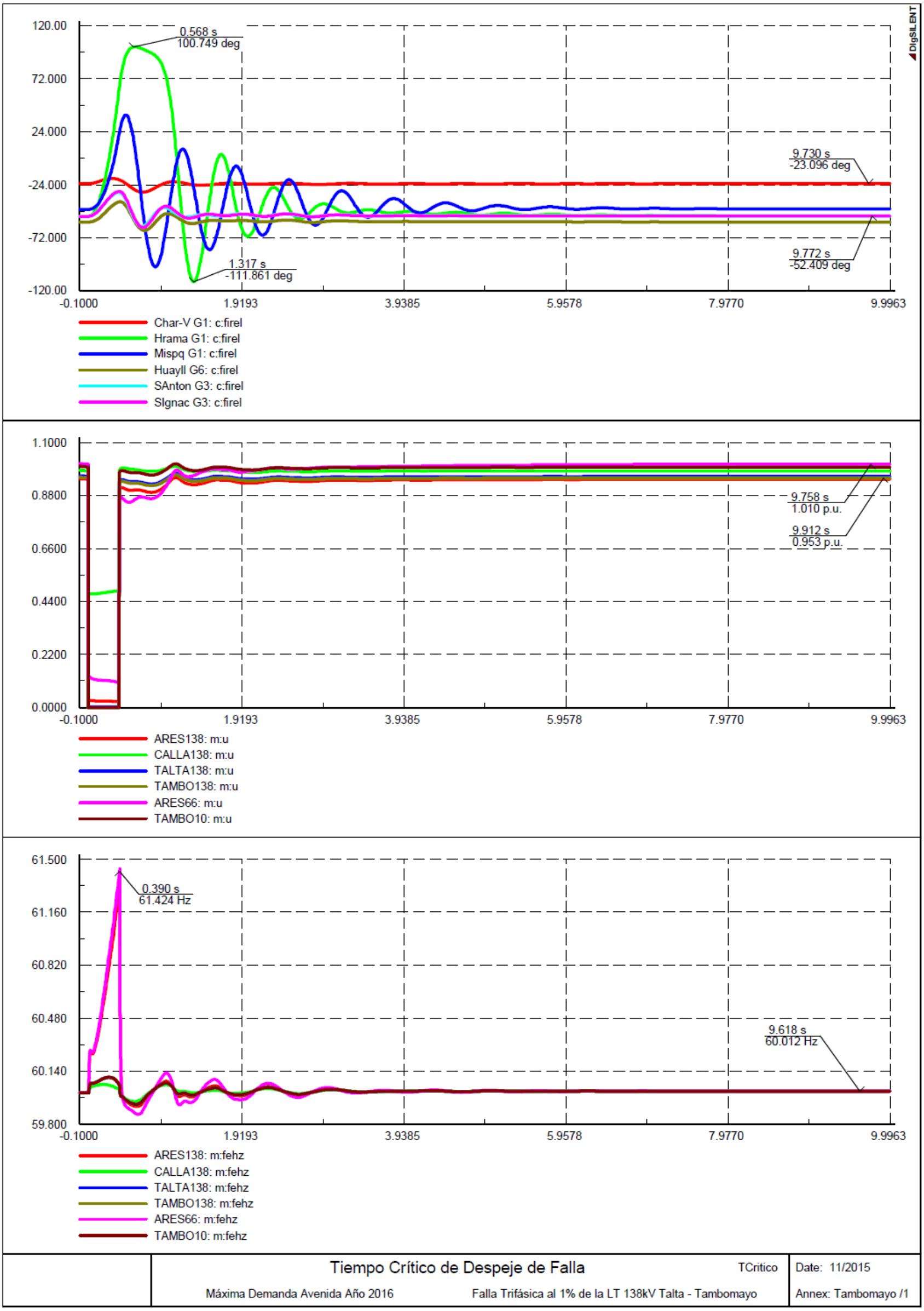
De las simulaciones efectuadas se obtiene el siguiente tiempo crítico de despeje de falla:

Evento 1:

Se aplica una falla trifásica al 1% de la línea de transmisión 138kV Talta –Tambomayo por un tiempo de 387 ms de manera que los generadores no pierdan el sincronismo:

En este caso se obtiene que el tiempo crítico es de 387 ms.

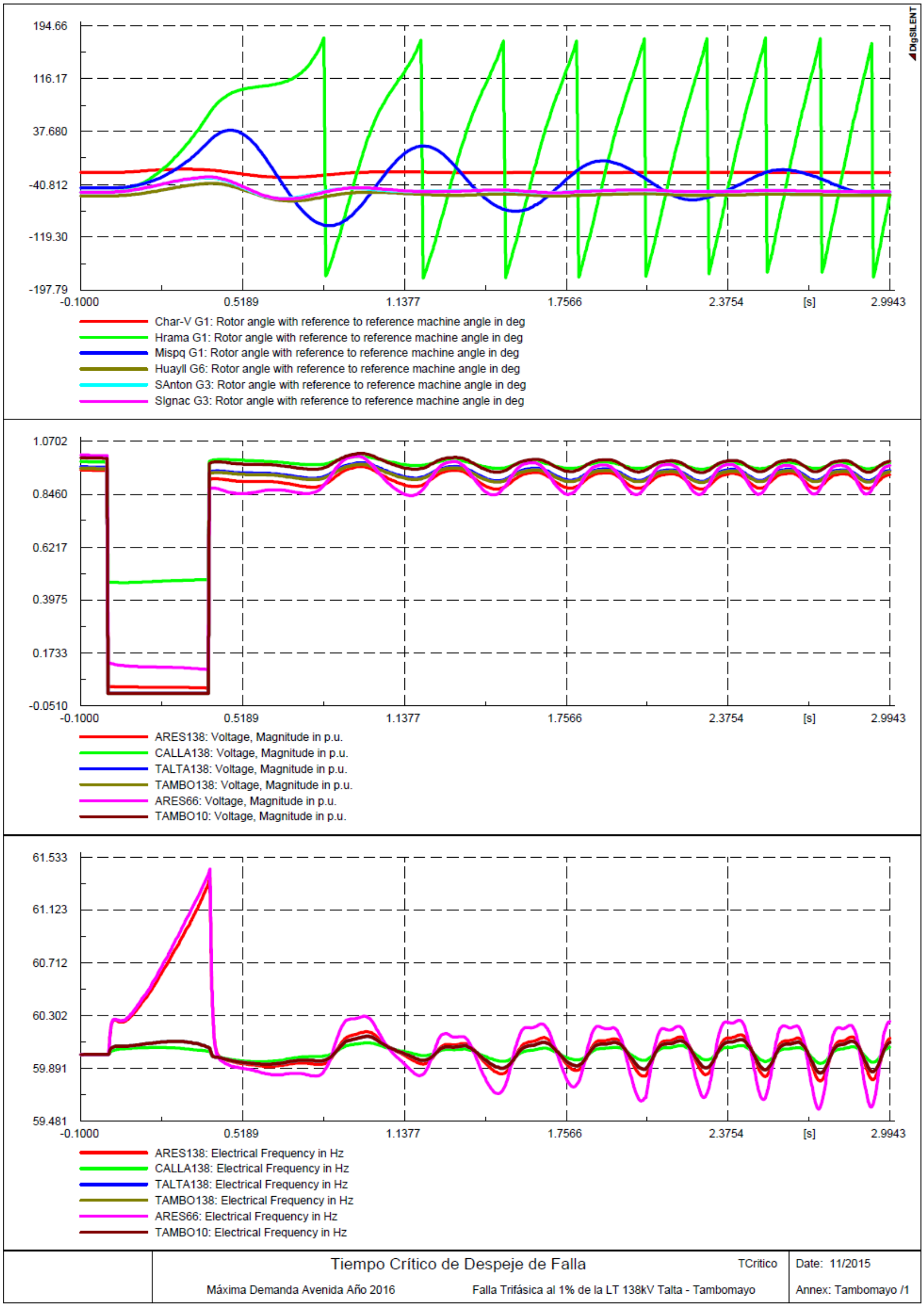
Gráfico 1: Aplicación de una falla trifásica al 1% en 387ms



Fuente: Elaboración propia

Evento 2: Se aplica una falla trifásica al 1% de la línea de transmisión 138kV Talta - Tambomayo por un tiempo de 388 ms, en este caso se observa la pérdida de sincronismo de los generadores de la C.H. Huancarama:

Gráfico 2: Aplicación de una falla trifásica al 1% en 388ms



Fuente: Elaboración propia

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

DEL ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA EN OPERACIÓN NORMAL

b) En los escenarios analizados para el caso base se puede apreciar que el sistema eléctrico de la zona de influencia del proyecto opera satisfactoriamente. Actualmente las barras que presentan el nivel de tensión más bajo son las barras de Ares (Conenhua) 138 kV con 0.97 p.u., Ares (Hochschild) 66kV con 0.95 p.u. y Caylloma 66kV con 0.96p.u., cabe mencionar que en todas estas subestaciones se cuenta con transformadores de potencia con regulación automática bajo carga por lo tanto no existirá problemas de caída de tensión en sus espectivas barras de media tensión o baja tensión.

c) Con el ingreso del proyecto Tambomayo los perfiles de tensión y niveles de cargabilidad en la zona de influencia del proyecto se mantienen dentro de los límites permitidos. El nivel de tensión de la barra de Ares (Conenhua) 138 kV se reduce de 0.97 p.u a 0.95 p.u, este valor se encuentra dentro de los límites de operación normal, adicionalmente el transformador de potencia de Ares tiene una relación de transformación 132±10x1% / 66/21.9 kV, lo cual garantiza que no existirá problemas de caída de tensión en las subestaciones aguas abajo de 66kV.

d) El transformador de la S.E. Tambomayo trabajará con un nivel de carga máximo del 51%. La nueva línea en 138 kV Talta - Tambomayo presenta un nivel máximo de carga del 18.9%.

DEL ANALISIS DE CONTINGENCIAS

e) De todos los casos analizados sólo se aprecia que el caso 1(Salida L-1008 Tintaya-Callalli) y caso 2 (Salida L-1020 Santuario-Callalli) son los que producen un mayor impacto en los niveles de tensión en la zona de influencia del proyecto, sin embargo los valores encontrados están dentro de los límites permisibles para casos de contingencias.

DEL ANALISIS DE CORTOCIRCUITO

f) En el siguiente cuadro resumen se puede observar los máximos niveles de corriente de cortocircuito obtenidos para el caso base y el caso proyectado:

Cuadro 22: Máximos niveles de corriente de cortocircuitos obtenidos para el caso base y el caso proyectado.

Subestación	Barra Fallada (kV)	Año 2016 Caso Base		Año 2016 Caso Proyectado	
		Falla Trifásica	Falla Monofásica	Falla Trifásica	Falla Monofásica
		I"k (kA)	3IO" (kA)	I"k (kA)	3IO" (kA)
Santuario	138	7.889	8.767	7.907	8.783
Tintaya	138	4.081	4.832	4.081	4.834
Callalli	138	2.579	2.474	2.586	2.531
	66	1.403	0.019	1.398	0.019
	24	2.772	3.760	2.760	3.744
Ares (Conenhua)	138	1.077	1.167	1.076	1.210
	66	1.286	1.545	1.277	1.544
Ares (Hochschild)	66	0.588	0.018	0.586	0.018
	33	0.806	0.830	0.799	0.828
	4.16	5.475	0.410	5.438	0.414
Talta	138	-	-	1.413	1.500
Tambomayo	138	-	-	1.078	1.225
	10	-	-	7.040	0.000

Fuente: Elaboración propia

g) El ingreso del proyecto Tambomayo produce un mínimo incremento en la corriente de falla de las barras de 138kV de Callalli y Ares, para fallas monofásicas se tiene un incremento menor a 100A, debido al aporte del neutro puesto a tierra del transformador de potencia de Tambomayo.

h) Con los niveles máximos de corriente de cortocircuito se verificó la saturación de los transformadores de corriente y la capacidad de ruptura de los interruptores de

potencia de las subestaciones Talta y Tambomayo, encontrándose los valores dentro de lo permitido.

DE LOS TIEMPOS CRÍTICOS DE DESPEJE DE FALLA

a) De las simulaciones efectuadas se obtiene que el tiempo crítico de despeje para fallas al 1% de la línea de transmisión Talta-Tambomayo 138kV es de 387 milisegundos.

IX. BIBLIOGRAFIA

Libros:

[1] P. KUNDUR, POWER SYSTEM STABILITY AND CONTROL, MCGRAW-HILL PROFESSIONAL, 1994.

[2] [CIGRE WG C4.601, 2007] CIGRE Working Group C4.601 (2007). Review of On-Line Dynamic Security Assessment Tools and Techniques. CIGRE Report 325. ISBN 978-2-85873-009-4

[3] POWER SYSTEM CONTROL AND STABILLITY, P. M. ANDERSON, A. A. FOUAD

[4] POWER QUALITY VAR COMPENSATION IN POWER SYSTEMS, R. SASTRY VEDAM, MULUKUTLA S. SARMA

[5] VOLTAGE STABILITY OF ELECTRIC POWER SYSTEMS, THIERRY VAN CUTSEM, COSTAS VOURNAS

Páginas de internet:

[5] ELC 30524: SISTEMAS DE POTENCIA II

https://fglongatt.org/OLD/Archivos/SP2.html

[6] CONCEPTOS DE ESTABILIDAD.

https://catedras.facet.unt.edu.ar/sep/wp-content/uploads/sites/20/2015/03/Apunte-Borrador-Estabilidad.pdf

[7] ESTABILIDAD TRANSITORIA

http://ocw.uc3m.es/ingenieria-electrica/operacion-y-control-de-sistemas-electricos/II_OCSE_EST.pdf

[8] ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA

https://catedras.facet.unt.edu.ar/sep/wp-content/uploads/sites/20/2015/03/Por-Unidad-y-Flujo-de-Carga.pdf

[9] COMPONENTES SIMÉTRICAS

http://materias.fi.uba.ar/6509/CompSim-Versi%F3n%2031-3-08.pdf

[10] METODO DE LAS COMPONENTES SIMETRICAS

https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/electrica/3_anio/electrotecnia_2/Metodo_de_las_componentes_simetricas_-_Teoria.pdf

[11] Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN”, aprobado mediante resolución N°035-2013-OS/CD.

https://www.coes.org.pe/Portal/MarcoNormativo/Procedimientos/Tecnicos

X. ANEXOS

ANEXO N° 1

PARAMETROS ELECTRICOS
DE LAS INSTALACIONES DEL PROYECTO

ANEXO N° 2

DIAGRAMAS UNIFILARES GENERALES

- **DIAGRAMA UNIFILAR DE LA S.E. TALTA**
- **DIAGRAMA UNIFILAR DE LA S.E. TAMBOMAYO**

ANEXO N° 3

FLUJOS DE POTENCIA
OPERACIÓN NORMAL AÑO 2016

CASO BASE
SIN CONSIDERAR EL PROYECTO

MAXIMA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016
MEDIA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016
MINIMA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016
MAXIMA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016
MEDIA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016
MINIMA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016

ANEXO N° 4

FLUJOS DE POTENCIA
OPERACIÓN NORMAL AÑO 2016

CASO PROYECTADO
CONSIDERANDO LA DEMANDA DEL PROYECTO TAMBOMAYO

MAXIMA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016
MEDIA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016
MINIMA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016
MAXIMA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016
MEDIA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016
MINIMA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016

ANEXO N° 5

CASOS DE CONTINGENCIA - AÑO 2016

CONSIDERANDO LA DEMANDA DEL PROYECTO MINERO TAMBOMAYO

- CASO 01: Línea L-1008 Tintaya – Callalli 138 kV fuera de servicio
- CASO 02: Línea L-1020 Santuario – Callalli 138 kV fuera de servicio
- CASO 03: Transformador Callalli – 132/66/24 kV fuera de servicio
- CASO 04: Línea Talta - Ares 138 kV fuera de servicio
- CASO 05: Desconexión de todo el Proyecto Tambomayo

ANEXO N° 6

NIVELES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO AÑO 2016

CASO BASE

MÁXIMA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016

- CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO FRANCO (MX3-B)
- CORTOCIRCUITO BIFÁSICO FRANCO (MX2-B)
- CORTOCIRCUITO MONOFASICO FRANCO (MX1-B)

MÍNIMA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016

- CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO FRANCO (MN3-B)
- CORTOCIRCUITO BIFÁSICO FRANCO (MN2-B)
- CORTOCIRCUITO MONOFASICO FRANCO (MN1-B)

CASO PROYECTADO

MÁXIMA DEMANDA AVENIDA – AÑO 2016

- CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO FRANCO (MX3)
- CORTOCIRCUITO BIFÁSICO FRANCO (MX2)
- CORTOCIRCUITO MONOFASICO FRANCO (MX1)

MÍNIMA DEMANDA ESTIAJE – AÑO 2016

- CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO FRANCO (MN3)
- CORTOCIRCUITO BIFÁSICO FRANCO (MN2)
- CORTOCIRCUITO BIFÁSICO RF = 5 ohm (MN2-5)
- CORTOCIRCUITO MONOFASICO FRANCO (MN1)
- CORTOCIRCUITO MONOFASICO RF = 20 ohm (MN1-20)
- CORTOCIRCUITO MONOFASICO RF = 50 ohm (MN1-50)

ANEXO N° 1

DATOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

CUADRO Nº 1.1

FECHA: NOVIEMBRE 2015

N°	SUBESTACION	TENSION NOMINAL			POTENCIA NOMINAL ONAN/ONAF			GRUPO DE CONEXIÓN			REACTANCIA % (MVA BASE)			REGULACION		OBSERVACIONES
		kV1	kV2	kV3	MVA1	MVA2	MVA3	1	2	3	X12	X13	X23	TIPO	TAPS	
1	ARES (CONENHUA)	132	66	21.9	23.9 / 28.7	23.9 / 28.7	6.7 / 8.6	YN0	yn0	d5	12.489 (28.7 MVA)	4.794 (8.6 MVA)	5.786 (8.6 MVA)	Bajo Carga	±10x1%	
2	CALLALLI	132	66	24	25 / 30	25 / 30	7 / 9	YN0	d5	yn0	15.48 (30 MVA)	6.954 (9 MVA)	1.671 (9 MVA)	Bajo Carga	±13x1%	
3	ARES (HOCHSCHILD)	66	33	4.16	12 / 15	5 / 6.25	7 / 8.75	D	yn11	yn11	4.125 (6.25 MVA)	9.125 (8.75 MVA)	2.25 (6.25 MVA)	Bajo Carga	±8x1.25%	Rn = 9.6 Ohm
4	HUANCARAMA	62	22	10	8	8	2.66	YN0	yn0	d5	9.33 (8 MVA)	5.121 (2.66 MVA)	1.553 (2.66 MVA)	Bajo Carga	8x1.25% /-10x1.25%	
5	CHIPMO	62	22	10	15 / 18	15 / 18	5 / 9	YN0	yn0	d5	11.196 (18 MVA)	9.2178 (9 MVA)	2.7954 (9 MVA)	Bajo Carga	8x1.25% /-10x1.25%	
6	CAYLLOMA	66	15	--	6	6	--	D	yn5	--	6.67 (6 MVA)	--	--	Bajo Carga	±10x1%	Rn = 34.6 Ohm
7	ARCATA	60	10	--	10	10	--	YN0	d5	--	7.9 (10 MVA)	--	--	Bajo Carga	±8x1.25%	
8	ARCATA	33	10	--	6	6	--	D	yn5	--	5.2 (6 MVA)	--	--	Fijo	±2x2.5%	Rn = 400 Ohm
9	TAMBOMAYO	138	22	10	20 / 26	6.7 / 8.7	20 / 26	YN0	yn0	d5	6.233 (8.7 MVA)	11.31 (26 MVA)	2.039 (8.7 MVA)	Bajo Carga	2x1.25% /-14x1.25%	Transformador Nuevo

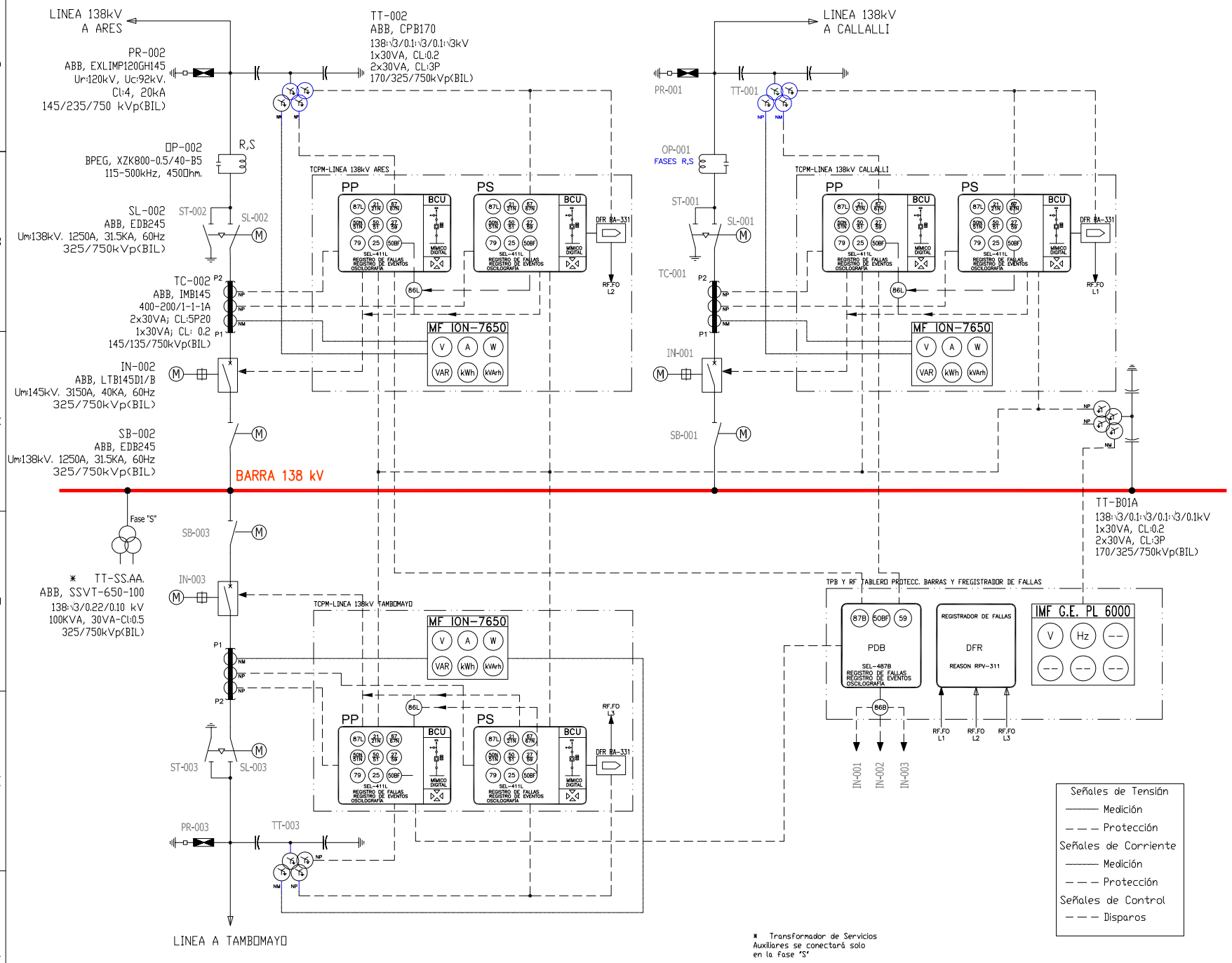
DATOS DE LINEAS DE TRANSMISIÓN

CUADRO Nº 1.2

FECHA: NOVIEMBRE 2015

No	UBICACION		CODIGO	kV	CAPACIDAD	LONGIT.	R+	X+	R0	X0	B+	B0	OBSERVACIONES
	ENVIO	RECEPCION			(A)	Km	Ohm / Km	Ohm / Km	Ohm / Km	Ohm / Km	us/Km	us/Km	
1	SANTUARIO	CALLALLI	L-1020	138.0	460	89.20	0.09703	0.51030	0.37293	1.40851	3.39300	2.26965	Línea Existente
2	TINTAYA	CALLALLI	L-1008	138.0	460	90.40	0.11200	0.51030	0.37293	1.40851	3.39300	2.26965	Línea Existente
3	CALLALLI	TALTA	L-1040A	138.0	500	59.61	0.13250	0.47110	0.40120	1.60610	3.57380	1.20000	Línea Seccionada
4	TALTA	ARES (CONENHUA)	L-1040B	138.0	500	44.25	0.13250	0.47110	0.40120	1.60610	3.57380	1.20000	Línea Seccionada
5	TALTA	TAMBOMAYO	--	138.0	297	32.20	0.15944	0.51186	0.55640	1.47370	3.24736	2.18366	Línea Nueva
6	ARES (CONENHUA)	ARCATA	L-6018	66.0	380	19.39	0.27345	0.49125	0.68744	1.74925	3.20059	2.00285	Línea Existente
7	ARES (CONENHUA)	HUANCARAMA	L-6017	66.0	219	25.50	0.21311	0.47075	0.67410	1.43850	3.52100	2.00285	Línea Existente
8	HUANCARAMA	CHIPMO	L-6023	66.0	219	10.87	0.21311	0.47075	0.67410	1.43850	3.52100	2.00285	Línea Existente
9	CALLALLI	CAYLLOMA	L-6015	66.0	219	60.56	0.16612	0.51632	0.40637	1.57774	3.20059	2.00285	Línea Existente
10	CAYLLOMA	ARES (HOCHSCHILD)	L-6016	66.0	219	21.60	0.16900	0.51630	0.40637	1.57774	3.20059	2.00285	Línea Existente
11	ARES (HOCHSCHILD)	ARCATA	L-1030	33.0	225	19.67	0.31800	0.48200	0.74300	2.03600	3.50007	2.11000	Línea Existente

ANEXO N° 2



LEYENDA

LEYENDA DE EQUIPOS

SIMB	DESCRIPCION
PP	RELE DE PROTECCION PRIMARIA SEL-411L
PS	RELE DE PROTECCION SECUNDARIA SEL-411L
MF	MEDIDOR MULTIFUNCION DE ENERGIA ION 7650
IMF	INDICADOR MULTIFUNCION GE PL6000
DFR	EQUIPO REGISTRADOR DE FALLAS
PDB	RELE DE PROTECCION DIFERENCIAL DE BARRAS SEL-487B

FUNCIONES DE PROTECCION

ANSI	DESCRIPCION
21	PROTECCION DE DISTANCIA ENTRE FASES
21N	PROTECCION DE DISTANCIA DE TIERRA
27 59	PROTECCION MINIMA Y MAXIMA TENSION
67	PROTECCION SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL ENTRE FASES
67N	PROTECCION SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL FASE A TIERRA
50 51	PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE FASES
50N 51N	PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE TIERRA
50BF	PROTECCION POR FALLA INTERRUPTOR
79	RECIERRE O REENGANCHE
87L	PROTECCION DIFERENCIAL DE LINEA
87B	PROTECCION DIFERENCIAL DE BARRAS
86L	RELE DE BLOQUEO LINEA
25	FUNCION DE SINCRONISMO

FUNCIONES DE MEDICION

SIMB	DESCRIPCION
V	TENSION ENTRE FASES Y FASE TIERRA
V	CORRIENTE DE LINEA
COSØ	FACTOR DE POTENCIA
W	POTENCIA ACTIVA
VAR	POTENCIA REACTIVA
Wh	ENERGIA ACTIVA
VARh	ENERGIA REACTIVA
Hz	FRECUENCIA

REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	NOMBRE	APROBÓ	
-	-	-	-	FECHA	28.03.15
B	LEV_OBSERV.		C.C.C.	DISEÑÓ	C.C.C.
A	PARA_INGENIERIA		C.C.C.	REVISÓ	

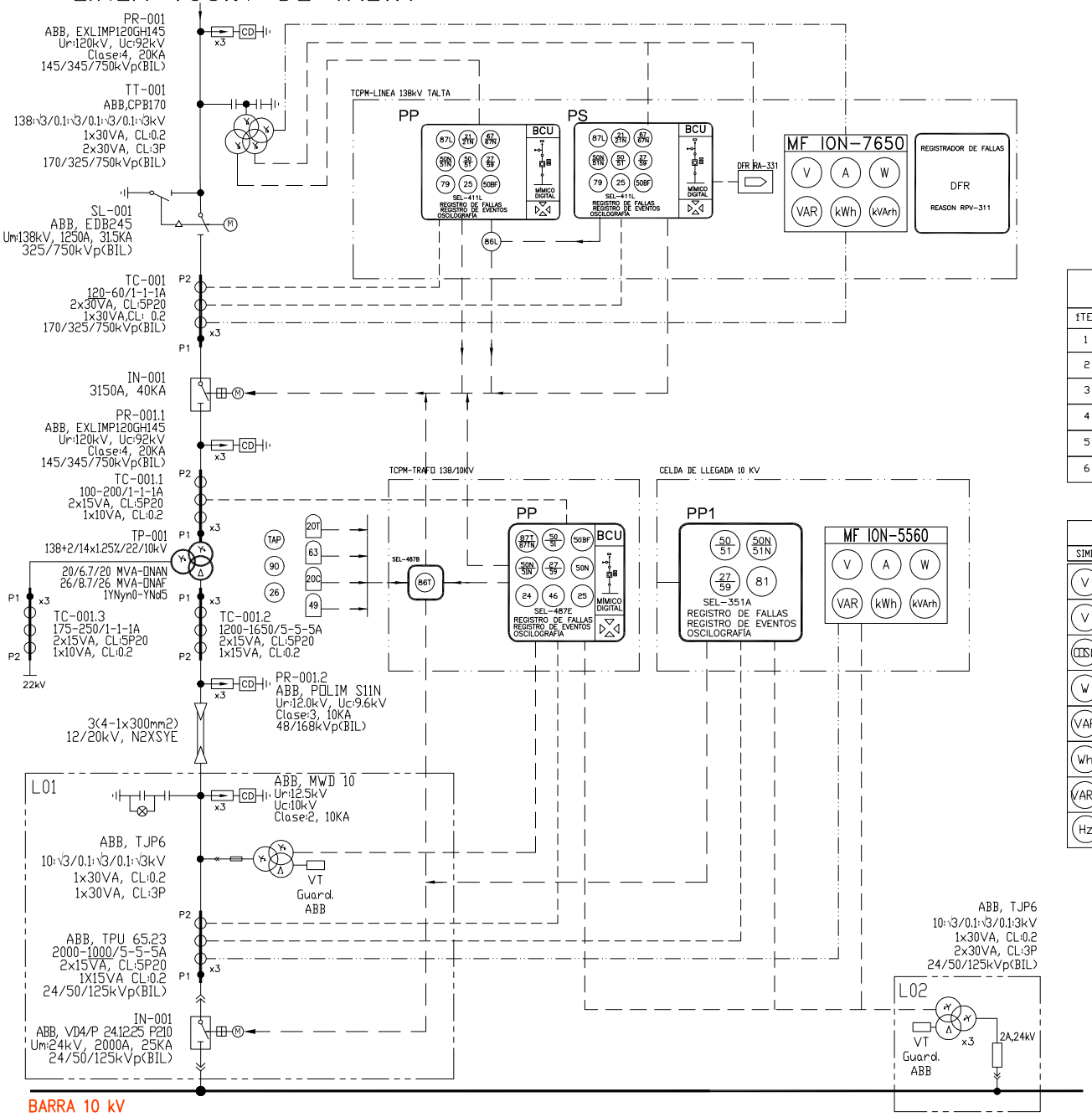
L.T. 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y SUBESTACIONES
ESTUDIO DEFINITIVO

UNIFILAR DE PROTECCION Y MEDIDA
S.E. TALTA

CNH123-SS.EE-00-21

PROYECTO	REV.	PAG. Nº	ULT. PAG.	CANT. DE PAG.
CNH123	B	03.01	07.04	19

LINEA 138kV DE TALTA



LEYENDA

Señales de Tension
—·— Medición
— — — Protección
Señales de Corriente
—·— Medición
— — — Protección
Señales de Control
— — — Disparos

LEYENDA DE EQUIPOS

SIMB	DESCRIPCION
PP	RELE DE PROTECCION PRIMARIA SEL-411L
PS	RELE DE PROTECCION SECUNDARIA SEL-411L
MF	MEDIDOR MULTIFUNCION DE ENERGIA ION 7650
IMF	INDICADOR MULTIFUNCION DE ENERGIA GE PL6000
DFR	EQUIPO REGISTRADOR DE FALLAS
PDB	RELE DE PROTECCION DIFERENCIAL DE BARRAS SEL-487B

PROTECCIONES PROPIAS DEL TRANSFORMADOR

ITEM	FUNCION	SIMBOLO
1	PROTECCIÓN TÉRMICA	49
2	PROTECCIÓN DE FLUJO Y SOBREPRESIÓN (BUCHHOLZ)	63
3	PROTECCIÓN DE NIVEL DE ACEITE	71
4	RELÉ DETECTOR TEMPERATURA DE ACEITE	23
5	RELÉ IMAGEN TÉRMICA	26
6	RELÉ CONTROL DE PRESIÓN	80

FUNCIONES DE MEDICION

SIMB	DESCRIPCION
V	TENSION ENTRE FASES Y FASE TIERRA
V	CORRIENTE DE LINEA
COSØ	FACTOR DE POTENCIA
W	POTENCIA ACTIVA
VAR	POTENCIA REACTIVA
Wh	ENERGIA ACTIVA
VARh	ENERGIA REACTIVA
Hz	FRECUENCIA

FUNCIONES DE PROTECCION

ANSI	DESCRIPCION
21	PROTECCION DE DISTANCIA ENTRE FASES
21N	PROTECCION DE DISTANCIA DE TIERRA
27/59	PROTECCION MINIMA Y MAXIMA TENSION
67	PROTECCION SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL ENTRE FASES
67N	PROTECCION SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL FASE A TIERRA
50/51	PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE FASES
50N/51N	PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE TIERRA
50BF	PROTECCION POR FALLA INTERRUPTOR
79	RECIERRE O REENGANCHE
87L	PROTECCION DIFERENCIAL DE LINEA
87B	PROTECCION DIFERENCIAL DE BARRAS
86B 86L	RELE DE BLOQUEO BARRA Y LINEA
25	FUNCION DE SINCRONISMO
87T	PROTECCION DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR
87N	PROTECCION DIFERENCIAL DE TIERRA
24	PROTECCION DE SOBREFLUJO
86T	RELE DE BLOQUEO DE CIERRE DE TRANSFORMADOR
86L	RELE DE BLOQUEO DE CIERRE LINEA

REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	NOMBRE	APROBÓ
-	-	-	-	FECHA 28.03.15
B	LEV_OBSERV.		C.C.C.	DISEÑÓ C.C.C.
A	PARA_INGENIERIA		C.C.C.	REVISÓ

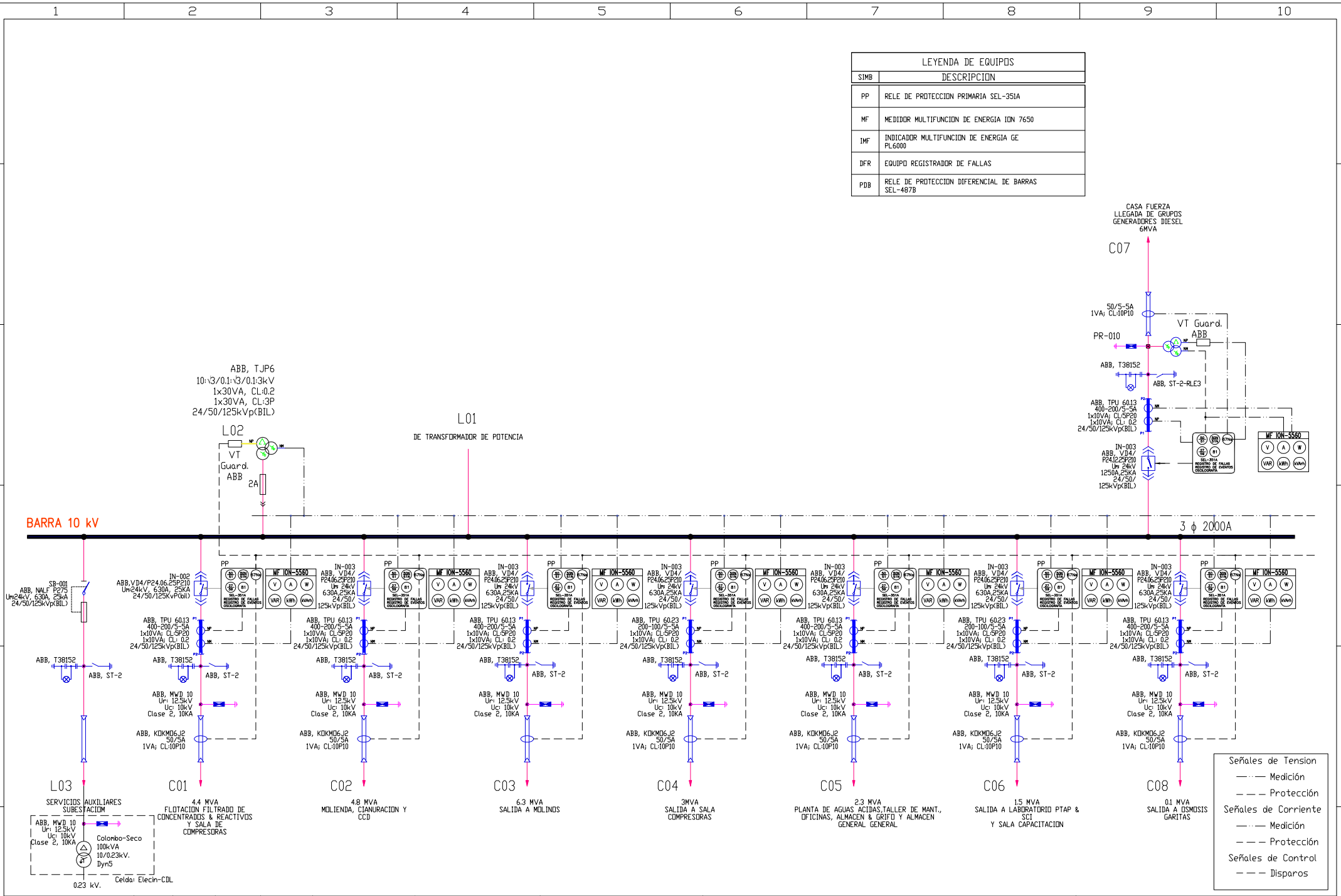
L.T. 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y SUBESTACIONES
ESTUDIO DEFINITIVO

UNIFILAR DE PROTECCION Y MEDIDA
S.E. TAMBOMAYO

CNH123-SS.EE-00-21

PROYECTO CNH123

REV.	PAG. Nº	ULT. PAG.	CANT. DE PAG.
B	03.02	07.04	19



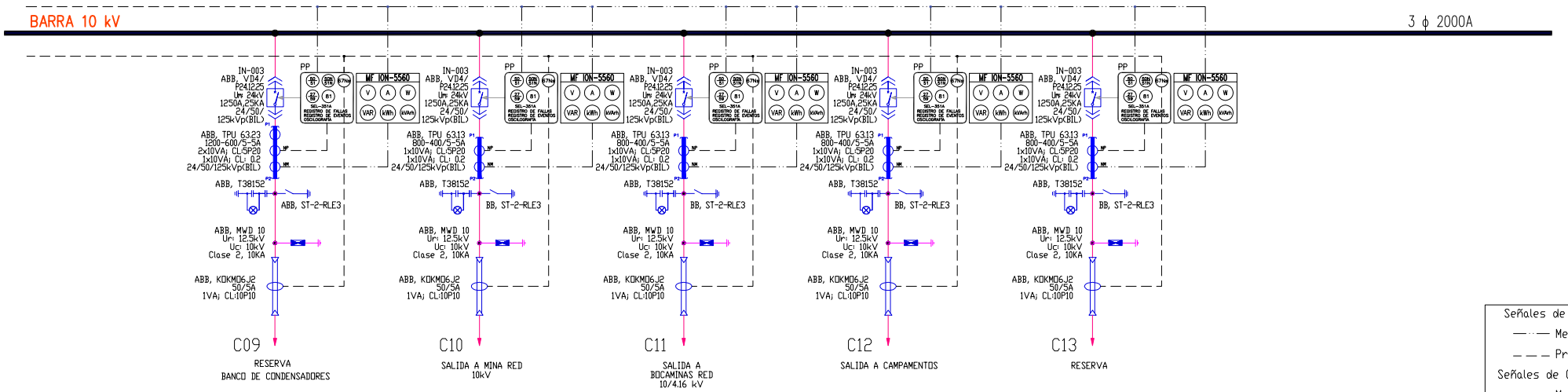
REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	NOMBRE	APROBÓ	
-	-	-	-	FECHA	28.03.15
B	LEV_OBSERV.		C.C.C.	DISEÑÓ	C.C.C.
A	PARA_INGENIERIA		C.C.C.	REVISÓ	

L.T. 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y SUBESTACIONES
ESTUDIO DEFINITIVO

UNIFILAR DE PROTECCION Y MEDIDA BARRA 10 kV
S.E. TAMBOMAYO

CNH123-SS.EE-00-21

PROYECTO	REV	PAG. Nº	ULT. PAG.	CANT. DE PAG.
CNH123	B	03.03	07.04	19



REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	NOMBRE
-	-	-	-
B	LEV_OBSERV.		C.C.C.
A	PARA_INGENIERIA		C.C.C.

FECHA 28.03.15
DISEÑÓ C.C.C.
REVISÓ
APROBÓ -

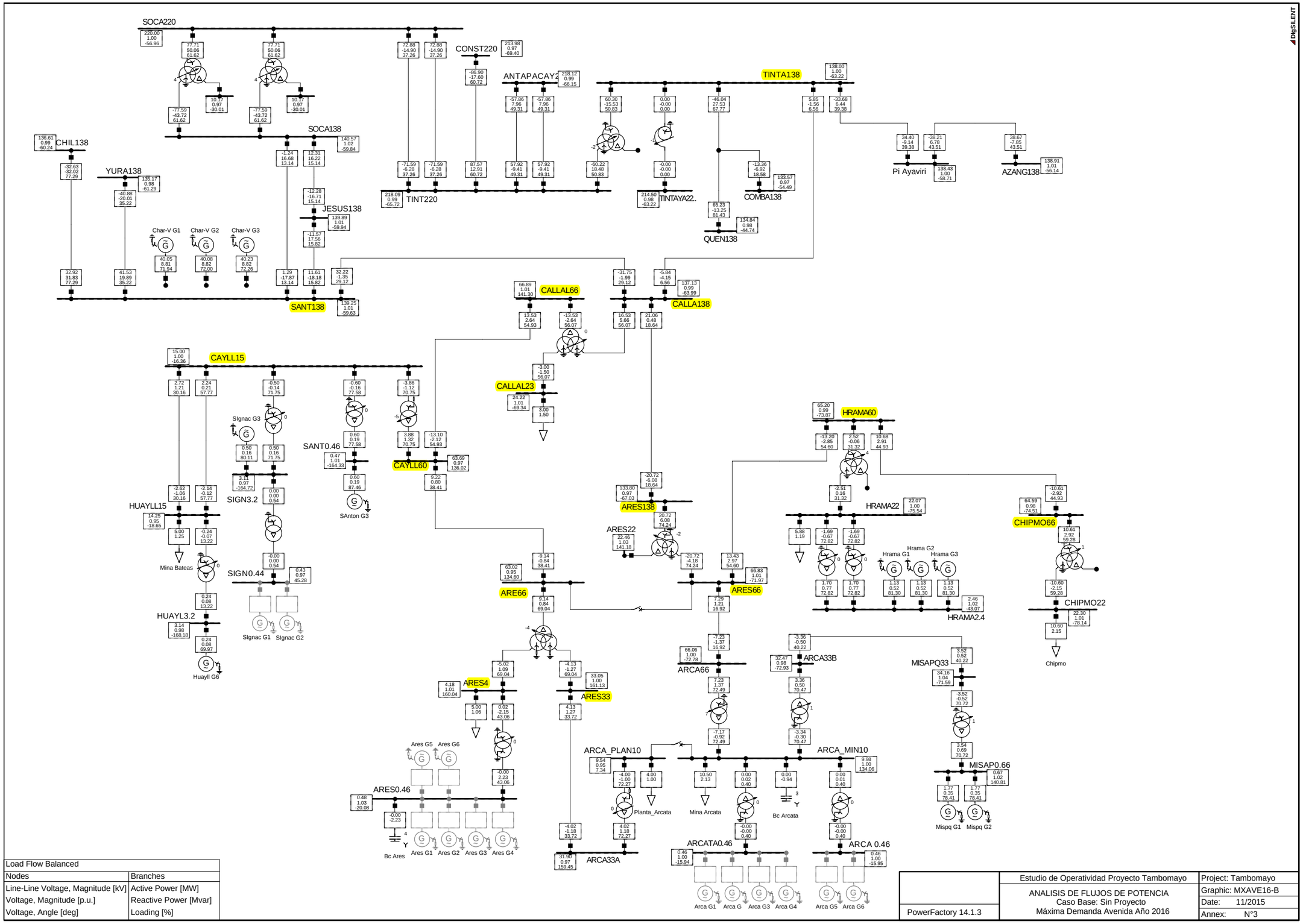
L.T. 138kV TALTA - TAMBOMAYO Y SUBESTACIONES
ESTUDIO DEFINITIVO

UNIFILAR DE PROTECCION Y MEDIDA BARRA 10 kV
S.E. TAMBOMAYO

CNH123-SS.EE-00-21

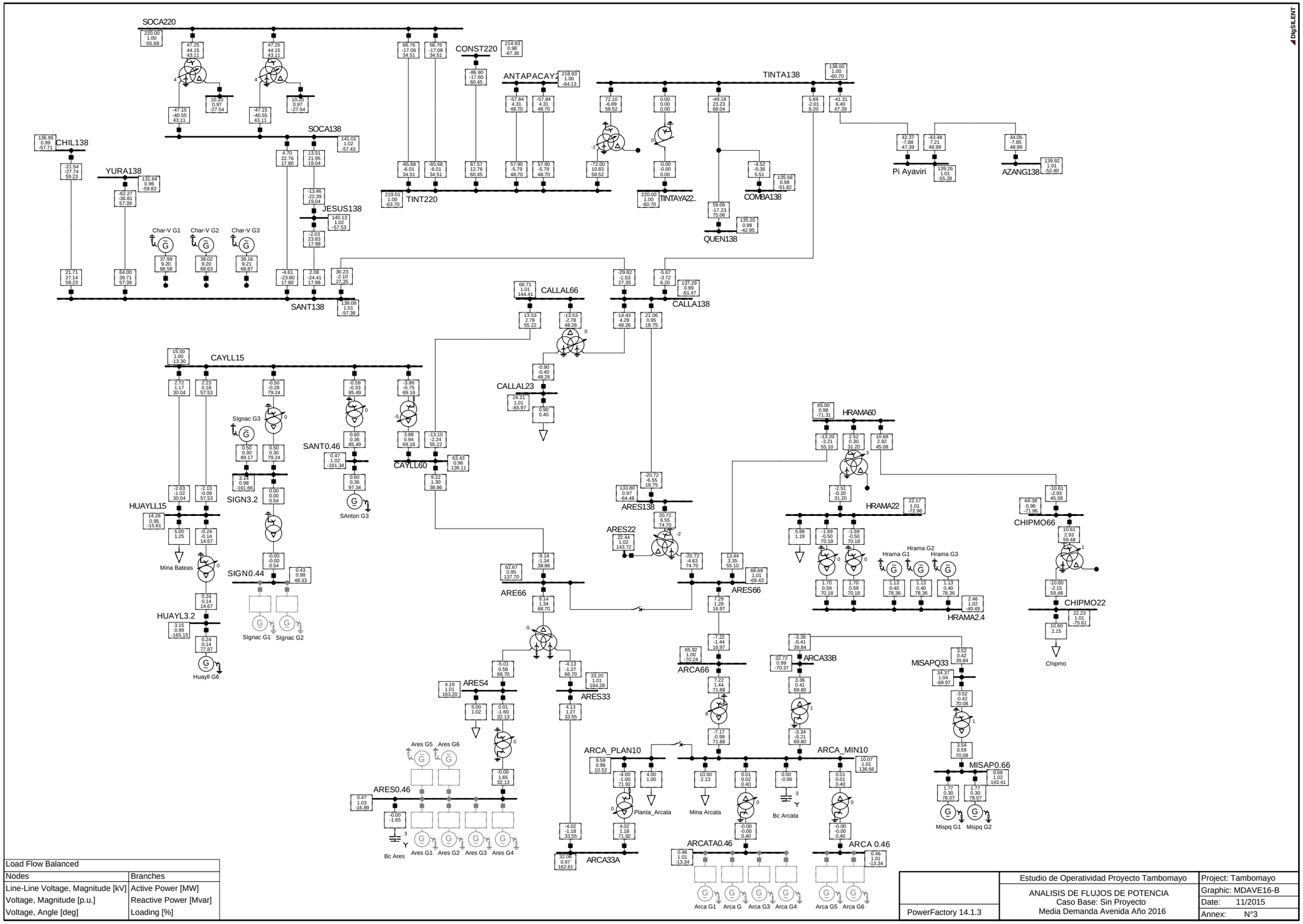
PROYECTO	REV.	PAG. Nº	ULT. PAG.	CANT. DE PAG.
CNH123	B	03.04	07.04	19

ANEXO N° 3



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA Caso Base: Sin Proyecto Máxima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MXAVE16-B Date: 11/2015 Annex: N°3



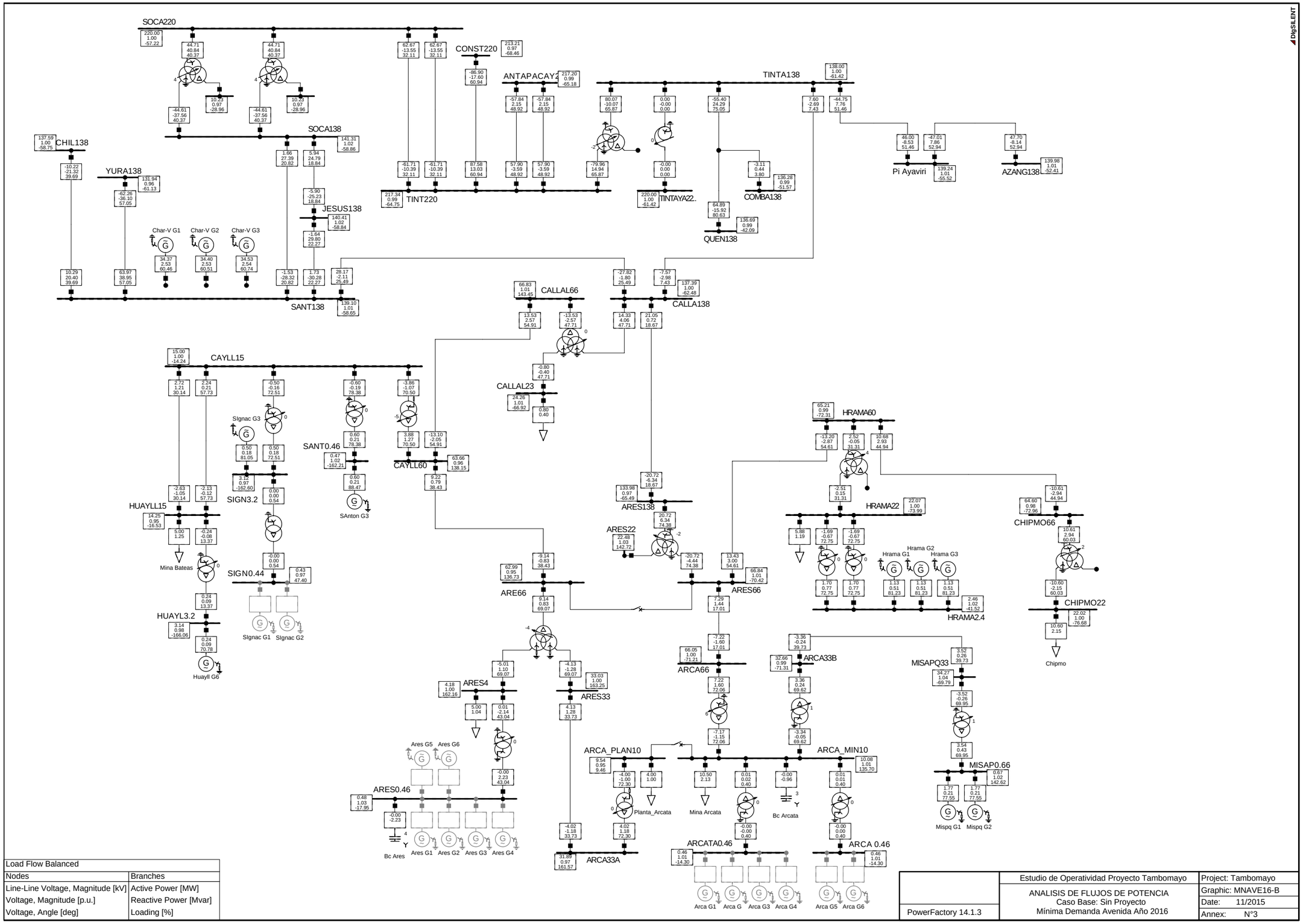
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA
Caso Base: Sin Proyecto
Media Demanda Avenida Año 2016

Project: Tambomayo
Graphic: MDAVE16-B
Date: 11/2015
Annex: N°3



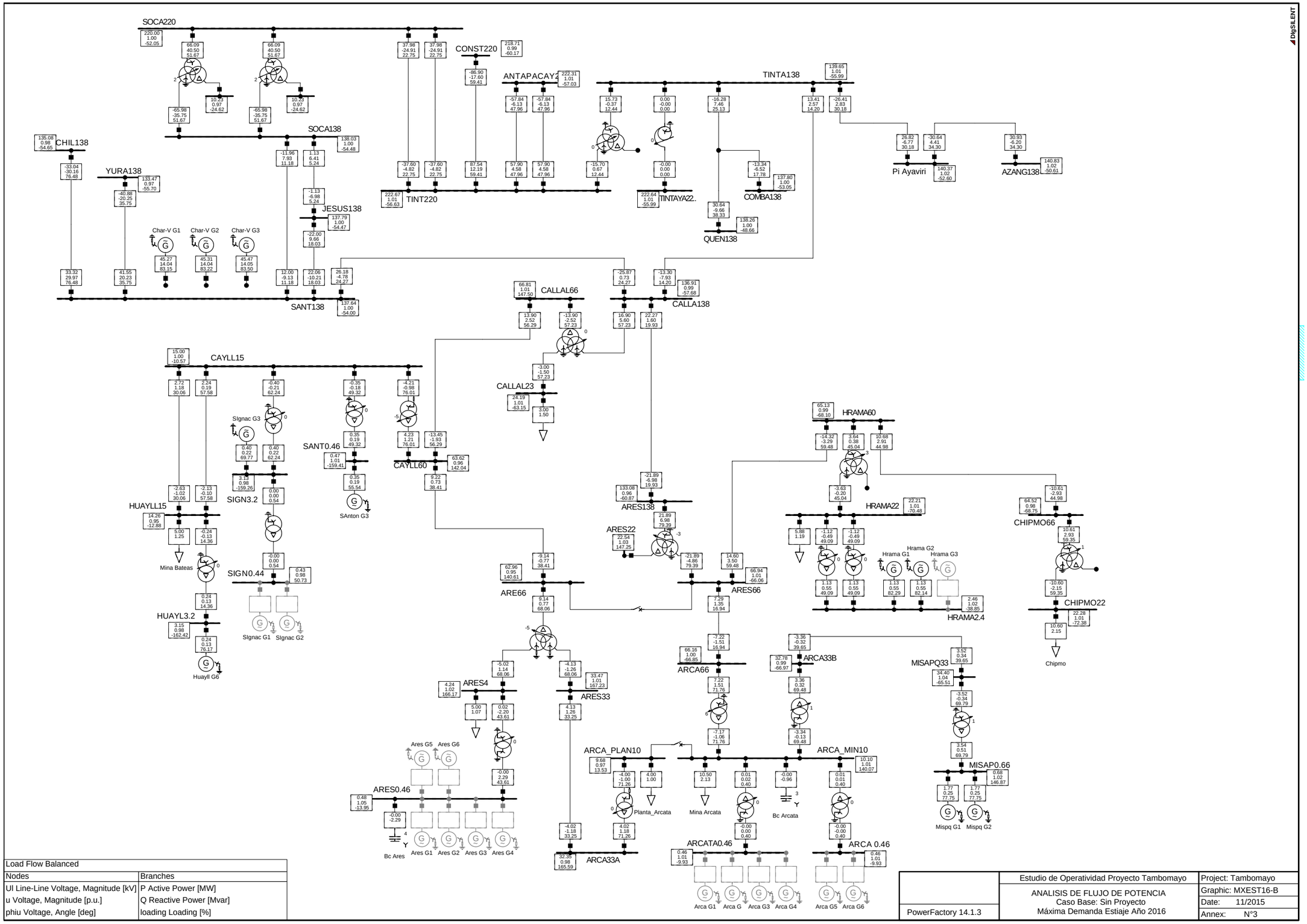
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA
Caso Base: Sin Proyecto
Mínima Demanda Avenida Año 2016

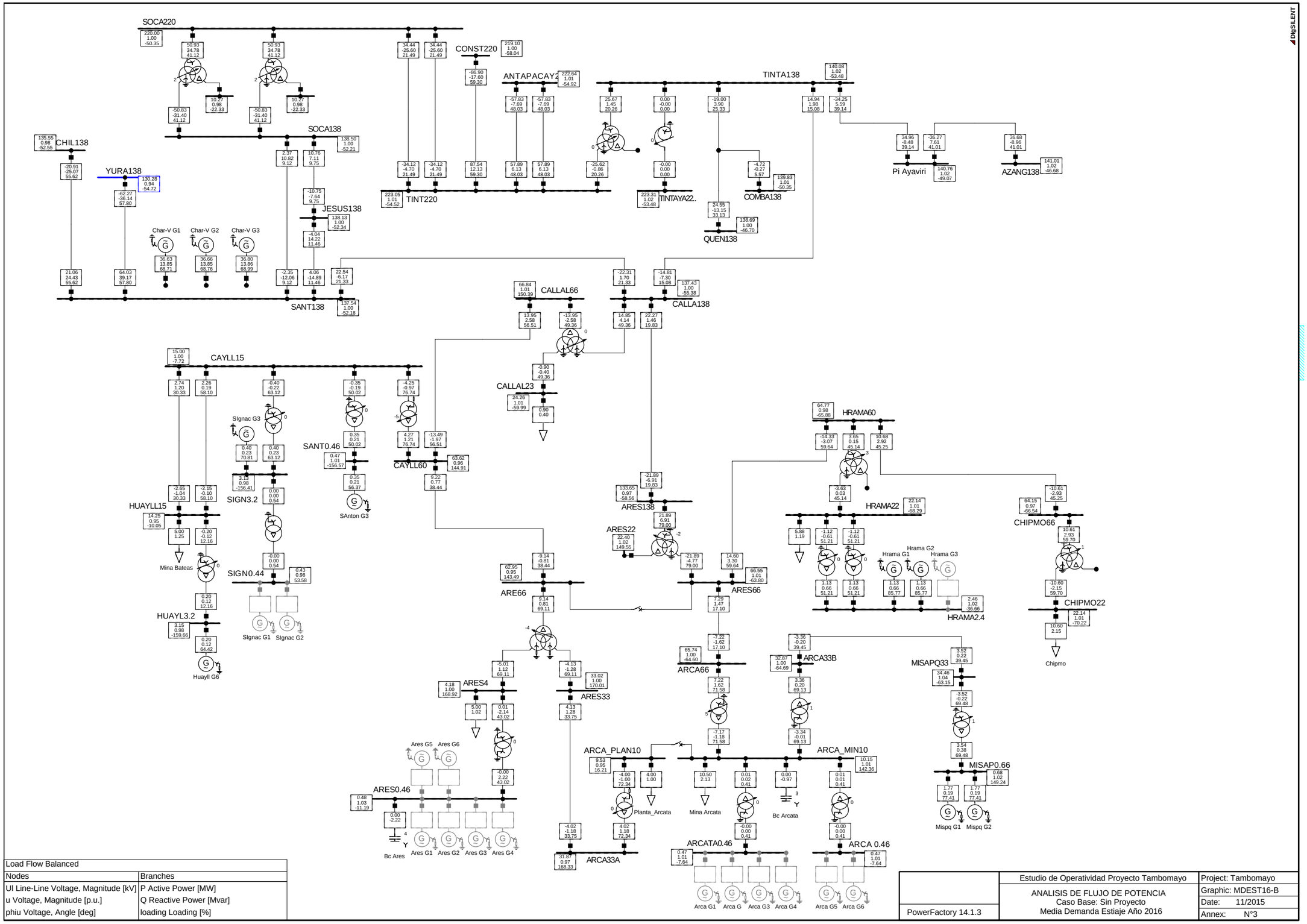
Project: Tambomayo
Graphic: MNAVE16-B
Date: 11/2015
Annex: N°3



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

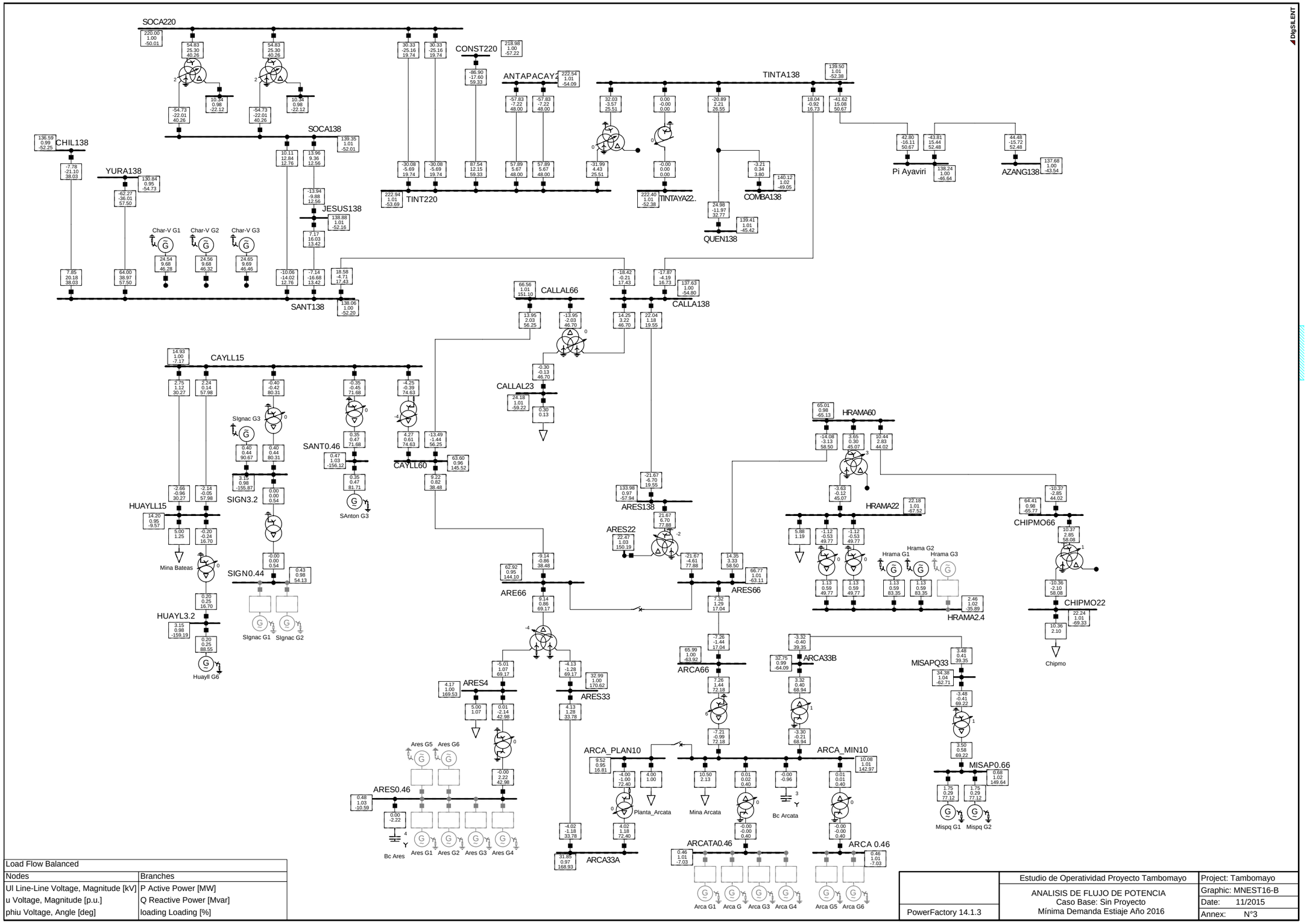
PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Base: Sin Proyecto Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-B Date: 11/2015 Annex: N°3

Análisis de Flujos de Potencia y Cortocircuito



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Base: Sin Proyecto Media Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MDEST16-B Date: 11/2015 Annex: N°3



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

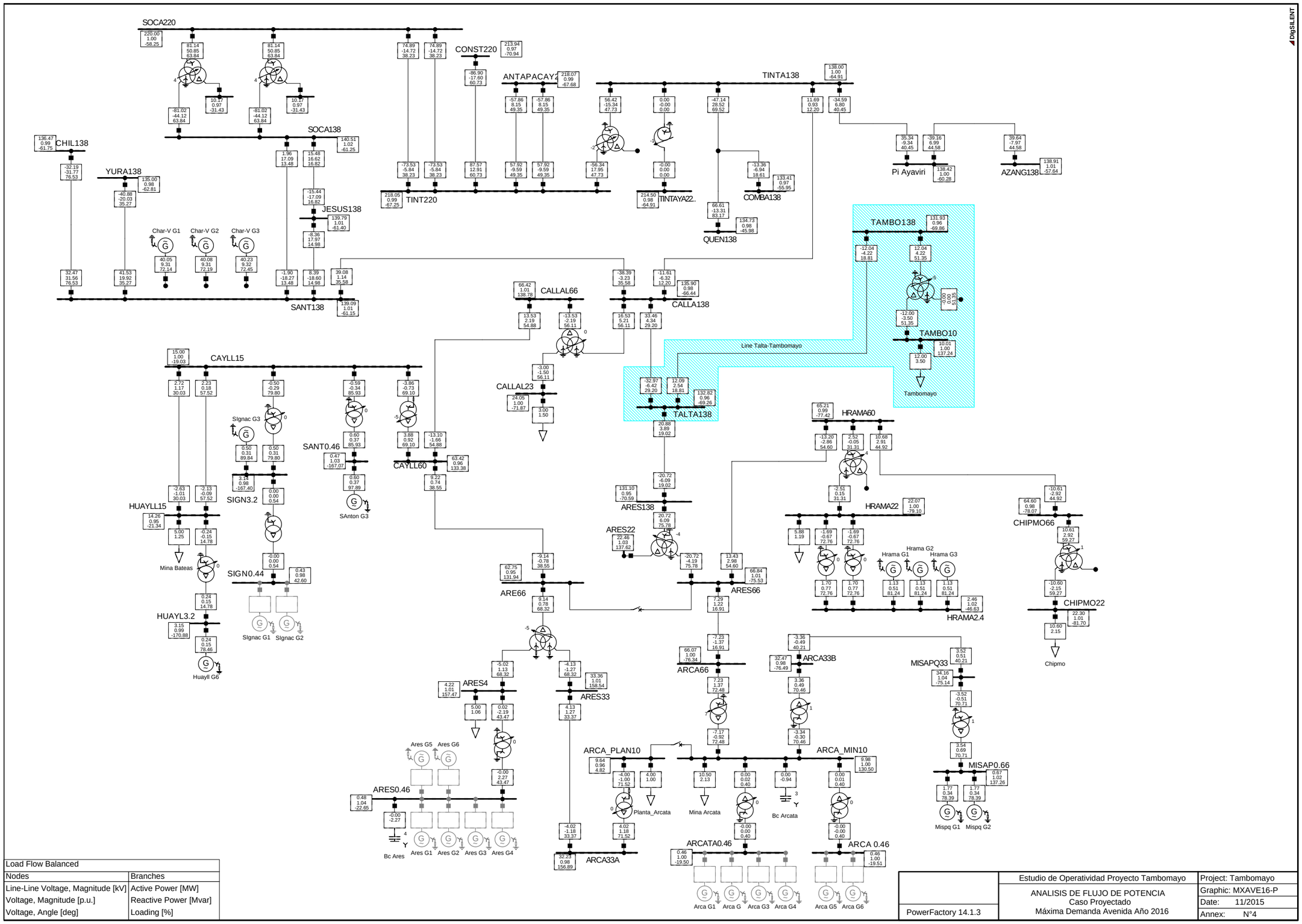
Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA
Caso Base: Sin Proyecto
Mínima Demanda Estiaje Año 2016

Project: Tambomayo
Graphic: MNEST16-B
Date: 11/2015
Annex: N°3

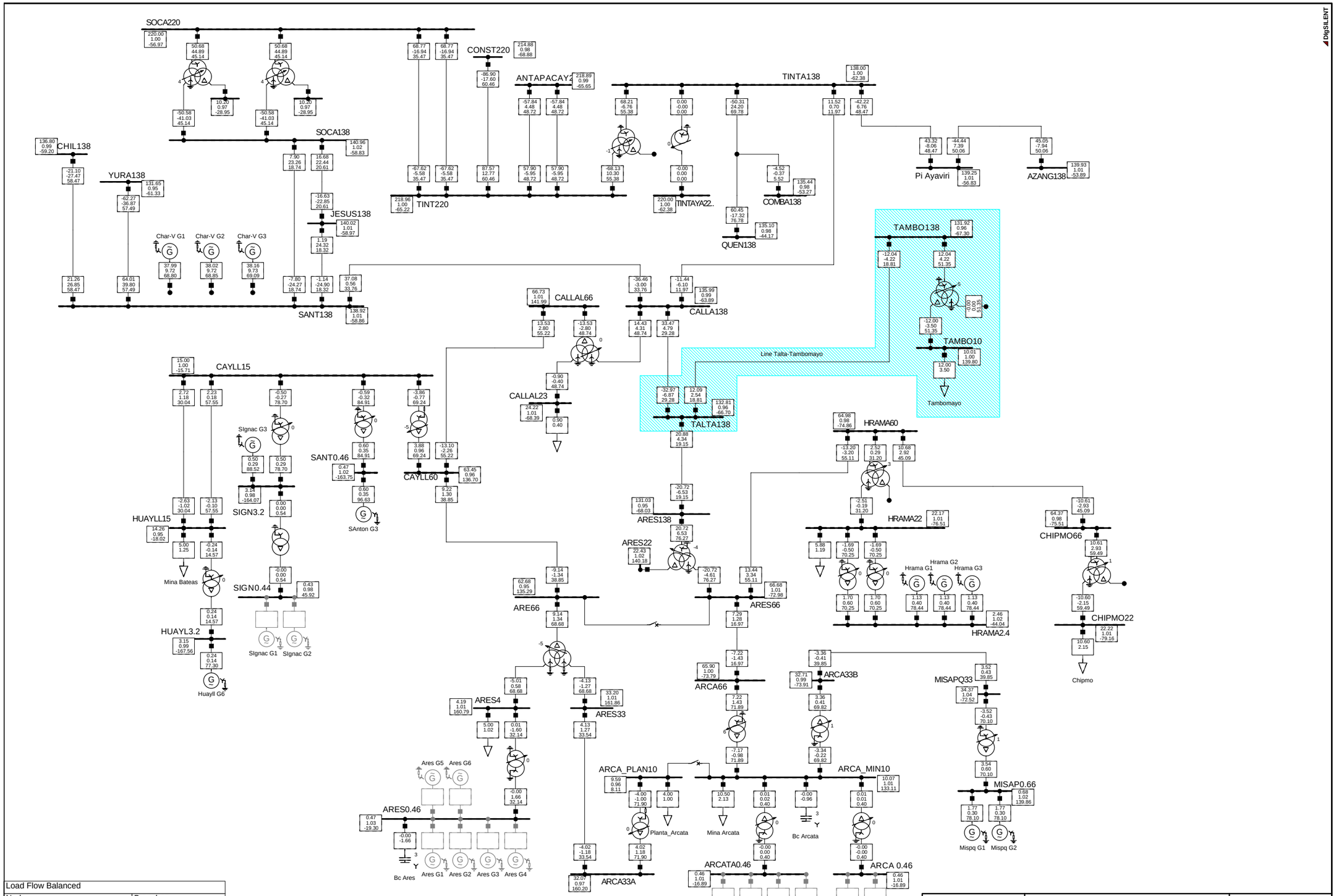
ANEXO N° 4

Análisis de Flujos de Potencia y Cortocircuito



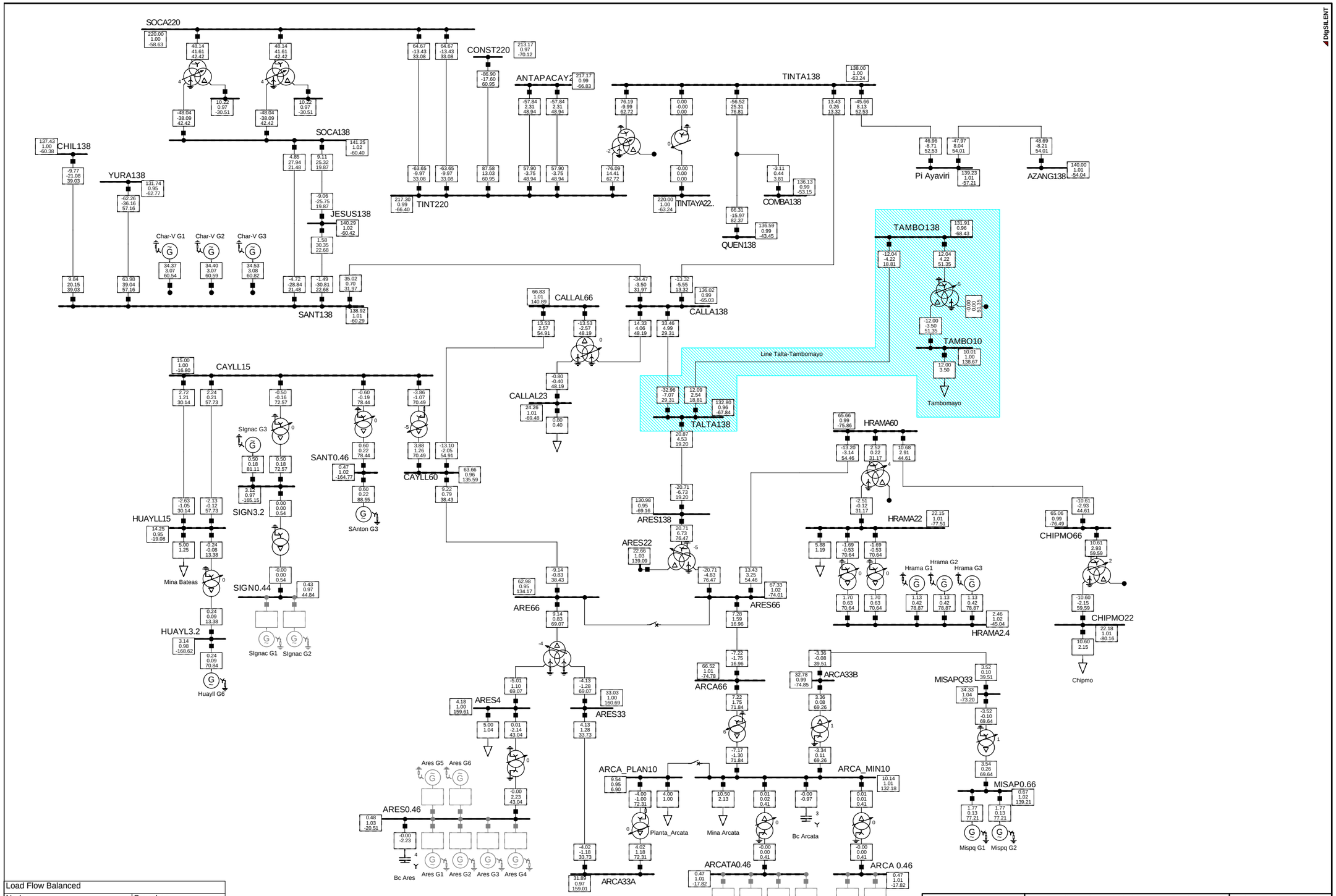
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Proyectado Máxima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MXAVE16-P
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°4



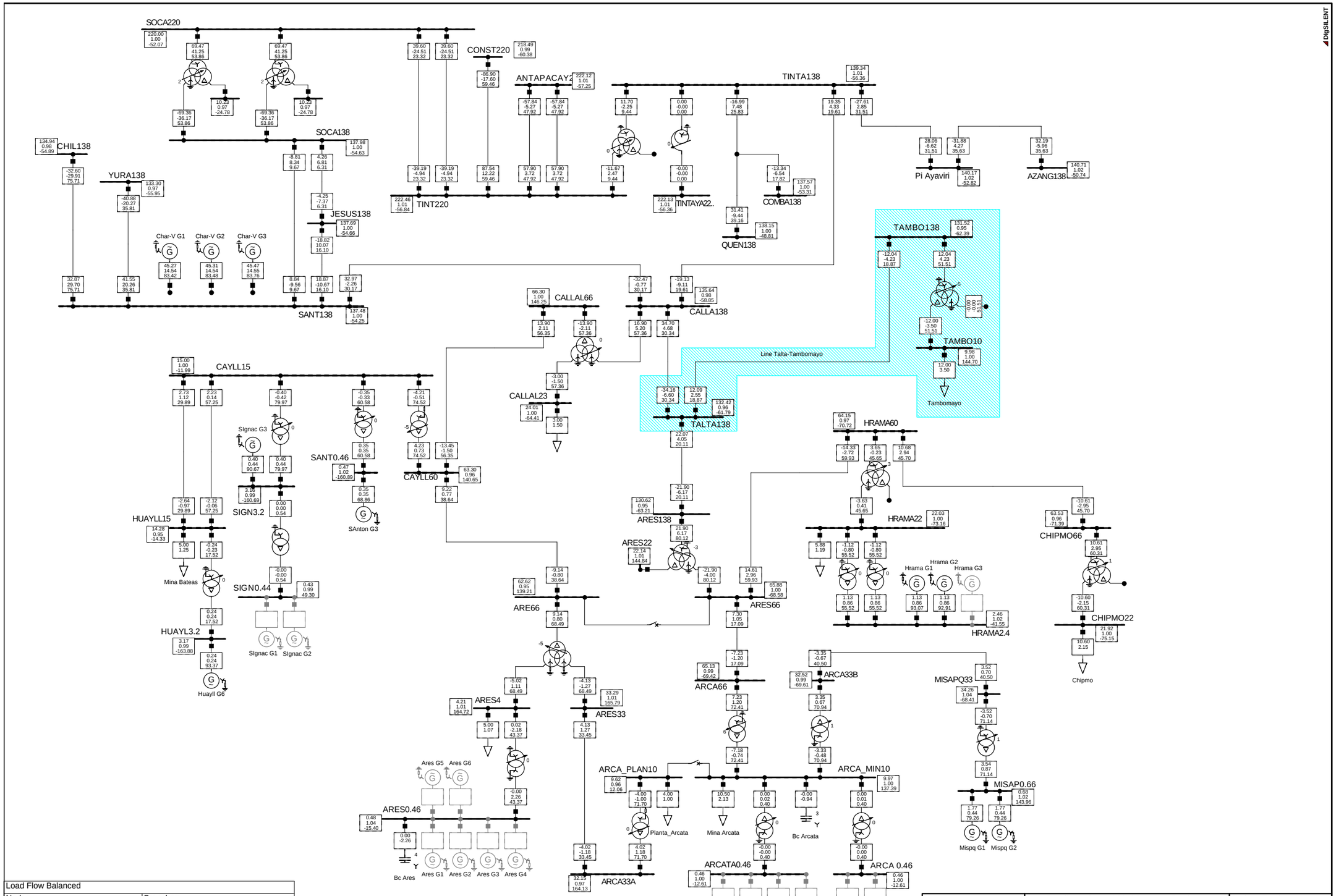
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Proyectado Media Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MDAVE16-P
		Date: 11/2015
		Annex: N°4



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

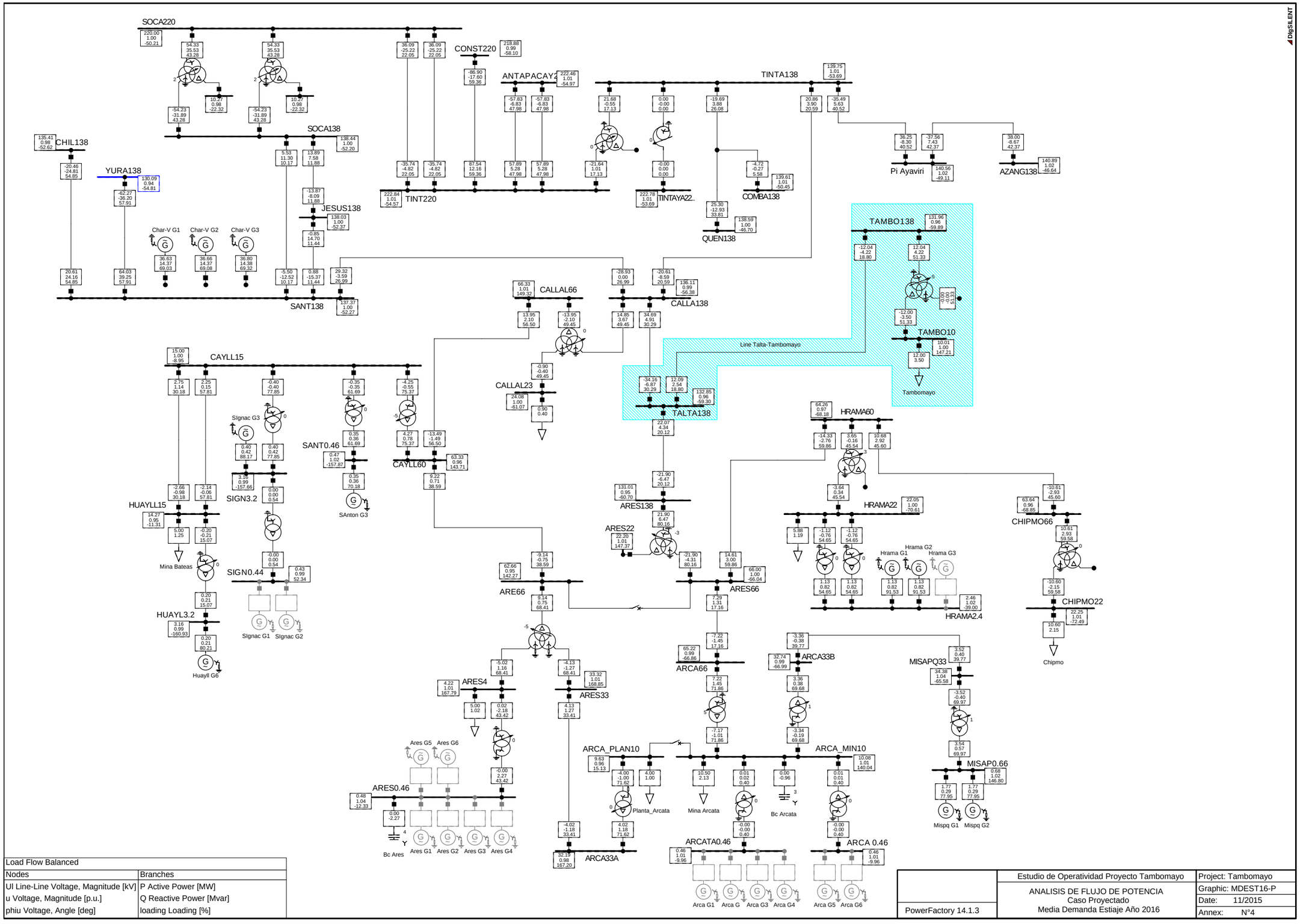
PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Proyectado Mínima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MNAVE16-P
		Date: 11/2015
		Annex: N°4



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

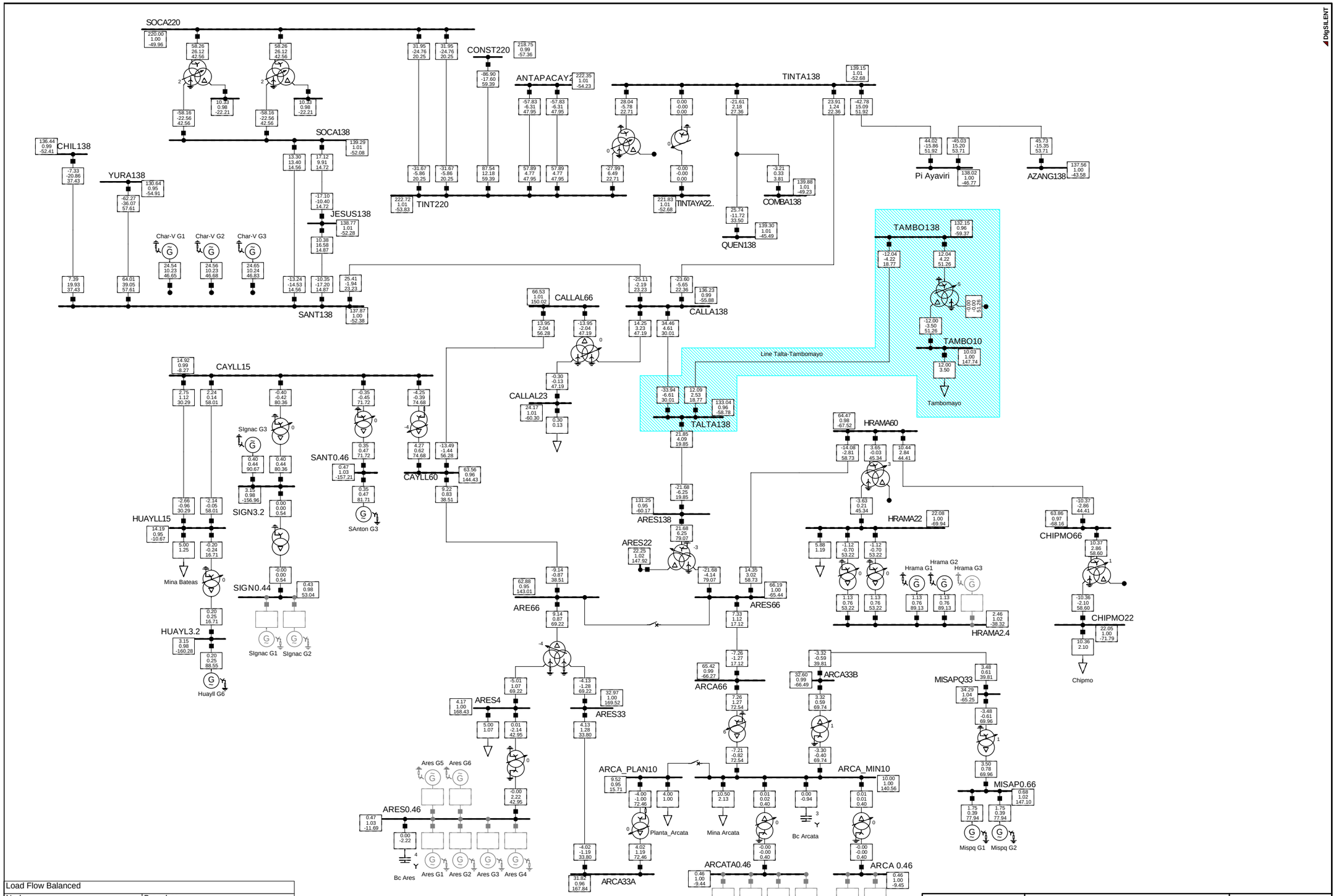
	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Proyectado Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-P
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°4

Análisis de Flujos de Potencia y Cortocircuito



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Proyectado Media Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MDEST16-P
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°4

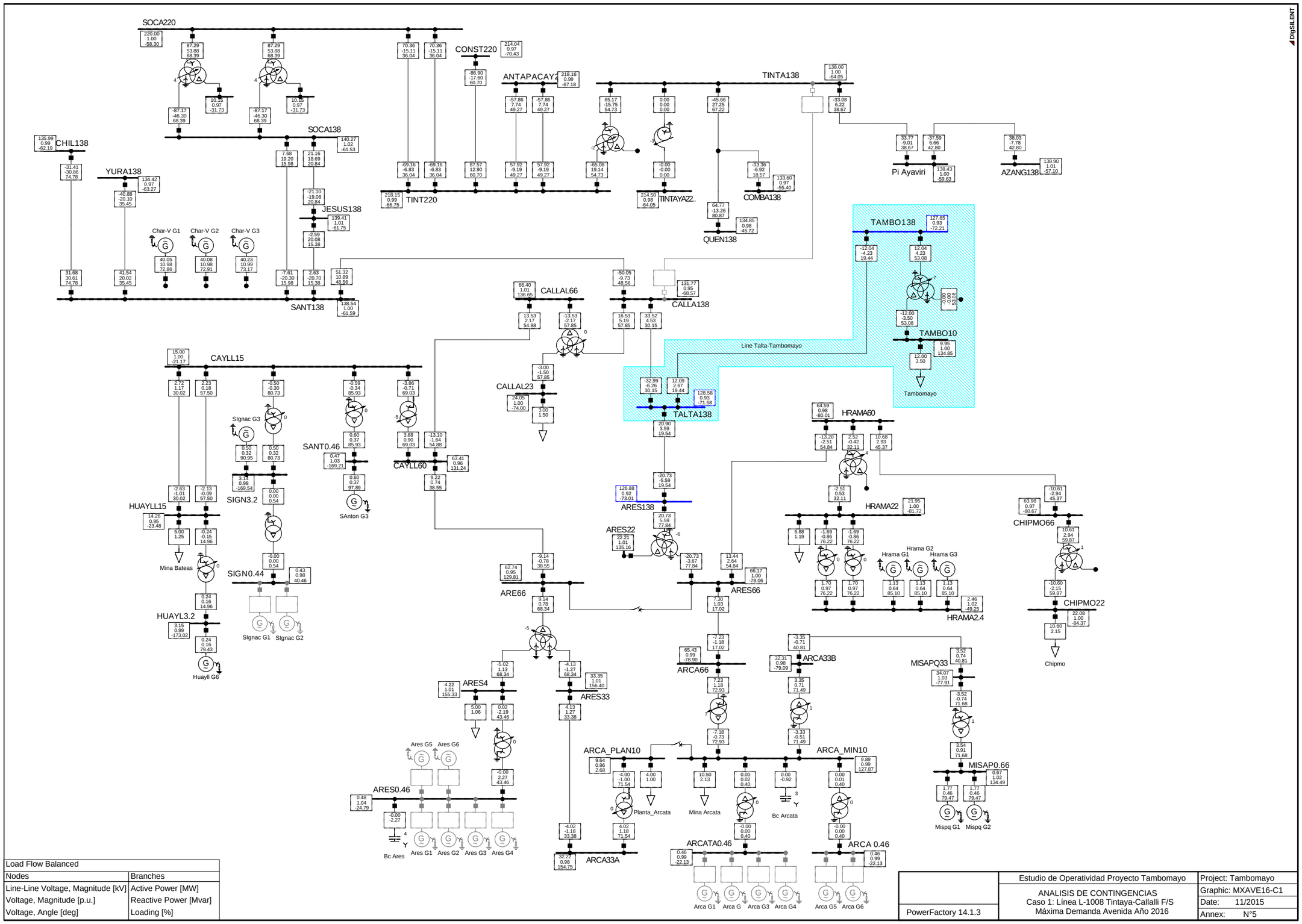


Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE FLUJO DE POTENCIA Caso Proyectado Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MNEST16-P
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°4

ANEXO N° 5

Análisis de Flujos de Potencia y Cortocircuito



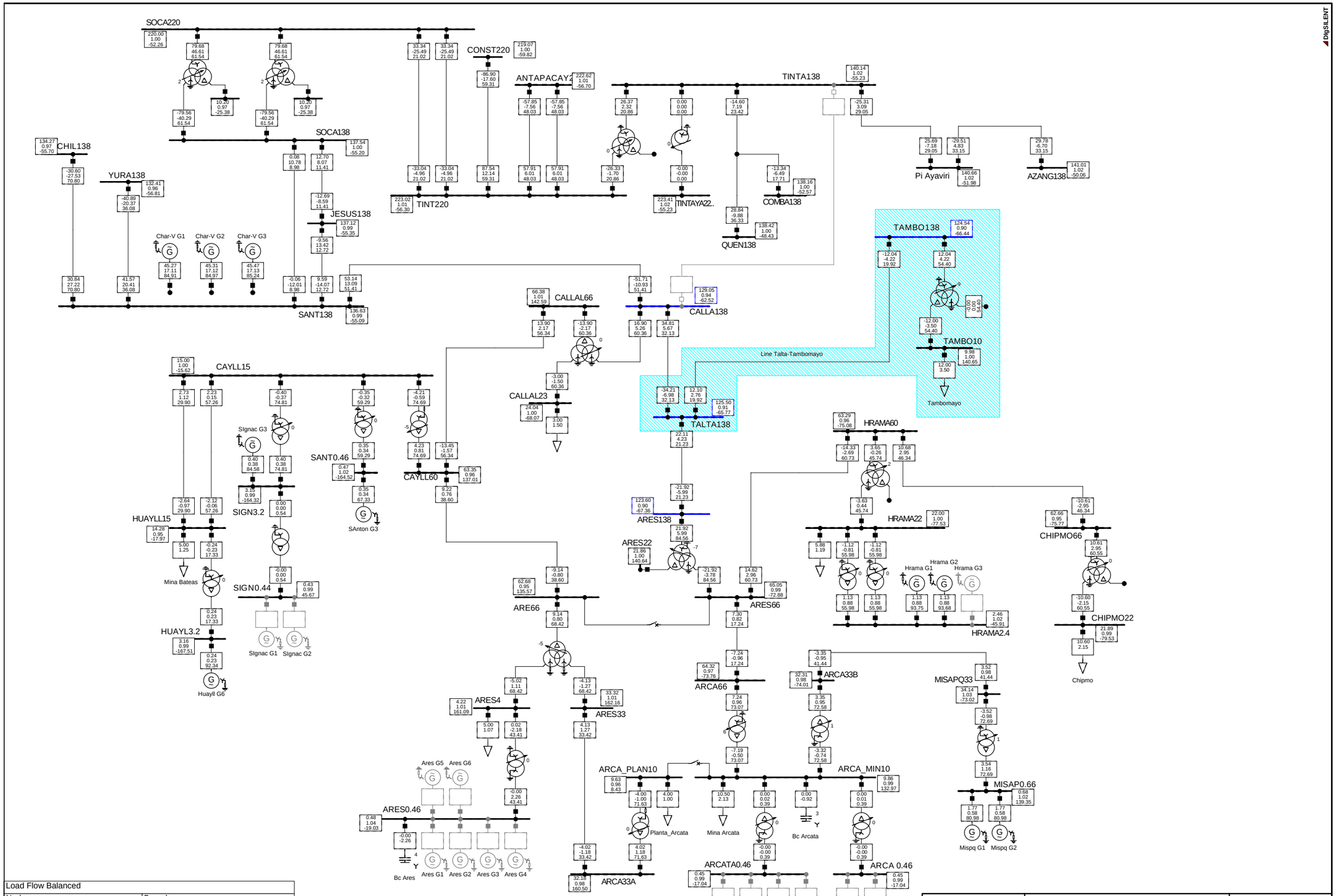
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

ANALISIS DE CONTINGENCIAS
Caso 1: Línea L-1008 Tintaya-Callalli F/S
Máxima Demanda Avenida Año 2016

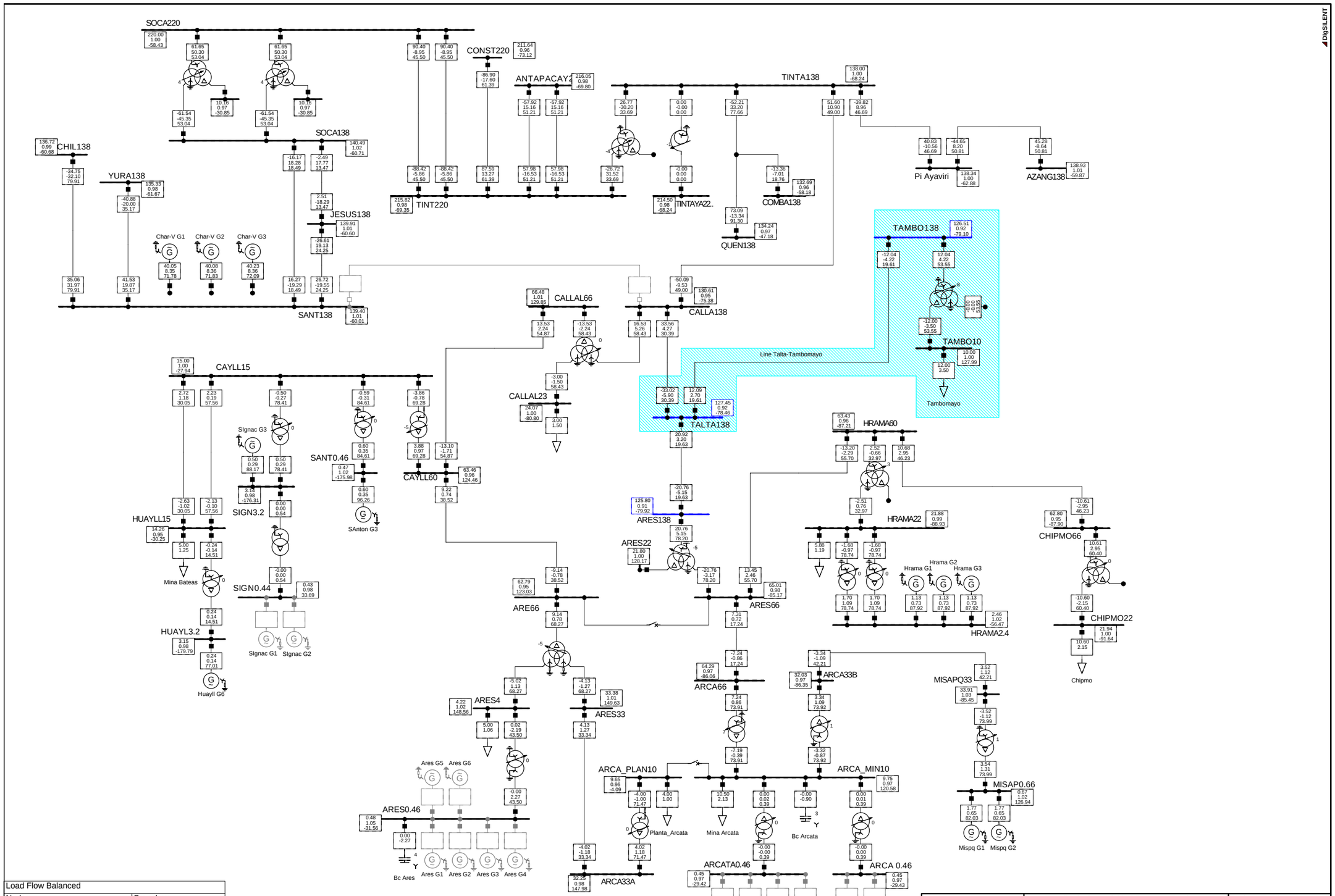
Project: Tambomayo
Graphic: MXAVE16-C1
Date: 11/2015
Annex: N°5



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 1: Línea L-1008 Tintaya-Callalli F/S Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-C1
PowerFactory 14.1.3		Date: 11/2015
		Annex: N°5

Análisis de Flujos de Potencia y Cortocircuito



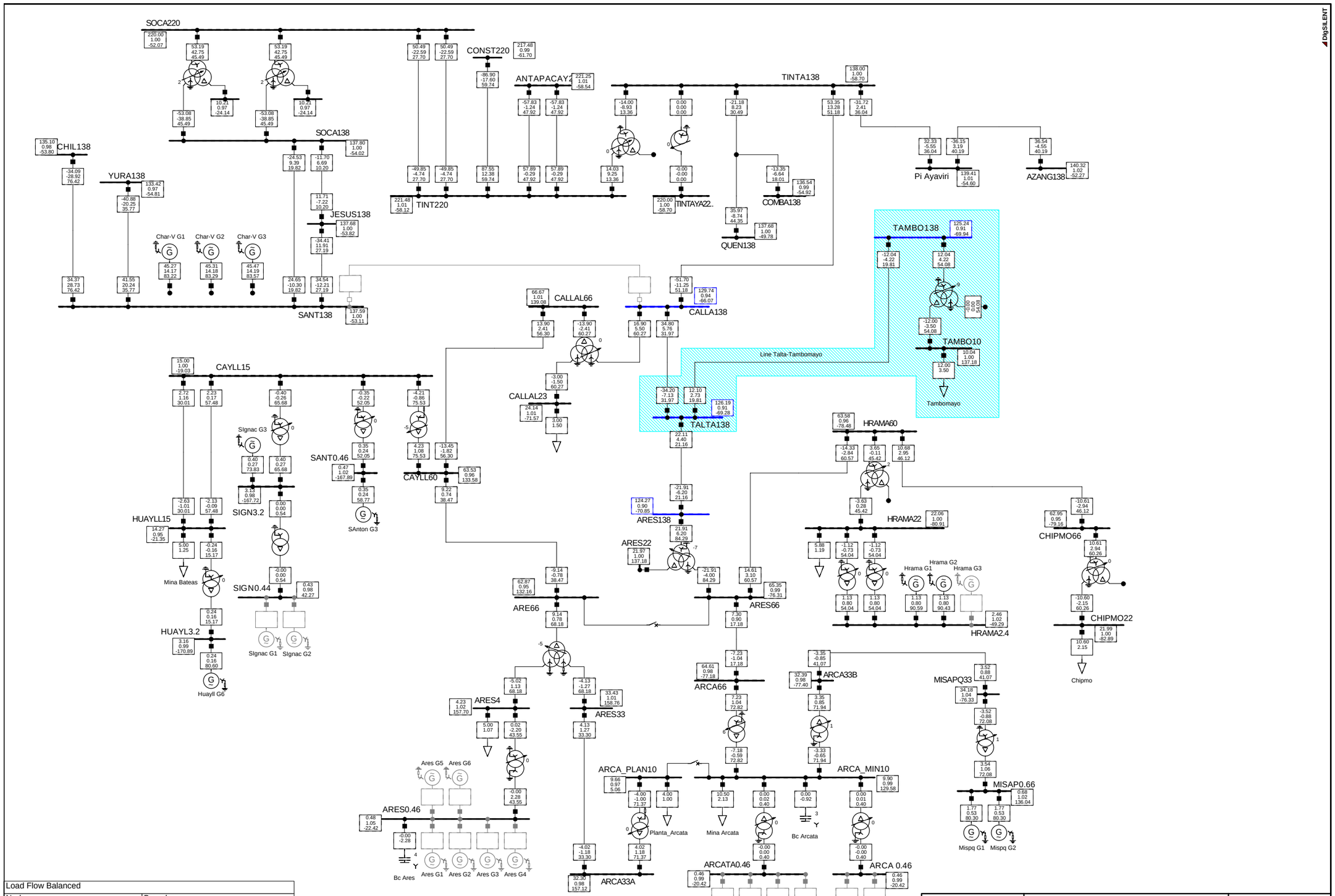
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

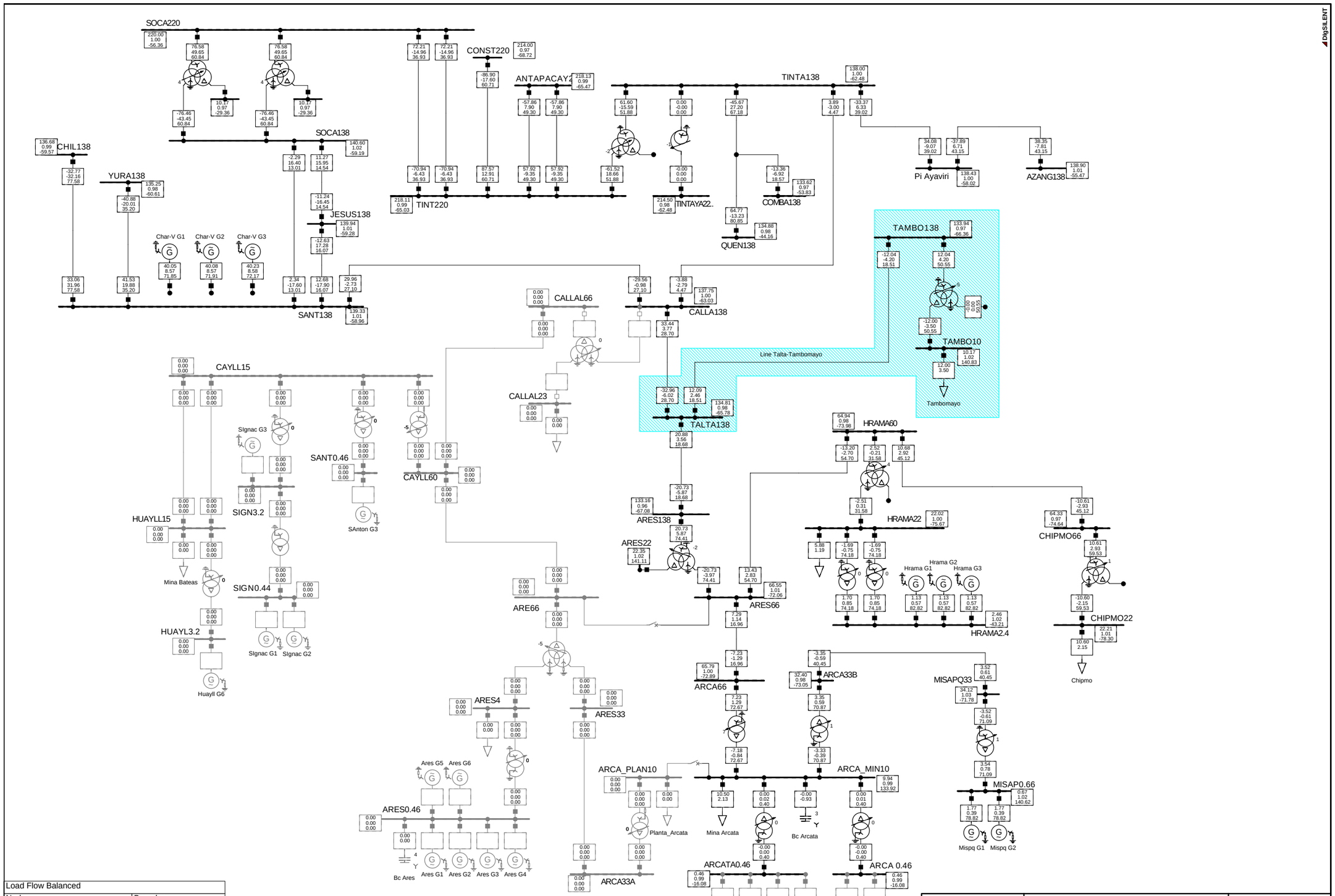
ANALISIS DE CONTINGENCIAS
Caso 2: Línea L-1020 Santuario-Callalli F/S
Máxima Demanda Avenida Año 2016

Project: Tambomayo
Graphic: MXAVE16-C2
Date: 11/2015
Annex: N°5



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

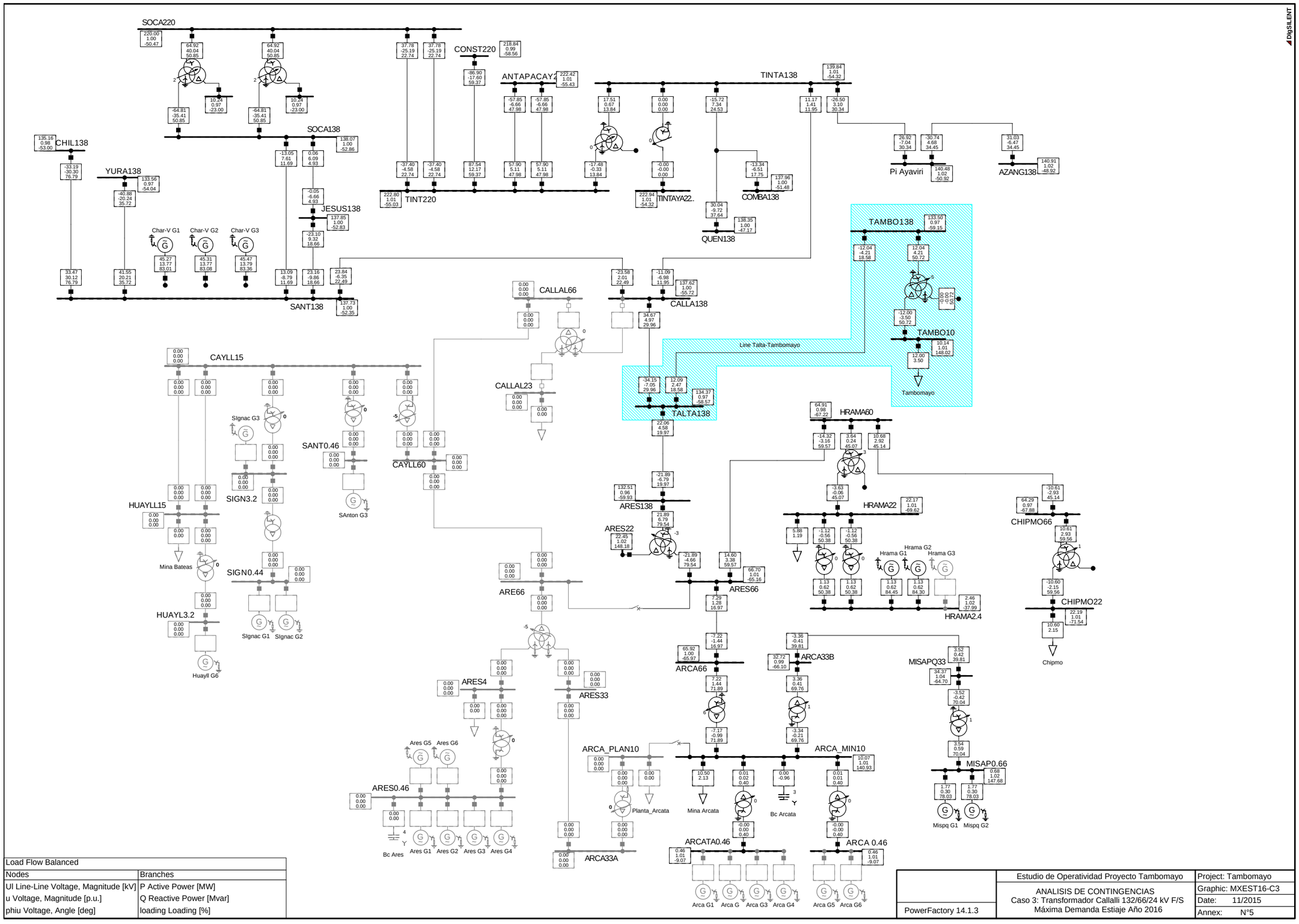
	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 2: Línea L-1020 Santuario-Callalli F/S Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-C2
PowerFactory 14.1.3		Date: 11/2015
		Annex: N°5



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

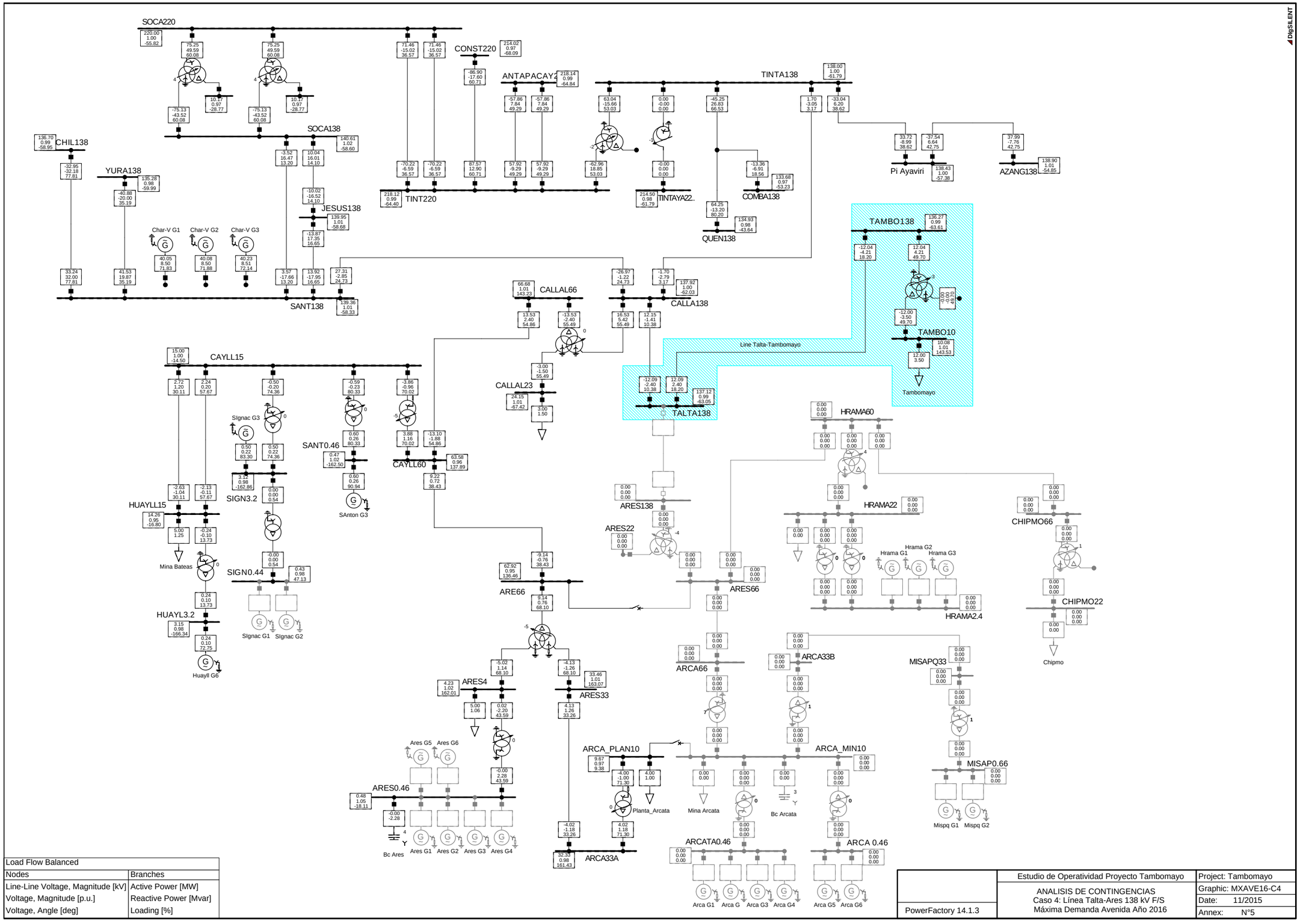
PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 3: Transformador Callalli 132/66/24 kV F/S Máxima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MXAVE16-C3
		Date: 11/2015
		Annex: N°5

Análisis de Flujos de Potencia y Cortocircuito



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 3: Transformador Callalli 132/66/24 kV F/S Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-C3
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°5



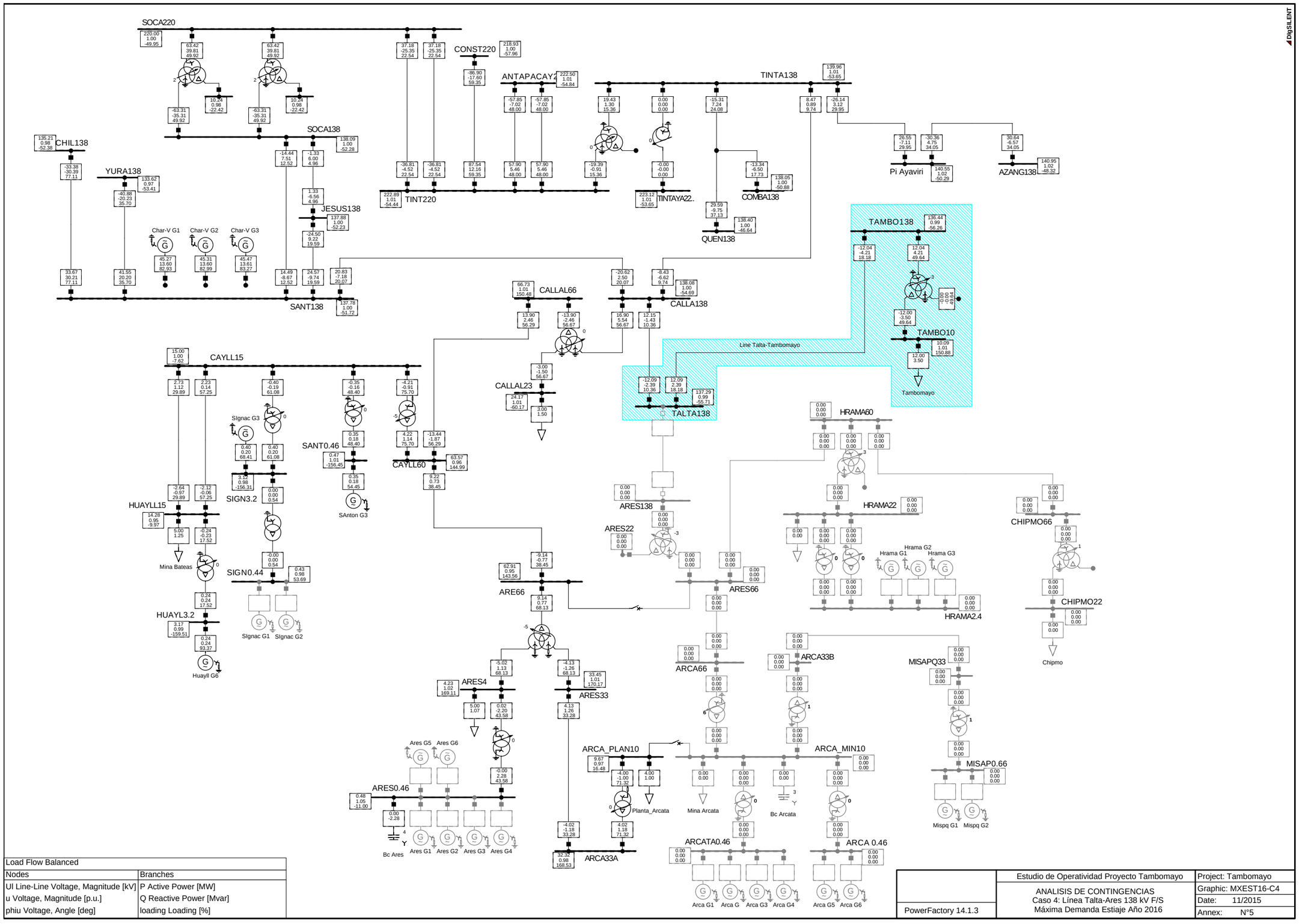
Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

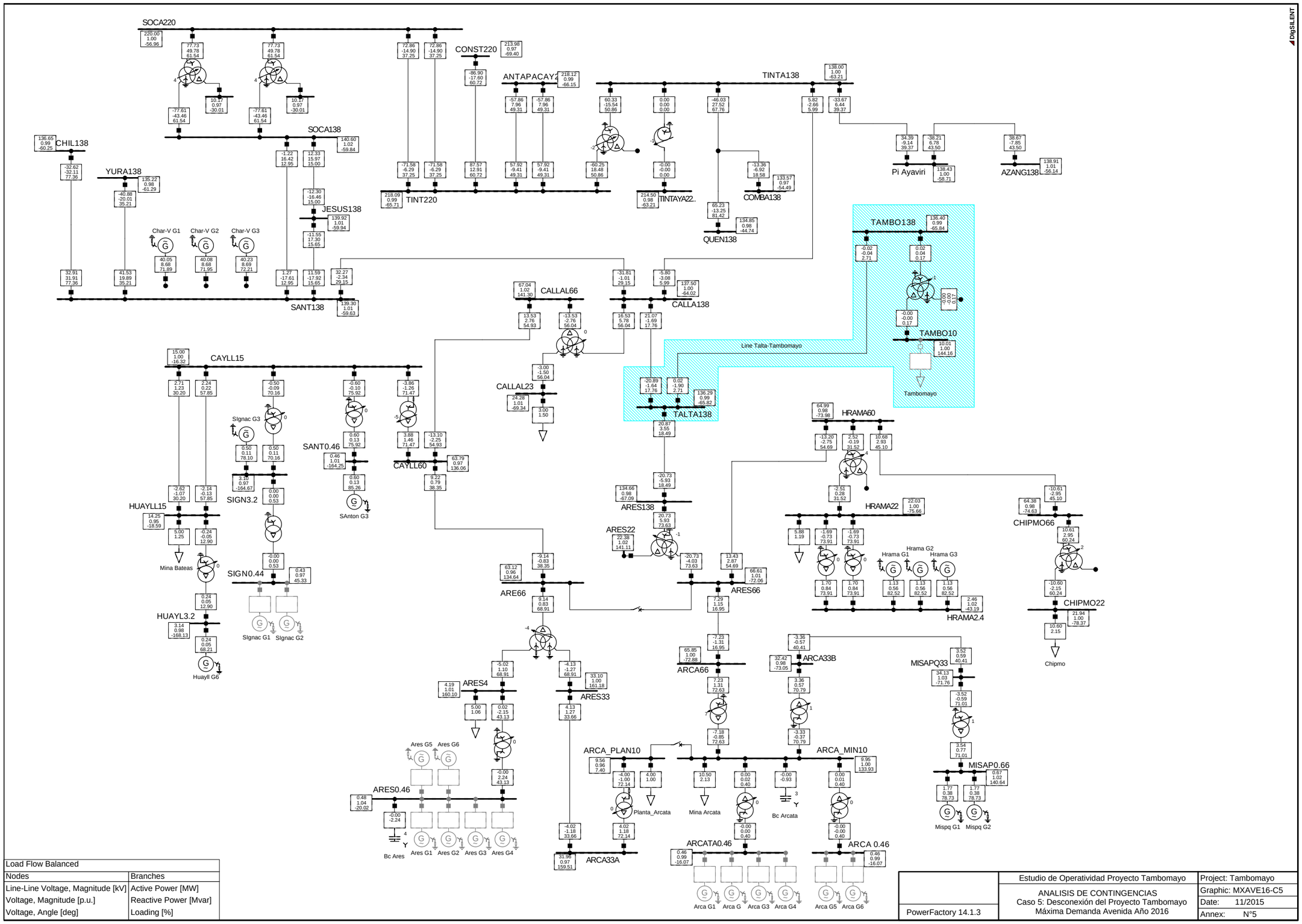
ANALISIS DE CONTINGENCIAS
Caso 4: Línea Talta-Ares 138 kV F/S
Máxima Demanda Avenida Año 2016

Project: Tambomayo
Graphic: MXAVE16-C4
Date: 11/2015
Annex: N°5



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

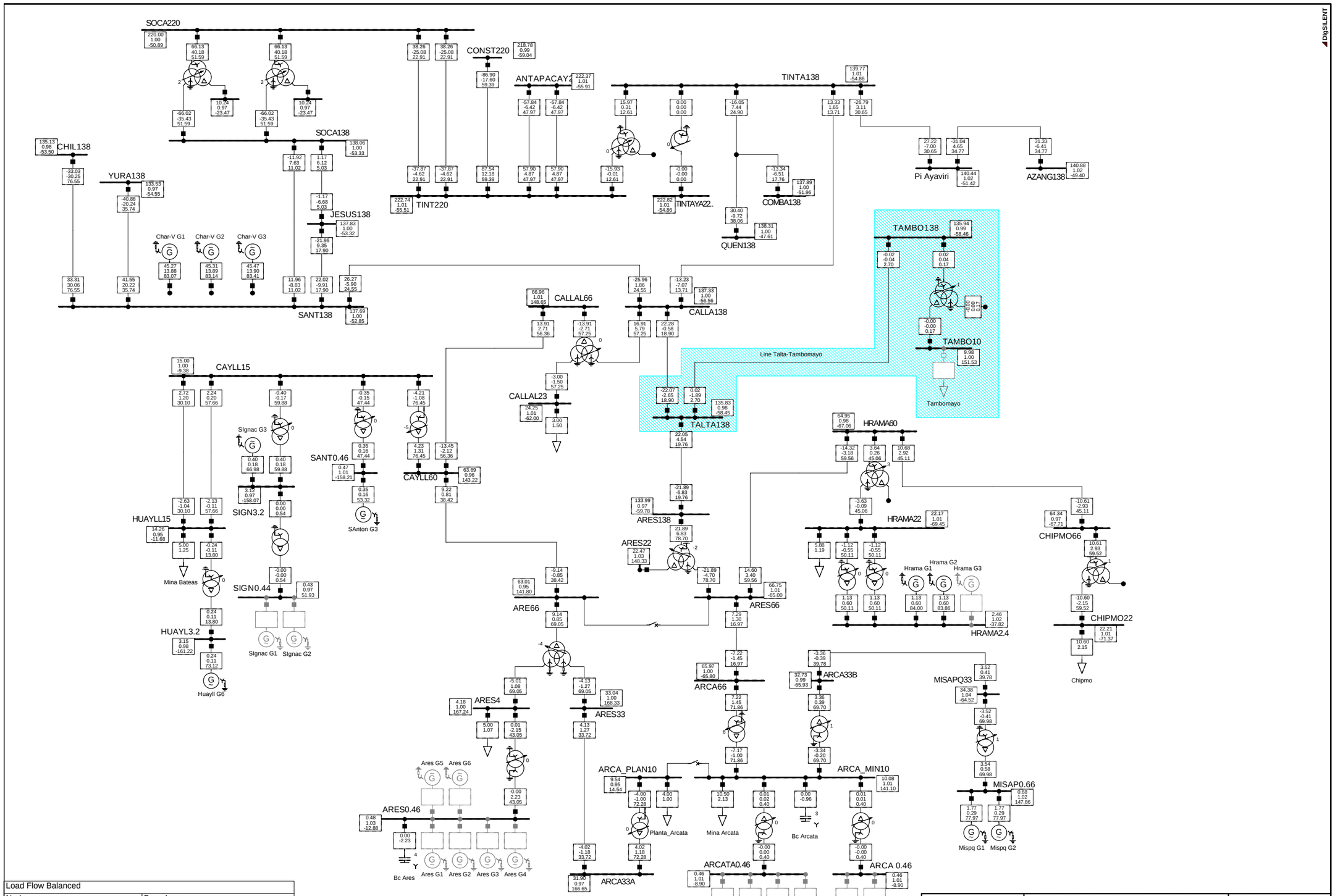
	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 4: Línea Talta-Ares 138 kV F/S Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-C4
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°5



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	Active Power [MW]
Voltage, Magnitude [p.u.]	Reactive Power [Mvar]
Voltage, Angle [deg]	Loading [%]

PowerFactory 14.1.3

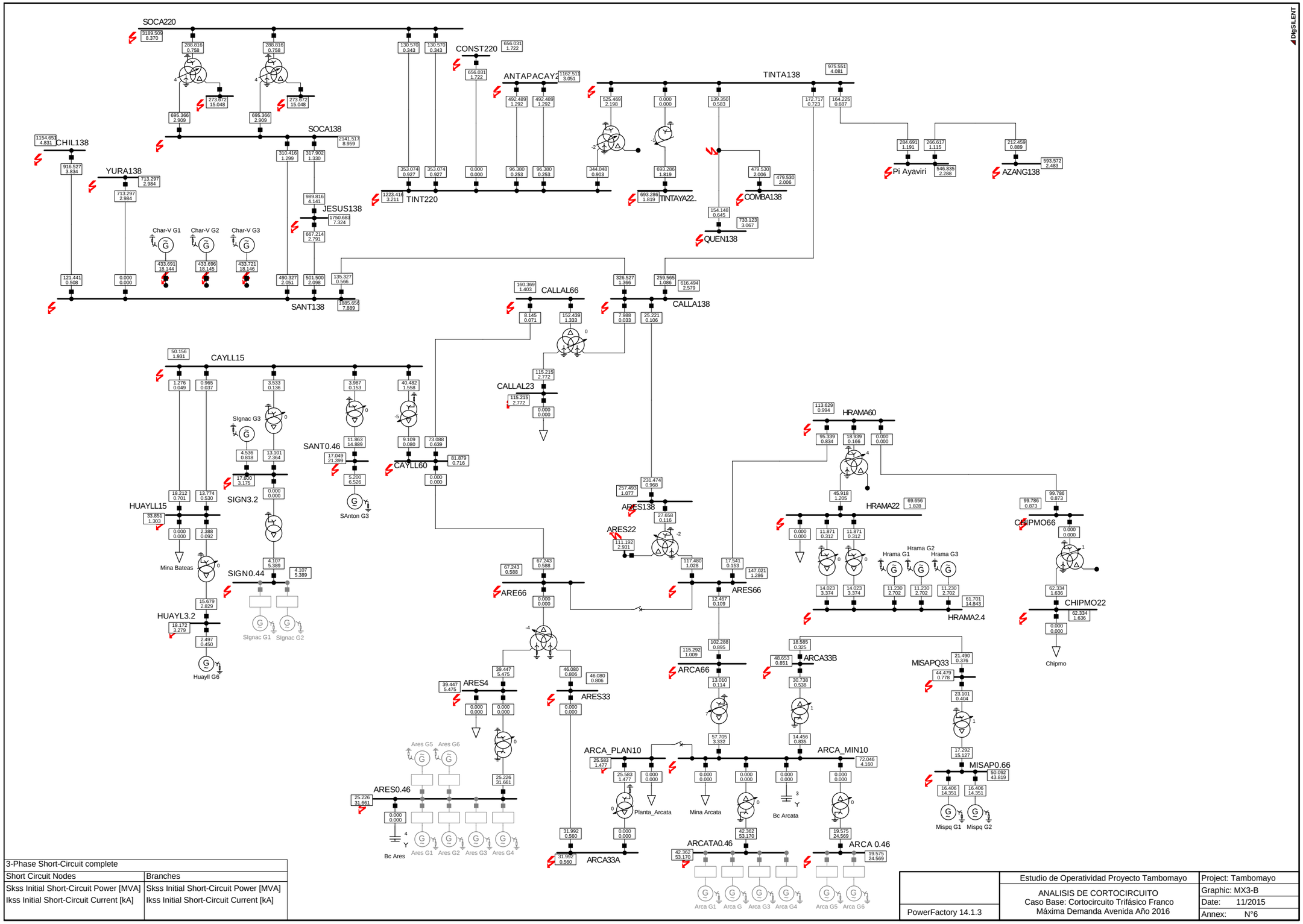
	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 5: Desconexión del Proyecto Tambomayo Máxima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MXAVE16-C5
		Date: 11/2015
		Annex: N°5



Load Flow Balanced	
Nodes	Branches
Ul Line-Line Voltage, Magnitude [kV]	P Active Power [MW]
u Voltage, Magnitude [p.u.]	Q Reactive Power [Mvar]
phiu Voltage, Angle [deg]	loading Loading [%]

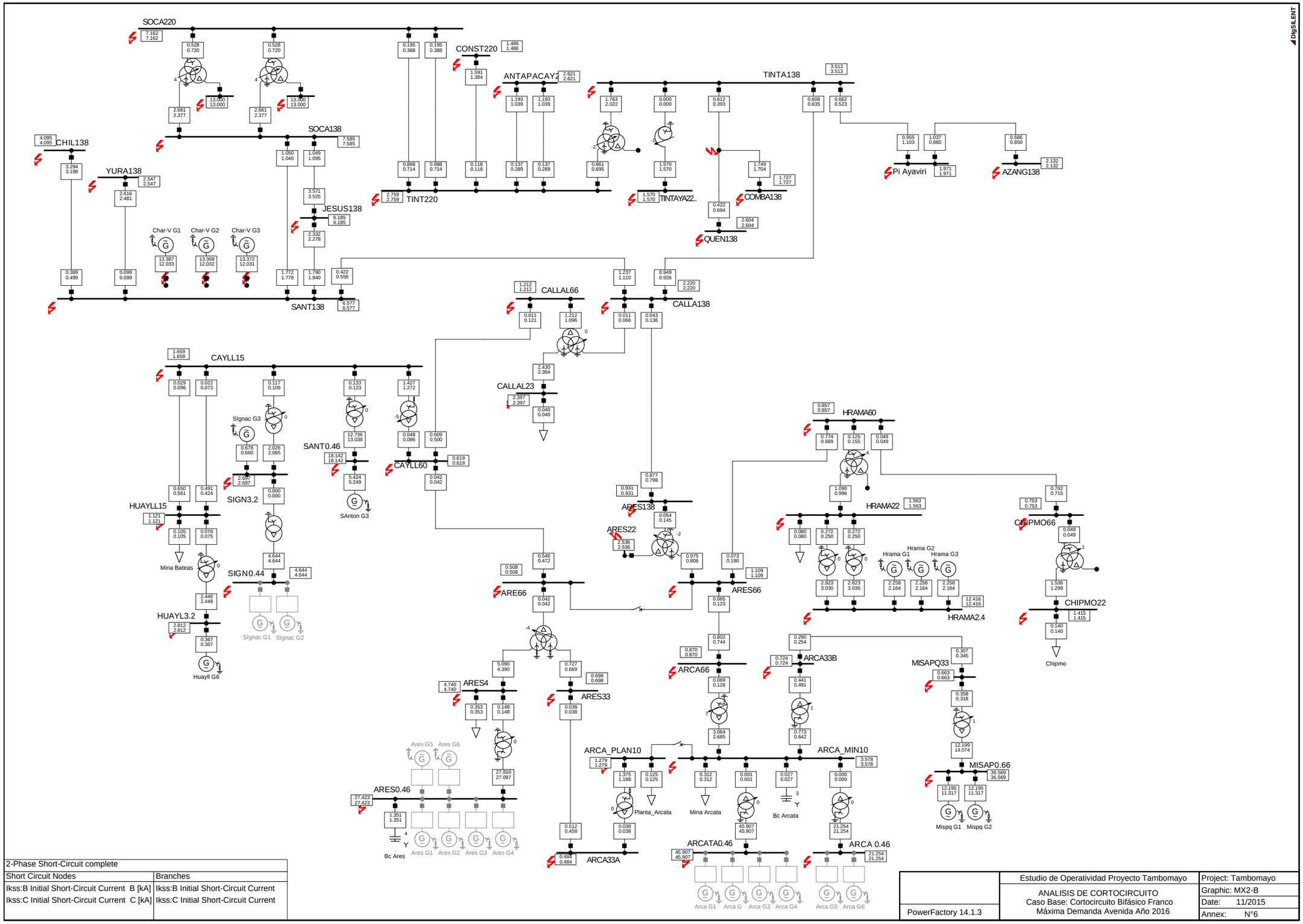
PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CONTINGENCIAS Caso 5: Desconexión del Proyecto Tambomayo Máxima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MXEST16-C5
		Date: 11/2015
		Annex: N°5

ANEXO N° 6



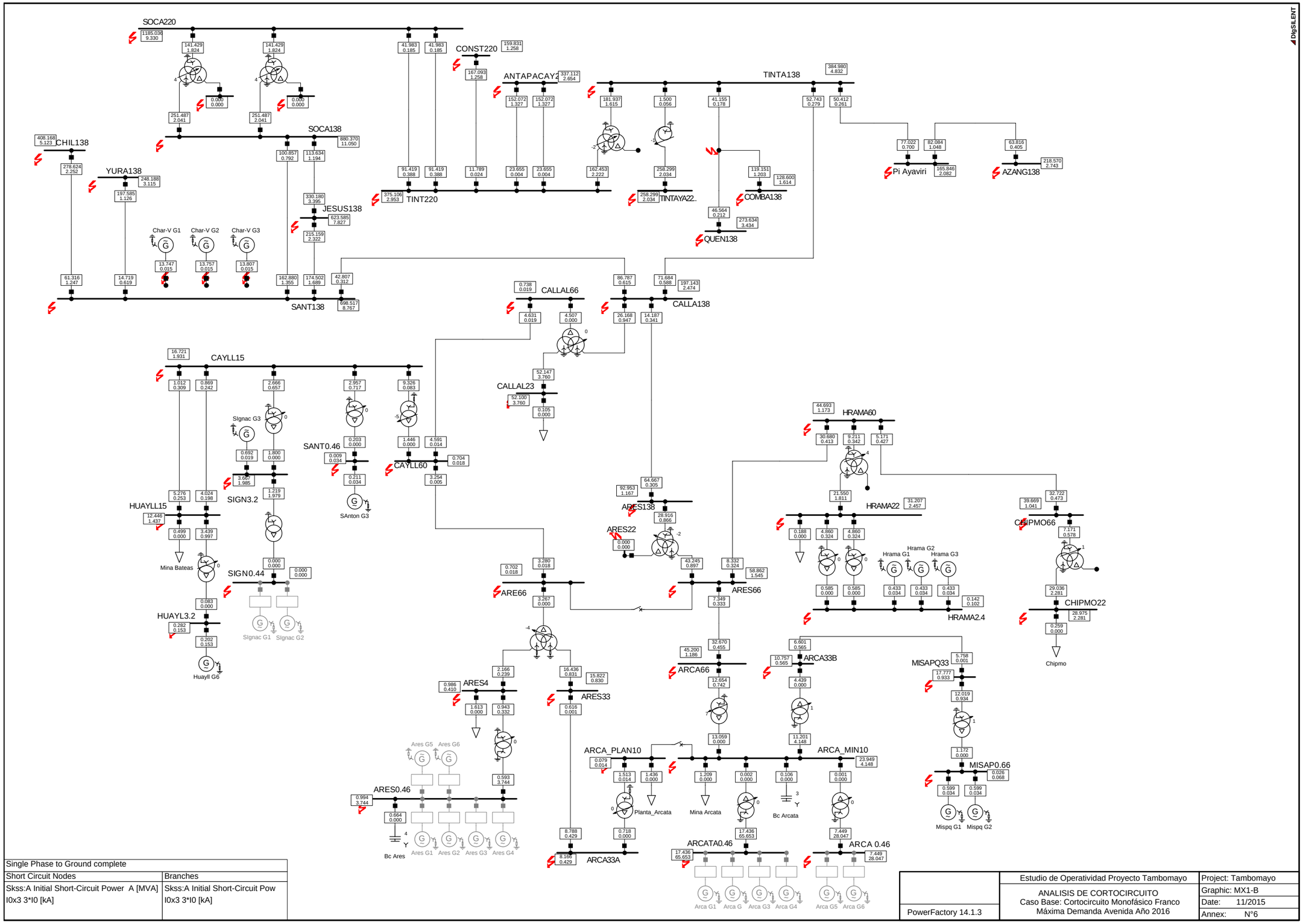
3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]	Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]
Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]	Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Base: Cortocircuito Trifásico Franco Máxima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MX3-B
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°6



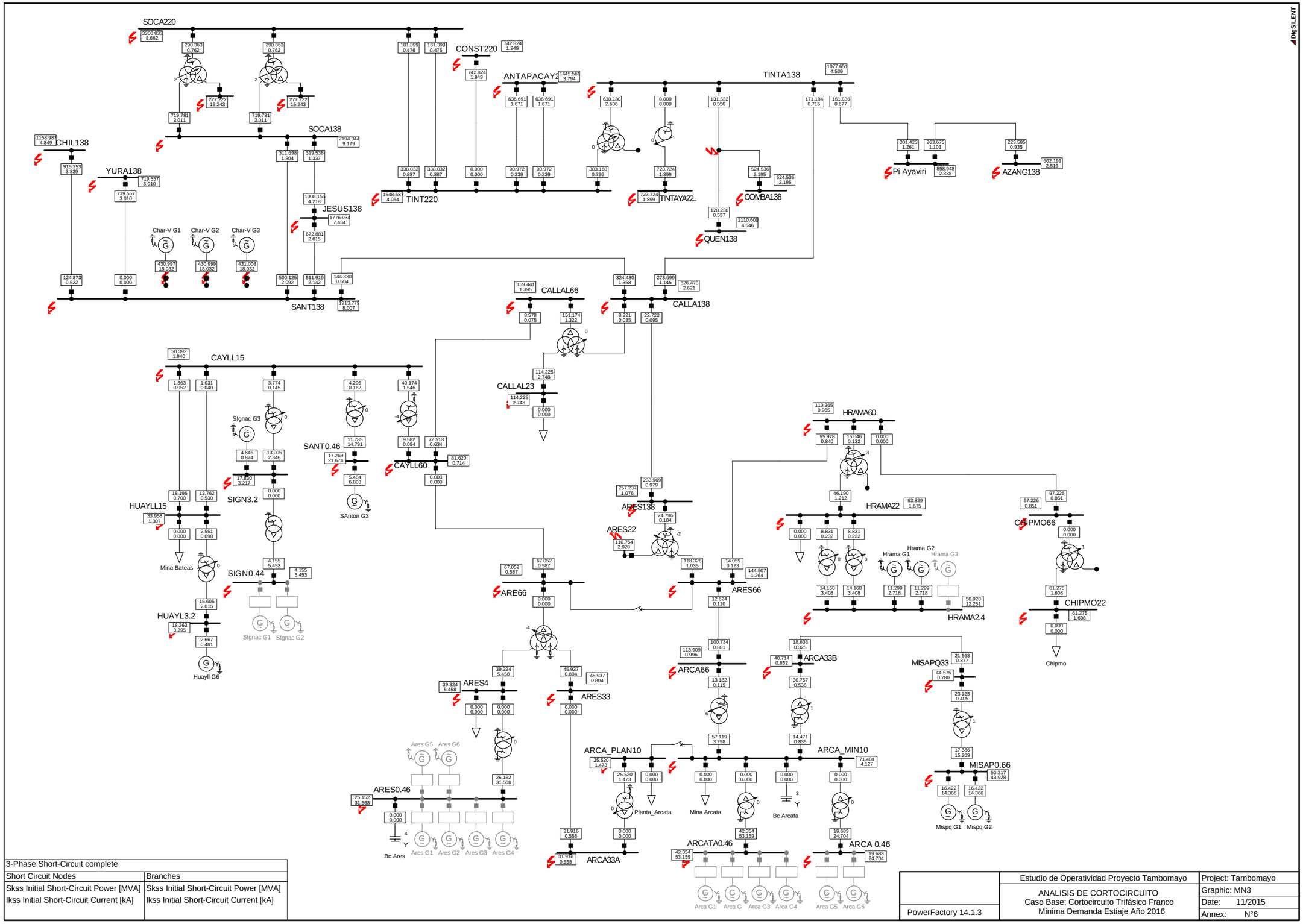
2-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Ikss:B Initial Short-Circuit Current B [kA]	Ikss:B Initial Short-Circuit Current
Ikss:C Initial Short-Circuit Current C [kA]	Ikss:C Initial Short-Circuit Current

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Base: Cortocircuito Bifásico Franco Máxima Demanda Avenida Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MX2-B Date: 11/2015 Annex: N°6



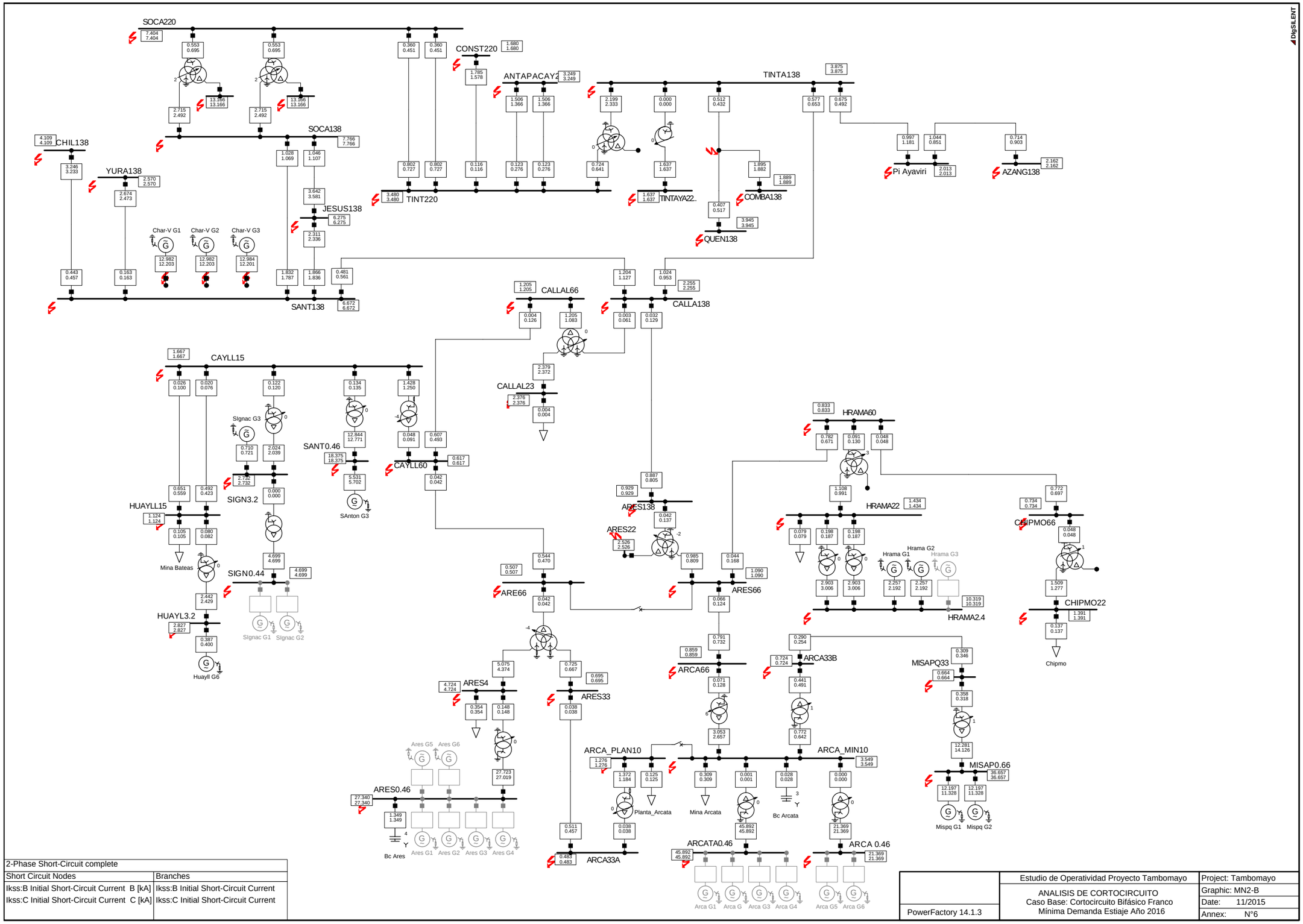
Single Phase to Ground complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss:A Initial Short-Circuit Power A [MVA] I0x3 3*I0 [kA]	Skss:A Initial Short-Circuit Pow I0x3 3*I0 [kA]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Base: Cortocircuito Monofásico Franco Máxima Demanda Avenida Año 2016	Graphic: MX1-B
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°6



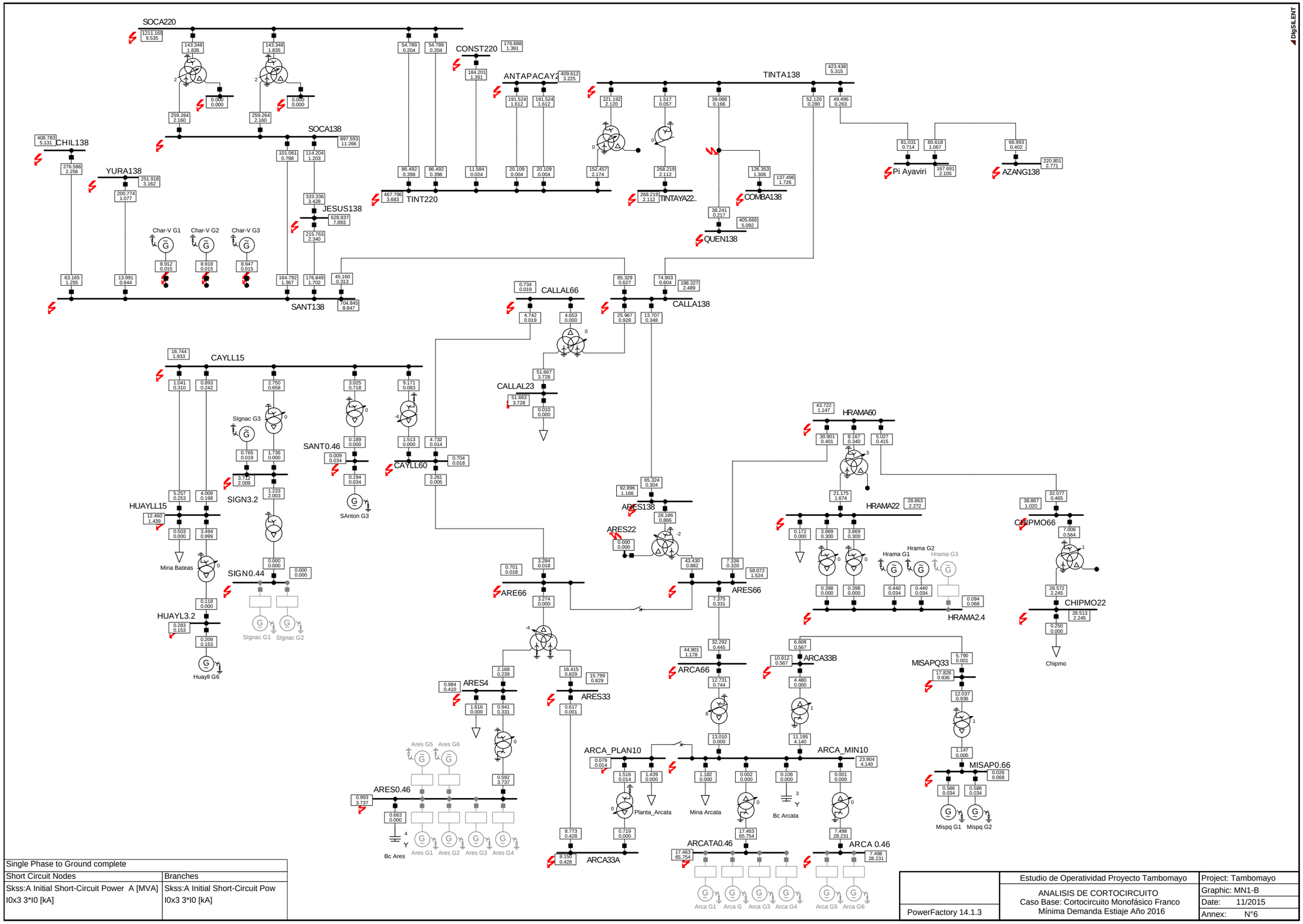
3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]	Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]
Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]	Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Base: Cortocircuito Trifásico Franco Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MN3
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°6



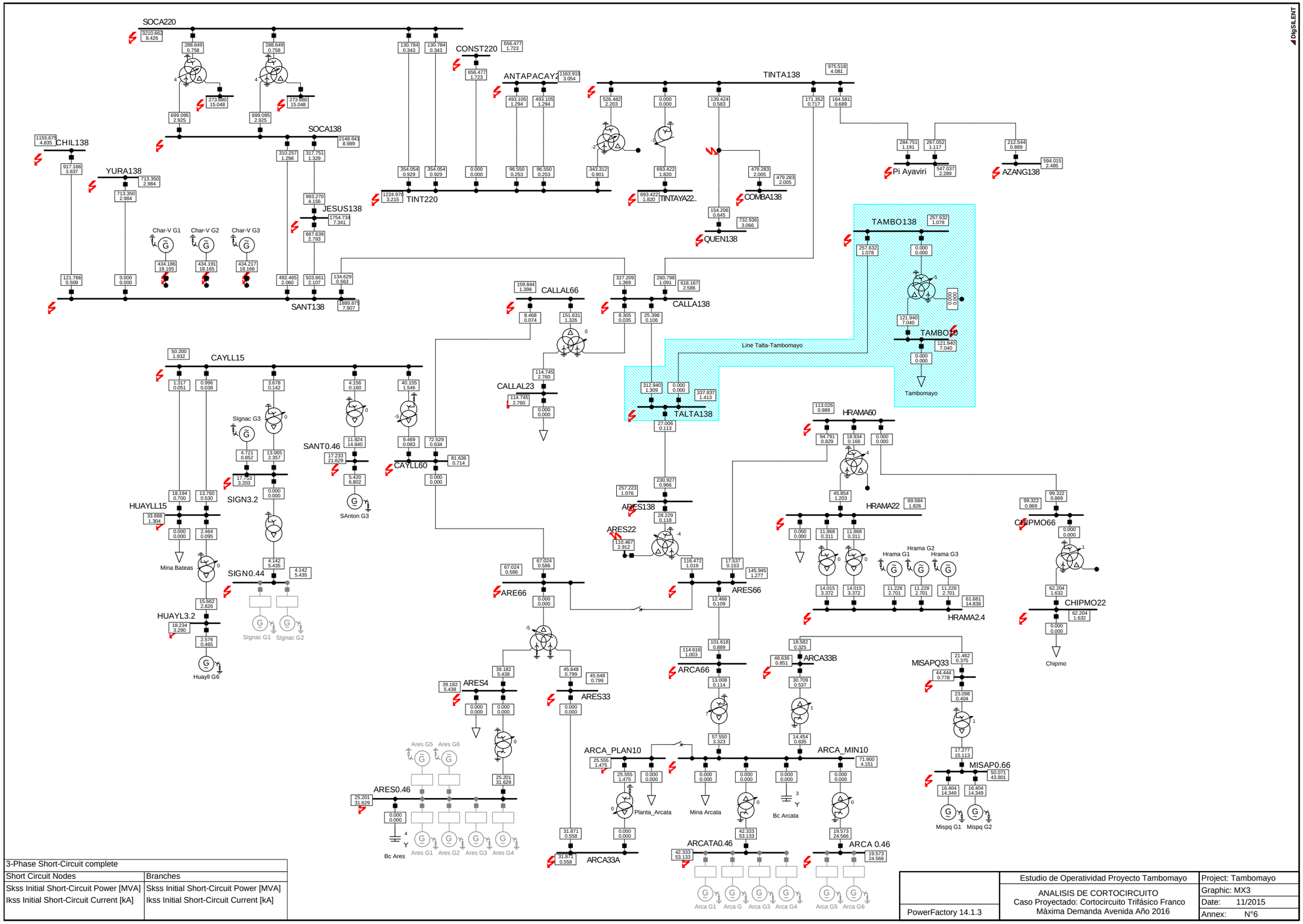
2-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Ikss:B Initial Short-Circuit Current B [kA]	Ikss:B Initial Short-Circuit Current
Ikss:C Initial Short-Circuit Current C [kA]	Ikss:C Initial Short-Circuit Current

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Base: Cortocircuito Bifásico Franco Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MN2-B Date: 11/2015 Annex: N°6



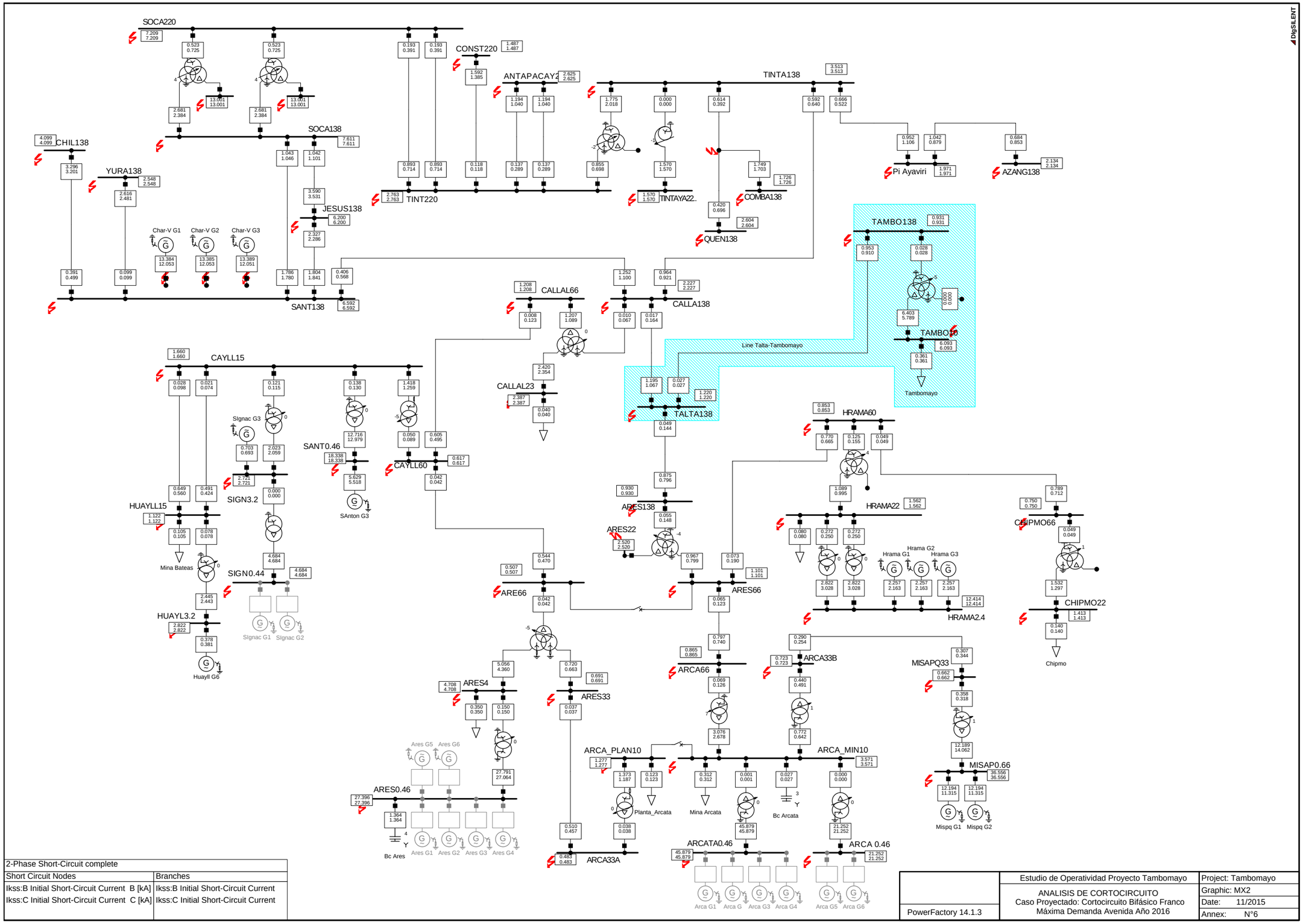
Single Phase to Ground complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss:A Initial Short-Circuit Power A [MVA] I0x3 3*I0 [kA]	Skss:A Initial Short-Circuit Pow I0x3 3*I0 [kA]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Base: Cortocircuito Monofásico Franco Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MN1-B Date: 11/2015 Annex: N°6



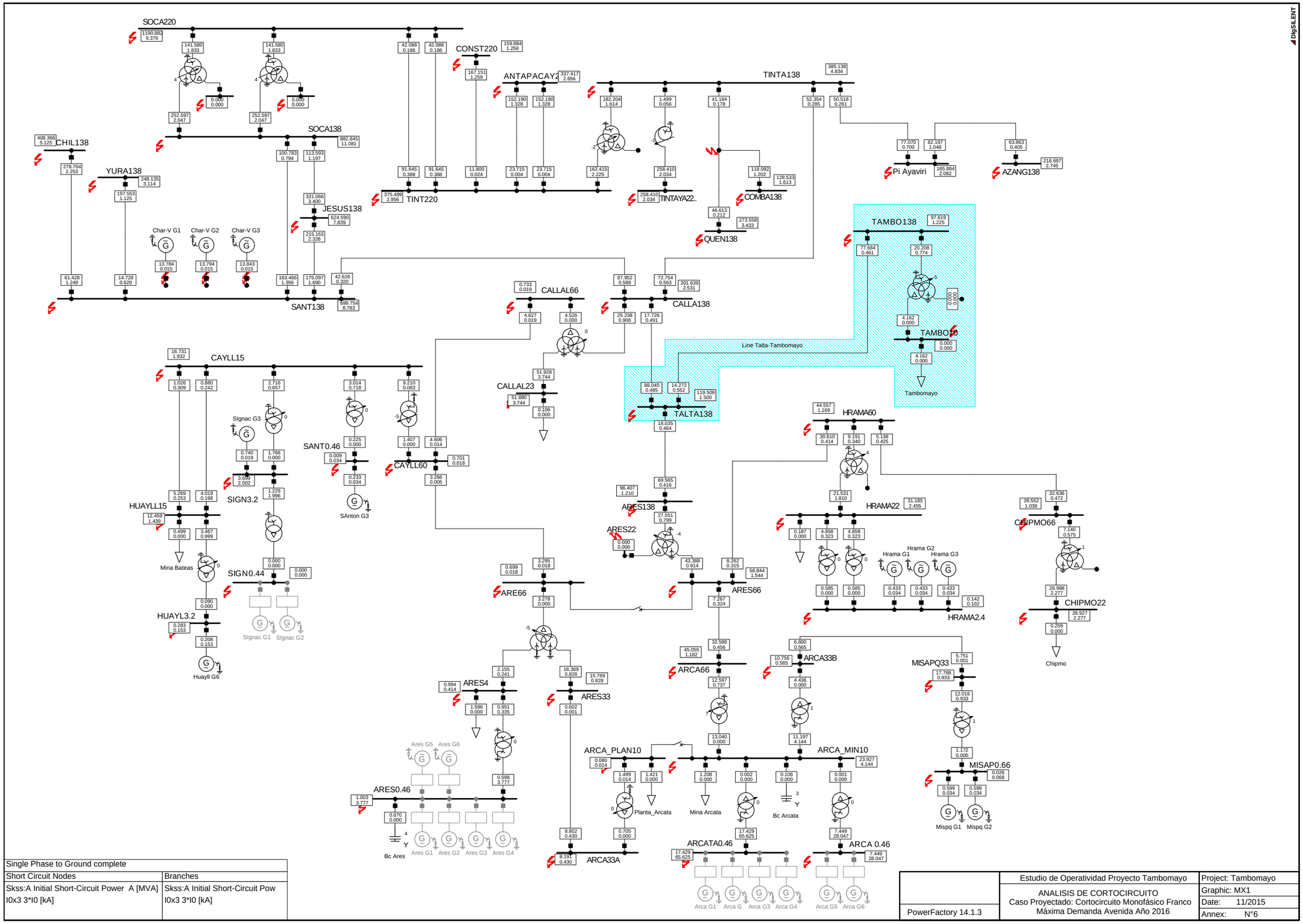
3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]	Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]
Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]	Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proyectado: Cortocircuito Trifásico Franco Máxima Demanda Avenida Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MX3 Date: 11/2015 Annex: N°6



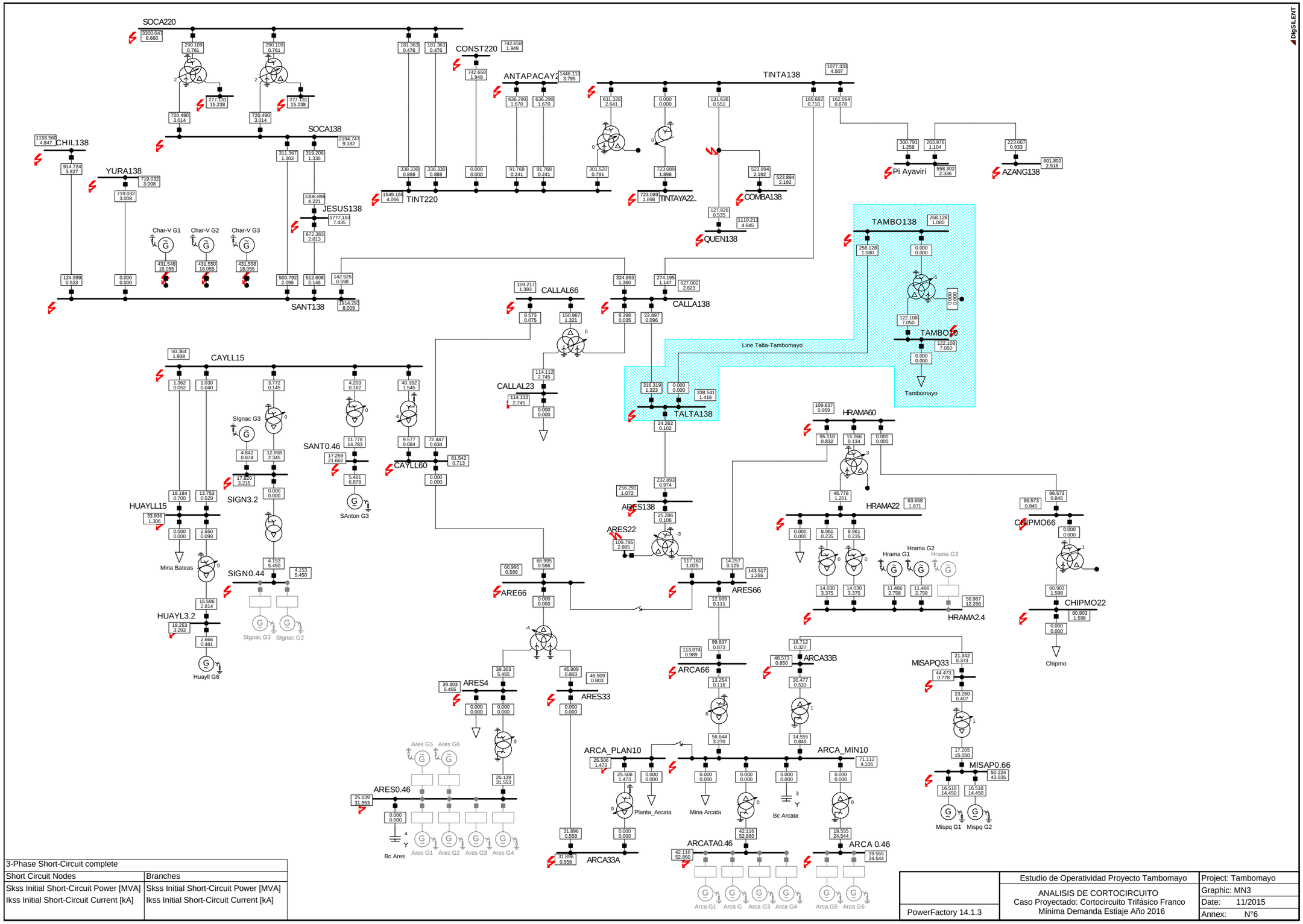
2-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Ikss:B Initial Short-Circuit Current B [kA]	Ikss:B Initial Short-Circuit Current
Ikss:C Initial Short-Circuit Current C [kA]	Ikss:C Initial Short-Circuit Current

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proyectado: Cortocircuito Bifásico Franco Máxima Demanda Avenida Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MX2 Date: 11/2015 Annex: N°6



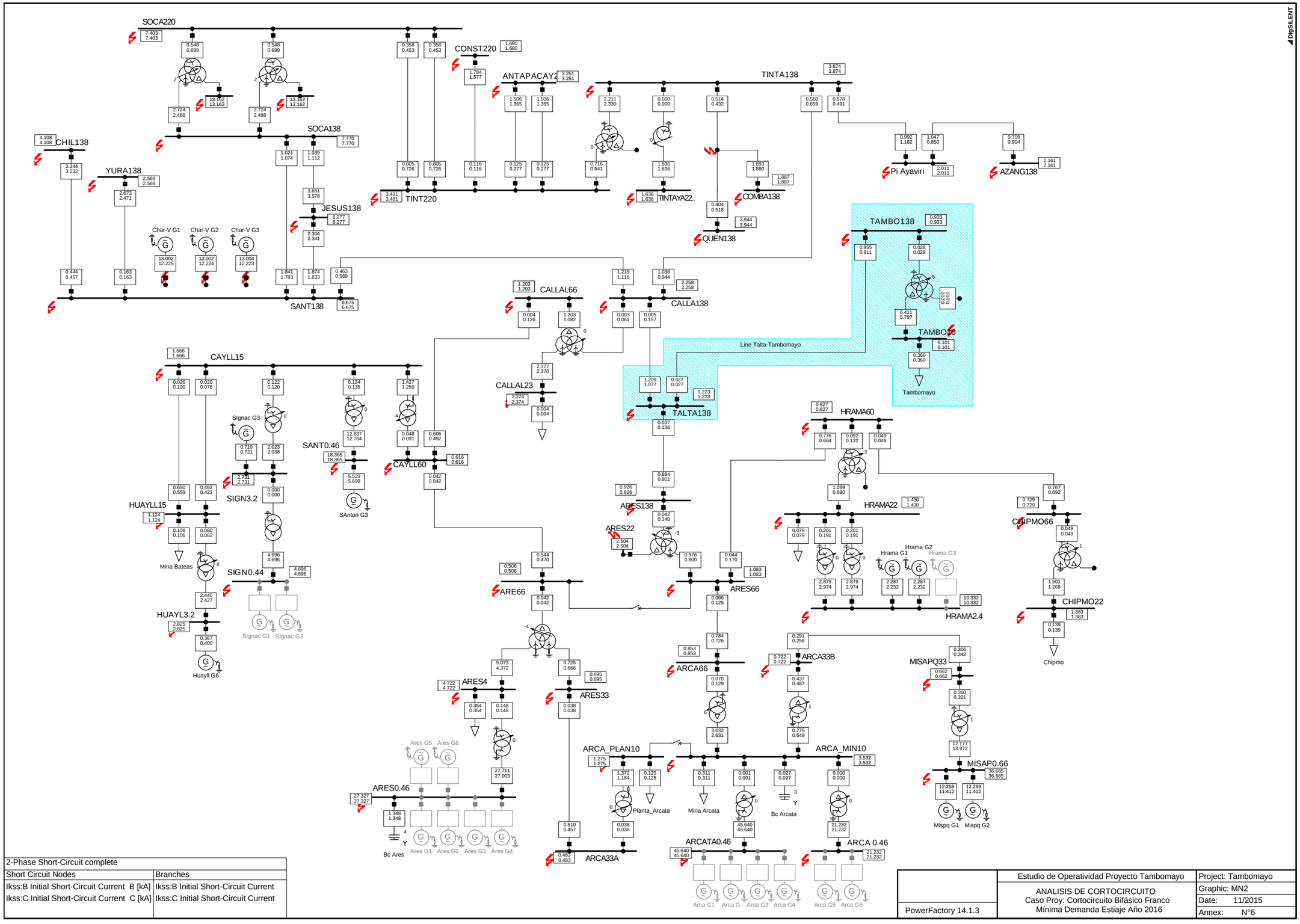
Single Phase to Ground complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss:A Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Skss:A Initial Short-Circuit Pow
I0x3 3*I0 [kA]	I0x3 3*I0 [kA]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proyectado: Cortocircuito Monofásico Franco Máxima Demanda Avenida Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MX1 Date: 11/2015 Annex: N°6



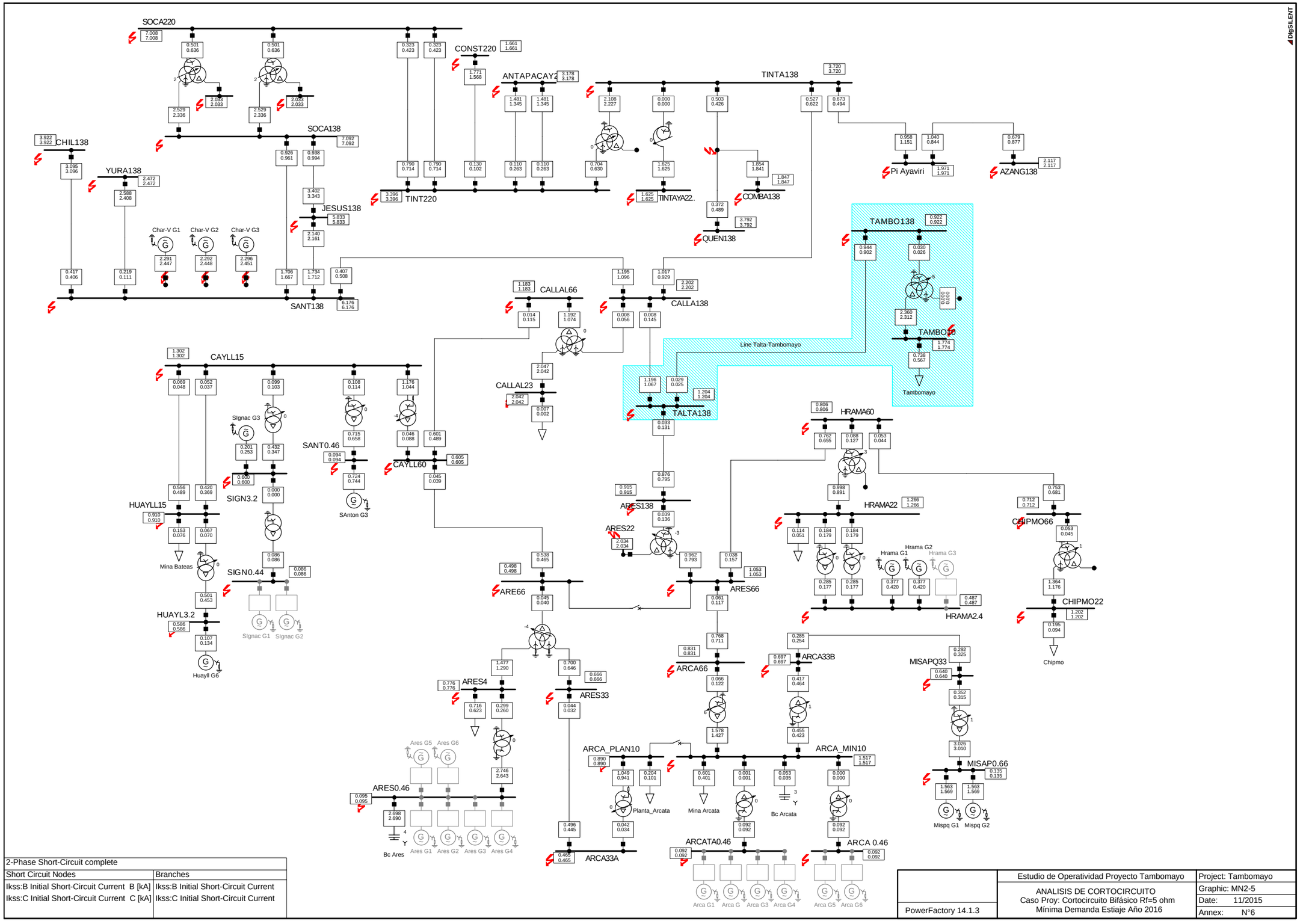
3-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]	Skss Initial Short-Circuit Power [MVA]
Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]	Ikss Initial Short-Circuit Current [kA]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proyectado: Cortocircuito Trifásico Franco Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MN3 Date: 11/2015 Annex: N°6



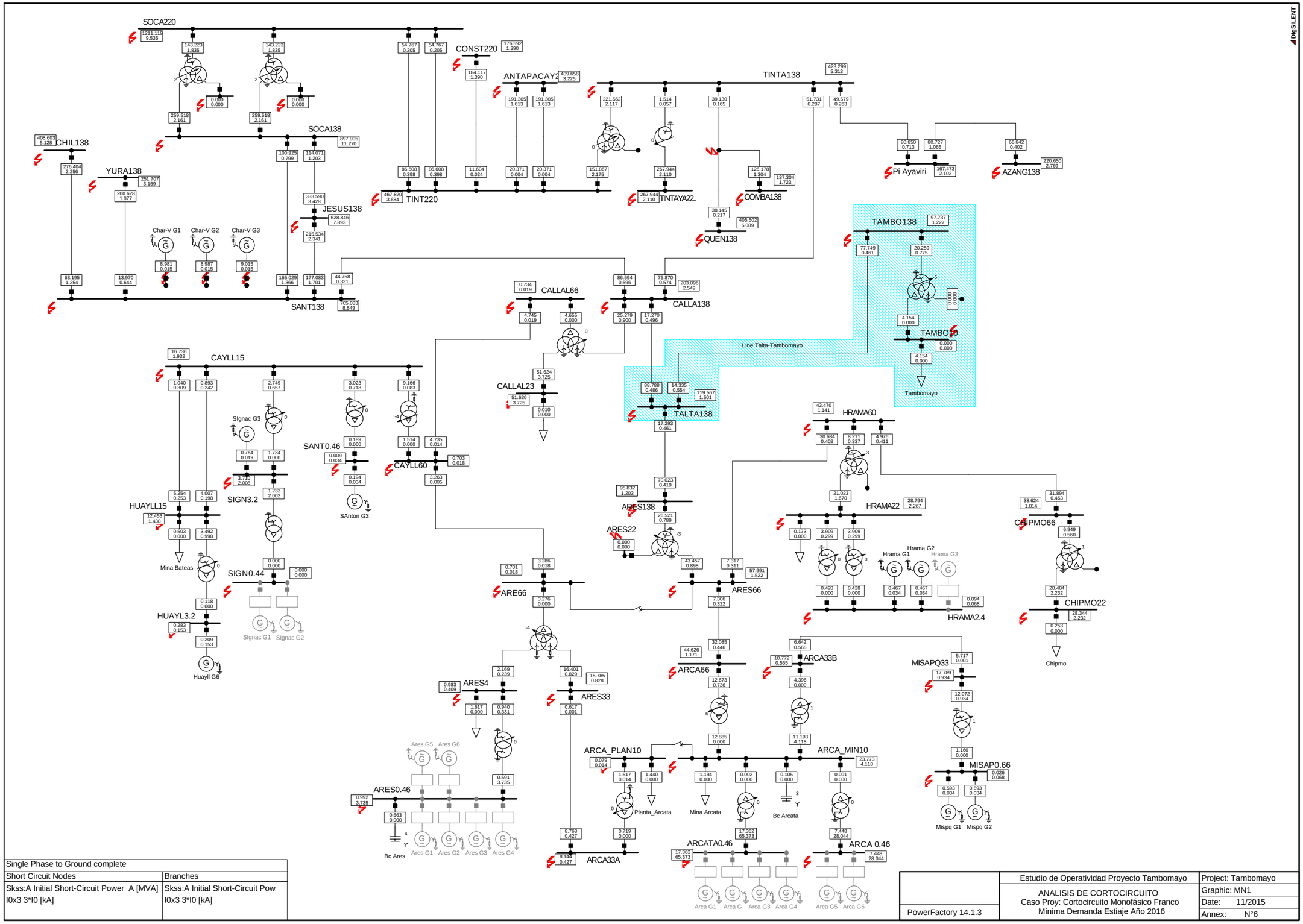
2-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Ikss:B Initial Short-Circuit Current B [kA]	Ikss:B Initial Short-Circuit Current
Ikss:C Initial Short-Circuit Current C [kA]	Ikss:C Initial Short-Circuit Current

	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo	Project: Tambomayo
	ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proy: Cortocircuito Bifásico Franco Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Graphic: MN2
		Date: 11/2015
PowerFactory 14.1.3		Annex: N°6



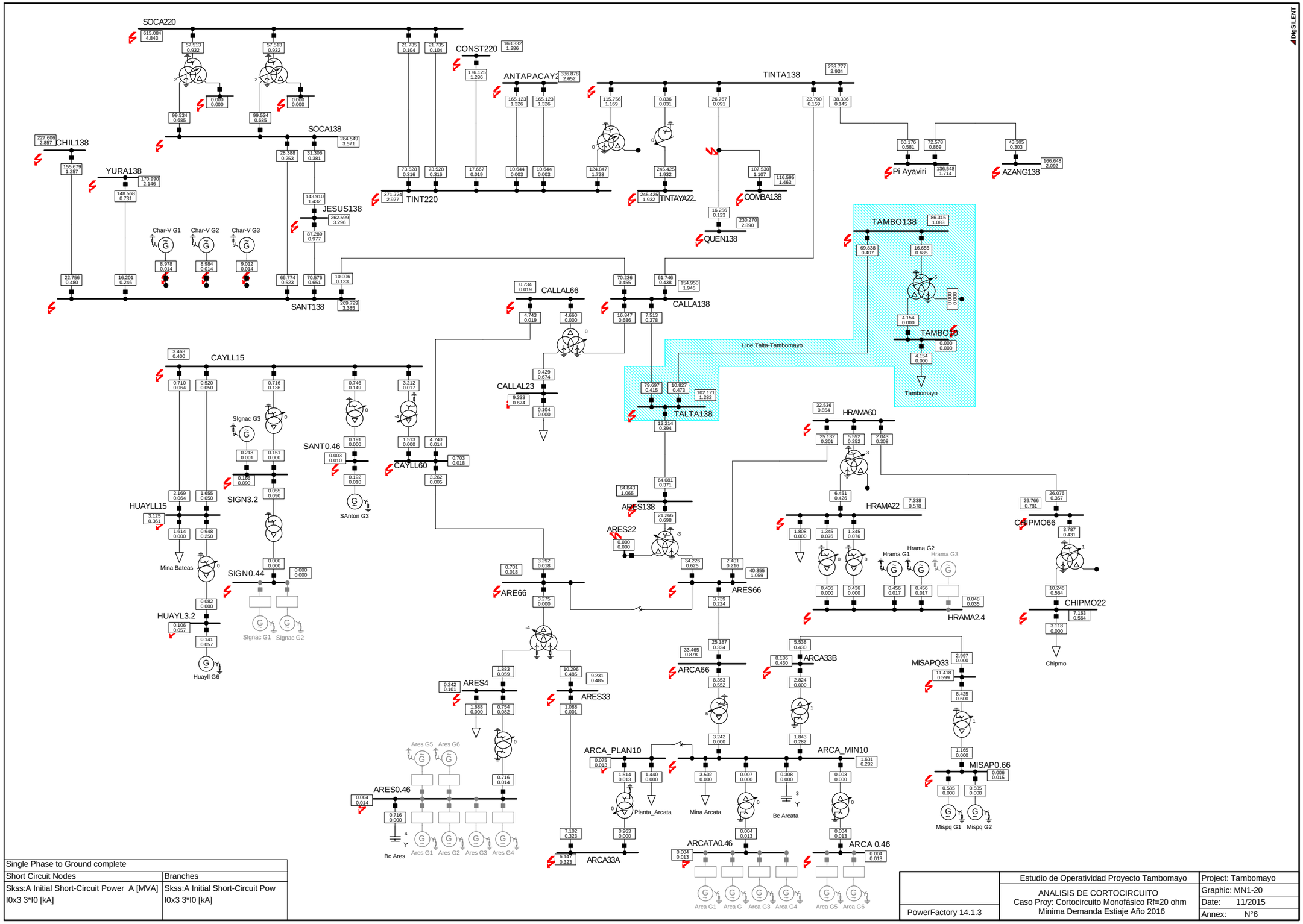
2-Phase Short-Circuit complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Ikss:B Initial Short-Circuit Current B [kA]	Ikss:B Initial Short-Circuit Current
Ikss:C Initial Short-Circuit Current C [kA]	Ikss:C Initial Short-Circuit Current

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proy: Cortocircuito Bifásico Rf=5 ohm Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MN2-5 Date: 11/2015 Annex: N°6



Single Phase to Ground complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss:A Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Skss:A Initial Short-Circuit Pow
I0x3 3*I0 [kA]	I0x3 3*I0 [kA]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proy: Cortocircuito Monofásico Franco Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MN1 Date: 11/2015 Annex: N°6



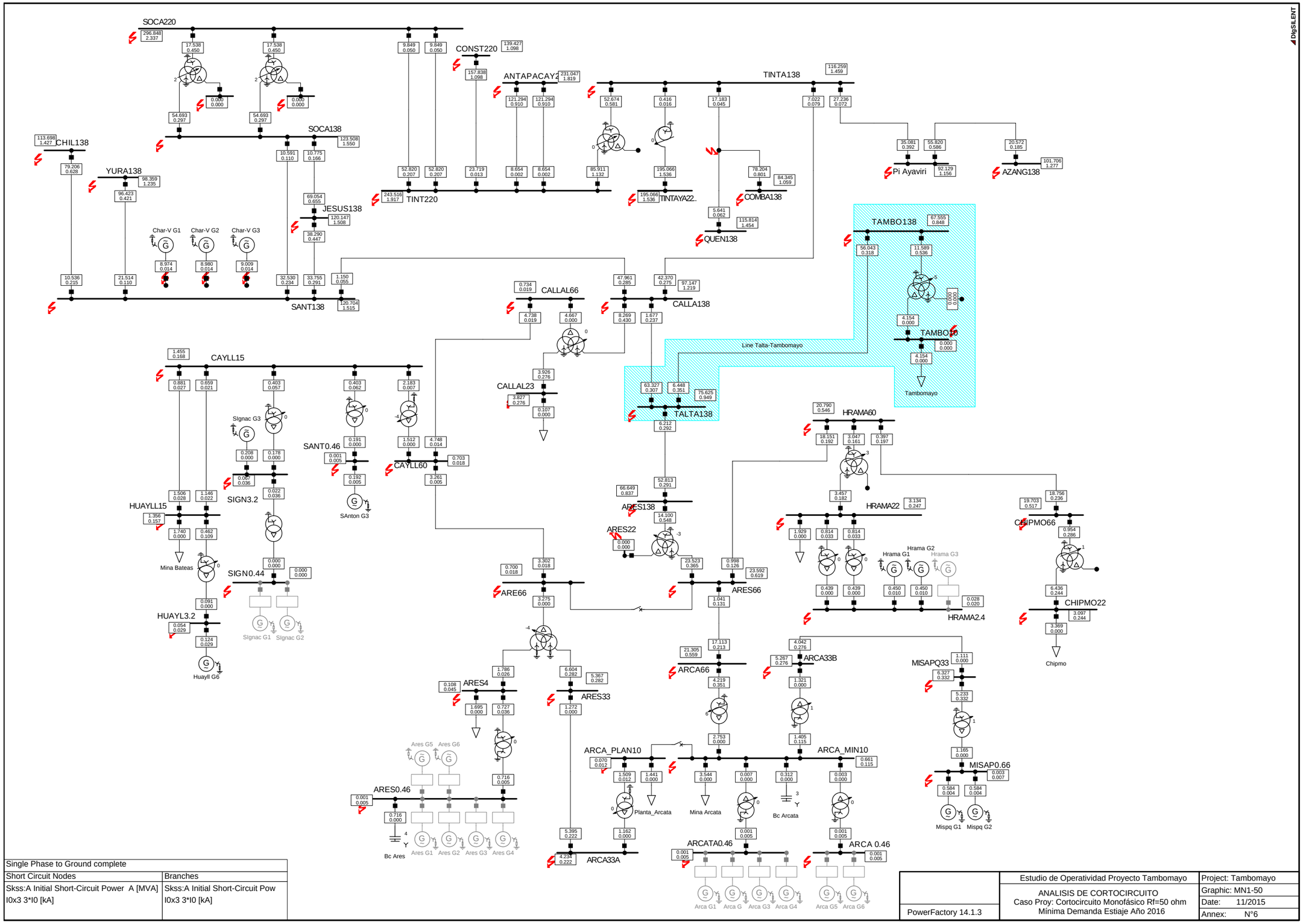
Single Phase to Ground complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss:A Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Skss:A Initial Short-Circuit Pow
I0x3 3*I0 [kA]	I0x3 3*I0 [kA]

PowerFactory 14.1.3

Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo

ANALISIS DE CORTOCIRCUITO
Caso Proy: Cortocircuito Monofásico Rf=20 ohm
Mínima Demanda Estiaje Año 2016

Project: Tambomayo
Graphic: MN1-20
Date: 11/2015
Annex: N°6



Single Phase to Ground complete	
Short Circuit Nodes	Branches
Skss:A Initial Short-Circuit Power A [MVA]	Skss:A Initial Short-Circuit Pow
I0x3 3*I0 [kA]	I0x3 3*I0 [kA]

PowerFactory 14.1.3	Estudio de Operatividad Proyecto Tambomayo ANALISIS DE CORTOCIRCUITO Caso Proy: Cortocircuito Monofásico Rf=50 ohm Mínima Demanda Estiaje Año 2016	Project: Tambomayo Graphic: MN1-50 Date: 11/2015 Annex: N°6