



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LA S/E LA PAZ Y S/E UCHUCAY CON  
SUS LÍNEAS ASOCIADAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: CHAMBA PARRA HENRY IRINEO**

**DIRECTOR: ING. ARIAS REYES PABLO DANILO MSc.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2021**

*Yo me gradué en  
los 50 años de La Cato!  
... y sostuve la Universidad*

## DECLARACIÓN

Yo, Henry Irineo Chamba Parra, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

HENRY IRINEO  
CHAMBA PARRA

Firmado digitalmente por  
HENRY IRINEO CHAMBA PARRA  
Fecha: 2021.02.04 17:57:37  
-05'00'

---

**Henry Irineo Chamba Parra**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Henry Irineo Chamba Parra, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Pablo Arias Reyes MsC.**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

A mi familia por haberme forjado como la persona que soy hoy en día; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente a alcanzar mis sueños.

Gracias Familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y la oportunidad de haber llegado hasta este instante tan importante de mi formación profesional. A mi familia, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo absoluto sin importar nuestras diferencias de opiniones. A ELECAUSTRO S.A. por brindarme la oportunidad y el apoyo para poder crecer en mi vida profesional, a los docentes que me formaron desde el principio para poder tener las bases fundamentales y conocimientos para la vida cotidiana como ingeniero eléctrico.

## RESUMEN

Las protecciones eléctricas tienen un papel relevante en la seguridad y confiabilidad de un sistema eléctrico de potencia. Particularmente en el caso de generación y el transporte de energía, por su importancia se requiere un eficiente sistema de coordinación de protecciones que permita garantizar la integridad de sus elementos y la continuidad del servicio eléctrico, por medio del presente estudio de coordinación de protecciones de las S/E La Paz y S/E Uchucay con sus líneas asociadas, la empresa Electro Generadora del Austro "ELECAUSTRO" requiere el estudio de protecciones ya que las subestaciones y líneas de transmisión están en etapa de construcción.

El estudio de coordinación de protecciones, se basa en el estudio de relés de protección y todas sus diversas funciones y clasificaciones, es uno de los dispositivos más importantes de las subestaciones y líneas de transmisión, para ello se utilizará métodos inductivos y deductivos para llegar a una correcta coordinación de protecciones del Parque Eólico.

El estudio presenta un beneficio para ELECAUSTRO, en cuanto a la incorporación de moderna tecnología en relés de protección y principalmente sus seteos, y la correcta selección de los equipos más adecuados para aprovechar los recursos que se va a tener en las subestaciones para mejorar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.

El principal objetivo es obtener los valores para el seteo de los relés de protección que se va a instalar, para ello se realizará la simulación del parque eólico y sus elementos en el software Power Factory "DigSILENT", donde se realizará flujos de potencia, contingencias en los años 2020 al 2024 y cortocircuitos para encontrar las corrientes máximas y mínimas de generación y calcular los valores de seteo del relé para la correcta coordinación ante una contingencia.

Como resultado final es proporcionar datos reales para el seteo de los relés a ELECAUSTRO, para su implementación en el Parque Eólico Minas de Huascachaca "PEMH".

Palabras clave: PROTECCIÓN DE LÍNEAS, COORDINACIÓN DE PROTECCIONES, RELÉS, ELECAUSTRO, MODELAMIENTO.

## ABSTRACT

Electrical protections have a relevant role in the safety and reliability of an electrical power system. Particularly, in the case of generation and transport of energy, due to its importance, it requires an efficient system of protection that allows guaranteeing the integrity of its elements and the continuity of the electrical service, through this study of the coordination of protection of the "S/S La Paz" and "S/S Uchucay" with its associated lines, the company "Electro Generadora del Austro" "ELECAUSTRO" requires the coordination of protections since the substations and transmission lines are in the construction stage.

The study of the coordination of protections is based on the study of relays of protection and its diverse functions and classifications, is one of the most important devices of the substations and lines of transmission, for it will be based on inductive and deductive methods for correct coordination of protections of the Wind Farm.

The project will present a benefit for "ELECAUSTRO", as for the incorporation of modern technology in relays of protection and fundamentally its settings, as well as the correct selection of the most suitable types of equipment to take advantage of the resources that are going to have in the substations to improve the reliability in the supply of electrical energy.

The objective is to obtain the values for the setting of the protection relays to be installed. To do this, the simulation of the wind farm and its elements will be carried out in the Power Factory "DigSILENT" software, where power flows, contingencies, and short circuits will be made to find the maximum and minimum generation currents to obtain the setting values and the correct coordination of the protection relays.

As a final result, real data for the setting of the relays will be provided to "ELECAUSTRO", for its implementation in the Wind Farm "PEMH".

**KEYWORDS:** LINE PROTECTION, PROTECTION COORDINATION, RELAYS, ELECTROSPINNING, MODELING.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>CAPITULO 1</b> .....	14
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	14
1.1. Introducción .....	14
1.2. Formulación del Problema .....	17
1.3. Delimitación del Problema .....	18
1.4. Definición de la Zona de Estudio .....	18
1.5. Justificación .....	19
1.6. Objetivos .....	20
1.6.1. Objetivo General. ....	20
1.6.2. Objetivo Específicos.....	20
<b>CAPITULO 2</b> .....	22
2. MARCO TEORICO.....	22
2.1. Generalidades .....	22
2.2. Características técnicas generales del sistema eléctrico de potencia.....	23
2.3. Parque Eólico.....	23
2.4. Aerogeneradores.....	24
2.5. Subestación Eléctrica.....	25
2.6. Tipos de Subestaciones. ....	27
2.7. Subestación Uchucay.....	27
2.8. Línea de Transmisión.....	28
2.9. Diferencia entre transmisión y distribución de energía eléctrica. ....	28
2.10. Principales elementos de una línea de transmisión. ....	29
2.11. Arreglos de barras. ....	30
2.12. Protecciones eléctricas en sistemas de transformación. ....	31
2.13. Propiedades del sistema de protecciones. ....	31
2.14. Componentes del sistema de protección. ....	32
2.15. Principio de operación de los sistemas de protección. ....	33
2.16. Importancia y objetivos de los sistemas de protecciones.....	33
2.17. Falla o perturbaciones del sistema eléctrico. ....	34
2.18. Criterios generales para la instalación de un sistema de protecciones. ....	35

2.19.	Características técnicas generales del sistema eléctrico de potencia .....	36
2.20.	Revisión general del sistema eléctrico de potencia. ....	39
2.21.	Teoría/ Filosofía de protecciones eléctricas enfocado en el proyecto del parque eólico minas de Huascachaca. ....	39
2.22.	Diagrama unifilar de la instalación. ....	39
2.23.	Sistema Colector a Media Tensión. ....	40
2.24.	Primer tramo de construcción: Uchucay (Alto y Bajo). ....	41
2.25.	Primer tramo de construcción: Yuluc (Alto y Bajo). ....	42
2.26.	Subestación Uchucay.....	44
2.27.	Subestación de seccionamiento La Paz-Uchucay.....	44
2.28.	Línea de Transmisión 138kV.....	44
2.29.	Línea de Transmisión 34,5kV.....	44
2.30.	Elementos a proteger en el proyecto de ELECAUSTRO.....	46
2.31.	Descripción y funcionalidades del Software Power Factory DigSILENT. ....	47
CAPITULO 3 .....		49
3.	ESCENARIO DE ANÁLISIS.....	49
3.1.	Puntos de Conexión con el Sistema Nacional de Transmisión.....	49
3.2.	Puntos de Conexión con el Sistema Nacional de Transmisión.....	49
3.3.	Características Técnicas de las unidades de Generación. ....	51
3.4.	Configuración de la Central Eólica. ....	52
3.5.	Estudio de Flujos de Potencia y Contingencias. ....	53
3.6.	Condiciones Normales.....	54
3.7.	Despachos de Potencia.....	54
3.8.	Análisis de Resultados. ....	55
3.9.	Contingencias N-1 .....	60
3.10.	Análisis de Resultados .....	61
3.11.	Conclusiones y Recomendaciones de Flujos y Contingencias .....	66
CAPITULO 4 .....		67
4.	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS .....	67
4.1.	Parámetros eléctricos líneas de transmisión 138kV. ....	67
4.2.	Definición de las relaciones de transformación.....	67
4.3.	Coordinación de Protecciones.....	68
4.3.1.	Método para la Coordinación de Protecciones. ....	69
4.3.1.1.	Línea de Transmisión.....	70

4.3.1.2.	Transformador de Elevación .....	72
4.3.1.3.	Protección de Alimentadores de las Celdas de 34.5kV .....	73
4.3.1.4.	Definición de Ajustes de Protección Diferencial de Línea (87L) .....	74
4.3.2.	Definición de Ajustes de Protección de Distancia (21/21N) .....	74
4.3.3.	Definición de Ajustes de Protección de Sobrecorriente (50/51-50/51N-67/67N) .....	75
4.4.	Ajustes de los Relés de Protección .....	76
CONCLUSIONES .....		79
RECOMENDACIONES .....		80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		81

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Ejemplo de Parque Eólico y sus principales sistemas .....	16
Fig. 2 Parque Eólico .....	23
Fig. 3 Potencia efectiva por tipo de energía .....	24
Fig. 4 Partes de un aerogenerador de DEC. ....	25
Fig. 5 Aerogenerador Dongfang del PEHM .....	25
Fig. 6 Sistema eléctrico con centros de producción y consumo de electricidad. ....	26
Fig. 7 Subestación de Seccionamiento La Paz a 138kV y su Línea de Transmisión. ....	28
Fig. 8 Diferencias entre transmisión y distribución. ....	29
Fig. 9 Ejemplo de pórticos de doble juego de barras en 138kV S/E La Paz. ....	30
Fig. 10 Diagrama unifilar del Parque Eólico Minas de Huascachaca. ....	40
Fig. 11 Sistema Colector a Media Tensión del Parque Eólico Minas de Huascachaca. ....	41
Fig. 12 Diagrama unifilar general de la subestación La Paz. ....	45
Fig. 13 Diagrama unifilar general de la subestación Uchucay.....	45
Fig. 14 Diagrama unifilar general del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca. ....	46
Fig. 15 Plano de ubicación geográfica de las subestaciones y líneas de transmisión del PEMH. ....	47
Fig. 16 Punto de conexión con el SNT. ....	49
Fig. 17 Zona de Influencia Eléctrica del PEMH.....	50
Fig. 18 Diagrama Unifilar - Configuración de Parque Eólico. ....	53
Fig. 19 Esquema de Protección del Parque Eólico. ....	69
Fig. 20 Característica general de la protección diferencial (87L). ....	70

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas UTM del Parque Eólico.....	19
Tabla 2	Tipos de Relés de Protección a Instalarse en el PEMH.....	37
Tabla 3	Datos necesarios para el seteo de los Relés de Protección basado en DigSILENT. ....	38
Tabla 4	Longitudes de red subterránea del sistema colector Uchucaj Bajo .....	41
Tabla 5	Longitudes de red subterránea del sistema colector Uchucaj Alto .....	42
Tabla 6	Longitudes de red aérea del sistema colector Uchucaj.....	42
Tabla 7	Longitudes de red subterránea del sistema colector Yuluc Bajo.....	43
Tabla 8	Longitudes de red subterránea del sistema colector Yuluc Alto .....	43
Tabla 9	Longitudes de red aérea del sistema colector Yuluc.....	43
Tabla 10	Datos básicos del generador .....	51
Tabla 11	Datos para cálculo de cortocircuito – Considerando parámetros transitorios.....	51
Tabla 12	Datos transformador de máquina.....	52
Tabla 13	Datos transformador S/E Uchucaj.....	52
Tabla 14	Conductores conexiones internas.....	53
Tabla 15	Potencia entregada - generadores PEMH .....	54
Tabla 16	Niveles de voltaje (p.u.) – Período lluvioso 2021 .....	55
Tabla 17	Niveles de voltaje (p.u.) – Período seco 2021 .....	55
Tabla 18	Niveles de voltaje (p.u.) – Período lluvioso 2024 .....	56
Tabla 19	Niveles de voltaje (p.u.) – Período seco 2024 .....	57
Tabla 20	Niveles de voltaje en el Sistema de Transmisión .....	58
Tabla 21	Variaciones en cargabilidad porcentual períodos lluvioso y seco - año 2021 .....	58
Tabla 22	Variaciones en los niveles de potencia activa (MW), período lluvioso y seco del año 2024 ..	59
Tabla 23	Resultados de la contingencia 1: Desconexión de la L/T Cuenca – La Paz 138 kV .....	61
Tabla 24	Resultados de la contingencia 2: Desconexión de la L/T La Paz – Yanacocha 138 kV .....	62
Tabla 25	Resultados de la contingencia 3: Desconexión de la L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV.....	64
Tabla 26	Parámetros de las líneas de transmisión a 138 kV .....	67
Tabla 27	Relaciones de Transformadores de Corriente para el Sistema PEMH.....	67
Tabla 28	Relaciones de Transformadores de Corriente para Transformador 34.5/138kV .....	68
Tabla 29	Relaciones de Transformadores de Corriente Celdas de 34.5kV S/E Uchucaj .....	68
Tabla 30	Canales de comunicaciones Líneas de Transmisión .....	72
Tabla 31	Determinación de Ajuste de Protección Diferencial (87L) .....	74
Tabla 32	Alcance máximo de la protección de Distancia (21/21N) .....	75
Tabla 33	Transformadores de Corriente y Potencial .....	76
Tabla 33	Protección Diferencial (87L).....	76
Tabla 35	Protección Distancia (21) Relé MICOM P543 .....	76
Tabla 36	Protección Distancia (21N) Relé MICOM P543 .....	77
Tabla 37	Protección Distancia (21/21N) Relé SIEMENS.....	77
Tabla 38	Protección Sobrecorriente (67N) .....	78
Tabla 39	Protección Sobrecorriente (50/51-50/51N-67/67N).....	78
Tabla 40	Protección Sobrecorriente Transformador Uchucaj (51G).....	78

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Simulaciones Flujos de Potencia.....	pág.
ANEXO 2. Estudio de Coordinación de Protecciones.....	pág.

## CAPITULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

#### 1.1. Introducción

Uno de los principales elementos del progreso de la humanidad es la energía eléctrica, por esta razón, la electricidad es el motor de desarrollo de una sociedad, debido a esto, cualquier tipo de interrupción de la energía eléctrica origina pérdidas económicas en los tramos empresariales e industriales y disgusto en la clientela o consumidores residenciales. Para evitar que estos inconvenientes se puedan presentar se usan los métodos de protección en los diversos sistemas de distribución de la electricidad.

El uso de energía eléctrica en el planeta no ha detenido su desarrollo y se predice que siga en acrecentamiento debido al progreso socioeconómico tanto de los países desarrollados como de los que están en progreso de desarrollo. Para generar toda esta energía se ha hecho uso de las distintas fuentes de energía que existen hasta el día de hoy, sin embargo, fundamentalmente ha sido derivada por los recursos fósiles: gas natural, carbón, petróleo. Esto ha permitido el desarrollo económico mundial y obtener la calidad de vida que hoy en día la tenemos. Sin embargo, se debe tener como objetivo principal el cuidado del medio ambiente y que esa generación sea sostenible; un tema de mucha importancia en la actualidad. El manejo de fuentes de energía no renovables como la nuclear, carbón o petróleo, que no solo son agotables y por aquello no se podrá contar con ellas en el futuro, tiene efectos negativos sobre el manejo ambiental, beneficiando al efecto invernadero (Ly, 2016).

De esta forma, es indispensable el uso de energías renovables como fuentes de generación energía alternas. Parece indiscutible que este reemplazo no es viable ejecutarla de forma contigua, como también no es viable conservar un progreso estadístico y económico teniendo los mismos modelos de consumo que hoy en día gobiernan. Se trata por tanto de un paso lento, pero factible.

La energía eólica ha sido aprovechada desde tiempos pasados a través del uso marítimo moviendo naves impulsadas por velas o produciendo torque a los motores de los molinos mediante sus palas. A principios del siglo XX cuando empiezan a emplearse aerogeneradores para producir energía eólica y en el siglo XXI ha habitado un gran desarrollo y mejora. Un parque eólico son grupos de aerogeneradores acoplados entre sí que originan energía eléctrica a partir de la fuerza y velocidad del viento.

El número de aerogeneradores a instalarse se basa principalmente en la zona de la que se dispone y de los tipos del viento en la instalación. Casi siempre se instalan donde las velocidades del viento son dominantes y de acuerdo a qué clase de aerogenerador, se requiere que el viento transporte una velocidad entre 3 y 25 m/s. Los aerogeneradores transportan la energía eléctrica a la subestación Uchucay del Parque Eólico Minas de

Huascachaca a través de unos cables subterráneos y aéreos, allí, un transformador eleva el nivel de voltaje a Alta Tensión (AT) de la red.

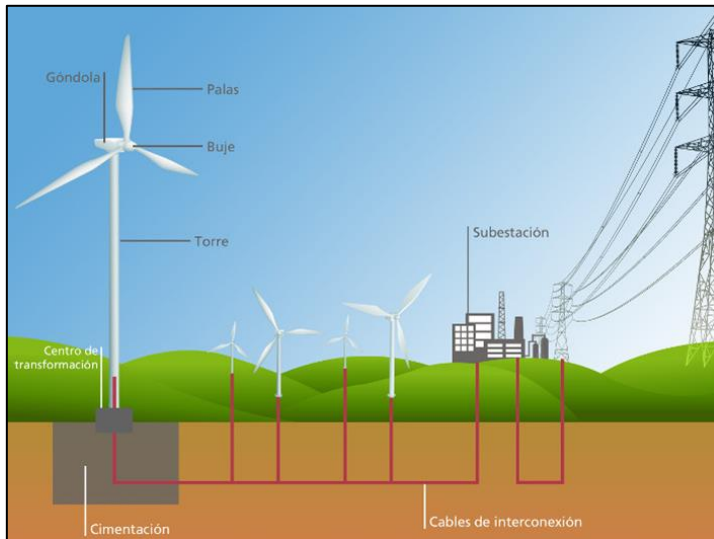
Según ELECAUSTRO (2018) los Recursos Energéticos del Ecuador con visión referente a generación eléctrica concluye que existen grandes posibilidades técnicas viables del uso de este potencial a través de los recursos naturales energéticos, los cuales se catalogan en los siguientes recursos:

- Recursos hidráulicos
- Recursos geotérmicos
- Recursos solares
- Recursos eólicos
- Recursos con biomasa y otras fuentes de energía
- Recursos energéticos no renovables

El Mapa Eólico del Ecuador con referencia a la generación eléctrica, hace referencia a los recursos energéticos que tiene el país, estimando que sea de 1691 MW, donde se evaluaron regiones y se encontró que existe el potencial de viento de 7 m/s generando energía eléctrica promedio de 2869 GW.h. El recurso energético a corto y mediano plazo se estima en valores de potencia instalable de 884 MW y energía media anual de 1518 GW.h, cabe recordar que teóricamente este valor se elevaría si se contienen las regiones con velocidades bajas de vientos, es decir aquellas regiones que la velocidad de este oscile entre 5 y 6 m/s.

La empresa Electro Generadora del Austro "ELECAUSTRO" tiene en fase de construcción el Proyecto Eólico Minas de Huascachaca (PEMH), este se localiza en la provincia de Loja, cantón Saraguro, parroquia San Sebastián Yuluc y sus obras se localizan en las mesetas congruentemente planas orientadas de sur a norte, denominadas Uchucay y Yuluc, en las cuales se ubicarán 16 aerogeneradores. Geográficamente se localiza a 84 Km al suroeste de la ciudad de Cuenca.

Este proyecto, suministrará al país una potencia de 50 MW, con 16 aerogeneradores, cuya potencia por unidad es de 3,125 MW y una manufactura bruta media anual deseada de 130,13 GW.h. En esta investigación se realiza la Coordinación de Protecciones para las Subestaciones Eléctricas La Paz y Uchucay y sus líneas asociadas. Todo el sistema estará alimentado por el Parque Eólico Minas de Huascachaca, cabe mencionar que esta corriente generada será incorporada y distribuida en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) a 138KV.



*Fig. 1 Ejemplo de Parque Eólico y sus principales sistemas*

*Fuente: <https://twenergy.com/>*

El estudio de relés de protección y sus numerosas funciones y clasificaciones, es muy significativo, ya que es uno de los dispositivos más importantes de las subestaciones y líneas eléctricas, para ello este trabajo se basará en métodos inductivos (razonamiento) y deductivos (fundamentados) los cuales se mencionarán en la metodología.

En el avance del Capítulo 1, se realizará la caracterización de la introducción y objetivos, formulación y delimitación del problema, definición de la zona de estudio y justificación. Se desplegará una base hipotética dividida en dos temáticas; la primera se ejecuta un estudio del sistema de generación eólica y de los sistemas de generación interconectado a la red de transmisión, utilizando un procedimiento argumentado, con lo cual se proporcionarán las bases necesarias para ejecutar la modelación de la red, simulación y estudio de los efectos del sistema.

En el Capítulo 2, se establecerá el Marco Teórico el cual contiene las generalidades, características técnicas, tipologías de relés, estudio frecuente del sistema eléctrico de potencia y la descripción y funcionalidades del software usado, denominado Power Factory DigSILENT. Se detalla el método inductivo basado en el estudio de las funciones de protección las cuales se activarán (relé). El tipo de central eléctrica es Eólica, su operación, funcionamiento y la consideración de normas técnicas y especificaciones de los conductores, serán base para la especificación de las funciones con las cuales se debe activar en los sistemas de protección, es decir, los relés, con la única función de proteger adecuadamente al sistema y ofrecer un óptimo resultado durante la operación del mismo.

En el avance del Capítulo 3, se realizará la Investigación de Campo donde se evaluará el escenario de análisis, el estudio de cortocircuitos, cálculos de las corrientes de arranque nominal y la simulación en el software DigSILENT; obteniendo la base teórica se concluirá

con el desarrollo del método inductivo-deductivo, lo cual se evidenciará mediante el software computacional usado, de manera que se pueda cotejar y examinar los resultados derivados del mismo.

En el Capítulo 4, se expone la presentación y análisis de resultados a través de la simulación de relés de protección en el parque eólico y el ajuste de las protecciones, es decir, se obtendrá la coordinación de las protecciones adecuadas para el sistema, considerando que el mismo, será interconectado a la red de distribución.

En el Capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se lograron posteriormente a la ejecución del actual trabajo de investigación.

## **1.2. Formulación del Problema**

Los relés de protección en subestaciones eléctricas son mecanismos muy importantes, empleado para proteger los elementos ante cualquier anomalía; mediante el uso de estas protecciones es viable crear dispositivos automáticos que aislarán o protegerán los costosos elementos de una subestación ante cualquier anomalía.

Una subestación eléctrica es primordial dentro del proceso de generación-transmisión o distribución donde se acoplan líneas de alta tensión contiguo a líneas de media tensión. En la subestación existen dispositivos cuya función es efectuar las variaciones de potencia. Ante esta complejidad creando funciones diversas, se requiere que cada área pueda contar con las protecciones eléctricas. Estadísticamente el 73% de las contingencias ocurridas en subestaciones es ocasionada por fallas eléctricas, es por esto que las protecciones tienen una importancia crucial dentro de la misma (Subestaciones, 2019).

Es muy importante que una subestación eléctrica instale protecciones apropiadas y que estén cabalmente ubicadas e inspeccionadas estando en observación y mantenimiento constante, a fin de que se pueda mantener en buen estado y que cumplan correctamente su función de protección en caso de que así lo requiera. Para garantizar la funcionalidad y correcta operatividad de las protecciones y demás elementos de la subestación eléctrica, es importante y necesario tener un proceso de mantenimiento constante el cual nos permita prever y disminuir fallas, garantizando el trabajo de todo el sistema de relés de protección y aumentando la vida útil de los equipos e impidiendo fallas para el suministro de energía a la red (Pincay & Ugarte, 2016).

Se pretende realizar la tesis de Coordinación de Protecciones Eléctricas para las subestaciones Uchucay y La Paz y sus líneas asociadas siendo esta propiedad de la empresa ELECAUSTRO, para ello se precisará los diversos tipos de relés de protecciones que coexisten en la actualidad, en analogía con su función, diseño, fabricación y operación para cada uno de los casos, al igual que la disposición de los elementos que deberán proteger en parque eólico.

Los relés de protección en conjunto deben responder a los requisitos de selectividad, confiabilidad, seguridad y estabilidad para el sistema del parque eólico. Estos requisitos deben estar unidos intrínsecamente con los parámetros de ajustes de acuerdo a los estudios de coordinación de protecciones que se configuren en cada uno de los dispositivos y su filosofía de acción.

El objetivo principal del sistema de relés debe asegurar la protección de personas y elementos del parque eólico, conservando la continuidad de energía en zonas aledañas a la falla, para ello debe detectar, localizar y despejar todas las contingencias que se muestren en el sistema del parque eólico, empleando un monitoreo de parámetros de tensión, corriente, potencia, impedancia, frecuencia y flujo de potencia del sistema.

La base de esta investigación está fundamentada en el Proyecto Eólico Minas de Huascachaca que está en etapa de construcción de las subestaciones y líneas, por tal motivo, la empresa ELECAUSTRO se verá beneficiada con la propuesta de este tema de tesis para que se realice el Estudio de Coordinación de Protecciones para las Subestaciones y líneas del Parque Eólico.

Es muy importante la revisión bibliográfica apoyándose en lecturas referentes al tema, trabajos y tesis universitarias, revistas científicas, sitios web, informes o boletines profesionales e información de la empresa ELECAUSTRO. Mediante este estudio se obtendrán conocimientos amplios sobre la coordinación de protecciones y otros temas tanto en la parte práctica y la parte teórica ya que reforzara los conocimientos de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

### **1.3. Delimitación del Problema**

El análisis para la determinación de una confiable coordinación de protecciones de las subestaciones y líneas del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca y sus líneas asociadas, planteará qué tipos de relé de protección se pueden usar para ofrecer una protección máxima y procurar seguridad en la operación, siguiendo las normativas y regulaciones para asegurar su eficiencia. Determinar el costo-beneficio al implementar el sistema de coordinación de protecciones de las subestaciones eléctricas y sus líneas asociadas, para ello se requiere el estudio para la adquisición y ensamble de equipos eléctricos y electrónicos para las subestaciones mencionadas.

### **1.4. Definición de la Zona de Estudio**

La Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO, sobre la base de análisis preliminares y evaluación de la zona, identificó la posibilidad de un desarrollo eólico en la región occidental de los límites entre las provincias del Azuay y Loja; en la zona de Minas de

Huascachaca. Al presente cuenta con el Título habilitante para la Construcción, Instalación y operación del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca de 50 MW de capacidad, otorgado mediante Resolución ARCONEL N° 026/15.

El Proyecto Eólico se encuentra localizado en provincia de Loja, Cantón Saraguro, parroquia San Sebastián de Yuluc. Geográficamente se sitúa a 84 Km al suroeste de la ciudad de Cuenca, y sus obras se ubican en las mesetas con superficies planas orientadas de sur a norte, llamadas Uchucay y Yuluc, en las cuales se colocarán los 16 aerogeneradores. Las coordenadas UTM WGS 84:

*Tabla 1 Coordenadas UTM del Parque Eólico*

E	N
676.496	9.629.953
676.495	9.626.763
681.721	9.626.763
681.724	9.629.953

*Fuente:* (Electro Generadora del Austro, 2020)

En el sector del Parque eólico las obras se sitúan entre los 920 y 1200 msnm, las temperaturas oscilan entre 20°C hasta 35°C. La zona es semidesértica, con escasa población asentada, con muy poca vegetación, distinguida por tener caminos de tierra y un suelo erosionado por el agua y el viento; está compuesta por varias mesetas con superficies planas, orientadas de sur a norte. Apartadas por quebradas de diferentes anchos y profundidades (Avila M., 2018).

Según ELECAUSTRO (2020) los beneficios que se conseguirán con este proyecto son:

- Producirá energía limpia porque no causará emisiones o efecto invernadero ni residuos contaminantes.
- Evitará emisiones a la atmósfera de aproximadamente 62 mil toneladas de CO<sub>2</sub> al año.
- Permitirá el ahorro de combustibles fósiles para centrales térmicas de aproximadamente de 7,3 millones de galones al año.
- El proyecto se realizará en una zona que actualmente no es productiva.
- El proyecto no imposibilita el uso del suelo para la agricultura y ganadería.

### **1.5. Justificación**

Como consecuencia de la gran inversión efectuada por el Estado durante los últimos años, el país en la actualidad cuenta con un escenario energético de elevada intervención en la generación hidráulica, lo cual va reduciendo la necesidad de la generación termoeléctrica. Por lo tanto, resulta significativo el estudio de la demanda eléctrica, como parte de la

organización institucional. El incremento de la demanda de energía del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) para el 2018 fue de 3.933,41 MW. La tasa promedio anual de incremento de la demanda de energía durante el periodo 2017-2018 fue del 3,48% (Renovables, 2018).

Haciendo énfasis en el tema de investigación, es prescindible que en una subestación y líneas eléctricas se instale las protecciones apropiadas y que éstas estén perfectamente calibradas y controladas. El presente proyecto representará un beneficio para ELECAUSTRO, en cuanto a la incorporación de moderna tecnología en relés de protección y selección de los equipos más adecuados para aprovechar los recursos que se implementaran en las subestaciones mejorando la seguridad en la provisión de energía al sistema nacional.

La unificación a los sistemas eléctricos de potencia, debido a su conexión directa en la etapa de transmisión, varía el tratamiento general del sistema (monitoreo, operación, control y protección), por lo que es indispensable establecer los efectos que asumirá sobre los sistemas a los cuales se pretende unificar, fundamentando estudios de flujos de potencia y cortocircuitos para la operación en estado estable y la coordinación de protecciones. El Estudio de Coordinación de Protecciones, posee un impacto inmediato sobre la seguridad de equipos en el parque eólico y la estabilidad del servicio eléctrico. En caso de presentarse una falla por sobre corriente u otra, la protección deberá operar antes de que los cables o los equipos se vean afectados y se dañen. El dispositivo que protege al circuito en falla deberá aislarla sin que las otras protecciones tengan que activarse. Este principio se le llama selectividad.

Por ello es prioridad efectuar el estudio de coordinación de protecciones que ayudará a solventar la necesidad que presenta la empresa Electro Generadora del Austro en las subestaciones y sus líneas, así mismo esta investigación me consiente como estudiante de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca, poner en práctica los conocimientos obtenidos en la materia de Protecciones Eléctricas.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General.**

Realizar el estudio de la Coordinación de Protecciones de las Subestaciones La Paz y Uchucay con sus líneas asociadas del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca utilizando el software Power Factory "DigSILENT" como una herramienta de simulación para beneficio de la Empresa Electro Generadora del Austro.

### **1.6.2. Objetivo Específicos.**

- Identificar los diversos modelos de protecciones, clasificaciones, ventajas en tecnología para sistemas de transmisión.

- Establecer el seteo de los relés de protección de líneas ubicado en la Subestación La Paz.
- Determinar parámetros generales de protección a transformadores, en barras y líneas de transmisión y distribución, con relés modernos.
- Determinar el ajuste para los relés de protección tanto para las subestaciones Uchucay, La Paz, y Línea de Transmisión.

## CAPITULO 2

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. Generalidades

La energía eléctrica (EE) es un elemento primordial para el progreso, avance, desarrollo económico individual y de los estados a nivel mundial, en los planes de desarrollo de un país, uno de los parámetros esenciales es la provisión de recurso energético a la población, pues recurso energético es fundamental en todos los lugares. Es producida en las centrales eléctricas a través de una fuente de energía primaria como son: hidráulica, térmica, solar, eólica, geotérmica entre otras; posteriormente es transportada por medio de las líneas de distribución hasta la población e industrias, donde es convertida en diversas formas de energía, es decir, energía secundaria como: luz, calor, sonido, torque, entre otras.

En base a lo anterior, los sistemas de potencia (SEP) se encargan de generar, transferir, distribuir y comercializar la energía producida desde los puntos de generación hacia las ciudades de consumo, bajo normas establecidas como la regulación del voltaje, frecuencia y continuidad de servicio, provocando el menor impacto posible al medio ambiente, ante esto, es de suma importancia que todos los elementos de la misma, deben operar de forma armonizada y continua y para alcanzar este fin es ineludible la protección de cualquier contingencia que pueda llegar a ocurrir.

Sobre este particular, un sistema de protección para los SEP, lo componen el uso de herramientas computacionales, aplicadas a la ingeniería eléctrica que se han extendido en todo el mundo de manera muy rápida en virtud del acelerado avance tecnológico en los últimos años. Los programas computacionales especializados en resolver de una forma más sencilla los diversos problemas que se exteriorizan en la ingeniería de un SEP, han avanzado hasta convertirse, en una herramienta de trabajo indispensable en el desarrollo de la ingeniería (Anchundia, Chere, & Martinez, 2019).

Es muy importante la consideración sobre un sistema que abastezca energía eléctrica para certificar y responder por la persistencia del servicio eléctrico a la presencia de una contingencia, bloqueando, aislándolo el circuito y resguardando los equipos y sistemas, por esta razón es que la coordinación de protecciones debe regirse bajo el estudio y acatamiento de normas rigurosas. La protección de un sistema colectivamente con la aplicación de modernos razonamientos de coordinación, como es la selectividad lógica, conlleva la realización de estudios con relés digitales y el diseño de la comunicación entre los sistemas y equipos por medio de protocolos (como por ejemplo IEC 61850) que garantice la estructura de protección y evacuando la energía en caso de una contingencia en el Sistema Colector a Media Tensión "SCMT" del parque eólico Minas de Huascachaca (PEMH), las Subestaciones Eléctricas Uchucay- La Paz y la Línea de Transmisión Uchucay - La Paz.

## 2.2. Características técnicas generales del sistema eléctrico de potencia

### 2.3. Parque Eólico

Son estructuras en tierra de aerogeneradores ubicadas generalmente en las zonas montañosas de Uchucay y Yuluc, suelen estar en ordinariamente en las cumbres, algunas veces el proyecto se realiza a unos pocos kilómetros tierra adentro desde la costa más cercana, con la finalidad de explotar la aceleración topográfica atribuida cuando el viento acelera sobre una cumbre. La velocidad del viento conseguida de esta forma crea una discrepancia particular en la cantidad de energía que se genera. El énfasis sobre el enfoque exacto de los aerogeneradores, es un mecanismo llamado micro ubicación, es muy trascendental ya que una discrepancia de 30m puede significar una dualidad de la generación de energía (Guerron, 2015).



*Fig. 2 Parque Eólico*

*Fuente: (Guerron, 2015).*

Los parques eólicos son de gran utilidad porque representan el mecanismo para la evolución y beneficio de energía útil, empleando una fuente natural implícitamente interminable. Por tanto, los parques eólicos aprovechan la energía del viento para poner en funcionamiento las aspas del aerogenerador que mueven un rotor el cual está conectado a una caja multiplicadora y a su vez al generador eléctrico. Los generadores eólicos o aerogeneradores son generadores que convierte la energía del viento en energía mecánica y a su vez en energía eléctrica. Se catalogan según la función de orientación de las aspas, en las de eje horizontal y de eje vertical. Los aerogeneradores más eficaces y empleados hoy en día son los de eje horizontal (Avila M., 2018).

Se estima desde una perspectiva porcentual que, de la máxima potencia segura utilizable en el país, los parques eólicos y fotovoltaicos poseen una participación baja con el 0,38 % y 0,46 % comparativamente, continuas de las centrales de biomasa con el 2,45 %, mientras que las centrales térmicas poseen mayor aportación en todo lo que a fuentes no renovables con un 27,82 % de potencia real (ver figura 3). Subsiguientemente, están las

centrales hidráulicas que son las más peculiares dentro del nivel de energías renovables con un 43,22 % de contribución (ARCONEL, 2015).

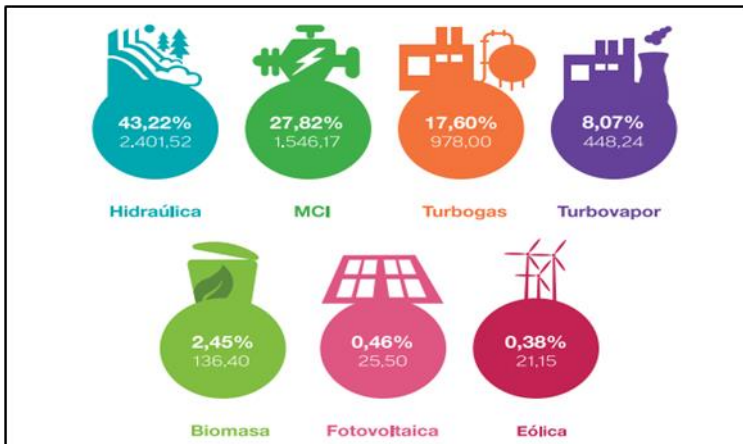


Fig. 3 Potencia efectiva por tipo de energía

Fuente: (ARCONEL, 2015)

#### 2.4. Aerogeneradores

La góndola y sus aspas son la pieza fundamental de una central de generación eólica, ya sea que estén ubicadas en la superficie terrestre (on-shore) o en la marina (off-shore), el aerogenerador logra que la energía cinética se convierta en energía eléctrica, es decir, a través del viento y del movimiento de las aspas la rotación, genera energía. El generador y el transformador hacen el resto para que de esa operación se produzca electricidad apta para su uso (Enriquez, 2015).

El proyecto PEMH cuenta con 16 aerogeneradores de tipo rotor tripala a barlovento con una potencia nominal de 3,125 MW en máxima generación, están distribuidos en 4 grupos que son: Yúluc Alto, Yúluc Bajo, Uchucay Alto y Uchucay Bajo, este último más próximo a la subestación Uchucay, estos grupos aportarían al Sistema Nacional Interconectado un total de 50MW generado.

El conjunto de un centenar de unidades conectadas, reduce los gastos de mantenimiento y facilita las exigencias de interconexión de potencia. Además, se suavizan y subsanan las perturbaciones provocadas por turbulencias y oscilaciones locales en la velocidad del viento.

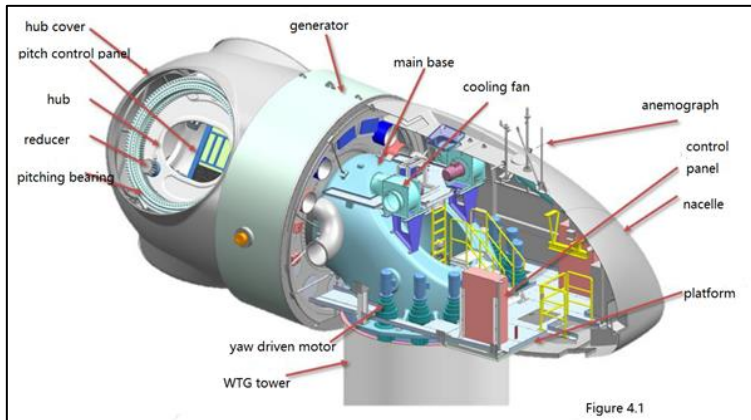


Fig. 4 Partes de un aerogenerador de DEC.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020)

Los aerogeneradores usados en el PEMH son de la marca Dongfang “DEC” y sus características principales son: modelo D3200-155 con una potencia de 3,125MW, su diseño es de 91 metros de altura y el diámetro del rotor-diámetro de las aspas es de 155 metros.

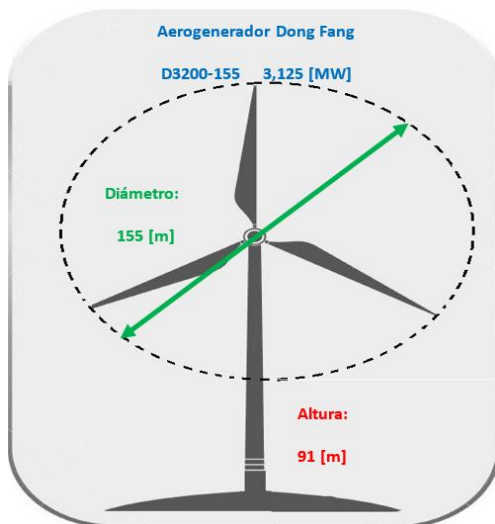


Fig. 5 Aerogenerador Dongfang del PEHM

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020)

## 2.5. Subestación Eléctrica.

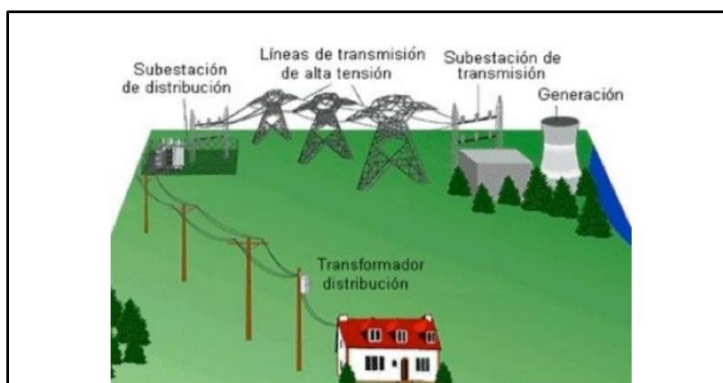
Las subestaciones Uchucay y La Paz consta con diversos dispositivos eléctricos que constituyen parte de una línea de transmisión. El principal trabajo de una subestación eléctrica es la de transformar, regular, repartir y distribuir la energía a los usuarios finales. Estas, ordinariamente se localizan cerca de las centrales generación y en las afueras de las zonas de dispendio (Calle T. & Espinoza G., 2016).

El Grupo de Investigación Orca (2020) define que una subestación eléctrica es un acumulado de componentes usados o manipulados para trasladar el flujo de energía en un SEP, protegiendo la integridad del sistema con la conexión de elementos automáticos de protección y para redirigir el flujo de energía mediante de rutas alternas. Una subestación consigue estar mancomunada con una central de generación en este caso eólica, registrando únicamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia permutando la tensión del abastecimiento a niveles máximos o más mínimos, o puede enlazar diferentes puntos de flujo al igual nivel de tensión.

ARCONEL (2015) especifica a una subestación eléctrica como una agrupación de infraestructuras destinadas a desempeñar de manera usual dos características funcionales como es: la transformación de los niveles de voltaje y la clasificación de los circuitos que suministren y permitan la transferencia y mercadeo de la energía generada.

El elemento primordial de la subestación de elevación Uchucay es el transformador de 34,5 a 138Kv que transforma y establece los niveles de voltaje para la transmisión de potencia. También, constituye de dispositivos de protección, maniobra y control para la enlace y desenlace de circuitos. El objeto primordial de una subestación, es que necesariamente la generación de la central es congruentemente baja y su sitio es alejada de los consumidores finales, la entrega de la energía en estas circunstancias, sería excesivamente costosa. Entonces para que el costo de la misma no sea elevado y de un precio razonable, es preciso elevar la tensión ya que acata de diversos factores como: la potencia a distribuir, la longitud de la línea, las pérdidas por longitud, etc., estos niveles varían entre 115 kV o 230 kV. Esta maniobra se efectúa en el patio de Transformación Primaria o Subestación Primaria; una vez hecha el despacho por las líneas de transmisión, en los centros de consumo debe producir a la distribución de esta energía requiriendo de subestaciones reductoras (ORCA., 2020).

Un ejemplo de esta descripción, está ilustrado en la figura 6.



*Fig. 6 Sistema eléctrico con centros de producción y consumo de electricidad.*

*Fuente: (ORCA., 2020).*

## **2.6. Tipos de Subestaciones.**

### **Subestaciones de transformación.**

Es un patio de módulos eléctricos que constituyen parte de una línea de transmisión. El trabajo esencialmente de una subestación eléctrica es la de transformar, regular, repartir y distribuir la energía a los centros de la ciudad. Estas, habitualmente se localizan cerca de las centrales de generación de electricidad como por ejemplo un parque eólico, en los alrededores de las zonas de dispendio (Calle T. & Espinoza G., 2016).

Son unidades encargadas de elevar o disminuir la tensión a través de los transformadores. En las subestaciones elevadoras de potencia transmitidas por los generadores a media tensión (34.5 – 138 Kv) son transformadas a niveles de tensión más elevados para generar la transmisión de manera rentable y económica para el consumo. En las subestaciones reductoras en las cuales los valores oscilan entre 120– 500 kV, se toman las potencias que proceden de las centrales de generación para que cuando este ajustado el valor de la tensión, pueda ser distribuido a los usuarios.

### **Subestaciones de maniobra.**

Son las que se usan para hacer la interconexión de dos o más circuitos para que estos, puedan ejecutar sus maniobras, la tensión es constante entes tipo de subestación.

## **2.7. Subestación Uchucay.**

Se describe a una subestación elevadora de la central eólica con un transformador de elevación de 34,5/138 kV de barra simple con una capacidad emplazada total de 40-50 MVA en la cual se instalará de todo los sistemas y equipos de maniobra y apertura para tomar la energía de los circuitos del sistema colector a media tensión y así elevar el nivel a 138 kV para la línea de transmisión (L/T) y posterior la interconexión con la línea de transmisión Cuenca – Loja. Está situada en los alrededores de la población de Uchucay de la cual lleva su nombre (Electro Generadora del Austro, 2020).

En el centro de control se instalan celdas de 36 kV las cuales poseen barras de cobre y están encapsuladas en SF6 o Hexafluoruro de Azufre (gas inodoro, incoloro, ininflamable, no tóxico y debido a sus características aislantes es uno de los fluidos más usados en los sistemas eléctricos) para 2500 A.

A estas barras se acoplan:

- Cuatro líneas de 36 kV que transfieren la potencia de los bloques de la generación.
- Un transformador de elevación de la subestación de 36 kV a 138 kV.
- Tres transformadores de potencia de barras tipo enchufable.
- Un transformador para servicios auxiliares.

## 2.8. Línea de Transmisión.

Está compuesto de dispositivos para trasladar o guiar la energía eléctrica a partir de un centro o plantas de generación a los centros de consumos residenciales o industriales. Las líneas de transmisión se enlazan en las subestaciones y a veces están ubicadas en los centros de generación, de transformación y centros de carga aprobando distribuir la energía a los consumidores finales (Cruz, 2018).

La energía creada en las centrales eólicas es transportada con destino los centros de consumo a través de líneas de transmisión de alto voltaje, con datos característicos de operación de 138 kV, 230 kV hasta 500 kV. Las líneas de transmisión habitualmente concluyen su paso en las subestaciones, en donde comienza la subtransmisión regional a niveles de voltajes apropiados y acordes la normativa eléctrica del Ecuador.

En tal sentido, la red eléctrica del país, el Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.), asume acoplar todos los ejes generadores de energía eléctrica con sus puntos de consumo, consiguiendo la moderación entre la suma de energía que es absorbida y la suma de energía generada por las centrales.



*Fig. 7 Subestación de Seccionamiento La Paz a 138kV y su Línea de Transmisión.*

*Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).*

## 2.9. Transmisión y distribución de energía eléctrica.

Generalmente la energía que se traslada por medio del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) debe ser minimizada o disminuida a niveles de tensión mínimos por los comisionistas de electricidad precedentemente de que consiga ser transmitido a un domicilio, vivienda. La energía eléctrica, particularmente el nivel de tensión, que se despacha mediante de las líneas de transmisión, se reduce empleando transformadores y se remite por las de líneas de distribución, que inmediatamente se enlazan a viviendas y negocios (Arroyo & Guadarrama, 2018).

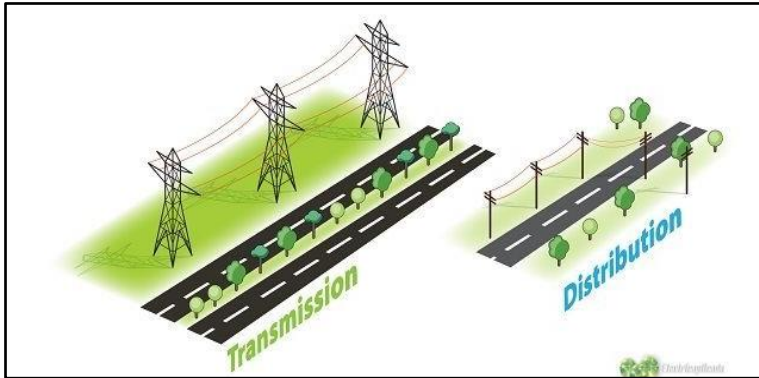


Fig. 8 Diferencias entre transmisión y distribución.

Fuente: (Arroyo & Guadarrama, 2018).

### 2.10. Principales elementos de una línea de transmisión.

Según Arroyo & Guadarrama (2018) el sistema trifásico  $3\phi$  consta de tres hilos se utiliza extensamente para la transmisión de electricidad. Los sucesivos son elementos fundamentales en una red o línea de transmisión:

#### **Conductores.**

Los conductores tienen que ser dimensionados de acuerdo a los parámetros de los circuitos, es decir, área transversal, generalmente son tres conductores para una sola línea de circuito y seis conductores para una línea de doble circuito, esto obedece de su capacidad amperométrica. Usualmente, se emplean conductores ACSR (Aluminio-núcleo reforzado con acero).

#### **Transformadores.**

Se los encuentra en las subestaciones y se emplean para incrementar el nivel de voltaje y transformadores reductores para disminuir el voltaje. Los transformadores permiten que la potencia se transporte con mejor eficiencia.

#### **Aisladores de línea.**

Son utilizados para tolerar mecánicamente las guías de línea también sirve para aislar eléctricamente de las torres celosía.

#### **Torres de soporte.**

Son utilizadas para situar los conductores y aisladores de línea que se suspenden en el aire para poder transportar la energía generada por el parque eólico.

#### **Dispositivos de protección.**

Son aquellos que sirven para resguardar el sistema de transmisión y garantizar un trabajo integral y fiable; contienen conductores de tierra, pararrayos, disyuntores, relés, TC, TP etc.

### **Reguladores de tensión.**

Son utilizados para conservar la tensión dentro de los valores límites admitidos en el extremo de toleración.

#### **2.11. Arreglos de barras.**

De acuerdo con Alvarado & Asqui (2018) la configuración de barras de una subestación como es la subestación Uchucay tiene dispositivos eléctricos y electrónicos que lo conforman. La preferencia de la configuración de una subestación acata a las peculiaridades de cada sistema eléctrico y de la función que elabora dicha subestación en el sistema. Las lógicas utilizadas en la sistematización del arreglo de barras más beneficiosa de una instalación, son la sucesión de servicio, flexibilidad de operación, cuantía y coste del mecanismo eléctrico y factibilidad de mantenimiento de los mecanismos.

En una subestación se logra tener configuraciones de barras que concentren distintos circuitos en uno o varios niveles de tensión, considerando el propio diseño de la subestación.

Las barras donde llegan los terminales del parque eólico están constituidas fundamentalmente por los siguientes componentes:

- Conductores eléctricos subterráneos o aéreos.
- Cadena de aisladores utilizados como soporte mecánico del conductor es un elemento aislante dieléctrico comúnmente son de porcelana o fibra.
- Conectores y herrajes que se utiliza para acoplar las distancias de conductores y retener el conductor al aislador.



*Fig. 9 Ejemplo de pórticos de doble juego de barras en 138kV S/E La Paz.*

*Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020)*

## **2.12. Protecciones eléctricas en sistemas de transformación.**

Estos elementos tienen un propósito como es el de impedir el daño de todos los equipos o dispositivos eléctricos o electrónicos enlazados y desempeñan un trabajo concreto y como resultado de una falla el daño podría liberar un problema de interrupción. El sistema de protección eléctrica, deberá aislar el sistema donde se originó la falla evitando la perturbación del sistema.

## **2.13. Propiedades del sistema de protecciones.**

Según Guano (2017) los componentes del sistema de protección presentan finalidades básicas para el sistema, las cuales son las siguientes:

### **Sensibilidad.**

Los dispositivos de protección “Relés” debe operar frente a una contingencia por más insignificante que ésta sea. Una desviación de los escenarios de operación de un sistema de energía eléctrica, respecto de los escenarios estándar, involucra que el sistema de relés debe operar aun que se haya exhibido una falla.

### **Selectividad.**

Logra identificar el sitio del equipo o mecanismo del sistema afectado, por lo que debe proceder inmediatamente aislando de todo del sistema que debe respaldar y operar en estado normal. Es la idoneidad que debe poseer los relés para proceder exclusivamente cuando la falla posee lugar sobre el dispositivo cuya protección tiene establecida. Existen diversas maneras de suministrar a las protecciones la peculiaridad de selectividad, en los casos de que las protecciones son sensibles a contingencias ocurridas lejos de su área, zona o régimen, la selectividad puede conseguir a través de un apropiado ajuste de parámetros y tiempos de acción en coordinación con el resto de relés relacionados, se consigue tener los siguientes tipos de selectividad:

### **Selectividad cronométrica.**

Reside en retardar temporalmente la actuación de las protecciones situadas aguas arriba de la contingencia (la expresión “aguas arriba-aguas bajo”; pretende indicar que, en caso de cortocircuito, es cuando la corriente máxima de este, al final del interruptor posterior (“aguas abajo”) es menor a la corriente de disparo del interruptor de protección anterior (“aguas arriba”).

### **Selectividad amperométrica.**

Esta selectividad actúa cuando la corriente que transita a través de ella es grande en comparación a la corriente a la que preliminarmente había sido ajustada.

### **Selectividad lógica.**

Este sistema requiere de una transferencia de datos entre los relés de los interruptores automáticos de los diferentes niveles de la distribución, su objetivo es que todos los relés que

detectan una corriente superior a su umbral de seteo, remiten una orden de expectativa lógica a la que esta agua arriba.

### **Rapidez.**

El sistema debe de actuar en el tiempo mínimo posible luego que ocurra una contingencia o condición anormal de operación. El tiempo de operación es ajustable y se somete la selectividad (temporización de las protecciones).

Motivos de la alta velocidad de operación:

- Se reduce el daño causado al equipo protegido y/o a las personas que están cerca de la contingencia.
- Se impide la inestabilidad del sistema del parque eólico.
- Se acorta el tiempo durante el cual la tensión disminuye.
- Se acrecienta la seguridad de la reconexión automática del sistema.

### **Fiabilidad.**

La protección debe resguardar, ante cualquier contingencia donde falle el sistema; debe ofrecer seguridad que es la cualidad que garantiza la protección y efectividad que es la que caracteriza la garantía de la protección en caso de falla y en caso contrario, no activara nada.

### **Economía y simplicidad.**

La disposición de una protección debe estar permitida técnica y económicamente, la protección de una línea o de los sistemas es importante, sin embargo, es más relevante evitar que los efectos relevantes en la operación de la red, alcancen las instalaciones que alimentan las líneas, o que el sistema salga de servicio.

## **2.14. Componentes del sistema de protección.**

En el caso más general los sistemas de protección están compuestos por los siguientes elementos (Subestaciones, 2019):

### **Transformador de medida o transductor.**

Son los dispositivos que minimizan o abrevian los altos datos de corriente y tensión que ocurren en la red a un nivel apropiado para ser usado.

### **Relé de protección.**

Dispositivo cuya función es descubrir el inicio de las contingencias peligrosas del sistema eléctrico de potencia, así como de las líneas o mecanismos defectuosos, y actuar los circuitos de control pertinentemente.

### **Interruptor o disyuntor.**

Es un mecanismo que permite la apertura o cierre del circuito, estableciendo la ruptura o circulación de la corriente. Maniobra bajo el control del relé de protección y coordinación con otros interruptores del sistema de la subestación Uchucay.

### **Batería.**

O fuente de corriente directa, su principal misión es el almacenamiento de energía eléctrica actúa para la alimentación de servicios auxiliares de la subestación. El mecanismo de protección no se consigue ensamblar directamente a la red, debido a que las contingencias en el sistema alterarían su trabajo.

### **2.15. Origen de operación de los sistemas de protección.**

Se fundamenta en que siempre debe existir más de un equipo de protección, este será el llamado equipo de RESPALDO o de emergencia, esto es previniendo que si el equipo de protección principal falla, el secundario debe auxiliar el sistema; para esto es necesario delimitar las zonas de operación de dichos elementos.

#### **Protección primaria.**

Es la principal línea de resguardo que poseen los equipos del sistema ante cualquier contingencia o falla, estas se identifican por:

- Estar delimitadas por la disposición de los transformadores de medida.
- Cada dispositivo de la red, cuenta con su ajustada zona de protección.

#### **Protección secundaria.**

Actúa en caso de que la protección primaria falle. También cubre algunas zonas de protección adicionales como: la zona de respaldo local y de respaldo remoto.

### **2.16. Trascendencia y objetivos de los sistemas de protecciones.**

Es de gran relevancia que los sistemas de protecciones cuenten con un excelente desempeño, debido a la función que cumplen, aislando las fallas y disminuyendo la duración de las corrientes de falla a que se ven sometidos los equipos eléctricos, por lo que se propone la importancia de establecer óptimos equipos de interrupción, transformadores de medida y sistemas de control, entre otros.

Se deben contemplar las condiciones ambientales en que operan las instalaciones eléctricas, lo ideal sería que se comprobara mediante un estudio donde se indiquen datos como la temperatura ambiente máxima y mínima, la temperatura promedio, la humedad referente del aire, la elevación sobre el nivel del mar y el nivel de contaminación, ya que estos factores externos influyen en la vida útil de los sistemas de protección. Además, con el fin de analizar los eventos y fallas en el sistema eléctrico se debe contar de sistemas de medidas de las variables, algunas de ellas, son: tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia y armónicos (Electricidad, 2020).

Es importante mencionar dos aspectos fundamentales que se deben considerar en el progreso de un proyecto para un SEP, identificando cuales son los escenarios estándar y deficientes de operación del sistema eólico.

### **Operación bajo condiciones estándar.**

Como principal objetivo debe efectuar los requisitos mínimos para cubrir la demanda de energía, de acuerdo a una cierta calidad establecida para suministro de la prestación, acatando las siguientes características:

- Capacidad de reserva necesaria para suministrar el acrecentamiento de la demanda.
- Niveles de tensión apropiado. Regulación de tensión.
- Frecuencia invariable.
- Distribución de la carga entre las centrales generadoras con criterios económicos.
- Continuidad de servicio y seguridad de la operación.

### **Operación bajo Condiciones Deficientes.**

Las condiciones existen cuando:

- Hay una presencia de fallas en los equipos del SEP.
- Existencia de fenómenos incontrolables: Tormenta, descargas atmosféricas, inundaciones, terremotos, etc.
- Descuidos ejecutados por operadores.

En general, varias de las competencias de protecciones en un sistema de distribución, son:

- Aislar contingencias permanentes y transitorias.
- Disminuir el número de contingencias permanentes y de desconexiones que no son requeridas.
- Disminuir el tiempo de localización de las contingencias.
- Evitar daños contra el equipo.
- Disminuir la posibilidad de caída de conductores.
- Disminuir contingencias internas de los equipos del SEP.

### **2.17. Falla o perturbaciones del sistema eléctrico.**

Es de gran relevancia que los sistemas de protecciones cuenten con un excelente desempeño, debido a la función que cumplen, aislando las fallas y disminuyendo la duración de las corrientes de falla a que se ven sometidos los equipos eléctricos, por lo que se propone la exigencia de instalar equipos de interrupción, transformadores de medida y sistemas de control, entre otros.

Cada perturbación puede producir efectos negativos en los elementos de las subestaciones y líneas de transmisión ya que inducen vibraciones, calentamientos, averías del aislamiento, averías del circuito magnético de los transformadores, etc.

Las primordiales perturbaciones que pueden surgir en una red son:

**Cortocircuitos.**

Producto accidental entre conductores de diferente fase o entre los conductores y tierra. Pueden ser monofásicos bifásicos, bifásicos a tierra o trifásicos. Inducen una elevación exponencial de la corriente en un lapso de tiempo muy corto.

**Sobrecargas.**

Se originan cuando se supera los valores de corriente nominales por abundancia de carga en los dispositivos de un SEP.

**Sobretensiones.**

Aumento del voltaje por encima del voltaje nominal de operación. Puede inducir cortocircuitos, electrocución en personas y dispositivos enlazados a la red.

**Subtensiones.**

Reducción del voltaje por debajo del valor nominal. Puede causar sobrecargas si la potencia solicitada es constante.

**Variación de la frecuencia.**

La variación de frecuencia es debido a una variación del equilibrio entre carga y generación de energía enviada por el parque eólico.

**Oscilación de potencia.**

Son las fluctuaciones que experimenta la red en forma de vaivenes de potencia provocando depresiones de voltaje e incrementos simultáneos de corriente.

**2.18. Criterios generales para la instalación de un sistema de protecciones.**

De acuerdo a Lozada & Pongo (2019) se debe considerar como mínimo los siguientes aspectos:

- Analizar la configuración eléctrica de la subestación, teniendo en consideración el tipo de esquema de barras, el sistema de transformación, dispositivos de equilibrio de reactivos en paralelo, dispositivos de equilibrio de reactivos en serie, líneas de transmisión.
- Efectuar análisis de flujo de potencia de la subestación y posteriormente evaluar el flujo de la corriente por cada dispositivo. Encontrado el valor de la corriente circulante y la capacidad nominal, se concreta la corriente primaria de los transformadores de corriente.
- Ejecutar los estudios de cortocircuito, previendo fallas en diferentes puntos de la subestación.
- Hacer el cálculo de nivel máximo de cortocircuito, para cada una de las fallas realizadas se debe analizar el flujo de la corriente de fallas en cada uno de los equipos de la subestación, conocidos los valores, se define el nivel de saturación de los

transformadores de corriente, ya que la saturación del transformador de corriente puede producir una falsa operación de la protección.

- Analizar la presencia de sobretensiones en la subestación para definir las protecciones de la misma. Con los niveles de tensión y corriente de los estudios de cortocircuito, se procede a definir los ajustes de las diferentes funciones de protecciones que componen los sistemas de protecciones.
- Durante la definición de las protecciones, se deben razonar que protección hace además la función de respaldo de otra protección en la subestación y línea. Para evitar sobretensiones en el sistema se deberá conocer la topología de la subestación.
- En la fase de ingeniería del proyecto eólico, con la protección determinada a implementar, se debe analizar el comportamiento de cada una de las funciones de protección del relé ante la presencia de una falla.

En los paños (conjunto de equipamientos que permite conectar una instalación eléctrica al sistema de transmisión) de una subestación se requiere realizar medición de las variables eléctricas. Con las variables medidas, se puede estudiar el comportamiento de la circulación de corriente, potencia activa y reactiva del SEP. Además, el equipo de medida permite realizar análisis de manera fasorial, valores eficaces, valores instantáneos y armónicos de tensión y corriente. Se deben instalar equipos de medidas en los paños de línea, paño de transformación y en los servicios auxiliares de la subestación. Estos equipos deben cumplir con lo establecido en las normativas técnicas nacionales e internacionales (Lozada & Pongo, 2019).

### **2.19. Características técnicas generales del sistema eléctrico de potencia**

Dos requerimientos intrínsecamente exigidos a la operación ideal de un SEP son la estabilidad y la eficacia del servicio. El planteamiento de un sistema eléctrico debe proyectar a la realidad que va a existir contingencias circunstanciales o inesperadas, por tal motivo es indispensable diseñar sistemas apropiados hacia la resolución de estos, por tal motivo, los Sistemas Eléctricos de Potencia anexan una coordinación de protección cuyo objetivo principal es disminuir las alteraciones producidas por las contingencias y constituyen el equipo trascendental que se incluye en una subestación. Los primordiales mecanismos de un sistema de protecciones son: relés, transformadores de medida y protección, disyuntores (Cruz, 2018).

Los IEDs se clasifican por sus características y sus funcionalidades de la siguiente manera:

- Conforme la magnitud sobre la que trabajan (relés de tensión, frecuencia, intensidad).
- Como el principio de funcionamiento (relés diferenciales).
- Depende de la particularidad de acción (relés de distancia, sobretensión, frecuencia, instantáneos, temporizados) (Electro Generadora del Austro, 2020).

Otra manera de clasificarlos según Martínez (2020) es por los principios fundamentales de los principales tipos de relés:

- Relés de Magnitudes, estos responden a medidas (relés de sobrecorriente).
- Relés Direccionales: estos responden al ángulo de fase entre dos parámetros.
- Relés de Distancia: Responden a un número complejo o dos fasores (relé de Impedancia).
- Relés Diferenciales: Responden a una suma algebraica de corrientes entrando a una zona de protección (transformadores).
- Relés de Teleprotección: Utiliza información de comunicación remota entre subestaciones.

El análisis para la determinación de un buen mecanismo de coordinación de protecciones de subestaciones y líneas de transmisión (Proyecto Eólico Minas de Huascachaca) planteará que tipos de relé de protección se pueden usar para ofrecer una defensa máxima y procurar seguridad en la operación, siguiendo las reglas y medidas para asegurar su eficacia. Basado en lo anterior, se propone un estudio sobre la sinopsis de protecciones eléctricas, se expresa las peculiaridades de los relés. Asimismo, se especifica la tipología de relés con sus primordiales peculiaridades, funcionalidad, actuación y operación, para ello se en cuenta el tipo de central Eólica, deduciendo modelo de protecciones requeridas para la protección de un transformador, modelo de barras, línea de transmisión.

Relés utilizados para la coordinación de protecciones las subestaciones y línea de transmisión del parque eólico y se detalla en la tabla 2 y tabla 3:

*Tabla 2 Tipos de Relés de Protección a Instalarse en el PEMH.*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
21/21N	Protección de Distancia
67N/67	Protección de Sobrecorriente Direccional
27/59	Protección de bajo y sobrevoltaje
79	Reconexión Automática
51G	Relé de Protección de Transformador
87L	Diferencial de Línea
50-51	Sobre corriente de fase direccional/ no direccional/ instantánea/ temporizado
50N-51N	Sobre corriente falla a tierra de fase no direccional/ instantánea/ temporizado
87T	Relé Diferencial de Transformador

87T	Relé Diferencial de Línea
-----	---------------------------

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

Tabla 3 Datos necesarios para el seteo de los Relés de Protección basado en DlgSILENT.

Descripción	Datos
RELÉS	Pick up (A)
	Type of character. curve
	Time dial
	Instantaneous (A)
	Direction

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

Los sistemas de potencia están divididos en zonas de protección especificadas por los transformadores de medida e interruptores utilizables (según la configuración de subestación), sumados a los relés de protección y protecciones propias del equipo o sistema de la instalación a resguardar. Se pueden distinguir 6 zonas de resguardo en una instalación de potencia, estas son:

- Generadores o generador - transformador elevador.
- Transformadores.
- Barras.
- Líneas de transmisión, distribuciones (aéreas o subterráneas).
- Equipamiento de potencia, carga.
- Bancos de reactores y capacitores (Martínez L. , 2015).

Para este estudio se van a proponer los siguientes tipos de relés protección, esto debido a que para transmisión y subestaciones se utilizan generalmente estas configuraciones y tipos:

- Los relés de protecciones principales y de resguardo de las líneas de transmisión lo harán mediante la disposición de tableros apropiados conteniendo relés de protección diferencial y de distancia con unidades de medición fasorial (PMU) y equipos complementarios. Para la línea Uchucay – La Paz se propone el relé MICOM P543 (SIEMENS, 7SD52/53 Manual C5300-G1178-CI69-2, 2007).
- Para las subestaciones, se propone el uso del relé diferencial de corrientes (protección diferencial empleando relés de sobrecorriente temporizados, protección diferencial usando relés diferenciales con limitación de armónicos).

- La protección de barras lo realizará mediante relés diferenciales instalados en tableros apropiados.

Los mecanismos de protección de transformadores, líneas y barras deben constituirse por equipos profesionales, técnicos y dedicados para cada componente de la instalación, todos los sistemas de protección deben poseer bloques de pruebas de forma que permitan la intervención en el IED sin que sea necesaria la desconexión del equipamiento protegido.

Sin embargo, en el capítulo 3 y 4, se plantea los cálculos que se requiere para obtener para la propuesta final del uso de los relés adecuados de acuerdo a la configuración del sistema de protección. El presente capítulo, se basa teóricamente en referencia a investigaciones bibliográficas de reseñas.

#### **2.20. Revisión general del sistema eléctrico de potencia.**

#### **2.21. Teoría/ Filosofía de protecciones eléctricas enfocado en el proyecto del parque eólico minas de Huascachaca.**

El mecanismo de protecciones se localiza proyectado para que la línea de transmisión Uchucay – La Paz posea un resguardo principal como protección diferencial de línea, segundo por la actuación de resguardo de la protección de distancia y como protección de respaldo la unidad de sobrecorriente direccional, todo en un mismo mecanismo electrónico inteligente (IED) que contiene procesadores con la aptitud de absorber y remitir información a partir una fuente externa, como controladores de bahía, relés de protección, relés concentradores de señales, registradores de fallas. Simultáneamente como respaldo de la protección del IED de línea, se activará en el controlador de bahía una protección de sobrecorriente adicional ante una señal de disparo.

#### **2.22. Diagrama unifilar de la instalación.**

La disposición del parque eólico (modelado en DigSILENT) abarca la línea de transmisión Uchucay – La Paz, así como el Parque Eólico con sus 16 aerogeneradores y sus dos subestaciones, se muestra el esquema de simulación de los transformadores de corriente (TC's) (corriente para medición o protección) y transformadores de potencial (TP's) (voltaje para medición o protección) igualmente, los relés para la línea Uchucay – La Paz (Electro Generadora del Austro, 2020).

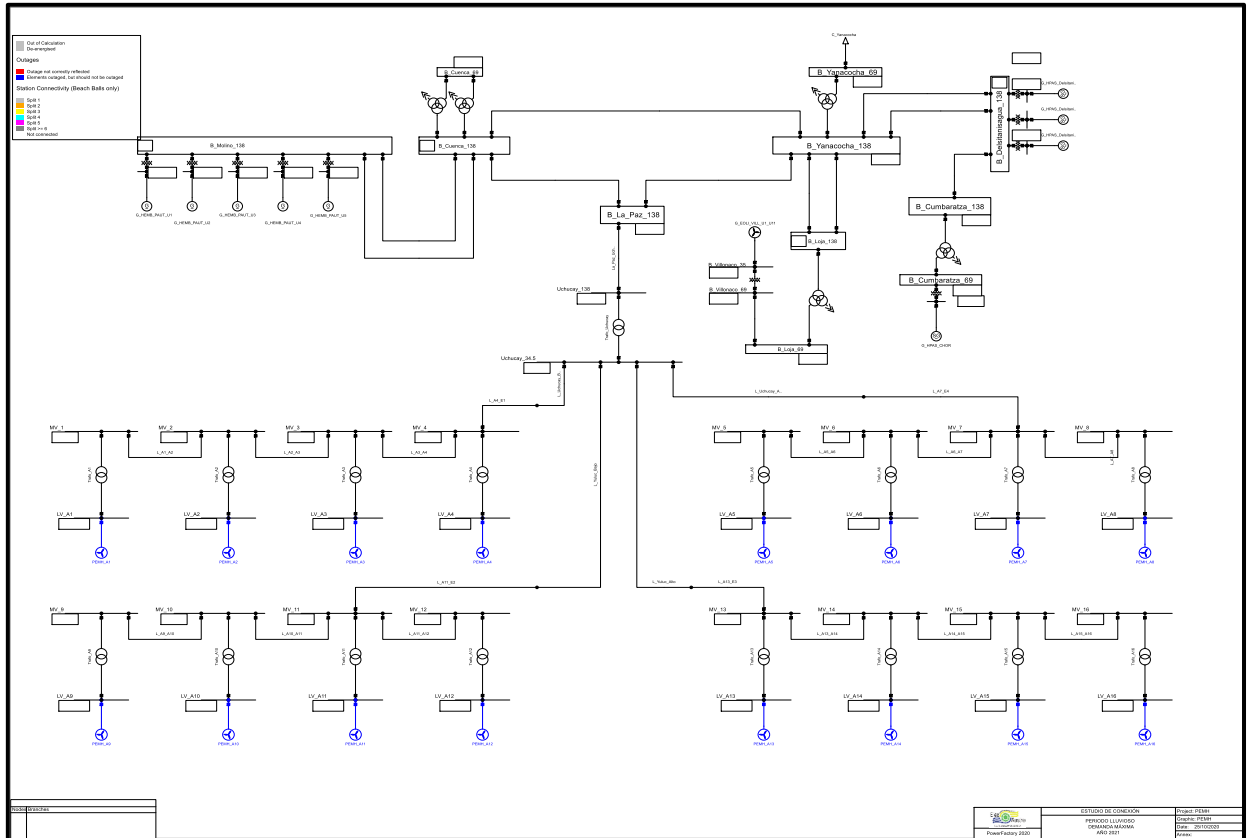


Fig. 10 Diagrama unifilar del Parque Eólico Minas de Huascachaca.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### 2.23. Sistema Colector a Media Tensión.

El Sistema Colector a Media Tensión (SCMT) del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca (PEMH), está conformado por cuatro circuitos que recolectará la energía generada de los 16 aerogeneradores eólicos y estará conformado por cuatro circuitos independientes, uno por cada grupo de 4 aerogeneradores de 3,125 MW. Con base a la orografía del terreno, el SCMT estará constituido por una red trifásica mixta (subterránea y aérea), cuyos conductores aéreos son del tipo ACSR 477 MCM y el conductor subterráneo es tipo XLPE-TR 35 KV 133%, calibre 250 y 350 MCM. La red de media tensión subterránea estará constituida por tres conductores monopoles directamente enterrados en una zanja con una profundidad de 1,2 metros; la longitud total de zanjas del circuito colector es de 4,3 Km aproximadamente. El circuito aéreo estará conformado por 11 torres de celosía con una longitud de 1.53 km aproximadamente (Electro Generadora del Austro, 2020).

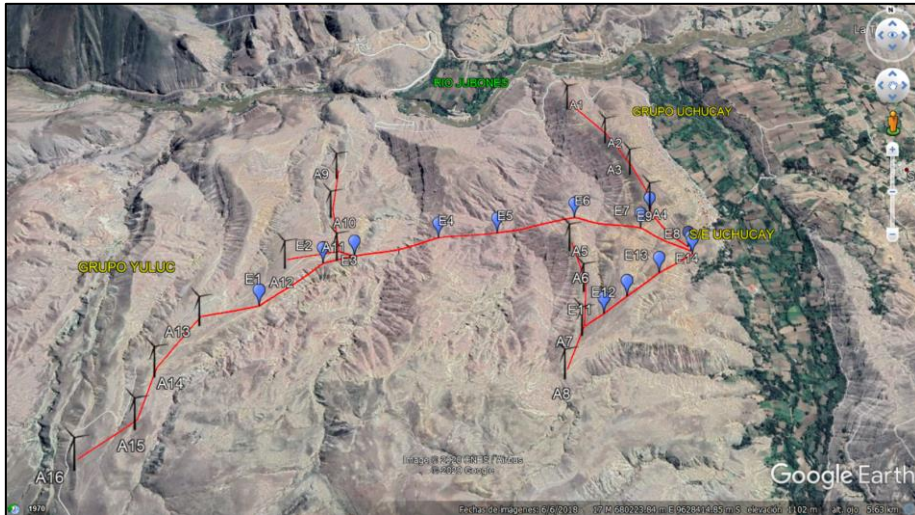


Fig. 11 Sistema Colector a Media Tensión del Parque Eólico Minas de Huascachaca.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

## 2.24. Primer tramo de construcción: Uchucay (Alto y Bajo).

### Red subterránea.

Según ELECTRAUSTRO (2020) la red subterránea estará conformada por tres conductores aislados monopolares tipo XLPE-TR 35 KV 133%, calibre 250 y 350 MCM que serán directamente enterrados; en los cruces de la red de zanjas con los caminos de servicios y cruces de plataformas del parque eólico, se instalarán los cables dentro de tubos de PVC auto extingüibles de 160 mm de diámetros para fases y 63 mm para cables de comunicaciones, recubiertos con hormigón y sellados en ambos extremos con espuma de poliuretano. Parte del circuito colector subterráneo es la interconexión con las celdas de media tensión por medio de puntas terminales tanto en la subestación de Uchucay, así como en cada uno de los aerogeneradores.

Paralelo a los conductores del sistema colector se colocará un sistema de puesta a tierra más conductor de fibra óptica para la comunicación aerogeneradores y subestación directamente enterrado de tipo monomodo de 24 fibras, el cual deberá ser fusionado en ambos extremos del mismo.

Las longitudes para la red subterránea previstas en el diseño, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 4 Longitudes de red subterránea del sistema colector Uchucay Bajo

<b>Aerogeneradores Uchucay Bajo</b>	
A1 – A2	0,384 Km.
A2 – A3	0,336 Km.
A3 – A4	0,311 Km.
<b>Subtotal subterráneo</b>	<b>1,031 Km.</b>

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

Tabla 5 Longitudes de red subterránea del sistema colector Uchucay Alto

<b>Aerogeneradores Uchucay Alto</b>	
A5 – A6	0,32 Km.
A6 – A7	0,31 Km.
A7 – A8	0,31 Km.
<b>Subtotal subterráneo</b>	<b>0,94 Km.</b>
<b>Total Subterráneo</b>	<b>1,971 Km.</b>

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### **Red aérea.**

La red aérea estará conformada por 5 estructuras en celosía de entre 15,5 a 18,5 metros de altura, en el cual se instalará conductor ACSR 477 MCM e hilo de guarda de fibra óptica, tipo OPGW 90 mm 2/24 G.652D.

Las longitudes del circuito aéreo se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 6 Longitudes de red aérea del sistema colector Uchucay.

<b>Red Aérea</b>	
E13-E12	0,26 Km.
E12-E11	0,4 Km.
E11-A7	0,1 Km.
E14-A4	0,1 Km.
<b>Total Subterráneo</b>	<b>1,16 Km.</b>

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

## **2.25. Primer tramo de construcción: Yuluc (Alto y Bajo).**

### **Red subterránea.**

La red subterránea estará conformada por tres conductores monopolares del tipo XLPE-TR 35 KV 133%, calibre 250 y 350 MCM que serán directamente enterrados en los cruces de la red de zanjas con los caminos de servicios y cruces de plataformas del parque eólico, se instalarán los cables dentro de tubos de PVC auto extingüibles de 160 mm de diámetros para fases y 63 mm para cables de comunicaciones, recubiertos con hormigón y sellados en ambos extremos con espuma de poliuretano. Parte del circuito colector subterráneo es la interconexión con las celdas de media tensión por medio de puntas terminales tanto en la subestación de Uchucay como en cada uno de los aerogeneradores.

Paralelo a los conductores del sistema colector se colocará un sistema de puesta a tierra y el conductor de fibra óptica directamente enterrado de tipo monomodo de 24 fibras, el cual deberá ser fusionado en ambos extremos del mismo.

Las longitudes para la red subterránea previstas en el diseño son:

*Tabla 7 Longitudes de red subterránea del sistema colector Yuluc Bajo*

<b>Aerogeneradores Yuluc Bajo</b>	
A9 – A10	0,38 Km.
A10 – A11	0,31 Km.
A11 – A12	0,33 Km.
<b>Subtotal subterráneo</b>	<b>1,02 Km.</b>

*Fuente:* (Electro Generadora del Austro, 2020).

*Tabla 8 Longitudes de red subterránea del sistema colector Yuluc Alto*

<b>Aerogeneradores Yuluc Alto</b>	
A13 – A14	0,37 Km.
A14 – A15	0,32 Km.
A15 – A16	0,35 Km.
<b>Subtotal subterráneo</b>	<b>1,04 Km.</b>
<b>Total Subterráneo</b>	<b>2,06 Km.</b>

*Fuente:* (Electro Generadora del Austro, 2020).

### **Red aérea.**

La red aérea estará conformada por 5 estructuras en celosía doble circuito y 3 estructuras simples circuito de entre 15,5 a 18,5 metros de altura, en el cual se instalará conductor ACSR 477 MCM e hilo de guarda de fibra óptica, tipo OPGW 90 mm 2/24 G.652D.

Las longitudes del circuito aéreo son

*Tabla 9 Longitudes de red aérea del sistema colector Yuluc*

<b>Tramo Aéreo</b>	
E4-E5	0,2 Km.
E5-E6	0,75 Km.
E6-E7	0,71 Km.
E7-E8	0,48 Km.
E8-E13	0,1 Km.
E8-E10	0,1 Km.
E4-A11	0,1 Km.
E1-A13	0,1 Km.
<b>Total</b>	<b>2,54 Km.</b>

*Fuente:* (Electro Generadora del Austro, 2020).

### **2.26. Subestación Uchucay.**

Cada transformador de la subestación que eleva la tensión del sistema colector interno de 34,5 kV a 138 kV, con una configuración de barra simple y una potencia total de 40/50 MVA; en los alrededores de la comunidad de Uchucay. Habilitará de todo el suministro de corte y maniobra para recolectar la energía de hasta cuatro circuitos de 34,5 kV del sistema colector interno y un transformador de 40/50 MVA ubicado en la S/E Uchucay, de 34,5kV/138 kV para la transmisión de energía a la S/E La Paz a 138kV.

### **2.27. Subestación de seccionamiento La Paz-Uchucay.**

Su principal objetivo de seccionar la línea de transmisión Cuenca - Loja en su estructura N° 134 e enlazar la línea de transmisión derivado del PEMH, Por ello se construyó una subestación contigua a la vía Cuenca – Loja en el sector La Paz. Tiene una configuración en barra principal y transferencia; una posición para los terminales de la línea de transmisión Uchucay – La Paz, dos posiciones para el seccionamiento de una terna de la línea de transmisión Cuenca – Yanacocha - Loja, una posición de transferencia y tres posiciones para futuras interconexiones.

### **2.28. Línea de Transmisión 138kV.**

Esta línea evacúa la energía a partir la subestación Uchucay a la subestación de seccionamiento La Paz, con una longitud de 20,835 km a circuito simple, estructuras metálicas auto-soportantes, conductor por fase 477 MCM HAWK y conductor de guarda OPGW de 48 fibras para protección de la línea y comunicaciones del parque eólico.

### **2.29. Línea de Transmisión 34,5kV.**

La línea de subtransmisión o circuito colector tiene la finalidad de recolectar la energía eléctrica producida por los aerogeneradores, trasportarla a los centros de seccionamiento y posteriormente a la subestación. La primera etapa del circuito colector la conforman los transformadores de generación que eleva la tensión a 34,5 kV la cual se transfiere por medio de cables hacia los ejes de seccionamientos donde están instalados cierto número de aerogeneradores. En los centros o pie de torre existen celdas de media tensión que enlaza los aerogeneradores con las torres celosía, el voltaje se transporta a través de cables de potencia para que la tensión llegue a la subestación Uchucay. (Electro Generadora del Austro, 2020)

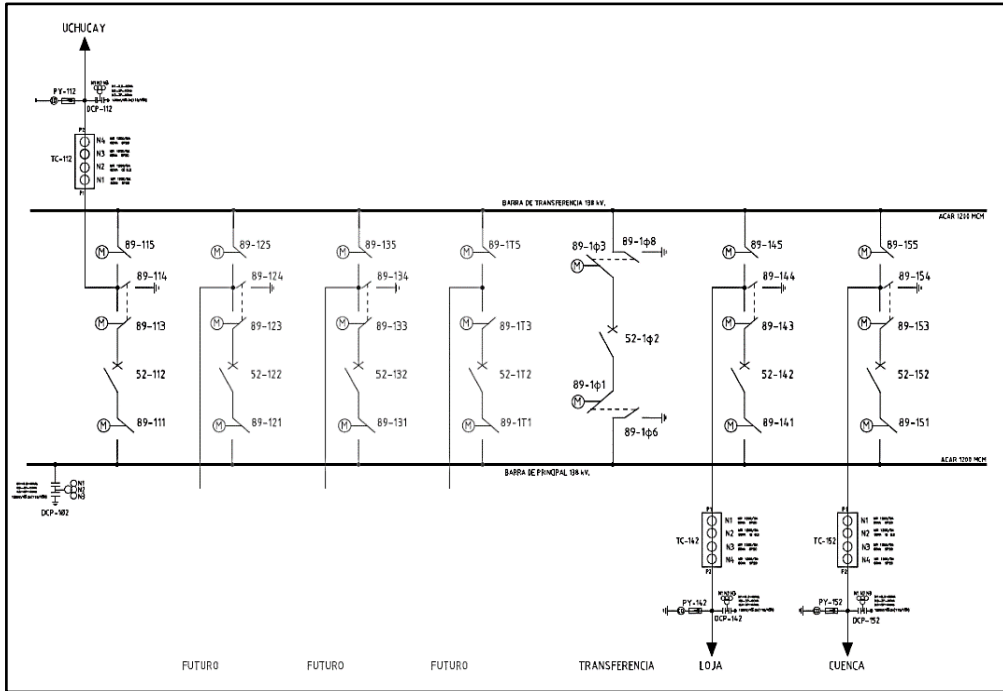


Fig. 12 Diagrama unifilar general de la subestación La Paz.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

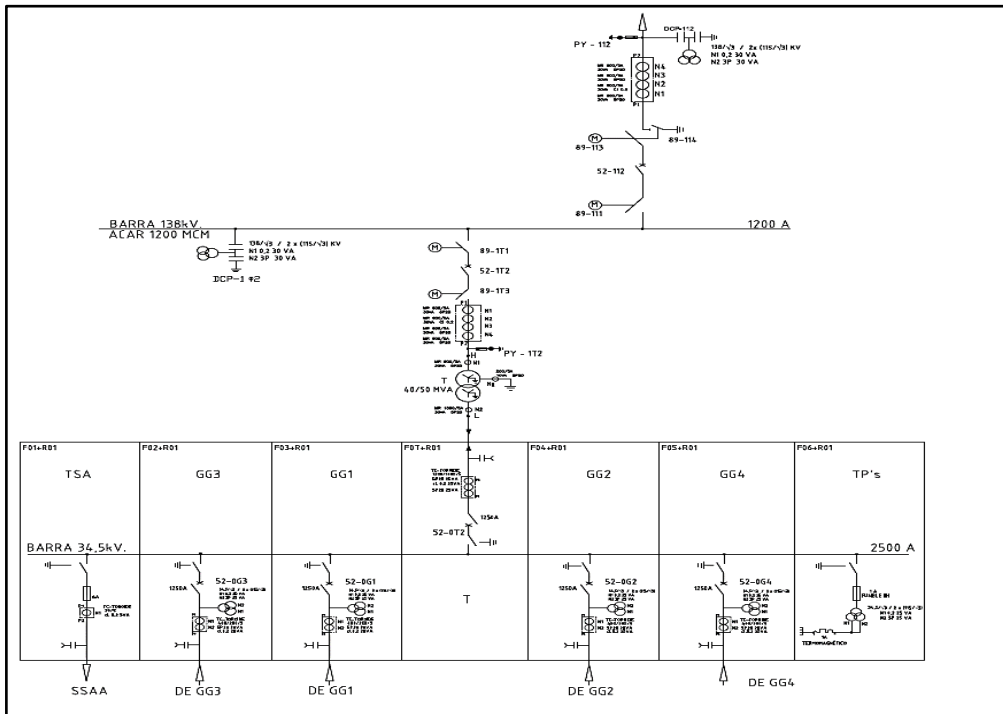


Fig. 13 Diagrama unifilar general de la subestación Uchucay.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

## 2.30. Elementos a proteger en el proyecto de ELECAUSTRO.

### Sistema colector a media tensión

El Sistema Colector a Media Tensión (SCMT) del Proyecto Eólico Huascachaca (PEMH), este proyecto obtendrá la energía generada por los 16 aerogeneradores de esta central la cual estará conformada por cuatro circuitos independientes de 34,5 kV, uno por cada grupo de 4 aerogeneradores de 3,125 MW. El SCMT estará constituido por una red trifásica mixta (subterránea y aérea), cuyos conductores aéreos son del tipo ACSR 477 MCM y el conductor subterráneo es tipo XLPE-TR 35 kV 133%, calibre 250 y 350 MCM. La red de Media tensión subterránea estará constituida por tres conductores mono polares en recorrido subterráneo, la longitud total del circuito colector es de 4,3 Km aproximadamente (Electro Generadora del Austro, 2020).

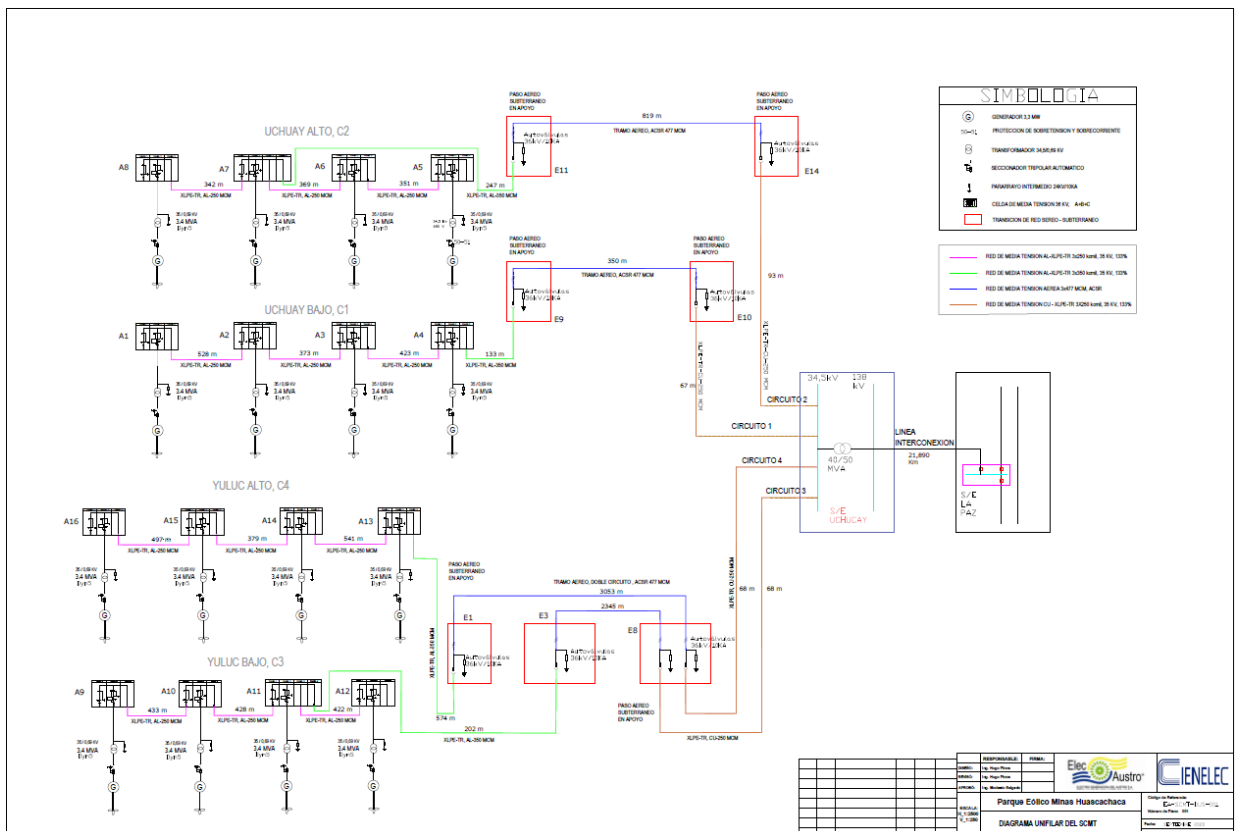


Fig. 14 Diagrama unifilar general del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### Subestaciones eléctricas Uchucay – La Paz.

La Subestación Uchucay ubicada a 1250 msnm, opera en un rango de valores de tensión entre 34,5 - 138 kV, está ubicada en la provincia de Loja, esta subestación Uchucay y La Paz es parte del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca, que se enlazará al Sistema Nacional Interconectado SNI, mediante una línea de transmisión de 138 kV con una distancia aproximadamente 21 km ubicada en la S/E La Paz.

La subestación de seccionamiento La Paz de 138 kV, está ubicada a 3000 msnm en el sector del mismo nombre, junto a la Panamericana Sur que une Cuenca con Loja. Se ubica muy próxima a la estructura E134 de la línea de transmisión Cuenca- Loja de 138 kV del Sistema Nacional de Transmisión (Electro Generadora del Austro, 2020).



Fig. 15 Plano de ubicación geográfica de las subestaciones y líneas de transmisión del PEMH.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### 2.31. Descripción y funcionalidades del Software Power Factory DigSILENT.

DIGSILENT es un instrumento de diseño mediante una computadora y consiente el estudio de mecanismos eléctricos de múltiples aplicaciones: generación, transmisión, distribución de energía. Este software tiene muchas características de integración de funciones de cálculo y base de datos que se implementan hoy en día, que permite cálculos más eficaces y dinámico, haciendo que el modelado sea más flexible y altamente confiable con algoritmos de resultado muy eficientes, uno de los más habituales operaciones inteligentes utilizado en el análisis de un SEP. El software DigSILENT es aplicado para estudios de flujo de potencia y contingencias por diversas razones, una de ellas incluye eficaces algoritmos de solución que permiten el análisis de sistemas de transmisión, distribución, en escenarios de balance y desbalance (Vargas J. , 2019).

El estudio de flujo de carga, cortocircuitos y contingencias del SEP se efectuará utilizando el módulo de flujos del software mencionado "DigSILENT", utilizando el software se ha definido el perfil de tensiones de los sistemas que abarca el SEP.

Con el uso y la elección de este software se proyecta poder identificar las eventualidades que se declararán en el mecanismo de protecciones del Parque Eólico Minas de Huascachaca (PEMH) y para investigar estos, se simulará un sistema de transferencia

balanceado con una demanda máxima, utilizando la herramienta virtual DigSILENT, en donde daremos prioridad a los próximos enunciados:

- Se analizará los niveles de voltaje para comprobar la estabilidad de la red y los niveles de corriente.
- Se estudiará el comportamiento del sistema de protección de sobrecorriente del parque eólico bajo escenarios normales de operación y frente a una falla transitoria con una demanda máxima para tres escenarios diferentes.
- Se indagará de la misma forma los niveles de voltajes y corriente nominal.
- Se examinará los efectos manifestados en el sistema de protección de sobrecorriente del alimentador para escenarios de falla.
- Se utilizará la función de fallas del software DigSILENT Power Factory, que nos permitirá obtener las corrientes de cortocircuito mínimas y máximas de una falla transitoria con el propósito de observar los efectos creados en el sistema de protección.

Los datos obtenidos del software DigSILENT Power Factory serán calculados en una hoja de Excel, con el fin de poder formular y explicar, las variaciones de las magnitudes eléctricas, los lapsos de operación de los mecanismos de protección y efectos que exteriorizará el sistema de protección. Esto, se realizará en el siguiente capítulo.

## CAPITULO 3

### 3. ESCENARIO DE ANÁLISIS

#### 3.1. Puntos de Conexión con el Sistema Nacional de Transmisión.

En el estudio de Factibilidad del Parque Eólico Minas de Huascachaca se efectuó un análisis con alternativas para enlazar del parque eólico con el SNT y se estableció que la S/E UCHUCAY se conecte, mediante de una línea de transmisión de 138 kV, en simple terna, con la S/E La Paz que seccionará uno de los circuitos de la Línea de transmisión Cuenca – Loja que pertenece a CELEC EP TRANSELECTRIC.

Posteriormente, se presenta un diagrama unifilar que contempla el mencionado esquema de interconexión del PEMH con el SNT:

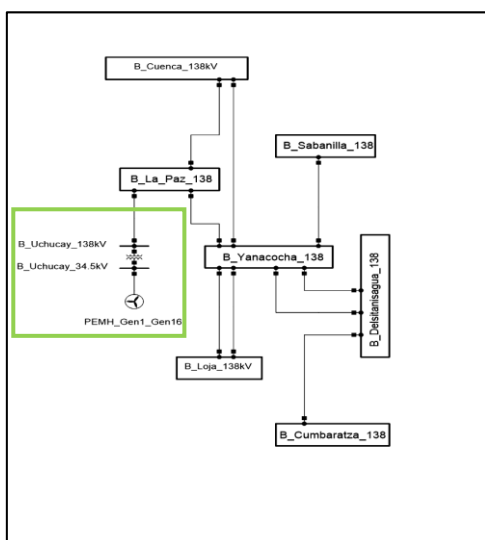


Fig. 16 Punto de conexión con el SNT.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

#### 3.2. Puntos de Conexión con el Sistema Nacional de Transmisión.

El escenario de influencia eléctrica del parque eólico se determina considerando el alcance que podría tener la potencia generada por el parque y las características del sistema eléctrico receptor de dicha potencia, tales como:

1. Niveles de voltaje, topología y longitud de las líneas vinculadas al punto de conexión.
2. Centrales de generación cercanas al punto de conexión.
3. Centros de carga cercanos al punto de conexión.

En la Figura 17 se muestra un diagrama unifilar donde se identifican las barras del sistema que conforman el escenario de influencia eléctrica del PEMH.

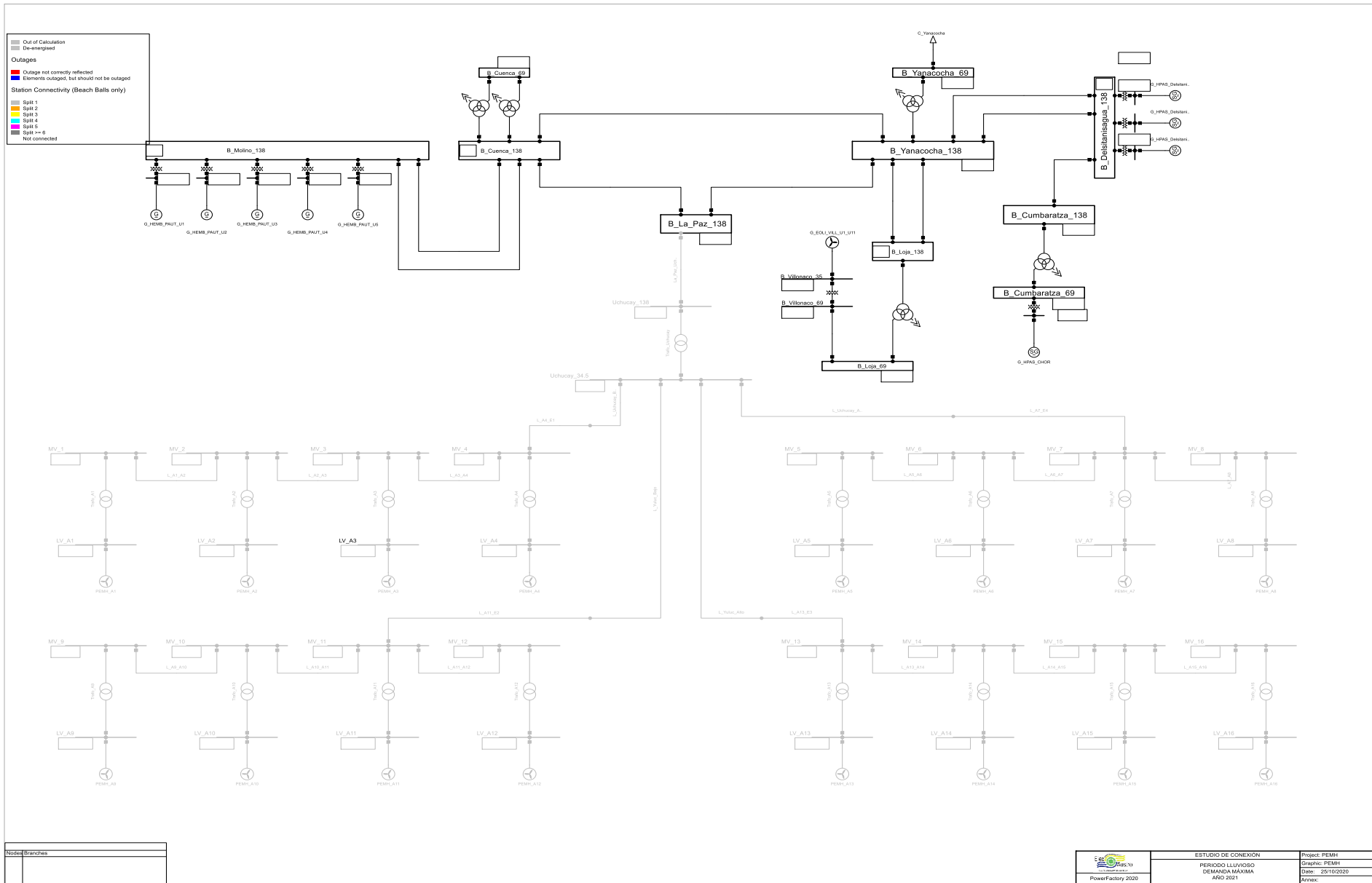


Fig. 17 Zona de Influencia Eléctrica del PEMH.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### 3.3. Características Técnicas de las unidades de Generación.

La modelación del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca considera la incorporación de sus 16 aerogeneradores del tipo full converter. Las unidades de generación del proyecto, según información del fabricante, pueden ser debidamente representadas por el modelo matemático IEC 61400-27-1 WT Type 4A [1]. Este modelo matemático se encuentra implementado en la librería de Templates (estructuras de DlgSILENT Simulation Language) del software DlgSILENT Power Factory y ha sido parametrizado y utilizado en la realización del presente estudio. (ELECTRICAL SIMULATION MODELS FOR WIND POWER GENERATION, 2015)

#### 3.3.1. Generador

Las principales características de los aerogeneradores (elementos tipo Static Generator de DlgSILENT) se presentan a continuación:

*Tabla 10 Datos básicos del generador*

Parámetro	Valor
Voltaje Nominal	690 V
Potencia Aparente Nominal	3.3 MVA
Frecuencia Nominal	60 Hz

*Fuente:* (Electro Generadora del Austro, 2020).

*Tabla 11 Datos para cálculo de cortocircuito – Considerando parámetros transitorios*

Parámetro	Valor
Corriente sub-transitoria de cortocircuito	2.761 kA
Relación $X''/R$	10

*Fuente:* (Electro Generadora del Austro, 2020).

#### 3.3.2. Transformador de Unidad

Los aerogeneradores individualmente tienen en su base un transformador de 2 devanados que eleva el voltaje desde el nivel de tensión de generación de 690 V hasta 34.5 kV. Posteriormente, se detallan los datos de la modelación de este equipamiento:

Tabla 12 Datos transformador de máquina

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	3.52 MVA
Bajo Voltaje	690 V
Alto Voltaje	34.5 kV
Voltaje de cortocircuito	8 %
Pérdidas en el cobre	27 kW
Grupo de conexión	DYn5

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### 3.4. Configuración de la Central Eólica.

#### 3.4.1. Transformador de potencia S/E Uchucay.

Se han considerado, según el diseño del Parque Eólico Minas de Huascachaca, el ensamble del transformador de potencia en la subestación Uchucay el cual elevará el voltaje desde 34.5 kV hasta un nivel de 138 kV. Posteriormente, se presentan los datos para la modelación de este transformador:

Tabla 13 Datos transformador S/E Uchucay

Parámetro	Valor
Capacidad Nominal	50 MVA
Bajo Voltaje	34.5 kV
Alto Voltaje	138 kV
Voltaje de cortocircuito	10.37%
Pérdidas en el cobre	30.6 kW
Grupo de conexión	YNYn1

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

#### 3.4.2. Conexiones Internas.

Las conexiones internas del parque se modelan con criterio según la información facilitada por Elecaustro S.A. La configuración considera cuatro colectores (Uchucay Alto, Uchucay Bajo, Yuluc Alto y Yuluc Bajo) cuyas secciones iniciales están conformadas por líneas aéreas que cuentan con conductores de fase de tipo 477 ACSR y conductor de hilo de guarda de tipo OPGW. En las inmediaciones de los aerogeneradores, para los cuatro

colectores, se utilizan cables subterráneos cuyas particularidades se detallan en la Tabla 14, en tanto que en la Figura 4 se detalla el diagrama unifilar de la central eólica.

Tabla 14 Conductores conexiones internas

Conductor	Capacidad de corriente
NA2XSY 1x185rm 18/30kV ir	0.37 kA (in ground)
NA2XS2Y 1x120rm 18/30kV ir	0.3 kA (in ground)

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

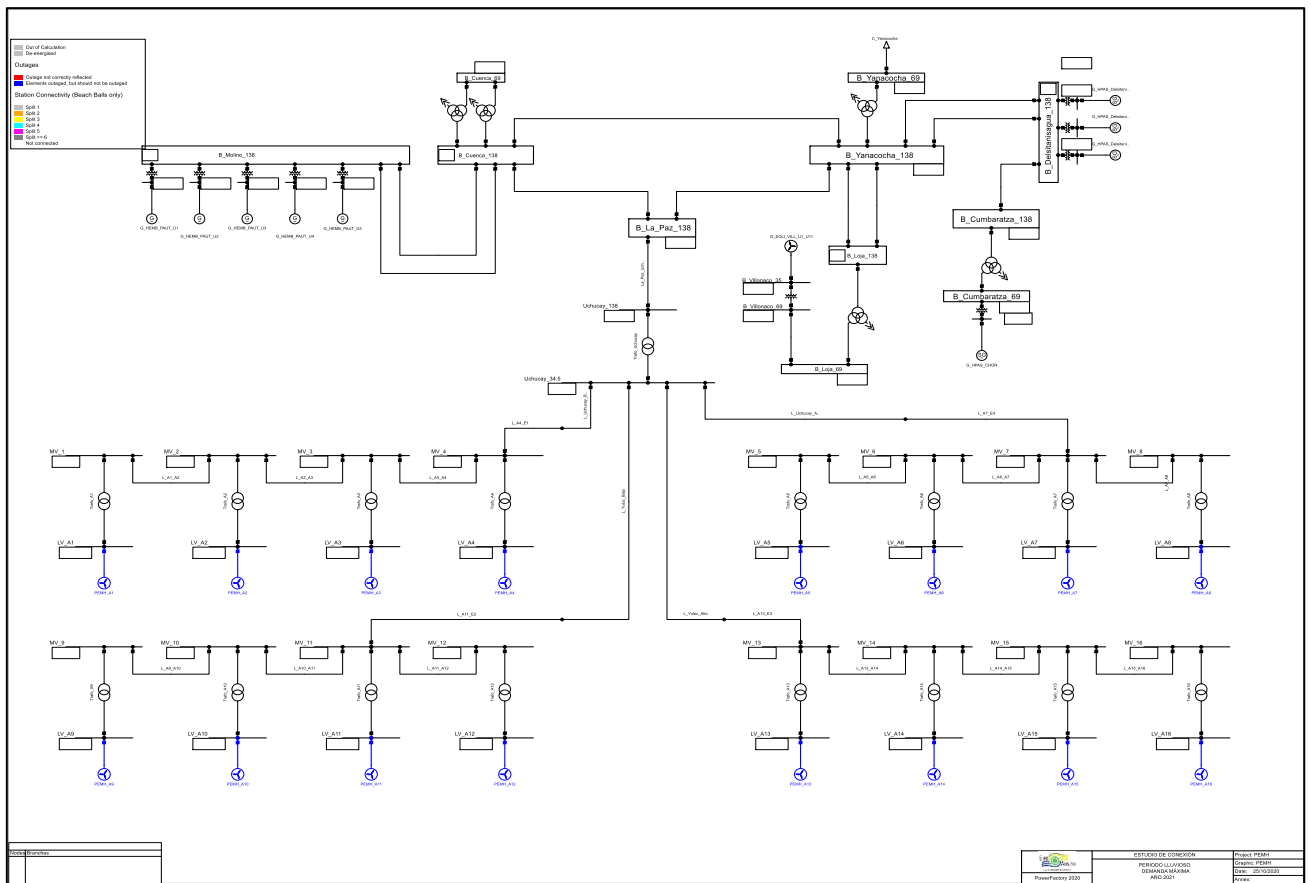


Fig. 18 Diagrama Unifilar - Configuración de Parque Eólico.

Fuente: (Electro Generadora del Austro, 2020).

### 3.5. Estudio de Flujos de Potencia y Contingencias.

Los estudios de flujos de se efectúan para periodos de estiaje y lluvioso, considerando niveles de producción de potencia del PEMH obtenidos de proyecciones estadísticas proporcionadas por Elecaustro S.A. y para condiciones de demanda máxima, media y mínima del Sistema Nacional de Transmisión (SNT). El año de inicio de operación de la central eólica es el año 2021 y el año horizonte de análisis es el año 2024. Las simulaciones se las realiza tanto para condiciones normales como ante contingencias N-1.

### 3.6. Condiciones Normales.

A continuación, se presenta el estudio y resultados de las simulaciones de flujos de potencia en condiciones normales para los años 2021 y 2024. Estas simulaciones son realizadas considerando los niveles de producción esperados de potencia del parque eólico y para los escenarios de máxima demanda, media y mínima del SNT.

Las premisas consideradas en la realización de esta parte del estudio de estado estacionario son las siguientes:

- Emular las condiciones de operación de la zona de influencia eléctrica del proyecto sin considerar la operación de la central eólica (ESCENARIO SIN EL PEMH), con el propósito de establecer los niveles de flujos de potencia, cargabilidad y voltajes de la zona de influencia antes del ingreso del proyecto.
- En una segunda fase, considerando la operación de la central eólica, se obtendrán resultados del efecto que produce la operación del PEMH en la zona de influencia (ESCENARIO CON EL PEMH), detectando eventuales sobrecargas y/o bajos niveles de voltaje, que pueden ser asociados al ingreso a operación del proyecto.

### 3.7. Despachos de Potencia.

Para la central eólica se establecen los despachos de potencia activa en función de las mediciones de velocidad del viento en el punto de implantación de la central; información oficialmente entregada por Elecaastro. En la Tabla 15, se detallan los valores de potencia activa que se utilizan en cada uno de los escenarios:

*Tabla 15 Potencia entregada - generadores PEMH*

PERÍODO LLUVIOSO		PERÍODO SECO	
Escenario	Potencia [MW]	Escenario	Potencia [MW]
Demanda Máxima	4.2	Demanda Máxima	6.0
Demanda Media	37.2	Demanda Media	48.4
Demanda Mínima	0.0	Demanda Mínima	0.0

De las simulaciones de flujos de potencia se determinan los niveles de tensión en las barras y los niveles de cargabilidad de las líneas de transmisión de la zona de influencia eléctrica del Parque Eólico Minas de Huascachaca. Todos los análisis de las simulaciones de flujos, se presentan en la Memoria de Cálculos anexa al presente estudio.

### 3.8. Análisis de Resultados.

Se puede apreciar que, en los escenarios simulados, la cargabilidad de las líneas se mantiene por debajo del 86.72%; adicionalmente se corrobora que, en condiciones habituales de operación, el transformador de la subestación Cuenca se mantiene operando por debajo del 62.48% de cargabilidad.

A continuación, se presentan los niveles de voltaje de la zona de influencia eléctrica tras la conexión del PEMH tanto para el año de conexión (2021) como para el año horizonte de análisis (2024).

*Tabla 16 Niveles de voltaje (p.u.) – Período lluvioso 2021*

BARRA	Sin el Proyecto			Con el Proyecto		
	Dmáx	Dmed	Dmín	Dmáx	Dmed	Dmín
CUENCA 138	0.986	0.986	0.995	0.989	0.985	0.998
CUENCA 69	1.002	1.006	1.012	1.004	1.005	1.015
CUMBARATZA 138	1.023	1.004	1.012	1.025	1.005	1.016
CUMBARATZA 69	0.998	1.000	1.003	1.000	1.001	1.000
DELSITANISAGUA 138	1.026	1.006	1.013	1.027	1.007	1.016
LA PAZ 138	0.999	0.990	1.006	1.008	1.000	1.014
LOJA 138	1.018	0.999	1.011	1.021	1.001	1.015
LOJA 69	1.002	1.001	1.003	0.998	1.003	1.001
MOLINO 138	1.046	1.032	1.023	1.046	1.031	1.023
VILLONACO 69	1.004	1.003	1.005	1.001	1.005	1.003
YANACocha 138	1.019	1.002	1.012	1.022	1.003	1.016
YANACocha 69	0.999	1.003	1.003	1.002	0.999	1.000
UCHUCAY 138	0.000	0.000	0.000	1.012	1.007	1.016
UCHUCAY 34.5	0.000	0.000	0.000	1.022	1.014	1.024

Tabla 17 Niveles de voltaje (p.u.) – Período seco 2021

BARRA	Sin el Proyecto			Con el Proyecto		
	Dmáx	Dmed	Dmín	Dmáx	Dmed	Dmín
CUENCA 138	0.979	0.976	0.978	0.982	0.971	0.982
CUENCA 69	0.995	0.992	0.999	0.998	0.988	1.002
CUMBARATZA 138	1.009	0.997	0.974	1.011	0.997	0.976
CUMBARATZA 69	1.003	0.993	1.001	0.999	0.993	0.998
DELSITANISAGUA 138	1.012	0.999	0.975	1.014	0.999	0.978
LA PAZ 138	0.991	0.983	0.977	1.002	0.992	0.990
LOJA 138	1.004	0.997	0.975	1.008	0.998	0.980
LOJA 69	1.001	0.987	0.998	0.999	0.988	0.996
MOLINO 138	1.035	1.028	1.016	1.035	1.026	1.016
VILLONACO 69	1.001	0.988	0.998	0.999	0.988	0.997
YANACOCCHA 138	1.006	0.998	0.977	1.010	0.998	0.982
YANACOCCHA 69	0.999	0.987	0.998	1.002	0.987	1.003
UCHUCAY 138	0.000	0.000	0.000	1.007	1.000	0.996
UCHUCAY 34.5	0.000	0.000	0.000	1.020	1.008	1.016

Tabla 18 Niveles de voltaje (p.u.) – Período lluvioso 2024

BARRA	Sin el Proyecto			Con el Proyecto		
	Dmáx	Dmed	Dmín	Dmáx	Dmed	Dmín
CUENCA 138	0.979	0.997	0.994	0.983	0.997	0.997
CUENCA 69	0.993	1.014	1.011	0.996	1.014	1.014
CUMBARATZA 138	1.000	1.002	0.998	1.002	1.000	1.000
CUMBARATZA 69	0.999	1.003	1.001	1.001	1.002	1.003
DELSITANISAGUA 138	1.008	1.007	1.004	1.009	1.007	1.006
LA PAZ 138	0.992	1.003	1.001	1.003	1.013	1.009

LOJA 138	1.007	1.009	1.008	1.010	1.010	1.011
LOJA 69	0.999	1.000	1.001	0.996	1.000	0.997
MOLINO 138	1.040	1.044	1.025	1.040	1.043	1.025
VILLONACO 69	1.002	1.002	1.003	0.999	1.003	1.000
YANACOCCHA 138	1.005	1.009	1.006	1.009	1.009	1.010
YANACOCCHA 69	0.999	1.001	1.001	1.002	1.001	1.004
UCHUCAY 138	0.000	0.000	0.000	1.007	1.018	1.013
UCHUCAY 34.5	0.000	0.000	0.000	1.020	1.019	1.023

Tabla 19 Niveles de voltaje (p.u.) – Período seco 2024

BARRA	Sin el Proyecto			Con el Proyecto		
	Dmáx	Dmed	Dmín	Dmáx	Dmed	Dmín
CUENCA 138	0.980	0.988	0.986	0.982	0.988	0.988
CUENCA 69	0.994	1.004	1.003	0.995	1.004	1.005
CUMBARATZA 138	1.005	0.996	0.983	1.006	0.995	0.984
CUMBARATZA 69	0.998	0.998	0.998	0.999	1.002	1.000
DELSITANISAGUA 138	1.011	1.002	0.984	1.012	1.001	0.986
LA PAZ 138	0.996	0.998	0.990	1.005	1.008	1.000
LOJA 138	1.008	1.007	0.989	1.011	1.007	0.992
LOJA 69	1.001	0.998	1.001	0.997	0.998	0.998
MOLINO 138	1.035	1.030	1.022	1.036	1.029	1.022
VILLONACO 69	1.001	0.999	1.001	0.997	0.999	0.998
YANACOCCHA 138	1.008	1.005	0.990	1.011	1.006	0.993
YANACOCCHA 69	1.002	0.997	1.002	0.998	0.998	0.999
UCHUCAY 138	0.000	0.000	0.000	1.009	1.015	1.005
UCHUCAY 34.5	0.000	0.000	0.000	1.021	1.015	1.019

En base a la información previamente presentada, se establece que ante la incorporación del PEMH al SNT, se mantienen adecuadas condiciones de regulación de

voltaje (Tabla 20) en el área de influencia. Para ninguno de los casos simulados se presentan niveles de voltaje inaceptables y es posible regular la tensión en el punto de enlace y en los puntos eléctricos cercanos variando la entrega de potencia reactiva de los generadores eólicos. Esto determina que el parque eólico brinda un adecuado aporte al sistema en relación con el mantenimiento del perfil de voltaje de la zona.

*Tabla 20 Niveles de voltaje en el Sistema de Transmisión*

Límite	Barras 230 kV	Barras 138 kV	Barras 69 y 34,5 kV
Superior	+5%	+5%	+4%
Inferior	-5%	-5%	-3%

En las siguientes tablas se presenta las discontinuidades en la cargabilidad de las líneas transmisión y transformadores en el área de influencia eléctrica, debidas a la incorporación del PEMH para todos los escenarios de simulación.

*Tabla 21 Variaciones en cargabilidad porcentual períodos lluvioso y seco - año 2021 en el transformador y línea.*

LÍNEA	Estacionalidad Lluviosa			Estacionalidad Seca		
	Dmáx (%)	Dmed (%)	Dmín (%)	Dmáx (%)	Dmed (%)	Dmín (%)
MOLINO CUENCA 1 138	-1.21	6.41	-0.88	-1.81	9.54	-1.33
MOLINO CUENCA 2 138	-1.21	6.41	-0.88	-1.81	9.54	-1.33
CUENCA LA PAZ 138	2.07	24.51	0.44	3.32	32.63	-1.9
LA PAZ YANACOCHA 138	-0.42	-6.78	0.5	-0.56	-9.18	1.36
CUENCA YANACOCHA 138	0.51	7.17	-0.18	0.88	9.58	-0.53
UCHUCAY LA PAZ 138	4.7	23.64	3.33	6	30.92	6.81
YANACOCHA LOJA 1 138	-0.04	-0.02	-0.02	-0.08	0	-0.06
YANACOCHA LOJA 2 138	-0.03	-0.01	-0.01	-0.06	0	-0.04
YANACOCHA DELSTITANISAGUA 1 138	-0.06	-0.02	0.01	-0.06	0	0.06
YANACOCHA DELSTITANISAGUA 2 138	-0.06	-0.02	0.01	-0.06	0	0.06
DELSITANISAGUA CUMBARATZA 138	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	0	-0.02
VILLONACO LOJA 69	0.09	-0.05	0.06	0.01	0	0.01

TRANSFORMADOR	Estacionalidad Lluviosa			Estacionalidad Seca		
	Dmáx	Dmed	Dmín	Dmáx	Dmed	Dmín
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
CUMBARATZA ATQ	-0.03	-0.02	0.01	0.06	0	-0.04
CUENCA ATQ	0.49	4.47	0.07	0.71	5.94	0.27
CUENCA ATR	0.49	4.47	0.07	0.71	5.94	0.27
LOJA ATQ	0.14	-0.05	-0.04	0.1	-0.02	-0.15
YANACOCHA ATQ	-0.1	-0.04	0.03	-0.12	-0.01	-0.07

Tabla 22 Variaciones en los niveles de potencia activa (MW), período lluvioso y seco del año 2024 en el transformador y línea.

LÍNEA	Estacionalidad Lluviosa			Estacionalidad Seca		
	Dmáx	Dmed	Dmín	Dmáx	Dmed	Dmín
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
MOLINO CUENCA 1 138	-1.57	1.14	-1.11	-1.24	-4.45	-0.62
MOLINO CUENCA 2 138	-1.57	1.14	-1.11	-1.24	-4.45	-0.62
CUENCA LA PAZ 138	1.77	19.78	-0.59	3.93	26.12	-0.51
LA PAZ YANACOCHA 138	-0.55	-11.47	0.83	-1.36	-15.05	1.54
CUENCA YANACOCHA 138	0.13	2.16	-0.09	0.33	2.86	-0.11
UCHUCAY LA PAZ 138	5.42	23.34	3.96	5.66	30.51	5.36
YANACOCHA LOJA 1 138	-0.15	-0.02	-0.17	-0.01	0	-0.05
YANACOCHA LOJA 2 138	-0.1	-0.01	-0.11	0	0	-0.03
YANACOCHA DELSTITANISAGUA 1 138	-0.39	2.5	0.02	-0.37	-2.87	0.6
YANACOCHA DELSTITANISAGUA 2 138	-0.39	2.5	0.02	-0.37	-2.87	0.6
DELSITANISAGUA CUMBARATZA 138	0.22	3.42	-0.15	0.47	4.51	-0.16

VILLONACO LOJA 69	0.08	-0.01	0.08	0.02	0	0.01
<b>TRANSFORMADOR</b>	<b>Estacionalidad Lluviosa</b>			<b>Estacionalidad Seca</b>		
	<b>Dmáx (%)</b>	<b>Dmed (%)</b>	<b>Dmín (%)</b>	<b>Dmáx (%)</b>	<b>Dmed (%)</b>	<b>Dmín (%)</b>
CUMBARATZA ATQ	-0.03	0.02	-0.01	-0.02	0.02	-0.02
CUENCA ATQ	0.41	3.16	0.12	0.92	4.2	0.41
CUENCA ATR	0.41	3.16	0.12	0.92	4.2	0.41
LOJA ATQ	0.1	-0.01	-0.02	0.19	-0.01	-0.08
YANACOCCHA ATQ	-0.17	-0.01	-0.08	-0.13	-0.01	-0.08

En base a la información presentada en las Tablas 21 y 22, se establece que la incorporación del PEMH al SNT implica variaciones acotadas en la cargabilidad de los dispositivos del sistema de transmisión del área de influencia eléctrica. Para ninguno de los casos simulados se presentan niveles de cargabilidad que copen la capacidad de los elementos del sistema de transmisión, garantizando de este modo una operación segura y dentro de límites para el sistema de transmisión.

### 3.9. Contingencias N-1

Las contingencias analizadas son:

- Desconexión de la L/T Cuenca – La Paz 138 kV
- Desconexión de la L/T La Paz – Yanacocha 138 kV
- Desconexión de la L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV

### 3.10. Análisis de Resultados

Posteriormente, se presenta una revisión de las condiciones operativas del sistema ante cada una de las contingencias simples simuladas:

*Tabla 23 Resultados de la contingencia 1: Desconexión de la L/T Cuenca – La Paz 138 kV*

<b>Año 2021 – Estacionalidad Lluviosa</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV	110%	Control de generación mediante el redespacho de generadores
<b>Media</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV	153%	Control de generación mediante el redespacho de generadores
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2021 – Estacionalidad Seca</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV	160%	Control de generación y voltaje mediante el redespacho de generadores
	Bajo Voltaje	Barra Cuenca 138 kV	0.93 p.u.	
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna

<b>Año 2024 – Estacionalidad Lluviosa</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2021 – Estacionalidad Seca</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna

*Tabla 24 Resultados de la contingencia 2: Desconexión de la L/T La Paz – Yanacocha 138 kV*

<b>Año 2021 – Estacionalidad Lluviosa</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV	107%	Control de generación mediante el redespacho de generadores
<b>Media</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV	117%	Control de generación mediante el redespacho de generadores
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna

<b>Año 2021 – Estacionalidad Seca</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV	113%	Control de generación y voltaje mediante el redespacho de generadores
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2024 – Estacionalidad Lluviosa</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2021 – Estacionalidad Seca</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna

Tabla 25 Resultados de la contingencia 3: Desconexión de la L/T Cuenca – Yanacocha 138 kV

<b>Año 2021 – Estacionalidad Lluviosa</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – La Paz 138 kV	107%	Control de generación mediante el redespacho de generadores
	Sobrecarga	L/T La Paz - Yanacocha 138 kV	106%	
<b>Media</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – La Paz 138 kV	146%	Control de generación mediante el redespacho de generadores
	Sobrecarga	L/T La Paz - Yanacocha 138 kV	116%	
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2021 – Estacionalidad Seca</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Sobrecarga	L/T Cuenca – La Paz 138 kV	153%	Control de generación y voltaje mediante el redespacho de generadores
	Sobrecarga	L/T La Paz - Yanacocha 138 kV	112%	
	Bajo Voltaje	Barra Cuenca 138 kV	0.94 p.u.	

<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2024 – Estacionalidad Lluviosa</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Año 2021 – Estacionalidad Seca</b>				
<b>Demanda</b>	<b>Problema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Niveles</b>	<b>Acción</b>
<b>Máxima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Media</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna
<b>Mínima</b>	Ninguno	Ninguno	Permitidos	Ninguna

### **3.11. Conclusiones y Recomendaciones de Flujos y Contingencias**

Tras la simulación de flujos de potencia de estado estacionario, en condiciones estándar de operación, se concluye que la conexión del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca no representa afectación a la operación normal del Sistema Nacional de Transmisión puesto que las condiciones operativas registran niveles de voltaje y cargabilidad que cumplen con los límites establecidos.

De las simulaciones de contingencias N-1, se observa que, para el año 2021, ante la desconexión de las líneas Cuenca – La Paz, La Paz – Yanacocha y Cuenca – Yanacocha, el SNT pasaría a operar con sobrecarga en las líneas que quedan operativas durante la contingencia. Sin embargo, este comportamiento ocurre con o sin la conexión del PEMH, debido principalmente a la alta generación existente en el área sur del país. Para el año 2024, las contingencias simples no provocan sobrecargas en el sistema puesto que el futuro enlace Cumbaratza – Bomboiza a 230 kV daría un camino alternativo a los flujos de potencia en dicha zona del país.

Los flujos de potencia realizados para la obtención de los datos presentados anteriormente se los dispone en el Anexo 1: Flujos de potencia.

## CAPITULO 4

### 4. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

#### 4.1. Parámetros eléctricos líneas de transmisión 138kV.

Los datos de las líneas incluidas en el estudio se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 26 Parámetros de las líneas de transmisión a 138 kV*

NOMBRE	TIPO Y CALIBRE CONDUCTOR	LONG.	CAPACIDAD NOMINAL	R1	X1	B1	R0	X0	B0
		km	[A]	[Ohm/km]	[Ohm/km]	[uS/km]	[Ohm/km]	[Ohm/km]	[uS/km]
<b>CUENCA-LA PAZ</b>	ACSR 397.5 MCM	60.467	475	0.161847	0.495828	3.3595	0.408933	1.63596	2.25977
<b>LA PAZ – YANACOCHA</b>	ACSR 397.5 MCM	74.8	475	0.161847	0.495828	3.3595	0.408933	1.63596	2.25977
<b>LA PAZ – UCHUCAY</b>	ACSR 477 MCM	20.83	660	0,142729	0,508975	3,235764	0,368193	1,285325	2,125816
<b>CUENCA-YANACOCHA</b>	ACAR 500 MCM	131.8	475	0.12139	0.49357	3.3939	0.40416	1.55418	2.217

#### 4.2. Definición de relación de transformación.

##### **Transformadores de Potencial:**

La relación de transformación para el nivel de voltaje de 138kV (Voltaje línea-línea), de acuerdo con la información entregada por ELECAUSTRO serán los siguientes:

- 138 kV/ 115 V para la subestación la Paz y Uchucay
- 34.5 kV/ 115 V para las celdas a 34.5kV

De acuerdo con la información proporcionada por CELEC TRANSELECTRIC, los transformadores de potencial poseen la consecutiva relación de transformación:

- 138 kV/ 115 V para las Bahías de la subestación Cuenca y Yanacocha

##### **Para transformadores de Corriente:**

Se ha verificado las relaciones de los transformadores de corriente tomando en cuenta su corriente de carga y los valores de cortocircuito máximos, definiendo las siguientes relaciones de transformación:

*Tabla 27 Relaciones de Transformadores de Corriente para el Sistema PEMH*

Relaciones de Transformadores de Corriente		
BAHÍA	I primaria	I secundaria
Cuenca-La Paz 138kV	800	5
La Paz-Cuenca 138kV	800	5
La Paz-Yanacocha 138kV	800	5
Yanacocha-La Paz 138kV	800	5

La Paz-Uchucay 138kV	600	5
Uchucay-La Paz 138kV	600	5

En el transformador de elevación de la Subestación Uchucay, se tienen instalados los siguientes transformadores de corriente:

*Tabla 28 Relaciones de Transformadores de Corriente para Transformador 34.5/138kV*

<b>Relaciones de Transformadores de Corriente</b>		
<b>BAHÍA</b>	<b>I primaria</b>	<b>I secundaria</b>
Bobinados HV	600	5
Bobinados LV	1500	5
Transformador de Tierra	200	5

Los TC's de las celdas de media tensión de la subestación Uchucay utilizarán las siguientes relaciones de transformación:

*Tabla 29 Relaciones de Transformadores de Corriente Celdas de 34.5kV S/E Uchucay*

<b>Relaciones de Transformadores de Corriente</b>			
<b>CELDA</b>	<b>Designación</b>	<b>I primaria</b>	<b>I secundaria</b>
H01	SSAA	100	5
H02	GEN	400	5
H03	GEN	400	5
H04	TRAFO	1200	5
H05	GEN	400	5
H06	GEN	400	5
H07	Measuring		

Los diagramas unifilares de protecciones se los dispone en el Anexo 2: Diagramas Unifilares de Protecciones.

#### **4.3. Coordinación de Protecciones.**

Para las líneas de transmisión Cuenca - La Paz y La Paz Yanacocha, a la entrada de la subestación se utilizará protecciones de Líneas de Transmisión con el siguiente detalle:

- Relé protección diferencial de línea MICOM P543 para protección inicial y de resguardo.

La línea La Paz – Uchucay utilizará los siguientes relés:

- Relé protección diferencial de línea SIEMENS 7SL86 para protección inicial y de resguardo.

El transformador de 34,5 – 138 kV de elevación de la subestación Uchucay será protegido por los siguientes relés:

- Relé protección de transformador SIEMENS 7UT86 para protección principal y de respaldo.

La protección de los alimentadores a 34.5kV que parten del secundario del transformador son protegidos por los siguientes relés:

- Relé protección de alimentador ABB REF 620 para protección principal.

Para la elaboración de la coordinación de protecciones para el ingreso del PEMH, se utilizó el software Power Factory de DlgSILENT, siguiendo la metodología que se describe a continuación.

#### 4.3.1. Método para la Coordinación de Protecciones.

Para determinar los ajustes de los relés se ha considerado el siguiente esquema de protección:

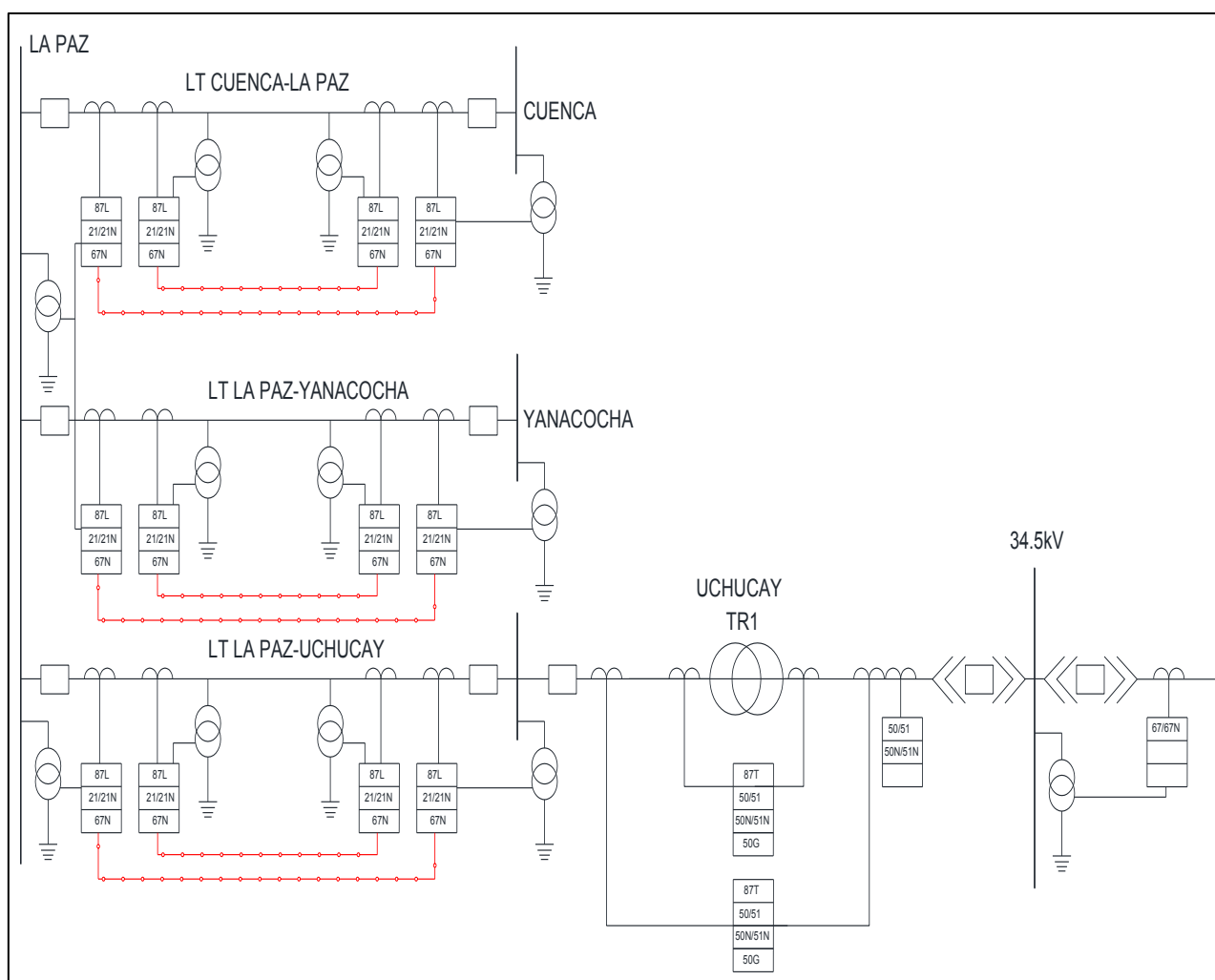


Fig. 19 Esquema de Protección del Parque Eólico.

#### 4.3.1.1. Línea de Transmisión.

La protección principal se considera la Diferencial de Línea (87L), la protección de resguardo de Distancia (21/21N) y la protección de sobrecorriente direccional (67N).

##### Para la protección diferencial de línea (87L)

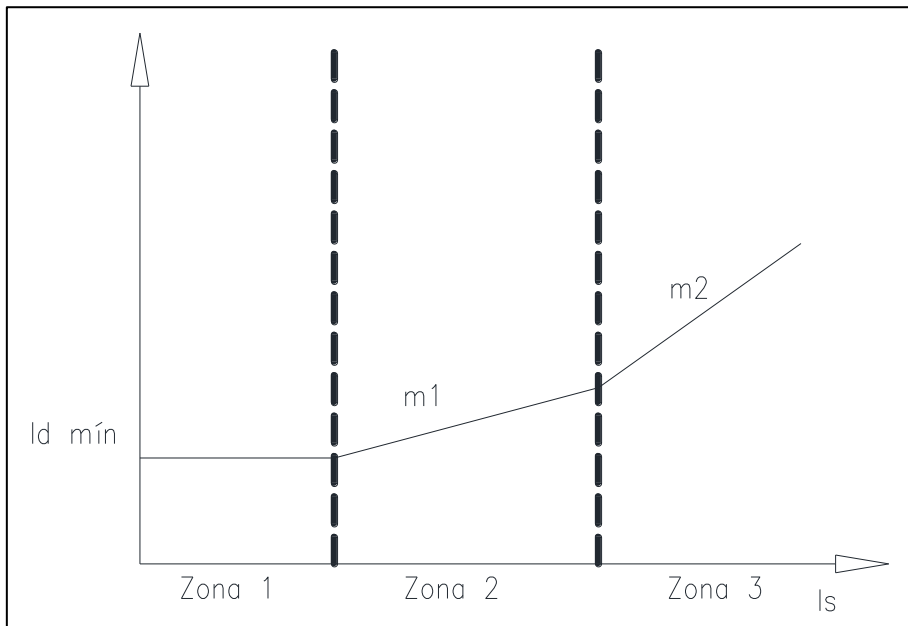


Fig. 20 Característica general de la protección diferencial (87L).

##### Corriente diferencial de arranque o pick-up

El valor de corriente diferencial de arranque o pick-up tendrá en cuenta la siguiente consideración:

$$3 * I_{cap} < I_{pickup} \leq 0.5 * I_{falla\min}$$

Donde:

- $I_{pickup}$ : Corriente mínima de operación de la función 87L
- $I_{cap}$ : Corriente de carga capacitiva de la línea, considerando el voltaje más alto al que opera la red asociada
- $I_{falla\min}$ : Corriente mínima de falla para cortocircuitos al interior de la línea protegida.

##### Pendiente 1

Este ajuste señala la pendiente en porcentaje de operación cuando la corriente de estabilización o restricción se encuentra en la zona 2 según se detalla en la Fig. 20.

Para ajustar la pendiente 1 se considera un ajuste igual a 30%.

##### Pendiente 2

Este ajuste señala la pendiente en porcentaje de operación cuando la corriente de estabilización o restricción se encuentra en la zona 3 según se detalla en la Fig. 20.

Para ajustar la pendiente 2 se considera un ajuste igual a 50%.

La protección diferencial de línea al ser totalmente selectiva, actuará sin temporización alguna. La comunicación se realiza punto a punto entre los IEDs que conforman el esquema (87L). Esto asegurará el disparo de todos los extremos de la línea protegida, incluso en condiciones de falla marginal.

#### **Para la protección de Distancia (21/21N)**

Para definir el seteo de las diferentes áreas, se considera lo siguiente:

- El Relé trabajará con tres zonas de protección.
- ZONA 1: Cubrirá entre el 80-90% de la línea.
- ZONA 2: Cubrirá entre el 120-150% de la línea.
- ZONA 3: Cubrirá el 200% de la línea o la línea más corta adyacente.
- El tiempo de operación de la Zona 1 será instantáneo.
- El tiempo de la Zona 2 y Zona 3 será ajustado para coordinar adecuadamente las protecciones.
- La máxima transferencia de potencia por la línea no debe ingresar a la zona de protección.
- Se considerará la presencia de derivaciones a la línea como transformadores para ajustar de manera adecuada la impedancia de la protección de distancia, evitando que las protecciones operen ante una contingencia en el secundario de los transformadores.
- Las protecciones utilizarán la característica cuadrilateral disponible en los relés.

#### **Bloqueo por oscilación de potencia (68)**

La presencia de una oscilación en un sistema de potencia puede provocar que la impedancia aparente, medida por una protección de distancia, ingrese a la característica de operación del relé y origine una condición de disparo. Las protecciones de distancia disponen de la función bloqueo de oscilación de potencia (PSB: Power Swing Blocking), cuyo objetivo es evitar el disparo de la protección en estos casos. De forma general se deberá activar el bloqueo por oscilación de potencia para todas las áreas de operación del relé de distancia.

#### **Para la protección de sobrecorriente direccional (67N)**

- El relé debe detectar fallas por lo menos hasta el extremo final del elemento siguiente al que se está protegiendo.
- El TAP de corriente de las unidades de sobrecorriente (67N) debe elegirse de tal modo que permitan un desequilibrio de corriente aceptable entre las fases de la red.
- En cuanto a la determinación del ajuste del tiempo de operación (DIAL) se ha tomado como referencia, un tiempo adecuado de coordinación con la función del relé de distancia.

### **Para la protección de bajo y sobrevoltaje (27/59)**

La protección de tensión calcula constantemente la tensión de cada fase con el objetivo de encontrar tensiones que son máximos o mínimos que los del rango estándar de operación.

Si la tensión es menor por debajo del rango estándar se tiene la protección de baja tensión (función 27); en el caso de voltajes máximos se tiene la protección de sobre tensión (función 59). El tiempo de actuación de esta protección es una función del valor de la tensión y consigue ser de Tiempo Definido cuando se prevalece un umbral preliminarmente seteado.

### **Función de Reconexión Automática (79)**

La función de recierre (79) será activada en caso de que los estudios dinámicos demuestren que el sistema eléctrico no experimenta condiciones de oscilación de potencia que pongan en riesgo el sistema, o puedan ocasionar la pérdida de sincronismo del mismo, y que además los niveles de sobretensión transitoria previstos durante una operación no excedan los rangos de diseño de los equipos que se localizan en el área de influencia.

### **Canales de comunicación**

Los canales de comunicación para esquemas de teleprotección se dispondrán de cuatro canales con las siguientes funciones:

*Tabla 30 Canales de comunicaciones Líneas de Transmisión*

<b>Canal</b>	<b>Función</b>
1	Envío/Recepción 85-21 protección PL1
2	Envío/Recepción 85-21 protección PL2
3	Envío/Recepción DDT (Disparo Directo Transferido)
4	Envío/Recepción 85-67N protección PL1 ó PL2

#### **4.3.1.2. Transformador de Elevación**

La protección principal es el relé diferencial (87T) que operará en forma instantánea para fallas internas a su zona de protección. Como protección secundaria de respaldo local se dispone de relés de sobrecorriente (50/51) y (50N/51N).

Adicionalmente se cuenta con la protección 51G ya que se dispone de transformador de corriente en el neutro del transformador.

#### **Protección de sobrecorriente de fase y tierra de transformadores**

Los relés de sobrecorriente de fase y tierra trabajan como respaldo de la protección principal del transformador, por lo cual, estas protecciones deben coordinarse con la curva de daño del transformador que son definidas por el fabricante del equipo.

Si por algún motivo se desconoce la curva de daño del transformador se puede usar las definidas por la norma IEEE C57.109.

#### **Protección de sobrecorriente de fase**

Corriente mínima de operación: 120% de la corriente estándar del transformador.

Tiempo de trabajo: Se coordina con curva de daño del transformador manteniendo una coordinación mayor a 500 ms con las curvas de los alimentadores.

#### **Protección de sobrecorriente de tierra**

Esta protección puede tener su punto de medida en la puesta a tierra de algún devanado en estrella o puede calcular la corriente de tierra en el bobinado de alta o de baja del transformador.

Corriente mínima de operación:

$$0.2 * I_{nt} \leq I_{pickup}(51N) \leq 0.8 * I_{\phi-t}min$$

Donde:

$I_{pickup}$  : Corriente mínima de operación de la protección 51N

$I_{nt}$ : Corriente nominal del transformador

$I_{\phi-t}min$  : Corriente mínima de cortocircuito ante una falla fase – tierra

Tiempo de operación: Se coordina con curva de daño del transformador manteniendo una coordinación mayor a 500 ms con las curvas de los alimentadores.

#### **4.3.1.3. Protección de Alimentadores de las Celdas de 34.5kV**

Debido a la presencia de generación en ambos extremos la protección de los alimentadores será direccional (67/67N), para evitar operaciones ante fallas aguas arriba.

#### **Protección de sobrecorriente de fase**

El seteo del pick up de los relés de sobrecorriente que controlan la operación de los interruptores de los alimentadores, estarán ajustados dependiendo de la corriente nominal del conductor protegido.

Para el ajuste instantáneo se ajustará al nivel máximo de cortocircuito ante fallas al 80% del cable protegido.

Para el seteo temporizado se tendrá en cuenta el tiempo de operación del sistema colector de las unidades de la central eólica.

### Protección de sobrecorriente de fase-tierra

El seteo del pick up de las unidades de fase-tierra de los relés de sobrecorriente permitirán un desequilibrio adecuado. Debido al sistema eminentemente equilibrado, el ajuste será un 30% del ajuste de fase.

Para el ajuste instantáneo, se ajustará al nivel máximo de cortocircuito ante fallas al 80% del cable protegido.

Para el ajuste temporizado, se tendrá en cuenta el tiempo de operación del sistema colector de las unidades de la central eólica.

### Reconexión Automática (79)

Debido a la presencia de cables subterráneos, no se recomienda la activación de la función de reconexión ya que las fallas en este tipo de elementos son permanentes.

#### 4.3.1.4. Definición de Ajustes de Protección Diferencial de Línea (87L)

Para el ajuste de esta protección se tomó en cuenta los siguientes criterios:

- Corriente de operación. - La corriente de operación mínima de la función 87L será mayor a la corriente capacitiva de la línea; superior a la corriente de carga y menor a un 50% de la corriente mínima de falla.
- Tiempo de operación. - El tiempo de operación será sin retardo

Se determina así los siguientes ajustes:

Tabla 31 Determinación de Ajuste de Protección Diferencial (87L)

NOMBRE	Carga [A]	Chargin [A]	I falla mín [A]	Ajuste 87L [A]
CUENCA-LA PAZ	253.00	16.2	1040	300
LA PAZ – YANACOCHA	242.00	20.0	821	300
LA PAZ – UCHUCAY	209.00	5.4	1336	250

#### 4.3.2. Definición de Ajustes de Protección de Distancia (21/21N)

Los seteos del relé de distancia se determinan en base a la metodología del punto 4.3.1

Se ha considerado un aumento del alcance resistivo de las zonas, para la detección de fallas de alta impedancia.

#### Máximo Alcance Resistivo

Para definir el máximo alcance se evalúa la siguiente expresión:

$$Z_l = \frac{V_{ll}}{\sqrt{3} \cdot I_{max}}$$

Donde se considera como corriente máxima, la corriente nominal del conductor de la línea, obteniendo un ajuste máximo que se muestra en la siguiente tabla. Ningún ajuste debe exceder ese valor.

*Tabla 32 Alcance máximo de la protección de Distancia (21/21N)*

Nombre LT	Alcance [Ohms]
CUENCA-LA PAZ	167.74
LA PAZ – YANACOCHA	167.74
LA PAZ – UCHUCAY	120.72

Para las Líneas del Sistema PEMH se han definido los diagramas R vs X de las zonas de operación que muestran en el Anexo 2: Diagramas de Impedancia de Protección de Distancia 21/21N.

#### **4.3.3. Definición de Ajustes de Protección de Sobrecorriente (50/51-50/51N-67/67N)**

Los relés 50/51, 50N/51N están determinadas para la protección y resguardo del transformador de elevación de la S/E Uchucay. Con el propósito de garantizar una apropiada coordinación de protecciones, las funciones 50 y 50N serán deshabilitadas.

Consideraciones:

- Equipamiento que proteger: Transformador de Potencia 138/34.5kV con corriente nominal de (209/837 A). Corriente de arranque (252/1008A)

Para las celdas colectoras del sistema de generación se activará la función direccional de protección de sobrecorriente (67/67N).

Consideraciones:

- Equipamiento que proteger: Cable subterráneo con capacidad de 370 A. Corriente de arranque de 352 A (21 MVA).
- Los ajustes instantáneos vienen dados por las corrientes máximas de fallas al 80% de la línea.

Para el alimentador de SSAA, se protegerá al cable con un ajuste de 100 A.

Se ha considerado para la S/E Uchucay los siguientes tramos de coordinación:

- TRAMO 1: TRAMO DE SOBRECORRIENTE DE FASE
- TRAMO 2: TRAMO DE SOBRECORRIENTE DE TIERRA
- Para la función 67N de las líneas de transmisión, se ha considerado los siguientes tramos de coordinación:
  - TRAMO 3: CUENCA-LT LA PAZ-UCHUCAY 138kV (TIERRA)
  - TRAMO 4: YANACOCHA- LT LA PAZ-UCHUCAY 138kV (TIERRA)

- TRAMO 5: UCHUCAY-LT LA PAZ-CUENCA 138kV (TIERRA)
- TRAMO 6: UCHUCAY-LT LA PAZ-YANACOCHA 138kV (TIERRA)

En el Anexo 2: Diagramas de Tiempo Sobrecorriente, se muestran los diagramas de las curvas de tiempo sobrecorriente en los diferentes tramos de coordinación.

#### 4.4. Ajustes de los Relés de Protección

*Tabla 33 Transformadores de Corriente y Potencial*

Transformadores de Corriente TC's				Transformadores de Potencial		
BAHÍA	I primaria (A)	I secundaria (A)	RTC	V primario (V)	V secundario (V)	RTP
Cuenca – La Paz 138 kV	800	5	160	138000	115	1200
La Paz - Cuenca 138 kV	800	5	160	138000	115	1200
La Paz – Yanacocha 138 kV	800	5	160	138000	115	1200
Yanacocha – La Paz 138 kV	800	5	160	138000	115	1200
La Paz – Uchucay 138 kV	600	5	120	138000	115	1200
Uchucay – La Paz 138 kV	600	5	120	138000	115	1200
TR Uchucay 138 kV	600	5	120	138000	115	1200
TR Uchucay 34.5 kV	1500	5	300	34500	115	300
TR Neutro Transformador	200	5	40			
H01	100	5	20	34500	115	300
H02	400	5	80	34500	115	300
H03	400	5	80	34500	115	300
H04	1200	5	240	34500	115	300
H05	400	5	80	34500	115	300
H06	400	5	80	34500	115	300

*Tabla 34 Protección Diferencial (87L)*

Parámetro	Ajuste	Cuenca-La Paz	La Paz-Cuenca	La Paz-Yanacocha	Yanacocha-La Paz	La Paz-Uchucay	Uchucay-La Paz
I-DIFF: Pickup	I pick up (A)	300 A	300 A	300 A	300 A	250 A	250 A
I-DIFF: Delay	Time (s)	0.00 s	0.00 s	0.00 s	0.00 s	0.00 s	0.00 s
I-DIFF: Slope 1	%	30	30	30	30	30	30
I-DIFF: Slope 2	%	50	50	50	50	50	50

*Tabla 35 Protección Distancia (21) Relé MICOM P543*

Parámetro	Cuenca-La Paz	La Paz-Cuenca	La Paz-Yanacocha	Yanacocha-La Paz
Z 1:Z reach (Ohm)	25.23	25.23	31.22	31.22
Z 1:R resistance (Ohm)	20.00	60.00	35.00	30.00
Z 1: Relay Angle (deg)	70	70	70	70
Z 1:Operate delay (s)	0.00	0.00	0.00	0.00
Z 2:Z reach (Ohm)	37.85	37.85	42.92	46.82
Z 2:R resistance (Ohm)	20.00	60.00	55.00	30.00
Z 2: Relay Angle (deg)	70	70	70	70
Z 2:Operate delay (s)	0.40	0.40	0.40	0.40

Z 3:Z reach (Ohm)	55.00	55.00	60.00	68.00
Z 3:R resistance (Ohm)	20.00	60.00	55.00	30.00
Z 3: Relay Angle (deg)	70	70	70	70
Z 3:Operate delay (s)	0.80	0.80	0.80	0.80

*Tabla 36 Protección Distancia (21N) Relé MICOM P543*

Parámetro	Cuenca-La Paz	La Paz-Cuenca	La Paz-Yanacocha	Yanacocha-La Paz
Z 1:Z reach (Ohm)	25.23	25.23	31.22	31.22
Z 1:R resistance (Ohm)	20.00	30.00	30.00	30.00
Z 1: Relay Angle (deg)	70	70	70	70
Z 1:Operate delay (s)	0.00	0.00	0.00	0.00
Z 1:K0	0.75	0.75	0.75	0.75
Z 1:Angle (K0)	5.85	5.85	5.85	5.85
Z 2:Z reach (Ohm)	37.85	37.85	42.92	46.82
Z 2:R resistance (Ohm)	20.00	60.00	60.00	30.00
Z 2: Relay Angle (deg)	70	70	70	70
Z 2:Operate delay (s)	0.40	0.40	0.40	0.40
Z 2:K0	0.75	0.75	0.75	0.75
Z 2:Angle (K0)	5.85	5.85	5.85	5.85
Z 3:Z reach (Ohm)	55.00	55.00	70.00	60.00
Z 3:R resistance (Ohm)	20.00	60.00	60.00	30.00
Z 3: Relay Angle (deg)	70	70	70	70
Z 3:Operate delay (s)	0.80	0.80	0.80	0.80
Z 3:K0	0.75	0.75	0.75	0.75
Z 3:Angle (K0)	5.85	5.85	5.85	5.85

*Tabla 37 Protección Distancia (21/21N) Relé SIEMENS*

Parámetro	La Paz-Uchucay	Uchucay-La Paz
Z 1:X reach (Ohm)	8.80	8.80
Z 1: R resistance (Ohm)	20.00	20.00
Z 1: R resistance (ph-E) (Ohm)	20.00	20.00
Z 1:Operate delay (s)	0.00	0.00
Z 1: Relay Angle (deg)	75	75
Z 1:Re/RI	0.53	0.53
Z 1: Xe/XI	0.51	0.51
Z 2:X reach (Ohm)	13.20	13.20
Z 2: R resistance (Ohm)	20.00	20.00
Z 2: R resistance (ph-E) (Ohm)	20.00	20.00
Z 2:Operate delay (s)	0.40	0.40
Z 2: Relay Angle (deg)	75	75
Z 2:Re/RI	0.53	0.53
Z 2: Xe/XI	0.51	0.51
Z 3:X reach (Ohm)	22.00	42.50
Z 3: R resistance (Ohm)	20.00	20.00

Z 3: R resistance (ph-E) (Ohm)	20.00	20.00
Z 3: Operate delay (s)	0.80	0.80
Z 3: Relay Angle (deg)	75	75
Z 3: Re/RI	0.53	0.53
Z 3: Xe/XI	0.51	0.51

*Tabla 38 Protección Sobrecorriente (67N)*

Parámetro	Cuenca-La Paz	La Paz-Cuenca	La Paz-Yanacocha	Yanacocha-La Paz	La Paz-Uchucay	Uchucay-La Paz
Pick up (A)	240	160	160	240	240	72
Type of character. curve	IEEE Very Inverse	IEEE Moderately Inverse	IEEE Moderately Inverse	IEEE Very Inverse	ANSI Very Inverse	ANSI Very Inverse
Time dial	0.70	0.35	0.50	0.45	4.50	3.00

*Tabla 39 Protección Sobrecorriente (50/51-50/51N-67/67N)*

Función	Parámetro	TR Uchucay 138 kV	H01	H02	H03	H04	H05	H06
PHASE	Pick up (A)	252	100	352	352	1008	352	352
	Type of character. curve	ANSI Inverse	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Very Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.
	Time dial	2.00	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00
	Instantáneo (A)	OFF	OFF	6000	4900	OFF	4600	5600
	Direction	None	None	Forward	Forward	None	Forward	Forward
EARTH	Pick up (A)	75.6	30	104	104	300	104	104
	Type of character. curve	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.	ANSI Ext. Inv.
	Time dial	12.00	2.00	2.00	2.00	1.50	2.00	2.00
	Instantáneo (A)	OFF	OFF	3000	3000	OFF	2760	3480
	Direction	None	None	Forward	Forward	None	Forward	Forward

*Tabla 40 Protección Sobrecorriente Transformador Uchucay (51G)*

Función	Parámetro	TR Uchucay 138 kV
51G	Pick up (A)	75.6
	Type of character. curve	ANSI Ext. Inv.
	Time dial	12.00
	Instantáneo (A)	OFF

## CONCLUSIONES

Se redactan los puntos más sobresalientes, descubiertos durante la ejecución del trabajo de investigación.

1. Todos los ajustes están dados en valores primarios para que en base a los TC's y TP's instalados se definan los ajustes a ser ingresados en los distintos relés de protección.
2. La función de recierre (79) a nivel de 138kV, será activada en caso los estudios dinámicos demuestren que el sistema eléctrico no experimenta condiciones de oscilación de potencia que pongan en riesgo el sistema, o puedan ocasionar la pérdida de sincronismo del mismo, y que además los niveles de sobretensión transitoria previstos durante una operación no excedan los rangos de diseño de los equipos que se localizan en el sitio de influencia. A nivel de 34.5kV no se recomienda habilitar la función de recierre debido a la presencia de cables subterráneos y aéreos, las fallas en cables subterráneos son predominantemente de tipo permanentes.
3. Los ajustes de la protección de los alimentadores de 34.5kV deben verificarse en base a los ajustes del sistema colector del PEMH de manera que los tiempos de actuación de protecciones sean adecuados.
4. Debido a que el aporte de falla a tierra desde la S/E Uchucay es débil, para que en caso de una falla a tierra en la Línea Uchucay-La Paz se posibilite una desconexión rápida en ambos extremos de la línea, se debe configurar la función Eco y la función (DFD = Disparo por Fuente Débil).
5. La conexión del Proyecto Eólico Minas de Huascachaca no representa afectación a la operación normal del Sistema Nacional de Transmisión. Esta ya que las condiciones operativas registran niveles de voltaje y cargabilidad que cumplen con los límites establecidos.
6. Ante la desconexión de las líneas Cuenca – La Paz, La Paz – Yanacocha y Cuenca – Yanacocha, el SNT pasaría a operar con sobrecarga en las líneas que quedan operativas durante la contingencia. Sin embargo, este comportamiento ocurre con o sin la conexión del PEMH, debido principalmente a la gran cantidad de generación existente en la zona sur del país.
7. Para el año 2024, las contingencias N-1 no provocan sobrecargas en el sistema puesto que el futuro enlace Cumbaratza – Bomboiza a 230 kV daría un camino alterno a los flujos de potencia en dicha zona del país.
8. El aporte a las corrientes de cortocircuito de las unidades de generación del PEMH ocurrirá sólo durante cortocircuitos trifásicos debido a las características constructivas de los equipos indicada por el fabricante. Las corrientes de cortocircuito en la barra de conexión del proyecto, la subestación La Paz, a 138 kV registran un incremento máximo de hasta 0,44 kA. La corriente de cortocircuito subtransitoria, en dicho nodo de conexión, podrá alcanzar un valor máximo de 3,92 kA y la potencia de cortocircuito podrá alcanzar un valor máximo de 937,27 MVA.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda actualizar los diagramas unifilares de protecciones de la subestación Uchuca y ya que se encuentran diferencias con los planos de control de las Celdas de 34.5kV que fueron entregados al final de este estudio.
2. Se recomienda realizar la parametrización de los relés de las subestaciones para el ingreso del PEMH tomando como referencia este estudio.
3. Se debe tener una alta importancia a la hora de crear la comunicación entre los relés en el software Digsy con la aplicación IEC 61850 station, para ello siempre se debe programar con alta precisión el envío y recepción de mensajes GOOSE por lo hecho que se presente una contingencia, se jerarquiza la actuación de los relés involucrados para el despeje de la misma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., & Asqui, J. (2018). *ANÁLISIS DE CONTINGENCIAS MEDIANTE FACTORES DE SENSIBILIDAD*. Guayaquil.
- Anchundia, J., Chere, B., & Martinez, A. (Noviembre de 2019). Estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software digsilent power factory. *Dominio de las Ciencias*, 5(4), 323-340.
- ARCONEL, A. d. (03 de 12 de 2015). *ARCONEL-Ecuador*. Obtenido de ARCONEL-Ecuador: [www.regulacionelectrica.gob.ec](http://www.regulacionelectrica.gob.ec)
- Arroyo, J., & Guadarrama, E. (2018). *Protecciones Electricas en Subestacion San Francisco*. Distrito Federal .
- Avila M., P. F. (2018). *Analisis del costo del ciclo de vida para determinar los factores mas influyentes en la operacion y mantenimiento en un aerogenerador caso Proyecto Eolico Minas de Huasachaca*. Cuenca.
- Calle T., H. W., & Espinoza G., J. E. (2016). *“DISEÑO DE LA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN OCAÑA I, PARA LA INTEGRACIÓN DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA I – OCAÑA II (LA UNIÓN) – LA TRONCAL 69 KV, E INCORPORACIÓN AL SCADA”*. Cuenca.
- CELEC. (2015). Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/>
- Chapman, S. J. (s.f.). *Máquina Eléctricas*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Cruz, R. (2018). *Modelamiento, sincronizacion y sintonizacion del sistema de protecciones electricas de la red de subtransmision de la provincia de Manabi*. Quito.
- Cuauhtli, D., & Sánchez, F. (2009). *Estudio del ajuste y operación de la aplicación del relevador SEL-300G Aplicado a un generador síncrono*. Mexico D.F.: s.e.
- De la Mora, L. (2017). *Manual de Operacion de la Subarea de control Metropolitana* . Guadalajara.
- ELECAUSTRO. (2020). *Proyecto Eólico Minas de Huasachaca*. Cuenca: ELECAUSTRO.
- ELECTRIC, S. (2011). *Generator protection realy*. Francia.
- Electricidad. (2020). Los criterios de diseño para sistemas de control y protecciones. *Electricidad: revista energetica de Chile*, 1.
- Electro Generadora del Austro. (2020). *UNIDAD DE SUPERVISIÓN DE PROYECTOS*.
- Electro Generadora del Austro. (2020). *UNIDAD DE SUPERVISIÓN DE PROYECTOS*. Cuenca: ELECAUSTRO.

- Enriquez, L. (2015). *EMPLAZAMIENTOS EÓLICOS EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO APLICANDO MODELOS MATEMÁTICOS*. Chimborazo.
- Esteves, X. (2019). *ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA SUBESTACIÓN COTACACHI, CONSIDERANDO LA NUEVA FILOSOFÍA DE PROTECCIONES DE EMELNORTE S.A.* . Quito.
- García, J. (2018). *ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN EL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN A 46 KV DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO CONSIDERANDO LA CONEXIÓN EN PARALELO DE LOS TRANSFORMADORES T1 Y T2 DE LA SUBESTACIÓN VICENTINA Y LA PUESTA EN SERVICIO DE LA LÍNEA MIRAFLORES –*. Quito.
- Gorozabel, J. (2019). *ANÁLISIS DE EFECTOS POR LA INTERCONEXIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN TRONCAL (ALIMENTADOR) DE 13,8KV VÍA BUENA FE*. Quevedo, Los Rios.
- Grainger, J., & Stevenson, W. (2001). *Analisis de sistemas de potencia* . Mexico: McGRAW-HILL.
- Guano, X. (2017). *Coordinacion de las Protecciones de Sobrecorriente del Ssistema de Transmision de la empresa electrica Provincial Cotopazi ante el cambio de configuracion de red radial a red en anillo*. Quito.
- Guerron, G. (2015). *INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS*. Obtenido de INSTITUTO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS: [www.geoenergia.gob.ec](http://www.geoenergia.gob.ec)
- Harper, G. E. (2013). *Protección de Instalaciones Eléctricas Industriales y Comerciales*. México: GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Herrera, M. (2015). *Introduccion a los Sistemas Electricos de Potencia. Introduccion a la Ingenieria Mecanica-Electrica*, (págs. 2-10). Juliaca.
- Ingenieria, P. (2020). *Proalt Ingenieria*. Obtenido de <https://www.proalt.es/>
- Lopez, K., & Mariscal, W. (2018). *UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE BANCOS DE CAPACITORES PARA LA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS DE POTENCIA ACTIVA EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MÉTODOS HEURÍSTICOS DE COLONIA DE HORMIGAS Y ALGORITMO GENÉTICO*. Guayaquil.
- Lozada, E., & Pongo, L. (2019). *ESTUDIO DE LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN 22,9 KV PARA LA PLANTA PROCESADORA EN SHANANGO, BELLAVISTA, JAÉN*. Jaén.
- Ly, M. (2016). *Diseño de las instalaciones eléctricas de alta tensión de un parque eólico, incluyendo líneas y cabinas de 20 KV, y subestación de evacuación de 45 KV, 35 MVA*. (Tesis de Maestria), ICAI de la Universidad Pontificia Comillas, Madrid.
- Martinez, L. (2015). *PROTECCION DE SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN VOLUMEN I*.
- Martinez, R. (2020). *Reles DE Proteccion-50-51. Clase de Protecciones*, (págs. 12-15). Guayaquil.

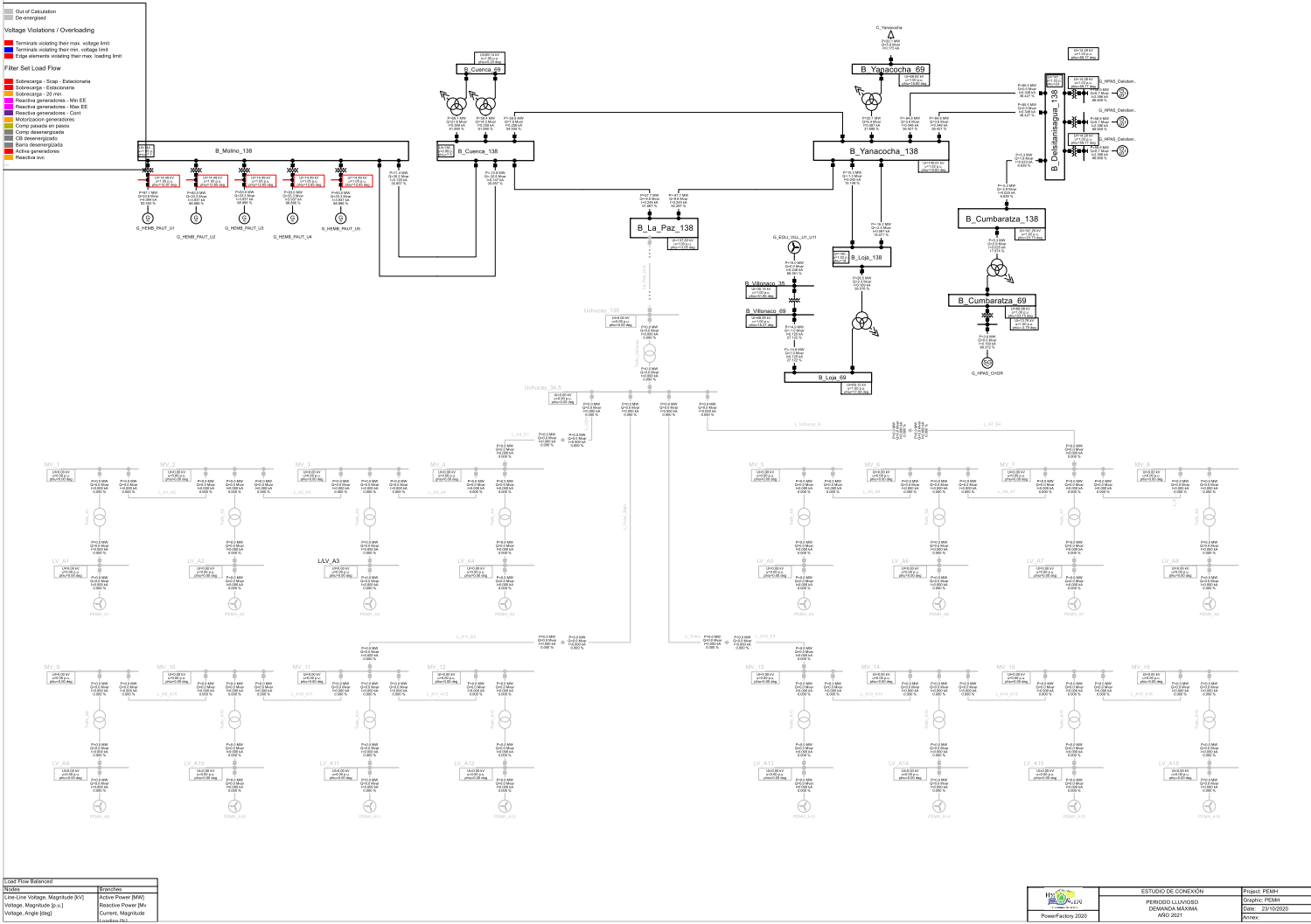
- MEER, M. d. (2016). *Ministerio de Electricidad y energías Renovables MEER*. Obtenido de Ministerio de Electricidad y energías Renovables MEER: <http://historico.energia.gob.ec/>
- Mejía, J., & Hoover, O. (2012). *Estudio para la coordinación de protecciones mediante la selectividad lógica para los centros de fuerza de la central molino, Presa Daniel Palacios y Central Mazar de la empresa Celec Hidropaute*. Cuenca.
- Minero, R. (2010). *PRUEBAS EN MAQUINAS SINCRONAS CONFORME A LA NORMA IEC 34 Y LA IEEE STD. 115*. Costa Rica: s.e.
- Moya, R. (1990). *Curso de capacitación para operadores Central Paute Fase AB Generador Principal*. Cuenca: DONSI-INECEL.
- ORCA., G. D. (2020). *CARACTERIZACIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS*. Caldas.
- Pincay, A., & Ugarte, L. (2016). *Estudio de la Coordinación de Protecciones en base a herramientas computacionales aplicables a la Subestación de Distribución Baba*. Guayaquil.
- Renovables, M. d. (2018). *Plan Maestro de Electricidad*. Quito.
- Rivera, F., & Nicaragua, R. (2017). *Propuesta de Metodología Para el Análisis y Estudio de la Calidad de la Energía Eléctrica*. Managua.
- Rodríguez, P. C. (2014). Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales. *INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO*.
- Sánchez, F. (9 de Agosto de 2018). *PLAN ESTRATÉGICO 2018 - 2021 ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO ELECAUSTRO S.A.* Obtenido de ELECAUSTRO S.A.: [https://www.elecaustro.gob.ec/jdownloads/Ley%20de%20Transparencia/k\\_anexo\\_pei\\_elec\\_austro\\_2018\\_2021.pdf](https://www.elecaustro.gob.ec/jdownloads/Ley%20de%20Transparencia/k_anexo_pei_elec_austro_2018_2021.pdf)
- SIEMENS. (2007). *7SD52/53 Manual C5300-G1178-CI69-2*. España.
- SIEMENS. (2009). *7SJ62/64 Manual C53000-G1178-C207-1*. España.
- SIEMENS. (2009). *7SJ62/64 Manual C53000-G1178-C207-1*. España.
- Subestaciones, P. E. (2019). *Britransformadores*. Obtenido de Britransformadores: [britransformadores.com](http://britransformadores.com)
- VALLADARES, C. L. (2012). *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Vargas, J. (2019). *DETECCIÓN DE FALLAS Y SIMULACIÓN AUTOMÁTICA DE EVENTOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA UTILIZANDO EL SOFTWARE DIGSILENT*. Puno.
- Vargas, M. (2018). *ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE LA ZONA NORTE CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DEL INGRESO EN OPERACIÓN DEL SISTEMA DE 500 kV*. Quito.

Vivas, J. (2017). *Manual power Factory*. Quito.

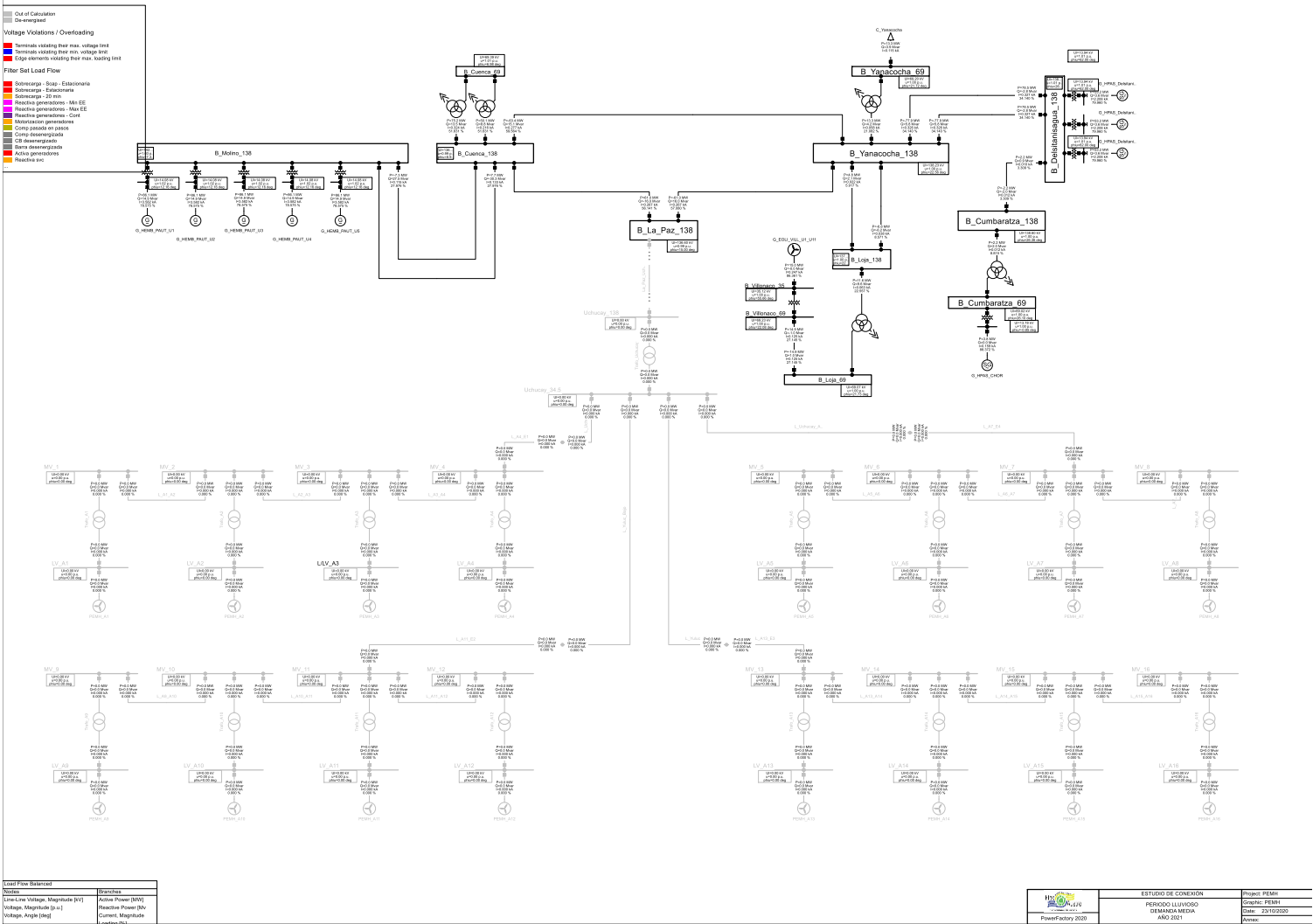
# **ANEXO 1 “SIMULACIÓN FLUJOS DE POTENCIA”**

## **1 Flujos De Potencia – Condiciones Normales – Sin El Proyecto**

# 1.1 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Máxima

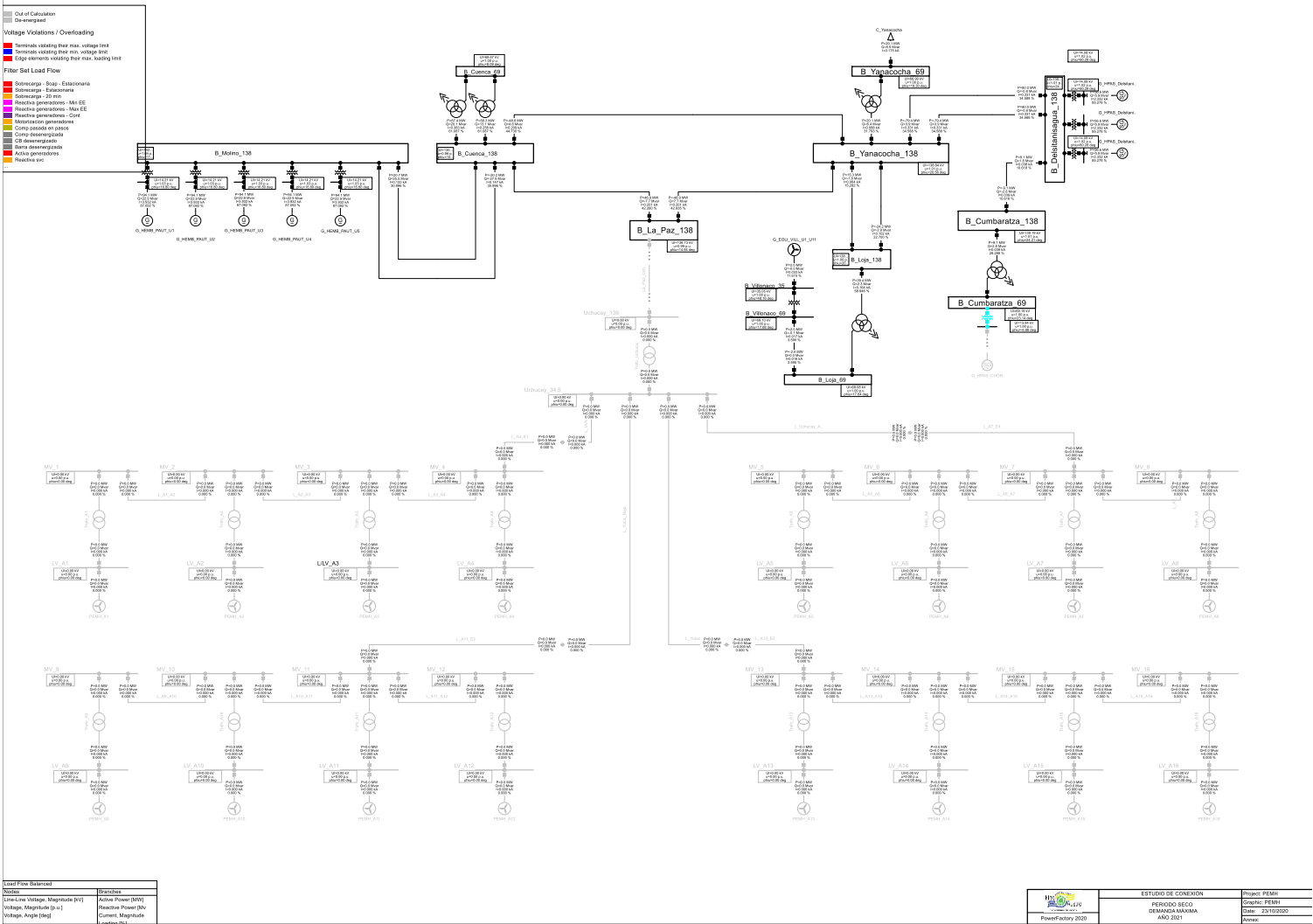


# 1.2 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Media



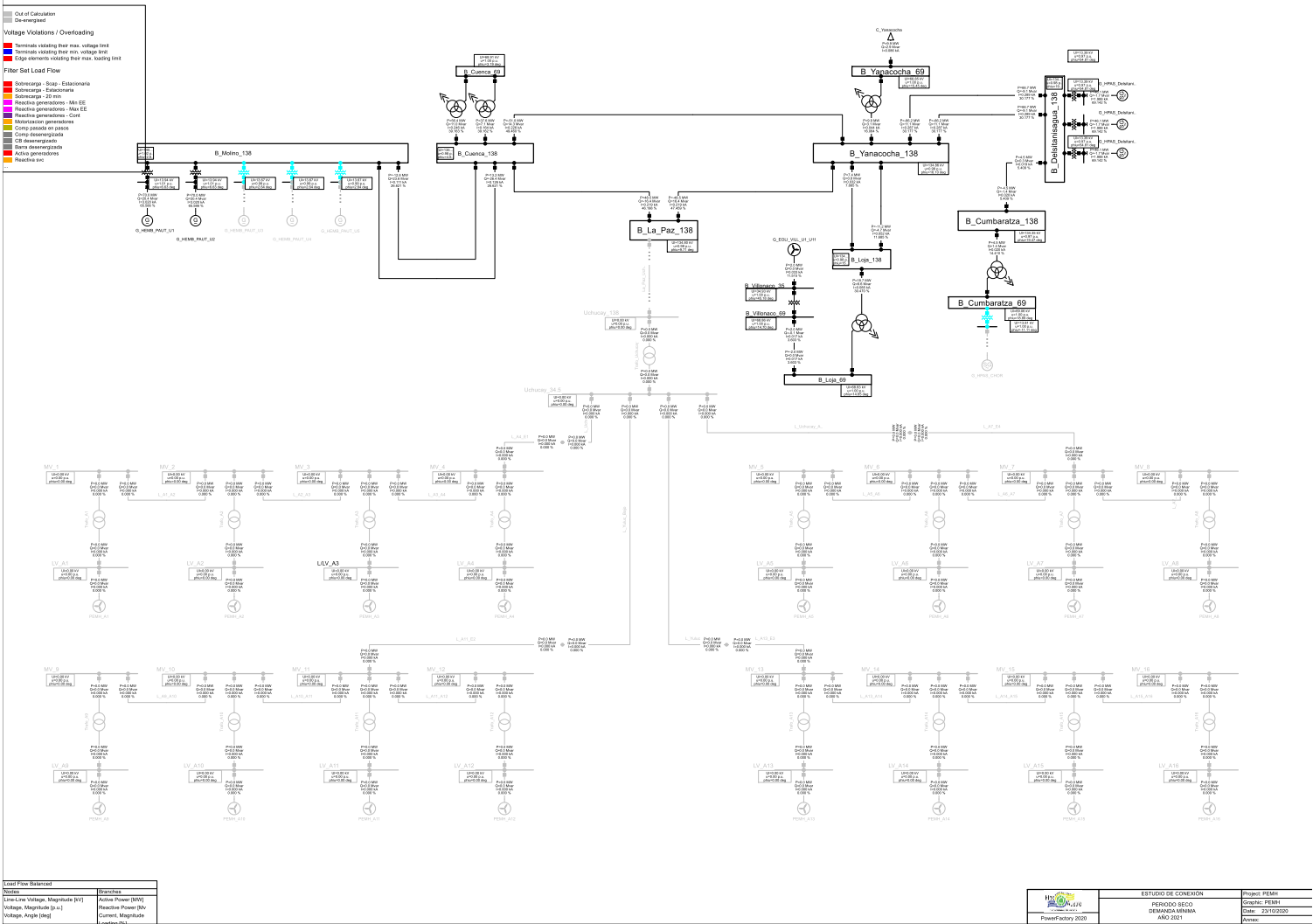


# 1.4 Año 2021 Periodo Seco Demanda Máxima

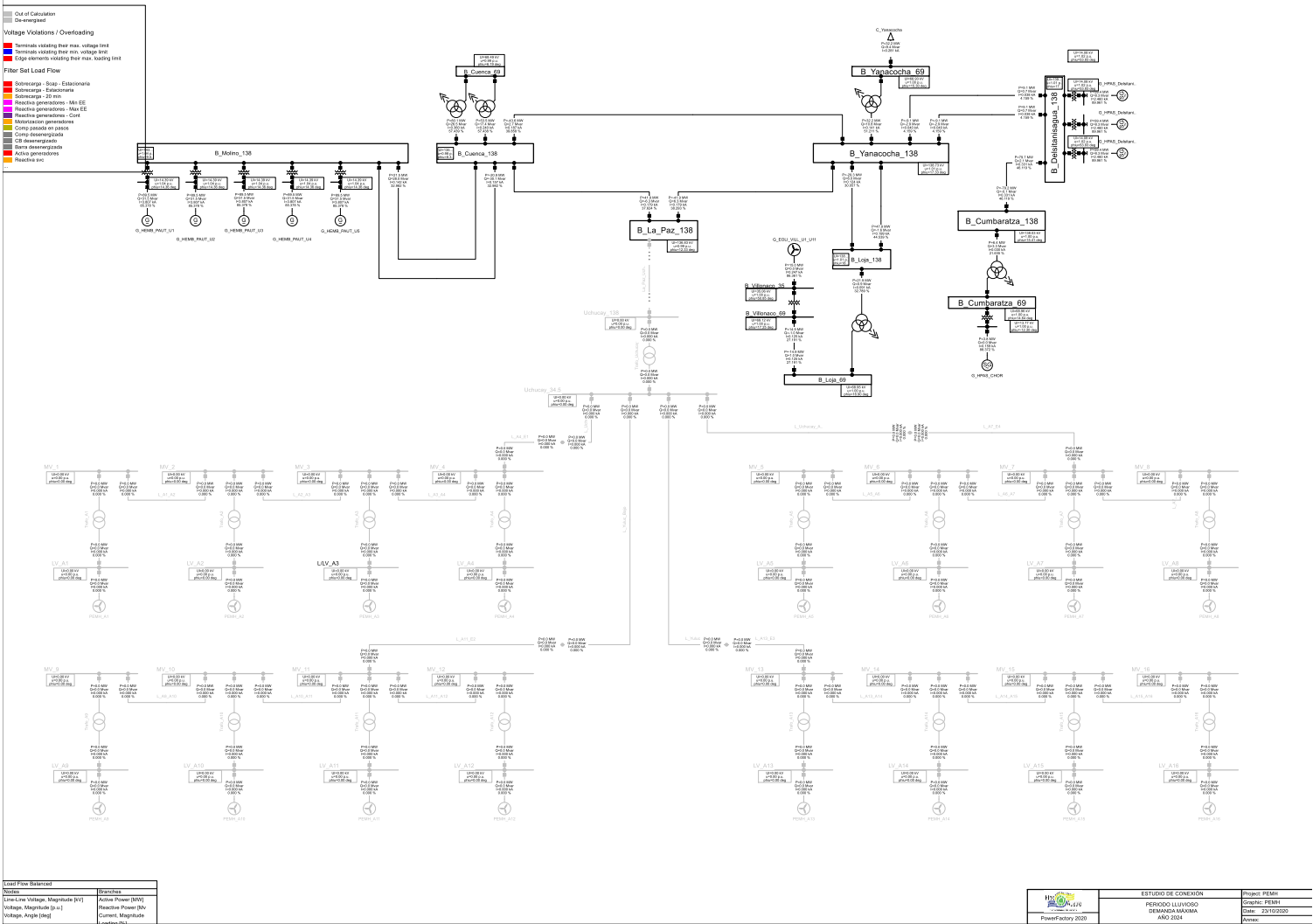




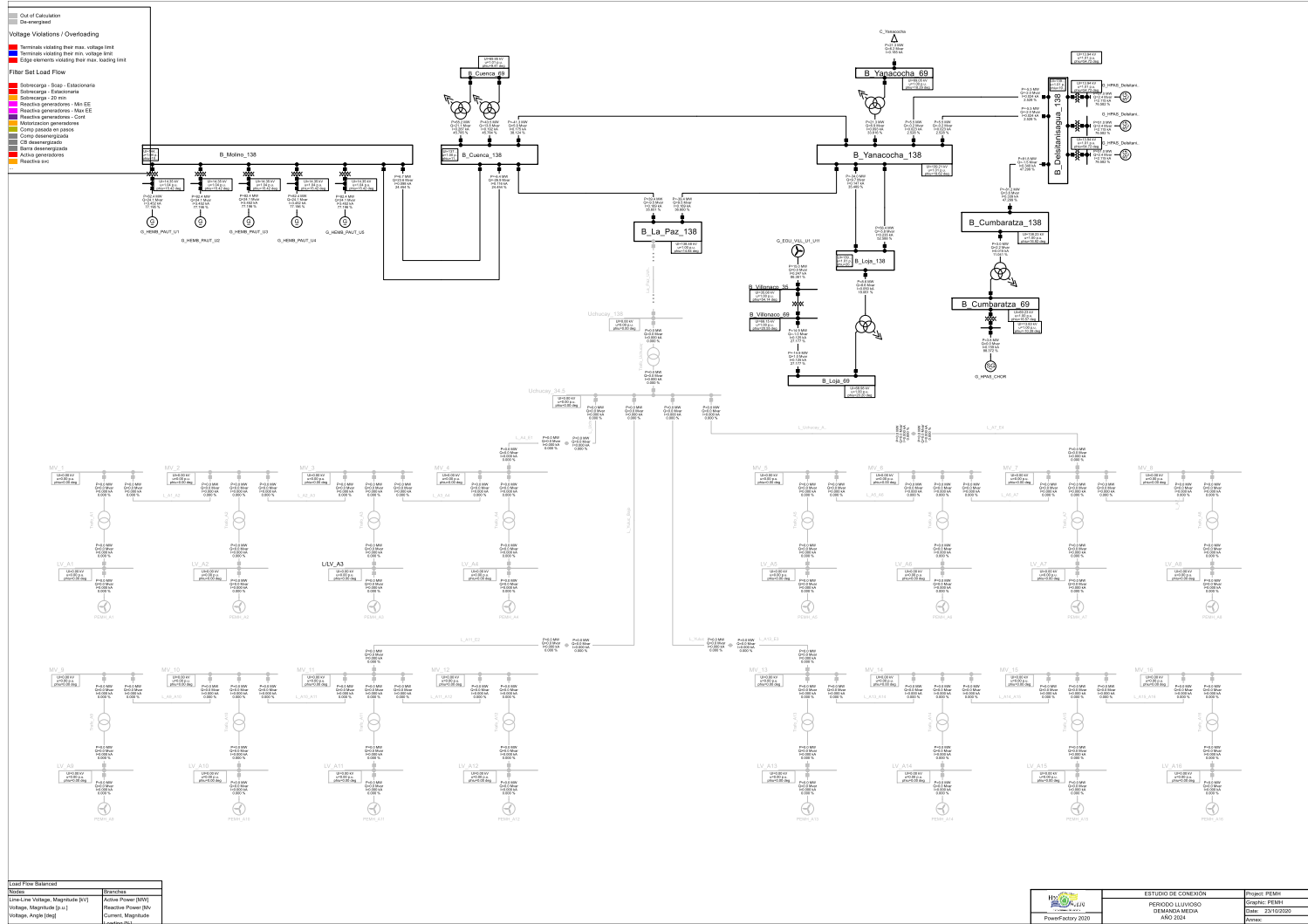
# 1.6 Año 2021 Periodo Seco Demanda Mínima



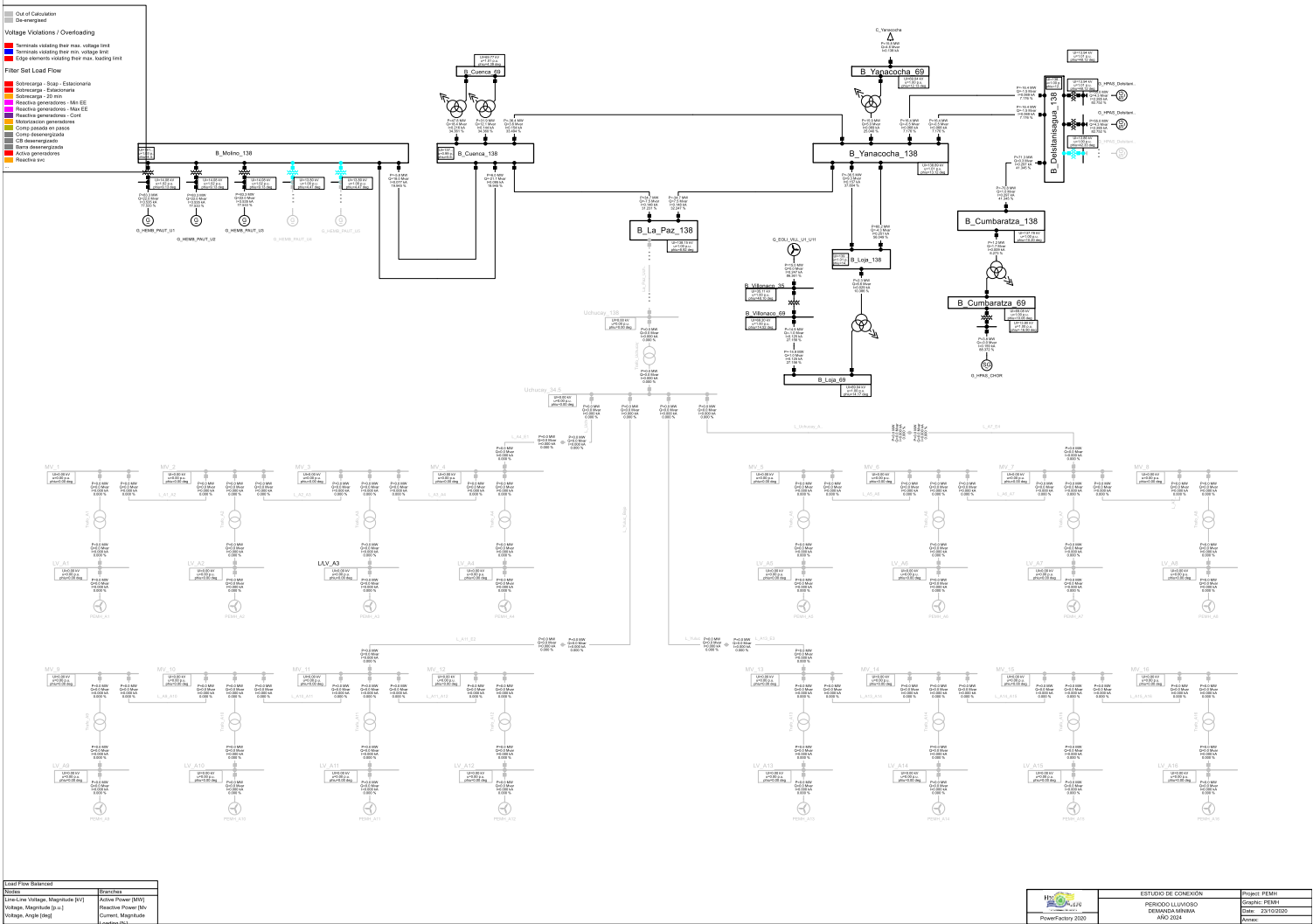
# 1.7 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Máxima



# 1.8 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Media

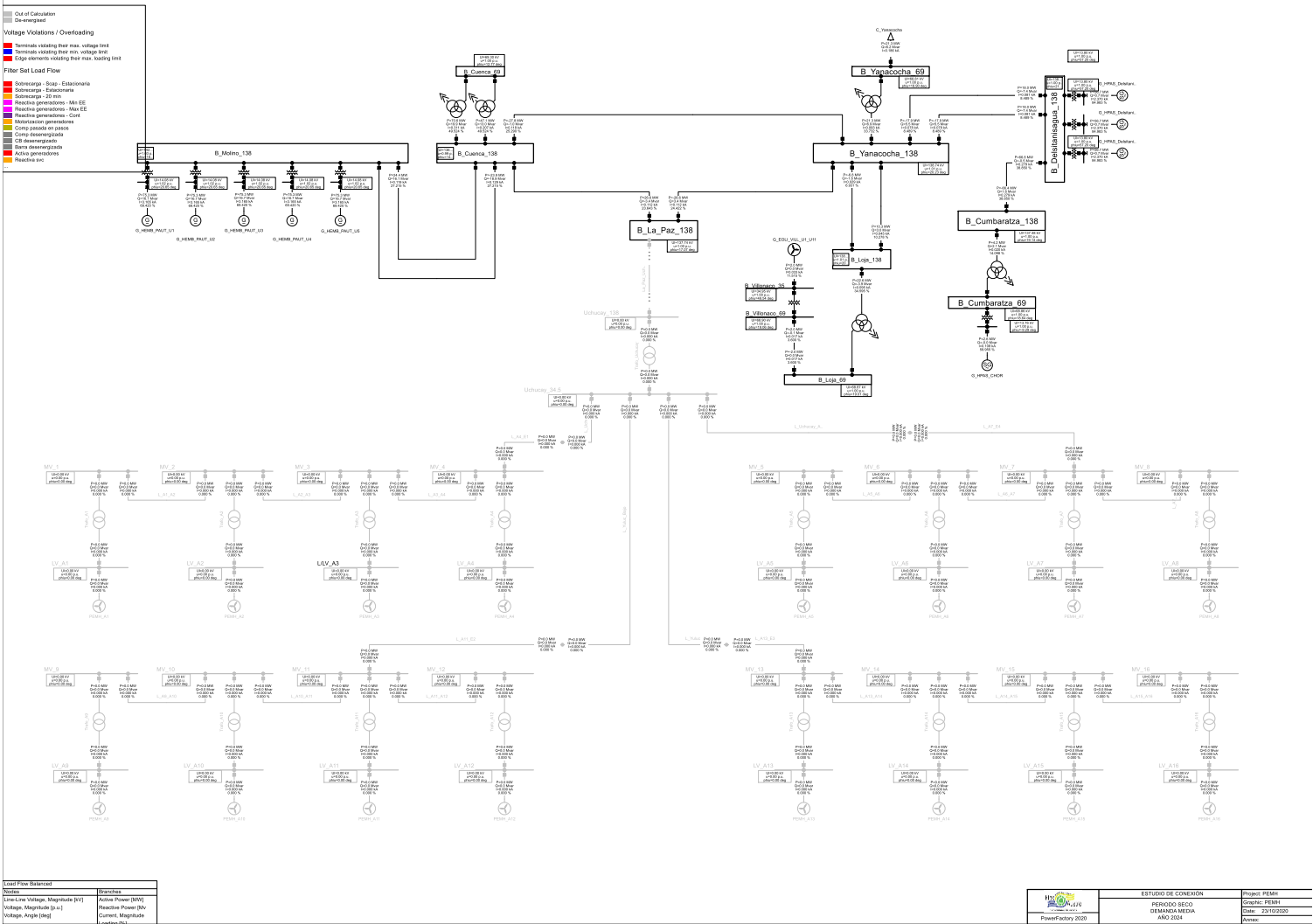


# 1.9 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Mínima





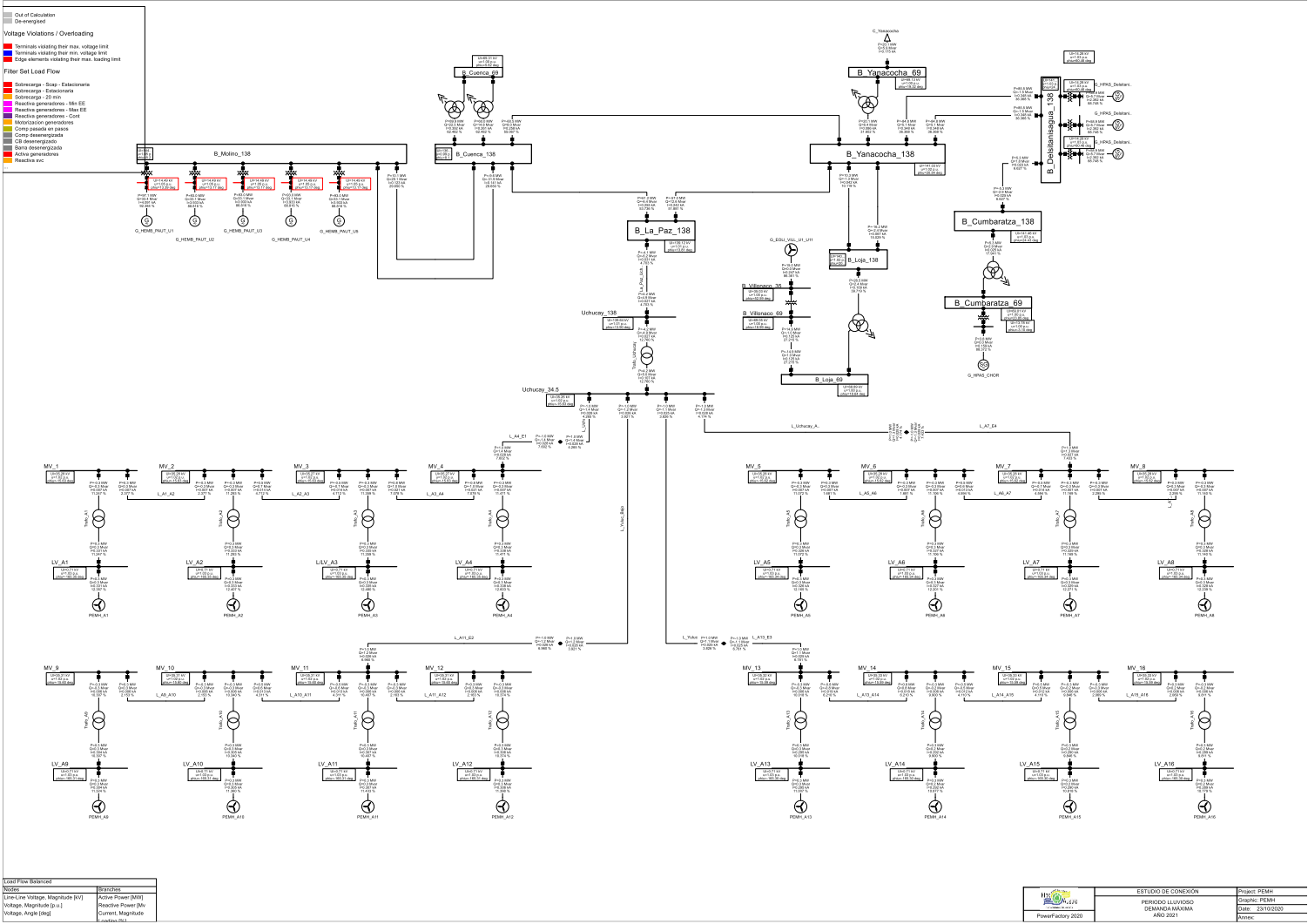
# 1.11 Año 2024 Periodo Seco Demanda Media



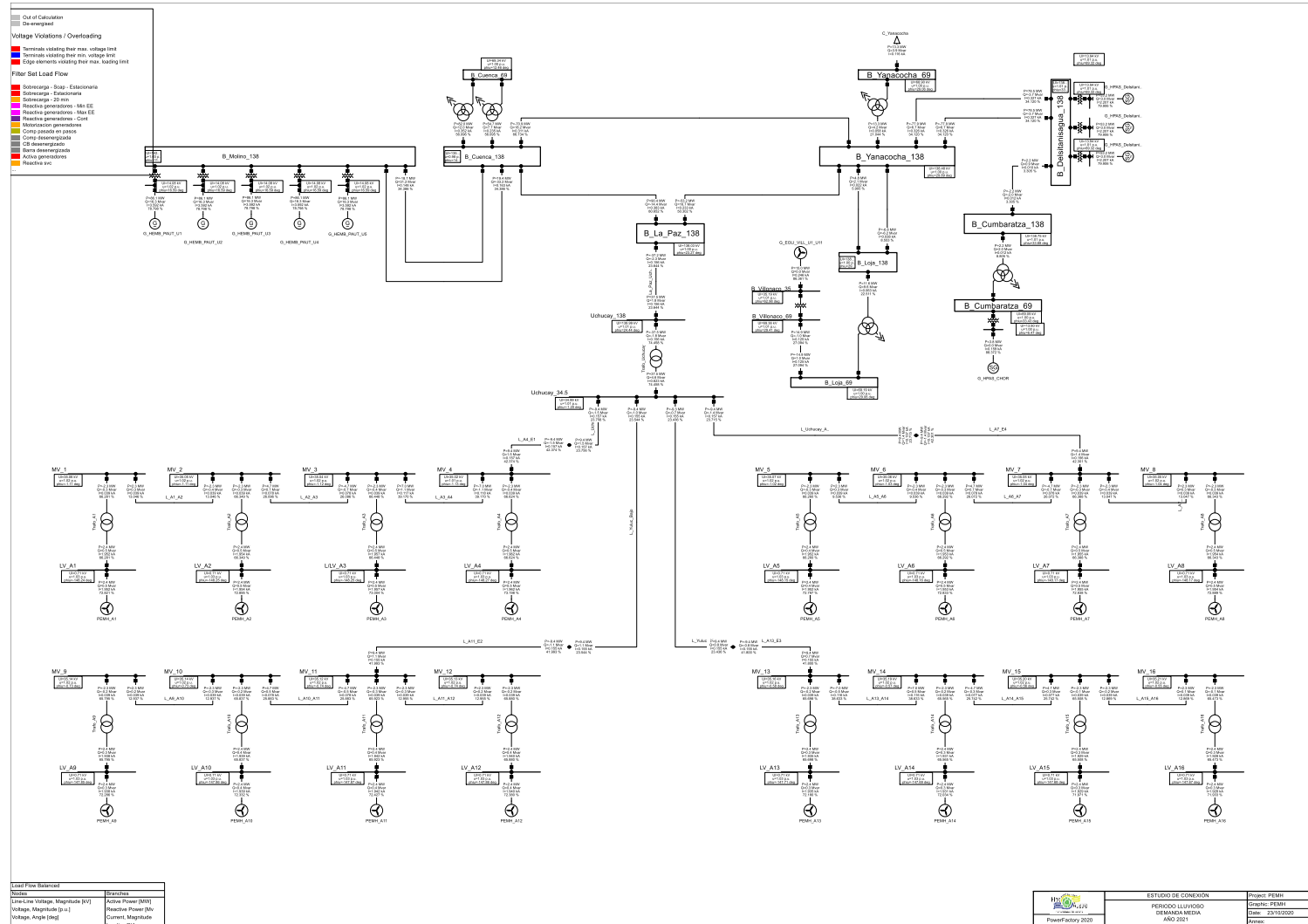


## **2 Flujos De Potencia – Condiciones Normales – Con El Proyecto**

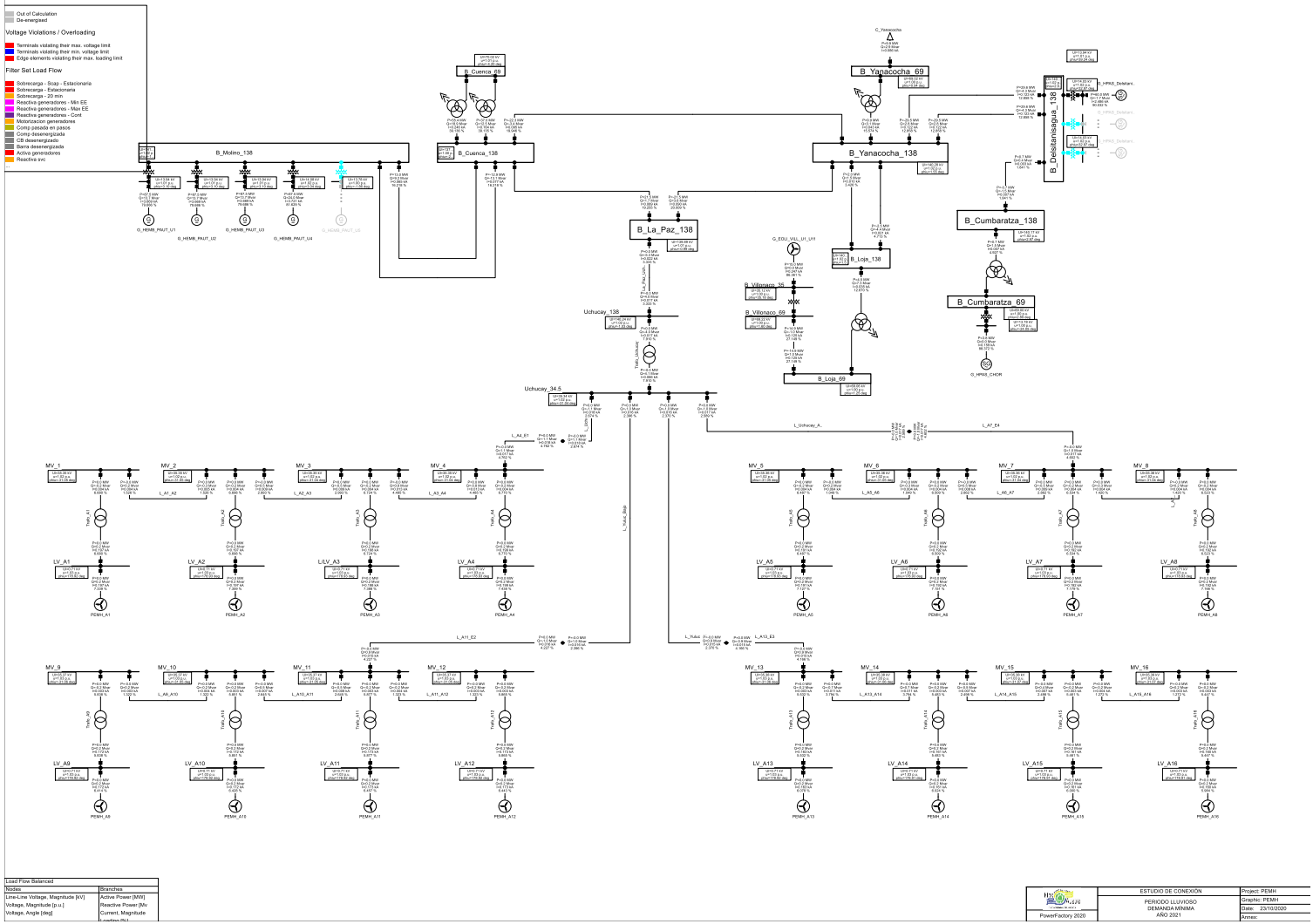
# 2.1 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Máxima



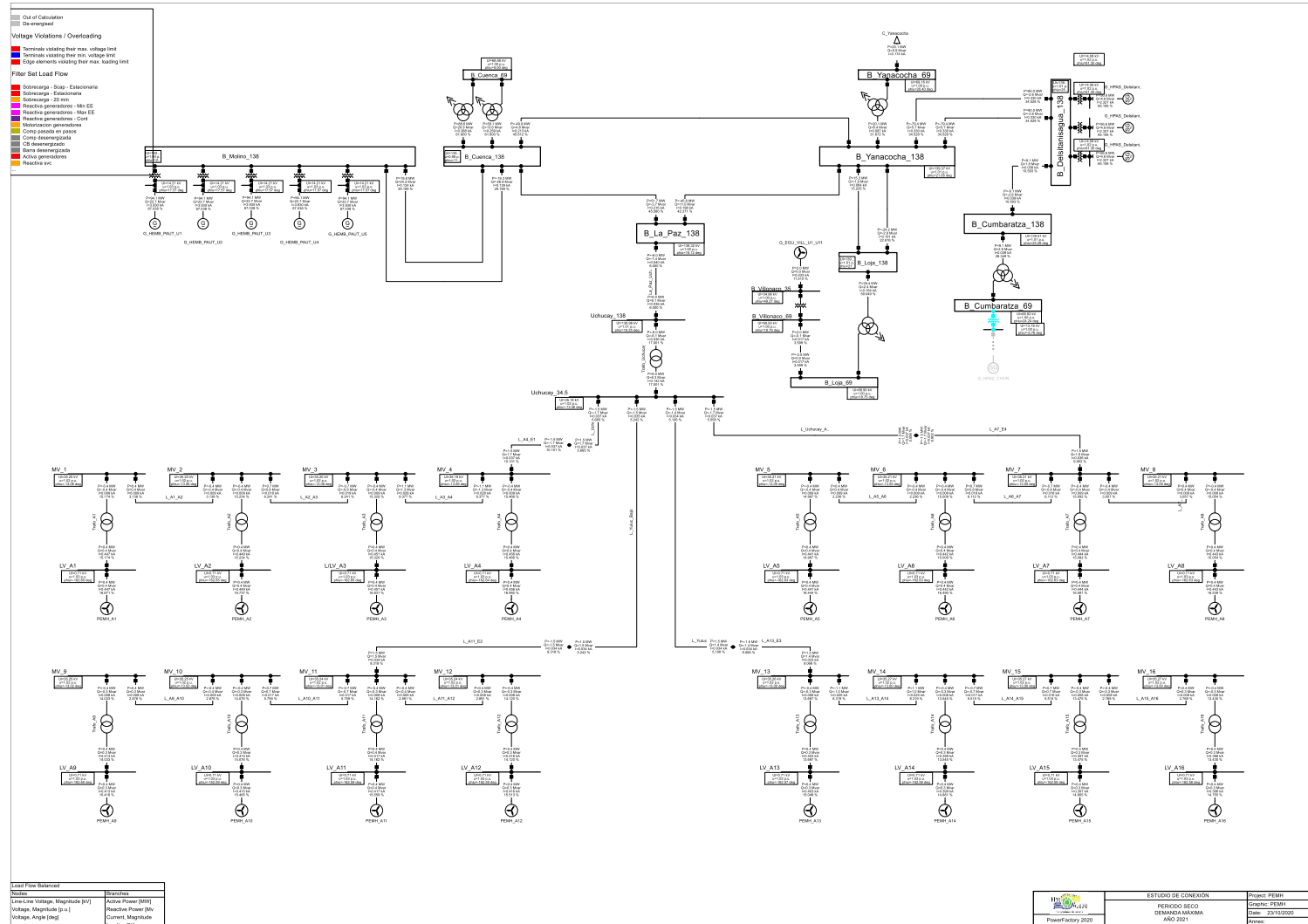
## 2.2 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Media



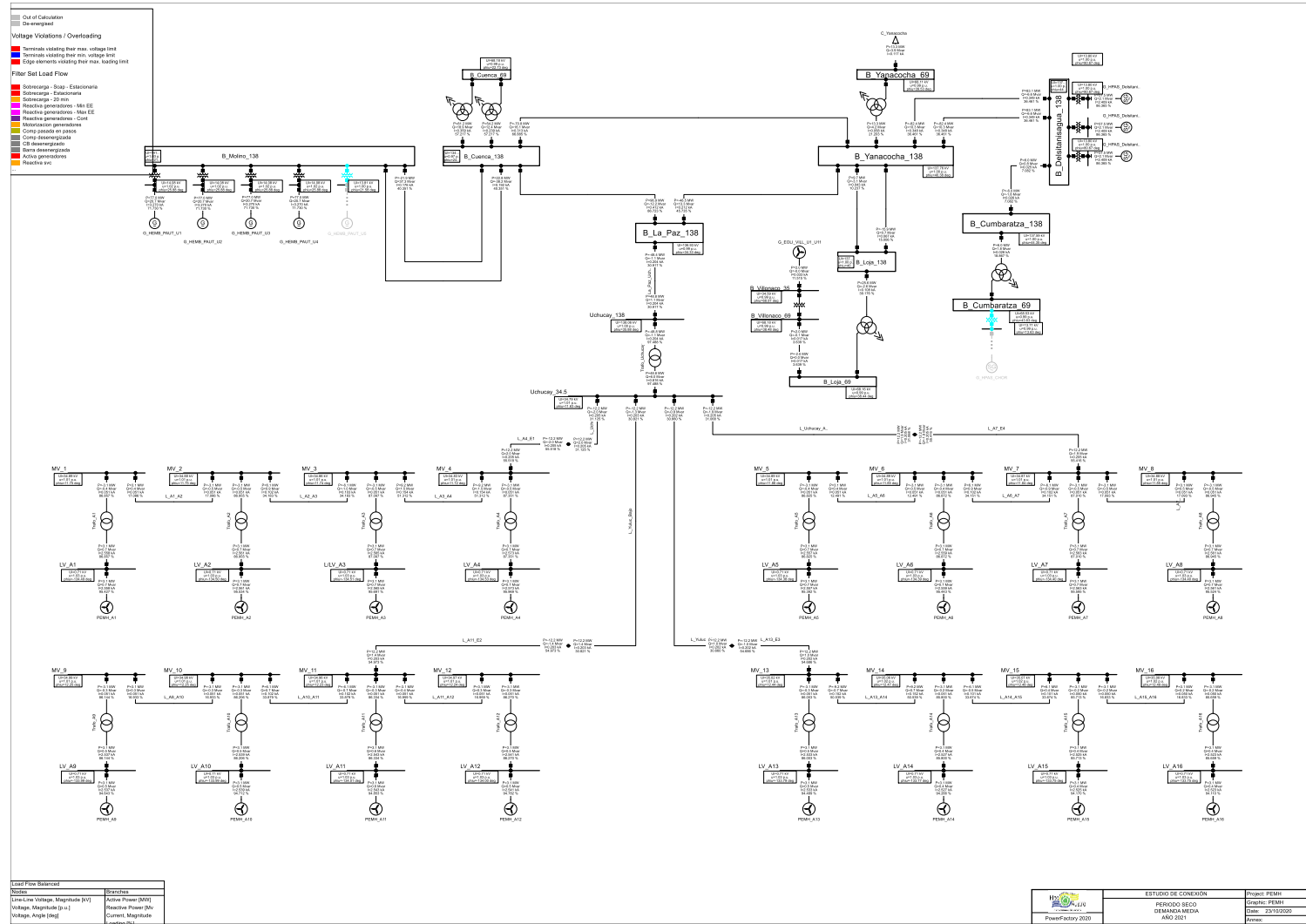
## 2.3 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Mínima



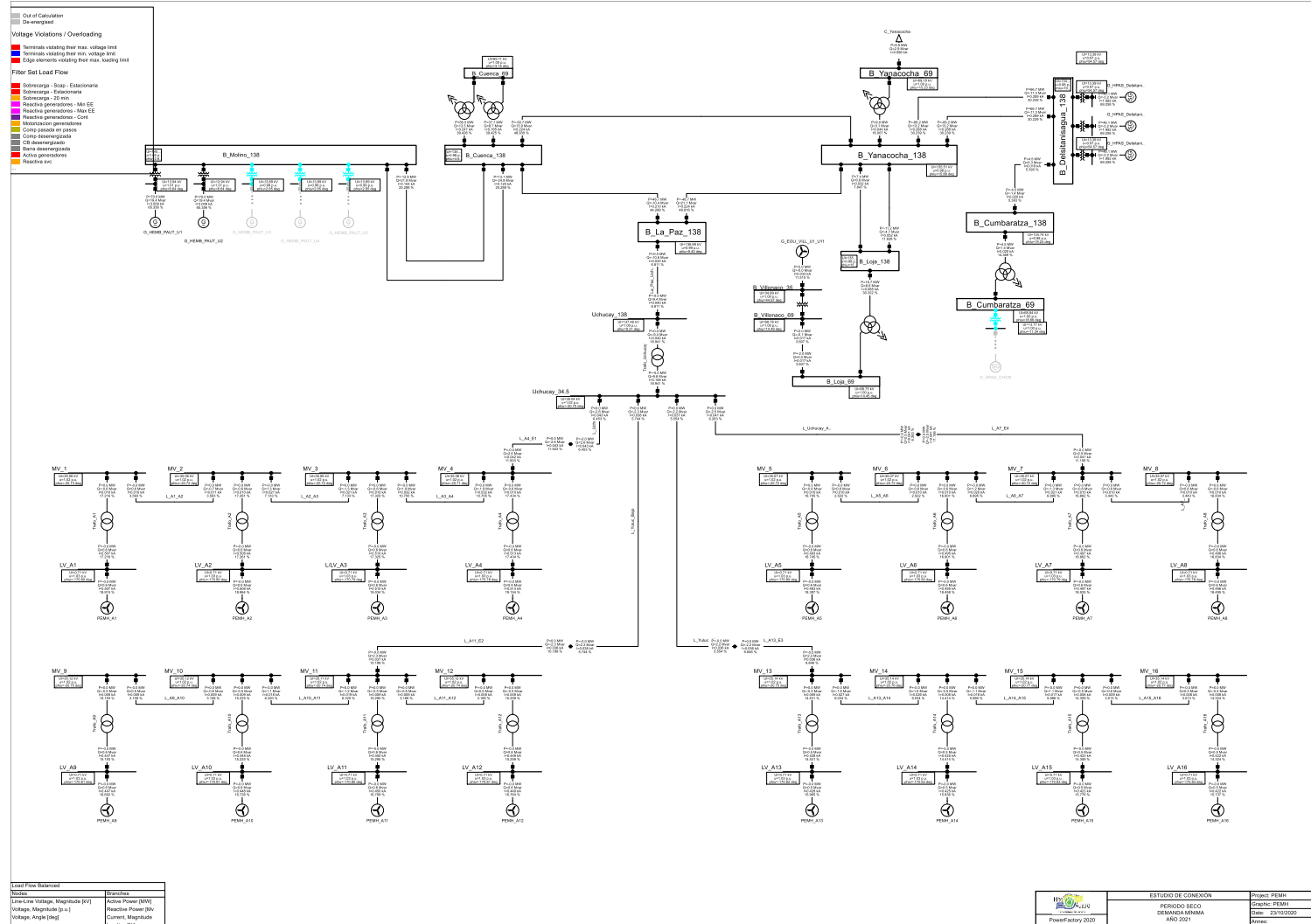
## 2.4 Año 2021 Periodo Seco Demanda Máxima



## 2.5 Año 2021 Periodo Seco Demanda Media

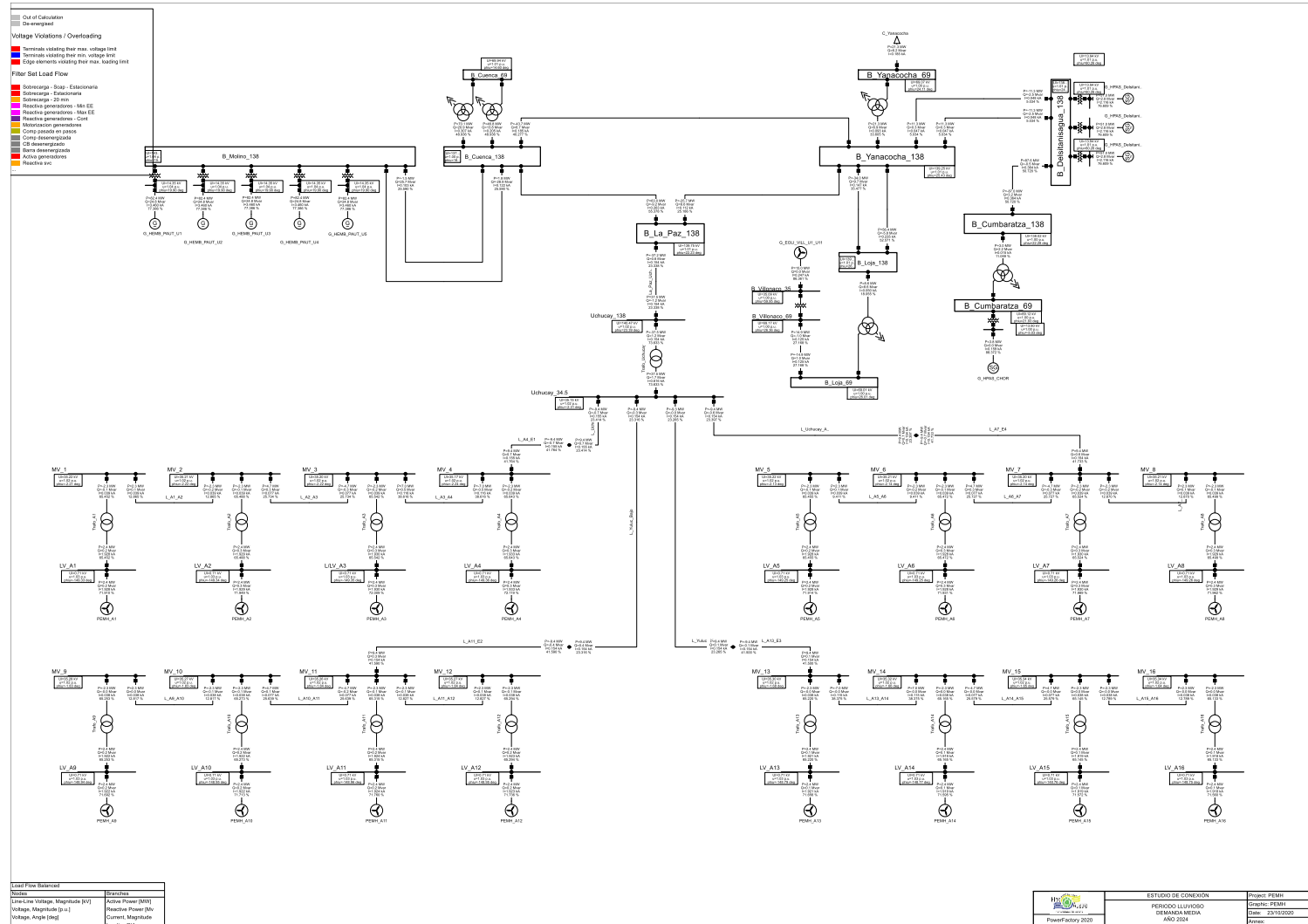


## 2.6 Año 2021 Periodo Seco Demanda Mínima

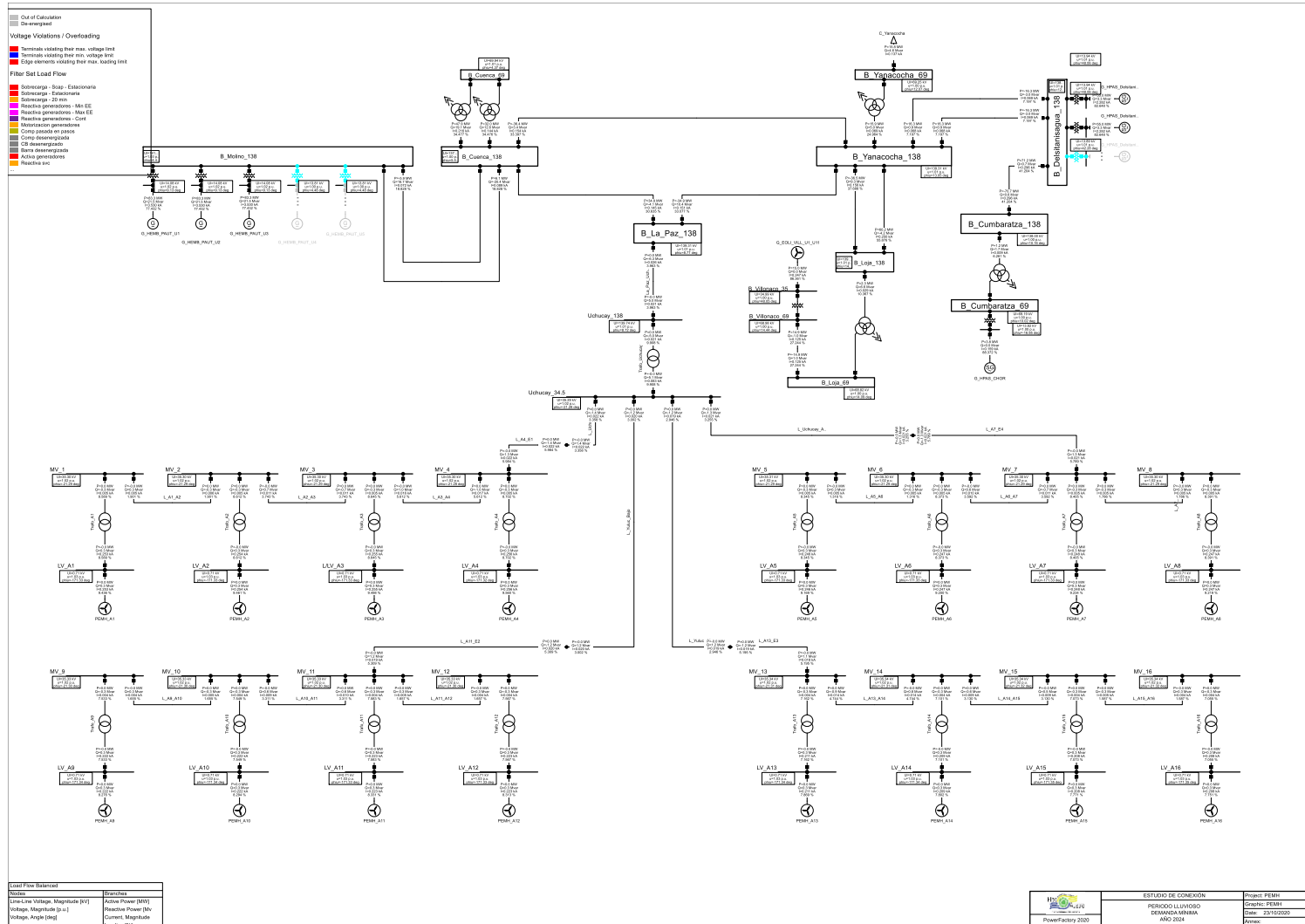




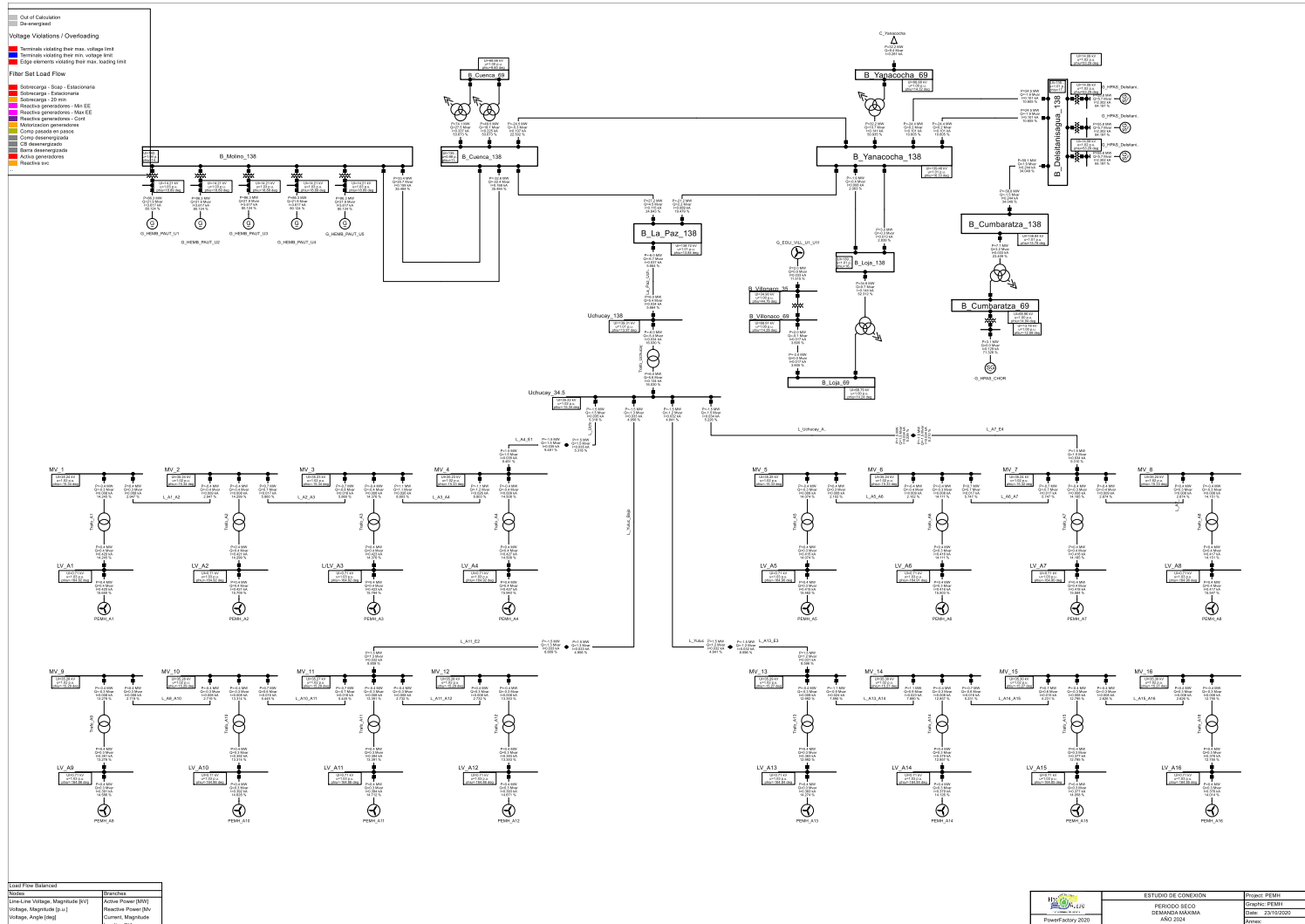
## 2.8 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Media



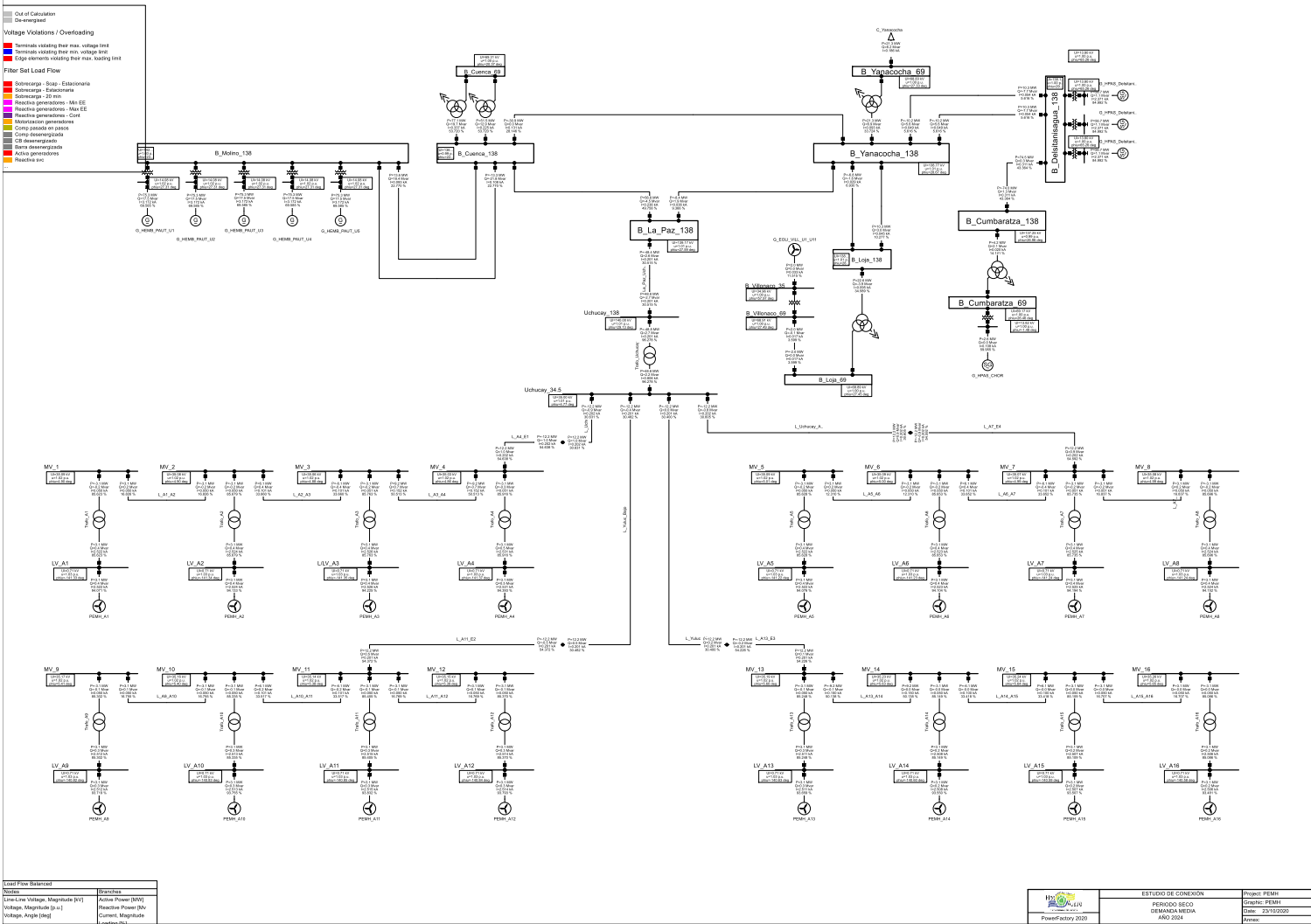
## 2.9 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Mínima



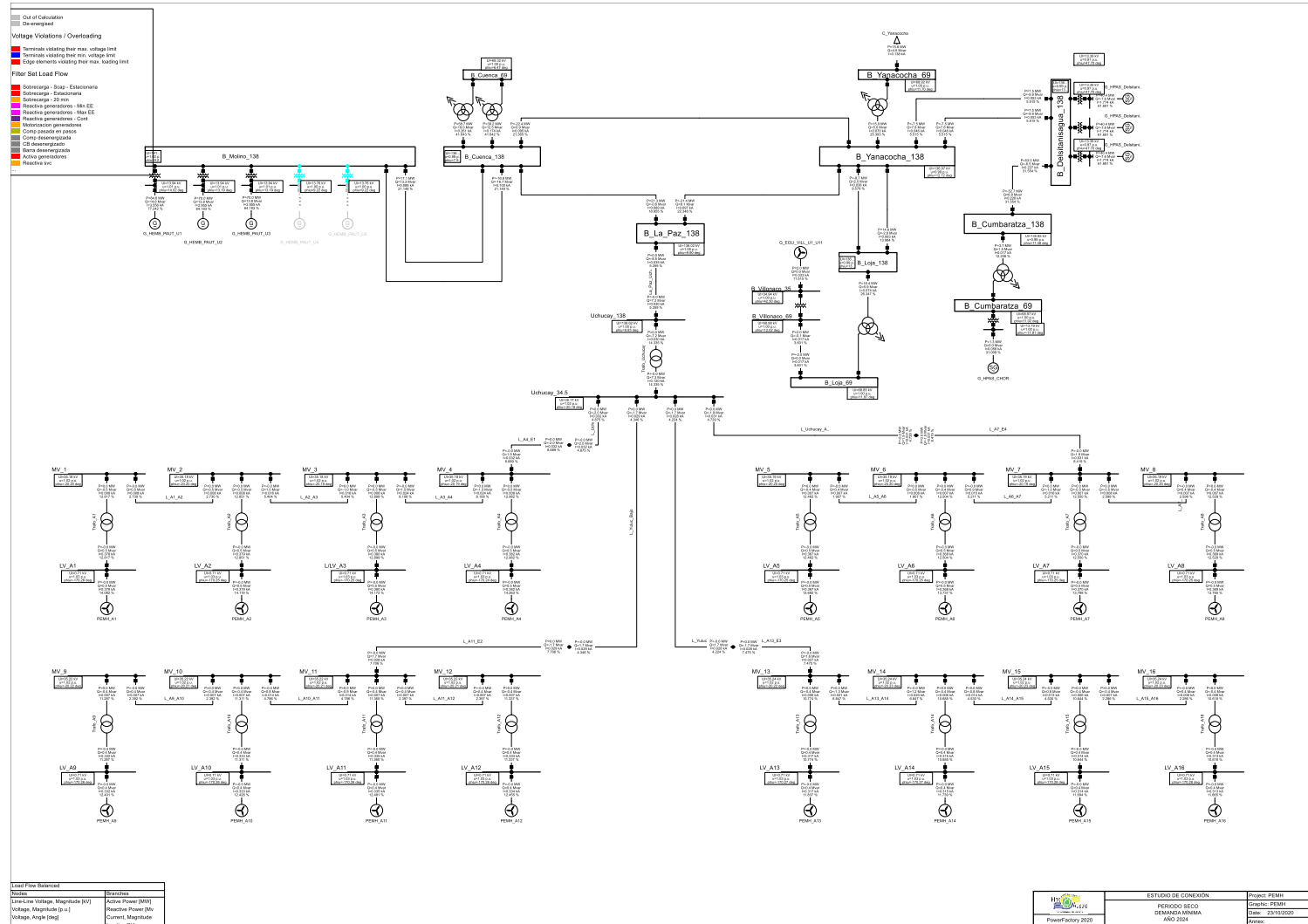
## 2.10 Año 2024 Periodo Seco Demanda Máxima



# 2.11 Año 2024 Periodo Seco Demanda Media

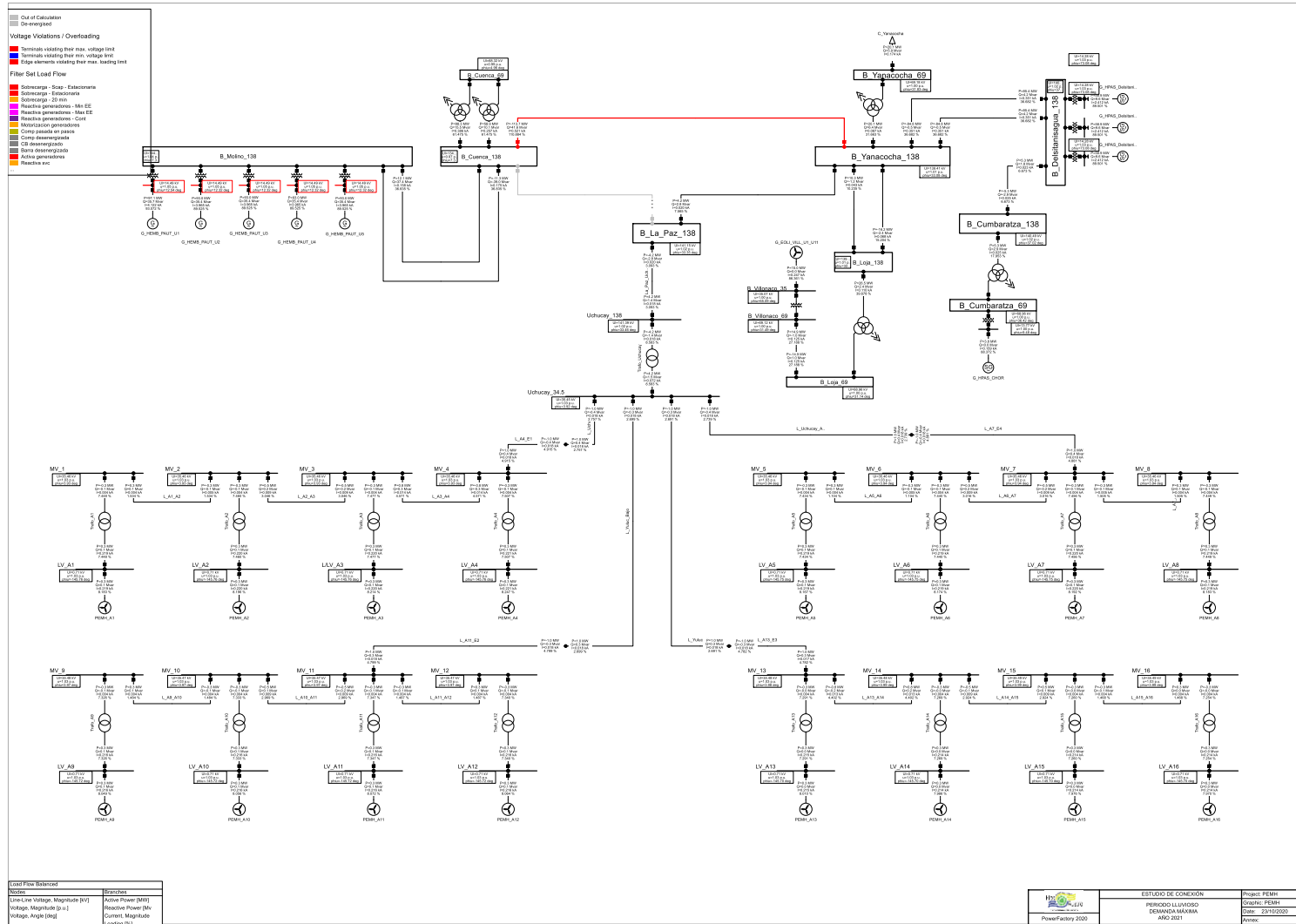


## 2.12 Año 2024 Periodo Seco Demanda Mínima

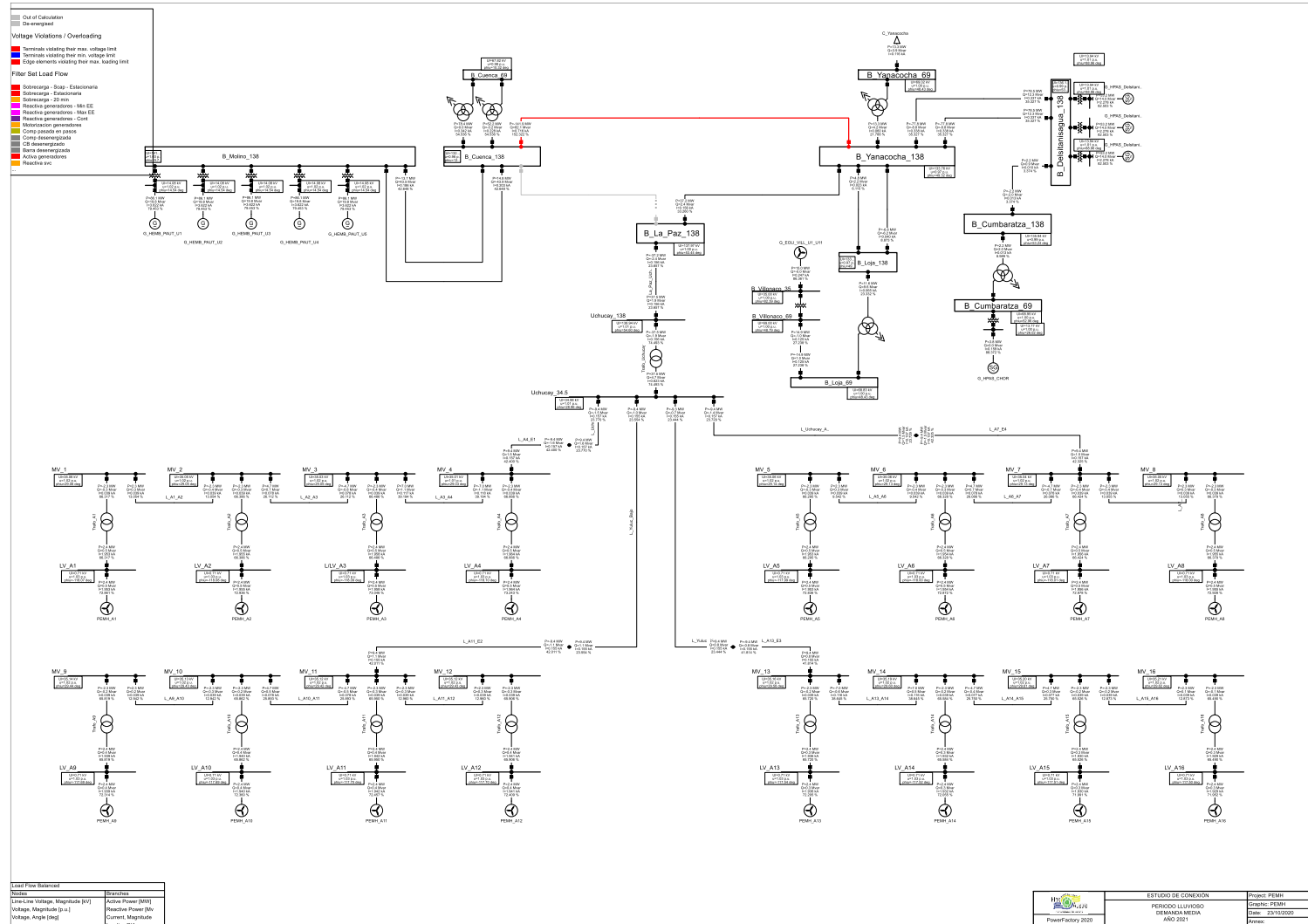


### **3 Contingencia 1: Desconexión De La Línea De Transmisión La Paz – Cuenca 138 Kv**

### 3.1 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Máxima

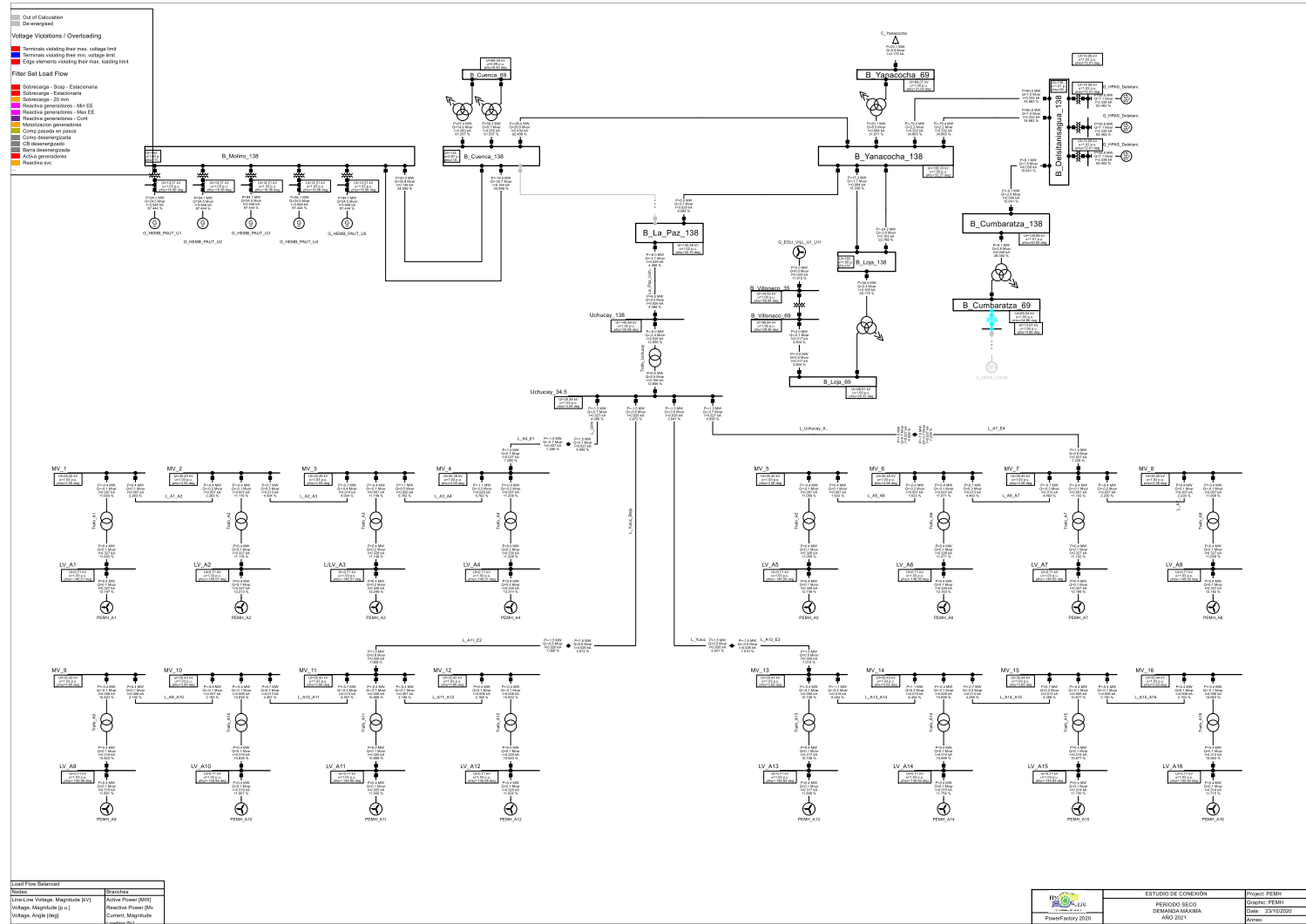


### 3.2 Año 2021 Período Lluvioso Demanda Media

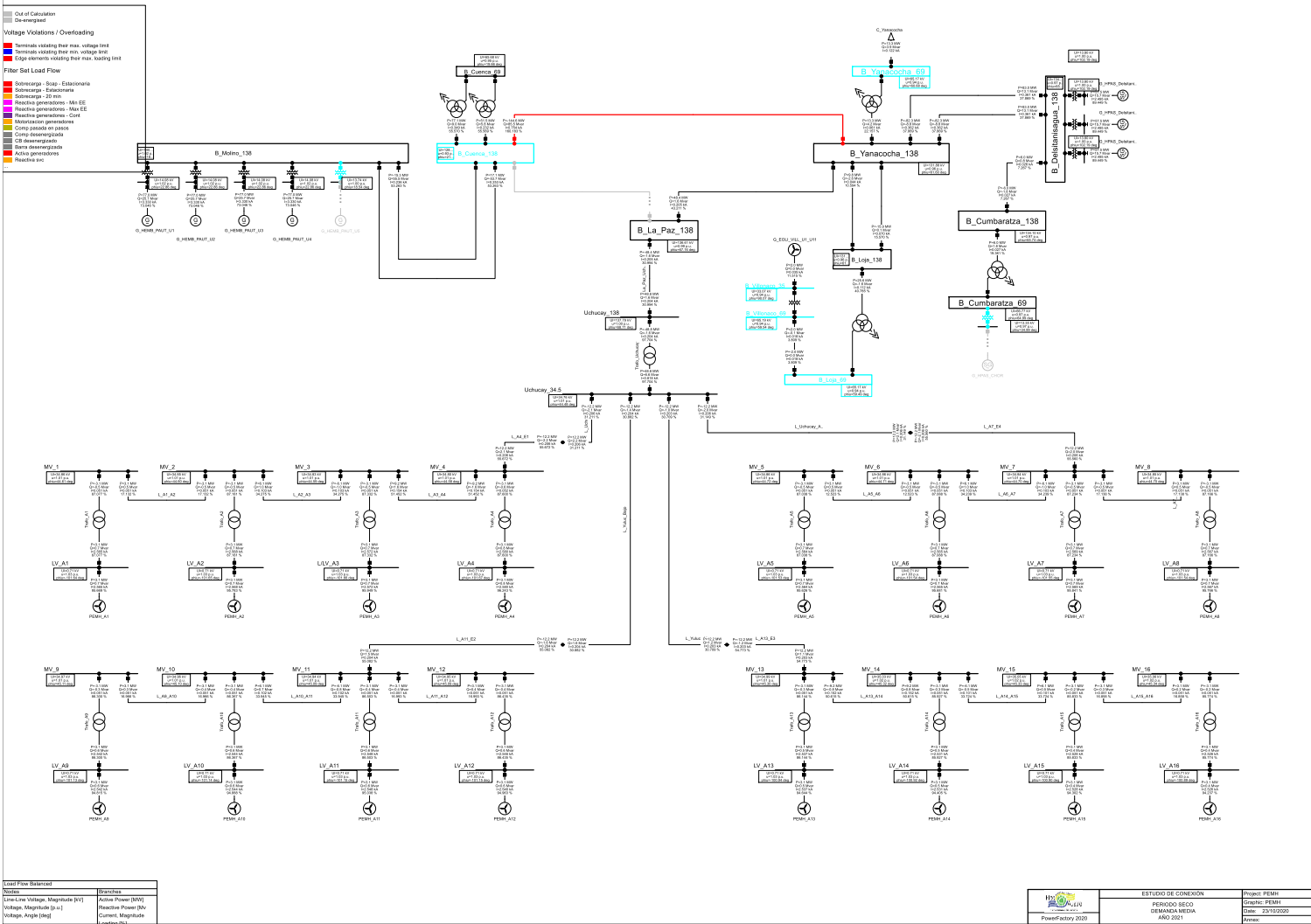




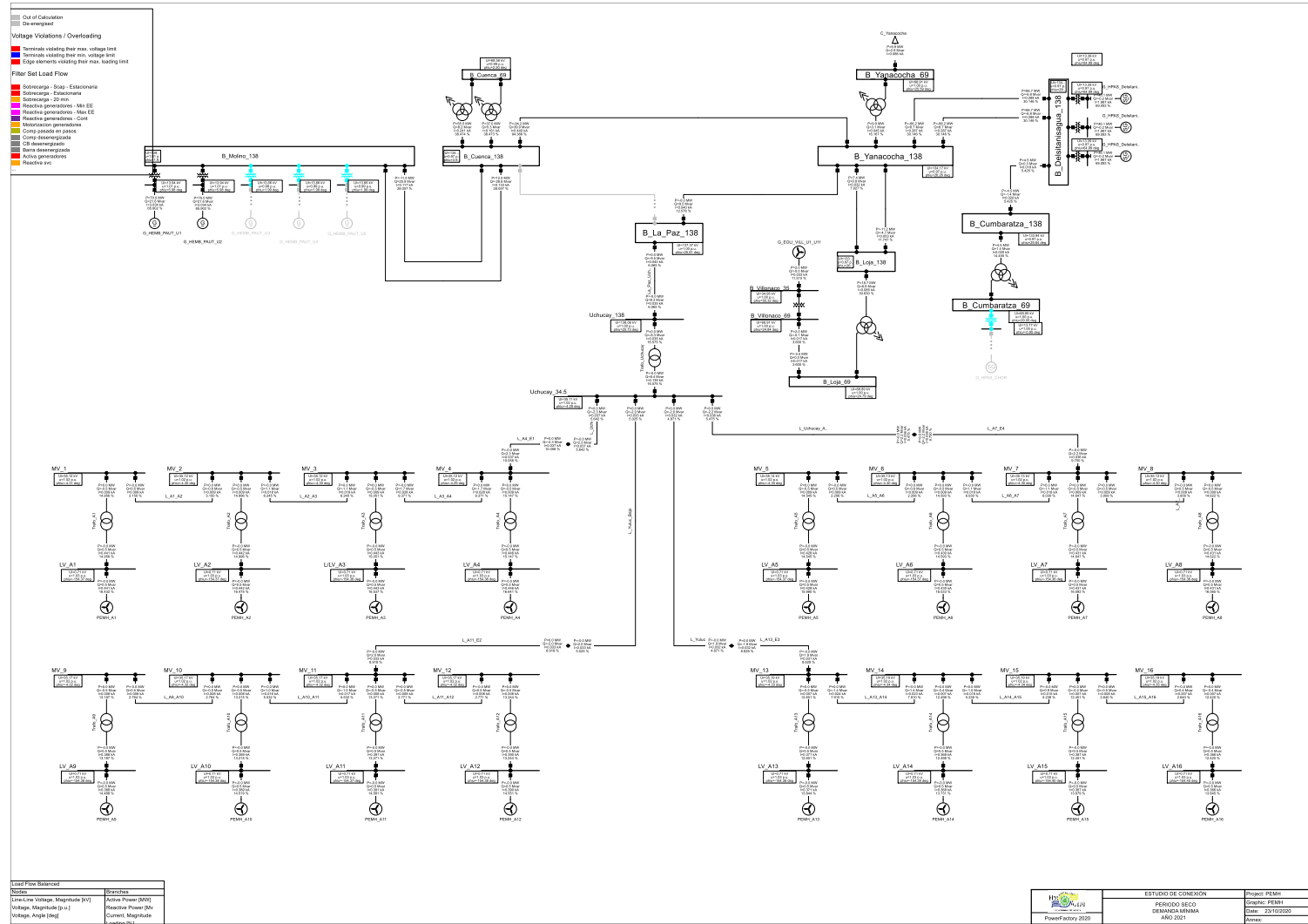
### 3.4 Año 2021 Periodo Seco Demanda Máxima



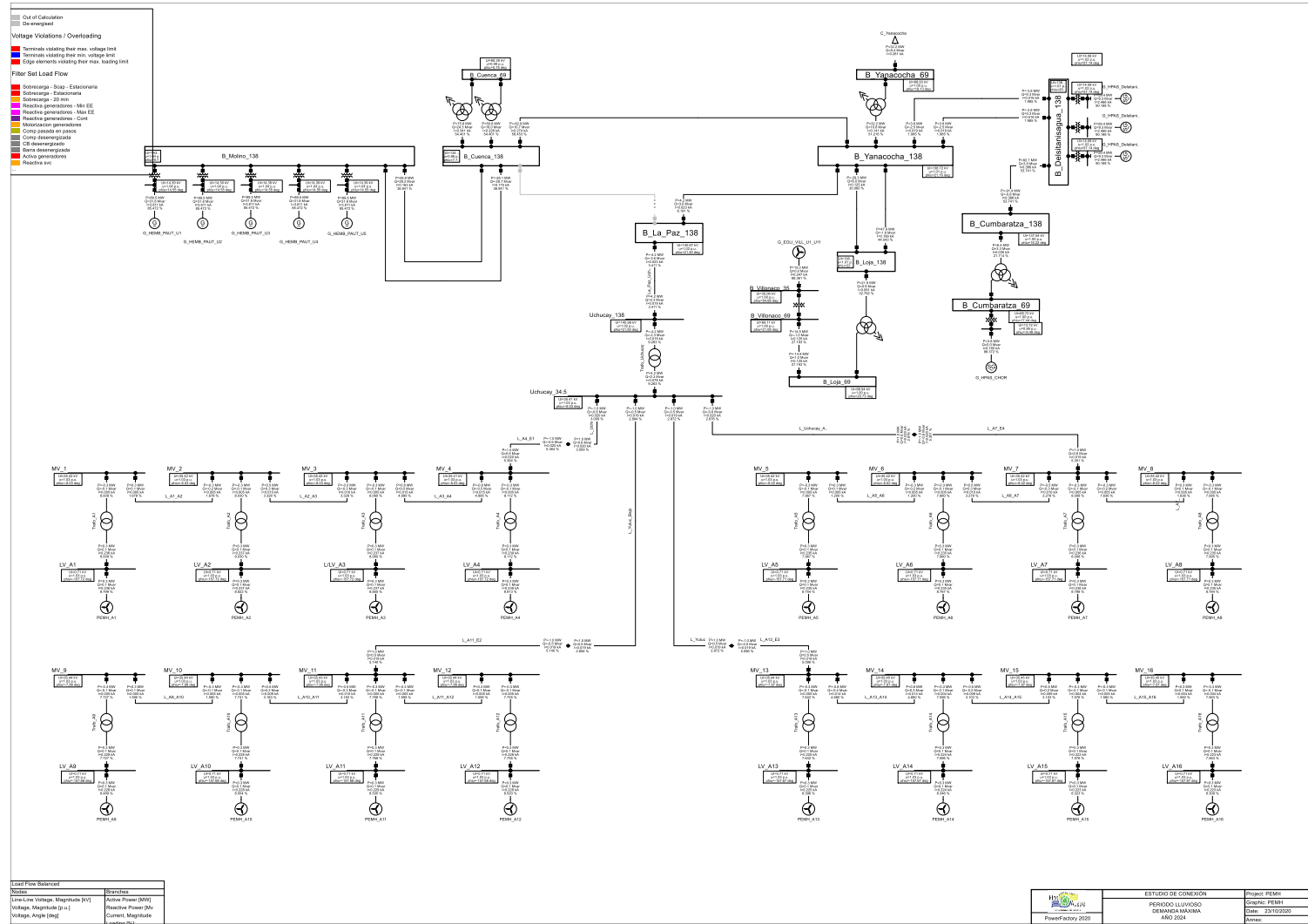
### 3.5 Año 2021 Periodo Seco Demanda Media



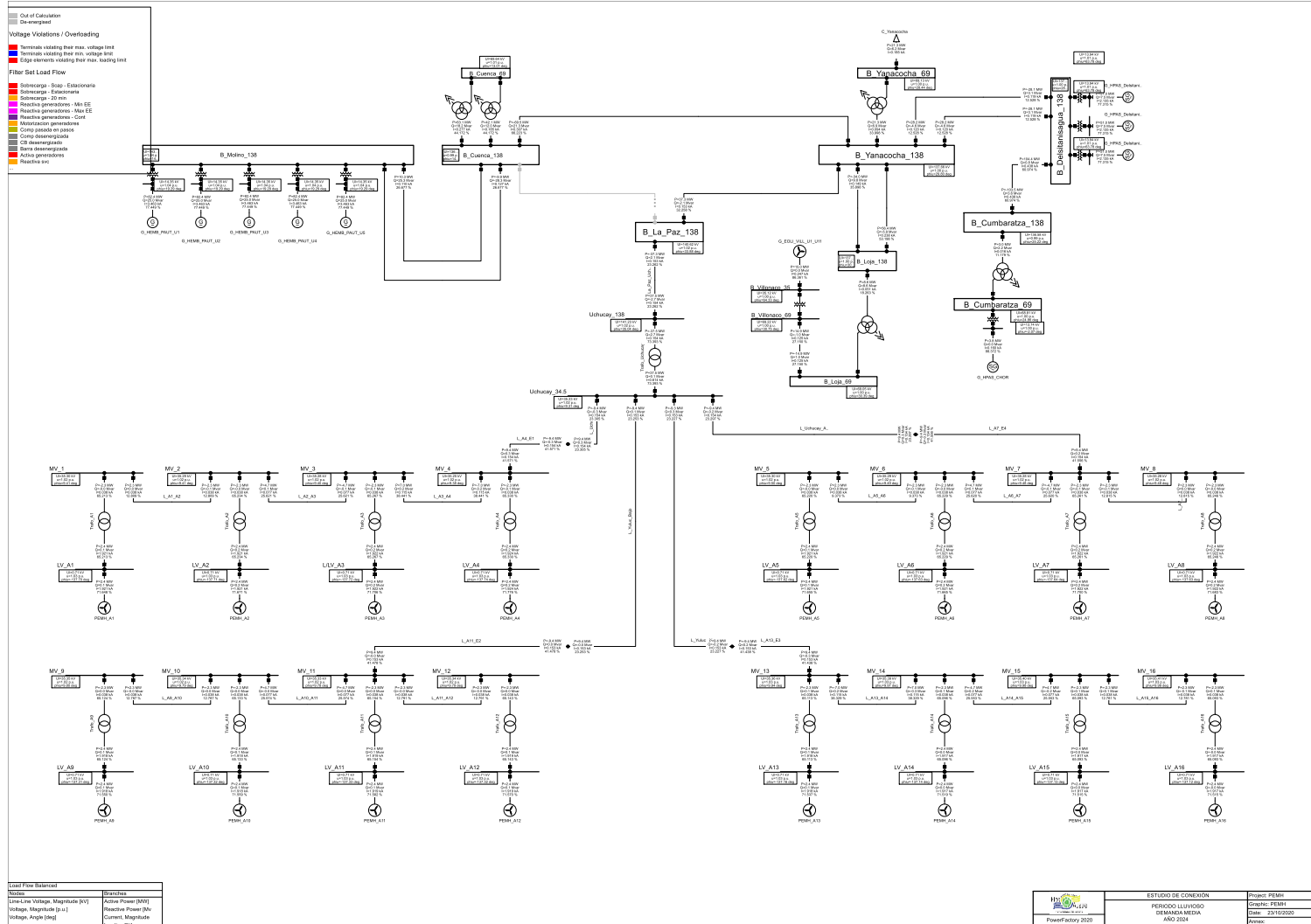
### 3.6 Año 2021 Periodo Seco Demanda Mínima



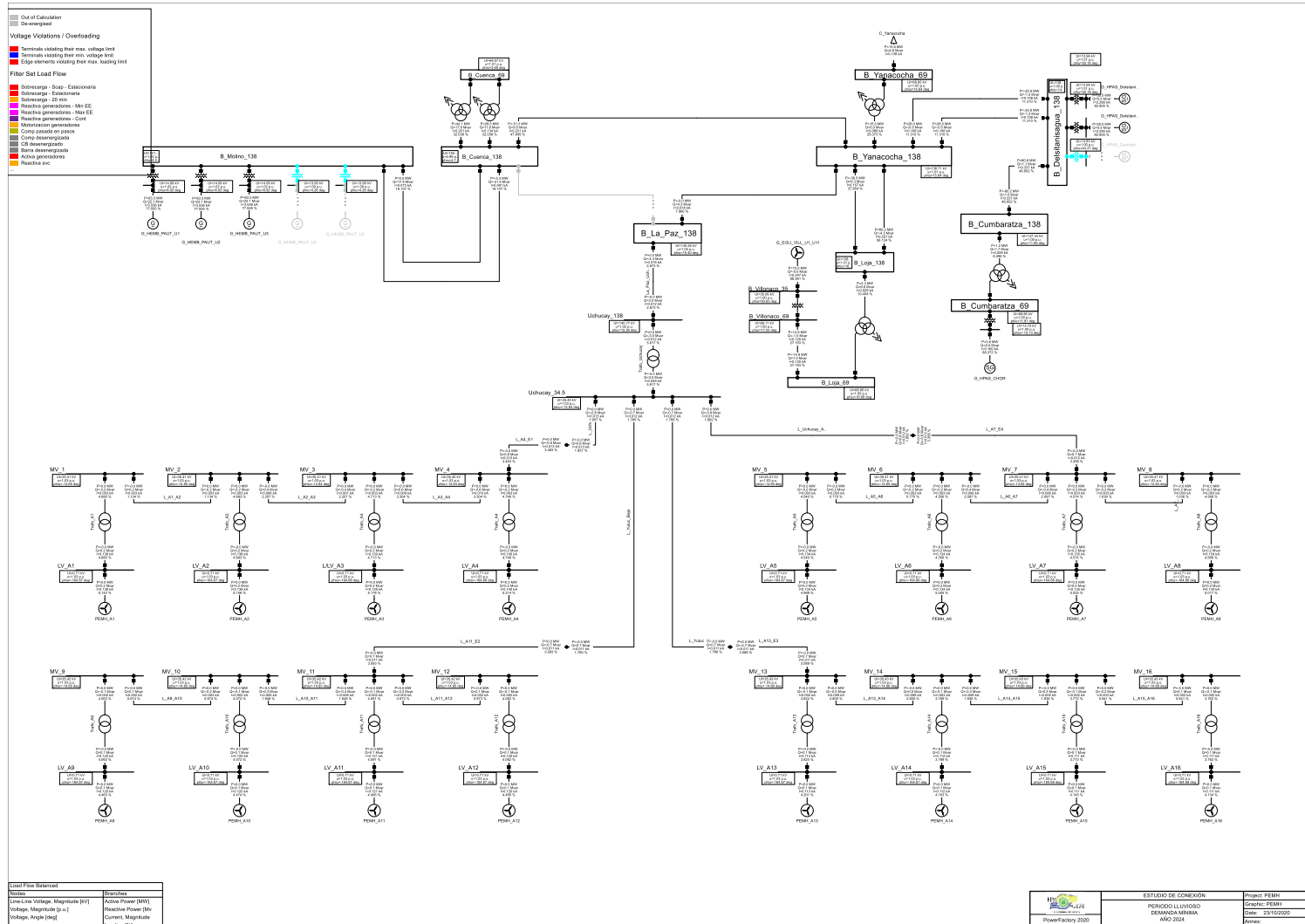
### 3.7 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Máxima



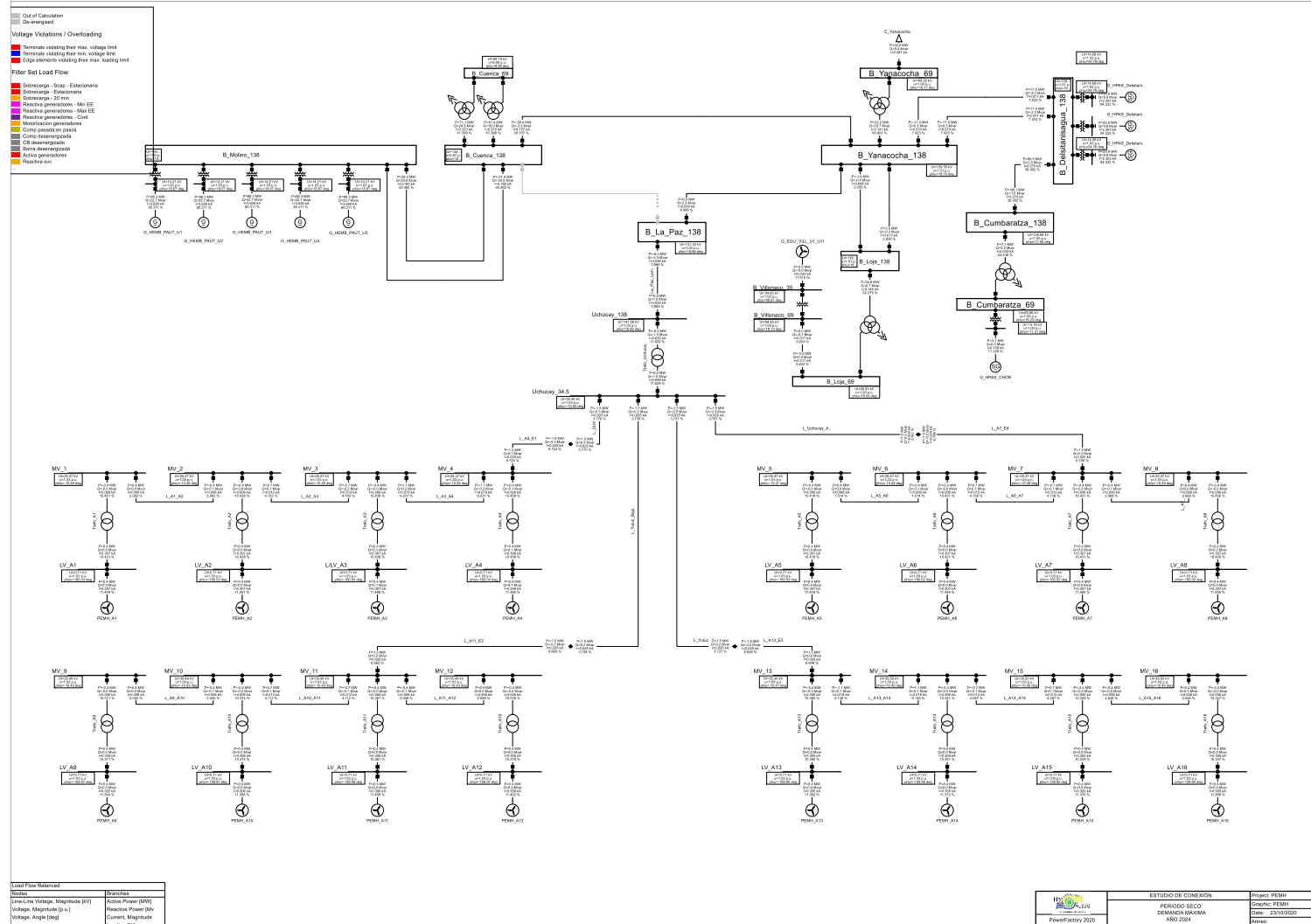
### 3.8 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Media



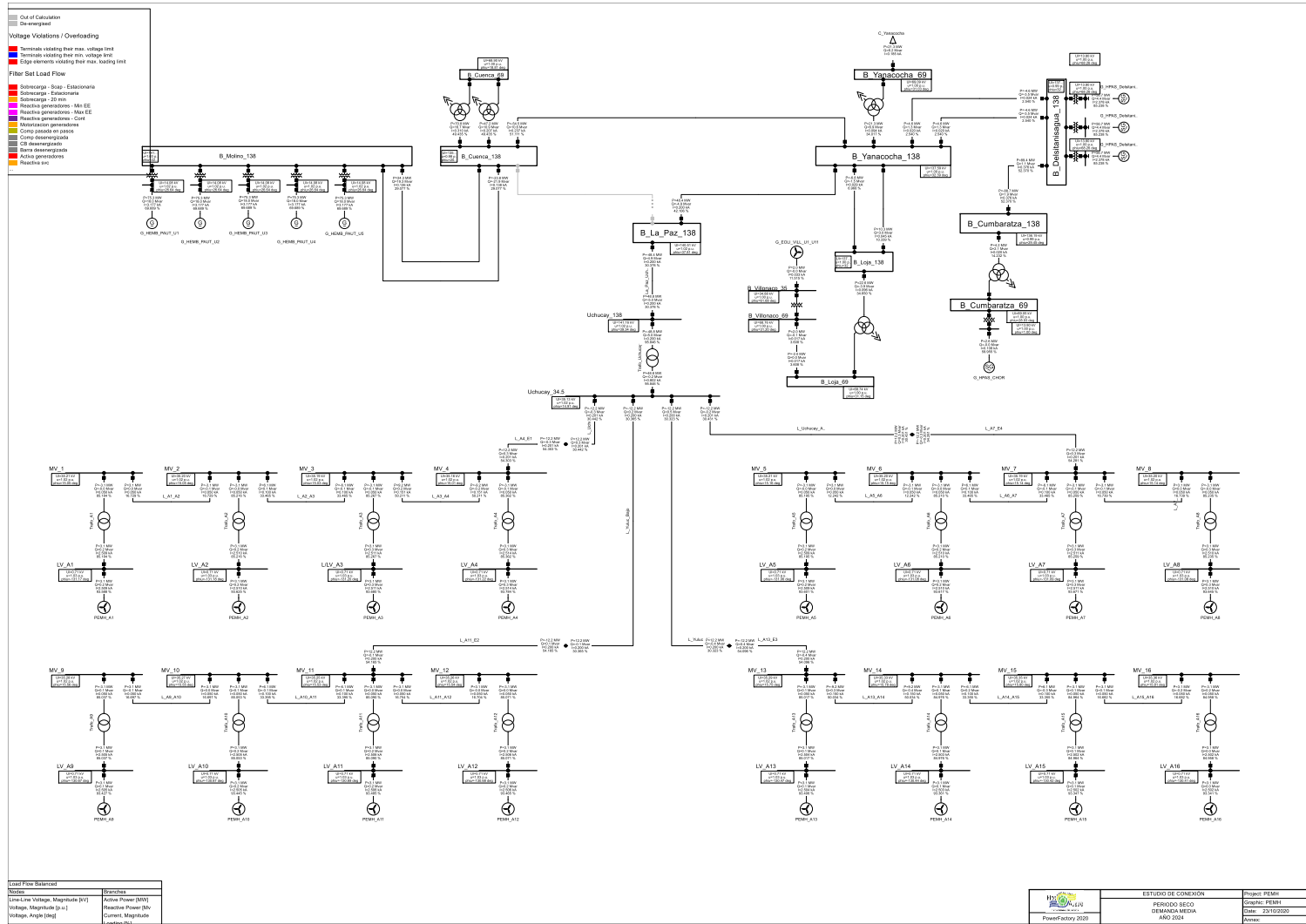
### 3.9 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Mínima



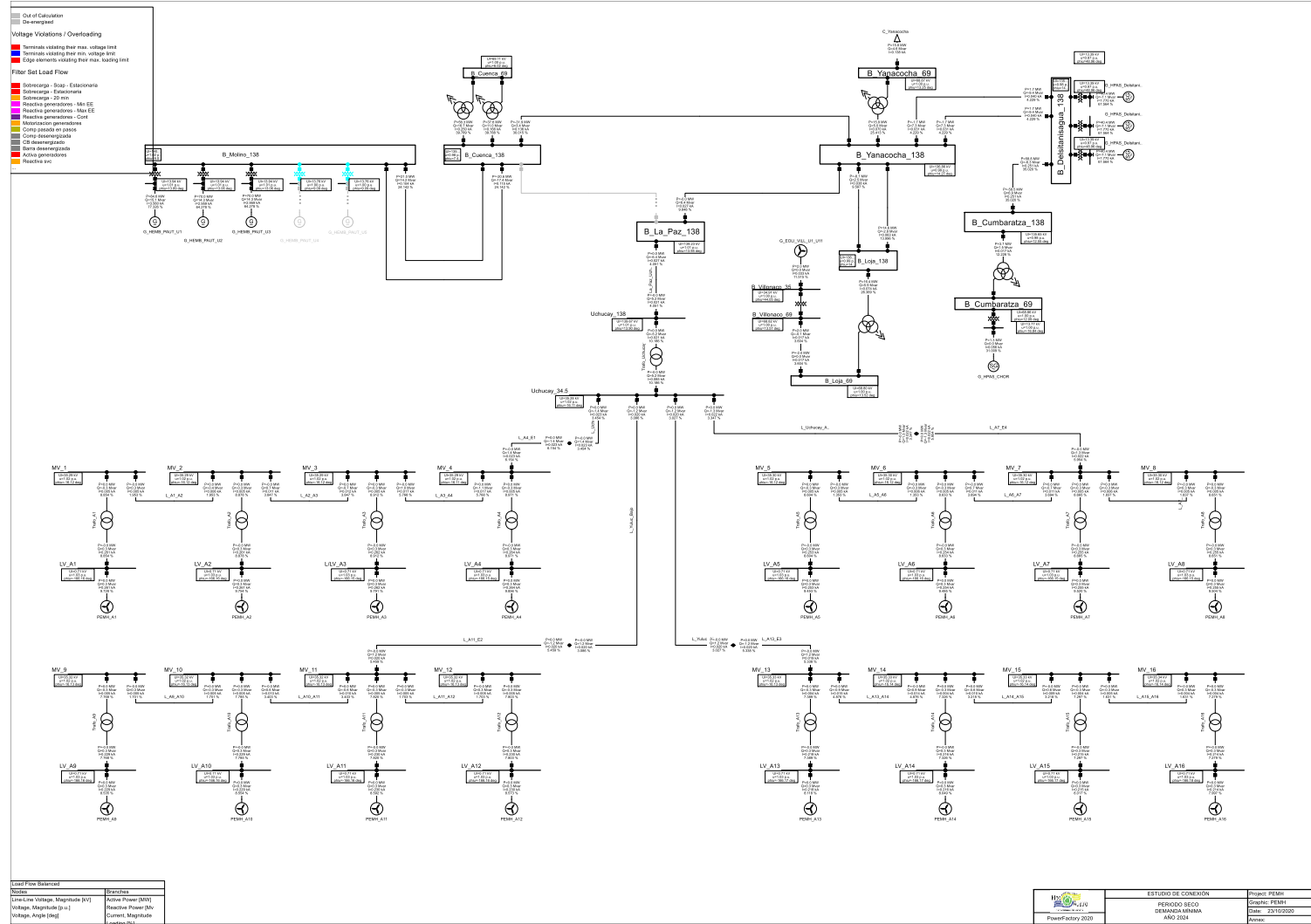
### 3.10 Año 2024 Periodo Seco Demanda Máxima



### 3.11 Año 2024 Periodo Seco Demanda Media

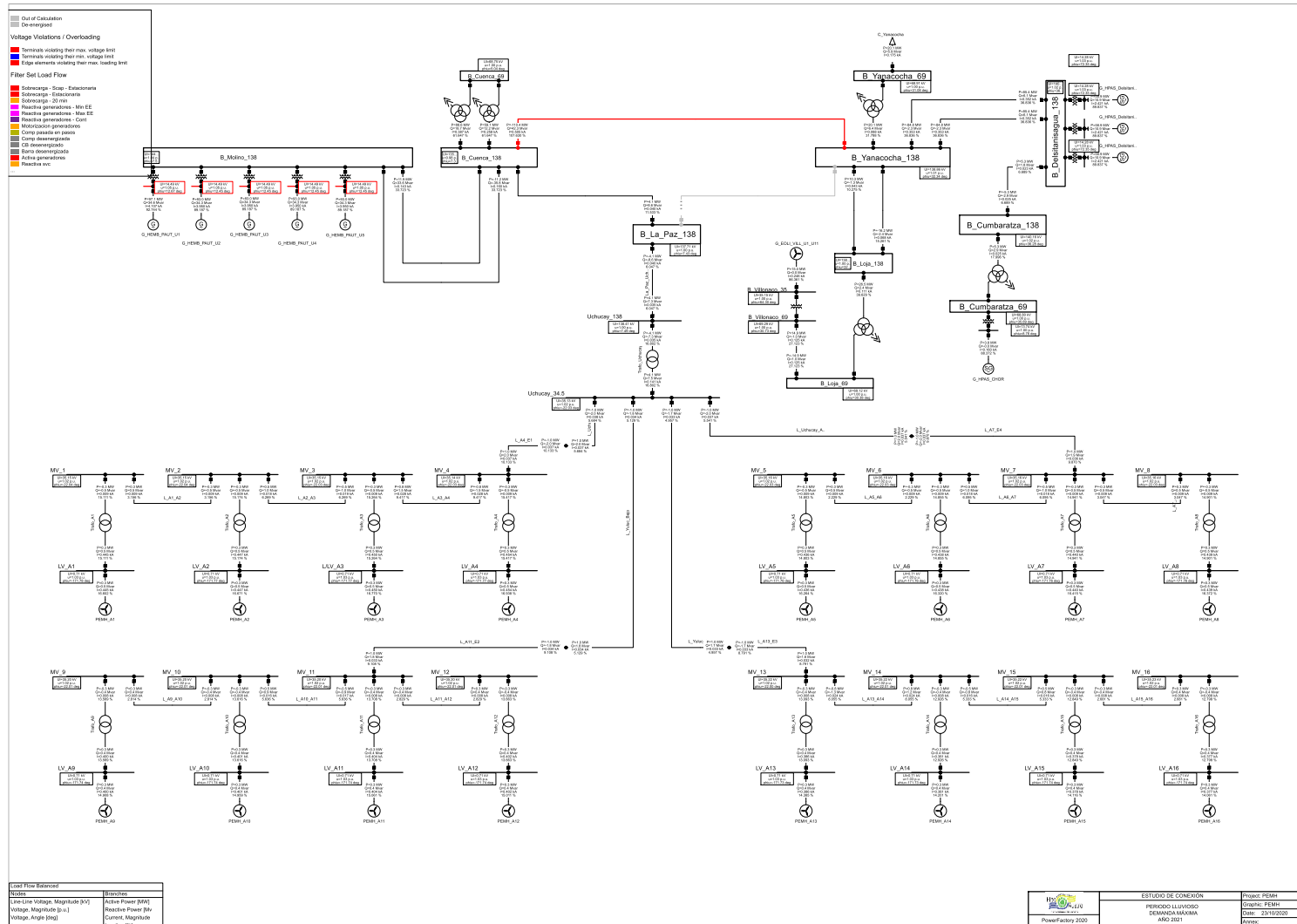


### 3.12 Año 2024 Periodo Seco Demanda Mínima

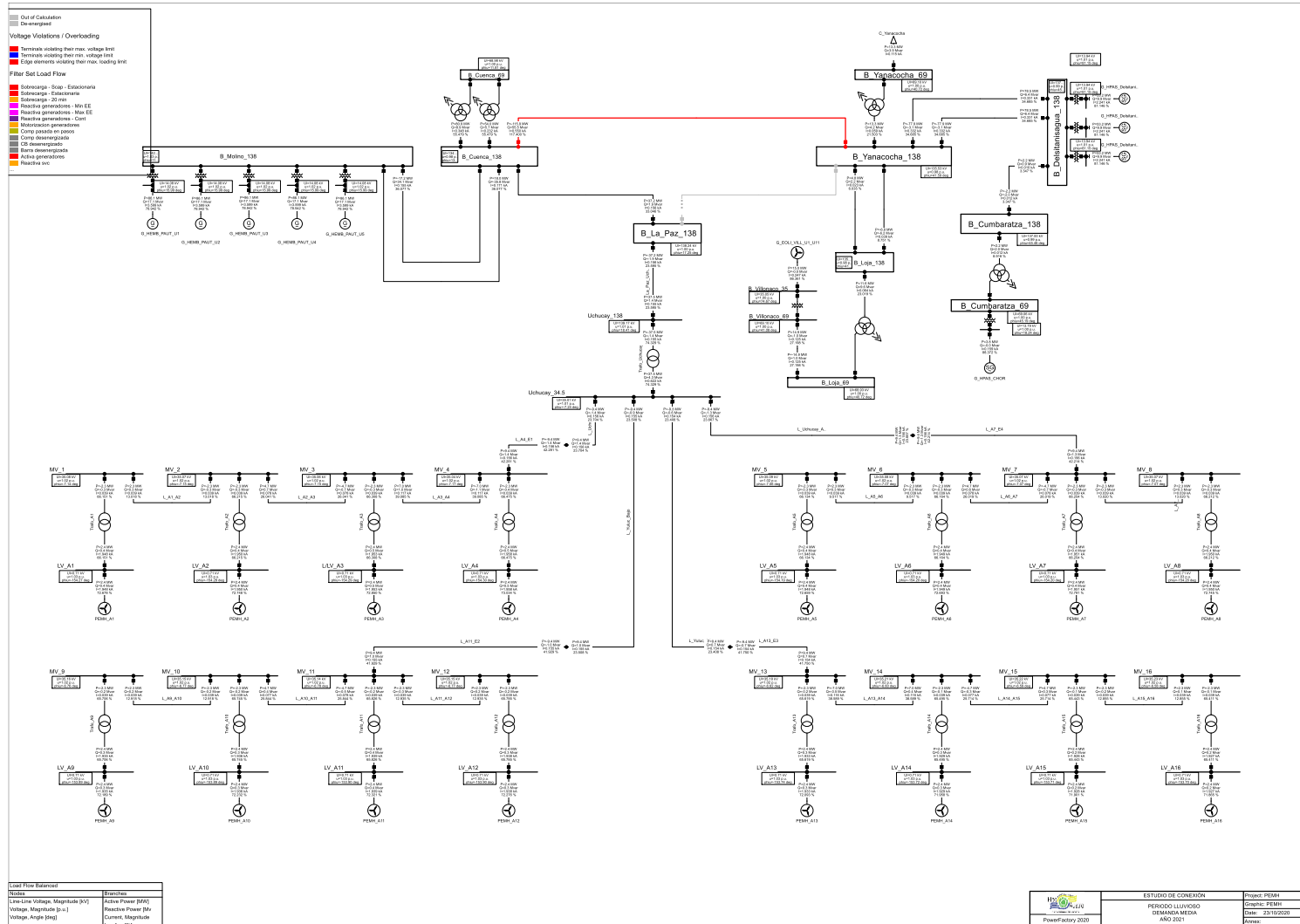


#### **4 Contingencia 2: Desconexión De La Línea De Transmisión La Paz – Yanacocha 138 kV**

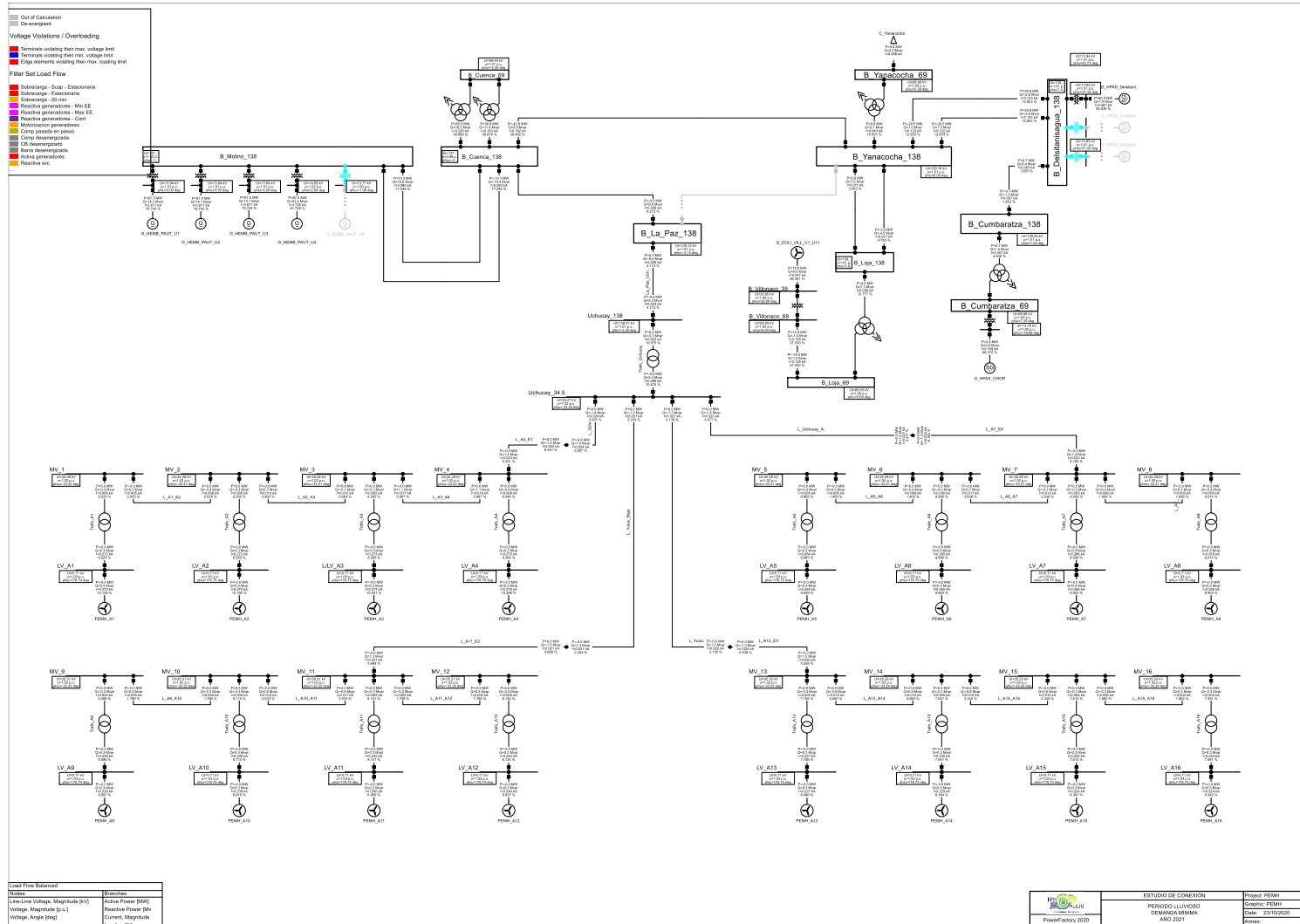
# 4.1 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Máxima



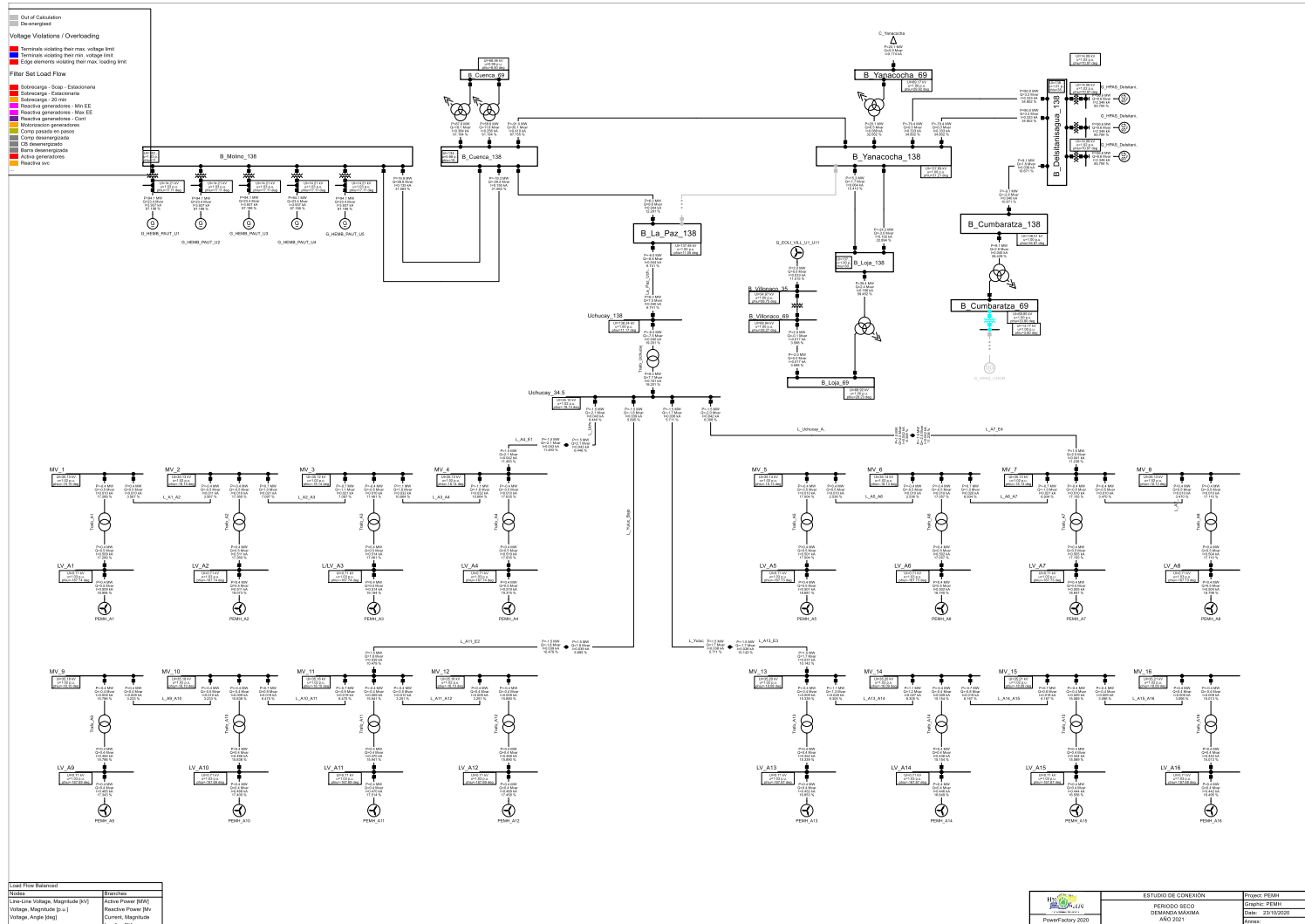
## 4.2 Año 2021 Período Lluvioso Demanda Media



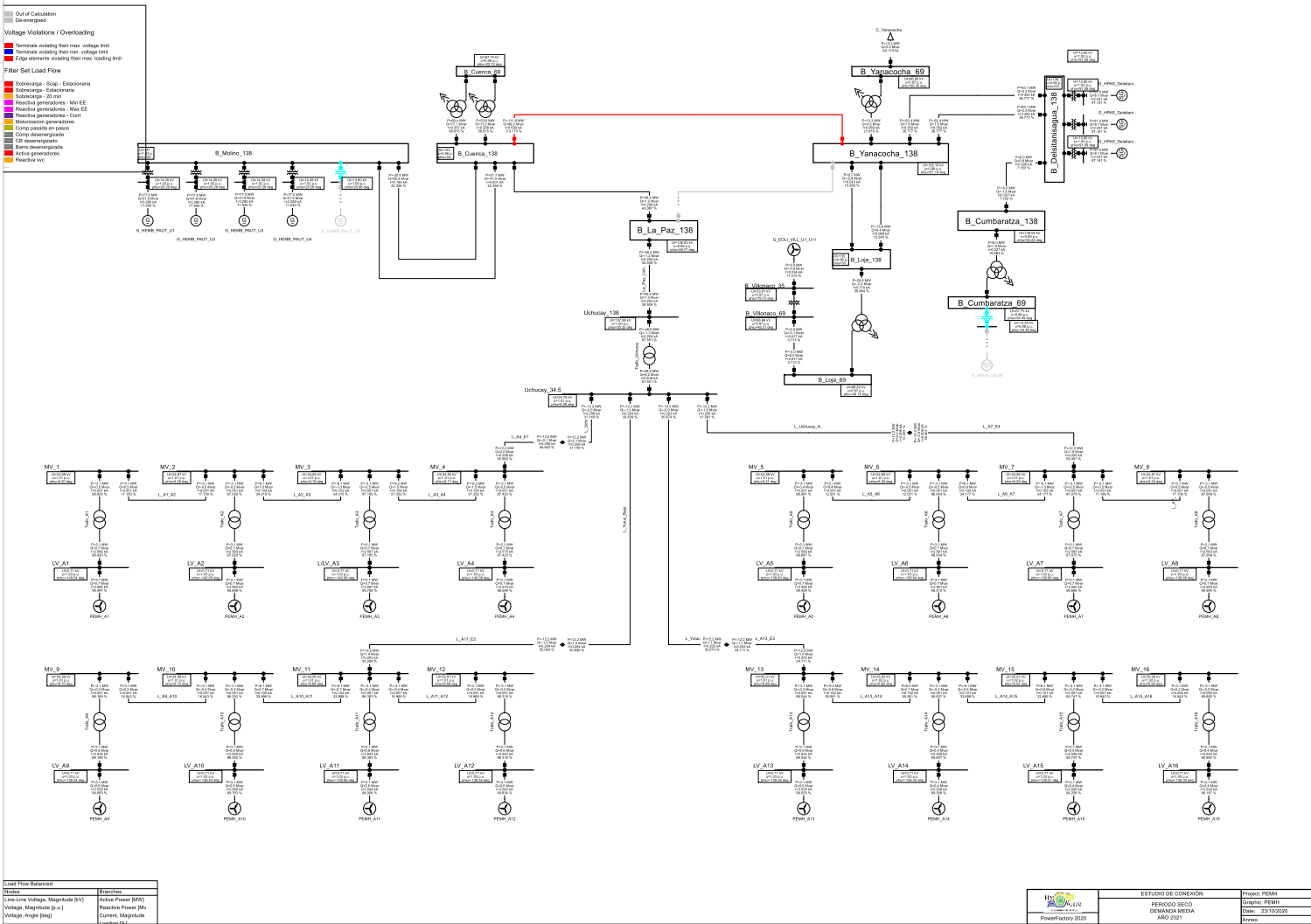
### 4.3 Año 2021 Período Lluvioso Demanda Mínima



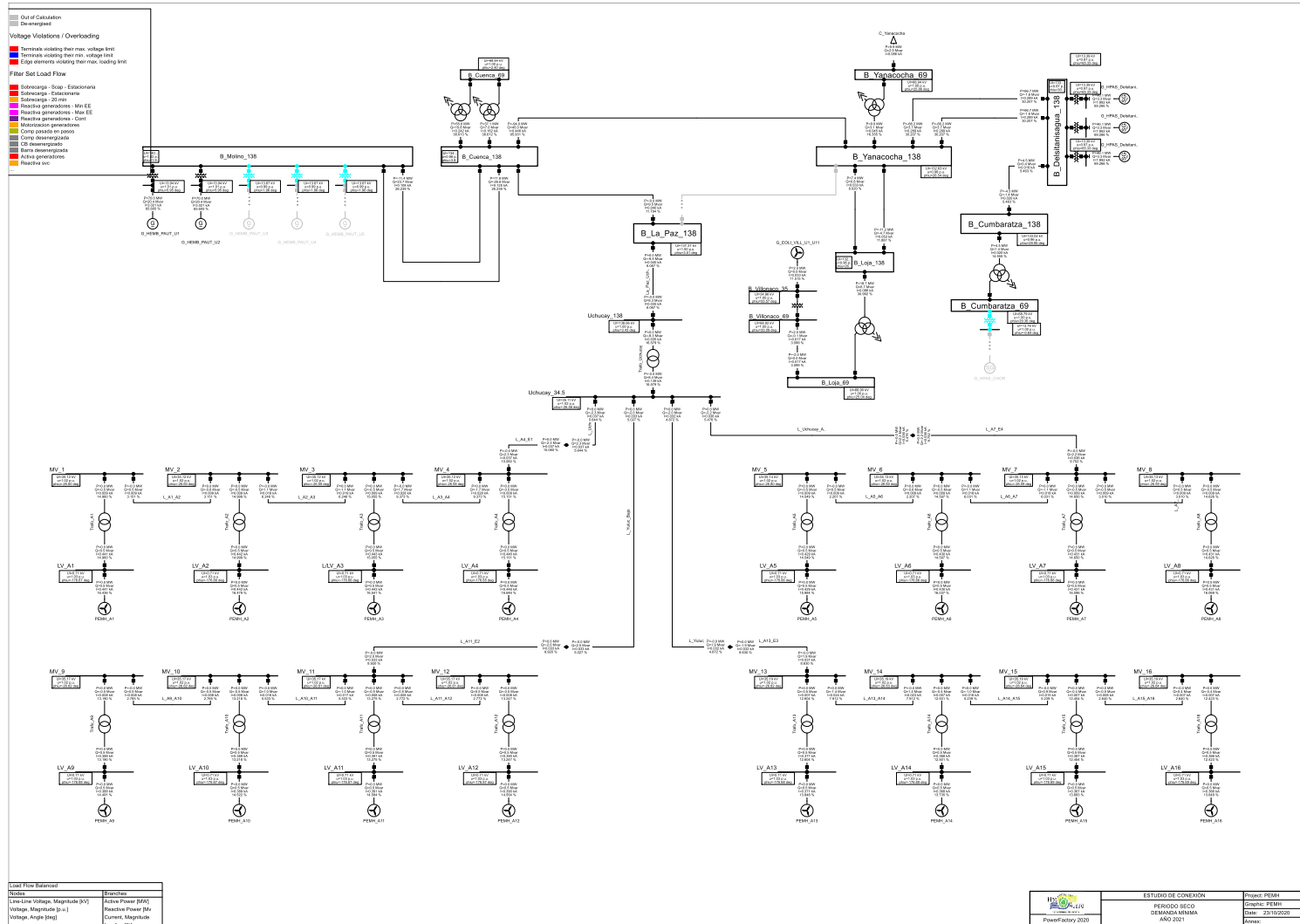
## 4.4 Año 2021 Período Seco Demanda Máxima



# 4.5 Año 2021 Período Seco Demanda Media

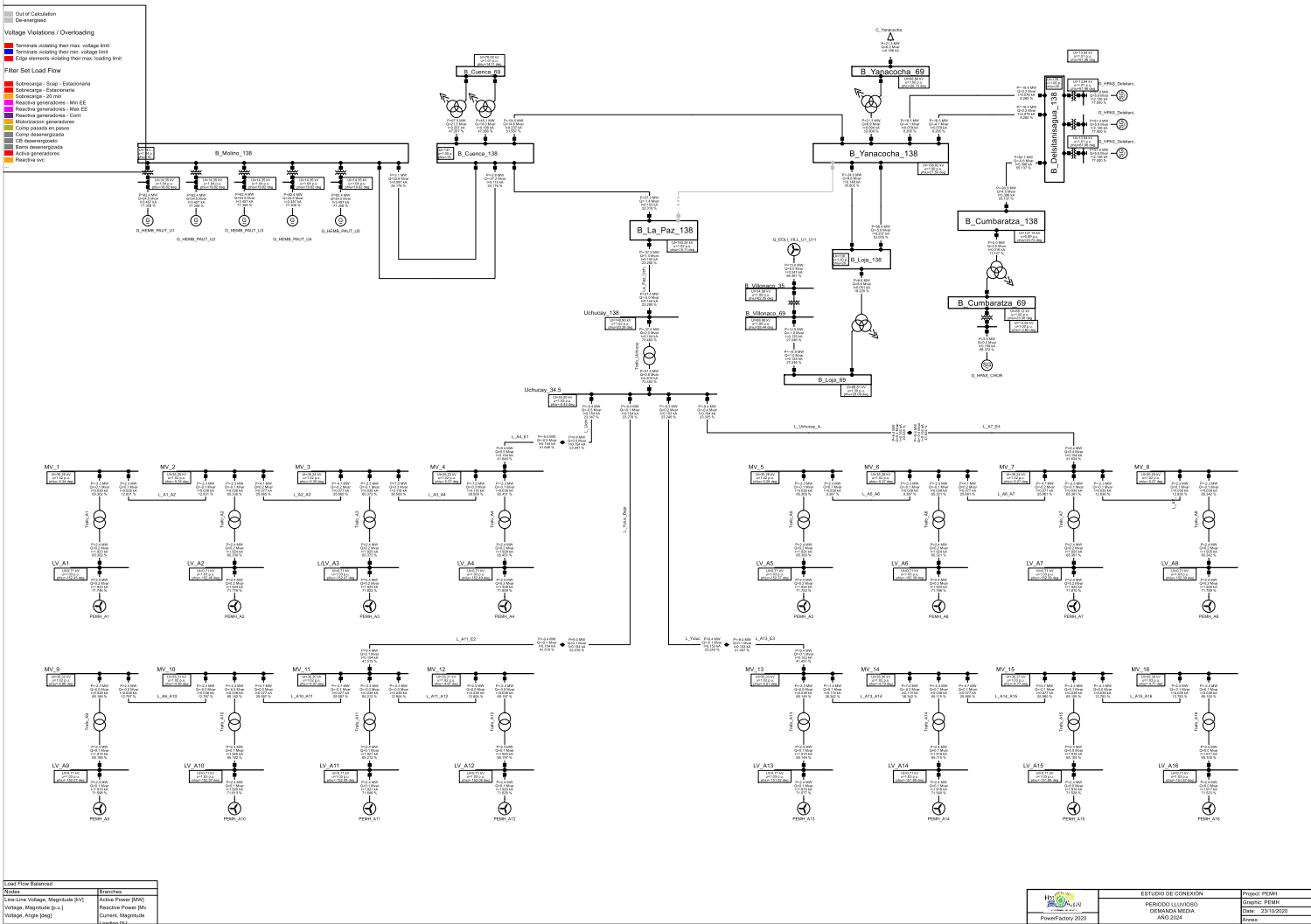


# 4.6 Año 2021 Período Seco Demanda Mínima

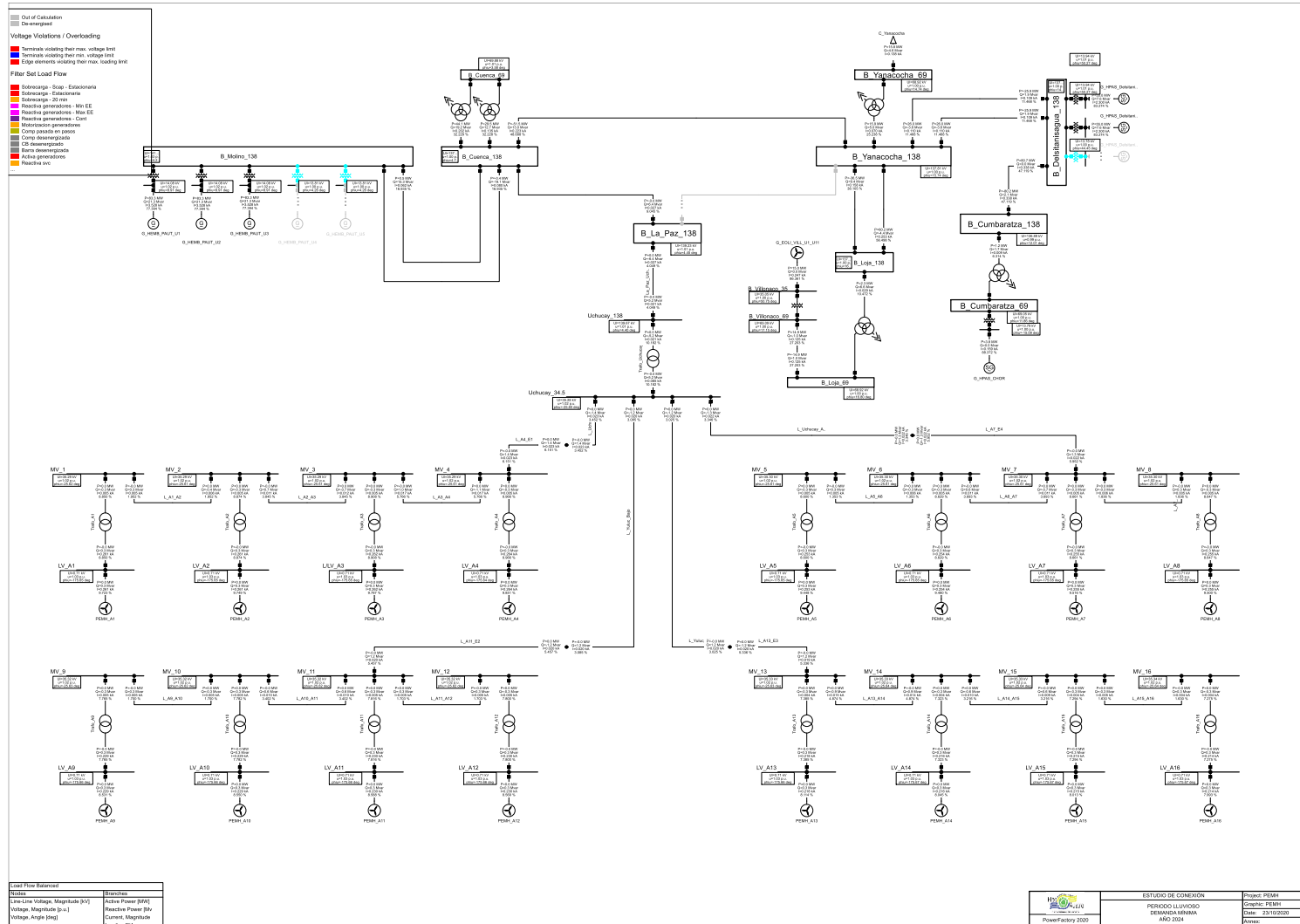




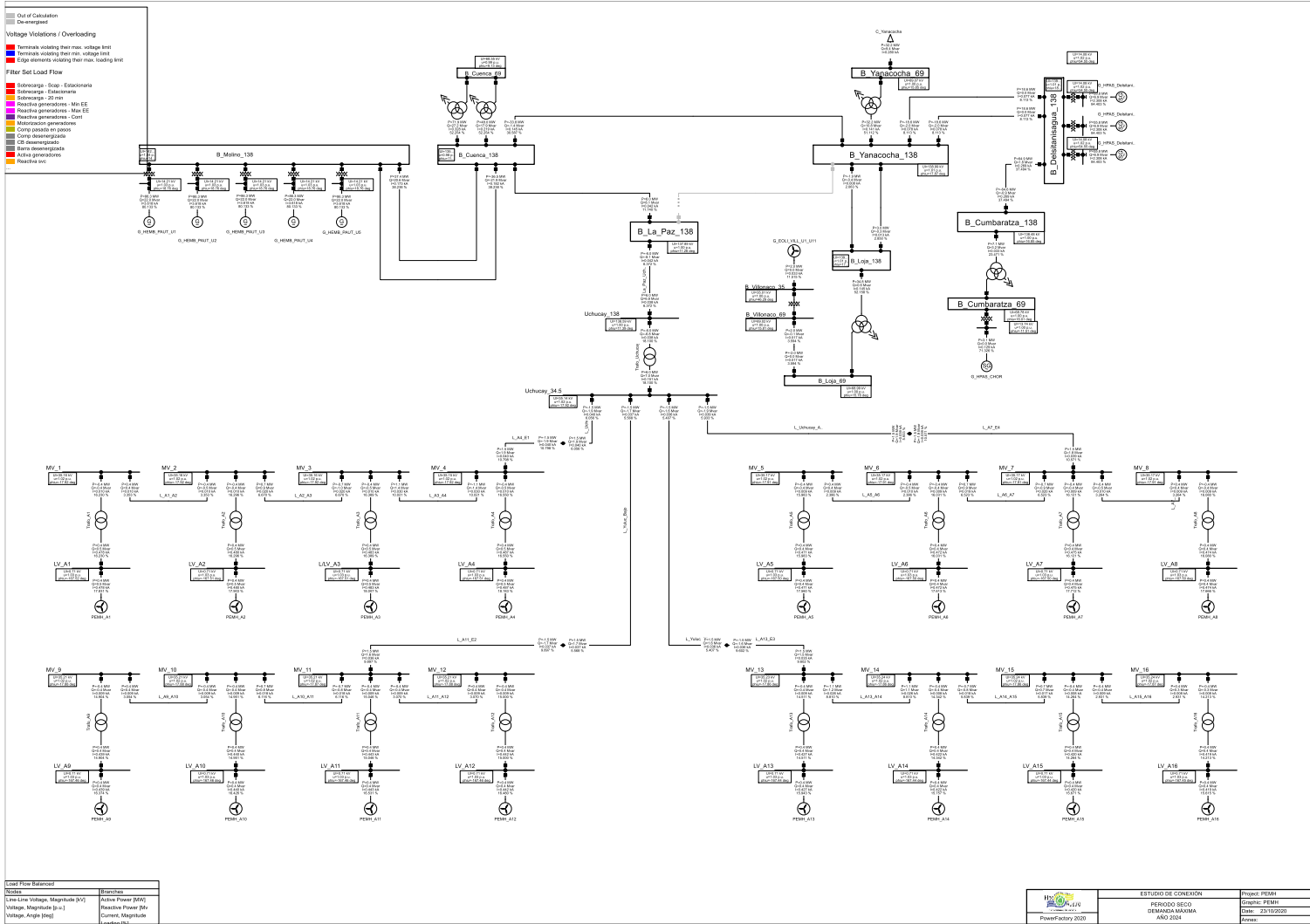
# 4.8 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Media



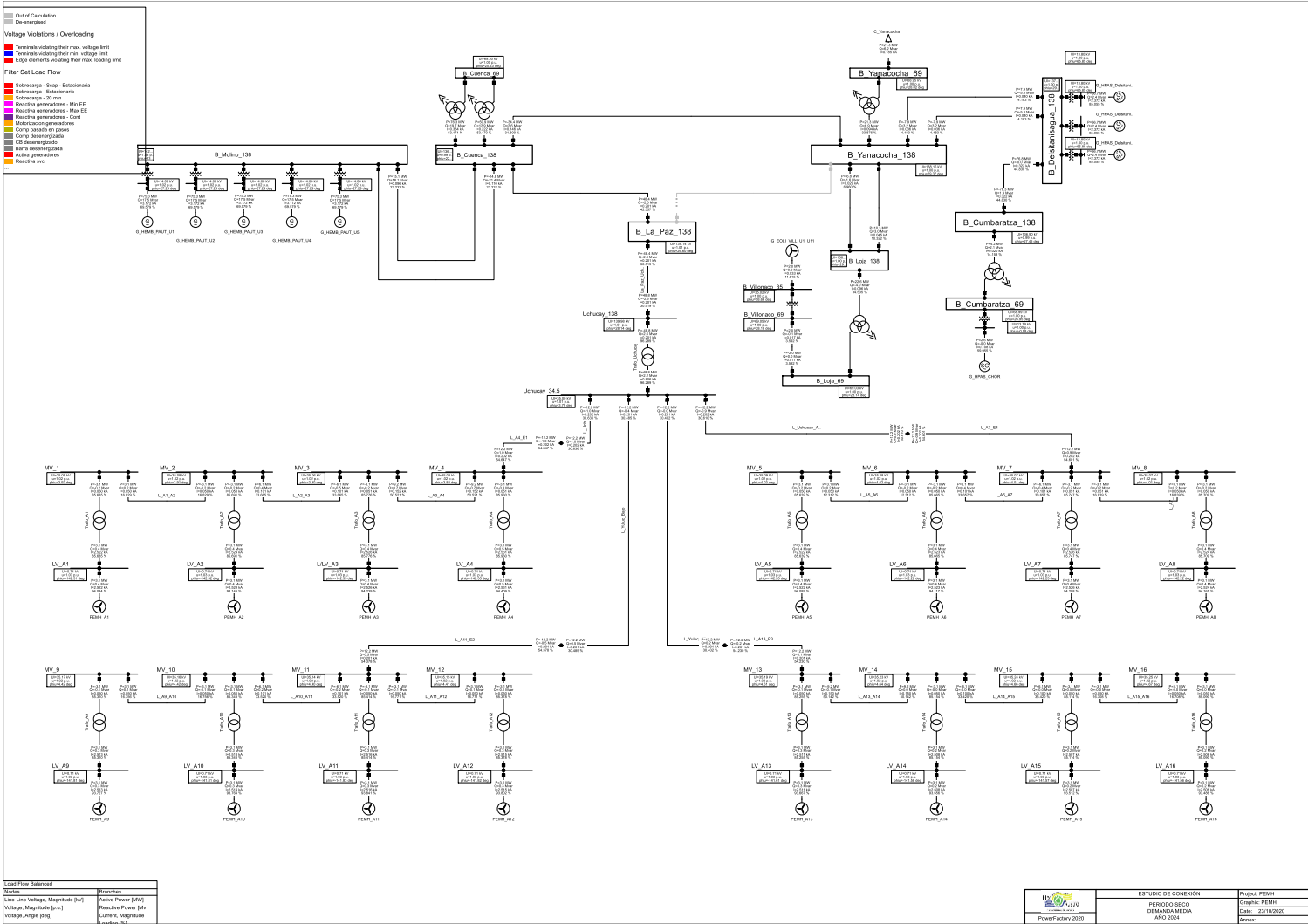
# 4.9 Año 2024 Período Lluvioso Demanda Mínima



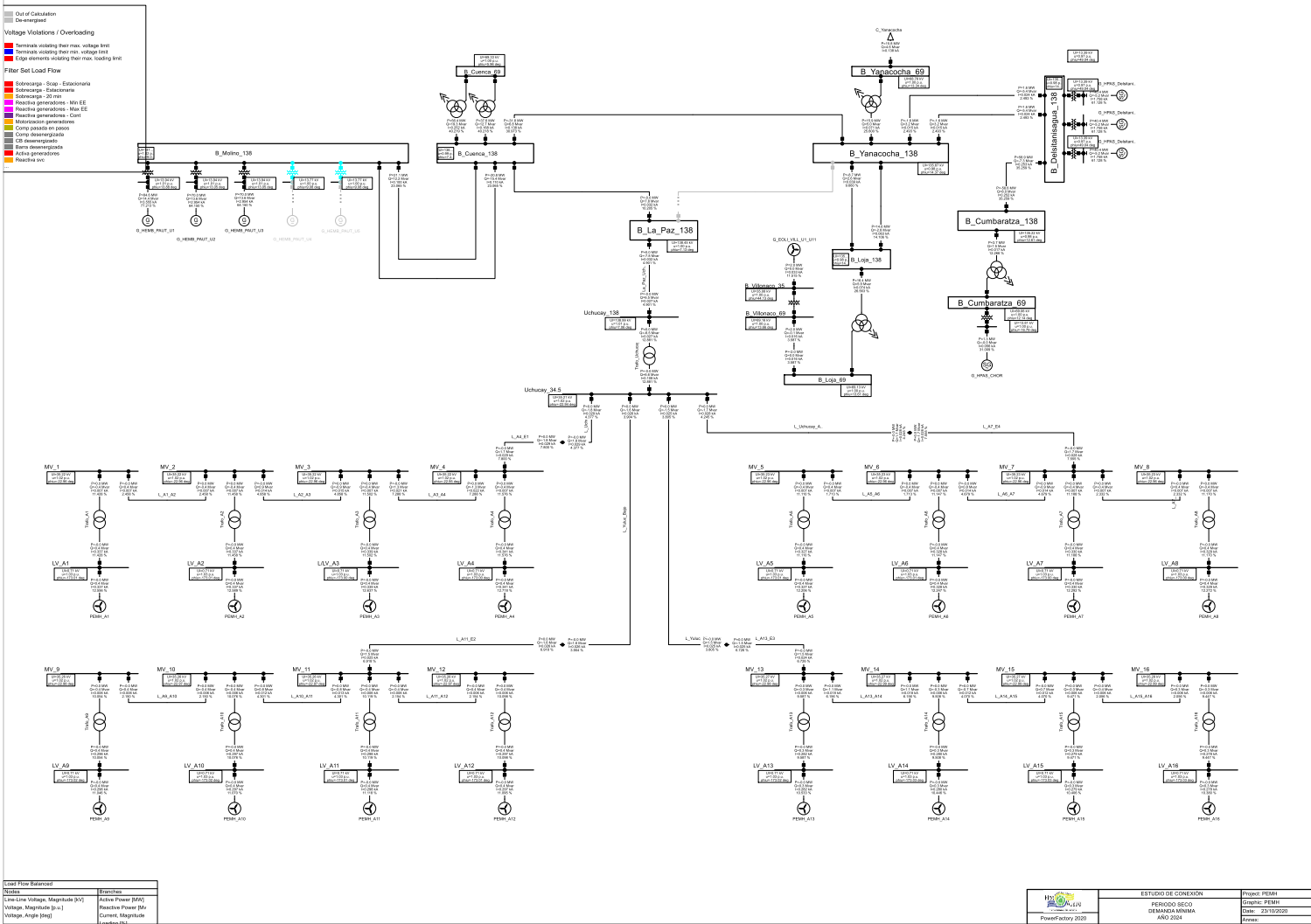
# 4.10 Año 2024 Periodo Seco Demanda Máxima



# 4.11 Año 2024 Periodo Seco Demanda Media

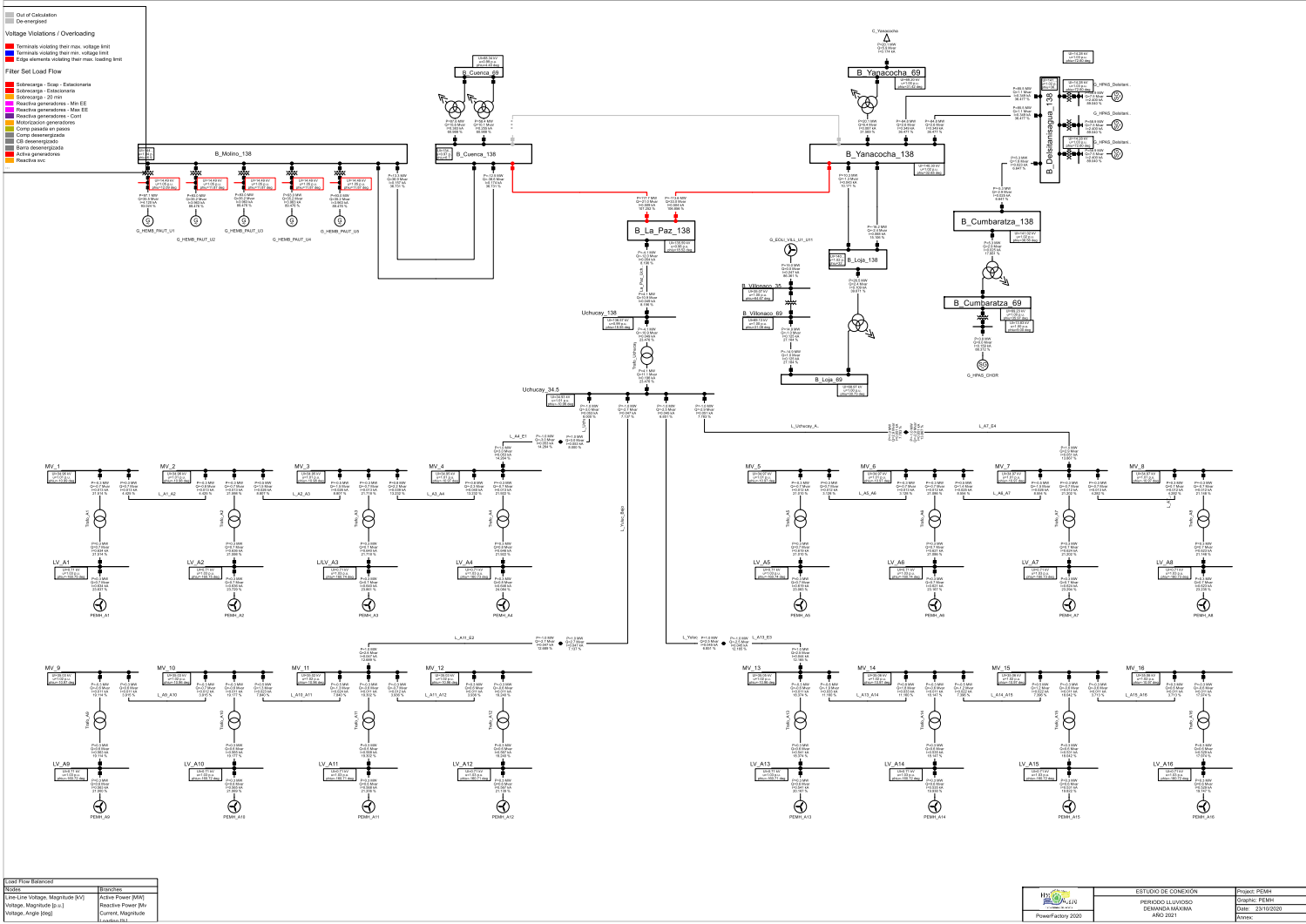


# 4.12 Año 2024 Período Seco Demanda Mínima

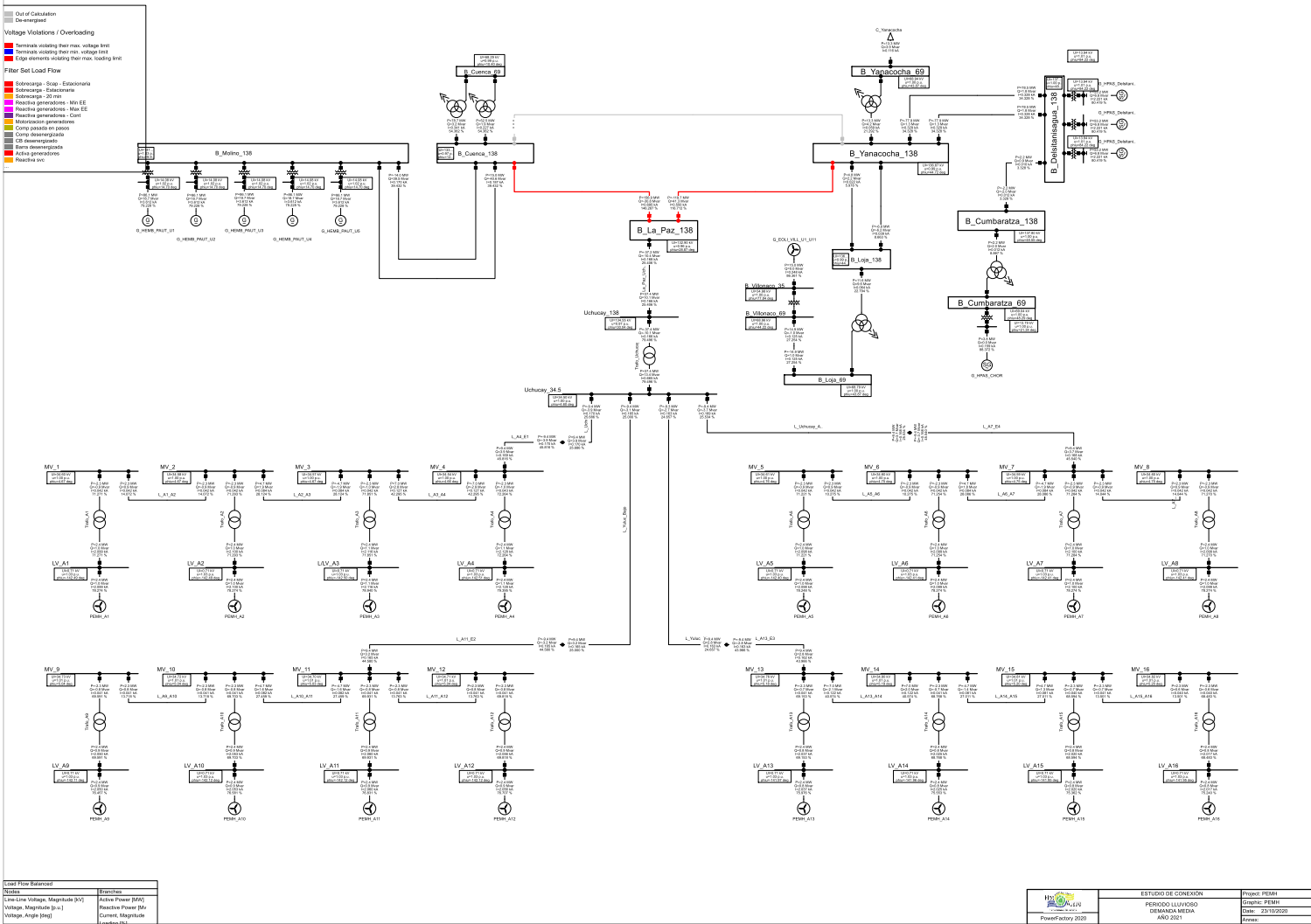


## **5 Contingencia 3: Desconexión De La Línea De Transmisión Cuenca – Yanacocha 138 Kv**

# 5.1 Año 2021 Periodo Lluvioso Demanda Máxima

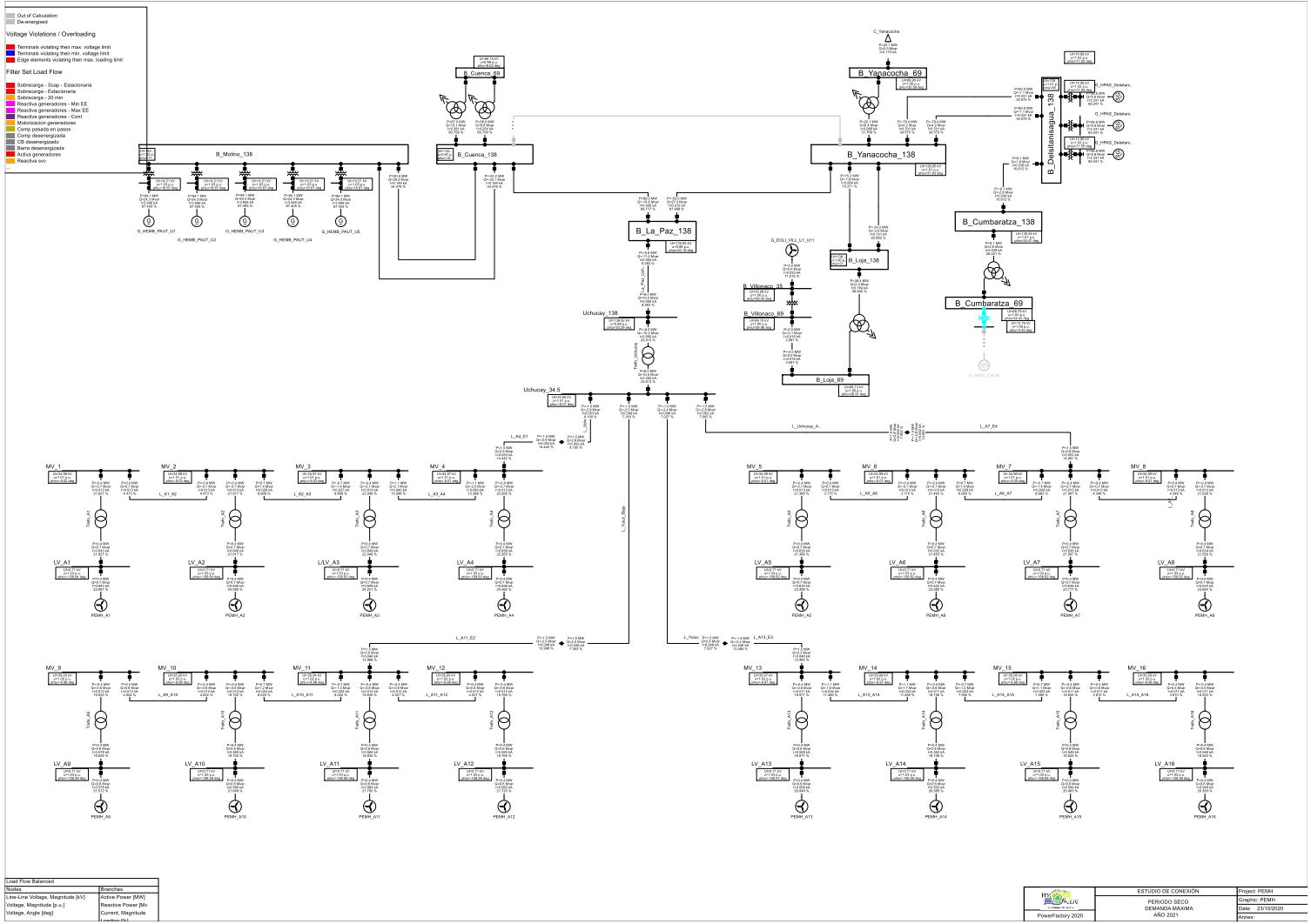


# 5.2 Año 2021 Período Lluvioso Demanda Media

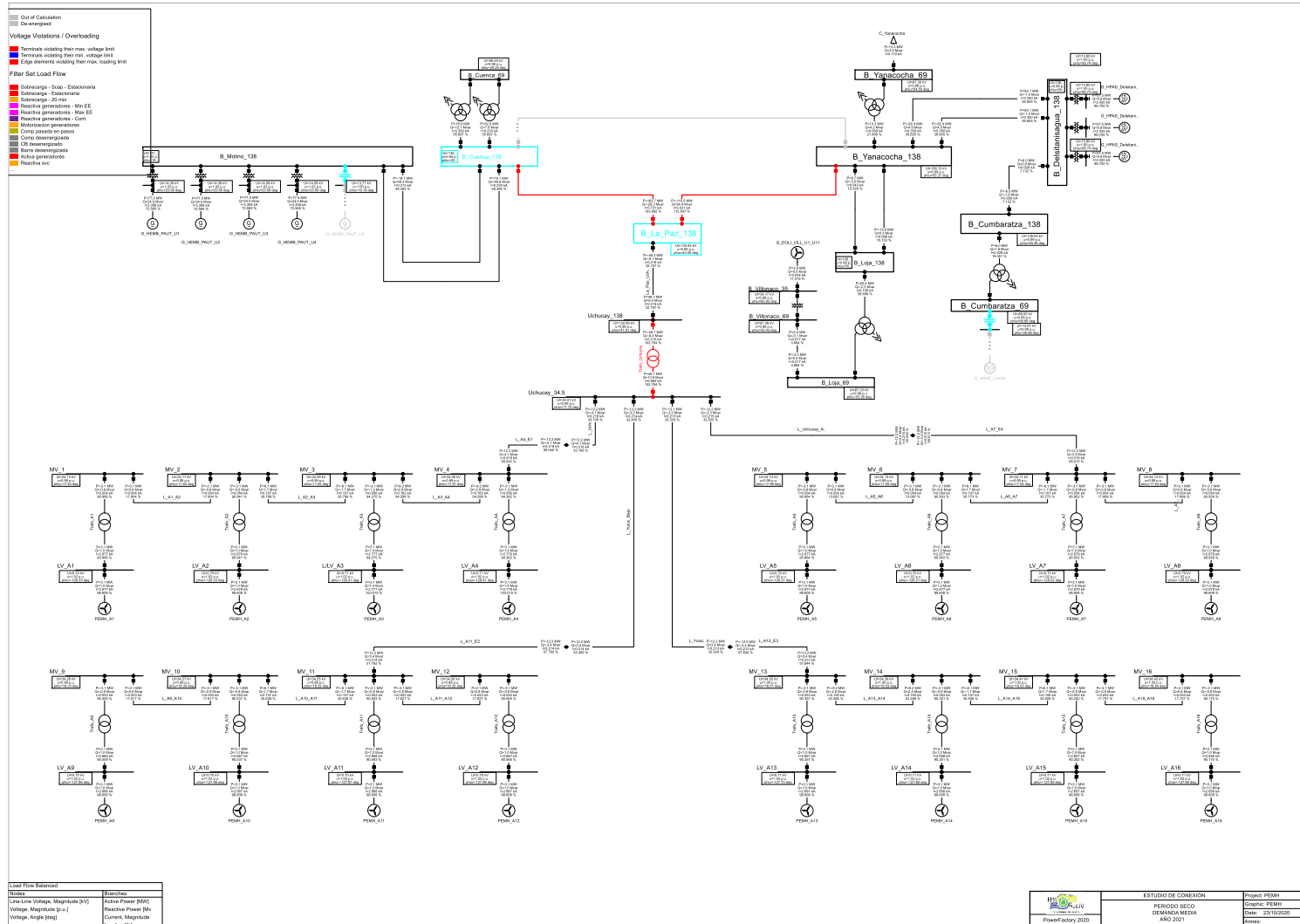




# 5.4 Año 2021 Periodo Seco Demanda Máxima

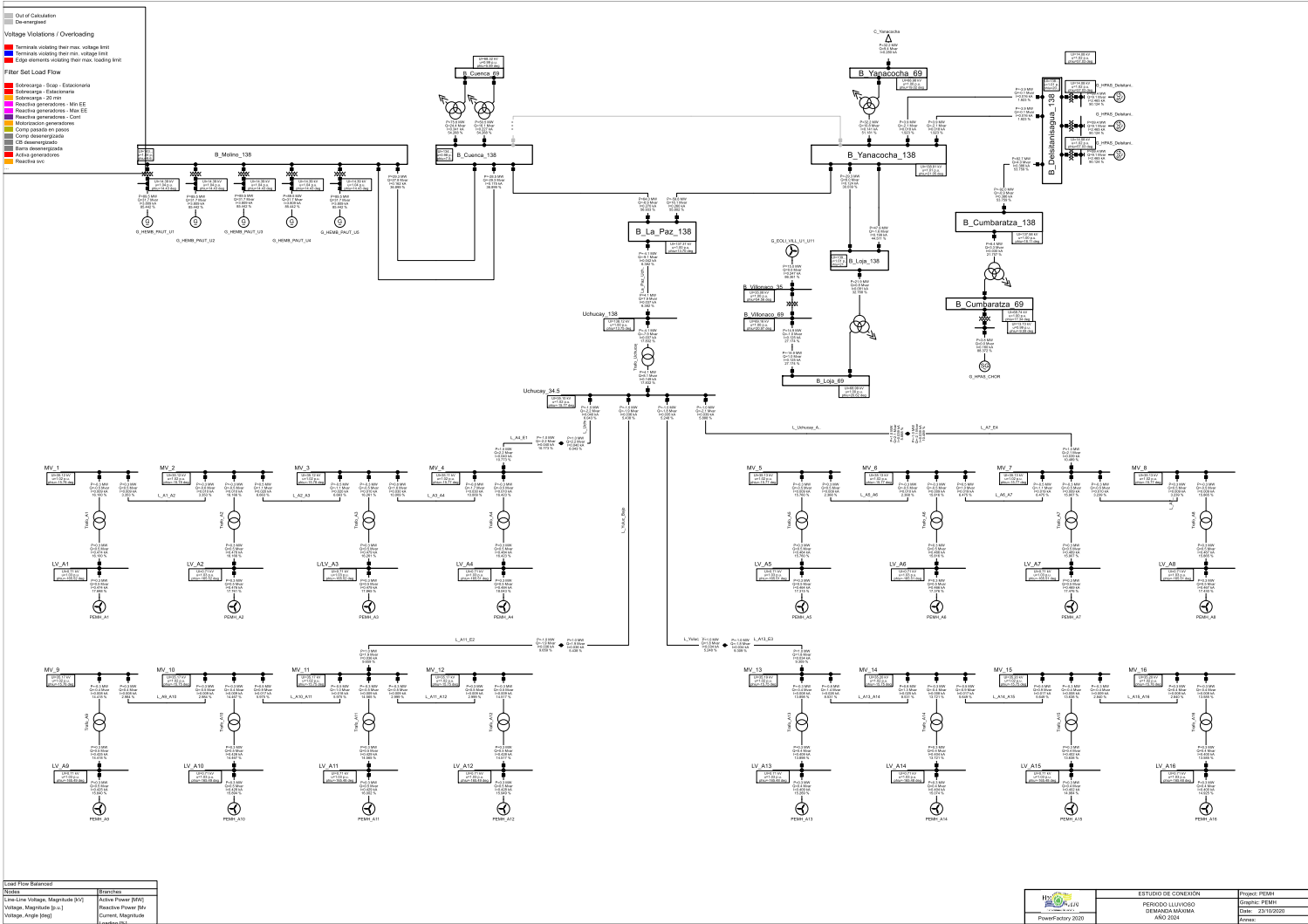


## 5.5 Año 2021 Periodo Seco Demanda Media



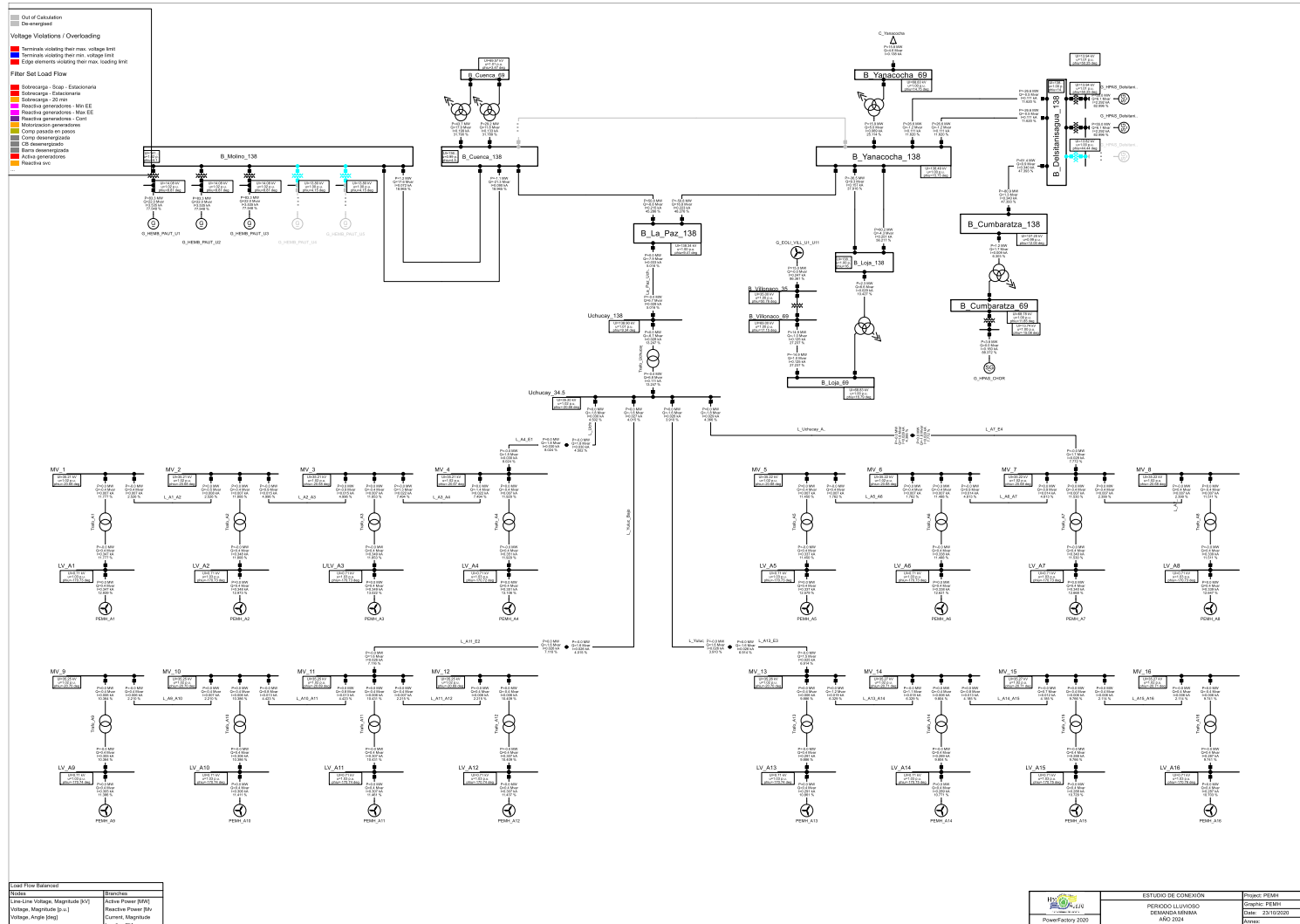


# 5.7 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Máxima



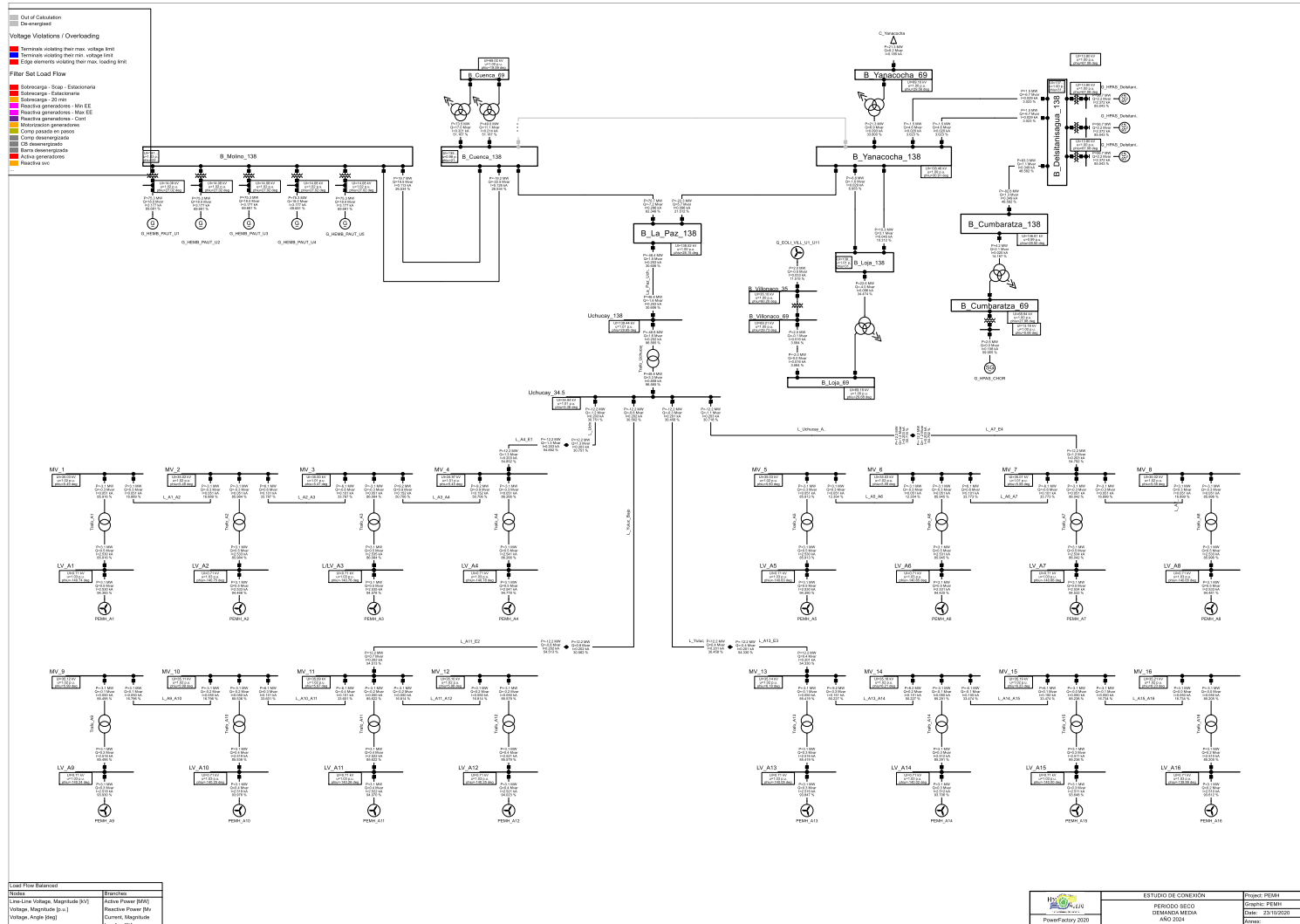


# 5.9 Año 2024 Periodo Lluvioso Demanda Mínima

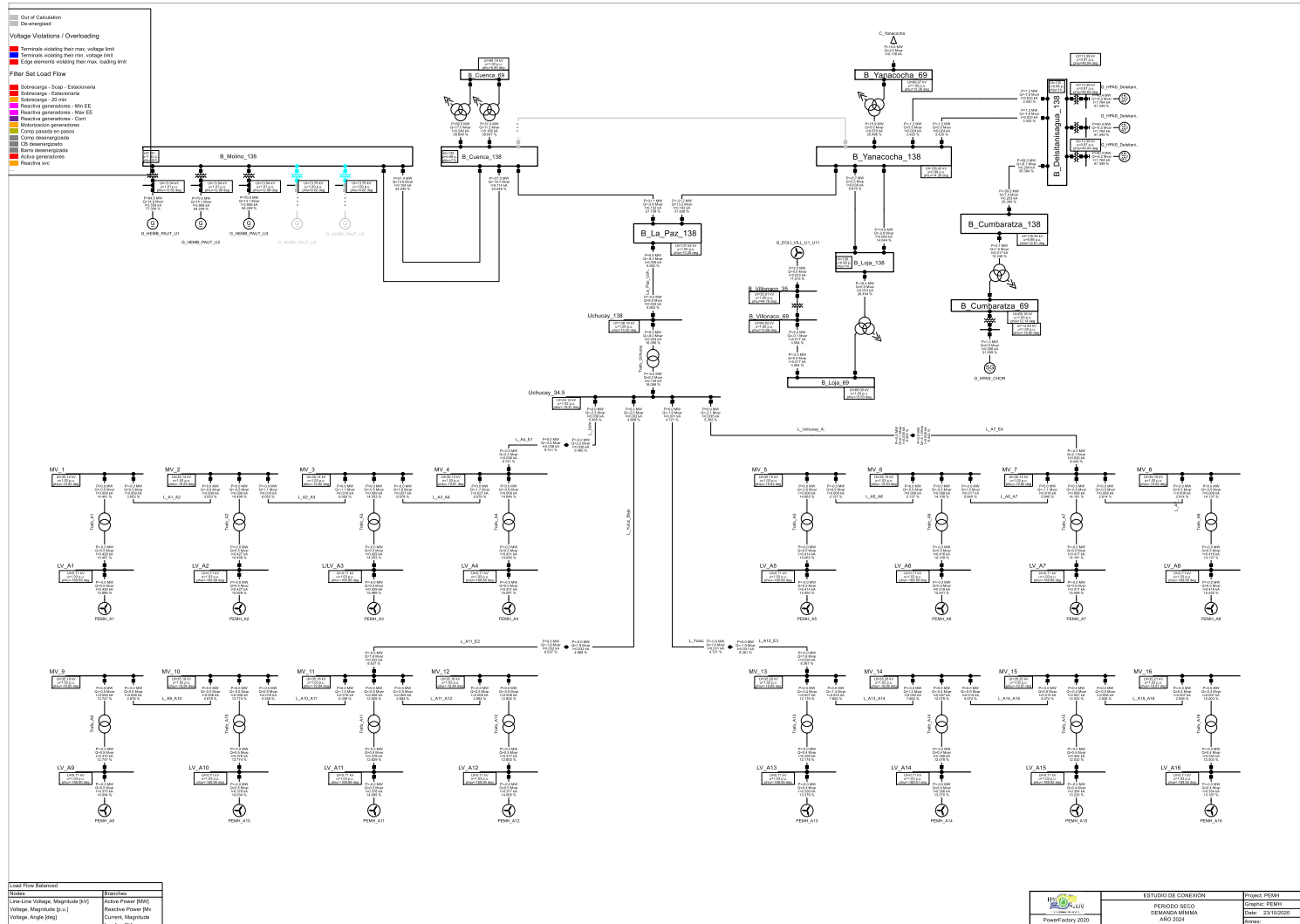




# 5.11 Año 2024 Periodo Seco Demanda Media



# 5.12 Año 2024 Período Seco Demanda Mínima



# **ANEXO 2**

DIAGRAMAS UNIFILARES



ABB AG  
 Oberhausener Straße 33  
 40472, Ratingen, Nordrhein-Westfalen  
 GERMANY

Project name		Project manager		00	07.02.2019	First draft	DT
EOLICO HUASCACHACA		Volker Niesen					
Switchgear name		Primary engineer					
36 kV ZX2		Hueseyin Biyikli		6	21.08.2018		
Switchgear type	Customer	Electrical engineer					
ZX2 Standard SBB	CR Constructora	Rodrigo Lugo		4	21.08.2018		
Project number	Work order id.	Programming engineer					
	245340611	SDO Department		Rev.	Date	Description	Name

# Switchgear drawings

34.5 kV Gas Insulated Medium Voltage Switchgear

**Based on technical offer**

Revision  
 Date  
 Name

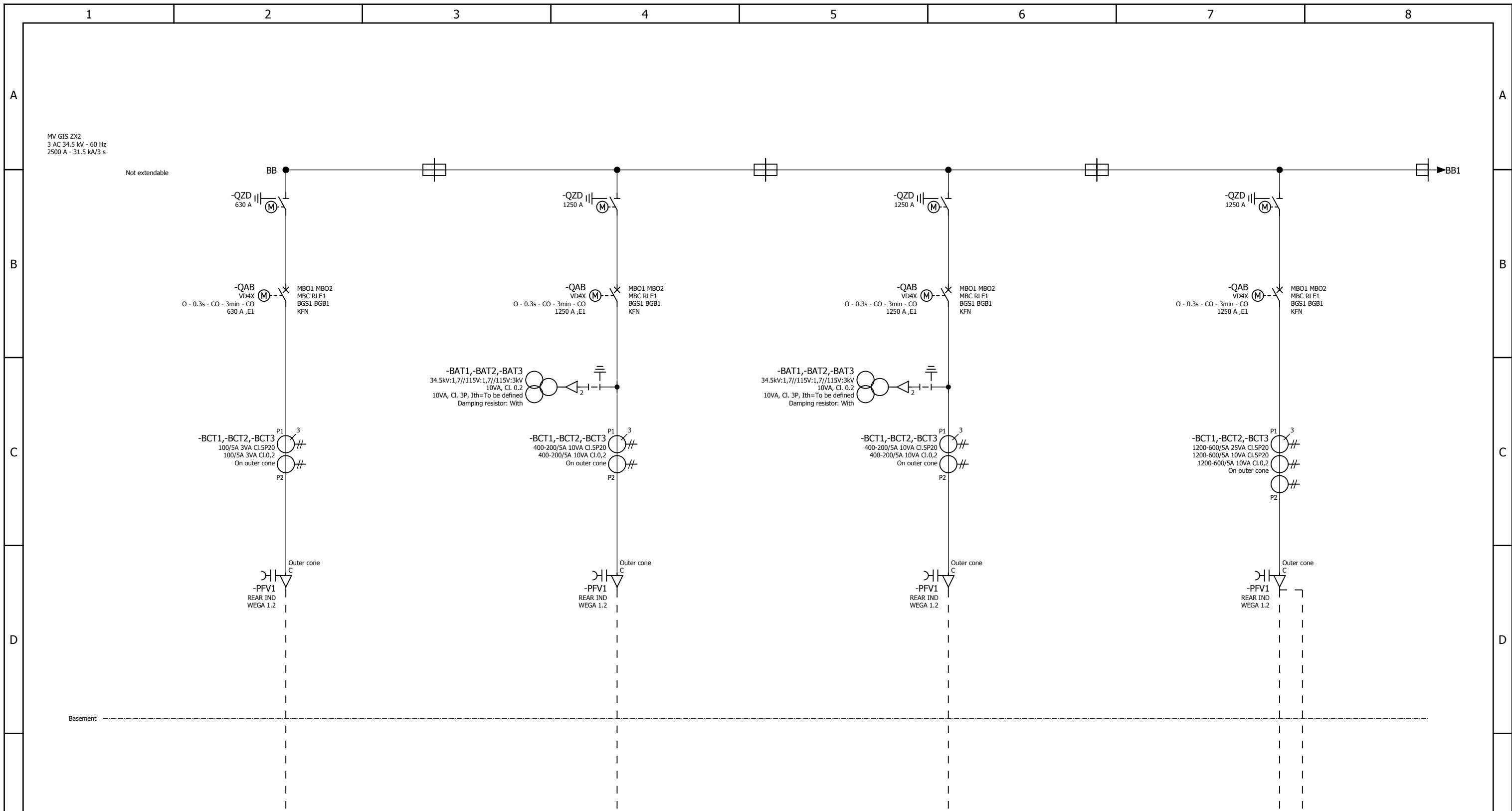
## Approval status

- Approved
- Approved as noted
- Not approved and to be re-submitted
- Not approved

Date \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

00	First draft	07.02.2019	DT	Prepared Dhaval Tripathi	Project name	EOLICO HUASCACHACA		Customer	CR Constructora		Based on	Ref. designation = CDX +		Lang.	Scale
				Checked Vjaceslav Rudnev	Switchgear name	36 kV ZX2		Resp. (division/department)	EPDS/AE		Document kind	Cover sheet		External doc. ID	EN
				Approved Rodrigo Lugo	Work order ID	245340611		ABB			Title	General drawings Cover sheet		Document ID	DCC Page No. of pages
Rev.	Description	Date	Name	Date prep. 24.01.2019									1VB2504220	&EAA A01	20

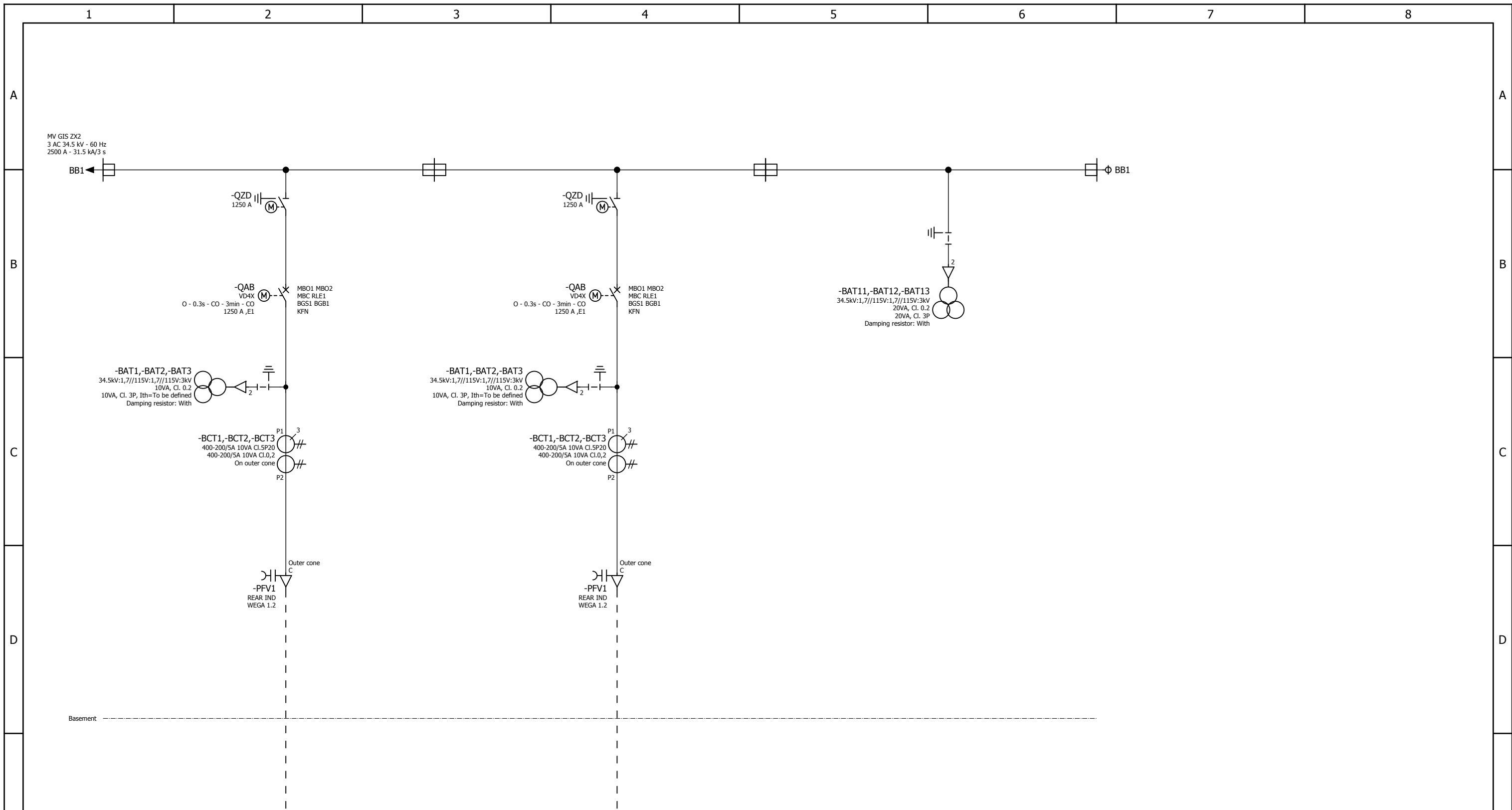
We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.



Panel	1	2	3	4
Panel name	H01 1VB2504221	H02 1VB2504222	H03 1VB2504222	H04 1VB2504224
Panel ctrl.	SSAA	GEN	GEN	TRAFO
Protection relays & functions	ABB-IED	ABB-IED	ABB-IED	ABB-IED
	REF620 21FL; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS	REF620 21FL; 25; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS	REF620 21FL; 25; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS	REF620 21FL; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS

00	First draft	07.02.2019	DT	Prepared Dhaval Tripathi	Project name	EOLICO HUASCACHACA		Customer	CR Constructora		Based on	Ref. designation = CDX + SLD		Lang.	Scale
				Checked Vjaceslav Rudnev	Switchgear name	36 kV ZX2			EPDS/AE		Document kind	Single line diagram		EN	
				Approved Rodrigo Lugo	Work order ID	245340611			EPDS/AE		Title	General drawings Single line diagram		DCC	Page
Rev.	Description	Date	Name	Date prep.	24.01.2019				EPDS/AE			1VB2504220		SLD01	No. of pages
															20

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.



Panel	5	H05 1VB2504222	Typical : H02	6	H06 1VB2504222	Typical : H02	7	H07 1VB2504227
Panel name	GEN			GEN			Measuring	
Panel ctrl.	ABB-IED			ABB-IED			No electrical control device	
Protection relays & functions	REF620	21FL; 25; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS	REF620	21FL; 25; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS	REF620	21FL; 27; 47; 59; 59G		

00	First draft	07.02.2019	DT	Prepared Dhaval Tripathi	Project name	EOLICO HUASCACHACA		Customer	CR Constructora		Based on	Ref. designation = CDX + SLD		Lang.	Scale
				Checked Vjaceslav Rudnev	Switchgear name	36 kV ZX2		Resp. (division/department)	EPDS/AE		Document kind	Single line diagram		EN	
				Approved Rodrigo Lugo	Work order ID	245340611		ABB	EPDS/AE		Title	General drawings Single line diagram		Document ID	1VB2504220
Rev.	Description	Date	Name	Date prep.	24.01.2019							DCC	Page	No. of pages	20

1

2

3

4

5

6

7

8

A

B

C

D

E

F

A

B

C

D

E

F

1

2

3

4

5

6

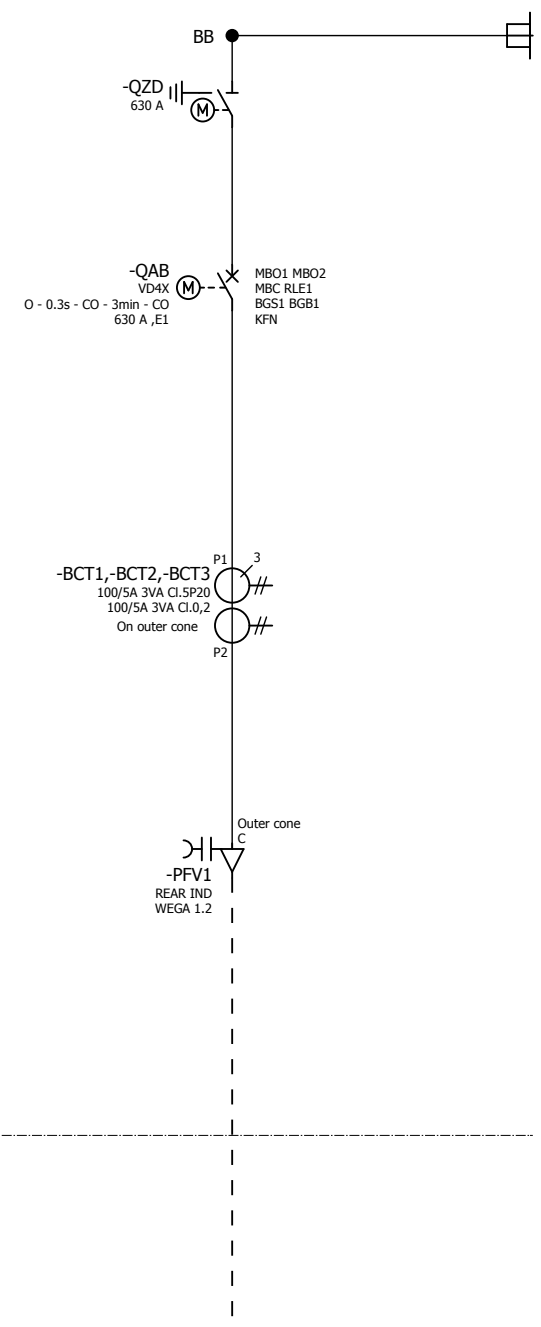
7

8

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.

MV GIS ZX2  
3 AC 34.5 kV - 60 Hz  
2500 A - 31.5 kA/3 s

Not extendable



Typical:  
=H01  
Identifier:  
1VB2504221

Panel	1	H01 1VB2504221
Panel name	SSAA	
Panel ctrl.	ABB-IED	
Protection relays & functions	REF620	21FL; 27; 47; 46; 46PD; 49F; 50,51; 50P/51P_3; 59; 59G; 51BF/51NBF; 81U,81O 86; 74 TCS

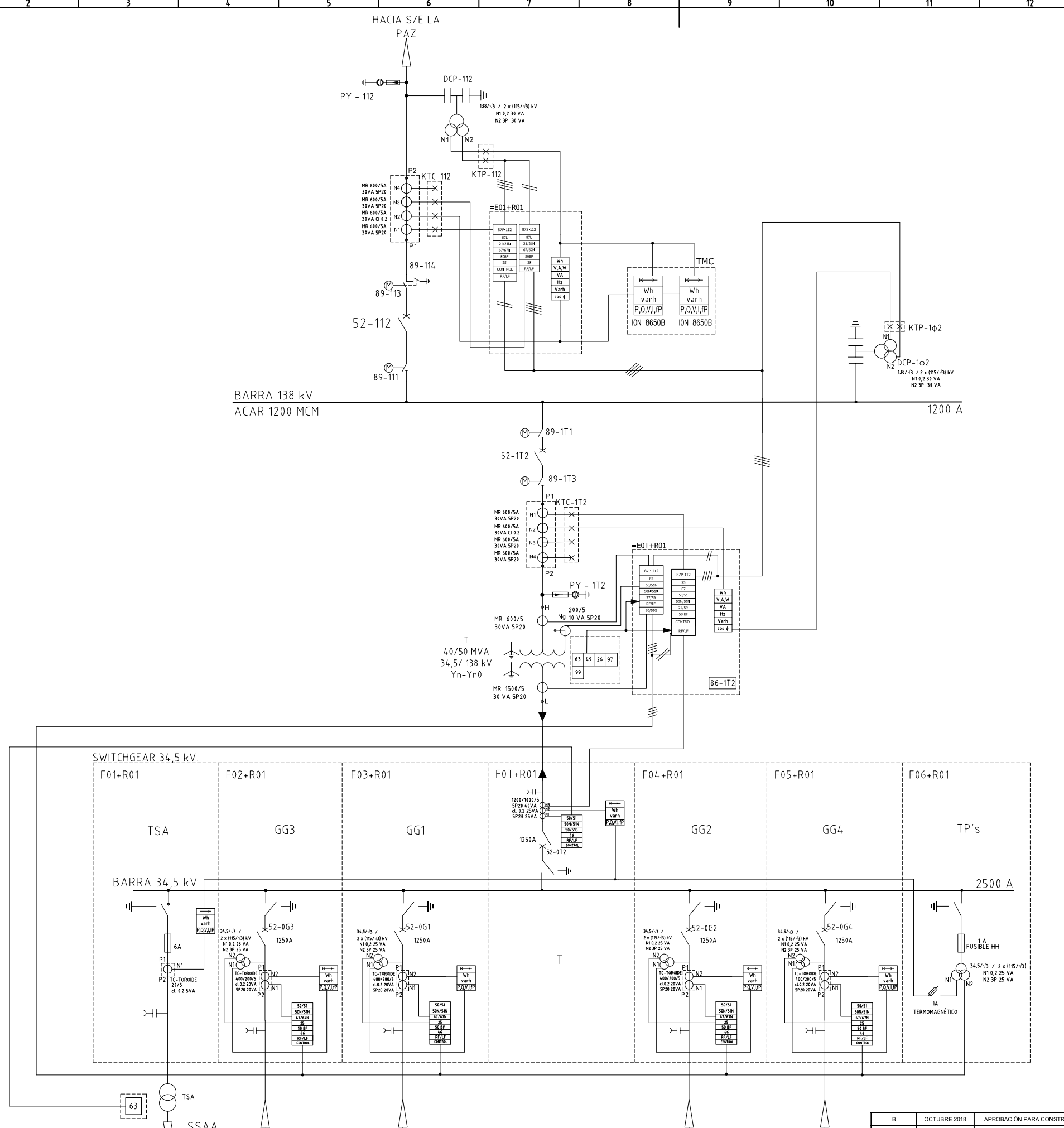
00	First draft	07.02.2019	DT	Prepared Dhaval Tripathi	Project name EOLICO HUASCACHACA	Customer CR Constructora	Based on	Ref. designation = H01 +	Lang. EN	Scale 1:1
				Checked Vjaceslav Rudnev	Switchgear name 36 kV ZX2	EPDS/AE	Document kind Circuit diagram	External doc. ID		
				Approved Rodrigo Lugo	Work order ID 245340611	ABB	Title SSAA	Document ID 1VB2504221	DCC	Page A01
Rev.	Description	Date	Name	Date prep. 24.01.2019			Single line diagram			No. of pages 63

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F

A  
B  
C  
D  
E  
F

1 2 3 4 5 6 7 8





ELECTRO GENERADORA DEL AUSTRO S.A.

**PROYECTO EÓLICO MINAS DE HUASCACHACA**

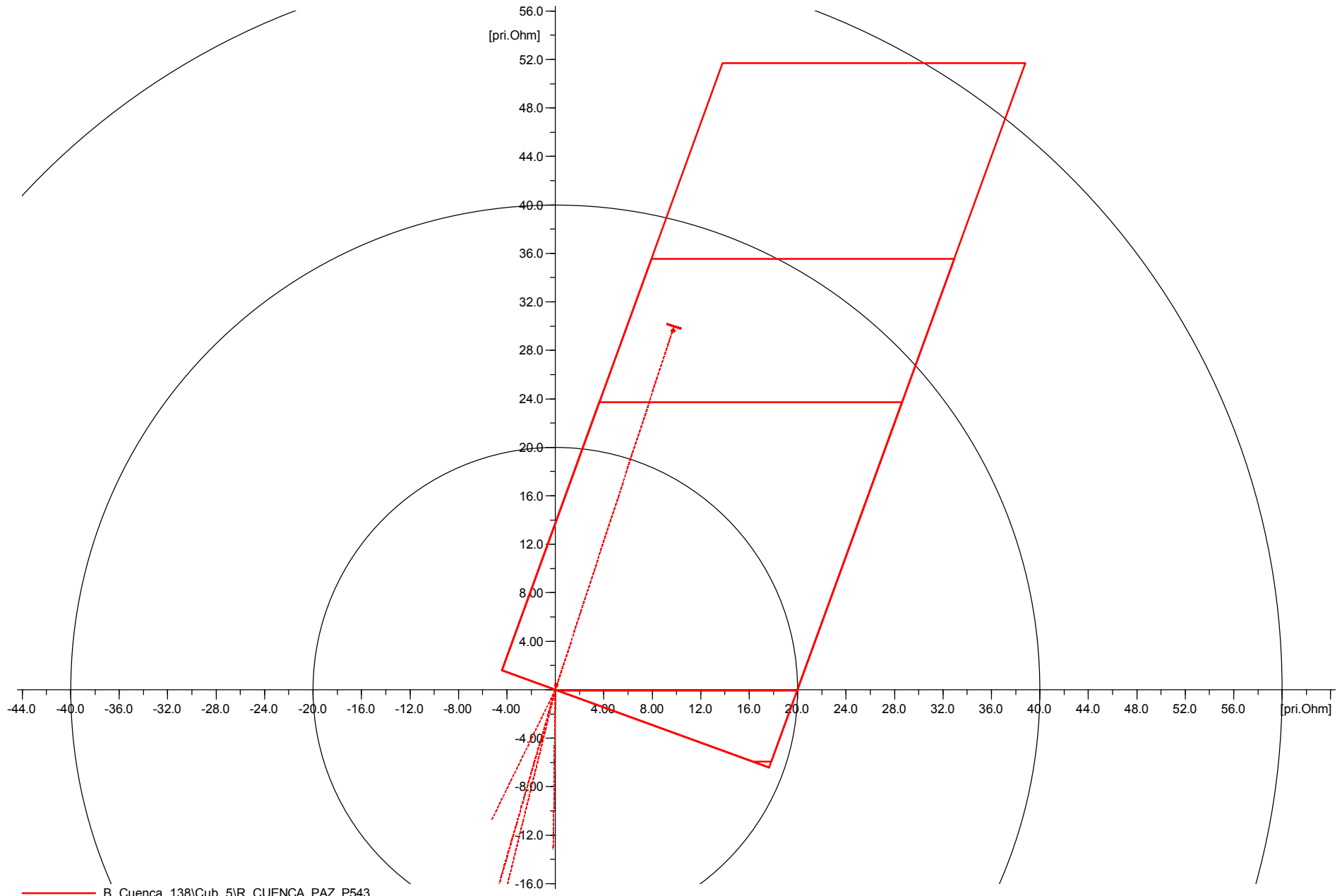
**SUBESTACIÓN UCHUCAY 34,5/138 kV.**

**DIAGRAMA UNIFILAR MEDICIÓN Y PROTECCIÓN**

DISEÑADO: ALEJANDRO CAIZA	FISCALIZACIÓN: FRANCISCO FLORES	
DIBUJADO: JUDY MORA	ELECAUSTRO: CARLOS DURÁN	
REVISADO: GERARDO MORALES	PLANO: EA-SE-UCHU-EL-002	
FECHA: OCTUBRE 2018		ESCALA: SIN ESCALA
		LAMINA: <b>1/1</b>

B	OCTUBRE 2018	APROBACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN	G.M.	F.F.	C.D.
A	MAYO 2018	APROBACIÓN PARA CONSTRUCCIÓN	G.M.	M.S.	C.D.
REV. No.	FECHA	NATURALEZA DE LA REVISIÓN	POR	VERIF.	APROB.

## DIAGRAMAS DE IMPEDANCIA



— B\_Cuenca\_138\Cub\_5\R\_CUENCA\_PAZ\_P543



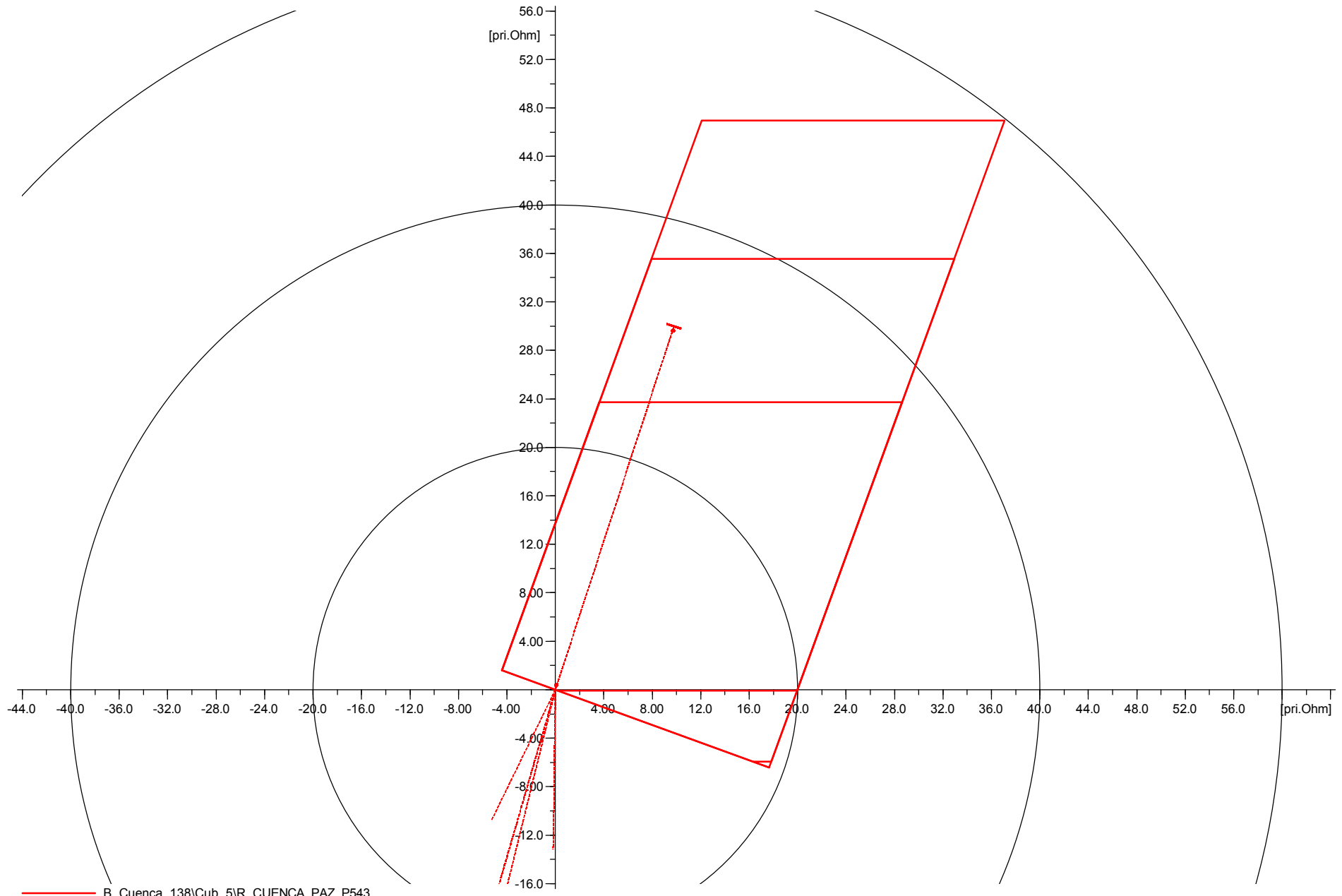
ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

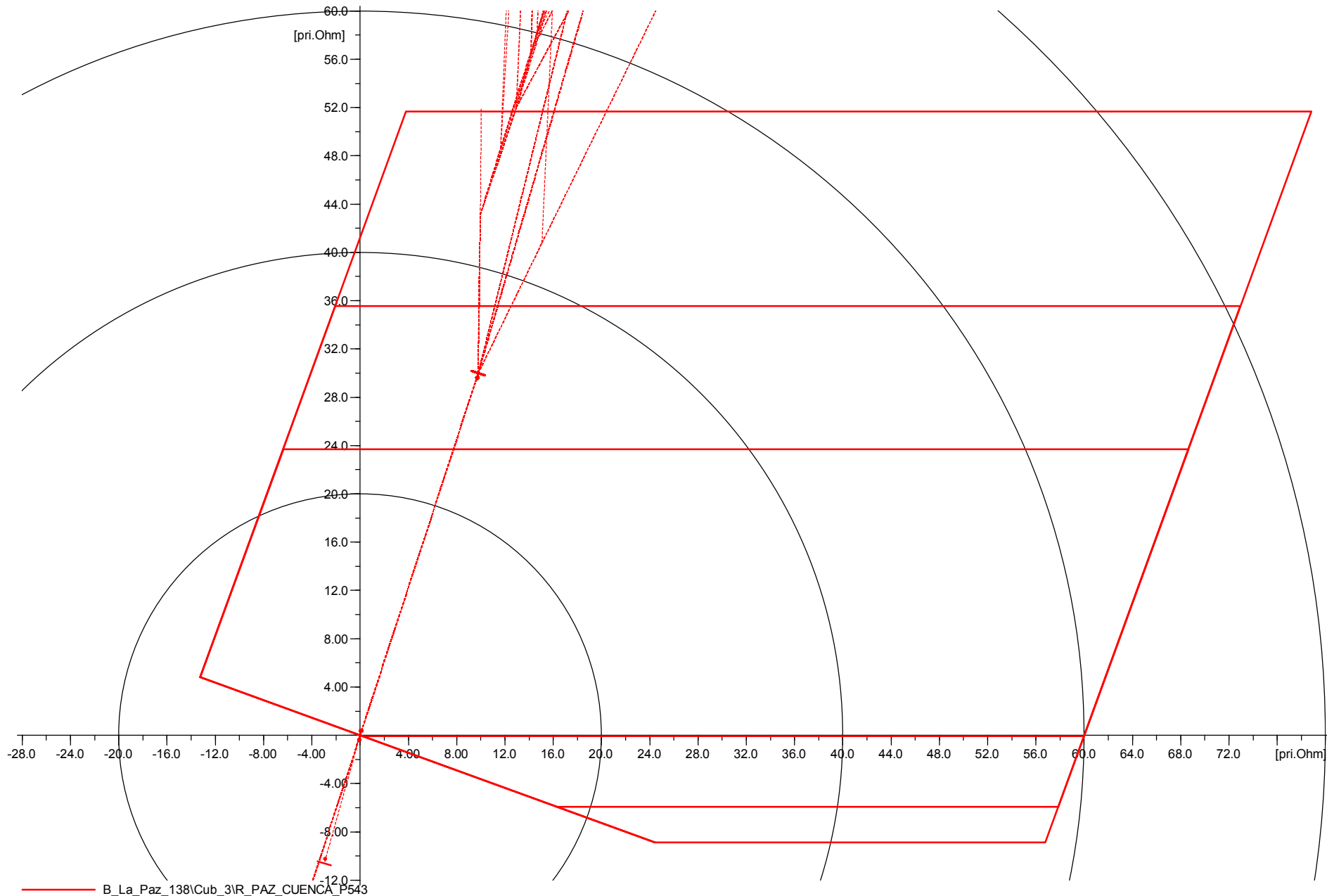
DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS PROTECCION DE DISTANCIA (21/21N)

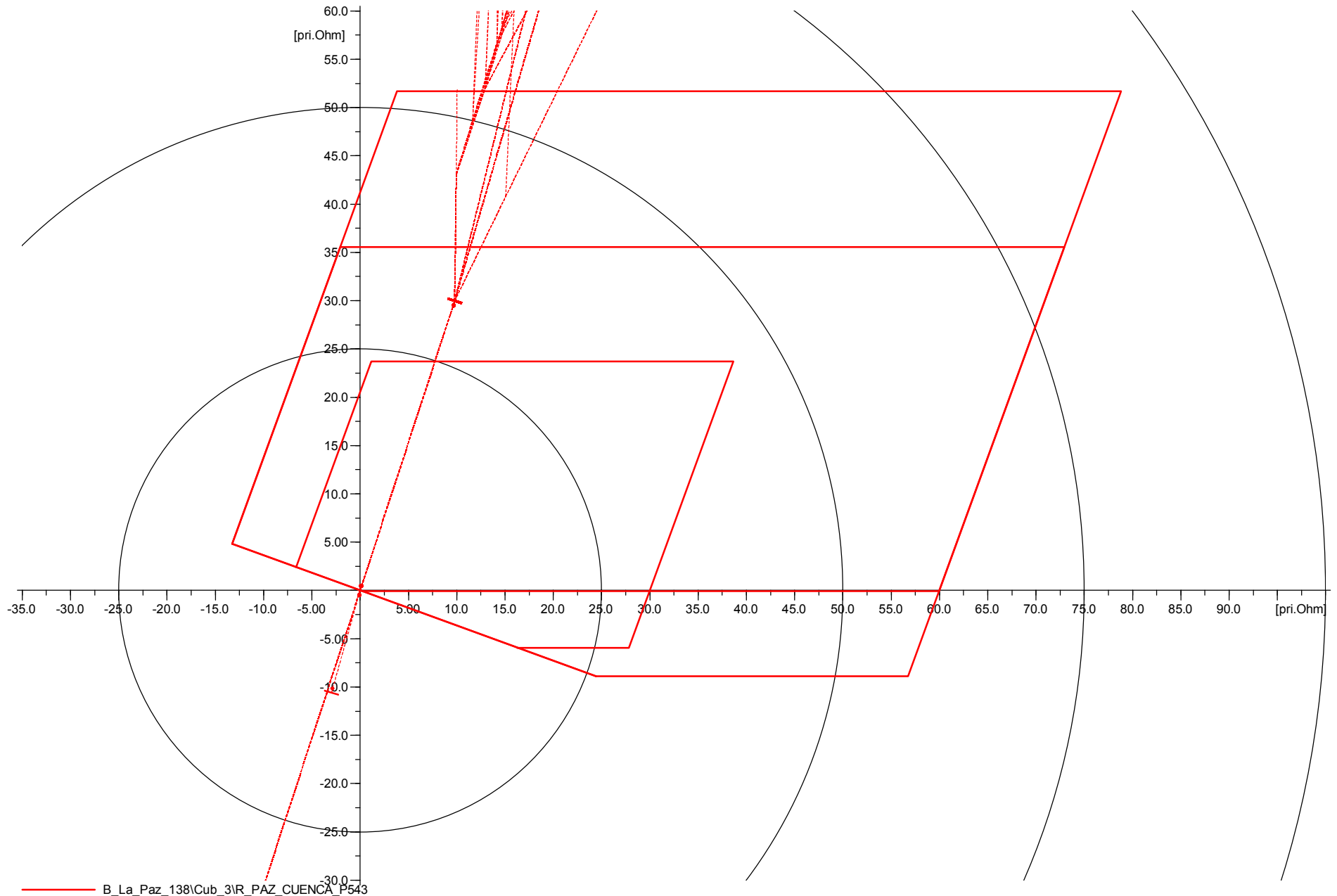
R\_(21)\_CUENCA\_PAZ\_P543

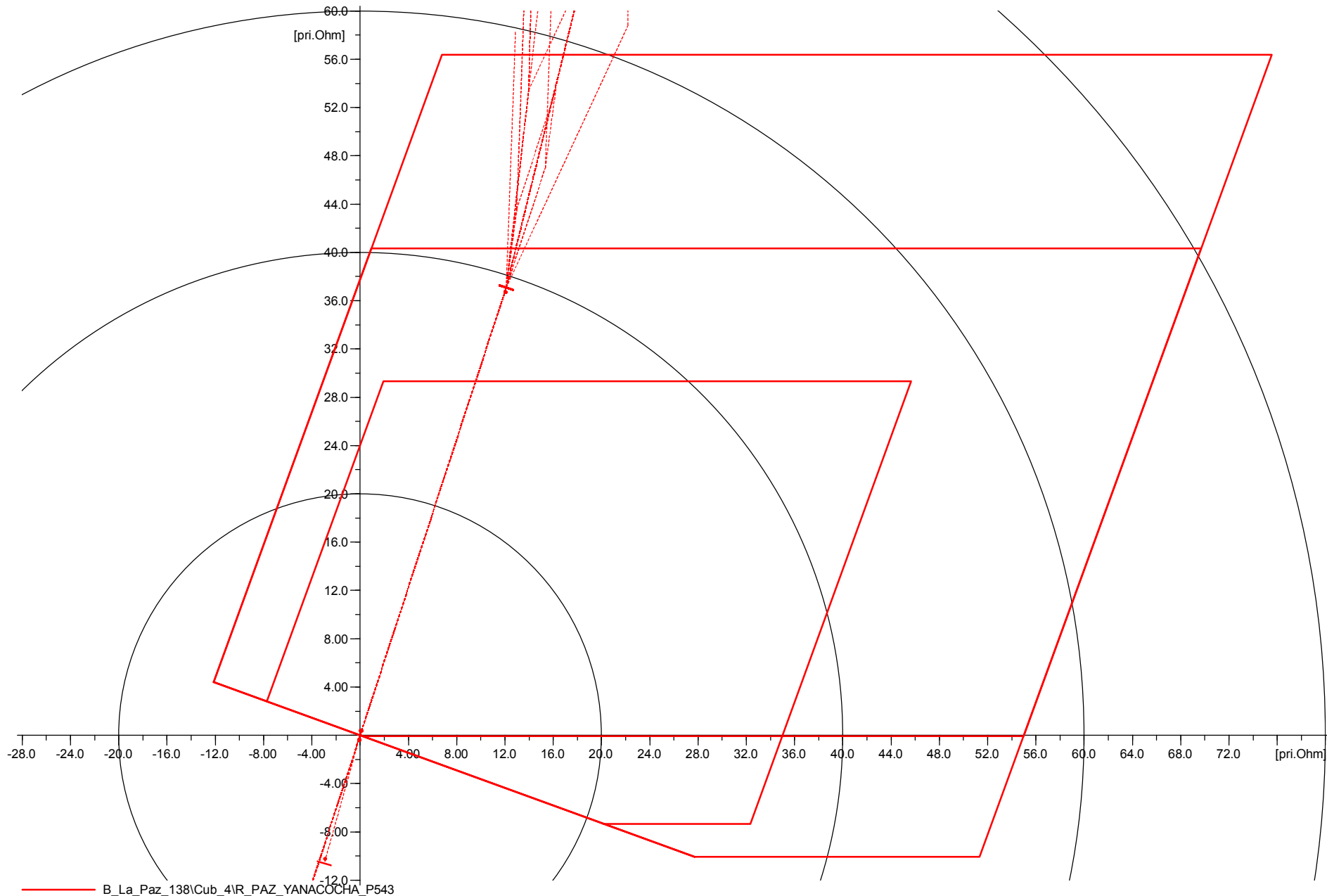
Date: NOV 2020

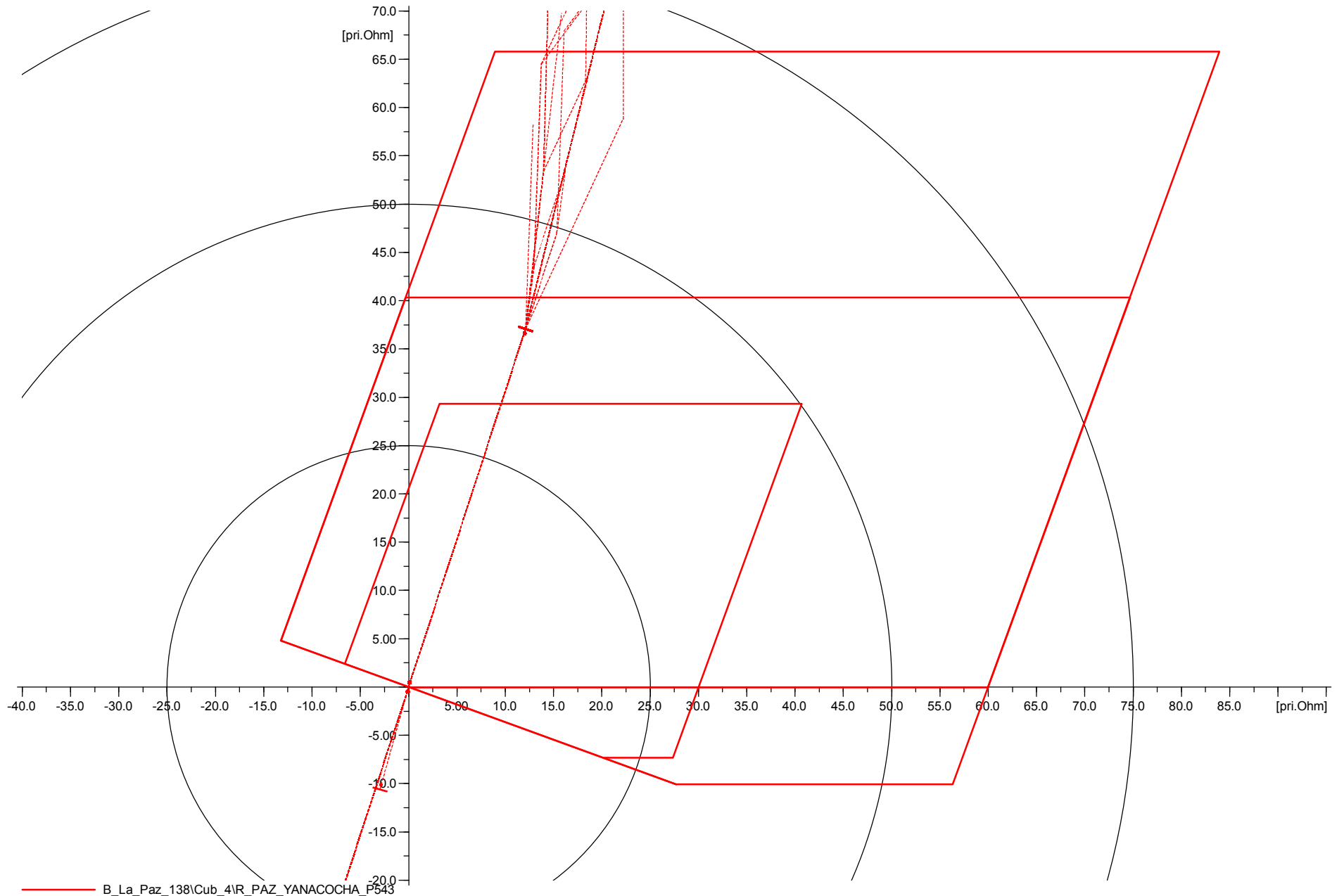
Annex: ANEXO 2

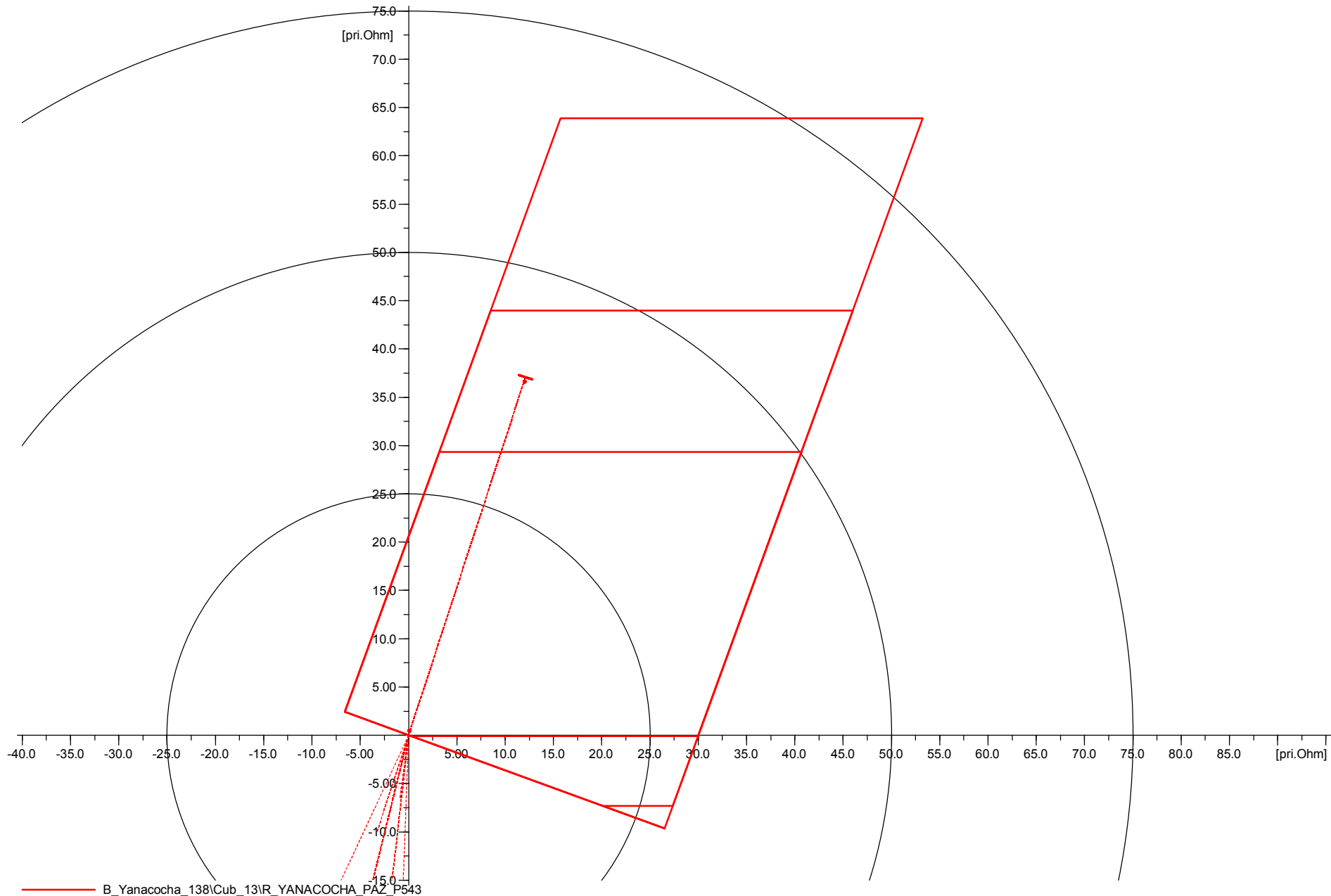


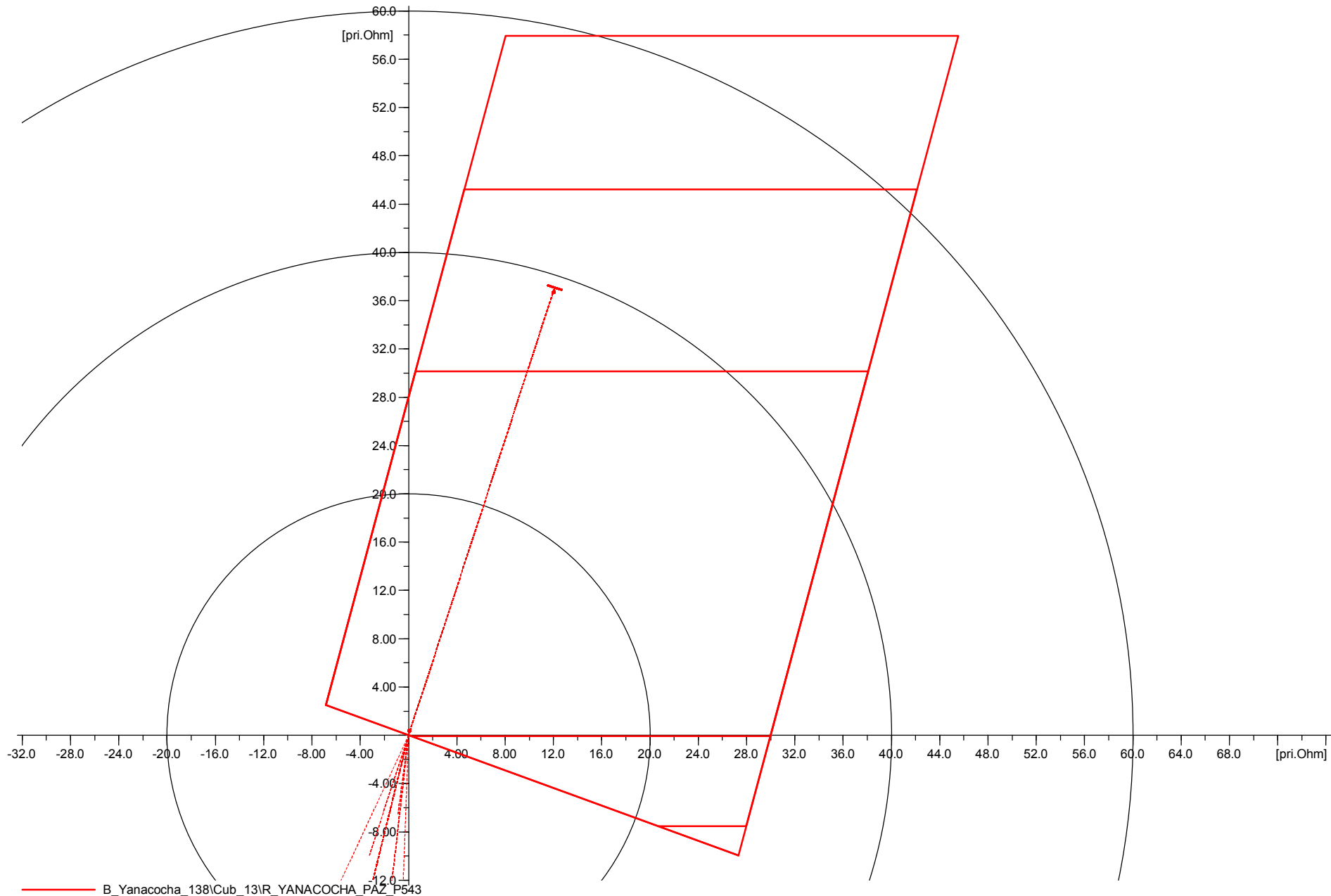


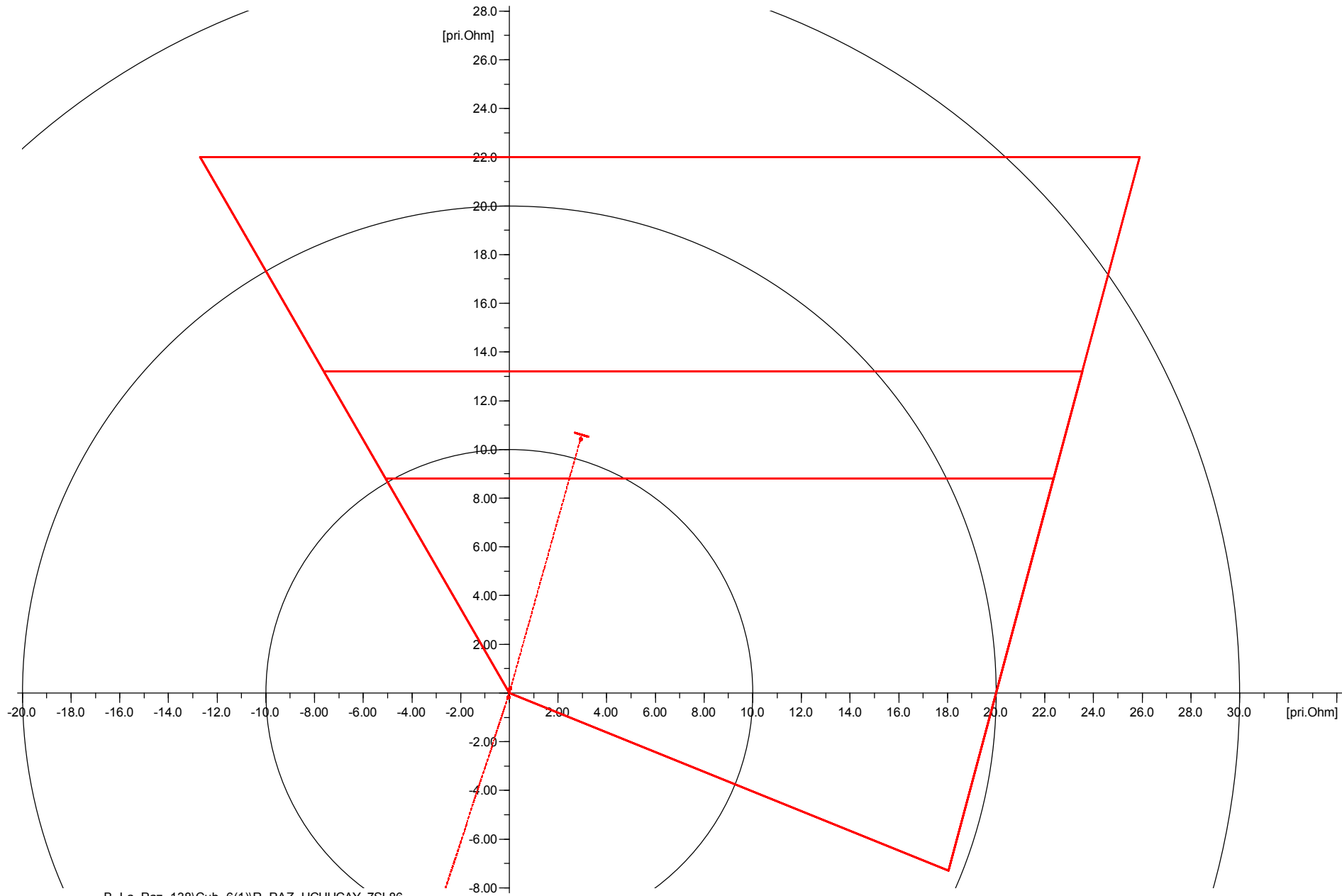




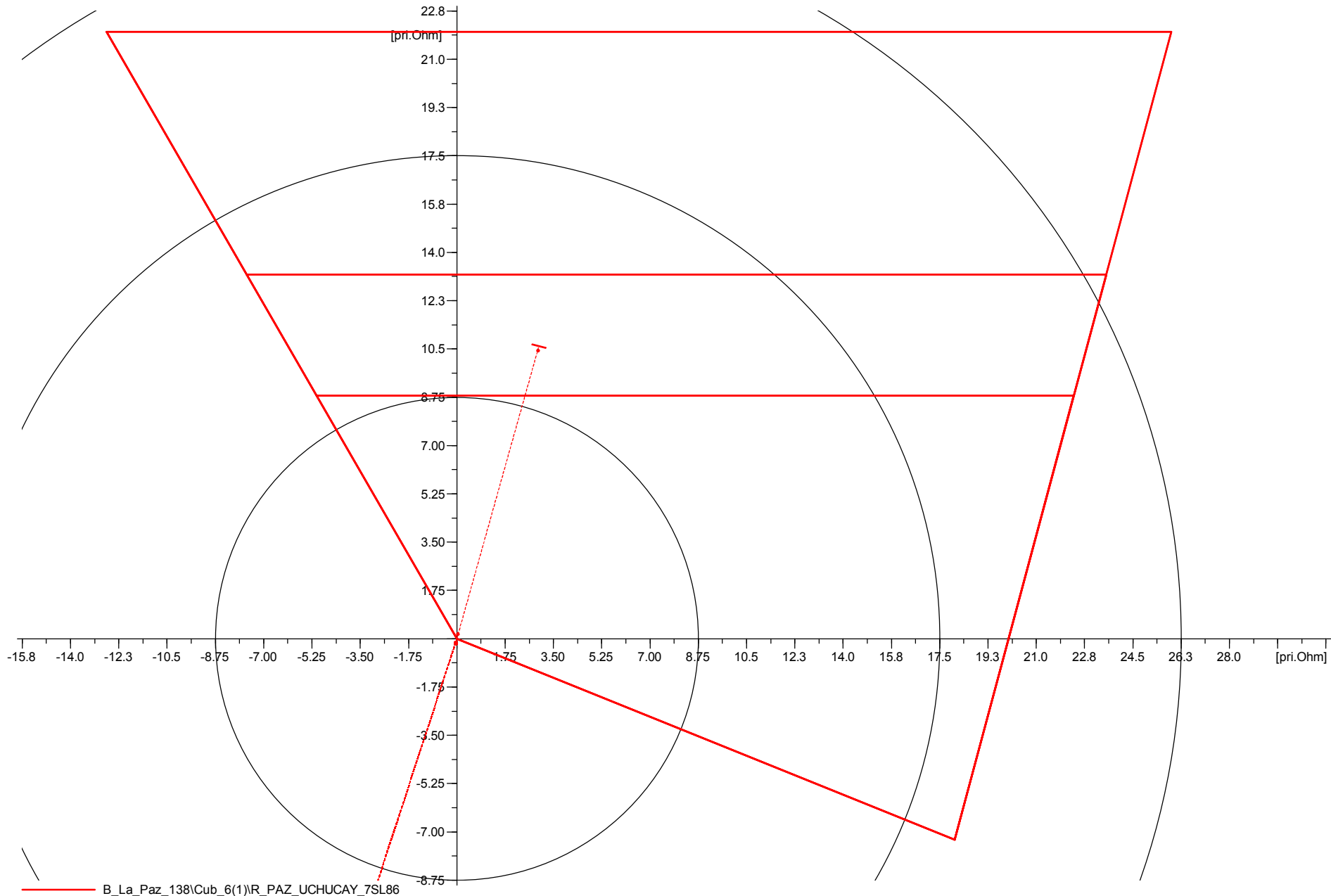


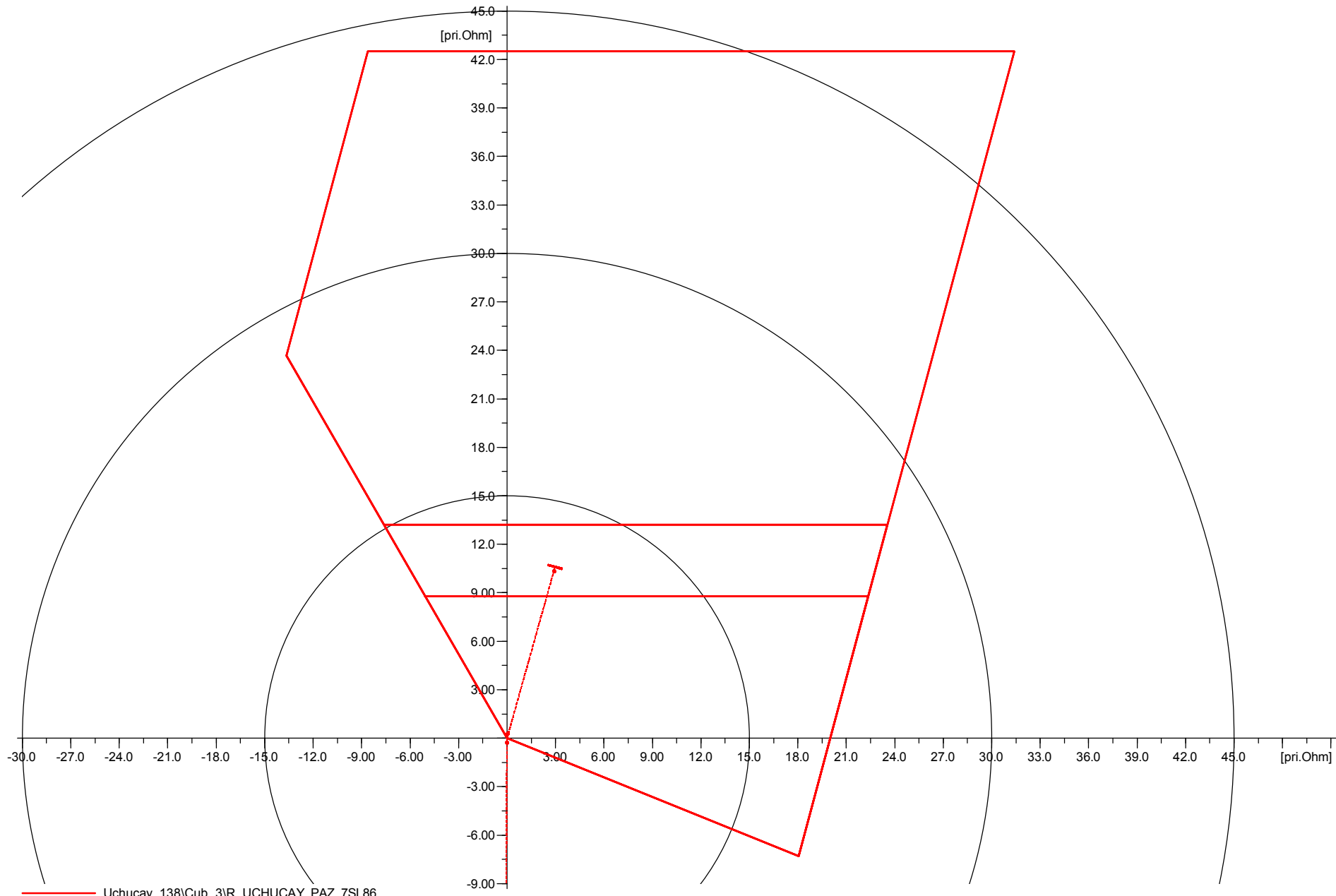


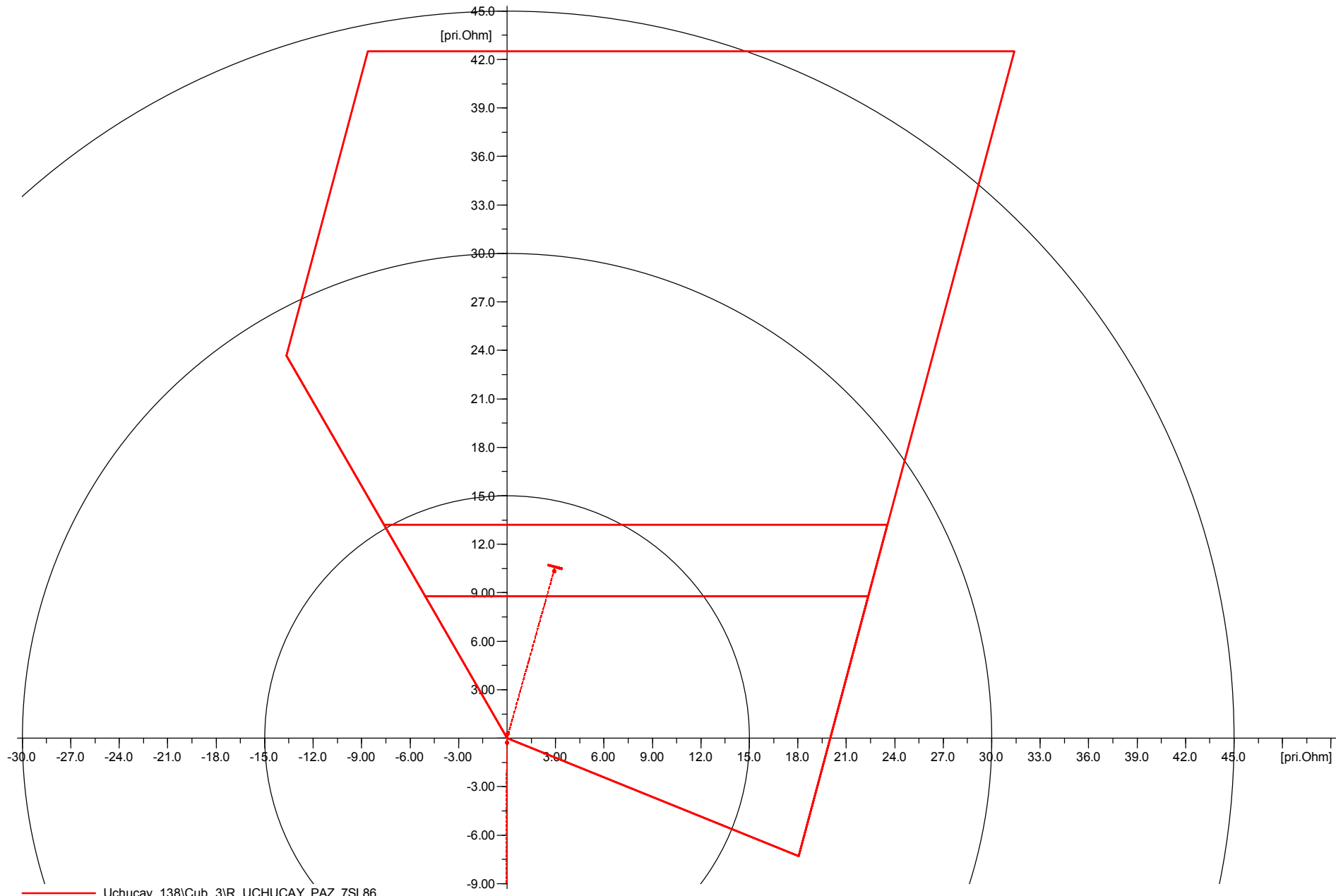




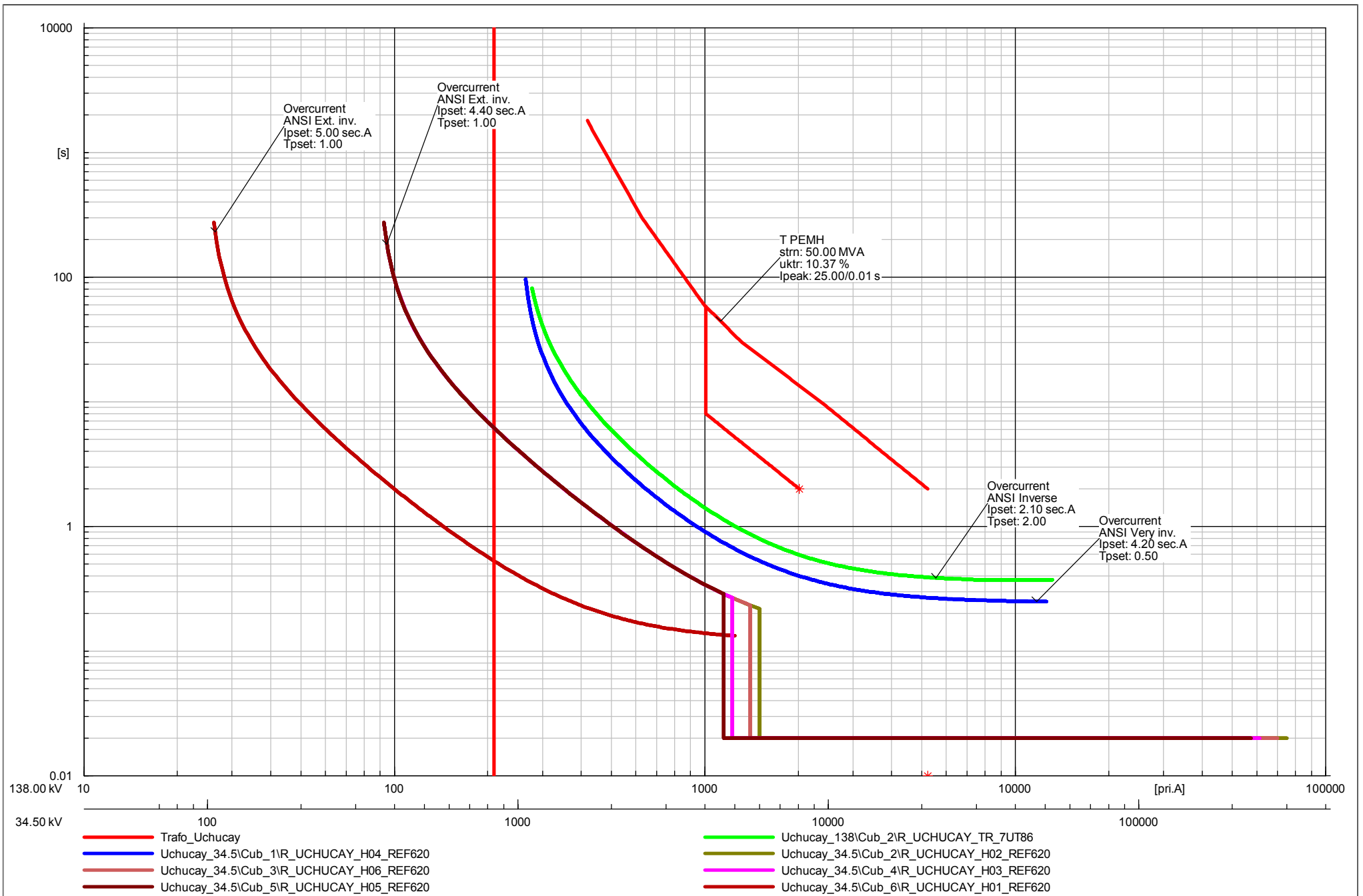
B\_La\_Paz\_138\Cub\_6(1)\R\_PAZ\_UCHUCAY\_7SL86

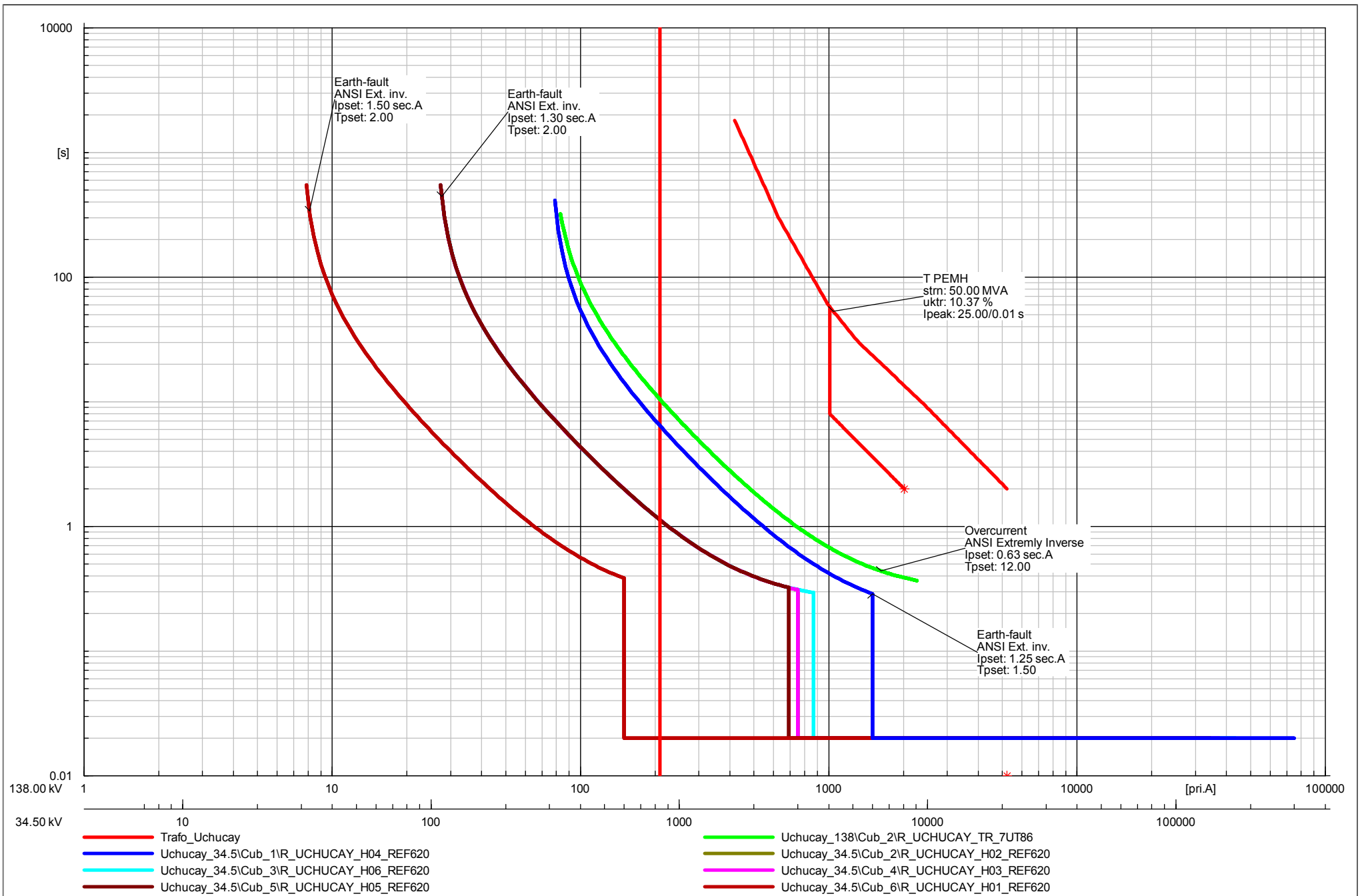


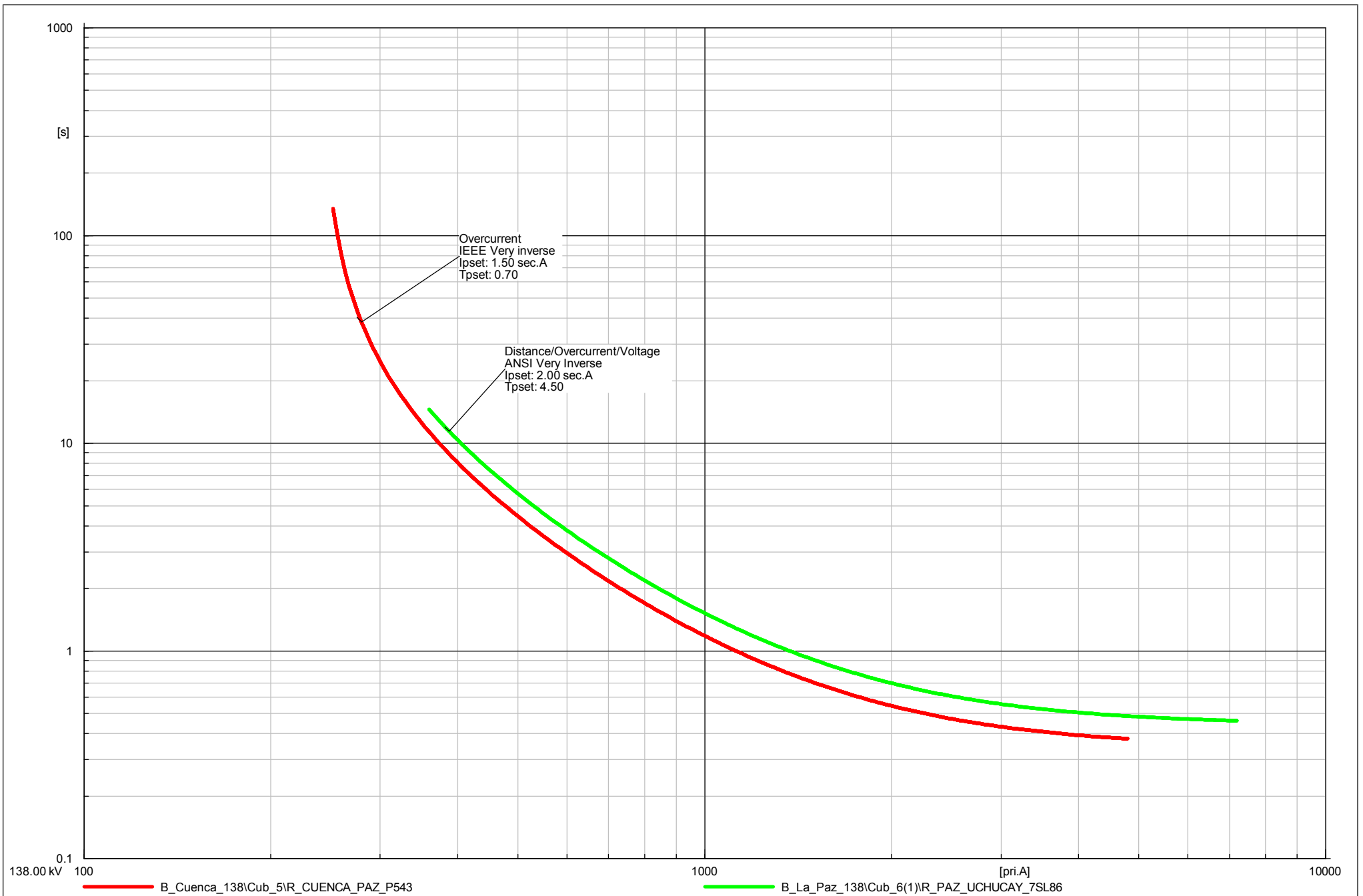




## DIAGRAMAS DE TIEMPO SOBRECORRIENTE







138.00 kV 100

B\_Cuenca\_138\Cub\_5\R\_CUENCA\_PAZ\_P543

1000

B\_La\_Paz\_138\Cub\_6(1)\R\_PAZ\_UCHUCAY\_7SL86

[pri.A]

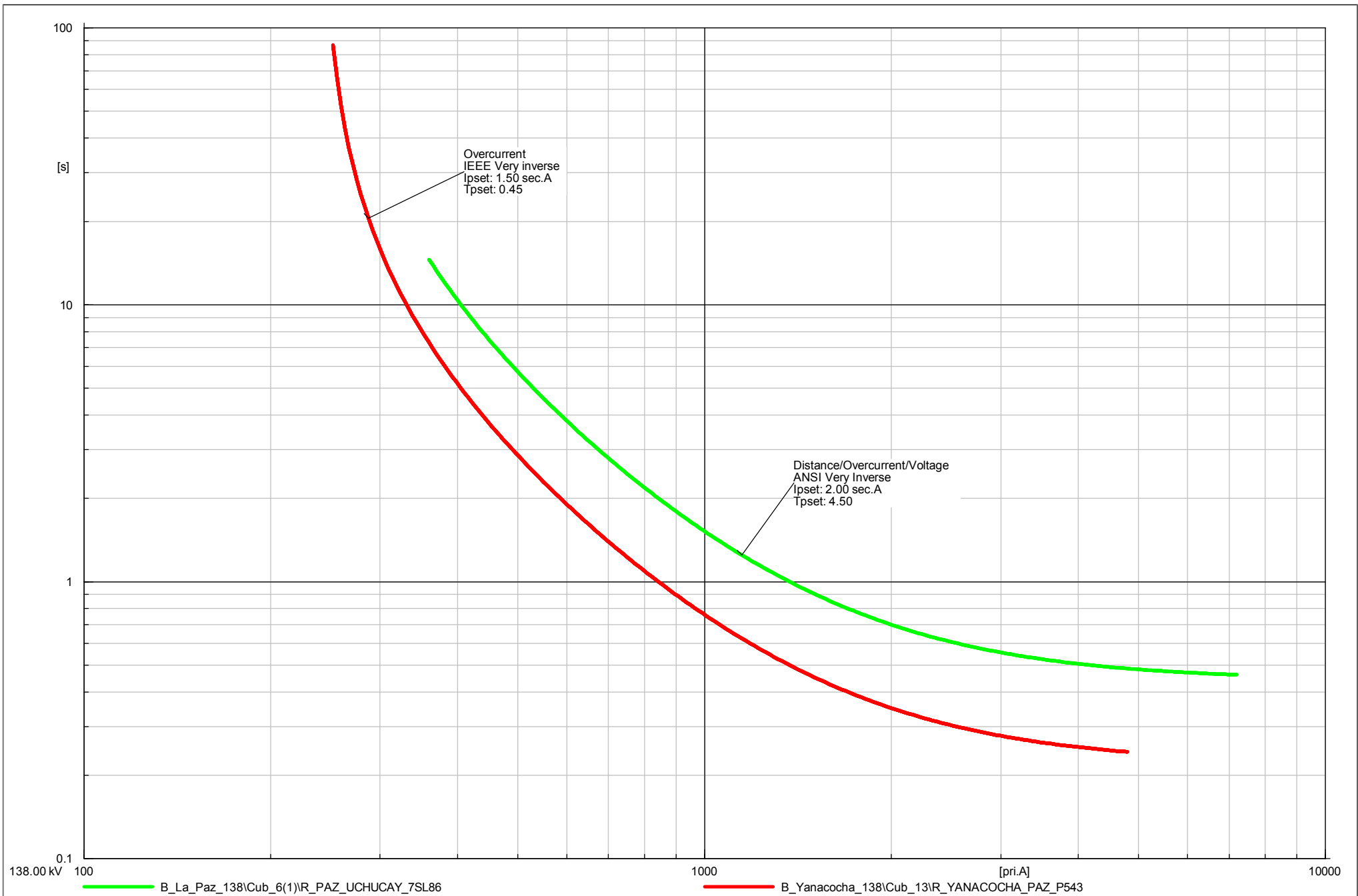
10000

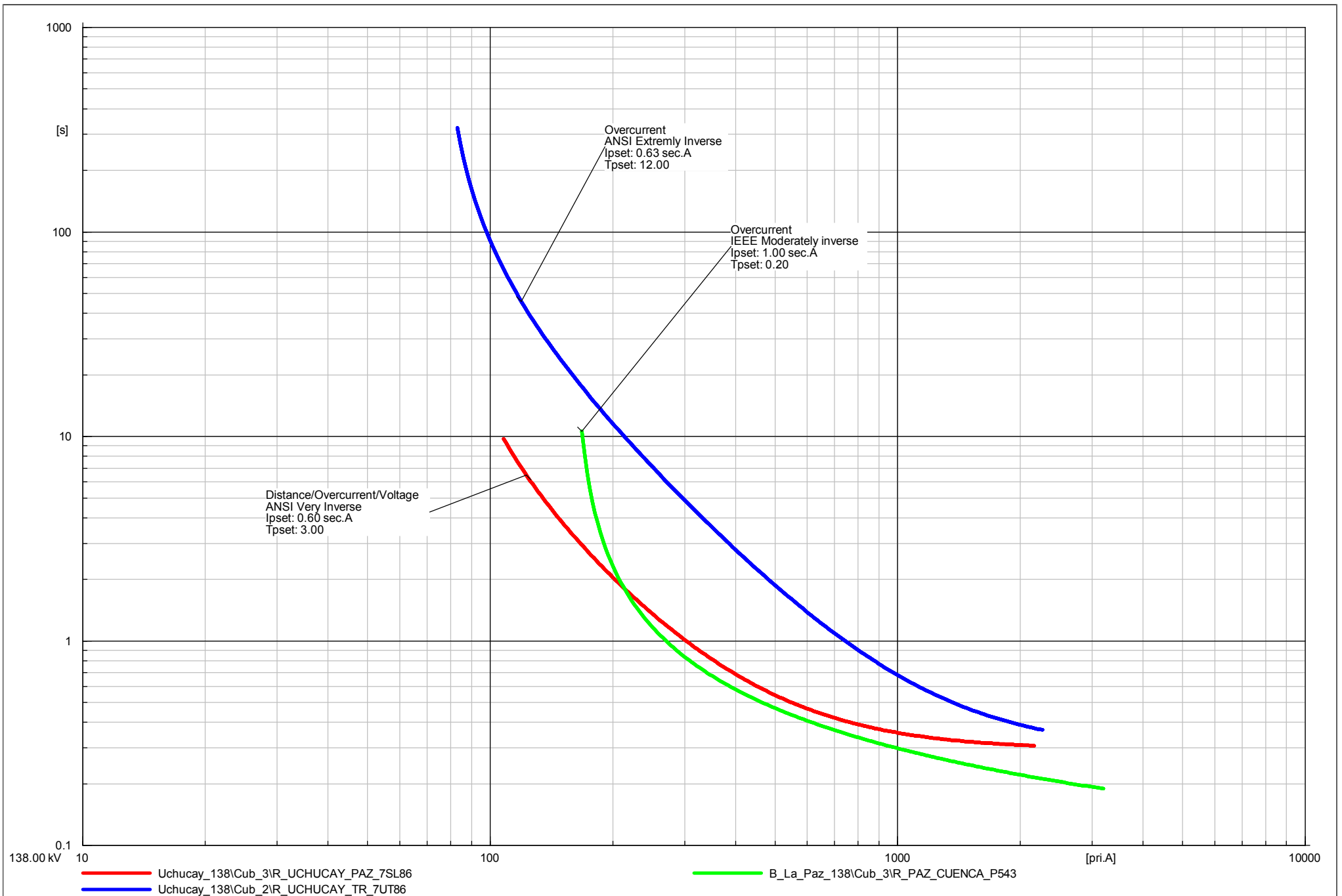


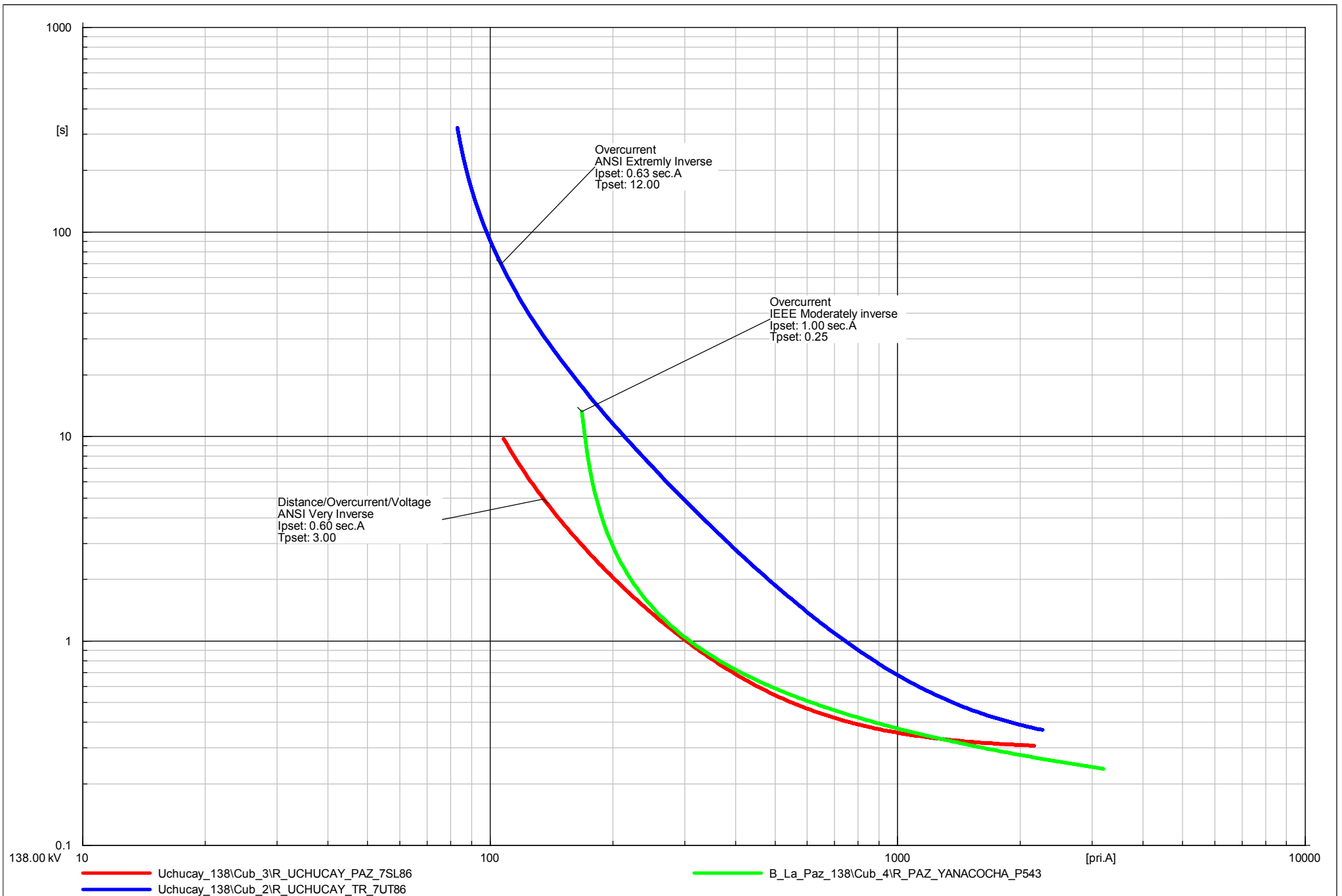
ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES  
DIAGRAMA DE TIEMPO SOBRECORRIENTE

CUENCA-LT LA PAZ-UCHUCAY

Date: NOV 2020  
Annex: ANEXO 3







## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Henry Irineo Chamba Parra** portador de la cédula de ciudadanía N° 015032196-6. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Coordinación de Protecciones de la S/E La Paz y S/E Uchucay con sus Líneas Asociadas”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 04 de febrero de 2021

HENRY IRINEO  
CHAMBA PARRA

Firmado digitalmente por  
HENRY IRINEO CHAMBA  
PARRA  
Fecha: 2021.02.04 17:58:12  
-05'00'

F: .....

Henry Irineo Chamba Parra  
015032196-6