

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y  
MECÁNICA.

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**TESIS:**

**“ESTUDIO DE OPERATIVIDAD DE LA INTERCONEXIÓN  
ENTRE LAS BARRAS EN 138 KV DE LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU Y SUBESTACIÓN  
SURIRAY”**

**PRESENTADO POR:**

Br. Paola Cecilia Pillco Cereceda.

Br. Pierina Rodríguez Gavidia

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Electricista**

**ASESOR:**

Ing. Edgar Alarcón Valdivia

**TESIS AUSPICIADA POR EL CONSEJO DE INVESTIGACION DE LA UNSAAC**

**Cusco - Perú**

**2016**

# Presentación

*Señor Decano de la Facultad de Ingeniería: Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con la finalidad de optar al Título Profesional de Ingeniero Electricista, presentamos ante usted la tesis intitulada “ESTUDIO DE OPERATIVIDAD DE LA INTERCONEXIÓN ENTRE LAS BARRAS EN 138 KV DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU Y SUBESTACIÓN SURIRAY”, trabajo de investigación en el cual se ha desarrollado el estudio de la operatividad de esta interconexión propuesta, tanto en el escenario actual, como en escenarios futuros con el ingreso de nuevos centros de generación, líneas de transmisión y nuevas cargas importantes en la región.*

*Las Alumnas.*

# Dedicatoria

*A mí amado hijo Matías, quien me da la fortaleza para seguir adelante y alegrar mis días con su inmensurable ternura y amor.*

*A mi Papá Mario quien me apoyo y espero con paciencia este gran logro en mi vida, a mi Mamá Olguita que desde el cielo guía cada uno de mis pasos, me cuida y acompaña en todo momento, la que en vida me exigió hasta el cansancio para conseguirlo más enhelado para ella y para mi. Los amo y son la razón de mi vida.*

*Paola*

*A mis padres Mario Alejandro y María Elena, a mi Tía Zandra, quienes han sido la guía para poder llegar a este punto de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación y apoyo en todo momento, me motivan a seguir alcanzando cada una de mis metas y que nunca baje los brazos, aun cuando todo se complicaba.*

*Los Amo con todo mi corazón.*

*Pierina*

# Agradecimiento

*A Dios por brindarme las fuerzas necesarias para no decaer en los momentos más difíciles, por ser un gran guía y luz de mi camino.*

*A mis hermanas Janet, Estefani y Verónica por darme siempre su apoyo, el enorme esfuerzo que hicieron para ayudarme a forjar mi desarrollo profesional, A mi novio Romy, a la Sra. Norma y al Sr. Rómulo por apoyarme en todo momento antes y durante el desarrollo de esta tesis.*

*Paola*

*A Dios, el eje de mi vida por estar a mi lado siempre,  
A mi abuelito Mario por su apoyo incondicional,  
en cada una de las etapas de mi vida.*

*A mi hermana Alexandra y mi enamorado Hans  
personas especiales, quienes fueron un gran apoyo emocional.*

*A nuestro amigo Pavel quien durante la realización de este  
proyecto ha sido mano derecha y guía en el proceso.*

*A los Ingenieros de EGEMSA, por su apoyo,  
enseñanzas y amistad.*

*Pierina.*



## INTRODUCCION

La presente tesis consta de cinco capítulos los cuales se han organizado de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se presenta los aspectos generales de la investigación, se expondrá el planteamiento, formulación y justificación del problema, objetivos, alcances, limitaciones, hipótesis y metodología con el fin de poner en contexto el tema a investigar.

En el Capítulo II, se desarrollan las bases teóricas, conceptos generales sobre análisis de sistemas de potencia, sus componentes y las herramientas necesarias para realizar el estudio.

En el Capítulo III, se realiza el diagnóstico del Área Operativa Sur Este N°13 del SEIN, así como el análisis de la oferta y demanda y sus proyecciones futuras, esto con el fin de evaluar el funcionamiento de esta área, en condiciones actuales y futuras.

En el Capítulo IV, se analiza y selecciona la mejor alternativa de interconexión, que satisfaga la demanda en magnitud y oportunidad, adecuada operación, menor costo posible, cumpliendo las normas ambientales y de seguridad.

En el Capítulo V, se desarrolla el estudio de operatividad de la alternativa seleccionada, aplicándola al sistema, para analizar el comportamiento de las variables eléctricas, a través del flujo de carga, los perfiles de tensión, la cargabilidad en las líneas de transmisión y Análisis de cortocircuito.

Esta tesis se culmina con conclusiones y recomendaciones, así como los respectivos anexos que sirvieron de información relevante para el desarrollo de este trabajo de investigación.



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se desarrolló el estudio de operatividad de la interconexión entre las barras en 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray; para lo cual se analizó y posteriormente se seleccionó la alternativa de solución más adecuada.

Este estudio se realizó en condiciones actuales a partir del año 2017, con el ingreso de la Línea de Transmisión Machupicchu-Quencoro-Onocora-Tintaya 220 kV que se encuentra en etapa de construcción culminándose en diciembre del presente año 2016 y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002. De igual modo se estudió escenarios futuros, dentro del periodo 2018-2024, años en los que se ha previsto el ingreso de nuevos centros de generación, líneas de transmisión y cargas importantes (mineras e industriales), los cuales influenciaron de manera significativa en el comportamiento del sistema.

Todo lo anteriormente mencionado se desarrolló mediante cálculos de flujo de potencia, perfiles de tensiones en barra, cargabilidad de líneas, análisis de cortocircuito, mediante la utilización del Software Power Factory DigSilent 15.01, herramienta utilizada por el Comité de Operaciones Económicas del Sistema (COES) y por muchas empresas del rubro eléctrico. Además se propuso un sistema de protección para la línea de la alternativa seleccionada.

Finalmente, se llegó a la conclusión que la interconexión proyectada sería una vía de evacuación adyacente, dando mayor seguridad en la operación del sistema, garantizando la continuidad de servicio, evitándose de esta manera congestiones y sobrecargas en las líneas, ya que sin la existencia de dicha interconexión las cargabilidades en líneas obtenidas están entre 95% y 106% encontrándose al límite de su capacidad, ante contingencias las caídas de tensión sobrepasan el límite normado (2.5%), alcanzando valores de 3.06%, 2.68%, 2.72% entre otros, en cuanto a los perfiles de tensión en barras los más críticos oscilan entre 0.91 y 0.94 p.u; posteriormente al considerar la interconexión, las cargabilidades en la líneas se encuentran entre 52% y 57%, las caídas de tensión se reducen significativamente, asimismo la mayoría de los perfiles de tensión de las barras logran mantenerse en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05).



## ABSTRACT

In the following research work, the study of the operability of the interconnection between the bars 138 kV of the Machupicchu Hydroelectric Power Station and the Suriray Substation was developed; for which the most suitable solution alternative was analyzed and subsequently selected.

This study was carried out in current conditions from 2017, with the entry of Machupicchu -Quencoro – Onocora - Tintaya 220 kV Transmission Line, which is under construction and finishes in December 2016, and the withdrawal of the Lines L-1001 and L-1002. In the same way, future scenarios were studied, during the period 2018 – 2024, years in which the entry of new generation centers, transmission lines and important electric power centers (Mine and Industrial) has been estimated, which had a significant influence on the behavior of the system.

All of the above was developed by power flow calculations, bar voltage profiles, line loadability (loading capacity), short-circuit analysis using the Power Factory DigSilent 15.01 Software, a tool used by the Committee for Economic System Operations (COES) and by many companies of the electric sector. In addition, a protection system was proposed for the Line of the selected alternative.

Finally, it was concluded that the projected interconnection would be an adjacent evacuation route, giving greater security in the operation of the system, guaranteeing continuity of service, avoiding in this way congestion and overloads in the lines, because without the existence of such interconnection the loadability in lines obtained are between 95% and 106%, being at the limit of their capacity. In case of contingencies, the voltage drops exceed the standard limit (2.5%), reaching values of 3.06%, 2.68%, and 2.72% among others. As for the bars tension profiles, the most critical ones oscillate between 0.91 and 0.94 p.u. After considering the interconnection, the loading capacity in the lines are between 52% and 57%, the voltage drops are significantly reduced; Likewise, most of the bars' voltage profiles are kept within an acceptable operating range (0.95 - 1.05).



## INDICE

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUCCION.....                                       | i   |
| RESUMEN.....  | i   |
| ABSTRACT .....  | i   |
| GLOSARIO DE TERMINOS .....                              | xii |
| CAPITULO 1. ....  | 1   |
| GENERALIDADES.....                                      | 1   |
| 1.1. INTRODUCCIÓN.....                                  | 1   |
| 1.2. AMBITO GEOGRAFICO .....                            | 1   |
| 1.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....                     | 2   |
| 1.3.1. Planteamiento del Problema.....                  | 6   |
| 1.3.2. Formulación del Problema General .....           | 6   |
| 1.3.3. Formulación de Problemas Específicos.....        | 6   |
| 1.3.4. Justificación del Problema .....                 | 6   |
| 1.4. OBJETIVOS .....                                    | 7   |
| 1.4.1. Objetivo General.....                            | 7   |
| 1.4.2. Objetivos Específicos.....                       | 7   |
| 1.5.1. Hipótesis Principal .....                        | 8   |
| 1.5.2. Hipótesis Específicas .....                      | 8   |
| 1.6. VARIABLES E INDICADORES .....                      | 9   |
| 1.6.1. Variables Independientes.....                    | 9   |
| 1.6.2. Variables dependientes .....                     | 9   |
| 1.6.3. Variables intervinientes.....                    | 9   |
| 1.7. ALCANCE Y LIMITACION .....                         | 10  |
| 1.7.1. Alcance.....                                     | 10  |
| 1.7.2. Limitaciones.....                                | 10  |
| 1.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....              | 10  |
| 1.8.1. Diseño y Nivel de la Investigación .....         | 11  |
| 1.8.2. Población y muestra.....                         | 11  |
| 1.8.3. Técnicas de recolección de datos.....            | 12  |
| 1.8.4. Herramientas para el procesamiento de datos..... | 12  |
| 1.8.5. Análisis de datos.....                           | 12  |
| CAPITULO 2. ....  | 13  |
| MARCO TEÓRICO.....                                      | 13  |



|  |  |    |
|--|--|----|
| 2.1.   | INTRODUCCIÓN.....  | 13 |
| 2.2.   | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION .....   | 13 |
| 2.3.   | SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.....  | 16 |
| 2.3.1.   | Tipo de Barras de una Subestación .....  | 16 |
| 2.3.2.   | Clasificación de Subestaciones Eléctricas .....  | 18 |
| 2.3.3.   | Principales equipos de una subestación eléctrica.....  | 21 |
| 2.4.   | SISTEMA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA .....   | 22 |
| 2.4.1.   | Marco legal del sistema de transmisión.....  | 22 |
| 2.4.2.   | Categorización del Sistema de Transmisión Existente del SEIN.....                                    | 23 |
| 2.4.3.   | Instalaciones del Sistema de Transmisión del SEIN .....  | 24 |
| 2.4.4.   | Capacidad de transmisión instalada SEIN. ....  | 25 |
| 2.4.5.   | Clasificación de las líneas de transmisión.....  | 27 |
| 2.4.6.   | Parámetros eléctricos de Líneas de Transmisión .....   | 29 |
| 2.4.7.   | Cargabilidad de Líneas de Transmisión .....  | 34 |
| 2.4.8.   | Pérdidas en Líneas de Transmisión .....  | 36 |
| 2.5.   | CONFORMACIÓN PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO<br>INTERCONECTADO NACIONAL (SEIN).....          | 39 |
| 2.5.1.   | Descripción Área Operativa Sur Este.....   | 40 |
| 2.6.   | METODOLOGÍA PARA EL ANALISIS DE SISTEMAS DE POTENCIA .....   | 42 |
| 2.6.1.   | Flujo de Potencia .....  | 43 |
| 2.6.2.   | Análisis de Contingencias .....  | 44 |
| 2.6.3.   | Energización y sincronización en estado estacionario .....   | 44 |
| 2.6.4.   | Análisis de Cortocircuito .....  | 46 |
| 2.6.5.   | Sistema de Protección de Líneas de Transmisión.....  | 46 |
| CAPITULO 3. ....   |  | 49 |
| DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA INTERCONEXION ENTRE LAS SUBESTACIONES<br>ELECTRICAS DE MACHUPICCHU Y SURIRAY DEL ÁREA OPERATIVA SUR ESTE N°<br>13 ..... |  | 49 |
| 3.1.   | INTRODUCCIÓN.....  | 49 |
| 3.2.   | DESCRIPCION DEL AREA DE ANALISIS.....  | 49 |
| 3.2.1.   | Área Operativa N ° 13: Cusco .....   | 50 |
| 3.2.1.1.   | Empresas propietarias y/o operadores de líneas de transmisión y<br>transformadores de potencia ..... | 50 |
| 3.2.1.2.   | Centrales de Generación Eléctrica.....   | 52 |
| 3.2.1.3.   | Empresa Distribuidora .....  | 52 |
| 3.2.1.4.   | Usuarios Libres.....   | 52 |



|  |  |    |
|--|--|----|
| 3.3.                                   | CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU .....   | 53 |
| 3.4.                                   | SUBESTACIONES ELECTRICAS ASOCIADAS .....   | 55 |
| 3.4.1.                                 | Subestaciones Eléctricas propiedad de EGEMSA.....  | 55 |
| 3.4.2.                                 | Subestaciones Eléctricas propiedad de CTM .....  | 56 |
| 3.5.                                   | ESTADO ACTUAL DE LA INTERCONEXION ENTRE LAS SUBESTACIONES<br>ELECTRICAS MACHUPICCHU I, II Y SURIRAY .....  | 58 |
| 3.6.                                   | ANÁLISIS DE OPERATIVIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO DEL AOSE N°<br>13. 59                                      |    |
| 3.6.1.                                 | Flujo de carga y perfil de tensiones en principales barras del AOSE N° 13,<br>año 2017. ....               | 60 |
| 3.6.2.                                 | Diagnostico en Contingencia de la Operación Actual 2017.....   | 62 |
| 3.7.                                   | ANALISIS DE DEMANDA Y OFERTA DEL ÁREA OPERATIVA SUR ESTE DEL<br>SEIN. 68                                   |    |
| 3.7.1.                                 | Demanda de Potencia Eléctrica del SEIN. ....   | 68 |
| 3.7.2.                                 | Demanda del AOSE.....  | 69 |
| 3.7.3.                                 | Demanda de grandes Usuarios Libres AOSE .....  | 69 |
| 3.7.4.                                 | Energía Producida en el AOSE.....  | 70 |
| 3.8.                                   | ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y OFERTA EN EL AOSE AL AÑO 2026.....  | 71 |
| 3.8.1.                                 | Proyección de la demanda del AOSE.....   | 72 |
| 3.8.2.                                 | Programa de obras de generación AOSE .....   | 73 |
| 3.8.3.                                 | Programa de obras de transmisión AOSE .....  | 73 |
| CAPITULO 4                             | .....  | 74 |
| ANALISIS DE ALTERNATIVAS SELECCIONADAS | .....  | 74 |
| 4.1.                                   | INTRODUCCIÓN.....  | 74 |
| 4.2.                                   | DOCUMENTACION BASICA .....   | 74 |
| 4.3.                                   | PROPUESTA DE ALTERNATIVAS.....   | 75 |
| 4.4.                                   | CRITERIOS GENERALES DE SELECCIÓN DE RUTA DE LÍNEA PARA CADA<br>ALTERNATIVA .....                           | 75 |
| 4.5.                                   | DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS. ....   | 76 |
| 4.5.1.                                 | Alternativa N° 01: Reforzamiento de la interconexión entre la S.E. GIS con<br>S.E. Machupicchu I y II..... | 76 |
| 4.5.1.1.                               | Diagnóstico del lugar.....   | 77 |
| 4.5.2.                                 | Alternativa N° 02: Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y<br>S.E. Machupicchu II. ....       | 79 |
| 4.5.2.1.                               | Línea de transmisión:.....   | 80 |
| 4.5.2.2.                               | Subestaciones:.....  | 81 |
| 4.5.2.3.                               | Diagnóstico del lugar.....   | 81 |



|  |   |     |
|--|---|-----|
| 4.5.3.   | Alternativa N° 03: Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Suriray .....                        | 82  |
| 4.5.3.1.   | Línea de transmisión:.....  | 83  |
| 4.5.3.2.   | Subestaciones.....  | 85  |
| 4.5.3.3.   | Diagnóstico del lugar.....  | 85  |
| 4.6.   | ANÁLISIS ECONÓMICO.....   | 87  |
| 4.7.   | SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA.....  | 90  |
| 4.8.   | ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA “INTERCONEXIÓN EN 138KV ENTRE LA S.E. MACHUPICCHU I Y S.E. SURIRAY”,..... | 92  |
| 4.8.1.   | Normas y documentación empleada.....  | 92  |
| 4.8.2.   | Configuración Geométrica de la estructura.....  | 92  |
| 4.8.3.   | Criterios de selección del Conductor.....   | 93  |
| 4.8.3.1.   | Material Del Conductor .....  | 93  |
| 4.8.3.2.   | Evaluación de conductores por Ampacitancia.....   | 95  |
| 4.8.3.3.   | Pérdidas Eléctricas.....  | 97  |
| 4.8.3.4.   | Análisis Económico de Conductores.....  | 98  |
| 4.8.3.5.   | Resultados de la evaluación.....  | 99  |
| 4.8.4.   | Criterios de selección del aislador .....   | 99  |
| 4.9.   | CARACTERISTICAS DE LA INTERCONEXIÓN EN 138 KV ENTRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE MACHUPICCHU I Y SURIRAY ..... | 102 |
| 4.9.1.   | Ubicación Geográfica.....   | 102 |
| 4.9.2.   | Características Climatológicas .....  | 104 |
| 4.9.3.   | Características del sistema.....  | 104 |
| 4.9.4.   | Descripción de trazo de ruta.....   | 105 |
| 4.9.5.   | Faja de servidumbre .....   | 107 |
| 4.9.6.   | Tipo De Estructura.....   | 107 |
| 4.9.7.   | Datos técnicos del conductor.....   | 107 |
| 4.9.8.   | Cable de guarda .....   | 108 |
| 4.9.9.   | Estudios ambientales, arqueológicos y trámites ante el MINAM e INC.....   | 108 |
| 4.10.  | ANÁLISIS DE FLUJO DE LA INTERCONEXION EN OPERACIÓN NORMAL   | 109 |
| CAPITULO 5 .....   |   | 111 |
| ESTUDIO DE OPERATIVIDAD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MACHUPICCHU I – SURIRAY 138 KV COMO ALTERNATIVA SELECCIONADA..... |   | 111 |
| 5.1.   | INTRODUCCIÓN.....   | 111 |
| 5.2.   | HORIZONTE Y ESCENARIOS DE ANALISIS.....   | 111 |



|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 5.3.     | ANÁLISIS GENERAL DEL ESTUDIO.....           | 111 |
| 5.3.1.   | Normatividad.....                           | 112 |
| 5.4.     | CRITERIOS GENERALES DE OPERACIÓN.....       | 112 |
| 5.4.1.   | Operación en Estado Estacionario.....       | 113 |
| 5.5.     | ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA.....             | 116 |
| 5.5.1.   | Análisis en Estado de Operación Normal..... | 116 |
| 5.5.1.1. | Año 2018.....                               | 116 |
| 5.5.1.2. | Año 2020.....                               | 118 |
| 5.5.1.3. | Año 2022.....                               | 121 |
| 5.5.1.4. | Año 2024.....                               | 123 |
| 5.5.2.   | Análisis en estado de Contingencia.....     | 126 |
| 5.5.2.1. | Año 2018.....                               | 126 |
| 5.5.2.2. | Año 2020.....                               | 135 |
| 5.5.2.3. | Año 2022.....                               | 143 |
| 5.5.2.4. | Año 2024.....                               | 151 |
| 5.6.     | ANÁLISIS DE ENERGIZACION.....               | 159 |
| 5.7.     | ANÁLISIS DE EFECTO FERRANTI.....            | 160 |
| 5.8.     | ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO.....              | 160 |
| 5.8.1.   | Metodología utilizada.....                  | 161 |
| 5.8.2.   | Resultados obtenidos.....                   | 161 |
| 5.9.     | ANÁLISIS DE SISTEMA DE PROTECCIÓN.....      | 164 |
| 5.9.1.   | Criterios de Ajuste y Coordinación.....     | 168 |
|          | CONCLUSIONES.....                           | 172 |
|          | RECOMENDACIONES.....                        | 173 |
|          | BIBLIOGRAFIA.....                           | 174 |
|          | ANEXOS.....                                 | 177 |



## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO 2

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabla 2.1 Ingreso de Líneas de Transmisión en el 2015</i> .....                                  | 25 |
| <i>Tabla 2.2 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por el sistema</i> .....                 | 25 |
| <i>Tabla 2.3 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión</i> .....           | 26 |
| <i>Tabla 2.4 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión y sistema</i> ..... | 27 |

### CAPITULO 3

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabla 3.1 Empresas propietarias y operadoras de líneas de transmisión - AOSE N° 13</i> .....             | 51 |
| <i>Tabla 3.2 Empresas propietarias y operadoras de transformadores - AO N°13</i> .....                      | 51 |
| <i>Tabla 3.3 Centrales Hidráulicas – AOSE N° 13</i> .....   | 52 |
| <i>Tabla 3.4 Usuarios Libres AOSE N°13</i> .....  | 52 |
| <i>Tabla 3.5 Datos Técnicos C.H. Machupicchu – Fase I</i> .....   | 53 |
| <i>Tabla 3.6 Datos Técnicos C.H. Machupicchu – Fase II</i> .....  | 54 |
| <i>Tabla 3.7 Datos Técnicos Interruptor</i> .....   | 56 |
| <i>Tabla 3.8 Datos Técnicos del Seccionador</i> .....   | 57 |
| <i>Tabla 3.9 Datos Técnicos del Transformador de Tensión</i> .....  | 57 |
| <i>Tabla 3.10 Datos Técnicos del Transformador de Corriente</i> .....                                       | 57 |
| <i>Tabla 3.11 Datos Técnicos de la Interconexión Machupicchu I y II</i> .....                               | 58 |
| <i>Tabla 3.12 Tensiones de operación de las principales barras en época de avenida y estiaje</i> .....      | 61 |
| <i>Tabla 3.13 Tensiones de operación en barras por salidas de las líneas de transmisión - Avenida</i> ..... | 63 |
| <i>Tabla 3.14 Cargabilidad en líneas ante contingencias - Avenida</i> .....                                 | 64 |
| <i>Tabla 3.15 Tensiones de operación en barras por salidas de las líneas de transmisión - Estiaje</i> ..... | 65 |
| <i>Tabla 3.16 Cargabilidad de líneas en contingencia</i> .....  | 66 |
| <i>Tabla 3.17 Energía Producida en el AOSE – Año 2015</i> .....   | 70 |
| <i>Tabla 3.18 Proyecciones por tipo de carga para cada uno de los escenarios de demanda</i> .....           | 71 |
| <i>Tabla 3.19 Escenarios de demanda por zonas del SEIN, año 2026</i> .....                                  | 72 |
| <i>Tabla 3.20 Demanda en potencia (MW) y energía (GWH) de principales proyectos AOSE</i> .....              | 72 |
| <i>Tabla 3.21 Programa de obras de generación AOSE</i> .....  | 73 |
| <i>Tabla 3.22 Programa de obras de transmisión AOSE</i> .....   | 73 |

### CAPITULO 4

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabla 4.1 Características técnicas de conductor de cobre – Alternativa 1</i> ..... | 77 |
| <i>Tabla 4.2 Características técnicas de conductor ACAR – Alternativa 2</i> .....     | 80 |
| <i>Tabla 4.3 Características técnicas de conductor ACAR – Alternativa 3</i> .....     | 83 |
| <i>Tabla 4.4 Resultados de las Valorizaciones de las alternativas</i> .....           | 87 |
| <i>Tabla 4.5 Cambio a moneda en Soles (S/.)</i> .....                                 | 88 |
| <i>Tabla 4.6 Análisis económico por pérdidas</i> .....                                | 88 |
| <i>Tabla 4.7 Resultados de los Indicadores de Rentabilidad</i> .....                  | 89 |
| <i>Tabla 4.8 Datos relevantes del conductor tipo ACAR</i> .....                       | 94 |
| <i>Tabla 4.9 Datos relevantes del conductor tipo AAAC</i> .....                       | 94 |
| <i>Tabla 4.10 Condiciones de operación de los conductores de la línea</i> .....       | 95 |
| <i>Tabla 4.11 Resultados de Ampacidad en conductores</i> .....                        | 97 |



|  |     |
|--|-----|
| <i>Tabla 4. 12 Resultados de pérdida por Efecto Corona</i> .....                 | 97  |
| <i>Tabla 4. 13 Resultados de pérdida por Efecto Joule</i> .....                  | 98  |
| <i>Tabla 4. 14 Costos de inversión según tipo de conductor de la línea</i> ..... | 98  |
| <i>Tabla 4. 15 Especificaciones de aislador polimérico</i> .....                 | 102 |
| <i>Tabla 4.16 Características Climatológicas - Machupicchu</i> .....             | 104 |
| <i>Tabla 4. 17 Características técnicas principales</i> .....                    | 104 |
| <i>Tabla 4. 18 Coordenadas UTM de los vértices</i> .....                         | 106 |
| <i>Tabla 4.19 Características Técnicas del conductor ACAR 1200 AWG</i> .....     | 108 |
| <i>Tabla 4. 20 Parámetros Eléctricos ACAR 1200 AWG</i> .....                     | 108 |

## CAPITULO 5

|  |     |
|--|-----|
| <i>Tabla 5. 1 Resultado de Flujo de Carga 2018 sin y con Línea proyectada</i> .....                | 116 |
| <i>Tabla 5. 2 Resultado de Flujo de Carga 2020 sin y con Línea proyectada</i> .....                | 118 |
| <i>Tabla 5. 3 Resultado de Flujo de Carga 2022 sin y con Línea proyectada</i> .....                | 121 |
| <i>Tabla 5. 4 Resultado de Flujo de Carga 2024 sin y con Línea proyectada</i> .....                | 123 |
| <i>Tabla 5. 5 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Máx. 2018</i> .....                       | 127 |
| <i>Tabla 5. 6 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Min. 2018</i> .....                       | 129 |
| <i>Tabla 5. 7 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2018</i> .....                     | 131 |
| <i>Tabla 5. 8 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2018</i> .....                     | 133 |
| <i>Tabla 5. 9 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av. Máx. 2020</i> .....                      | 135 |
| <i>Tabla 5. 10 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av. Min. 2020</i> .....                     | 137 |
| <i>Tabla 5. 11 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2020</i> .....                    | 139 |
| <i>Tabla 5. 12 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2020</i> .....                    | 141 |
| <i>Tabla 5. 13 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Máx. 2022</i> .....                      | 143 |
| <i>Tabla 5. 14 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Min. 2022</i> .....                      | 145 |
| <i>Tabla 5. 15 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2022</i> .....                    | 147 |
| <i>Tabla 5. 16 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2022</i> .....                    | 149 |
| <i>Tabla 5. 17 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Máx. 2022</i> .....                      | 151 |
| <i>Tabla 5. 18 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av. Min. 2024</i> .....                     | 153 |
| <i>Tabla 5. 19 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2024</i> .....                    | 155 |
| <i>Tabla 5. 20 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2024</i> .....                    | 157 |
| <i>Tabla 5. 21. Resultados de Potencia de Corto Circuito en Barras</i> .....                       | 159 |
| <i>Tabla 5. 22. Resultados Corto Circuito</i> .....  | 160 |
| <i>Tabla 5. 23. Resultados Corto Circuito en Línea</i> .....                                       | 160 |
| <i>Tabla 5. 24 Resultados de Cortocircuito Subestación Machupicchu I 138 kV</i> .....              | 162 |
| <i>Tabla 5. 25 Resultados de Cortocircuito Subestación Machupicchu II 138 kV</i> .....             | 162 |
| <i>Tabla 5. 26 Resultados de Cortocircuito Subestación Suriray 138 kV</i> .....                    | 163 |
| <i>Tabla 5. 27 Datos de las Corrientes de Cortocircuito las S.E.</i> .....                         | 164 |
| <i>Tabla 5. 28 Funciones del Relé de protección de la L.T. Proyectada</i> .....                    | 165 |
| <i>Tabla 5. 29 Ajuste de las protecciones graduadas de las líneas de interconexión</i> .....       | 169 |
| <i>Tabla 5. 30 Coordinación de las protecciones graduadas de las líneas de interconexión</i> ..... | 170 |
| <i>Tabla 5. 31 Ficha técnica de las funciones del Relé de Protección 7SD52</i> .....               | 170 |



## INDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

|   |   |
|---|---|
| <i>Figura 1.1: Diagrama Unifilar de la Central Hidroeléctrica Machupicchu Fases I y II</i> .....  | 3 |
| <i>Figura 1. 2 Diagrama Unifilar con ingreso de LT Machupicchu-Quencoro-Onocora-Tintaya</i> ..... | 5 |

### CAPITULO 2

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 2.1 Configuración del conexionado en una barra simple</i> .....                   | 17 |
| <i>Figura 2.2 Configuración del conexionado en una barra simple con transferencia</i> ..... | 18 |
| <i>Figura 2.3 Configuración del conexionado en barra doble</i> .....                        | 18 |

### CAPITULO 3

|   |    |
|---|----|
| <i>Figura 3.1 Interconexión S.E. Machupicchu I, II – S.E. Suriray</i> ..... | 58 |
| <i>Figura 3 2 Diagrama Unifilar Condiciones Actuales</i> .....              | 60 |

### CAPITULO 4

|  |     |
|--|-----|
| <i>Figura 4. 1 Interconexión 138 kV S.E. Machupicchu I – S.E. Machupicchu II</i> .....               | 76  |
| <i>Figura 4. 2 S.E. GIS y conexionado</i> .....  | 78  |
| <i>Figura 4. 3 Galería de cables hacia desde S.E. GIS</i> .....                                      | 79  |
| <i>Figura 4. 4 Trazo de ruta Machupicchu I - Machupicchu II.</i> .....                               | 80  |
| <i>Figura 4. 5 S.E. Machupicchu II</i> .....   | 82  |
| <i>Figura 4. 6 Trazo de ruta Machupicchu I - Suriray</i> .....                                       | 83  |
| <i>Figura 4. 7 Estructura L.T. Machupicchu-Abancay-Cotaruse</i> .....                                | 84  |
| <i>Figura 4. 8 S.E. Machupicchu I</i> .....  | 85  |
| <i>Figura 4. 9 Barra eléctrica</i> .....   | 86  |
| <i>Figura 4. 10 S.E. Suriray</i> .....   | 86  |
| <i>Figura 4.11 Estructura doble circuito vertical 138kV L-1038.</i> .....                            | 93  |
| <i>Figura 4. 12 Ubicación Geográfica</i> .....   | 103 |
| <i>Figura 4. 13 Zonas Protegidas</i> .....   | 103 |
| <i>Figura 4. 14 Trazo de ruta Machupicchu I - Suriray</i> .....                                      | 105 |
| <i>Figura 4. 15 Diagrama Unifilar en Condición Actual con incorporación de L.T. proyectada</i> ..... | 110 |

### CAPITULO 5

|   |     |
|---|-----|
| <i>Figura 5. 1 Diagrama Unifilar del nuevo AOSE N° 13</i> ..... | 115 |
|---|-----|

## INDICE DE GRAFICOS

### CAPITULO 2

|   |    |
|---|----|
| <i>Grafico 2. 1 Longitud de Líneas de Transmisión 2014-Por tipo de línea</i> .....                                  | 26 |
| <i>Grafico 2.2 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión en porcentaje</i> .....           | 26 |
| <i>Grafico 2.3 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión y sistema en porcentaje</i> ..... | 27 |



### CAPITULO 3

|  |    |
|--|----|
| <i>Grafico 3. 1 Cargabilidad de líneas en contingencia – Av. Máxima demanda</i> .....    | 64 |
| <i>Grafico 3. 2 Cargabilidad de líneas en contingencia – Av. Mínima demanda</i> .....    | 65 |
| <i>Grafico 3. 3 Cargabilidad de líneas en contingencia – Est. Máxima demanda</i> .....   | 67 |
| <i>Grafico 3. 4 Cargabilidad de líneas en contingencia – Est. Máxima demanda</i> .....   | 67 |
| <i>Grafico 3.5 Máxima Demanda del SEIN en el año 2015</i> .....                          | 68 |
| <i>Grafico 3. 6 Evolución de la Demanda del Área Sur y AOSE - SEIN</i> .....             | 69 |
| <i>Grafico 3. 7 Demanda de grandes Usuarios Libres del AOSE - SEIN</i> .....             | 70 |
| <i>Grafico 3. 8 Evolución de la Demanda Máxima Demanda del SEIN en el año 2015</i> ..... | 72 |

### CAPITULO 4

|  |     |
|--|-----|
| <i>Gráfico 4. 1 Valor de distancia de fuga de referencia</i> ..... | 100 |
|--|-----|

### CAPITULO 5

|  |     |
|--|-----|
| <i>Gráfico 5. 1 Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2018</i> .....  | 117 |
| <i>Gráfico 5. 2 Perfiles de Tensión en barra con/sin línea proyectada - 2018</i> .....   | 118 |
| <i>Gráfico 5. 3. Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2020</i> ..... | 120 |
| <i>Gráfico 5. 4 Perfiles de Tensión con/sin línea proyectada - 2020</i> .....            | 120 |
| <i>Gráfico 5. 5 Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2022</i> .....  | 122 |
| <i>Gráfico 5. 6 Perfiles de Tensión con/sin línea proyectada - 2022</i> .....            | 123 |
| <i>Gráfico 5. 7 Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2024</i> .....  | 125 |
| <i>Gráfico 5. 8 Perfiles de Tensión con/sin línea proyectada - 2024</i> .....            | 126 |
| <i>Gráfico 5. 9 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Max. 2018</i> .....            | 128 |
| <i>Gráfico 5. 10 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2018</i> .....               | 129 |
| <i>Gráfico 5. 11 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min 2018</i> .....            | 130 |
| <i>Gráfico 5. 12 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2018</i> .....               | 131 |
| <i>Gráfico 5. 13 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2018</i> .....          | 132 |
| <i>Gráfico 5. 14 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Min 2024</i> .....              | 133 |
| <i>Gráfico 5. 15 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2018</i> .....          | 134 |
| <i>Gráfico 5. 16 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2018</i> .....               | 135 |
| <i>Gráfico 5. 17 Máximas Cargabilidades en la Líneas – Av. Máx 2018</i> .....            | 136 |
| <i>Gráfico 5. 18 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2020</i> .....               | 137 |
| <i>Gráfico 5. 19 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min. 2020</i> .....           | 138 |
| <i>Gráfico 5. 20 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2020</i> .....               | 139 |
| <i>Gráfico 5. 21 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2020</i> .....          | 140 |
| <i>Gráfico 5. 22 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Max 2020</i> .....              | 141 |
| <i>Gráfico 5. 23 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2020</i> .....          | 142 |
| <i>Gráfico 5. 24 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2020</i> .....               | 143 |
| <i>Gráfico 5. 25 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Max. 2022</i> .....           | 144 |
| <i>Gráfico 5. 26 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2022</i> .....               | 145 |
| <i>Gráfico 5. 27 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min. 2022</i> .....           | 146 |
| <i>Gráfico 5. 28 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2022</i> .....               | 147 |
| <i>Gráfico 5. 29 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2022</i> .....          | 148 |
| <i>Gráfico 5. 30 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Max2022</i> .....               | 149 |
| <i>Gráfico 5. 31 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2022</i> .....          | 150 |



|   |            |
|---|------------|
| <i>Gráfico 5. 32 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Min 2022.....</i>              | <i>151</i> |
| <i>Gráfico 5. 33 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Max. 2024.....</i>           | <i>152</i> |
| <i>Gráfico 5. 34 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2024.....</i>               | <i>153</i> |
| <i>Gráfico 5. 35 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min. 2024.....</i>           | <i>154</i> |
| <i>Gráfico 5. 36 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2024.....</i>               | <i>155</i> |
| <i>Gráfico 5. 37 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2024.....</i>          | <i>156</i> |
| <i>Gráfico 5. 38 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Max 2024.....</i>              | <i>157</i> |
| <i>Gráfico 5. 39 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2022.....</i>          | <i>158</i> |
| <i>Gráfico 5. 40 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Min 2024.....</i>              | <i>159</i> |
| <i>Gráfico 5. 41 Esquema del Sistema de Protección para L.T. Proyectada 138 kV.....</i> | <i>165</i> |



## GLOSARIO DE TERMINOS

- A:** Amperios  
**AAAC:** conductor de aleación de aluminio  
**ACAR:** conductor de aluminio con refuerzo de aleación de aluminio  
**ACSR:** conductor de aluminio con refuerzo de acero  
**AO:** Área Operativa  
**AOSE:** Área Operativa Sur Este  
**C.H.:** Central Hidroeléctrica  
**CIRA:** Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos.  
**CNE:** Código Nacional de Electricidad  
**COES SINAC:** Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional  
**CTM:** Consorcio Transmantaro  
**DGE:** Dirección General de Electricidad  
**EGEMSA:** Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.  
**EIA:** Estudio de Impacto Ambiental.  
**GIS:** Gas Insulated Switchgear  
**INC:** Instituto Nacional de Cultura  
**Ik”:** Corriente de Cortocircuito Eficaz  
**kV:** Kilo Voltio  
**L.T.:** Línea de Transmisión  
**MINAM:** Ministerio del Ambiente  
**MINEM:** Ministerio de Energía y Minas  
**msnm:** Metros Sobre el Nivel del Mar  
**MVA:** Mega Volt – Amperios  
**MVAR:** Mega Volt Amperios Reactivos  
**MW:** Mega Watt  
**p.u.:** por unidad  
**POC:** Puesta en Operación Comercial  
**PROINVERSION:** Promoción de la Inversión Privada  
**PT:** Plan de transmisión  
**S.E.:** Subestación Eléctrica  
**SEIN:** Sistema Eléctrico Interconectado Nacional  
**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología  
**SEP:** Sistema Eléctrico de Potencia  
**SERNANP:** Servicio Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado  
**SF6:** Hexafluoruro de azufre  
**SHM:** Santuario Histórico de Machupicchu  
**Sk”:** Potencia de Cortocircuito Eficaz  
**UTM:** Sistema de Coordenadas Universal Transversal De Mercator



## **CAPITULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La finalidad de este capítulo es servir de preámbulo a esta tesis. Durante su desarrollo se expondrá el planteamiento, formulación y justificación del problema, objetivos, hipótesis, alcances, limitaciones y metodología de la presente investigación.

En el planteamiento del problema se define el enfoque, describiendo de forma clara y precisa la situación objeto de investigación, de modo que sirva para entender por qué se ha planteado este tema como avance en el conocimiento.

En lo referente a los objetivos se definen aquellos de carácter general y específico, los cuales se pretenden alcanzar a lo largo del desarrollo de la tesis. De igual manera para las hipótesis en las que se proponen posibles soluciones que pretendan explicar condiciones que aún no son confirmados por los hechos.

En cuanto al alcance y delimitación, se definen las demarcaciones de la investigación, separando los aspectos que serán considerados en el presente estudio, de aquellos a ser desarrollados en posteriores trabajos.

Para finalizar, el Capítulo 1 describe la metodología de la investigación de esta tesis, dentro del cual se define el enfoque, diseño y el nivel alcanzado en base a la cual ha sido desarrollado el presente trabajo de investigación.

### **1.2. AMBITO GEOGRAFICO**

El presente estudio tiene como escenario las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu Fases I, II y Suriray ubicados en el Distrito de Machupicchu, Provincia de Urubamba, en el departamento de Cusco, a una altitud de aproximadamente 1800 msnm.



### 1.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

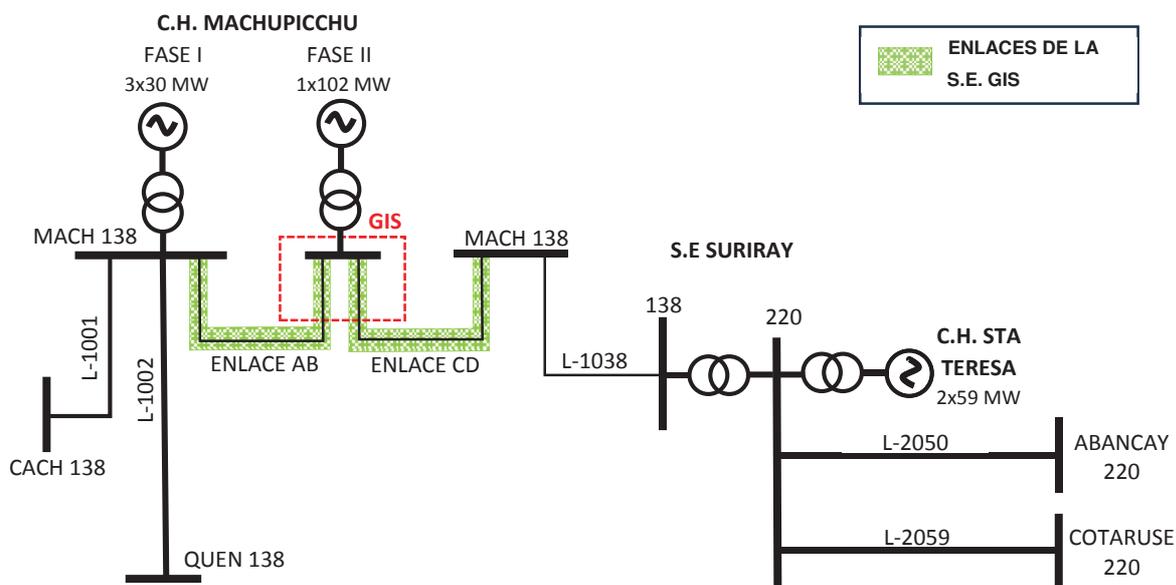
El Comité de Operación Económica del Sistema (COES), mediante el informe COES/DP-SNP-035-2013: Categorización del Sistema de Transmisión [1], divide en 15 Áreas Operativas (AO) al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). En ese sentido, las instalaciones comprendidas en esta investigación pertenecen al Área Operativa Sur Este (AOSE) N° 13.

Con la finalidad de satisfacer la demanda prevista y garantizar la eficiencia en la transmisión dentro del AOSE N° 13, ingresan a este sistema importantes proyectos tales como la Central Hidroeléctrica Machupicchu Fase II así como la línea de transmisión Machupicchu – Abancay - Cotaruse en 220 kV declarados en operación comercial el mes de Agosto del 2015 [2]. Del mismo modo, la Central Hidroeléctrica Santa Teresa ubicada aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Machupicchu, es Puesta en Operación Comercial (POC) desde setiembre del mismo año [2].

Con el ingreso de estos nuevos centros de generación y la línea de transmisión mencionada, se obtiene la configuración mostrada en la Figura 1.1, en la cual se contempla la interconexión de las Fases I y II de la Central Hidroeléctrica Machupicchu a través de la subestación GIS por medio de los enlaces AB y CD. La energía generada por esta central es evacuada hacia las líneas L-1001, L-1002 y L-1038, y en el caso de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa hacia las líneas L-2050, L-2059 o a través de la línea L-1038, dependiendo de la configuración del sistema.



Figura 1.1: Diagrama Unifilar de la Central Hidroeléctrica Machupicchu Fases I y II



Fuente: Elaboración Propia

Siguiendo con el plan de futuros proyectos considerados dentro del AOSE N° 13, se tiene la línea de transmisión 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya, la que mediante el Contrato suscrito el 13 de Junio del 2013 por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) fue otorgada en concesion definitiva al Consorcio ATN 3 S.A. para su diseño, financiación, construcción, operación y mantenimiento <sup>1</sup> teniendo previsto la POC el 25 de Diciembre del 2016 <sup>2</sup>, siendo esta línea de transmisión en un futuro cercano la vía para evacuar la energía al sector sur del país.

Ante el ingreso de la línea en mención, se debe tener en cuenta que en el Anexo N° 1.1 del Anteproyecto “Línea de 220kV Machupicchu – Quencoro – Onocora – Tintaya y Ampliación de Subestaciones” <sup>3</sup>, se indica lo siguiente:

*“Con la puesta en servicio de los proyectos “línea de transmisión 220kV Machupicchu – Abancay – Cotaruse y Subestaciones Asociadas” y “línea de transmisión 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya y*

<sup>1</sup> Ministerio de Economía y Finanzas. (13, Junio del 2013). Contrato de Concesión del proyecto “Línea de Transmisión 220 kV Machupicchu – Quencoro – Onocora – Tintaya y Subestaciones Asociadas”. Lima, Perú.

<sup>2</sup> OSINERGMIN. (2016). Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en construcción. Lima, Perú. Pag. 33

<sup>3</sup> COES-SINAC. (2010). Anteproyecto Línea de Transmisión 220 kV Machupicchu-Quencoro-Onocora-Tintaya y Ampliación de Subestaciones (Anexo 1.1). Lima, Perú.



*Subestaciones Asociadas”, la Subestación Cachimayo sería abastecida desde las barras en 138 kV en Quencoro y Abancay. Con estos proyectos EGEMSA ya no requeriría de las líneas de transmisión en 138 kV doble terna de Machupicchu – Cachimayo, cumpliendo con las exigencias del MINAM e INC” (COES-SINAC, 2010).*

Dicho requerimiento se fundamenta con la opinión técnica presentada en el documento N° 384-2012-SERNANP-DGANP por el Servicio Nacional de Areas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), adjuntada al Oficio N° 670-2012-SERNANP-DGANP <sup>4</sup>, sobre la compatibilidad de la actividad eléctrica de la “Línea de Transmisión de 220 kV Machupicchu – Abancay - Cotaruse”, indica entre sus condicionantes lo siguiente:

*“Atendiendo la necesidad de abastecer de energía al sector sur del país y a fin de minimizar impactos al interior del Santuario Histórico de Machupicchu (SHM), el Ministerio de Energía y Minas deberá cumplir con el compromiso efectuado ante el SERNANP de retirar progresivamente las líneas de 138 KV Machupicchu-Cachimayo L-1001 y la línea Machupicchu-Cachimayo – Quencoro L-1002, las mismas que atraviesan la zona intangible del SHM y su zona de amortiguamiento, debido a que estas líneas de transmisión existentes en el SHM no necesitan estar funcionando al interior del mismo.” (SERNANP, 2012).*

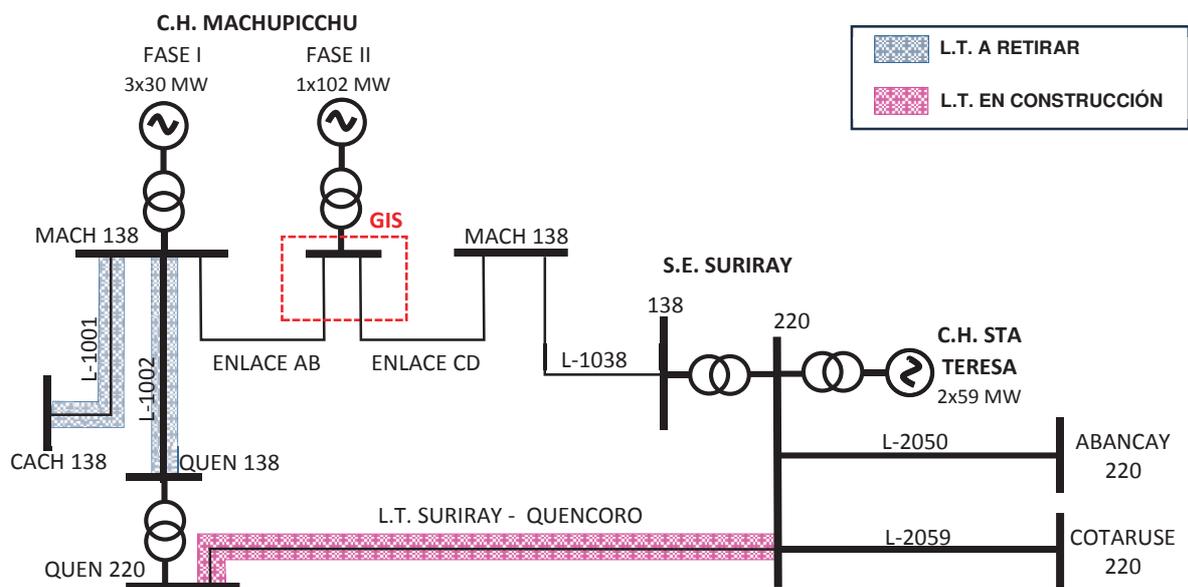
Ante este escenario, el nuevo sistema eléctrico presentaría la configuración mostrada en la Figura 1.2:

---

<sup>4</sup> SERNANP. (15, Junio del 2012). Compatibilidad de la Actividad Eléctrica “Línea de Transmisión de 220 kV Machupicchu – Abancay – Cotaruse” (Oficio N° 670-2012-SERNANP-DGANP). Lima, Perú.



Figura 1. 2 Diagrama Unifilar con ingreso de LT Machupicchu-Quencoro-Onocora-Tintaya



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, con el ingreso de la L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002, la única vía de evacuación de la energía generada por la C.H. Machupicchu Fases I y II sería a través del Sistema GIS por los enlaces AB y CD hacia la L-1038; así, al no tener, tanto el Sistema GIS como estos enlaces, la capacidad requerida limita el despacho energético, provocando pérdidas económicas debido a la energía que se deja de generar y se pondría en riesgo la seguridad en la operación, provocando posibles daños en los equipos y en los mismos enlaces.

Asimismo, ante la presencia de un evento o falla en la L-1038, en el escenario anteriormente mencionado, no existiría vía alguna para que la energía generada por la C.H. Machupicchu Fases I y II sea transportada al AOSE N° 13, dejando fuera de servicio dicha central. Cabe indicar que la C.H. Santa Teresa opera utilizando el agua turbinada de la C.H. Machupicchu, por lo cual necesariamente esta central también saldría de servicio por la disminución del caudal.

Con todo lo mencionado, surge la necesidad de desarrollar un estudio a largo plazo en el periodo 2017-2024, años en los que se prevé el ingreso de



importantes proyectos de generación<sup>5</sup> en esta zona, con el propósito de garantizar el suministro regular de energía eléctrica, proporcionando un sistema más seguro que mejore la operatividad de la interconexión entre las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray.

### **1.3.1. Planteamiento del Problema**

Los enlaces del Sistema GIS que interconectan las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray tienen capacidad limitada (150 MVA) poniendo en riesgo la seguridad en la operación y la continuidad del servicio eléctrico.

### **1.3.2. Formulación del Problema General**

¿Cómo mejorar la seguridad en la operación de la interconexión entre las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray, para garantizar la continuidad del servicio eléctrico del AOSE N°13, en el periodo 2017-2024?

### **1.3.3. Formulación de Problemas Específicos**

- ¿Cómo opera la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray con el ingreso de la L.T. 220 kV Machupicchu y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002?
- ¿Cuáles serán las posibles soluciones que mejoren la seguridad en la operación de la interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Suriray?
- ¿Cómo determinar el impacto en la operación del AOSE N° 13 con la incorporación de la alternativa de interconexión seleccionada?

### **1.3.4. Justificación del Problema**

Con el ingreso previsto para fines del presente año 2016 de la L.T. 220kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya así como el requerimiento de retirar

---

<sup>5</sup> COES-SINAC. (2015). Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN 2017 – 2026 (COES/DP-01-2015). Lima, Perú. Pág. 126, 180



las líneas L-1001 y L-1002 ante la incorporación de la línea anteriormente mencionada, el sistema eléctrico implicado, resulta vulnerable trabajando en operación normal, acrecentándose considerablemente el riesgo de este sistema ante la presencia de contingencias, ocasionando posibles daños en equipos, salida de centros de generación, entre otros, provocando así importantes pérdidas.

Es así, que surge la necesidad de reforzar el sistema buscando un respaldo que permita disminuir el riesgo en la operación, para lo cual se considera oportuno analizar nuevas alternativas de interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu Fases I, II y la Subestación de Suriray, que permitan asegurar la continuidad de servicio eléctrico, satisfaciendo la demanda en magnitud y oportunidad de este sistema.

Del análisis de estas alternativas de interconexión se identificará aquella que posibilite la mejor operación del sistema ante indisponibilidad de las líneas asociadas a dichas subestaciones, reduciendo así los efectos que se produzcan a consecuencia de esto, de igual manera permitirá que la incorporación de nuevos centros de generación, no modifiquen la topología existente evitando que se congestionen las líneas de transmisión y se sobrecarguen los transformadores de potencia.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Estudiar una adecuada alternativa que mejore la seguridad en la operación de la interconexión entre las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray, para garantizar la continuidad del servicio eléctrico del AOSE N°13, en el periodo 2017-2024

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar en estado estacionario la operación de la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray con el ingreso de la



L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002.

- Determinar las alternativas de solución más adecuadas que mejoren la seguridad en la operación de la interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Suriray.
- Desarrollar el estudio de operación en estado estacionario y análisis del AOSE N° 13 con la incorporación de la alternativa interconexión seleccionada.

## **1.5. HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis Principal**

El estudio para mejorar la seguridad en la operación de la interconexión entre las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray, permitirá la entrega continua del servicio eléctrico dentro del AOSE N° 13, en el periodo 2017-2024.

### **1.5.2. Hipótesis Específicas**

- La evaluación de la operación de la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray, con el ingreso de la L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002, permitirá identificar las deficiencias y riesgos del sistema actual y sus implicancias a largo plazo.
- La determinación de las alternativas de solución más adecuadas para la interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Suriray, permitirá buscar la solución más conveniente a nivel técnico y económico, que asegure la continuidad del servicio eléctrico hacia el AOSE N° 13.
- El desarrollo del estudio de operación en estado estacionario y análisis de la alternativa de interconexión seleccionada, permitirá plantear una solución definitiva a las nuevas condiciones del AOSE N° 13.



## 1.6. VARIABLES E INDICADORES

### 1.6.1. Variables Independientes

- Seguridad en la operación de la Interconexión

**Indicador:**

- Niveles de Tensión: (V) [Voltios]
- Cargabilidad de las líneas: (%) [Porcentaje]

- Determinación de alternativas de interconexión

**Indicador:**

- Perdidas efecto Joule y efecto Corona: (kW/km) [wattios/metro]
- Ampacidad: (kA) [Amperios]

### 1.6.2. Variables dependientes

- Continuidad del Servicio Eléctrico

**Indicador:**

- Flujo de potencia: (kW) [Wattios]
- Interrupciones: (N) [Número interrupciones]

- Solución a nivel técnico y económico

**Indicador:**

- Cálculos técnico: ( $\text{mm}^2$ ) [diámetro del conductor]
- Inversión/Retorno: (S/.) [VAN] [TIR]

### 1.6.3. Variables intervinientes

- Capacidad de transporte

**Indicador:**

- Potencia: MVA [Volt-Amper]
- Temperatura: °C [Grados Centígrados]



## 1.7. ALCANCE Y LIMITACION

### 1.7.1. Alcance

- En el estudio se tendrá como condición actual el ingreso de la L.T. 220kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya y retiro de las líneas de transmisión L-1001 y L-1002.
- En análisis tanto en operación normal como en contingencias se realizará en diferentes escenarios tales como máxima y mínima demanda, en épocas de estiaje y avenida
- El periodo del estudio abarcará los años 2017-2024, que es un escenario de largo plazo.

### 1.7.2. Limitaciones

- El estudio abarcará el Área Operativa Sur Este N° 13 del SEIN.
- Las alternativas de interconexión se establecerán entre las Subestaciones Eléctricas de la Central Hidroeléctrica Machupicchu Fases I, II y Suriray.
- El estudio de Operatividad abarcará únicamente el análisis en estado estacionario comprendido por: Flujo de Potencia, Contingencias y Cortocircuito, de la zona de influencia del proyecto, considerando simulaciones antes y después del ingreso de las nuevas instalaciones.
- Se indicará las protecciones que necesita la alternativa de interconexión seleccionada.

## 1.8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se realizará bajo el **enfoque cuantitativo** ya que es secuencial y probatorio. Es parte de una idea, que va acotándose y una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; y se establece una serie de conclusiones respecto de las hipótesis. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010) [3].



De acuerdo a su aplicación es **Investigación Tecnológica**, ya que se buscan aplicaciones prácticas de los conocimientos, para el diseño o mejoramiento de un producto, maquinaria o equipo, en este caso la *interconexión entre las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray*.

### 1.8.1. Diseño y Nivel de la Investigación

El diseño determinado para esta investigación es la *experimental*, ya que se manipula deliberadamente una variable independiente que es la *seguridad en la operación de la interconexión* (causa), con la finalidad de medir la variable dependiente en este caso la *continuidad del servicio eléctrico* (efecto).

El nivel alcanzado es el Correlacional-Explicativo.

- Correlacional. Porque explica cómo se *comporta* una variable (continuidad del servicio eléctrico) *en función* de otra (seguridad en la operación de la interconexión).
- Explicativo. Porque su interés se centra en demostrar porque ocurre un fenómeno (variable dependiente) y en qué condiciones se manifiesta (variable independiente), es decir se explica la relación que tiene la continuidad del servicio eléctrico con la operación de la interconexión.

### 1.8.2. Población y muestra

**Población:** la población del presente trabajo de investigación está conformada por el Área Operativa Sur Este N° 13 del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

**Muestra:** en el presente trabajo la muestra no es probabilística<sup>6</sup>, en ese sentido, estará conformada por las características operativas de las líneas de transmisión L-1038, L-2050, L-2059, Machupicchu-Quencoro-Onocora-Tintaya, enlaces AB, CD y Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray.

---

<sup>6</sup> Las **muestras no probabilísticas**, la elección de los elementos no depende de la probabilidad (no es mecánico ni con base en formulas), sino de causas relacionadas con las características de la investigación. Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M.P. (2010). Metodología de la Investigación. (5ta Edición). México



### 1.8.3. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas a utilizar para este caso serán:

- Observación; fotografías, material audiovisual, etc.
- Consulta de tesis, libros, catálogos, internet, etc.
- Entrevistas con especialistas relacionados al tema.
- Recopilación de información de la empresa generadora EGEMSA y la transmisora CTM.
- Recopilación de la información del Comité de Operación Económica del Sistema Eléctrico (COES).
- Recopilación de las normativas de OSINERMIG, MEM.

### 1.8.4. Herramientas para el procesamiento de datos

Los datos obtenidos se procesarán mediante el uso de ecuaciones, fórmulas matemáticas e introducción de datos al computador activándose programas informáticos tales como; DIGSILENT<sup>7</sup>, DLTCAD<sup>8</sup>, GOOGLE EARTH<sup>9</sup>, Microsoft Office.

### 1.8.5. Análisis de datos

- Revisar y analizar la información recopilada.
- Analizar e interpretar los datos de entrada y salida, obtenidos durante la simulación del sistema en condiciones actuales.
- Analizar e interpretar los resultados encontrados con la incorporación de la alternativa seleccionada.

---

<sup>7</sup> Power System Analysis and Engineering – DlgSILENT. Visita <http://www.digsilent.de>.

<sup>8</sup> DLTCAD ABS Ingenieros. Visita <http://absingenieros.com/portal/es/demos> para descargar Demo.

<sup>9</sup> GOOGLE EARTH. Visita: <https://www.google.com.pe/intl/es/earth> para descargar última versión



## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se desarrollan las bases teóricas y conceptos generales de subestaciones eléctricas, líneas de transmisión entre otros, que permitan comprender de manera clara y concisa la operación de una línea de transmisión en estado estacionario.

Es así que un análisis de operación de una línea de transmisión tiene la finalidad de demostrar el efecto de las nuevas instalaciones que se conectarán al SEIN, sin entorpecer la expansión del sistema, preservando los criterios de una adecuada operación y seguridad, garantizando la continuidad y calidad del suministro eléctrico.

Del mismo modo, dentro del Procedimiento Técnico: Ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el SEIN (PR-20), indica que para un estudio en Estado Estacionario se debe desarrollar el análisis de Flujo de Potencia y Cortocircuitos de la zona de influencia del proyecto, considerando simulaciones antes y después del ingreso de las nuevas instalaciones. Esto con la finalidad de verificar el impacto de la nueva instalación en los niveles de sobrecargas, tensiones y cortocircuitos en el sistema de transmisión existente.

### 2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

- La Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A (EGEMSA), elabora un resumen ejecutivo titulado: “ *Análisis Eléctrico del Sistema EGEMSA con conexión entre la S.E. Machupicchu I y la S.E. Machupicchu II 70LRP en 138 kV, por indisponibilidad de las líneas L-1001 (Machupicchu-Cachimayo 138kV) y L-1002 (Machupicchu-Quencoro 138kV)*”, el año 2015 [4], en el cual:
  - Presenta los resultados del análisis eléctrico “Conexión de la S.E. Machupicchu I con la S.E. Machupicchu II”, evaluando la operación de la S.E. GIS 138KV y el impacto de la indisponibilidad de las



líneas de transmisión; L-1001 y L-1002 en la operación del sistema eléctrico EGEMSA, verificando que no se presenten restricciones de generación y del sistema de transmisión, garantizando la confiabilidad y la calidad de las operaciones.

- En el año 2014, la Empresa Concesionaria Luz del Sur elaboró el Estudio de Pre Operatividad: “*Subestación Provisional Santa Teresa 220/138 kV*” [5], el cual fue aprobado por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES SINAC) en mayo del mismo año mediante carta COES/D/DP-546-2014, el cual se describe a continuación:
  - Este estudio se realizó con la finalidad de evacuar parcialmente la energía generada por la C.H. Santa Teresa, a través de una línea provisional conectada a la celda de Línea 138 kV CTM-REP, llegando finalmente a la ampliación de barras en 138 kV de la S.E. Existente Machupicchu I.
  - Esta conexión provisional fue ejecutada debido a demoras en la construcción de la L.T. 220 kV Machupicchu – Abancay – Cotaruse, que estuvo a cargo de la empresa CTM, y permitió la inyección de la energía eléctrica generada por la C.H. Santa Teresa (91 MW) al SEIN a través de las líneas L-1001 y L-1002.
  - El estudio de Pre Operatividad abarca la descripción del proyecto, características del sistema eléctrico además de condiciones ambientales de la zona de estudio, aspectos tomados en cuenta para la implementación de la subestación provisional Santa Teresa. También se señalaron las instalaciones proyectadas, así como el equipamiento electromecánico correspondiente. En cuanto a la línea de transmisión denominada conexión provisional se detalló el trazo de ruta, las características principales de su equipamiento y la selección del conductor.
- En el año 2012, ISA, la Empresa Consultora Colombiana, mediante Contrato No. PE-MACO-00003-Z001, elabora el “*Estudio de Operatividad*”



del Proyecto Línea de Transmisión 220kV Machupicchu - Abancay - Cotaruse” [6], comprendida por:

- La construcción de una línea de transmisión de 138 kV, desde Machupicchu, hasta la nueva S.E. Suriray ubicada próxima a la C.H. Santa Teresa, desde esta subestación mediante enlaces de 220 kV, se conectará con la nueva subestación ubicada en la zona de Abancay, SE Abancay Nueva, hasta llegar a la subestación Cotaruse.
  - Este Estudio de Operatividad contiene: Descripción del proyecto, Estudio de estado estacionario en operación normal, Estudio de estado estacionario en contingencia, Estudio de cortocircuito, Estudio de estabilidad transitoria, Estudio de transitorios electromagnéticos y Estudio de energización parcial del proyecto.
- En el año 2011 se presenta el trabajo de investigación titulada: “*Estudio de Operatividad de la Línea de Transmisión Suriray-Cusco Alto-Tintaya 220 kV*” [12] elaborado por Andersen Campos Peña de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, en el cual propone lo siguiente:
    - La implementación de una nueva línea de transmisión con el objetivo de atender los requerimientos de energía de los centros de consumo considerando nuevas instalaciones eléctricas.
    - Dentro de este estudio se efectúan análisis de flujos de carga, cargabilidad en las líneas y perfil de tensión en barras mediante el software Power Factory DigSilent 14.0.516.Dicho estudio de operatividad demuestra de manera detallada los beneficios del ingreso de nuevas instalaciones al SEIN, considerando los criterios para una adecuada operación y seguridad, que garantice la continuidad y calidad del suministro eléctrico.



## 2.3. SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

De acuerdo a las normas de la Dirección General de Electricidad (DGE), una subestación eléctrica es parte de la red eléctrica, caracterizada por concentrar una carga (demanda de energía) en un lugar dado.

Una subestación incluye principalmente los terminales de los dispositivos de control, maniobra, así como las celdas de las líneas de transmisión o distribución que también podrían incluir transformadores de medida, de forma general la subestación está conformada por equipos e instalaciones necesarias para los sistemas de seguridad y control (por ejemplo, dispositivos de protección, actuación, etc.) [7].

Las subestaciones eléctricas son una parte importante de la red eléctrica, por lo que deben ser confiables al brindar el servicio, debido a su importancia en el sistema y con el objetivo de garantizar la confiabilidad surgen distintas configuraciones de barras en la instalación de las subestaciones, las que serán mencionadas a continuación a fin de mostrar la filosofía de funcionamiento de estas configuraciones.

### 2.3.1. Tipo de Barras de una Subestación

La disposición de la subestación es un aspecto importante en el diseño, pues tiene la finalidad de ser lo más sencillo posible pero a la vez permitir un alto nivel de continuidad en el servicio, futuras ampliaciones, un funcionamiento flexible y costes iniciales/finales reducidos<sup>10</sup>. Consecuentemente para asegurar la continuidad del servicio se debe evitar la interrupción total del servicio originada por el fallo de los interruptores o defectos en la barras, otra característica a ser resaltada es que las subestaciones deben estar dispuestas de forma que la reanudación del servicio después de una falla sea rápida, por tanto, la disposición general de la subestación debe permitir la realización de trabajos de mantenimiento y futuras ampliaciones sin interrumpir el servicio.

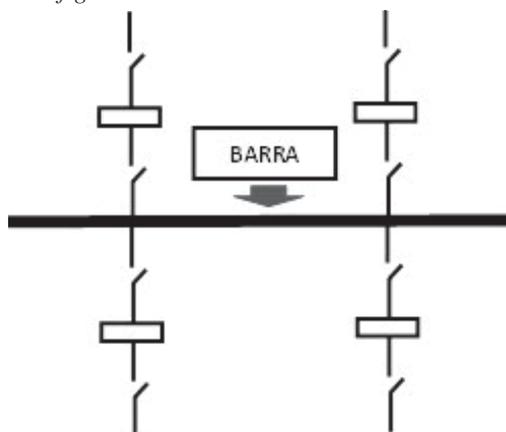
---

<sup>10</sup> Barrantes, L.S. (2011). Diseño del Sistema de protección y Control de Subestaciones Eléctricas (tesis de pregrado). Universidad II de Madrid. Madrid, España.

Para que todos estos requisitos se cumplan lo más eficazmente posible se tienen las siguientes disposiciones básicas de barras:

- a) **Barra simple:** esta configuración es caracterizada por tener un único barraje (punto común) en el cual son conectados cada una de las líneas provenientes de distintos equipos, pudiendo ser estos de generación, transmisión, control, entre otros. Debido a la simplicidad de esta configuración tiende a ser una instalación económica ya que contiene el menor número de equipos, la configuración de barra simple es presentada en la Figura 2.1 [8].

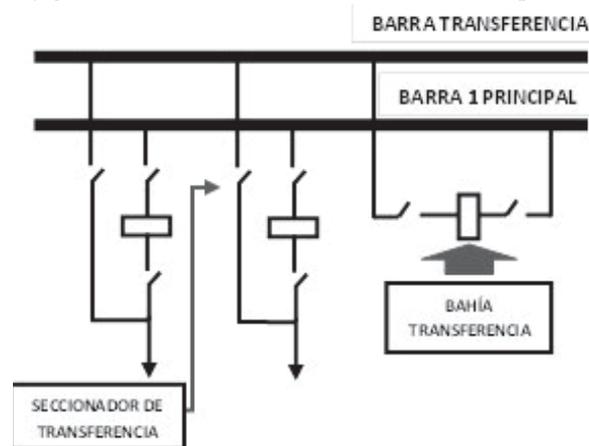
Figura 2.1 Configuración del conexionado en una barra simple



Fuente: Curso de Subestaciones – CM2 Electrónica

- b) **Barra simple con barra de transferencia:** Es una configuración que posee una barra de transferencia que permite conectar los circuitos a la subestación a través de un seccionador de transferencia ubicado en cada bahía de la subestación (en caso de falla del interruptor propio del circuito o para mantenimiento de este sin sacar de servicio el circuito). En la Figura 2.2 se observa que esta configuración de barra se energiza usando la bahía de transferencia [8].

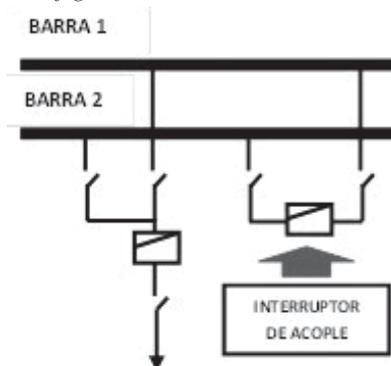
Figura 2.2 Configuración del conexionado en una barra simple con transferencia



Fuente: Curso de Subestaciones – CM2 Electrónica

- c) **Barra doble:** para esta disposición hay dos sistemas de barraje en la subestación, una barra doble permite separar circuitos en cada una de las barras, siendo posible realizar el mantenimiento en barras sin suspender el servicio. Dada su flexibilidad, puede usarse el acople como seccionador de barras, permitiendo la conexión entre una barra y la otra de circuitos provenientes de una misma fuente sin necesidad de hacer cruce de las líneas a la entrada de la subestación según se muestra en la Figura 2.3 [9].

Figura 2.3 Configuración del conexionado en barra doble



Fuente: Configuración de Subestaciones Eléctricas – XM Compañía Expertos en Mercados

### 2.3.2. Clasificación de Subestaciones Eléctricas

Para la clasificación de las subestaciones eléctricas son consideradas diversas características como: por su función, nivel de tensión y construcción, las definiciones a seguir están según la Norma DGE, terminología en electricidad [7].



### a) Por su función

- **Subestaciones de Centrales eléctricas o Elevadoras:** es una subestación de transformación en la cual la potencia de salida de los transformadores está a una tensión más alta que la potencia de entrada.
- **Subestaciones reductoras:** es una estación de transformación donde la potencia de salida en los transformadores tiene una tensión más baja que la potencia de entrada.
- **Subestaciones de maniobra:** es una subestación que incluye el dispositivo de maniobra, pero no a los transformadores de potencia. Estas Subestaciones únicamente son nodos de entrada y salida sin elementos de transformación y son utilizadas como interconexión de líneas, derivaciones, conexión y desconexión de compensación reactiva y capacitiva, entre otras funciones.

### b) Por su nivel de tensión

El nivel de tensión de una subestación viene dado por la tensión de servicio y/o operación de las barras. De esa forma, la dimensión y complejidad del sistema de protección y control se incrementa considerablemente según aumenta el nivel de tensión, por tanto, los niveles de tensión más altos exigen mayores prestaciones a los interruptores y seccionadores, de esa forma influyen en la aparamenta de la subestación (Barrantes, L.S., 2011)\*

De acuerdo el CNE-Suministro 2011 [10] se consideran cuatro grupos de tensiones, que son mostrados a seguir:

- Baja Tensión (BT): 220, 380, 440 V
- Media Tensión (MT): 20, 22.9, 33kV;
- Alta Tensión (AT): 60, 130, 220 kV;
- Muy Alta Tensión (MAT): 500 kV.

### c) Por su construcción

---

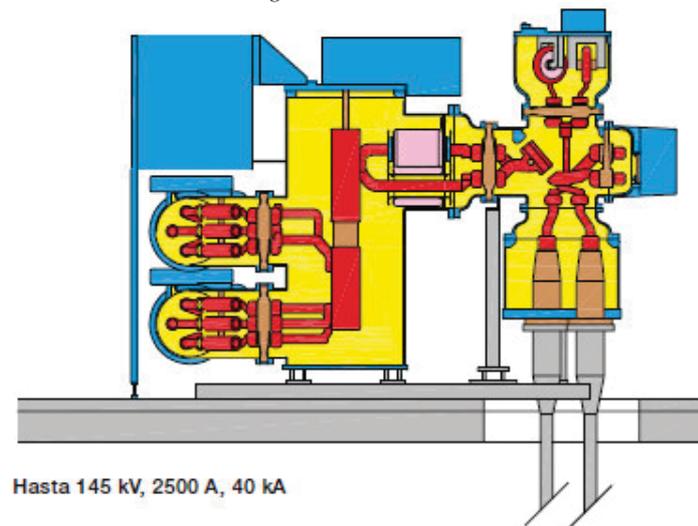
\* Ver referencia 10, pág. 16.



La Norma DGE-Terminología en electricidad [7], considera once tipos de subestaciones según su construcción. Los más relevantes que en adelante se verán para esta tesis, se mencionan a continuación:

- **Intemperie:** son subestaciones construidas en el exterior ocupando grandes extensiones de terreno, requieren un diseño, aparatos y máquinas capaces de funcionar bajo condiciones atmosféricas adversas (lluvia, nieve, viento y contaminación ambiental). Se utilizan en los sistemas de alta tensión [11].
- **Interior (En celdas o cabinas de Media Tensión):** la principal ventaja de este tipo de subestaciones es que el espacio que ocupan es aproximadamente 10 veces menos que una convencional. Muchas veces a pesar de ser subestaciones de interiores los transformadores se sitúan en el exterior para minimizar daños en caso de accidente.
- **Blindado (Aislado en gas SF<sub>6</sub>, GIS-Gas Insulated Switchgear) [32]:** estas subestaciones usan hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) como aislante en todos sus elementos (interruptores, transformadores de medida, etc.), el uso de este gas permite reducir la distancia necesaria entre los diferentes elementos de la instalación y por tanto se requiere menos espacio.  
Estas subestaciones presentan un sistema compuesto por diferentes módulos funcionales con su tecnología primaria y secundaria específica. Cada uno de esos módulos cumple su función de manera óptima, interactuando con los demás módulos.  
Su diseño modular compacto y su alta fiabilidad no solo permiten el uso eficiente de energía en zonas de alta conglomeración, sino también donde se presenta una alta demanda de energía.  
En las subestaciones tipo GIS la longitud de los cables es cada vez más pequeña, las salas de los equipos aislados en SF<sub>6</sub> y de los relés de control se encuentran muy cercanas, si no son habitaciones contiguas.

Figura 2. 4 Subestación GIS



Fuente: Subestaciones aisladas en gas alta tensión hasta 170kV- ABB

### 2.3.3. Principales equipos de una subestación eléctrica

En una subestación eléctrica se encuentran diversos equipamientos, los cuales cumplen funciones distintas, a continuación se mencionan los equipos más importantes de una subestación definidos en la Norma DGE – Terminología en Electricidad [7]:

- **Transformador de potencia:** aparato que transforma un sistema de tensión y corriente alterna en otro de tensión y corriente generalmente de diferentes valores y a la misma frecuencia con la finalidad de transmitir una potencia eléctrica.
- **Interruptor automático:** es un dispositivo mecánico de conexión, capaz de establecer, conducir y cortar corrientes en condiciones normales en circuitos; operan bajo carga.
- **Seccionadores:** equipamiento mecánico de conexión que asegura, en posición de apertura, una distancia de aislamiento que satisface condiciones específicas.
- **Transformador de tensión:** transformador de medida en el que la tensión secundaria, en condiciones normales de uso, es sustancialmente proporcional a la tensión primaria y difiere en Fase de ésta en un ángulo que es aproximadamente igual a cero.



- **Transformador de corriente:** transformador de medida en el que la corriente secundaria, en condiciones normales de uso, es sustancialmente proporcional a la corriente primaria y difiere en Fase de ésta por un ángulo que es aproximadamente igual a cero.
- **Sistemas de control y medición:** equipamiento utilizado para maniobras automáticas en el sistema de la subestación.

## 2.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Un sistema eléctrico de potencia está constituido por múltiples generadores y centros de consumo interconectados entre sí a través de una línea de transporte de alta tensión la cual es relativamente fácil de controlar y supervisar. Según la Norma DGE – Terminología en Electricidad [7], un sistema de transmisión es el conjunto de instalaciones para el transporte de energía eléctrica producida por el sistema de generación.

La configuración de un SEP es ciertamente compleja tanto por su topología como por la diversidad de los equipos que la componen. Lo que crea una clara tendencia hacia una mayor interconexión con sistemas adyacentes, en busca de disminuir los costes de la electricidad y mejorar la fiabilidad del suministro.

### 2.4.1. Marco legal del sistema de transmisión.

El sistema de transmisión en Perú, así como todo el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) está normado y regulado dentro del marco legal normativo de la legislación las que son mencionadas a continuación:

- LEY N° 28832: “Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica”, publicada el 23 de Julio del 2006.
- Decreto Supremo N° 027-2007-EM: “Reglamento de la Transmisión y Modificación del Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas”, publicado el 17 de mayo del 2007.
- Resolución Directoral N°014-2005-EM/DGE, “Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados” (NTCOTR).



- Resolución del Consejo Directivo OSINERGMIN N° 035-2013-OS/CD del 14.03.2013, Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones del SEIN”.
- Plan de Restablecimiento del SEIN vigente, coherente con el numeral 8.2 de la NTCOTR y elaborado en cumplimiento del Procedimiento Técnico COES PR-9 “Coordinación de la Operación en Tiempo Real del SEIN”.
- Código Nacional de Electricidad – Suministro 2011

En la Categorización del Sistema de Transmisión Existente del SEIN [1] señala que las futuras instalaciones de transmisión, así como las que están en construcción están colocadas en el Plan de Transmisión (PT), el cual propicia el crecimiento ordenado y confiable del sistema de transmisión del SEIN, por consiguiente, dichas instalaciones serán categorizadas en el PT, desde un punto de vista de planificación y estarán conformadas por:

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

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

Las instalaciones de transmisión están clasificadas según las definiciones señaladas en el Procedimiento Técnico COES PR-20 “Ingreso, modificación y retiro de las Instalaciones del SEIN” [14], esta clasificación es de carácter técnico en mérito a la importancia de la instalación y la confiabilidad que brinde está al SEIN, por lo que son considerados los siguientes sistemas de transmisión:

- **Sistema de Transmisión Troncal Nacional (STTN):** conformado por instalaciones de transmisión de 500 kV o de 220 kV de tensión nominal que conecten las Áreas Operativas de SEIN.
- **Sistema de Transmisión Troncal Regional (STTR):** conformado por instalaciones de transmisión con los niveles de tensión de 220 kV o 138 kV de tensión nominal que conectan zonas de generación y carga dentro de las Áreas Operativas del SEIN.



- **Sistema de Transmisión Local (STL):** conformado por instalaciones de transmisión con un nivel de tensión de 220 kV, 138kV y 60 kV de tensión nominal, que conectan las cargas o las centrales de generación del SEIN.

### 2.4.3. Instalaciones del Sistema de Transmisión del SEIN

- De acuerdo a la Ley para asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica, Ley N° 28832<sup>11</sup>, las líneas de transmisión están integradas por las siguientes instalaciones:
- Sistema Garantizado de Transmisión (SGT): conformado por las instalaciones del Plan de Transmisión cuya concesión y construcción sean resultado de un proceso de licitación pública.
- Sistema Complementario de Transmisión (SCT): son parte del Plan de Transmisión cuya construcción es resultado de la iniciativa propia de uno o varios Agentes. Además de todas aquellas instalaciones no incluidas en el Plan de Transmisión.
- Sistema Principal de Transmisión (SPT): parte del sistema de transmisión, común al conjunto de generadores de un Sistema Interconectado, que permite el intercambio de electricidad y la libre comercialización de la energía eléctrica.
- Sistema Secundario de Transmisión (SST): parte del sistema de transmisión destinado a transferir electricidad desde una central de generación hasta una Barra del Sistema Principal hacia un distribuidor o consumidor final.

Las Instalaciones del SGT y SCT, son aquellas cuya puesta en operación comercial se hayan producido posterior al 24 de julio del 2006, fecha de promulgación de la Ley 28832\*.

Las Instalaciones del SPT y SST, son aquellas instalaciones calificadas como tales al amparo de la LCE y cuya puesta en operación comercial se hayan producido antes del 24 de julio del 2006, fecha de promulgación de la Ley 28832.

<sup>11</sup> Congreso de la República. (23, Julio de 2006). Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica (Ley N° 28832). Lima, Perú.

\* Ver referencia 11, pág. 27.



#### 2.4.4. Capacidad de transmisión instalada SEIN.

Define la energía que puede soportar el sistema de transmisión, así como la expansión de la misma. Durante el año 2015, se incorporaron al SEIN aproximadamente 1 018 km de líneas de transmisión en diferentes niveles de tensión según se detalla en el Tabla 2.1 [15].

Tabla 2.1 Ingreso de Líneas de Transmisión en el 2015

| N° | NIVEL DE TENSION | LINEAS DE TRANSMISION |                       |                  |
|----|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
|    |                  | LONGITUD (KM)         |                       |                  |
|    |                  | A DICIEMBRE 2014      | INGRESOS DURANTE 2015 | A DICIEMBRE 2015 |
| 1  | 500              | 1 831,76              | 0                     | 1 831,76         |
| 2  | 220              | 10 740,58             | 880,49                | 11 621,08        |
| 3  | 138              | 4 540,49              | 13,86                 | 4 554,35         |
| 4  | < 69 kV          | 7 698,88              | 103,29                | 7 802,17         |

Fuente: Memoria Anual 2015 – COES-SINAC

El Sistema de Transmisión del SEIN está integrado por líneas del sistema garantizado y complementario de transmisión, así como líneas del sistema principal y secundario de transmisión. En este orden a fines del año 2014, el SEIN registró 21.311 km de líneas de transmisión, de las cuales 18% pertenecen al sistema garantizado 3,14 % al complementario, 13 % al principal y 55% al sistema secundario de transmisión; estas líneas transportaron energía eléctrica para el norte, centro y sur del país [16].

En la Tabla 2.2 se muestra un resumen de las longitudes instaladas en el sistema de transmisión del Perú, de forma similar en el grafico 2.1 se muestra en un diagrama de barras las longitudes totales instaladas para los distintos tipos del sistema de transmisión del Perú.

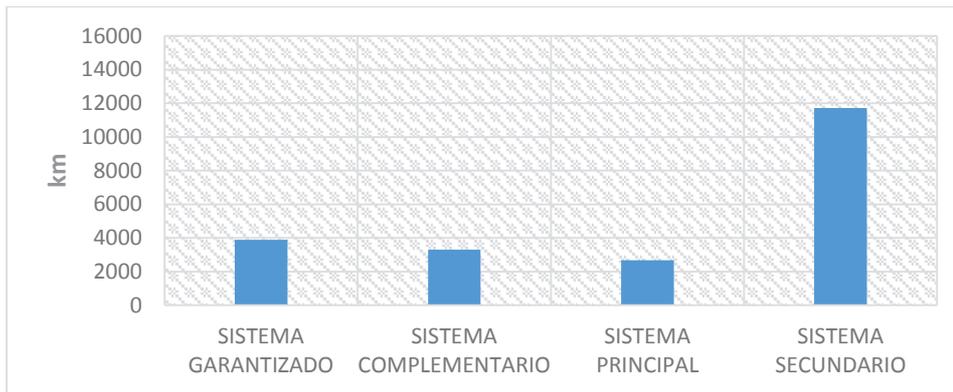
Tabla 2.2 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por el sistema.

| TIPO DE LINEA  | SISTEMA GARANTIZADO [km] | SISTEMA COMPLEMENTARIO [km] | SISTEMA PRINCIPAL [km] | SISTEMA SECUNDARIO [km] | TOTAL [km] |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|------------|
| <b>SISTEMA</b> |                          |                             |                        |                         |            |
| <b>SEIN</b>    | 3.885                    | 3.051                       | 2.685                  | 11.690                  | 21.311     |
| <b>SS.AA.</b>  |                          | 253                         |                        | 25                      | 278        |
| <b>Total</b>   | 3.885                    | 3.304                       | 2.685                  | 11.715                  | 21.589     |
|                | 18%                      | 15%                         | 12%                    | 54%                     | 100%       |

Fuente: Anuario Estadístico de Electricidad 2014 – MINEM



Grafico 2. 1 Longitud de Líneas de Transmisión 2014-Por tipo de línea



Fuente: Anuario Estadístico de Electricidad 2014 - MINEM

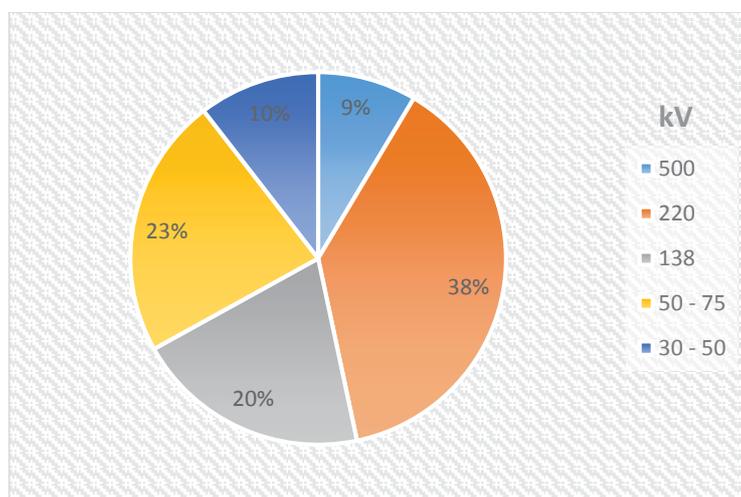
La Tabla 2.3 muestra la evolución de las longitudes de las líneas de transmisión presentadas por nivel de tensión, y en el grafico 2.2 son presentados los datos anteriores en un diagrama de participación porcentual.

Tabla 2.3 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión.

| TIPO DE LINEA<br>TENSION (kV) | SISTEMA GARANTIZADO | SISTEMA COMPLEMENTARIO | SISTEMA PRINCIPAL | SISTEMA SECUNDARIO | TOTAL |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|--------------------|-------|
| 500                           | 1828                | 10                     |                   |                    | 1838  |
| 220                           | 1786                | 798                    | 2287              | 3370               | 8241  |
| 138                           | 76                  | 378                    | 398               | 3517               | 4369  |
| 60 - 75                       | 120                 | 1033                   |                   | 3735               | 4888  |
| 30 - 50                       | 75                  | 1085                   |                   | 1093               | 2253  |
| <b>Total</b>                  | 3885                | 3304                   | 2685              | 11715              | 21589 |
|                               | 18%                 | 15%                    | 12%               | 54%                | 100%  |

Fuente: Anuario Estadístico de Electricidad 2014 – MINEM

Grafico 2.2 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión en porcentaje.



Fuente: Anuario Estadístico de Electricidad 2014 - MINEM



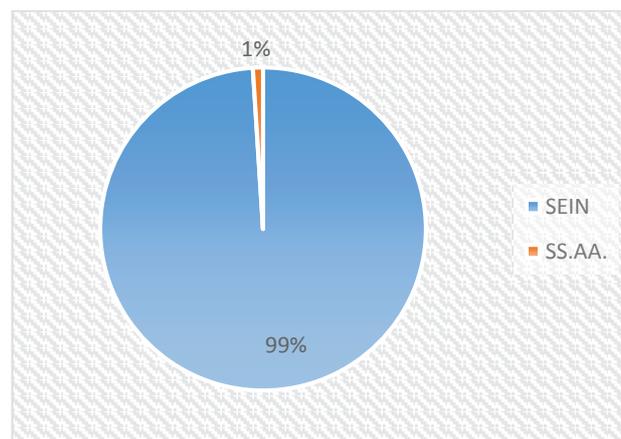
La Tabla 2.4 muestra la evolución de las longitudes de las líneas de transmisión presentadas por nivel de tensión y sistema de transmisión, así mismo en el gráfico 2.3 son presentados los datos indicados en un diagrama de participación porcentual.

Tabla 2. 4 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión y sistema.

| TENSION (KV) | SEIN  | SS.AA. | Total |
|--------------|-------|--------|-------|
| 500          | 1838  |        | 1838  |
| 220          | 8241  |        | 8241  |
| 138          | 4368  |        | 4368  |
| 50 - 75      | 4889  |        | 4889  |
| 30 - 50      | 1975  | 278    | 2253  |
| <b>Total</b> | 21311 | 278    | 21589 |
|              | 99%   | 1%     | 100%  |

Fuente: Anuario Estadístico de Electricidad 2014 – MINEM

Gráfico 2.3 Evolución de líneas de transmisión en el Perú por nivel de tensión y sistema en porcentaje.



Fuente: Anuario Estadístico de Electricidad 2014 - MINEM

#### 2.4.5. Clasificación de las líneas de transmisión

Las líneas de transmisión se clasifican de la siguiente manera:

##### a) Por su longitud

Según el Procedimiento Técnico PR-20 [14], las Líneas de Transmisión se clasifican por su longitud en:

- **Líneas de Transmisión Cortas:** son líneas que no exceden los 80 Km de longitud, para el modelamiento de sus parámetros se considera en su forma

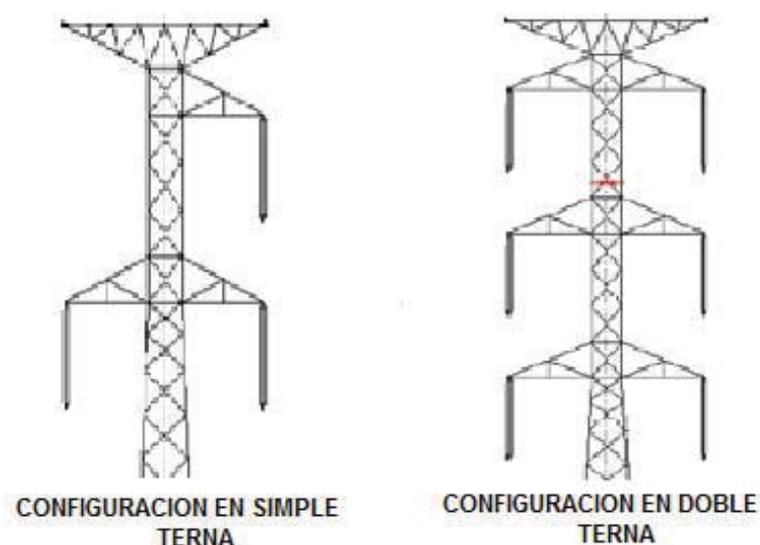
concentrada siendo R y L los de mayor importancia, el valor de C es muy pequeño por lo que se desprecia.

- **Líneas de Transmisión Medias:** líneas comprendidas entre las longitudes de 80 y 240 km, de igual forma que en las líneas cortas los parámetros se consideran en forma concentrada, siendo el parámetro de admitancia en paralelo (Y) de importancia en los cálculos, sin embargo se desprecia la conductancia (G).
- **Líneas de Transmisión Largas:** son líneas a los 240 Km de longitud, se representa de igual forma que la línea media, con la diferencia que sus parámetros deben considerarse en forma distribuida a lo largo de toda la línea.

### b) Por su número de Ternas

Esta clasificación considera una configuración y distribución de los conductores tanto en simple como en doble terna, esto con el objetivo de aumentar el transporte de potencia por una línea de transmisión. Por lo general, se considera, que si por una línea de transmisión se desea transportar grandes cantidades de potencia se utiliza una configuración de doble terna, y si se desea transportar potencia no muy grande se utiliza una configuración de simple terna, en la Figura 2.5 se muestra la configuración en simple y doble terna.

Figura 2.5 Configuración de una línea de transmisión



Fuente: Imágenes de Internet



### 2.4.6. Parámetros eléctricos de Líneas de Transmisión

Las líneas de transmisión son circuitos de parámetros constantes y distribuidos, formados por los siguientes elementos: resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia; que se encuentran distribuidas a lo largo de toda su longitud. Esta distribución constante permite un adecuado transporte de la energía eléctrica.

Es posible realizar una clasificación de los elementos eléctricos, dependiendo de la forma en que éstos influyen dentro de un sistema eléctrico. Así, se crean dos grupos diferenciados:

a) Parámetros longitudinales.

- R: Resistencia (Ohmios);
- L: Inductancia (Henrios).

b) Parámetros transversales.

- C: Capacidad (Faradios);
- G: Conductancia (Siemens).

Asimismo, existen otras magnitudes que matemáticamente sirven de nexo de unión de los parámetros anteriores, algunas de las más importantes son:

- Impedancia;
- Admitancia;
- Reactancia Inductiva y capacitiva;
- Susceptancia.

#### a) Parámetros Longitudinales

- **Resistencia:** la línea de transmisión está formada por conductores físicos, por tanto, tienen una resistencia eléctrica que es la principal causante de las pérdidas de potencia en la línea de transmisión, que en este caso, se manifiesta en forma de calor. La resistencia está dada por la ecuación 2.1.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad 2.1$$

Donde:



L: longitud (m)  
S: sección (mm<sup>2</sup>)  
 $\rho$ : resistividad ( $\Omega^* \text{ mm}^2/\text{m}$ )

La resistencia del conductor se obtiene, generalmente, para 20° C. El ajuste por temperatura del conductor se efectúa a través de la ecuación 2.2 mostrada a seguir.

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

Donde:

$R_2$ : Resistencia a temperatura  $T_2$ , en [ $\Omega / \text{km}$ ]  
 $R_1$ : Resistencia a temperatura de referencia de 20 °C, en [ $\Omega / \text{km}$ ]  
 $\alpha$ : Coeficiente de temperatura a 20 °C en [ $1/^\circ \text{C}$ ]  
 $T_2$ : Temperatura a la que se desea calcular la resistencia, en [ $^\circ \text{C}$ ]  
 $T_1$ : Temperatura de referencia igual a 20 °C, en [ $^\circ \text{C}$ ]

- **Inductancia:** se caracteriza por el efecto del campo magnético que rodea a los conductores, el cual produce en ellos efectos de autoinducción e inducción mutua, expresado mediante la ecuación 2.3.

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

Donde:

L: Inductancia en las líneas, en (H/Km)  
n: Número de cables por Fase  
 $\mu$ : Permeabilidad magnética (H/m)  
DMG: Distancia media geométrica entre Fases, en (mm)  
RMG: Radio medio geométrico, en (mm)

## b) Parámetros Transversales

- **Capacitancia:** representa el efecto del campo eléctrico existente entre los conductores, como el de los conductores y la tierra. Circuitalmente este parámetro constituye un camino de fuga para las corrientes que circulan por los conductores. Las corrientes de fuga dependen de la tensión de



operación de la línea y su longitud, por lo que tendrán importancia en las líneas de mediana y gran longitud. La capacitancia se expresa usando la ecuación 2.4.

$$C = \frac{2\pi E_0}{\ln \frac{DMG}{r_b}} \quad 2.4$$

Donde:

C: Capacitancia de una línea trifásica, en (F/m)

$E_0$ : Constante de Permisividad,  $8,854 \times 10^{-12}$  (F/m)

$r_b$ : Radio del conductor, en (mm)

DMG: Distancia meda geométrica, en (mm)

- **Conductancia:** este parámetro depende de factores climatológicos o medioambientales. La conductancia representa el efecto de las corrientes de fuga desde los conductores a tierra debido a la imperfección del sistema de aislación. Las corrientes de fuga, principalmente fluyen a través de las superficies de los aisladores que soportan a los conductores, cuyas propiedades aislantes varían decisivamente con el estado de sus superficies. En los cálculos normales se desprecia su efecto debido a su valor pequeño y a que no existen expresiones analíticas que permitan su evaluación.

### c) Parámetros Característicos

- **Admitancia:** la admitancia similar a la impedancia, es una cantidad compleja, su parte real es la conductancia y la parte imaginaria es la susceptancia y está determinada por la ecuación 2.5.

$$Y = G + jB \quad 2.5$$

Donde:

Y: Admitancia unitaria de la línea (Siemens/Km)

G: Conductancia unitaria (Siemens/Km)

B: Susceptancia capacitiva (Siemens/Km)



- **Reactancia Inductiva:** La reactancia inductiva unitaria de una Fase de la línea, puede ser calculada por medio de la ecuación 2.6.

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

Donde:

- $X_L$ : Reactancia Inductiva ( $\Omega/\text{km}$ )
- $f$ : frecuencia de la red (Hz)
- DMG: distancia media geométrica
- RMG: Radio medio geométrico

- **Reactancia Capacitiva:** La reactancia capacitiva de una línea de transmisión está determinada por la ecuación 2.7.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{\log\left(\frac{DMG}{RMG}\right)}{2f(0.01205)} \quad 2.7$$

Donde:

- $X_C$ : Reactancia Inductiva ( $\Omega/\text{km}$ )
- $f$ : frecuencia de la red (Hz)
- $C$ : capacitancia de una línea trifásica (F/km)
- DMG: distancia media geométrica (mm)
- RMG: Radio medio geométrico (mm)

- **Susceptancia Capacitiva:** Es el valor que permite el paso de la intensidad de corriente alterna debido a la presencia de la capacitancia en líneas de transmisión, la que se muestra en la ecuación 2.8. y 2.9.

$$B_k = wC \quad 2.8$$

Obteniéndose la susceptancia total, al multiplicarse ( $B_k$ ), por la longitud de la línea como es mostrada en la ecuación 2.9.



$$B = B_k L \quad 2.9$$

Donde:

$B_k$ : Susceptancia capacitiva (Siemens/Km)

B: Susceptancia capacitiva total (Siemens)

C: Capacitancia de una línea trifásica, en (F/Km)

f: Frecuencia del sistema (Hz)

L: Longitud de la línea en (Km)

- **Impedancia Característica:** es la existente entre la diferencia de potencial aplicada y la corriente absorbida por la línea en el caso hipotético de que esta tenga una longitud infinita la que es representada en la ecuación 2.10. En caso de líneas reales, se cumple que la impedancia de las mismas permanece constante cuando son cargadas con elementos, generadores o receptores, cuya impedancia es igual a la impedancia característica.

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad 2.10$$

Donde:

$Z_C$ : Impedancia característica ( $\Omega$ )

L: Inductancia (H)

C: Capacitancia (F)

- **Carga natural o potencia característica de una línea (SIL):** El SIL (*Surge Impedance Loading*) se define como la potencia activa o cargabilidad de una línea de transmisión que alimenta una carga igual a la impedancia de sobretensión.

Es la potencia enviada por una línea sin pérdidas a una carga resistiva igual a la impedancia característica, la ecuación 2.11 define la potencia SIL en una línea de transmisión.



$$SIL = \frac{V_{nom}^2}{Z_C} \quad 2.11$$

Donde:

$V_{nom}$ : Voltaje de línea-línea para potencia trifásica (V)

$Z_C$ : Impedancia Característica ( $\Omega$ )

#### 2.4.7. Cargabilidad de Líneas de Transmisión

La cargabilidad se define como la cantidad máxima de potencia eléctrica que se puede enviar a través de una línea de transmisión manteniendo sus condiciones normales de operación. La cargabilidad también puede ser definida como el criterio del límite o capacidad térmica del conductor; sin embargo existen otros criterios restrictivos como la caída de voltaje y margen de estabilidad<sup>12</sup>, algunas características importantes sobre la cargabilidad de la línea de transmisión a ser llevadas en consideración son presentadas a seguir.

- **Limite Térmico**

El límite térmico está determinado por la máxima temperatura del conductor. La temperatura de éste afecta la flecha entre las torres y la pérdida de la resistencia a la tensión mecánica debido al reconocimiento que puede sufrir si la temperatura es muy alta. Con ello podrían violarse las distancias a tierra permisibles, o bien podría excederse el límite de elasticidad del conductor, con lo cual ya no recuperaría su longitud original cuando se enfriara. La temperatura del conductor depende de la magnitud de la corriente y de su duración, así como de la temperatura ambiente, velocidad del viento y de las condiciones físicas en la superficie del conductor.

En este trabajo la corriente máxima admisible será calcula por el método basado en la Norma IEEE Std 738 Calculating the Current - Temperature Relationship of Bare Overhead Conductor [17], en las que considera temperaturas máximas

---

<sup>12</sup> Montoya, E. (2008). Estudio estocástico de cargabilidad en Líneas de Transmisión (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. México D.F.



admisibles del conductor, y condiciones ambientales. La capacidad térmica en MW de una línea de transmisión es mostrada en la ecuación 2.12.

$$\text{Limite termico}(MW) = \sqrt{3}V_{nom}I \cos \frac{\varphi}{100} \quad 2.12$$

Donde:

$V_{nom}$ : Voltaje nominal [kV]

I: Corriente máxima admisible [A]

$\cos\varphi$ : Factor de potencia

Y la corriente máxima admisible está dada por la ecuación 2.13.

$$I^2 R + Q_S = Q_C + Q_R \quad 2.13$$

Donde:

I: corriente eléctrica

R: resistencia efectiva

$Q_S$ : ganancia de calor solar

$Q_C$ : transferencia de calor por convección

$Q_R$ : radiación de calor

- **Limite por Caída de Voltaje**

La caída de voltaje así como el margen de estabilidad es una condición de operación que se debe tener en cuenta al momento de transportar energía. En líneas de transmisión largas que transportan cargas extremadamente pesadas, el mayor problema es la caída de voltaje, por lo que es recomendable que en estado de operación normal la caída de voltaje entre la barra de envío y la barra de recepción no sea superior al 5% [10].

Si la caída de voltaje supera el 5% hay el riesgo de que exista un colapso de voltaje y se deteriore el sistema de transmisión, para lo cual es recomendable analizar la posibilidad de conectar compensadores de reactivos en la barra terminal de transmisión para suplir las caídas de voltaje.



$$CV\% = \frac{(V_S - V_R)}{V_R} \cdot 100 \quad 2.14$$

La ecuación 2.14 muestra el voltaje en el extremo de recepción en términos de CV:

$$V_R = V_S \left( 1 - \frac{CV}{100} \right) \quad 2.15$$

Donde:

CV: Caída de voltaje en [%]

$V_S$ : Voltaje en el extremo de salida

$V_R$ : Voltaje en el extremo receptor

#### 2.4.8. Pérdidas en Líneas de Transmisión

La presencia de pérdidas en líneas de transmisión son inevitables, pero estas pueden ser minimizadas en base a un buen criterio de diseño y tomando en consideración factores como el calibre del conductor, el material del conductor, el número de conductores por Fase, etc. Minimizar las pérdidas en las líneas de transmisión de alguna manera contribuye a mejorar la calidad de energía en el sistema de potencia, permitiendo en muchos de los casos ahorrar la inversión por compras de compensación de reactivos.

Las pérdidas de energía y potencia en las líneas de transmisión, tiene una relación directa con el costo operativo de la línea. Así bajas pérdidas de potencia y energía en las líneas, permite tener costos de pérdidas menores, por lo que los precios de energía y de potencia en el punto de entrega no son elevados. En el caso de nuevas líneas de transmisión los costos bajos por pérdidas de transmisión, permite la recuperación de la inversión, en periodos no muy largos. A seguir son presentados algunos efectos físicos relacionados con las pérdidas en líneas de transmisión.

- **Efecto Corona**

El efecto corona consiste en la ionización del aire que rodea a los conductores de alta tensión y que tiene lugar cuando el gradiente eléctrico supera la rigidez



dieléctrica del aire, manifestándose en forma de pequeñas chispas o descargas a escasos centímetros de los cables, en forma de halo luminoso a su alrededor.

Al momento que las moléculas que componen el aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire. Tal circulación producirá un incremento de temperatura en el gas, que se tornará de un color rojizo para niveles bajos de temperatura o casos leves, o azulado para niveles altos o severos.

En la aparición e intensidad del fenómeno influyen los siguientes condicionantes:

- Tensión de la línea, cuanto mayor sea la tensión de funcionamiento de la línea, mayor será el gradiente eléctrico en la superficie de los cables y, por tanto, mayor el efecto corona. En realidad sólo se produce en líneas de tensión superior a 80 kV<sup>13</sup>.
- La humedad relativa del aire, una mayor humedad, especialmente en caso de lluvia o niebla, incrementa de forma importante el efecto corona.
- El estado de la superficie del conductor, las rugosidades, irregularidades, defectos, impurezas adheridas, etc., incrementan el efecto corona.
- Número de conductores, el efecto corona será menor cuanto más conductores tenga cada Fase de la línea.

En caso de que se produzca Efecto Corona las pérdidas se calculan mediante la siguiente ecuación 2.16:

$$P_C = \frac{244}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{RMG}{DMG}} (V_S - V_C)^2 * 10^{-5} \quad 2.16$$

Donde:

$P_C$ : Pérdida de potencia en kW/km

$\delta$ : factor de densidad del aire

<sup>13</sup> Efecto Corona en Líneas de Transmisión. (2013). SYSRED Sistemas Eléctricos. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.sysred.cl/files/434609019.pdf>.



- f: frecuencia de la línea en Hz
- DMG: distancia media geométrica entre Fases
- RMG: radio medio geométrico
- V<sub>s</sub>: Valor de la tensión Fase-neutro en kV
- V<sub>c</sub>: valor de la tensión crítica disruptiva en kV

Uno de los factores influyentes del Efecto Corona y a través del cual se busca disminuir su aparición es el diámetro del conductor, ya que incrementando la sección de los conductores en el diseño de una línea de transmisión es posible reducir por completo la ocurrencia de este fenómeno.

- **Efecto Joule**

La Ley de Joule enuncia que “El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia por el cuadrado de la intensidad de corriente el tiempo que esta dura” como se observa en la ecuación 2.17<sup>14</sup>.

$$P_j = \left( \frac{S_{nom}}{V_{nom}} \right)^2 \times \frac{R_{75^\circ C}}{S_{nom}} \times 100\% \quad 2.17$$

Donde:

S<sub>nom</sub>: Potencia nominal [MVA]

V<sub>nom</sub>: Voltaje nominal [kV]

R<sub>75°C</sub>: Resistencia a 75° C [ohm]

Por lo general, el efecto Joule es un efecto no deseable, puesto que son pérdidas que implicarán una reducción del rendimiento eléctrico. Sin embargo, este efecto se puede aprovechar cuando lo que queremos es convertir la energía eléctrica en calorífica.

- **Efecto Ferranti**

El efecto Ferranti es producido por el efecto capacitivo que hay en una línea larga de transmisión aérea (en la líneas cortas aéreas se desprecia este efecto)

---

<sup>14</sup> Efecto Joule. (2016). ECURED. Cuba. Recuperado de [http://www.ecured.cu/Efecto\\_Joule](http://www.ecured.cu/Efecto_Joule).



que se comporta como si estuviese formado por infinitos capacitores que hacen a su vez de fuentes de acumulación de energía, el potencial en el extremo receptor es mayor que en el extremo transmisor, es decir se produce un efecto multiplicador el cual produce una sobretensión transitoria.

## **2.5. CONFORMACIÓN PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL (SEIN).**

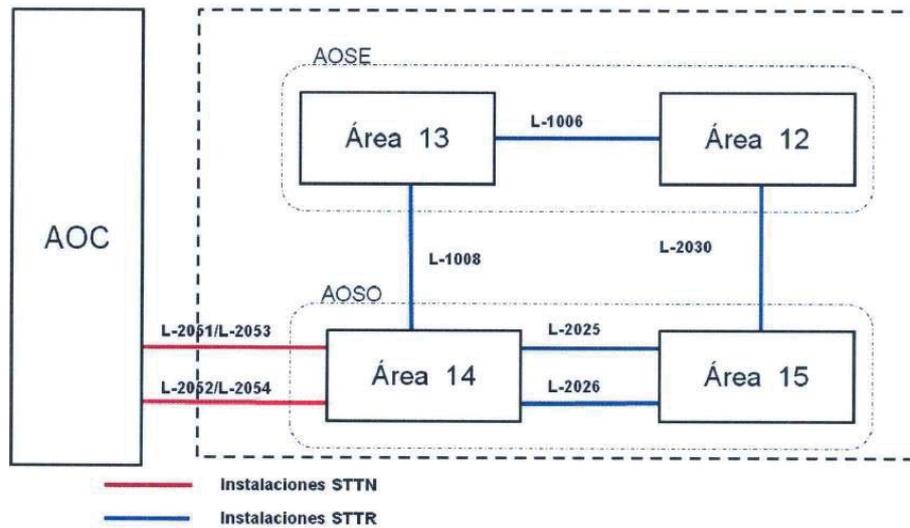
Según el PR-20 [14], el SEIN está comprendido por áreas operativas las que están compuestas por centros de generación, redes de transmisión y/o de distribución que pueden separarse del resto del sistema y operar de forma aislada. Estas áreas están definidas por ubicación geográfica de las principales ciudades, centros mineros y cargas importantes, asimismo cada área operativa tiene un comportamiento definido por los enlaces de transmisión o troncales del SEIN.

El SEIN cuenta con tres áreas operativas principales: área norte, área centro, área sur; esta última conformada por el área sur este y área sur oeste. Estas tres áreas están conformadas a su vez por áreas de menor dimensión, a seguir se presenta un resumen de cómo están conformadas dichas áreas [2]:

- Área Operativa Norte (AON), conformada por las Áreas Operativas N° 1, 2, 3, 4, 5 y 6.
- Área Operativa Centro (AOC), conformada por las Áreas Operativas N° 7, 8, 9, 10 y 11.
- Área Operativa Sur (AOS), que incluye:
  - Área Operativa Sur Este (AOSE), conformada por las Áreas Operativas N° 12 y 13.
  - Área Operativa Sur Oeste (AOSO), conformada por las Áreas Operativas N° 14 y 15.

En la presente tesis el análisis se enfocará principalmente en el AOSE N° 13, mostrado en la Figura 2.6, a continuación se realizará una descripción del AOSE del SEIN.

Figura 2. 6 Configuración del área Operativa Sur Este

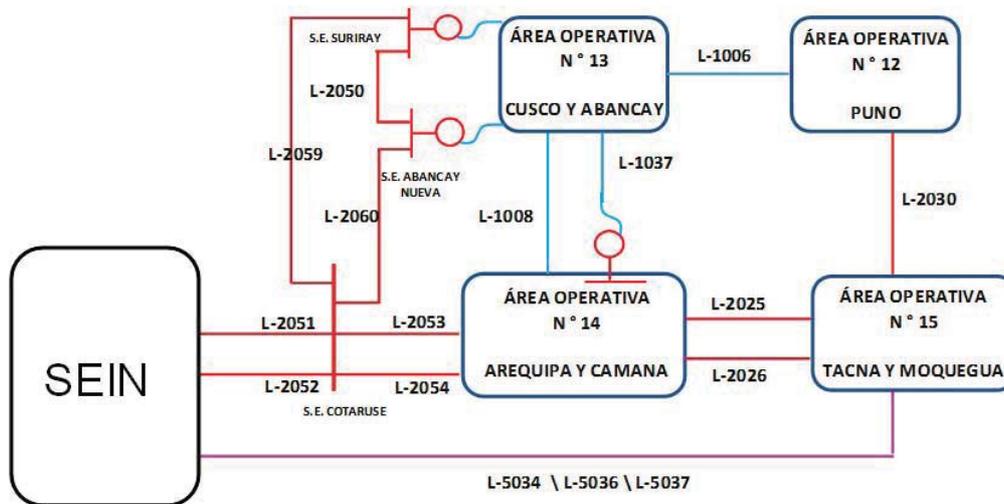


Fuente: Categorización del Sistema de Transmisión Existente – COES

### 2.5.1. Descripción Área Operativa Sur Este.

El AOSE del SEIN conformada por las AO N° 12 y 13 [18], está comprendida por las subestaciones Machupicchu I y II, Tintaya, Puerto Maldonado y Puno. Interconectada con el área operativa Sur Oeste a través de las líneas de transmisión L-1008 (Tintaya – Callalli), L-1038 (Machupicchu II – Suriray) en 138 kV, el auto transformador AT90-212 de Abancay Nueva, las líneas L-2023/L-2022 (Socabaya – Tintaya Nueva) y la línea de transmisión L-2030 (Moquegua – Puno) en 220 kV. En la Figura 2.7 se presenta de forma detallada los puntos de interconexión del área operativa de interés.

Figura 2.7 Áreas Operativas de la zona Sur del SEIN y líneas de transmisión de interconexión



Fuente: Plan de Restablecimiento del SEIN – COES

- **Área Operativa N ° 12: Puno y Puerto Maldonado**

El área operativa N° 12 está conformada por la S.E. San Gabán, S.E. Azángaro, S.E. Ayavirí, S.E. Mazuko, S.E. Puerto Maldonado, S.E. San Rafael, S.E. Juliaca y la S.E. Puno. Esta área operativa abastece de energía a las regiones de Puno y Madre de Dios [18].

- **Área Operativa N ° 13: Cusco**

El área operativa N ° 13 está conformada por la S.E. Machupicchu I y II, S.E. Tintaya, S.E. Combapata, S.E. Quencoro, S.E. Dolorespata, S.E. Cachimayo, S.E. Suriray, S.E. Abancay y la S.E. Abancay Nueva. Esta área operativa abastece de energía a Cusco y Apurímac, la Figura 2.8 presenta en detalle este sistema operativo. Resaltando que esta área puede operar en forma aislada con la generación de las C.H. Machupicchu I, II y Santa Teresa.





### 2.6.1. Flujo de Potencia

Uno de los procedimientos computacionales más comúnmente usados en el análisis de redes eléctricas de tipo industrial o comercial, es el cálculo de flujos de potencia. La planeación, diseño y operación de redes eléctricas requiere de estos cálculos para analizar el rendimiento en régimen permanente del sistema eléctrico bajo una variedad de condiciones operativas y estudiar los efectos de los cambios en la configuración de la red y los equipos.

Un cálculo de flujos de potencia determina el estado del sistema eléctrico para una carga determinada y la distribución de generación por la red, esto representa una condición en régimen permanente. Pero en la realidad, el flujo de potencia en líneas y el voltaje en nodos están cambiando constantemente porque las cargas también están cambiando (iluminación, arranque de motores, etc.).

Los estudios de flujos de carga se usan para determinar la condición óptima de operación para modos de operación normales; tales como el ajuste adecuado de los equipos de control de voltaje, o cómo responderá la red eléctrica bajo condiciones anormales, tales como la salida de servicio de alguna línea o algún transformador, etc.

#### **Beneficios:**

- Se conocen los fasores de voltaje nodales y los flujos de potencia activa y reactiva en todas las ramas de la red eléctrica.
- Se conocen los equipos o circuitos sobrecargados.
- Se pueden simular diferentes condiciones de operación de la red eléctrica.
- Se pueden determinar las pérdidas de la red eléctrica bajo ciertas condiciones de operación.
- Se pueden simular contingencias y determinar los resultados de operación de la red eléctrica.
- Se puede obtener el funcionamiento de la red eléctrica con máximo rendimiento.



- Se pueden obtener las condiciones de operación con menores pérdidas.
- El rendimiento en condiciones de emergencia.

Para este estudio, se empleará el programa de simulación de Sistemas de Potencia Power Factory DigSilent 15.01.

### 2.6.2. Análisis de Contingencias

Utilizando el Flujo de Potencia, se puede analizar condiciones en estado de contingencia; tal como la pérdida de un generador, una línea de transmisión, un transformador o una carga. Estos estudios permitirán identificar qué condiciones podrían causar sobrecargas en los equipos o detectar niveles de tensiones no permitidas en la operación. Los análisis de contingencias pueden ser enfocados generalmente desde el punto de vista en estado estacionario mediante el flujo de potencia, que a través de esto se puede conocer las condiciones de estado post-transitorio que el sistema adquiere después de la salida del elemento.

Las simulaciones de contingencias son una secuencia de casos de flujos de carga, a partir del escenario de operación normal previamente definido y en los que no se incluye los componentes cuyas fallas respectivas se simula.

**Criterio N-1:** Un sistema de suministro de energía eléctrica cumple con las exigencias del criterio de seguridad (N-1) cuando se soporta la falla de **un** componente de la red o de **un** bloque generador aplicada al estado de operación actual, de manera que no provoque situaciones indeseables en el sistema, es decir evitar violaciones de valores límites de operación de los restantes componentes y no generar ninguna situación que pueda extender la perturbación.

### 2.6.3. Energización y sincronización en estado estacionario

El análisis de energizaciones permite estimar la mejor manera de interconectar sistemas eléctricos (secuencias de maniobras), para lo cual primero se busca energizar la línea de interconexión, encontrar el sincronismo de ambos sistemas



(en caso de dos sistemas con generación independiente) e iniciar la transferencia de potencia<sup>15</sup>.

Los parámetros importantes para poder efectuar el sincronismo entre dos sistemas operativos, son los siguientes:

- Secuencia de Fases: consiste en que el sistema 1 y el sistema 2 deben estar conectados de tal forma que las Fases “R”, “S” y “T” de ambos sistemas sean las mismas. Si el interruptor cerrase y no se cumpliera esta condición, provocaría una falla bifásica ó trifásica a frecuencia industrial.
- La magnitud de la tensión: consiste en lograr la igualdad o cierta similitud entre las tensiones del sistema 1 y del sistema 2 en el lado del interruptor donde se llevará a cabo la maniobra de cierre.
- La frecuencia de los sistemas a interconectarse: consiste en que dos sistemas con la misma frecuencia nominal de operación antes del cierre del interruptor, puedan lograr que la frecuencia del Sistema 1 y del Sistema 2 sean iguales o muy próximas.
- La diferencia angular entre los sistemas: consiste en lograr que el ángulo de las tensiones en los polos del interruptor para ambos sistemas sean iguales o muy próximos.

La sincronización entre sistemas puede ser realizada de manera manual o automática a través de la operación de relés de sincronismo, que tienen la función de censar los parámetros mencionados hasta que se cumplan las condiciones para efectuar el sincronismo y enviar la señal para el cierre del interruptor.

Muchos casos de energizaciones son analizados desde el punto de vista estacionario usando como herramienta el flujo de potencia.

---

<sup>15</sup> Guardia, E.M. (2007). Metodología de análisis y diagnóstico para el estudio de operatividad de un Sistema Eléctrico de Potencia ante la ruptura de algún enlace eléctrico que la compone (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.



#### 2.6.4. Análisis de Cortocircuito

El análisis de cortocircuito se fundamenta en el cálculo o determinación de las magnitudes de las corrientes de falla y los aportes de cada uno de los elementos a esta falla, características que permiten el diseño y ajuste de los equipos<sup>16</sup>.

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

Los efectos de las corrientes de cortocircuitos son muy variados, pero entre los más importantes son los debidos al efecto Joule (calentamiento de los equipos eléctricos debido a la gran circulación de corriente), esfuerzos electromecánicos en las máquinas eléctricas y destrucción física del lugar de la falla cuando se producen grandes arcos eléctricos. De los efectos de las fallas por cortocircuito, el más notorio es la interrupción del suministro eléctrico debido a la necesaria apertura del circuito eléctrico por parte de los dispositivos de protección para despejar la falla y evitar mayores daños en el sistema.

Los valores obtenidos en el análisis de cortocircuito son: Potencia de cortocircuito ( $S_k$ ) y corriente de cortocircuito ( $I_k$ ), que es el valor eficaz de la componente simétrica alterna de la corriente de falla prevista en el instante de la aparición del cortocircuito.

#### 2.6.5. Sistema de Protección de Líneas de Transmisión

Los sistemas de protección tienen la función de detectar fallas para aislar los equipos o instalaciones tan pronto como sea posible así como advertir sobre las condiciones indeseadas de los equipos para dar las alertas necesarias; y de ser el caso, aislar al equipo del sistema<sup>17</sup>.

Para el caso de líneas en 138 kV se tiene dos relés de protección denominados protección principal y protección de respaldo. Cada uno de estos dispositivos

<sup>16</sup> COES-SINAC. (2014). Actualización del Estudio de Coordinación de las protecciones del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional año 2014. Anexo N° 6: Estudio de Cortocircuito. Lima, Perú.

<sup>17</sup> HVM Ingenieros (2016). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión. Colombia.



cuenta con función diferencial de línea 87L, funciones de protección de respaldo de distancia 21/21N, sobrecorriente direccional de tierra 67N, sobretensión 59, sobrecorriente para transformadores 50/50N-51/51N [6].

Las protecciones de línea que se describen a continuación, están comunicadas permanentemente en ambos extremos, por medio de un sistema de comunicación de fibra óptica. Estas protecciones se describen a continuación:

- **Protección de distancia (21/21N)**

La protección de distancia mide la impedancia de carga de la línea, es decir, la relación entre la tensión y la corriente vistas por el relé en su sitio de instalación. Si hay una falla, la medida de la impedancia será menor que la impedancia de carga y la protección operará.

Esta protección tiene una selectividad que se alcanza sin una comparación del extremo remoto y así, no requiere ningún sistema de telecomunicación para su función básica. Es por ello que el ajuste de impedancia y tiempo son muy importantes.

Una protección de distancia tiene varias zonas, mínimo tres y comúnmente cinco. La primera zona es instantánea y las otras son retardadas o temporizadas.

- **Protección Diferencial Longitudinal (87L)**

Estas protecciones son sistemas absolutamente selectivos. El principio básico consiste en la medida de la magnitud y del ángulo de las corrientes que entran en el área de protección. Durante condiciones normales (sin falla) la suma es cero. Este sistema de protección requiere telecomunicación entre los terminales de línea.

El medio de transmisión más común para esta protección es el hilo piloto, lo que significa que esta protección es utilizada para líneas cortas.

- **Protección de sobretensión o subtensión 59/27**

La protección de tensión mide permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar las tensiones que son mayores o menores que las



del rango normal de operación. Si las tensiones son menores que las del rango establecido se tiene una protección de subtensión o mínima tensión (función 27); en el caso de tensiones mayores se tiene la protección de sobretensión (función 59).

- **Protección de sobrecorriente direccional de línea 67N**

Para la protección de sobrecorriente direccional a tierra se debe especificar la dirección del flujo de corriente para la que se aplica la protección. Para su evaluación numérica por el relé se requiere una referencia o polarización con la que se efectúa el cálculo. Se prefiere usar la tensión homopolar por lo cual se debe ajustar el ángulo de máxima sensibilidad según el sistema de puesta a tierra.

- **Protección de sobrecorriente 50/51 – 50N/51N**

La función de sobrecorriente para transformadores, actúa como respaldo a la protección diferencial del transformador, asegurando la operación ante sobrecargas y cortocircuitos más allá de los transformadores de corriente de dicho equipo. Una sobrecarga puede causar aumento de la temperatura en los componentes del transformador, si esta temperatura está por encima del límite térmico del transformador causaría daños en su aislamiento y ocasionaría una reducción del tiempo de vida útil del mismo.

Se activa con dos etapas de operación. La primera etapa debe efectuar disparo sobre el mismo interruptor (a ambas bobinas de apertura del interruptor). La segunda etapa debe efectuar disparo sobre los interruptores aledaños que permita separar el circuito con falla.



### **CAPITULO 3.**

## **DIAGNOSTICO ACTUAL DE LA INTERCONEXION ENTRE LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS DE MACHUPICCHU Y SURIRAY DEL ÁREA OPERATIVA SUR ESTE N° 13**

### **3.1. INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se analiza y evalúa las condiciones de operación actual de la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray en 138 kV. Este análisis considera el área operativa sur este, limitada de acuerdo a la Categorización del Sistema de Transmisión Existente del SEIN elaborada por el COES [1] como el área operativa N°13, donde serán realizadas simulaciones de flujo de potencia en condiciones normales y contingencias, para estos son considerados diversos escenarios de operación, tales como:

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

Estos escenarios son considerados a fin de obtener las situaciones más críticas y desfavorables en la operación de la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray en 138 kV. Como preámbulo se enfoca los puntos más característicos y resaltantes de la interconexión estudiada, así como la importancia de dicha interconexión en la región sur este del país.

### **3.2. DESCRIPCION DEL AREA DE ANALISIS**

En la actualidad los sistemas eléctricos convencionales son de gran dimensión, por ejemplo en el caso del Perú el SEIN está disperso por gran parte del país, debido a esto, tanto el COES como el OSINERGMIN dividen al SEIN en 15 áreas, de acuerdo al plan de restablecimiento del COES [18], de esa forma cada área operativa está formada por: centrales de generación, redes de transmisión, distribución, equipos de compensación, entre otros equipamientos que conforman un sistema eléctrico. Una característica importante para el análisis por áreas



operativas, es que cada área analizada puede operar en forma aislada del SEIN<sup>18</sup> atendiendo la demanda del área de influencia respectiva, considerando que estas pueden tener o no restricciones de suministro.

En este trabajo se analizan las instalaciones comprendidas entre la subestación Machupicchu y la subestación Suriray ambas en 138 kV, consideradas dentro del Área Operativa Sur Este N° 13 (AOSE). Asimismo posee las centrales de Machupicchu, Santa Teresa como principales centros de Generación.

### **3.2.1. Área Operativa N ° 13: Cusco**

Esta región es denominada por el SEIN como: el Área Operativa Sur Este N°13 y está conformada por la subestación Machupicchu I y II 13.8/138 kV, subestación Tintaya en 220/138 kV, subestación Combapata en 138/33 kV, subestación Quencoro 138/10.5 kV, subestación Dolorespata en 138/11.6 kV, subestación Cachimayo 138/60/33/10.5 kV, subestación Suriray 220/138 kV, subestación Abancay 220/138 kV y la subestación Abancay Nueva 220/138 kV. Esta área operativa abastece de energía a las regiones de Cusco y Apurímac.

La operación de esta área en forma aislada es factible con la generación de las Centrales Hidroeléctricas Machupicchu Fases I, II y Santa Teresa. En el AOSE N° 13 se encuentran presentes varias empresas que realizan funciones de generación transmisión y distribución así como la operación, mantenimiento y control de sus instalaciones, a seguir se presentan las empresas así como el equipamiento a su responsabilidad.

#### **3.2.1.1. Empresas propietarias y/o operadores de líneas de transmisión y transformadores de potencia**

Las empresas que son propietarias o que poseen la concesión para la operación de diversas líneas de transmisión en nuestra área operativa en análisis son presentadas en la Tabla 3.1.

---

<sup>18</sup> COES-SINAC. (2016). Plan de Restablecimiento 2016. Área Operativa Sur Este. Lima, Perú. Pág. 5.



Tabla 3. 1 Empresas propietarias y operadoras de líneas de transmisión - AOSE N° 13

| EMPRESA         | CÓDIGO | S.E                      | CELDA SE 1  |          | CELDA SE 2  |          | NIVEL DE TENSIÓN |
|-----------------|--------|--------------------------|-------------|----------|-------------|----------|------------------|
|                 |        | SE1 – SE2                | PROPIETARIO | OPERADOR | PROPIETARIO | OPERADOR |                  |
| EGEMSA          | L-1001 | MACHUPICCHU - CACHIMAYO  | EGEMSA      | EGEMSA   | EGEMSA      | EGEMSA   | 138 KV           |
|                 | L-1002 | MACHUPICCHU - QUENCORO   | EGEMSA      | EGEMSA   | REP         | REP      | 138 KV           |
|                 | L-1003 | CACHIMAYO - DOLORESPATA  | EGEMSA      | EGEMSA   | EGEMSA      | EGEMSA   | 138 KV           |
| REP             | L-1004 | DOLORESPATA - QUENCORO   | EGEMSA      | EGEMSA   | REP         | REP      | 138 KV           |
|                 | L-1005 | QUENCORO - TINTAYA       | REP         | REP      | REP         | REP      | 138 KV           |
|                 | L-1007 | CACHIMAYO - ABANCAY      | REP         | EGEMSA   | REP         | ESE      | 138 KV           |
|                 | L-1008 | TINTAYA - CALLALLI       | REP         | REP      | REP         | REP      | 138 KV           |
| XSTRATA TINTAYA | L-2020 | TINTAYA-ANTAPACCAY       | XSTRATA     | XSTRATA  | XSTRATA     | XSTRATA  | 138 KV           |
| TRANSMAN TARO   | L-1038 | SURIRAY - MACHUPICCHU II | REP         | REP      | REP         | EGEMSA   | 138 KV           |
|                 | L-1039 | ABANCAY NUEVA - ABANCAY  | REP         | REP      | REP         | REP      | 220 kV           |
|                 | L-2050 | SURIRAY - ABANCAY NUEVA  | REP         | REP      | REP         | REP      | 220 kV           |
|                 | L-2059 | SURIRAY - COTARUSE       | REP         | REP      | REP         | REP      | 220 kV           |
|                 | L-2060 | COTARUSE - ABANCAY NUEVA | REP         | REP      | REP         | REP      | 220 kV           |

Fuente: COES – SINAC

De forma similar a la Tabla 3.1 en la Tabla 3.2 se presentan empresas propietarias o que concesionan transformadores. Es importante notar que algunas empresas coordinan la operación de algunos equipos como el caso de la L-1038, L-1002 entre otros que comparten algunas instalaciones como la S.E. Dolorespata que posee equipos de las empresas EGEMSA y REP.

Tabla 3. 2 Empresas propietarias y operadoras de transformadores - AO N°13

| EMPRESA         | CÓDIGO     | SUBESTACIÓN | NIVEL DE TENSIÓN (kV)   | PROPIETARIO | OPERADOR |
|-----------------|------------|-------------|-------------------------|-------------|----------|
| EGEMSA          | 03GTA003TR | MACHUPICCHU | (138±2x2.5%)/13.8       | EGEMSA      | EGEMSA   |
|                 | T-3        | CACHIMAYO   | (132±13x1%)/60/22.9     | EGEMSA      | EGEMSA   |
|                 | T-4        | CACHIMAYO   | (138±2x2.5%)/34.5/10.5  | EGEMSA      | EGEMSA   |
|                 | T-1        | DOLORESPATA | (138±2x2.5%)/11.5       | EGEMSA      | EGEMSA   |
|                 | T-2        |             | (138±2x2.5%)/11.5       | EGEMSA      | EGEMSA   |
|                 | T-3        |             | (138±2x2.5%)/11.5       | EGEMSA      | EGEMSA   |
| REP             | T47-131    | QUENCORO    | (132±8x1.25%)/34.5/10.5 | REP         | REP      |
|                 | T80-131    | QUENCORO    | (132±8x1.25%)/34.5/10.5 | REP         | REP      |
|                 | T46-162    | COMBAPATA   | (138±3x2.5%)/66/24      | REP         | REP      |
|                 | T43-11     | TINTAYA     | (138±8x1.25%)/10.5      | REP         | REP      |
|                 | T44-11     |             | 138/10                  | REP         | REP      |
| XSTRATA TINTAYA | T45-11     | TINTAYA     | (138±8x1.25%)/10        | XSTRATA     | REP      |
| ELECTRO SURESTE | TR         | MACHUPICCHU | (138±4x2.5%)/60/10.5    | ELSE        | EGEMSA   |

Fuente: Plan de Restablecimiento del SEIN AOSE 2015 – COES



### 3.2.1.2. Centrales de Generación Eléctrica.

En el caso de centrales de generación las empresas que concesionan o son propietarias de dichas instalaciones son presentadas en la Tabla 3.3 que contiene las características y datos técnicos de las centrales que operan dentro del AOSE N°13 [2]. Se debe notar que todas las centrales de gran tamaño en esta área operativa son hidráulicas representado así una de las áreas de generación más limpia, por lo tanto de impacto ambiental menor.

Tabla 3. 3 Centrales Hidráulicas – AOSE N° 13

| UBICACIÓN | EMPRESA     | CENTRAL        | UNIDAD | TIPO DE TURBINA | POTENCIA INSTALADA (MW) |
|-----------|-------------|----------------|--------|-----------------|-------------------------|
| CUSCO     | EGEMSA      | MACHUPICCHU I  | G1     | Pelton          | 30                      |
|           |             | MACHUPICCHU I  | G2     | Pelton          | 30                      |
|           |             | MACHUPICCHU I  | G3     | Pelton          | 30                      |
|           |             | MACHUPICCHU II | G4     | Francis         | 102                     |
|           | LUZ DEL SUR | SANTA TERESA   | G1     | Francis         | 49                      |
|           |             | SANTA TERESA   | G2     | Francis         | 49                      |

Fuente: Gerencia de Fiscalización Eléctrica - OSINERGMIN

### 3.2.1.3. Empresa Distribuidora

Otra característica importante del AOSE N° 13 es la empresa de distribución; la que está a cargo de una sola, en este caso **ELECTROSURESTE S.A.** (ELSE). El retiro de potencia y energía por parte de ELSE se realiza en la S.E. Machupicchu, Cachimayo, Abancay, Dolorespata, Combapata, Quencoro, Tintaya, Mazuco y Puerto Maldonado. La demanda vegetativa de dicha distribuidora es de 37 MW, 59,5 MW y 93,4 MW aproximadamente en mínima, media y máxima demanda respectivamente [18].

### 3.2.1.4. Usuarios Libres.

En la Tabla 3.4 se muestra la potencia contratada y la demanda máxima durante el año 2015 de los Usuarios Libres ubicados en el área operativa N°13.

Tabla 3. 4 Usuarios Libres AOSE N°13

| UBICACIÓN            | ACTIVIDAD | USUARIO LIBRE | SUMINISTRADOR | POTENCIA CONTRATADA (MW) |        | MAX POTENCIA LEIDA (MW) 2015 |
|----------------------|-----------|---------------|---------------|--------------------------|--------|------------------------------|
|                      |           |               |               | HP*                      | HFP**  |                              |
| Espinar – Cusco      | Minería   | TINTAYA       | KALLPA        | 100.00                   | 100.00 | 91.59                        |
| Chumbivilcas – Cusco | Minería   | HUBBAY        | EDEGEL        | 90.00                    | 90.00  | 81.84                        |



|                             |             |            |        |      |       |       |
|-----------------------------|-------------|------------|--------|------|-------|-------|
| <b>Cachimayo – Cusco</b>    | Química     | INCASA     | EGEMSA | 9.00 | 22.00 | 24.25 |
| <b>San Jerónimo – Cusco</b> | Saneamiento | SEDA CUSCO | ELSE   | 0.05 | 2.00  | 2.96  |

\*Hora Punta; \*\* Hora Fuera de Punta

Fuente: *Suministros de Usuarios Libres – OSINERGMIN*

### 3.3. CENTRAL HIDROELÉCTRICA MACHUPICCHU

La C.H. Machupicchu Fases I y II es una de las principales centrales generadoras del sur del país, así como fuente energética de la región del Cusco. Esta central aprovecha una curva del río Vilcanota que bordea la ciudadela de Machupicchu; las obras de toma de agua del río se ubican en el km 107 de la línea férrea Cusco-Machupicchu la cual se denomina represa, donde se encuentra el dique de contención y naves de limpieza y purga de residuos sólidos en suspensión, la central está ubicada en el km 123 de dicha línea férrea [2].

Actualmente está conformada por dos Fases, la primera opera con tres unidades de turbinas tipo Pelton de 30 MW de potencia instalada en cada una, las cuales vienen operando desde el año 2001. La segunda Fase cuya POC fue el 15 de Agosto de 2015 cuenta con un sólo grupo de turbina Francis con una potencia instalada de 102 MW.

La energía producida por la C.H. Machupicchu es evacuada a través de las líneas de transmisión: L-1001 en 138 kV Machupicchu - Cachimayo, la L-1002 en 138 kV Machupicchu - Quencoro y la L-1038 en 138 kV Machupicchu II – Suriray de acuerdo al ANEXO A.1 basado en el diagrama unifilar del COES 2016<sup>19</sup>.

A continuación en la Tabla 3.5 se muestra los datos técnicos de la C.H. Machupicchu Fase I. De la misma forma, en la Tabla 3.6 para la C.H. Machupicchu Fase II.

*Tabla 3. 5 Datos Técnicos C.H. Machupicchu – Fase I*

| CARACTERÍSTICAS    | UNIDADES |        |        |
|--------------------|----------|--------|--------|
|                    | TURBINA  |        |        |
| <b>Designación</b> | G -1     | G - 2  | G -3   |
| <b>Marca</b>       | ALSTOM   | ALSTOM | ALSTOM |
| <b>Serie</b>       | GON006   | GON008 | GON007 |
| <b>RPM</b>         | 450      | 450    | 450    |
| <b>Año</b>         | 1984     | 1984   | 1984   |

<sup>19</sup> Visitar <http://www.coes.org.pe/Portal/Operacion/CaractSEIN/DiagramaUnifilar>, para descargar el diagrama unifilar actual del SEIN.



|                        |                 |           |           |
|------------------------|-----------------|-----------|-----------|
| Salto neto (m)         | 348.41          | 348.41    | 348.41    |
| Tipo de Turbina        | Pelton          | Pelton    | Pelton    |
| Caudal diseño (m3/s)   | 10              | 10        | 10        |
| GENERADOR              |                 |           |           |
| Marca                  | ALSTOM          | ALSTOM    | ALSTOM    |
| Modelo                 | SAV             | SAV       | SAV       |
|                        | 314/92/16       | 314/92/16 | 314/92/16 |
| Potencia Efectiva (MW) | 88.8            |           |           |
| Tensión (kV)           | 13.8            | 13.8      | 13.8      |
| Factor de Potencia     | 0,9             | 0,9       | 0,9       |
| RPM                    | 450             | 450       | 450       |
| Número de polos        | 10 pares        |           |           |
| Tipo de Rotor          | Polos salientes |           |           |
| TRANSFORMADOR          |                 |           |           |
| Designación            | T1              | T2        | T3        |
| Potencia (MVA)         | 30              | 30        | 30        |
| Nivel de Tensión (kV)  | 13,8/138        | 13,8/138  | 13,8/138  |
| Conexión               | Ynd5            | Ynd5      | Ynd5      |

Fuente: OSINERGMIN/EGEMSA

Tabla 3. 6 Datos Técnicos C.H. Machupicchu – Fase II

| CARACTERÍSTICAS        | UNIDAD           |
|------------------------|------------------|
| TURBINA                |                  |
| Designación            | G - 4            |
| Tipo de Turbina        | Francis Vertical |
| Año de construcción    | 2013             |
| Potencia Nominal (MW)  | 101,3            |
| Caudal Nominal (m3/s)  | 31,0             |
| RPM                    | 450              |
| Salto neto (m)         | 356,2            |
| Rotación               | Horario          |
| GENERADOR              |                  |
| Potencia Nominal (MVA) | 120              |
| Tensión (kV)           | 13,8             |
| Factor de Potencia     | 0,85             |
| RPM                    | 450              |
| Número de polos        | 8 pares          |
| Tipo de Rotor          | Polos salientes  |
| TRANSFORMADOR          |                  |
| Marca                  | ABB              |
| Potencia (MVA)         | 3x40 +1x40       |
| Nivel de Tensión (kV)  | 13,8/138         |
| Conexión               | Ynd5             |
| Factor de Potencia     | 0,85             |

Fuente: OSINERGMIN/EGEMSA



### 3.4. SUBESTACIONES ELECTRICAS ASOCIADAS

#### 3.4.1. Subestaciones Eléctricas propiedad de EGEMSA

A continuación se describirán las subestaciones que son propiedad de EGEMSA.

- **Subestación Eléctrica Machupicchu I 138 kV:** esta subestación que atiende y transforma la energía producida por las Fases I y II de la C.H. Machupicchu; es de tipo convencional diseñado bajo la configuración de simple barra con equipamiento exterior, comprendido por dos celdas en 138 kV, la primera para salida de la línea L-1001 Machupicchu - Cachimayo y la segunda para la línea L-1002 Machupicchu - Quencoro [19].
- **Ampliación Subestación Eléctrica Machupicchu I 138 kV:** la S.E. Machupicchu I cuenta con una ampliación de celda designada como 60LRB [20], a la que llegan conductores provenientes de la S.E. GIS, con el objetivo de transportar la energía generada por la C.H. Machupicchu Fase II hacia las líneas L-1001 y L-1002.
- **Ampliación Subestación Eléctrica Machupicchu II 138 kV:** esta subestación denominada 70LRP [20], es una ampliación de la subestación encapsulada GIS perteneciente a la C.H. Machupicchu Fase II, ambas subestaciones se encuentran interconectadas para el transporte de energía proveniente de esta central hacia la L-1038 (Machupicchu II-Suriray).
- **Subestación Eléctrica GIS:** esta Subestación encapsulada en gas SF<sub>6</sub>, instalada en la C.H. Machupicchu II, es Modelo EXK-0 de la marca ABB, diseñada para una tensión nominal hasta 138 kV, una corriente nominal hasta 2500 A y una corriente de cortocircuito hasta 40 kA [32]. Esta subestación tiene conexión directa con las celdas 60LRB Y 70LRP.  
Está compuesta por un conjunto de módulos optimizados que satisfacen prácticamente todos los requerimientos técnicos. Esto no solo se refiere a los componentes primarios como interruptores de potencia, seccionadores / seccionadores de puesta a tierra, sino también a los accionamientos correspondientes [22].



### 3.4.2. Subestaciones Eléctricas propiedad de CTM

A continuación se describirán las subestaciones que son propiedad de CTM.

- **Ampliación Subestación Eléctrica Machupicchu II 138 kV:** esta subestación que tiene conexión en serie con la ampliación de la subestación perteneciente a EGEMSA (70LRP), es la salida de la línea L-1038 hacia la subestación Suriray 220/138 kV. Es de tipo convencional, con niveles de conexión y distancias eléctricas conforme al nivel de aislamiento. Las conexiones superiores, de entrada de circuitos y los soportes de los equipos se realizaron sobre estructuras metálicas tipo celosía.
- **Subestación Eléctrica Suriray 220/138 kV:** es de tipo convencional a la intemperie, con configuraciones en 138 y 220 kV en simple y doble barra respectivamente, conformada por 5 celdas en 220kV y una celda en 138kV para la conexión de la línea proveniente de la subestación Machupicchu II [21]. Esta subestación Suriray cuenta con espacio disponible para la instalación de 9 celdas futuras en 220kV y tres en 138kV.

Los datos técnicos de los equipamientos eléctricos importantes tales como: interruptores (Tabla 3.7), seccionadores (Tabla 3.8), transformadores de tensión (Tabla 3.9) y transformadores de corriente (Tabla 3.10), pertenecientes a las subestaciones se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 3. 7 Datos Técnicos Interruptor

| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD | S.E. PROPIEDAD DE EGEMSA |        |        |                             | S.E. PROPIEDAD DE CTM |         |
|---|--------|--------------------------|--------|--------|-----------------------------|-----------------------|---------|
|   |        | GIS                      | MACH I | 60 LRB | 70 LRP                      | MACH II               | SURIRAY |
| Modelo  |        | HMB                      |        |        | LTB170D1/B                  |                       |         |
| Medio de Extinción                                  |        |                          |        |        | SF6                         |                       |         |
| Frecuencia  | Hz     |                          |        |        | 60                          |                       |         |
| Tensión Nominal                                     | kV     |                          |        |        | 138                         |                       |         |
| Tensión de Equipo                                   | kV     | 145                      | 170    |        | 145                         |                       |         |
| Corriente Nominal                                   | A      | 1250                     |        | 3150   |                             | 1250                  |         |
| Nivel de Tensión de Prueba a Impulso de Rayo (LWIL) | kV     | 650                      | 750    |        | 650                         |                       |         |
| Nivel de tensión de Prueba a Frecuencia Industrial  | kV     | 275                      | 325    |        | 275                         |                       |         |
| Corriente de Corta Duración                         | kA     |                          |        | 40     |                             | 31,5                  |         |
| Duración de Cortocircuito                           | s      |                          |        | 3      |                             | 1                     |         |
| Tiempo Total de Interrupción                        | ms     | 43                       | 61     |        | 40                          | 50                    |         |
| Secuencia de Operación                              |        |                          |        |        | O – 0,3 s – CO – 3 min – CO |                       |         |

Fuente: Catálogos varios – ABB, ISA, EGEMSA



Tabla 3. 8 Datos Técnicos del Seccionador

| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD | S.E. PROPIEDAD DE EGEMSA |                |        |        | S.E. PROPIEDAD DE CTM                   |         |
|---|--------|--------------------------|----------------|--------|--------|---|---------|
|   |        | GIS                      | MACH I         | 60 LRB | 70 LRP | MACH II                                 | SURIRAY |
| Modelo  |        |                          | CBD-E 145-2000 |        |        | SSBIII-AM-145 1600A<br>SSBIII-145 1600A |         |
| Frecuencia  | Hz     | 60                       |                |        |        |   |         |
| Tensión Nominal                                     | kV     | 138                      |                |        |        |   |         |
| Tensión de Equipo                                   | kV     | 145                      |                |        |        |   |         |
| Corriente Nominal                                   | A      | 1250                     | 2000           |        |        | 2500                                    |         |
| Nivel de Tensión de Prueba a Impulso de Rayo (LWIL) | kV     |                          |                |        |        |   |         |
| - a Tierra:   |        | 275                      |                |        | 230    |   |         |
| - A Través De La Cuchilla:                          | 315    |                          |                | 265    |        |   |         |
| Nivel de tensión de Prueba a Frecuencia Industrial  | kV     |                          |                |        |        |   |         |
| - a Tierra:   |        | 650                      |                |        | 550    |   |         |
| - a través de la Cuchilla:                          |        | 750                      |                |        | 630    |   |         |
| Corriente de Corta Duración                         | kA     | 40                       |                |        |        |   |         |
| Duración de Cortocircuito                           | s      | 3                        |                |        |        |   | 1       |
| Corriente de Impulso                                | kA     | 100                      |                |        |        |   | 104     |

Fuente: Catálogos varios – ABB, ISA, EGEMSA

Tabla 3. 9 Datos Técnicos del Transformador de Tensión

| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD | S.E. PROPIEDAD DE EGEMSA |            |         |        | S.E. PROPIEDAD DE CTM |         |
|---|--------|--------------------------|------------|---------|--------|-----------------------|---------|
|   |        | GIS                      | MACH I     | 60 LRB  | 70 LRP | MACH II               | SURIRAY |
| Modelo  |        |                          | LTB170D1/B | CPB 145 |        | DDB-145               |         |
| Frecuencia  | Hz     | 60                       |            |         |        |                       |         |
| Tensión Nominal                                     | kV     | 138                      |            |         |        |                       |         |
| Tensión de Equipo                                   | kV     | 145                      |            |         |        |                       |         |
| Nivel de Tensión de Prueba a Impulso de Rayo (LWIL) | kV     | 650                      |            |         |        |                       |         |
| Nivel de tensión de Prueba a Frecuencia Industrial  | kV     | 275                      |            |         |        |                       |         |
| Relación de Transformación                          | kV     | 138/√3:0,10/√3:0,10/√3   |            |         |        |                       |         |
| Devanado  |        | 0-50 VA 0.2/ 3P          |            |         |        | 0-10 VA 0.2/ 3P       |         |

Fuente: Catálogos varios – ABB, ISA, EGEMSA

Tabla 3. 10 Datos Técnicos del Transformador de Corriente

| DESCRIPCIÓN   | UNIDAD | S.E. PROPIEDAD DE EGEMSA |         |        | S.E. PROPIEDAD DE CTM |         |
|---|--------|--------------------------|---------|--------|-----------------------|---------|
|   |        | MACHC I                  | 60 LRB  | 70 LRP | MACH II               | SURIRAY |
| Modelo  |        | LTB170D1/B               | IMB 170 |        | CA-145                |         |
| Frecuencia  | Hz     | 60                       |         |        |                       |         |
| Tensión Nominal                                     | kV     | 138                      |         |        |                       |         |
| Tensión de Equipo                                   | kV     | 145                      |         |        |                       |         |
| Nivel de Tensión de prueba a impulso de rayo (LWIL) | kV     | 275                      |         |        | 550                   |         |
| Nivel de Tensión de prueba a frecuencia industrial  | kV     | 650                      |         |        | 230                   |         |
| Corriente de corta duración                         | kA     | 31,5                     | 40      |        | 31,5                  |         |
| Duración de cortocircuito                           | s      | 1                        |         |        |                       |         |
| Características núcleos de medida                   |        |                          |         |        |                       |         |
| a) Clase de precisión                               | VA     | 0,2S                     |         |        | 0,2S                  |         |
| b) Carga de precisión                               |        | 1-15                     |         |        | 5                     |         |
| c) Factor de seguridad                              |        | 5                        |         |        | 10                    |         |
| Características núcleos de medida                   |        |                          |         |        |                       |         |
| a) Clase de precisión                               | VA     | 5P                       |         |        | 5P                    |         |

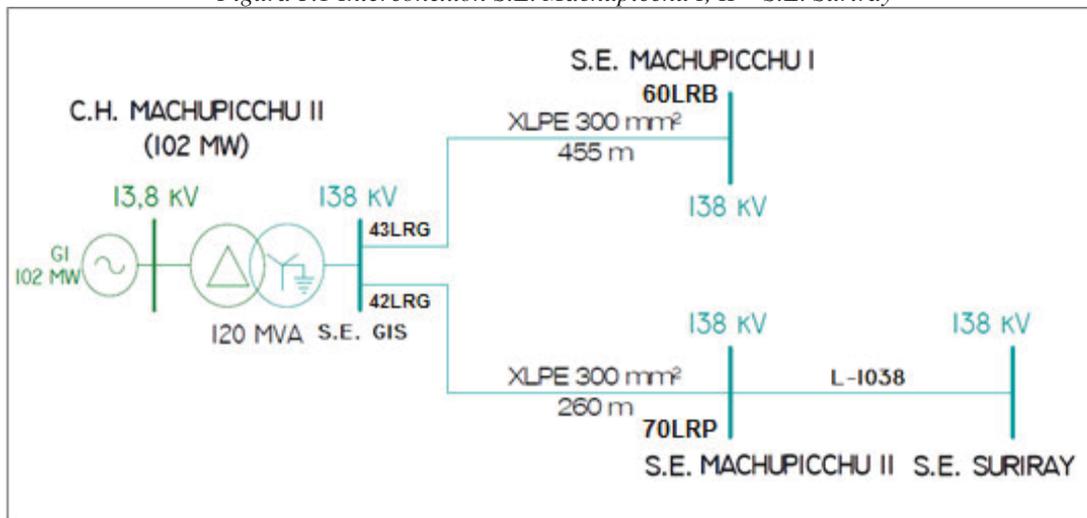
|                        |  |    |    |
|------------------------|--|----|----|
| b) Carga de precisión  |  | 30 | 10 |
| c) Factor de seguridad |  | 20 | 30 |

Fuente: Catálogos varios – ABB, ISA, EGEMSA

### 3.5. ESTADO ACTUAL DE LA INTERCONEXION ENTRE LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS MACHUPICCHU I, II Y SURIRAY

La interconexión en 138 kV de las S.E. Machupicchu I, II y Suriray es mediante la S.E. GIS; el patio 60LRB que es la ampliación de la S.E. Machupicchu I está conectada a la celda 43LRG del GIS; y la celda 42LRG del mismo está conectada al patio 70LRP que es la salida hacia Suriray por la línea L-1038, tal como se observa en la Figura 3.1 y de forma más detallada en el ANEXO B.1.

Figura 3.1 Interconexión S.E. Machupicchu I, II – S.E. Suriray



Fuente: Proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación - OSINERGMIN

Las características principales de los conductores que forman los siguientes enlaces: S.E. GIS con 70LRP (260 m) y S.E. GIS con 60LRB (455 m) [2], se indican en la Tabla 3.11.

Tabla 3. 11 Datos Técnicos de la Interconexión Machupicchu I y II

| DESCRIPCION                      | VALOR | UNIDAD |
|----------------------------------|-------|--------|
| Material                         | Cobre |        |
| Conductor                        | XLPE  |        |
| Sección                          | 300   | mm2    |
| Tensión nominal                  | 138   | KV     |
| Máximo Voltaje del Sistema       | 170   | kV     |
| Nivel de Impulso                 | 750   | kV     |
| Capacidad                        | 182   | MVA    |
| Corriente continua Máxima (Imax) | 760   | A      |

Fuente: Catálogo conductor - ABB (Ver Anexo B2)



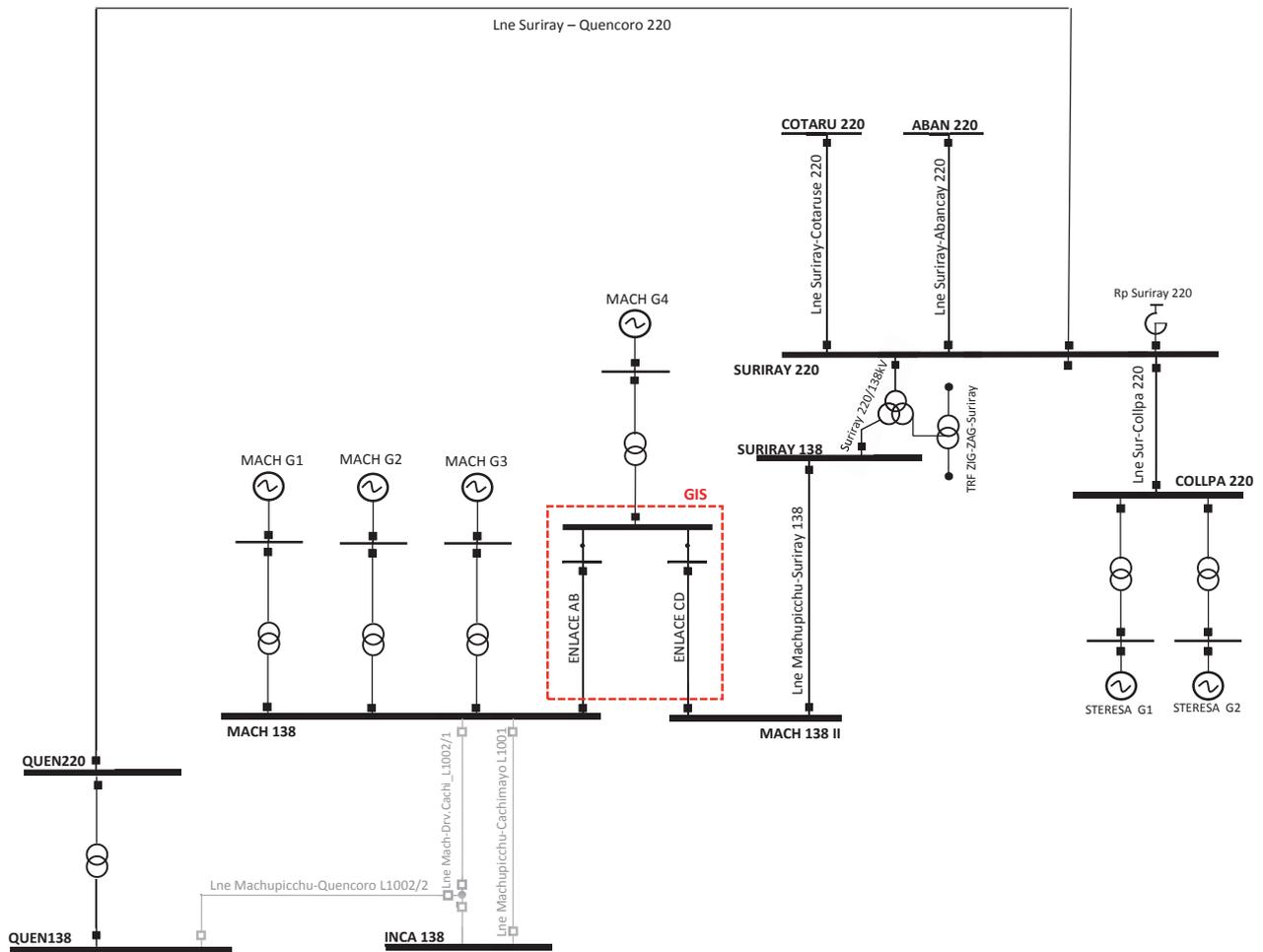
### **3.6. ANÁLISIS DE OPERATIVIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO DEL AOSE N° 13.**

El análisis de la operatividad de la interconexión actual entre la S.E. Machupicchu y S.E. Suriray en este trabajo de investigación, se realiza en los casos de máxima y mínima demanda para el año 2017 para escenarios de avenida y estiaje; asimismo, para condiciones normales de operación y contingencia N-1. El software Power Factory DigSilent 15.01, permite analizar las condiciones de operación del AOSE N°13 y será usado para simulaciones de flujo de carga, contingencias y otros casos que sean necesarios.

Es importante tener en cuenta que para hacer el análisis de flujo de potencia en condiciones normales de operación se contemplará el ingreso de la L.T. 220kV Machupicchu - Quencoro - Onocora – Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002, tal como se detalló en el capítulo 1 del presente estudio.

Con todo lo mencionado la configuración final del sistema a analizar se muestra en la Figura 3.2

Figura 3 2 Diagrama Unifilar Condiciones Actuales



Fuente: Elaboración Propia en base al Programa Power Factory DigSilent 15.01

### 3.6.1. Flujo de carga y perfil de tensiones en principales barras del AOSE N° 13, año 2017.

La Tabla 3.12 muestra los resultados de flujos de carga y tensiones en operación normal en los escenarios de avenida y estiaje para máxima y mínima demanda, dentro del AOSE N° 13. Los criterios para analizar y evaluar la operación de la interconexión estarán basados en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos [23] los cuales son:

- Las tensiones en barras del sistema de transmisión no debe ser inferior al 95%, ni superior a 105% de la tensión nominal ( $\pm 5\%$ ).
- No se permiten sobrecargas en las líneas de trasmisión.
- No se permiten sobrecargas en los transformadores



Tabla 3.12 Tensiones de operación de las principales barras en época de avenida y estiaje

| CASO                        | LINEA DE TRANSMISIÓN | BARRAS     |             | TENSION EN BARRAS |         |             |             | POTENCIA I |           |          |         | POTENCIA J |          |         |           | CARGA (%) | CORRIENTE I (Amp) | CAIDA DE TENSION I-j (%) |          |
|-----------------------------|----------------------|------------|-------------|-------------------|---------|-------------|-------------|------------|-----------|----------|---------|------------|----------|---------|-----------|-----------|-------------------|--------------------------|----------|
|                             |                      | i          | J           | Uli (kV)          | uj (kV) | phiui (deg) | phiuj (deg) | Pi (MW)    | Qi (MVAR) | Si (MVA) | Pj (MW) | Qj (MVAR)  | Sj (MVA) | Pi (MW) | Qi (MVAR) |           |                   |                          | Si (MVA) |
| Avenida Máxima Demanda 2017 | ENLACE AB            | 43LRG      | MACH138II   | 138.73            | 138.76  | 1.01        | -27.23      | 138.76     | 1.01      | -27.20   | -84.26  | -4.72      | 84.40    | 84.28   | 4.75      | 84.41     | 46.21             | 351.23                   | -0.02    |
|                             | ENLACE CD            | 42LRG      | MACH138     | 138.73            | 138.70  | 1.01        | -27.23      | 138.70     | 1.01      | -27.26   | 181.30  | 15.28      | 181.94   | -181.26 | -15.18    | 181.90    | 99.63             | 757.16                   | 0.02     |
|                             | Línea L-1038         | MACH138II  | SURIRAY138  | 138.16            | 138.70  | 1.00        | -28.62      | 138.70     | 1.01      | -27.26   | -180.88 | -11.65     | 181.25   | 181.26  | 15.18     | 181.90    | 72.42             | 757.41                   | -0.39    |
|                             | Línea L-2049         | COLLPN220  | SURIRAY220  | 219.88            | 219.99  | 1.00        | -34.37      | 219.99     | 1.00      | -34.29   | -94.53  | -23.56     | 97.42    | 94.54   | 23.46     | 97.41     | 21.41             | 255.80                   | -0.05    |
|                             | Línea L-2050         | SURIRAY220 | ABAN220     | 219.88            | 216.72  | 0.99        | -34.37      | 216.72     | 0.99      | -38.33   | 116.06  | 7.68       | 116.31   | -114.96 | -8.88     | 115.30    | 46.82             | 307.18                   | 1.44     |
|                             | Línea L-2059         | SURIRAY220 | COTARUSE220 | 219.88            | 222.21  | 1.01        | -34.37      | 222.21     | 1.01      | -42.28   | 72.48   | -24.51     | 76.51    | -71.33  | 2.65      | 71.38     | 30.62             | 200.91                   | -1.06    |
| Avenida Mínima Demanda 2017 | Línea nueva          | SURIRAY220 | QUEN220     | 219.88            | 218.09  | 0.99        | -34.37      | 218.09     | 0.99      | -42.98   | 181.78  | -15.03     | 182.40   | -177.55 | 21.69     | 178.87    | 40.51             | 478.94                   | 0.81     |
|                             | ENLACE AB            | 43LRG      | MACH138II   | 137.99            | 138.02  | 1.00        | -29.71      | 138.02     | 1.00      | -29.68   | -83.74  | -10.01     | 84.34    | 83.76   | 10.03     | 84.35     | 46.43             | 352.88                   | -0.02    |
|                             | ENLACE CD            | 42LRG      | MACH138     | 137.99            | 137.96  | 1.00        | -29.71      | 137.96     | 1.00      | -29.74   | 180.77  | 15.37      | 181.43   | -180.74 | -15.27    | 181.39    | 99.88             | 759.10                   | 0.02     |
|                             | Línea L-1038         | MACH138II  | SURIRAY138  | 137.42            | 137.96  | 1.00        | -31.11      | 137.96     | 1.00      | -29.74   | -180.35 | -11.71     | 180.73   | 180.74  | 15.27     | 181.39    | 72.60             | 759.35                   | -0.39    |
|                             | Línea L-2049         | COLLPN220  | SURIRAY220  | 218.69            | 218.73  | 0.99        | -36.90      | 218.73     | 0.99      | -36.82   | -94.53  | -4.39      | 94.63    | 94.54   | 4.27      | 94.64     | 20.91             | 249.83                   | -0.02    |
|                             | Línea L-2050         | SURIRAY220 | ABAN220     | 218.69            | 216.95  | 0.99        | -36.90      | 216.95     | 0.99      | -39.81   | 84.20   | -0.76      | 84.20    | -83.62  | -4.23     | 83.72     | 33.96             | 222.81                   | 0.79     |
| Estaje Máxima Demanda 2017  | Línea L-2059         | SURIRAY220 | COTARUSE220 | 218.69            | 220.69  | 1.00        | -36.90      | 220.69     | 1.00      | -42.58   | 51.28   | -23.64     | 56.46    | -50.68  | -2.78     | 50.76     | 22.72             | 149.07                   | -0.91    |
|                             | Línea nueva          | SURIRAY220 | QUEN220     | 218.69            | 219.88  | 1.00        | -36.90      | 219.88     | 1.00      | -44.19   | 151.79  | -30.74     | 154.87   | -148.75 | 29.74     | 151.70    | 34.58             | 408.87                   | -0.54    |
|                             | ENLACE AB            | 43LRG      | MACH138II   | 138.08            | 138.11  | 1.00        | -25.20      | 138.11     | 1.00      | -25.17   | -83.74  | -9.43      | 84.27    | 83.76   | 9.45      | 84.29     | 46.36             | 0.35                     | -0.02    |
|                             | ENLACE CD            | 42LRG      | MACH138     | 138.08            | 138.05  | 1.00        | -25.20      | 138.05     | 1.00      | -25.24   | 180.78  | 14.09      | 181.32   | -180.75 | -13.99    | 181.29    | 99.76             | 0.76                     | 0.02     |
|                             | Línea L-1038         | MACH138II  | SURIRAY138  | 137.53            | 138.05  | 1.00        | -26.60      | 138.05     | 1.00      | -25.24   | -180.36 | -10.44     | 180.66   | 180.75  | 13.99     | 181.29    | 72.51             | 0.76                     | -0.38    |
|                             | Línea L-2049         | COLLPN220  | SURIRAY220  | 219.02            | 219.06  | 1.00        | -32.38      | 219.06     | 1.00      | -32.30   | -94.53  | -2.42      | 94.56    | 94.54   | 2.31      | 94.57     | 20.86             | 0.25                     | -0.02    |
| Estaje Mínima Demanda 2017  | Línea L-2050         | SURIRAY220 | ABAN220     | 219.02            | 217.29  | 0.99        | -32.38      | 217.29     | 0.99      | -35.41   | 87.78   | -1.13      | 87.79    | -87.15  | -3.53     | 87.22     | 35.32             | 0.23                     | 0.78     |
|                             | Línea L-2059         | SURIRAY220 | COTARUSE220 | 219.02            | 221.00  | 1.00        | -32.38      | 221.00     | 1.00      | -38.60   | 56.29   | -23.68     | 61.07    | -55.58  | -1.81     | 55.61     | 24.54             | 0.16                     | -0.90    |
|                             | Línea nueva          | SURIRAY220 | QUEN220     | 219.02            | 220.83  | 1.00        | -32.38      | 220.83     | 1.00      | -39.25   | 143.20  | -33.87     | 147.15   | -140.48 | 30.73     | 143.81    | 32.81             | 0.39                     | -0.82    |
|                             | ENLACE AB            | 43LRG      | MACH138II   | 139.51            | 139.52  | 1.01        | -40.34      | 139.52     | 1.01      | -40.33   | -40.99  | -5.13      | 41.31    | 40.99   | 5.12      | 41.31     | 22.49             | 0.17                     | -0.01    |
|                             | ENLACE CD            | 42LRG      | MACH138     | 139.51            | 139.49  | 1.01        | -40.34      | 139.49     | 1.01      | -40.36   | 90.00   | 13.40      | 90.99    | -89.99  | -13.38    | 90.98     | 49.55             | 0.38                     | 0.01     |
|                             | Línea L-1038         | MACH138II  | SURIRAY138  | 220.41            | 220.43  | 1.00        | -43.85      | 220.43     | 1.00      | -43.81   | -47.75  | -2.59      | 47.82    | 47.75   | 2.37      | 47.81     | 10.48             | 0.13                     | -0.01    |
| Estaje Mínima Demanda 2017  | Línea L-2049         | COLLPN220  | SURIRAY220  | 220.41            | 218.61  | 0.99        | -43.85      | 218.61     | 0.99      | -44.86   | 30.94   | 5.08       | 31.36    | -30.86  | -13.87    | 33.83     | 13.62             | 0.09                     | 0.82     |
|                             | Línea L-2050         | SURIRAY220 | ABAN220     | 220.41            | 221.58  | 1.01        | -43.85      | 221.58     | 1.01      | -43.56   | -2.91   | -18.37     | 18.60    | 2.93    | -13.55    | 13.86     | 7.43              | 0.05                     | -0.53    |
|                             | Línea L-2059         | SURIRAY220 | COTARUSE220 | 220.41            | 221.70  | 1.01        | -43.85      | 221.70     | 1.01      | -49.63   | 122.02  | -30.36     | 125.74   | -120.08 | 22.12     | 122.10    | 27.86             | 0.33                     | -0.59    |
|                             | Línea nueva          | SURIRAY220 | QUEN220     | 220.41            | 221.70  | 1.01        | -43.85      | 221.70     | 1.01      | -49.63   | 122.02  | -30.36     | 125.74   | -120.08 | 22.12     | 122.10    | 27.86             | 0.33                     | -0.59    |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01



Del análisis de la Tabla 3.12, donde se muestran los resultados de las corridas de flujo en operación normal en época de avenida y estiaje para máxima y mínima demanda, se observa que las tensiones en las barras consideradas están dentro del límite permitido  $\pm 5\%$ , valores entre 0.99 a 1.01 p.u., es decir cumplen con el criterio de planificación para los niveles de tensión.

Asimismo, se debe resaltar que en el enlace CD (ver Figura 3.2), en época de avenida para máxima y mínima demanda se presenta una cargabilidad del 99.63% y 99.88% respectivamente, además, en época de estiaje para máxima demanda se tiene como dato de cargabilidad 99.76%, nótese que la operación de cualquier instalación al límite de su capacidad lo convierte en un punto crítico incrementando la vulnerabilidad del sistema.

Por otro lado, en la Tabla 3.12 presentada anteriormente no se muestran caídas de tensión que superen el 2.5% según la Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real - COES [24].

### **3.6.2. Diagnostico en Contingencia de la Operación Actual 2017.**

En esta sección se estudia el sistema del AOSE N° 13, considerando la contingencia N-1, es decir el retiro de un elemento del sistema ante una falla, para los escenarios de avenida y estiaje en máxima y mínima demanda.

- **Escenario de Avenida**

En la Tabla 3.13 se presenta las tensiones de operación y las cargabilidades son mostradas en la Tabla 3.14, datos relevantes obtenidos mediante el software Power Factory DigSilent 15.01, cuyos resultados completos se encuentran en el Anexo B.3. Los que permitirán hacer el diagnostico actual del sistema en estudio.



Tabla 3. 13 Tensiones de operación en barras por salidas de las líneas de transmisión - Avenida

|                | BARRA       | TENSION kV | UNIDAD | TENSION OPERACIONAL (kV) | SALIDA L-2050 | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA L SUR - QUEN |
|----------------|-------------|------------|--------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| AVENIDA MAXIMA | MACH138     | 138        | Kv     | 138.76                   | 138.55        | 138.24        | 140.05        | 138.06              |
|                |             |            | p.u.   | 1.01                     | 1             | 1             | 1.01          | 1                   |
|                | MACH 138 II | 138        | kV     | 138.7                    | 138.49        | 138.17        | 140.03        | 137.99              |
|                |             |            | p.u.   | 1.01                     | 1             | 1             | 1.01          | 1                   |
|                | INCA138     | 138        | kV     | 133.84                   | 131.72        | 132.41        | 134.52        | 129.44              |
|                |             |            | p.u.   | 0.97                     | 0.95          | 0.96          | 0.97          | 0.94                |
|                | QUEN138     | 138        | kV     | 135.06                   | 133.39        | 133.69        | 135.79        | 131.45              |
|                |             |            | p.u.   | 0.98                     | 0.97          | 0.97          | 0.98          | 0.95                |
|                | SURIRAY138  | 138        | kV     | 138.16                   | 137.89        | 137.5         | 138.07        | 137.27              |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 1             | 1             | 1             | 0.99                |
|                | SURIRAY220  | 220        | kV     | 219.88                   | 219.09        | 217.92        | 220.11        | 217.25              |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 1             | 0.99          | 1             | 0.99                |
|                | CCOLPANI220 | 220        | kV     | 219.99                   | 219.22        | 218.07        | 220.21        | 217.41              |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 1             | 0.99          | 1             | 0.99                |
| COTARUSE220    | 220         | kV         | 222.21 | 220.73                   | 221.28        | 220.88        | 220.55        |                     |
|                |             | p.u.       | 1.01   | 1                        | 1.01          | 1             | 1             |                     |
| ABAN220        | 220         | kV         | 216.72 | 210.7                    | 214.22        | 217.19        | 211.13        |                     |
|                |             | p.u.       | 0.99   | 0.96                     | 0.97          | 0.99          | 0.96          |                     |
| QUEN220        | 220         | kV         | 218.09 | 215.17                   | 215.7         | 219.63        | 216.49        |                     |
|                |             | p.u.       | 0.99   | 0.98                     | 0.98          | 1             | 0.98          |                     |
| AVENIDA MINIMA | MACH138     | 138        | kV     | 138.02                   | 137.81        | 137.47        | 139.33        | 137.15              |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 1             | 1             | 1.01          | 0.99                |
|                | MACH 138 II | 138        | kV     | 137.96                   | 137.75        | 137.4         | 139.31        | 137.08              |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 1             | 1             | 1.01          | 0.99                |
|                | INCA138     | 138        | kV     | 136.84                   | 135.56        | 135.67        | 137.1         | 134.51              |
|                |             |            | p.u.   | 0.99                     | 0.98          | 0.98          | 0.99          | 0.97                |
|                | QUEN138     | 138        | kV     | 137.71                   | 136.76        | 136.6         | 138.04        | 136                 |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 0.99          | 0.99          | 1             | 0.99                |
|                | SURIRAY138  | 138        | kV     | 137.42                   | 137.15        | 136.71        | 136.92        | 136.31              |
|                |             |            | p.u.   | 1                        | 0.99          | 0.99          | 0.99          | 0.99                |
|                | SURIRAY220  | 220        | kV     | 218.69                   | 217.91        | 216.62        | 218.28        | 215.43              |
|                |             |            | p.u.   | 0.99                     | 0.99          | 0.98          | 0.99          | 0.98                |
|                | CCOLPANI220 | 220        | kV     | 218.73                   | 217.97        | 216.71        | 218.34        | 215.54              |
|                |             |            | p.u.   | 0.99                     | 0.99          | 0.99          | 0.99          | 0.98                |
| COTARUSE220    | 220         | kV         | 220.69 | 219.76                   | 219.81        | 219.04        | 219.46        |                     |
|                |             | p.u.       | 1      | 1                        | 1             | 1             | 1             |                     |
| ABAN220        | 220         | kV         | 216.95 | 213.07                   | 214.8         | 216.65        | 212.42        |                     |
|                |             | p.u.       | 0.99   | 0.97                     | 0.98          | 0.98          | 0.97          |                     |
| QUEN220        | 220         | kV         | 219.88 | 218.02                   | 217.91        | 220.8         | 221.06        |                     |
|                |             | p.u.       | 1      | 0.99                     | 0.99          | 1             | 1             |                     |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

De los resultados de perfiles de tensión presentados en la Tabla 3.13 para el caso de avenida en los escenarios de máxima y mínima demanda ante contingencias N-1, se observa que la barra INCASA 138 kV opera al límite, con un valor de 0.94 p.u. para el criterio de planificación ( $\pm 5\%$  de la tensión nominal).



En el Anexo B.3 se presentan los resultados de las caídas de tensión obtenidos, en el que se observa que ante la salida de la L.T. Suriray-Quencoro, la L-2050 (Suriray-Abancay) tiene una caída de tensión de 2.68%, superando el máximo permisible (2.5%).

Tabla 3. 14 Cargabilidad en líneas ante contingencias - Avenida

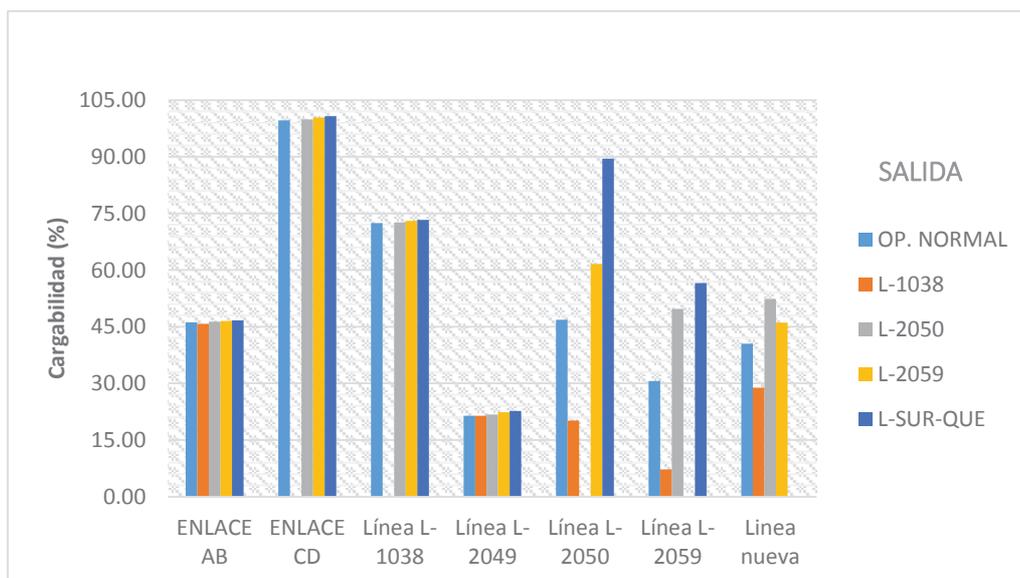
|                | CASOS           | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L-2050 | L-2049 | L-2059 | L-SUR QUEN |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|
| AVENIDA MÁXIMA | SALIDA L-1038   | 45.76     | 0.01      | 0      | 20.14  | 21.38  | 7.24   | 28.82      |
|                | SALIDA L-2050   | 46.33     | 99.92     | 72.64  | 0      | 21.74  | 49.73  | 52.31      |
|                | SALIDA L-2059   | 46.54     | 100.45    | 73.02  | 61.63  | 22.35  | 0      | 46.05      |
|                | SALIDA SUR-QUEN | 46.66     | 100.76    | 73.26  | 89.5   | 22.73  | 56.55  | 0          |
| AVENIDA MÍNIMA | SALIDA L-1038   | 45.68     | 0.01      | 0      | 8.33   | 21.03  | 9.55   | 23.25      |
|                | SALIDA L-2050   | 46.59     | 100.18    | 72.83  | 0      | 21.05  | 35.56  | 42.72      |
|                | SALIDA L-2059   | 46.91     | 100.77    | 73.26  | 43.65  | 21.42  | 0      | 38.27      |
|                | SALIDA SUR-QUEN | 47.21     | 101.37    | 73.7   | 69.37  | 21.86  | 43.88  | 0          |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

De la Tabla 3.14 se concluye que ante contingencias en las líneas L-2050, L-2059 y L-SUR-QUEN, el enlace CD presenta sobrecargabilidades que oscilan entre 99% y 102%.

Por otro lado, estos valores fueron contrastados con los de operación normal (Tabla 3.12), los que se aprecian en los Gráficos 3.1 y 3.2, para máxima y mínima demanda respectivamente.

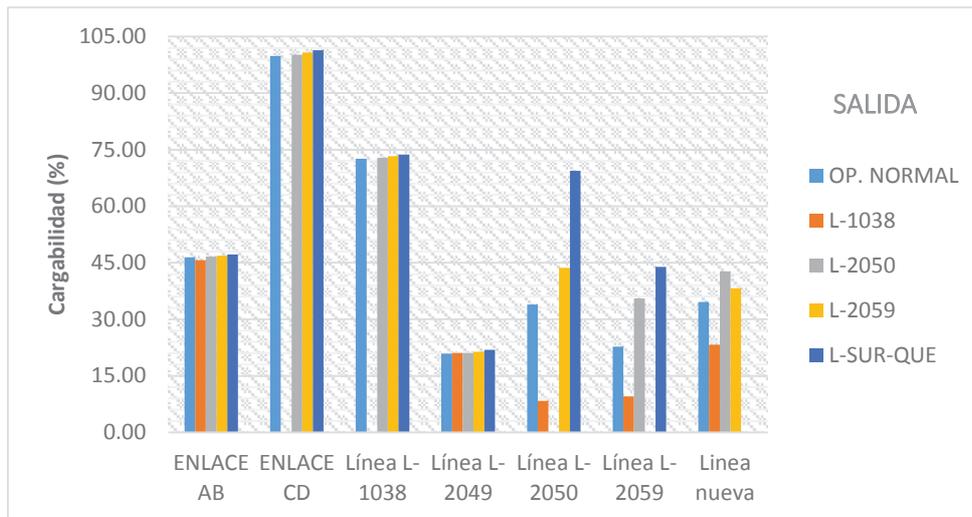
Gráfico 3. 1 Cargabilidad de líneas en contingencia – Av. Máxima demanda



Fuente: Elaboración propia



Grafico 3. 2 Cargabilidad de líneas en contingencia – Av. Mínima demanda



Fuente: Elaboración propia

- **Escenario de Estiaje**

En la Tabla 3.15 se presenta las tensiones de operación y las cargabilidades son mostradas en la Tabla 3.16, datos relevantes obtenidos mediante el software Power Factory DigSilent 15.01, cuyos resultados completos se encuentran en el Anexo B.4. Los que permitirán hacer el diagnostico actual del sistema en estudio.

Tabla 3. 15 Tensiones de operación en barras por salidas de las líneas de transmisión - Estiaje

| BARRA       | TENSION kV | UNIDAD | TENSION OPERACIONAL (kV) | SALIDA L-2050 | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA L SUR - QUEN |
|-------------|------------|--------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| MACH138     | 138        | kV     | 139.38                   | 137.87        | 137.52        | 139.33        | 137.21              |
|             |            | p.u.   | 1.01                     | 1             | 1             | 1.01          | 0.99                |
| MACH 138 II | 138        | kV     | 139.06                   | 137.81        | 137.46        | 139.31        | 137.14              |
|             |            | p.u.   | 1.01                     | 1             | 1             | 1.01          | 0.99                |
| INCA138     | 138        | kV     | 139.38                   | 135.9         | 135.97        | 137.86        | 135.82              |
|             |            | p.u.   | 1.01                     | 0.98          | 0.99          | 1             | 0.98                |
| QUEN138     | 138        | kV     | 136.66                   | 137.14        | 136.93        | 138.85        | 137.36              |
|             |            | p.u.   | 0.99                     | 0.99          | 0.99          | 1.01          | 1                   |
| SURIRAY138  | 138        | kV     | 139.38                   | 137.23        | 136.78        | 137.3         | 136.39              |
|             |            | p.u.   | 1.01                     | 0.99          | 0.99          | 0.99          | 0.99                |
| SURIRAY220  | 220        | kV     | 219.96                   | 218.13        | 216.82        | 218.89        | 215.66              |
|             |            | p.u.   | 1                        | 0.99          | 0.99          | 0.99          | 0.98                |
| CCOLPANI220 | 220        | kV     | 219.96                   | 218.19        | 216.9         | 218.93        | 215.77              |
|             |            | p.u.   | 1                        | 0.99          | 0.99          | 1             | 0.98                |
| COTARUSE220 | 220        | kV     | 223.81                   | 220.04        | 220.07        | 219.51        | 219.79              |
|             |            | p.u.   | 1.02                     | 1             | 1             | 1             | 1                   |
| ABAN220     | 220        | kV     | 217.62                   | 213.41        | 214.93        | 217.29        | 212.96              |
|             |            | p.u.   | 0.99                     | 0.97          | 0.98          | 0.99          | 0.97                |



|                |             |      |        |        |        |        |        |        |
|----------------|-------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ESTIAJE MINIMA | QUEN220     | 220  | kV     | 219.63 | 218.69 | 218.51 | 222.04 | 223.09 |
|                |             |      | p.u.   | 1      | 0.99   | 0.99   | 1.01   | 1.01   |
|                | MACH138     | 138  | kV     | 139.38 | 139.55 | 139.16 | 140.54 | 139.03 |
|                |             |      | p.u.   | 1.01   | 1.01   | 1.01   | 1.02   | 1.01   |
|                | MACH 138 II | 138  | kV     | 139.06 | 139.52 | 139.13 | 140.53 | 138.99 |
|                |             |      | p.u.   | 1.01   | 1.01   | 1.01   | 1.02   | 1.01   |
|                | INCA138     | 138  | kV     | 139.38 | 135.98 | 136.4  | 136.43 | 135.16 |
|                |             |      | p.u.   | 1.01   | 0.99   | 0.99   | 0.99   | 0.98   |
|                | QUEN138     | 138  | kV     | 136.66 | 137.55 | 137.64 | 137.71 | 136.63 |
|                |             |      | p.u.   | 0.99   | 1      | 1      | 1      | 0.99   |
|                | SURIRAY138  | 138  | kV     | 139.38 | 139.14 | 138.64 | 137.21 | 138.47 |
|                |             |      | p.u.   | 1.01   | 1.01   | 1      | 0.99   | 1      |
|                | SURIRAY220  | 220  | kV     | 219.96 | 220.53 | 219.04 | 218.74 | 218.52 |
|                |             |      | p.u.   | 1      | 1      | 1      | 0.99   | 0.99   |
|                | CCOLPANI220 | 220  | kV     | 219.96 | 220.55 | 219.09 | 218.8  | 218.58 |
|                |             |      | p.u.   | 1      | 1      | 1      | 0.99   | 0.99   |
|                | COTARUSE220 | 220  | kV     | 223.81 | 220.86 | 220.83 | 220.29 | 221.3  |
|                |             |      | p.u.   | 1.02   | 1      | 1      | 1      | 1.01   |
|                | ABAN220     | 220  | kV     | 217.62 | 213.93 | 217.46 | 217.12 | 216.21 |
|                |             |      | p.u.   | 0.99   | 0.97   | 0.99   | 0.99   | 0.98   |
| QUEN220        | 220         | kV   | 219.63 | 221.07 | 220.81 | 221.1  | 221.87 |        |
|                |             | p.u. | 1      | 1      | 1      | 1.01   | 1.01   |        |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

De los resultados de perfiles de tensión presentados en la Tabla 3.15 para el caso de estiaje en los escenarios de máxima y mínima demanda ante contingencias N-1, se ve que ninguna barra opera al límite para el criterio de planificación ( $\pm 5\%$  de la tensión nominal).

Tabla 3. 16 Cargabilidad de líneas en contingencia

|                | CASOS           | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L-2050 | L-2049 | L-2059 | L-SUR QUEN |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|
| ESTIAJE MAXIMA | SALIDA L-1038   | 34.71     | 0.01      | 0      | 33.12  | 18.21  | 18.72  | 37.16      |
|                | SALIDA L-2050   | 35.35     | 82.28     | 59.84  | 0      | 18.81  | 64.39  | 61.56      |
|                | SALIDA L-2059   | 35.57     | 82.89     | 60.29  | 77.41  | 19.34  | 0      | 54.63      |
|                | SALIDA SUR-QUEN | 35.77     | 83.41     | 60.67  | 106.83 | 19.82  | 70.98  | 0          |
| ESTIAJE MINIMA | SALIDA L-1038   | 22.18     | 0.01      | 0      | 6.94   | 10.89  | 15.22  | 22.81      |
|                | SALIDA L-2050   | 22.47     | 49.5      | 36.01  | 0      | 10.47  | 8.58   | 31.17      |
|                | SALIDA L-2059   | 22.75     | 50.18     | 36.52  | 12.87  | 10.79  | 0      | 27.87      |
|                | SALIDA SUR-QUEN | 22.87     | 50.46     | 36.74  | 42.6   | 10.98  | 20.64  | 0          |

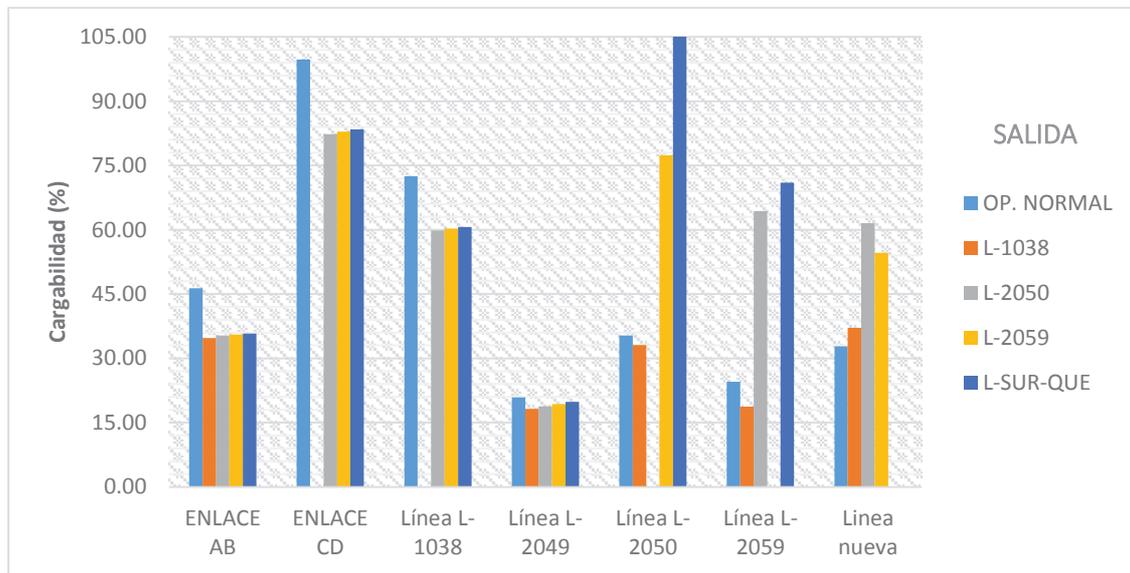
Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

De la Tabla 3.16 se concluye que para estiaje máxima demanda, ante contingencias en las líneas L-2050, L-2059 y L-SUR-QUEN, el enlace CD presenta sobrecargabilidades que oscilan entre 80% y 85%, y en el caso de la L-2050 alcanza un valor de 106.83% ante la salida de la L-SUR-QUEN.



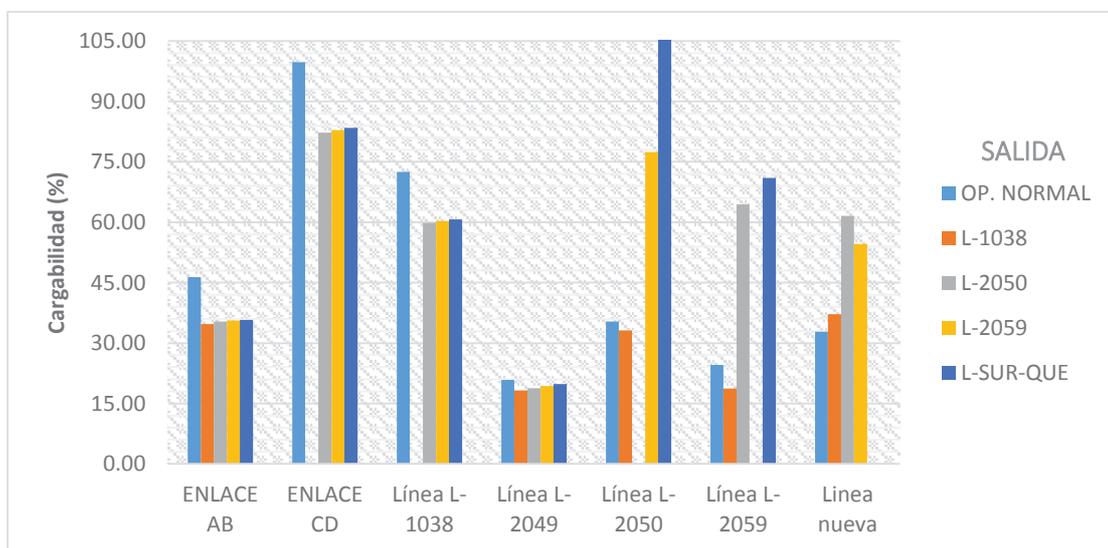
Estos valores fueron contrastados con los de operación normal (Tabla 3.12), los que se aprecian en los Gráficos 3.3 y 3.4, para máxima y mínima demanda respectivamente.

Gráfico 3. 3 Cargabilidad de líneas en contingencia – Est. Máxima demanda



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. 4 Cargabilidad de líneas en contingencia – Est. Máxima demanda



Fuente: Elaboración propia

En cualquiera de estos escenarios ante la salida de la L-1038, la respuesta del sistema de protección de la C.H. Machupicchu I y II, actuaría dejando fuera de servicio los grupos G4 en avenida y G3 en estiaje, debido al Esquema de Desconexión Automática de Generación por Sobre Frecuencia (EDAGSF),



establecido por el COES [25]. En este contexto, por la disminución de caudal en la cámara de carga de la C.H. Machupicchu actuaría el sistema de protección mecánico desconectando los grupos G1 y G2 de la C.H. Santa Teresa.

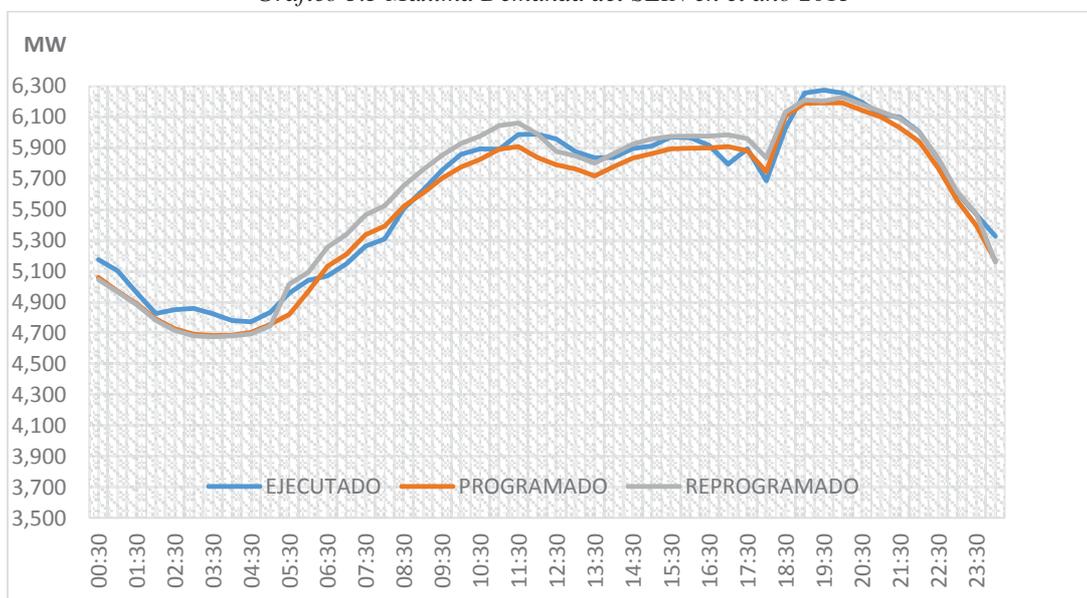
En conclusión, la época más crítica para las instalaciones que comprenden este estudio, es el de avenida, ya que se presentan valores que salen de los límites establecidos.

### 3.7. ANALISIS DE DEMANDA Y OFERTA DEL ÁREA OPERATIVA SUR ESTE DEL SEIN.

#### 3.7.1. Demanda de Potencia Eléctrica del SEIN.

Para la demanda del SEIN se tomó como referencia la máxima demanda del año 2015 registrada el día 25 de noviembre a las 19:45 horas, alcanzando el valor de 6 273.16 MW, en la Gráfica 3.5 es observado el comportamiento de la demanda de forma gráfica, para esto se utilizó los datos del Informe de Evaluación de Operación Diaria (IEOD<sup>20</sup>) del COES [26].

Grafico 3.5 Máxima Demanda del SEIN en el año 2015



Fuente: IEOD – COES

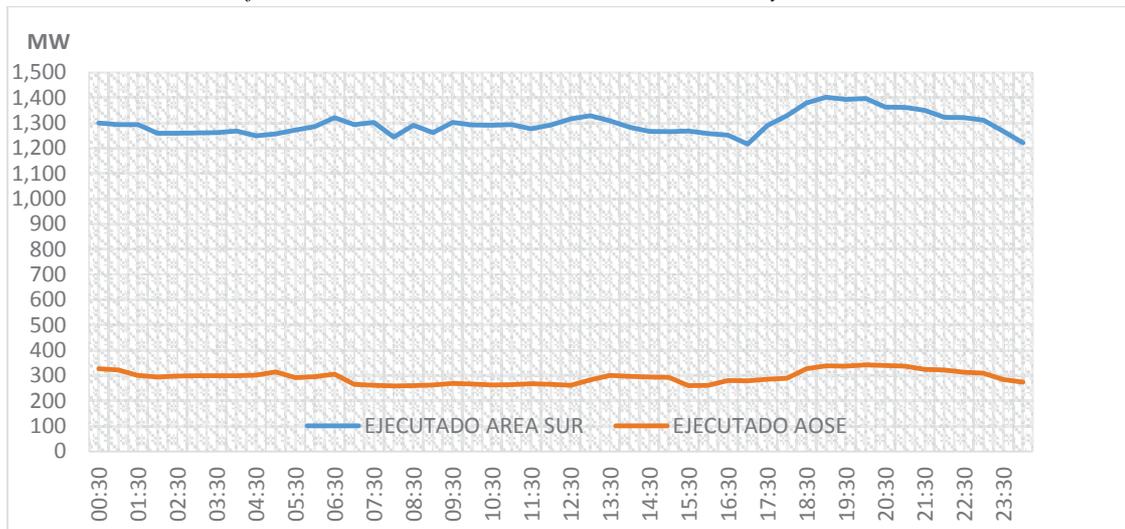
<sup>20</sup> Visitar <http://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Reportes/leod> para descargar el Informe de Evaluación de la Operación Diaria



### 3.7.2. Demanda del AOSE.

En la Gráfica 3.6 se muestra la evolución de la demanda del AOSE del SEIN ocurrida durante el mismo día del análisis realizado en el anterior ítem. También se consideró la demanda de todo el Área Sur del SEIN como dato de referencia, así las máximas demandas sucedieron a las 20:00 h en el AOSE y 19:00 h en todo el Área Sur, alcanzando una magnitud de 1401.59 MW y 342.36 MW respectivamente.

Gráfico 3. 6 Evolución de la Demanda del Área Sur y AOSE - SEIN



Fuente: IEOD\* – COES

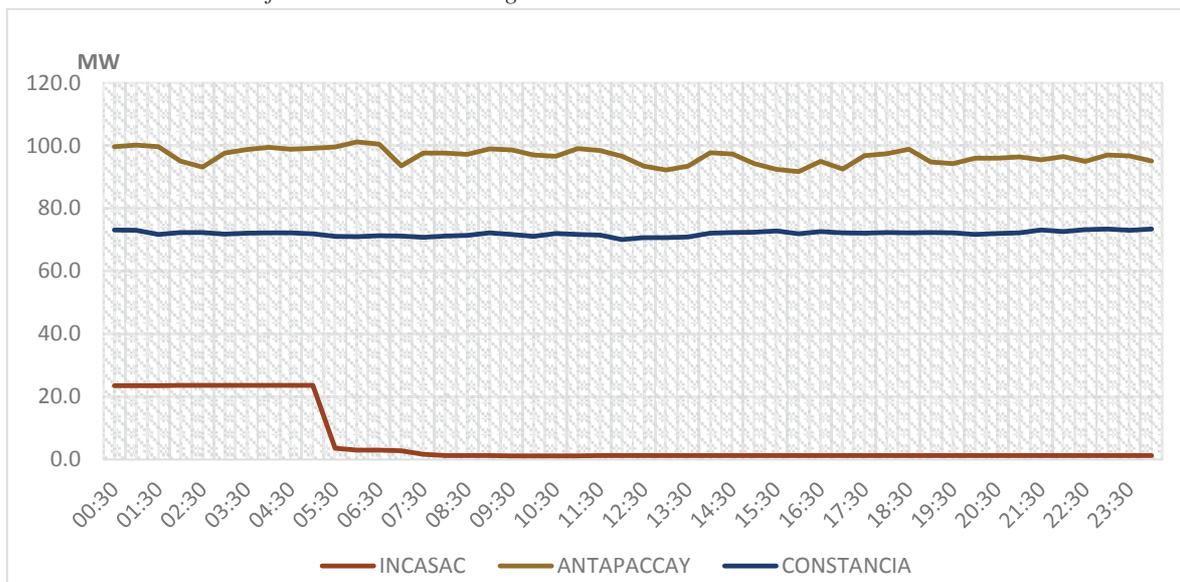
### 3.7.3. Demanda de grandes Usuarios Libres AOSE

Considerando el mismo día de análisis que los casos anteriores, se recopiló la demanda de los usuarios libres que pertenecen al AOSE, la que se muestra en la Gráfica 3.7.

\* Ver referencia 20, pág. 66



Grafico 3. 7 Demanda de grandes Usuarios Libres del AOSE - SEIN



Fuente: IEOD\* – COES

### 3.7.4. Energía Producida en el AOSE.

La energía total producida en el AOSE durante el año 2015 en su mayoría con recurso hídrico fue de 1,230.79 GW.h, tuvo una variación de 80.07% con respecto a la del año 2014 que alcanzó los 683.48 GW.h [27], este notable incremento se dio debido al ingreso de dos grandes proyectos, la C.H. Machupicchu Fase II y la C.H. Santa Teresa. En la Tabla 3.17 se muestra un resumen de la energía producida en el AOSE del año 2015.

Tabla 3. 17 Energía Producida en el AOSE – Año 2015

| EMPRESA                  | CENTRALES         | 1. ENERGÍA PRODUCIDA 2015 |                  |                     | 2. MÁXIMA DEMANDA DEL SISTEMA (MW) |                     |              |
|--------------------------|-------------------|---------------------------|------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|--------------|
|                          |                   | GENERACIÓN                |                  | TOTAL               | 2,015                              | 2,014               | 2015/2014    |
|                          |                   | HIDROELÉCTRICA            | TERMOELÉCTRICA   |                     | DIA:<br>25/11/2015                 | DIA:<br>12/11/2014  |              |
| MWh                      | MWh               | MWh                       | HORA: 19:45      | HORA: 19:00         | %                                  |                     |              |
| EGEMSA                   | C.H. MACHUPICCHU  | 985,345.16                |                  | 985,345.16          | 130.66                             | 86.59               |              |
|                          | C.T. DOLORESPATA  |                           | 5.69             | 5.69                | -                                  | -                   |              |
| <b>EGEMSA Total</b>      |                   | 985,345.16                | 5.69             | 985,350.85          | 130.66                             | 86.59               | 50.89        |
| LUZ DEL SUR              | C.H. SANTA TERESA | 245,435.11                |                  | 245,435.11          | 68.46                              | -                   |              |
| <b>LUZ DEL SUR Total</b> |                   | 245,435.11                |                  | 245,435.11          | 68.46                              | -                   | 0.00         |
| <b>TOTALES 2015</b>      |                   | <b>1,230,780.27</b>       | <b>5.69</b>      | <b>1,230,780.27</b> | <b>1,230,780.27</b>                | <b>1,230,780.27</b> | <b>50.89</b> |
| <b>TOTALES 2014</b>      |                   | <b>670,568.49</b>         | <b>12,914.03</b> | <b>683,482.52</b>   |                                    |                     |              |
| <b>2015/2014 (%)</b>     |                   | <b>83.54%</b>             | <b>-99.96%</b>   | <b>80.07%</b>       |                                    |                     |              |

FUENTE: Informe de Evaluación de Operación Anual- COES



### 3.8. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y OFERTA EN EL AOSE AL AÑO 2026

De acuerdo el Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027 elaborado por el COES [28], considera como proyección de demanda global al estudio de largo plazo, basada en el análisis de dos grandes componentes, el pronóstico econométrico (cargas vegetativa), y la encuesta de las grandes cargas (Cargas especiales, Cargas Incorporadas, Proyectos, etc.).

Para dicho análisis se considera 5 escenarios: Base, Pesimista, Optimista, Muy Optimista y Muy Pesimista. En la Tabla 3.18 se muestra la proyección de demanda Global del SEIN desde el año 2015 hasta el año 2026 para cada uno de los cinco escenarios.

Tabla 3. 18 Proyecciones por tipo de carga para cada uno de los escenarios de demanda

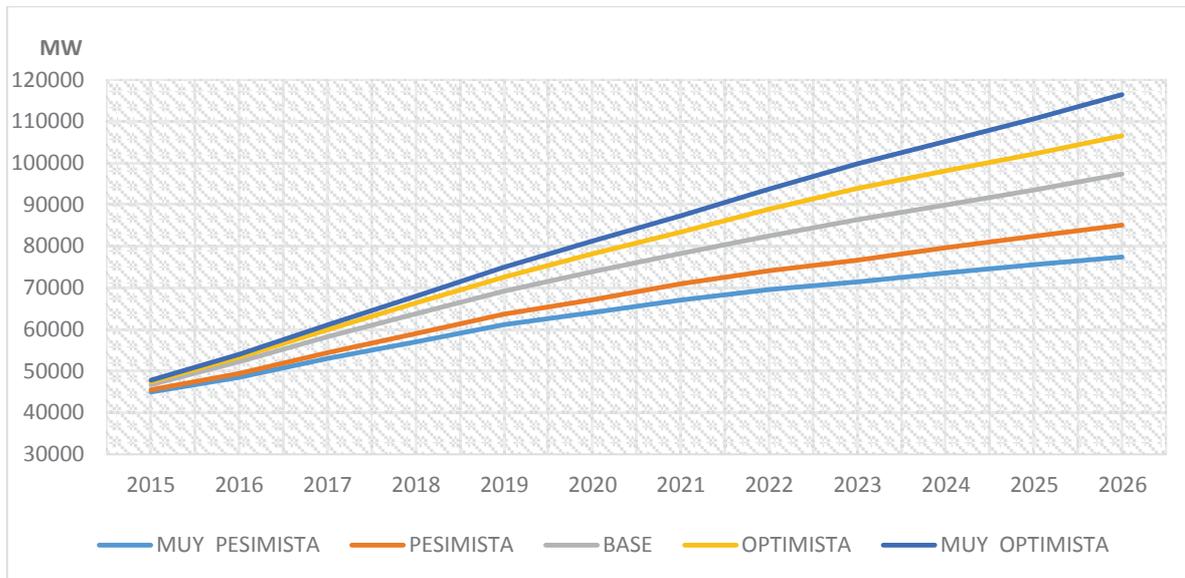
| Escenarios    | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   | 2024    | 2025    | 2026    | 2016-2026 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-----------|
| Muy pesimista | 48 523 | 53 028 | 57 056 | 61 159 | 64 049 | 67 101 | 69 608 | 71 417 | 73 576  | 75 591  | 77 440  | 5,1%      |
| Pesimista     | 49 461 | 54 439 | 59 026 | 63 718 | 67 173 | 70 959 | 74 139 | 76 672 | 79 617  | 82 412  | 85 076  | 5,9%      |
| Base          | 52 258 | 58 235 | 63 788 | 69 210 | 73 873 | 78 264 | 82 444 | 86 347 | 89 899  | 93 531  | 97 339  | 6,9%      |
| Optimista     | 53 338 | 59 960 | 66 350 | 72 614 | 78 188 | 83 358 | 88 908 | 93 873 | 98 080  | 102 211 | 106 509 | 7,6%      |
| Muy optimista | 54 057 | 61 053 | 68 001 | 74 931 | 81 272 | 87 294 | 93 735 | 99 782 | 105 127 | 110 614 | 116 425 | 8,4%      |

Fuente: Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027

En la Gráfica 3.8 se muestra gráficamente las cinco proyecciones anteriormente mencionadas en Mega Watios, donde se observa el rango que cubren en los años 2015 al 2026.



Grafico 3. 8 Evolución de la Demanda Máxima Demanda del SEIN en el año 2015



Fuente: Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027

La Tabla 3.19 muestra el rango de tasa de crecimiento de los cinco escenarios de demanda por zonas del SEIN, representando la demanda global de estas y sus respectivos porcentajes.

Tabla 3. 19 Escenarios de demanda por zonas del SEIN, año 2026.

| Escenarios    | Centro |      | Norte |       | Sur   |       | Total  |      |
|---------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
|               | GWh    | %    | GWh   | %     | GWh   | %     | GWh    | %    |
| MUY OPTIMISTA | 67729  | 7,3% | 22577 | 11,0% | 26120 | 11,2% | 116425 | 8,7% |
| OPTIMISTA     | 60363  | 6,3% | 20970 | 10,4% | 25176 | 10,9% | 106509 | 7,9% |
| BASE          | 57302  | 5,9% | 17346 | 8,7%  | 22691 | 10,1% | 97339  | 7,2% |
| PESIMISTA     | 52291  | 5,1% | 15210 | 7,5%  | 17575 | 7,8%  | 85076  | 6,0% |
| MUY PESIMISTA | 46619  | 4,1% | 13973 | 6,8%  | 16848 | 7,4%  | 77440  | 5,2% |

Fuente: Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027

### 3.8.1. Proyección de la demanda del AOSE

La Tabla 3.20 muestra la proyección hasta el año 2026 de los requerimientos de potencia y energía de los principales proyectos de demanda considerados respectivamente dentro del AOSE del SEIN.

Tabla 3. 20 Demanda en potencia (MW) y energía (GWH) de principales proyectos AOSE

| PRINCIPALES PROYECTOS DE DEMANDA | 2015 |     | 2016 |     | 2017 |     | 2018 |      | 2022 |      | 2026 |      |
|----------------------------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|
|                                  | MW   | GW  | MW   | GW  | MW   | GW  | MW   | GW   | MW   | GW   | MW   | GW   |
| Las Bambas (XSTRATA)             | 21   | 126 | 94   | 578 | 144  | 757 | 156  | 1261 | 156  | 1261 | 156  | 1261 |
| Haqira (Antares)                 |      |     |      |     |      |     |      |      | 120  | 1037 | 120  | 1037 |



|                            |           |            |           |            |            |            |            |             |            |             |            |             |
|----------------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Constancia (Hudbay)        | 47        | 403        | 63        | 538        | 63         | 538        | 63         | 538         | 87         | 746         | 87         | 746         |
| Quechua                    |           |            |           |            |            |            |            |             | 78         | 615         | 78         | 615         |
| Coroccohuayco - Antapaccay |           |            |           |            |            |            | 23         | 184         | 47         | 371         | 47         | 371         |
| Ollachea (Kuri Kullu)      |           |            | 7         | 48         | 14         | 95         | 14         | 96          | 14         | 95          | 2          | 17          |
| Corani                     |           |            |           |            | 24         | 133        | 48         | 266         | 48         | 266         | 48         | 266         |
| Accha - Azod               |           |            |           |            |            |            | 17         | 119         | 34         | 238         | 45         | 315         |
| Los Chancas(SPCC)          |           |            |           |            |            |            |            |             | 50         | 416         | 100        | 832         |
| Ampliación Antapaccay      | 20        | 88         | 20        | 162        | 20         | 161        |            |             |            |             |            |             |
| TOTAL PROYECTOS            | <b>67</b> | <b>491</b> | <b>90</b> | <b>748</b> | <b>121</b> | <b>927</b> | <b>165</b> | <b>1203</b> | <b>478</b> | <b>3784</b> | <b>527</b> | <b>4199</b> |

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027

### 3.8.2. Programa de obras de generación AOSE

En la Tabla 3.21 se muestra los proyectos previstos a entrar en operación en el AOSE durante los próximos años según el Programa de Obras de Generación del “Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, periodo 2017 - 2027” [28].

Tabla 3. 21 Programa de obras de generación AOSE

| PROYECTO DE GENERACIÓN | EMPRESA                                   | TIPO        | FECHA INGRESO | POTENCIA (MW) |
|------------------------|---|-------------|---------------|---------------|
| CH Pucará              | Empresa de Generación Eléctrica del Cusco | HIDRO       | 2018          | 150           |
| CH Angel I             | Generadora de Energía del Perú S.A        | RER - HIDRO | 2018          | 20            |
| CH Angel II            | Generadora de Energía del Perú S.A        | RER - HIDRO | 2018          | 20            |
| CH Angel III           | Generadora de Energía del Perú S.A        | HIDRO       | 2018          | 20            |
| CH Vilcanota 2         | Renewable Energy Perú S.A.C.              | HIDRO       | 2019          | 20            |
| CT Quillabamba         | Electroperu                               | GAS         | 2020          | 200           |

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027

### 3.8.3. Programa de obras de transmisión AOSE

Para el AOSE los proyectos que figuran en el plan de obras de transmisión del “Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, periodo 2017 - 2027” son presentados en la Tabla 3.22.

Tabla 3. 22 Programa de obras de transmisión AOSE

| PROYECTO DE TRANSMISIÓN   | EMPRESA | FECHA INGRESO |
|---|---------|---------------|
| LT 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya y SSEE Asociadas | ABENGOA | 2016          |
| LT 220 kV Azangaro - Juliaca - Puno y SSEE Asociadas                  | -       | 2017          |

Fuente: Elaboración Propia con datos del Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN, Periodo 2017 – 2027



## CAPITULO 4

### ANALISIS DE ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

#### 4.1. INTRODUCCIÓN.

La finalidad de este capítulo es posibilitar la selección de la mejor alternativa de interconexión, que cumpla con aumentar la eficiencia asegurando la continuidad en el servicio eléctrico dentro del AOSE N° 13.

Para lo cual se plantearan mejoras o cambios sobre la interconexión actual, el diseño propuesto debe considerar los siguientes requisitos: satisfacer la demanda en magnitud y oportunidad, continuidad de servicio, adecuada operación, menor costo posible, cumplir las normas de seguridad y ambientales; evitando la afectación de zonas arqueológicas o intangibles.

En el aspecto técnico, se evaluará y determinará la sección óptima del conductor, verificando que la capacidad térmica de los conductores de Fase sea la adecuada, para posteriormente seleccionarla. Así de esta manera garantizar que los criterios usados junto con los análisis, estudios técnicos y económicos serán los más indicados, brindando resultados confiables.

#### 4.2. DOCUMENTACION BASICA

Para poder realizar el estudio de la posible interconexión se consideró la siguiente documentación:

- Imágenes de Google Earth (Año 2014), donde se identifica expansiones urbanas, carreteras, complejos arqueológicos de importancia, quebradas, ríos, etc.
- Instalaciones eléctricas existentes, en construcción, proyectadas y futuras.
- Mapa de Áreas o reservas naturales protegidas por el Perú del Sistema Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado (SINANPE – SERNANP).
- Planos de los Sistemas de Transmisión, sub Transmisión, Sistema de Distribución, existentes y proyectados del Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM).



- Información de Velocidades de Viento y Temperatura: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- Datos de las coordenadas del trazo de ruta de línea de tramo Machupicchu – Suriray (L-1038), obtenidos de Diseño de la línea de transmisión Machupicchu –Abancay – Cotaruse a 220 kV, elaborado por ISA.

#### 4.3. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

Para el desarrollo de la interconexión entre las barras en 138 kV de las subestaciones de Machupicchu y Suriray son planteadas 3 alternativas de las cuales se escogerá la más conveniente:

- **Alternativa N° 01:** Reforzamiento de la interconexión entre la S.E. GIS con S.E. Machupicchu I y II (Anexo C.1).
- **Alternativa N° 02:** Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Machupicchu II (Anexo C.2).
- **Alternativa N° 03:** Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Suriray (Anexo C.3).

#### 4.4. CRITERIOS GENERALES DE SELECCIÓN DE RUTA DE LÍNEA PARA CADA ALTERNATIVA

La ruta de línea para cada alternativa será seleccionada en base al análisis de las imágenes del Google Earth<sup>21</sup>. Sin embargo, en el presente proyecto se debe tener en cuenta que la S.E. Machupicchu I, II y Suriray se encuentran dentro de la Zona de Amortiguamiento del Santuario Histórico de Machupicchu, y dentro del Área de Conservación Regional Choquequirao, debido a ello se tomaron en consideración los siguientes criterios y normas de seguridad:

- Evitar el paso por zonas protegidas por el Estado, Decreto Supremo N° 010-90-AG<sup>22</sup>; el trazo busca minimizar la afectación ambiental y cultural. Se escogieron rutas que no afecta el campo visual desde la

<sup>21</sup> GOOGLE EARTH. Visita: <https://www.google.com.pe/intl/es/earth> para descargar última versión

<sup>22</sup> Ministerio de Agricultura y Riego. (24, Marzo de 1990). Conforman el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado-SINANPE (D.S. N° 010-90-AG). Lima, Perú.



Ciudadela de Machupicchu.

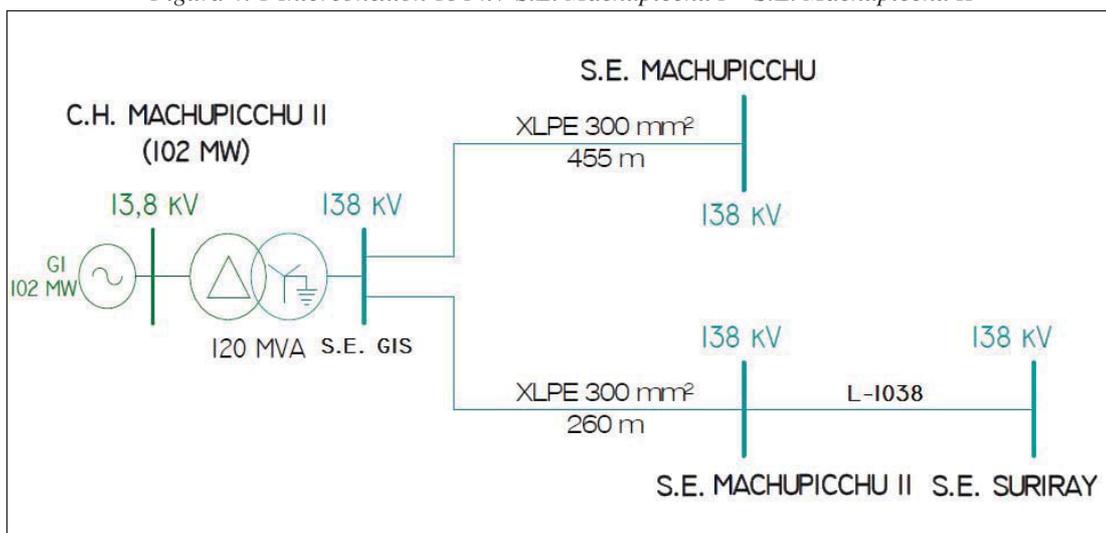
- Se ha tratado que la poligonal sea lo más recta posible, minimizando los fuertes ángulos de desvío y evitar las pendientes pronunciadas, el área del proyecto es de relieve variable con el cruce de montañas.
- Reducir en lo mínimo la afectación a terrenos privados. La faja de servidumbre de la línea está establecida por el CNE Suministro 2011, en caso de afectar terrenos privados se deberá realizar los trámites de compensación ante las autoridades municipales y propietarios de los terrenos.
- Se tomará como referencia la ruta de la línea de transmisión existente Machupicchu – Abancay – Cotaruse, específicamente el tramo comprendido entre la S.E. Machupicchu II y SE Suriray.

#### 4.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.

##### 4.5.1. Alternativa N° 01: Reforzamiento de la interconexión entre la S.E. GIS con S.E. Machupicchu I y II

Esta alternativa implica el reforzamiento de la interconexión actual en 138 kV entre la S.E. GIS con la S.E. Machupicchu I y II, como se observa en la Figura 4.1.

Figura 4. 1 Interconexión 138 kV S.E. Machupicchu I – S.E. Machupicchu II



Fuente: OSINERGMIN



Como se vio en el capítulo 3, la configuración de esta interconexión está compuesta por dos enlaces (ver Anexo B.1); el primer enlace une la S.E. GIS del tipo encapsulada con la S.E. Machupicchu I (existente) y el segundo comprendido entre la S.E. GIS y la S.E. Machupicchu II (ampliación), ambos enlaces conectados mediante cables aislados XLPE de 300 mm<sup>2</sup> [22].

Para el reforzamiento de dicha interconexión se propone el cambio del conductor actual que tiene una capacidad de 182 MVA, por uno mayor, que permita un despacho óptimo y seguro ante contingencias, sin presentar limitación de ningún tipo. El conductor propuesto presentaría las características indicadas en la Tabla 4.1, cuyo procedimiento de cálculo se aprecia en el Anexo C.4.

Tabla 4. 1 Características técnicas de conductor de cobre – Alternativa 1

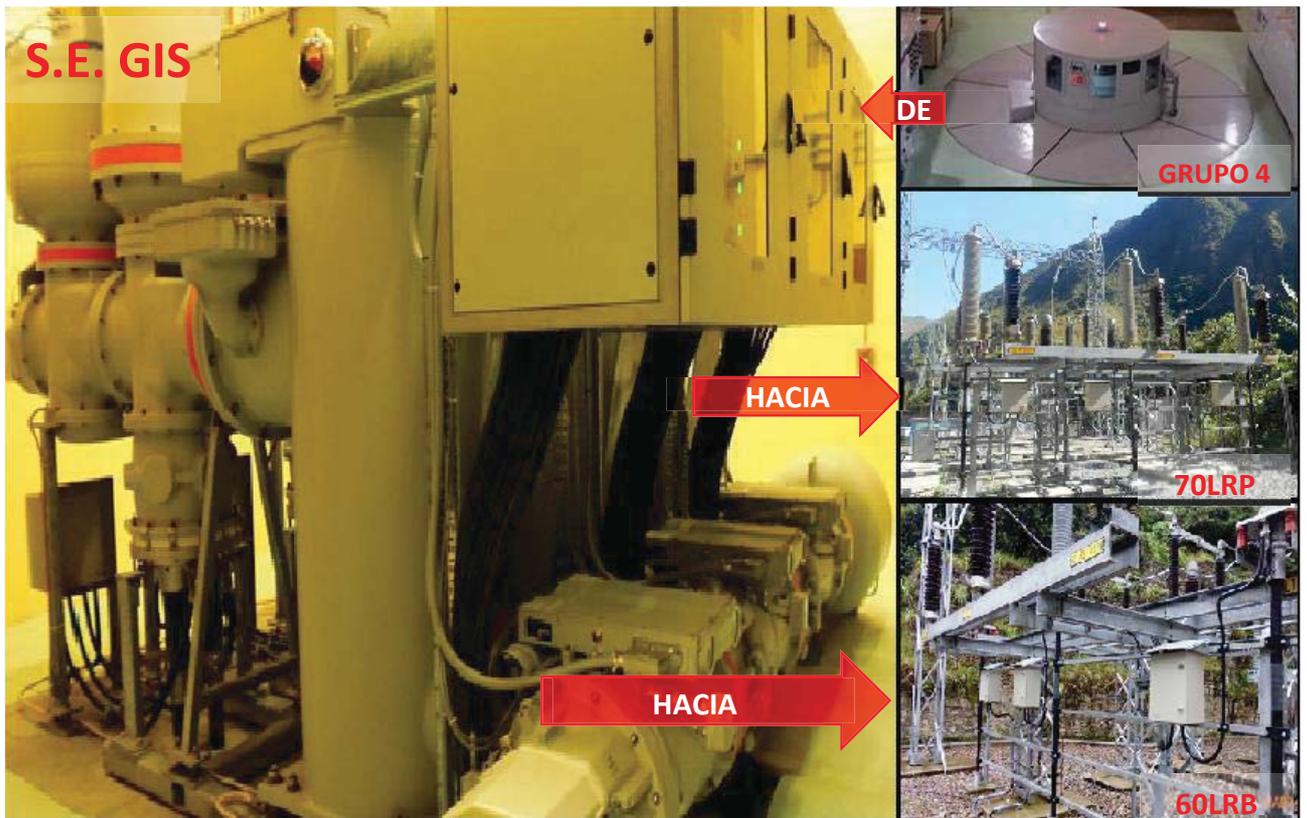
| CARACTERISTICAS CONDUCTOR COBRE            | ALTERNATIVA 1 |
|--|---------------|
| P (MW)                                     | 192           |
| S (MVA)                                    | 225.8823529   |
| I (A)                                      | 946.1437251   |
| I (A) catalogo                             | 960           |
| Sección (mm <sup>2</sup> )                 | 400           |
| COMPOSICION HILOS X DIAMETRO DEL HILO (mm) | 61x2.89       |
| DIAMETRO (mm)                              | 26            |
| CARGA DE RUPTURA (N)                       | 163450        |
| MASA (kg/m)                                | 3.643         |
| CORRIENTE ASIGNADA (A)                     | 960           |

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.1.1. Diagnóstico del lugar

En la visita realizada a la C.H. Machupicchu Fase II, se observó la configuración de la S.E. GIS y la interconexión de este con la S.E. Machupicchu I (60LRB) y S.E. Machupicchu II (70LRP) como se puede observar en la Figura 4.2.

Figura 4. 2 S.E. GIS y conexionado



Fuente: Fotografía tomada en C.H. Machupicchu

De igual manera, se analizó en campo esta alternativa planteada obteniéndose dos opciones:

- Primero, incrementar la capacidad colocando un conductor adicional por Fase, necesitando para esto un mayor espacio en la galería de cables para su instalación, lo cual no es viable debido a que esta galería ya está construida.
- Segundo, incrementar la capacidad cambiando los conductores a uno de mayor sección, lo que implica que el Grupo 4 este fuera de servicio por un periodo de 1 mes aproximadamente para su instalación y las pruebas correspondientes. Este periodo de tiempo es considerado similar al tiempo que se empleó para la instalación de la S.E. GIS.



*Figura 4. 3 Galería de cables hacia desde S.E. GIS*



*Fuente: Fotografía tomada en C.H. Machupicchu*

Además, al verificar las características técnicas de los componentes de la S.E. GIS, señalados en el ítem 3.4 del Capítulo 3<sup>23</sup>, se determina que la capacidad de dicha subestación cuyo valor es de 290 MVA, garantizaría el buen funcionamiento del sistema con las modificaciones planteadas.

#### **4.5.2. Alternativa Nº 02: Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Machupicchu II.**

El área de estudio para esta propuesta tiene una altitud promedio de 1800 msnm, perteneciendo a la región selva alta. Por otro lado al encontrarse ambas subestaciones a una distancia cercana no presentan considerables variaciones de relieves, tampoco zonas montañosas, tal como se muestra en la Figura 4.4.

Dentro del área que abarca esta alternativa se localizan caminos destinados tanto al tránsito peatonal como vehicular, asimismo, es importante señalar que contigua a la S.E. Machupicchu I se encuentra la vía férrea Ollantaytambo – Machupicchu. El trazo de ruta para esta alternativa se localiza dentro de la Zona de Amortiguamiento del Santuario Histórico de Machupicchu.

<sup>23</sup> Ver Tablas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10. Páginas 59 y 61.



Figura 4. 4 Trazo de ruta Machupicchu I - Machupicchu II.



Fuente: imágenes satelitales Google Earth.

#### 4.5.2.1. Línea de transmisión:

Esta alternativa propuesta, comprendería la interconexión en 138 kV de la S.E. Machupicchu I (propiedad de EGEMSA) con la S.E. Machupicchu II (propiedad de CTM y EGEMSA).

Esta interconexión iniciaría en un primer vértice V1 (Figura 4.6) ubicado en la coordenada UTM 764272.00 E; 852285.00 N, donde se instalará una nueva estructura, de la que se conectaría a la S.E Machupicchu II. Dicha interconexión, representada por una línea en color verde vista en la Figura 4.6, tendría una longitud de 0.140 km aproximadamente.

El conductor que se utilizaría para la interconexión de esta alternativa, presentaría las características mencionadas en la Tabla 4.2, cuyo cálculo justificativo de la sección del conductor se presenta en el Anexo C.4.

Tabla 4. 2 Características técnicas de conductor ACAR – Alternativa 2

| CARACTERISTICAS CONDUCTOR COBRE | ALTERNATIVA 2 |
|---------------------------------|---------------|
| P (MW)                          | 192           |
| S (MVA)                         | 225.88        |
| I (A)                           | 946.14        |



|  |       |
|--|-------|
| I (A) catalogo                             | 962   |
| Sección (AWG)                              | 1172  |
| Sección (mm <sup>2</sup> )                 | 593.9 |
| COMPOSICION HILOS X DIAMETRO DEL HILO (mm) | 30x7  |
| DIAMETRO (mm)                              | 31.64 |
| CARGA DE RUPTURA (kg)                      | 10869 |
| PESO (kg/km)                               | 1637  |
| TIPO CONDUCTOR                             | ACAR  |

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.5.2.2. Subestaciones:

- **S.E. Machupicchu I\* (Anexo C.5)**

En esta subestación será necesario una ampliación para instalar una nueva celda, además del reforzamiento de la barra existente. Está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84:

- Este: 764379.00 m E
- Norte: 8542198.00 m S
- Altitud: 1805 msnm

- **S.E. Machupicchu II\* (Anexo C.6)**

De igual manera, en esta subestación se adicionará una nueva celda y barra ya que su configuración actual no permitiría una conexión con otra subestación. Está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84:

- Este: 764282.65 m E
- Norte: 8542276.13 m S
- Altitud: 1790 msnm

#### 4.5.2.3. Diagnóstico del lugar

Para esta alternativa, en la S.E. Machupicchu I se cuenta con espacio disponible en dicha subestación para la instalación de la nueva celda, además de la ampliación y reforzamiento de la barra existente, como se puede apreciar en la Figura 4.3.

Del mismo modo, para la S.E. Machupicchu II, se necesita instalar una nueva celda y acondicionar una barra que permita una conexión entre la S.E.

\* Ver Tablas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10. Páginas 59 y 61. (Características Técnicas de los elementos de las S.E.)



Machupicchu I con la S.E. Machupicchu II. Es así que en la visita realizada se verificó que no se cuenta con espacio suficiente tal como se ve en la Figura 4.5.

*Figura 4. 5 S.E. Machupicchu II*



*Fuente: Fotografía tomada en S.E. Machupicchu II*

#### **4.5.3. Alternativa N° 03: Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Suriray**

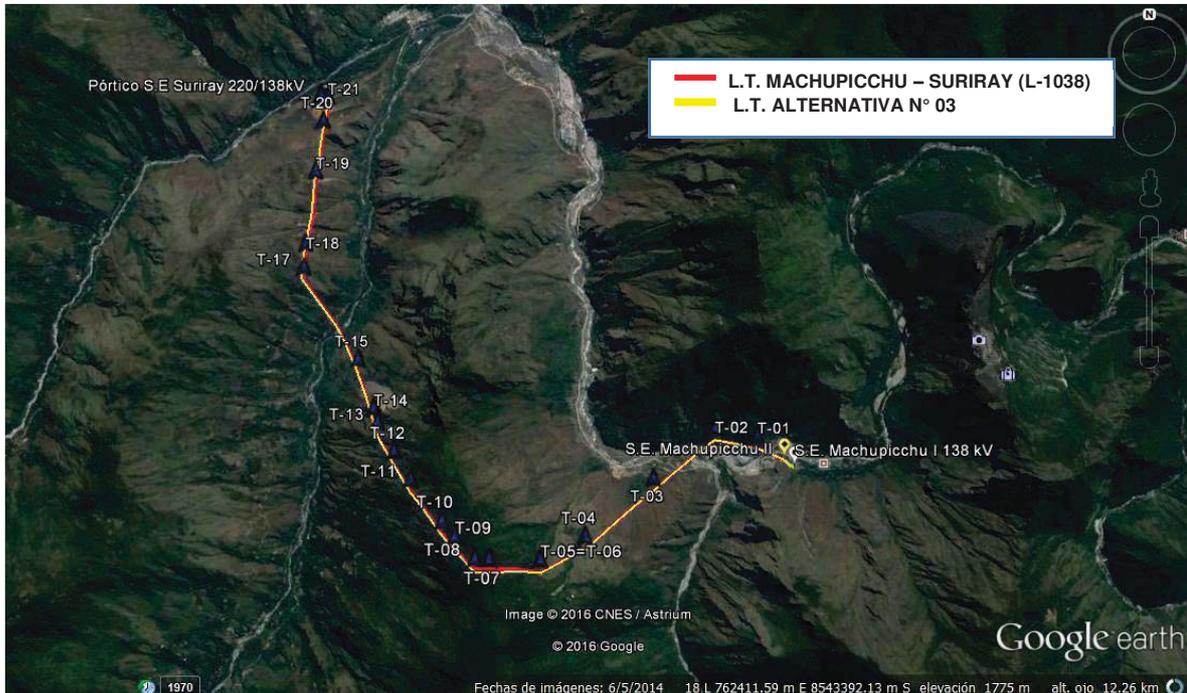
Para esta alternativa se propone hacer una línea de transmisión en 138 kV que permita la interconexión entre la S.E. Machupicchu I y la S.E. Suriray; en este caso el área abarcada se caracteriza: por ser de relieve variado pasando de los 1800 a 2828 msnm y posteriormente desciende a los 1685 msnm, abarcando zonas montañosas, con tránsito peatonal y vehicular. Esta área pertenece a la región selva alta, donde el clima es cálido y húmedo durante el día y fresco por la noche, en general presenta precipitaciones pluviales especialmente entre los meses de noviembre y marzo.

A continuación en la Figura 4.6, en color amarillo se muestra el trazo de ruta de la línea de transmisión proyectada para esta alternativa y en color rojo la línea Machupicchu II – Suriray (L-1038) existente, ambas compartirían el mismo recorrido. Las líneas mencionadas anteriormente se encuentran dentro de la Zona



de Amortiguamiento del Santuario Histórico de Machupicchu y del Área de Conservación Regional Choquequirao.

Figura 4. 6 Trazo de ruta Machupicchu I - Suriray.



Fuente: imágenes satelitales Google Earth.

#### 4.5.3.1. Línea de transmisión:

Para esta alternativa la ruta de la línea de transmisión propuesta tendría una longitud de 10 km aproximadamente, iniciando en la S.E. Machupicchu I 138 kV propiedad de EGEMSA y llegando hasta la S.E. Suriray 220/138kV propiedad de CTM.

El conductor que se emplearía para la interconexión de esta alternativa, presentaría las características mencionadas en la Tabla 4.3, cuyo cálculo justificativo de la sección del conductor se presenta en el Anexo C.4.

Tabla 4. 3 Características técnicas de conductor ACAR – Alternativa 3

| CARACTERISTICAS CONDUCTOR COBRE | ALTERNATIVA 3 |
|---------------------------------|---------------|
| P (MW)                          | 192           |
| S (MVA)                         | 225.88        |
| I (A)                           | 946.14        |
| I (A) catalogo                  | 962           |
| Sección (AWG)                   | 1172          |



|  |       |
|--|-------|
| Sección (mm <sup>2</sup> )                 | 593.9 |
| COMPOSICION HILOS X DIAMETRO DEL HILO (mm) | 30x7  |
| DIAMETRO (mm)                              | 31.64 |
| CARGA DE RUPTURA (kg)                      | 10869 |
| PESO (kg/km)                               | 1637  |
| TIPO CONDUCTOR                             | ACAR  |

*Fuente: Elaboración Propia*

Esta L.T. iniciaría en un primer vértice ubicado en la coordenada UTM 764272.00 E; 8542285.00 N, donde se instalaría una nueva torre. Posteriormente se enlazaría a la primera estructura existente (coordenadas UTM 764008.27 E; 8542393.13 N) de la línea L-1038, tramo comprendido entre la S.E. Machupicchu II y SE Suriray, que forma parte de la línea de transmisión Machupicchu - Abancay – Cotaruse.

Cabe señalar que las estructuras existentes de la línea anteriormente mencionada, presentan una configuración en doble terna, encontrándose una de ellas disponible tal como se muestra en la Figura 4.7, la que se podría destinar para esta alternativa.

*Figura 4. 7 Estructura L.T. Machupicchu-Abancay-Cotaruse*



*Fuente: Fotografía tomada en C.H. Machupicchu*



#### 4.5.3.2. Subestaciones

- **S.E. Machupicchu I\* (Anexo C.5):**

Se requeriría ampliar la S.E. Machupicchu I para instalar una nueva celda de donde saldría esta nueva línea. Esta Subestación está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84:

- Este: 764379.00 m E
- Norte: 8542198.00 m S
- Altitud: 1805 msnm

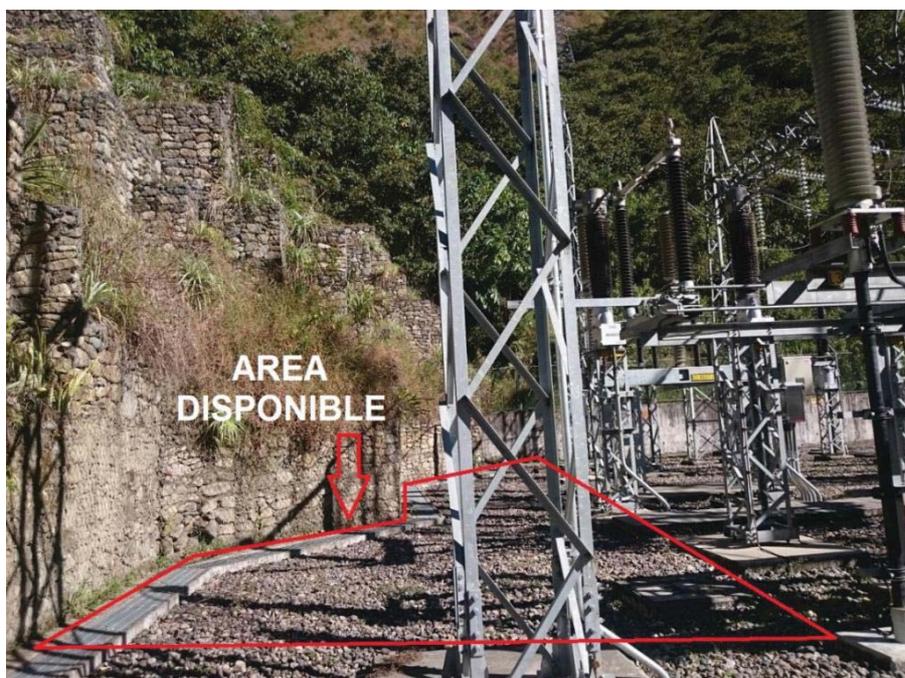
- **S.E. Suriray 220/138 kV\* (Anexo C.7):**

En esta subestación de igual manera se necesitaría adicionar una nueva celda para la llegada de la nueva línea. Esta subestación está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84:

- Este: 759586.19 m E
- Norte: 8545813.68 m S
- Altitud: 1686 msnm

#### 4.5.3.3. Diagnóstico del lugar

*Figura 4. 8 S.E. Machupicchu I*



*Fuente: Fotografía tomada en S.E. Machupicchu I*

\* Ver Tablas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10. Páginas 59 y 61. (Características Técnicas de los elementos de las S.E.)

Se realizó una visita a la S.E. Machupicchu I, en la cual se verificó la situación actual de dicha subestación, encontrándose espacio disponible para instalar una nueva celda (ver Figura 4.8). Asimismo, se observó que la barra existente presenta daños (ver Figura 4.9), además que su sección es insuficiente para soportar el incremento de nuevas cargas, por lo que sería necesario su reforzamiento y ampliación.

*Figura 4. 9 Barra eléctrica*



*Fuente: Fotografía tomada en S.E. Machupicchu I*

Asimismo, en la Figura 4.10 de la S.E. Suriray, se visualiza gran espacio disponible para instalar celdas en el lado de 138 kV donde llegaría y se conectaría la línea de esta alternativa.

*Figura 4. 10 S.E. Suriray*



*Fuente: Fotografía tomada en S.E. Suriray*



#### 4.6. ANALISIS ECONÓMICO

Para realizar este análisis primero se calcularon las valorizaciones de las alternativas anteriormente propuestas, utilizando la Base de Datos de los Módulos Estándares de Inversión para Sistemas de Transmisión con costos 2015 (MOD INV\_2016), actualizada el 28 de enero de 2016, por el OSINERGMIN mediante Resolución N° 015-2016-OS/CD [12].

En este sentido, la valorización total de una instalación de transmisión corresponde a la suma de valorizaciones de los módulos de la línea y de las celdas de salida y llegada, las cuales a su vez comprenden lo siguiente:

- Módulos de líneas de transmisión, corresponden a costos por kilómetro de líneas clasificadas según el nivel de tensión, ubicación geográfica, altura de instalación, tipo y sección de conductor, tipo de estructura y número de circuitos.
- Módulos de celdas de subestaciones, corresponden a agrupaciones de equipos, por ejemplo una celda de línea contiene un seccionador de línea, un interruptor, un transformador de corriente, un seccionador de barra y un transformador de tensión capacitivo.

En el Anexo C.8, se encuentran las hojas de cálculos de las valorizaciones para cada alternativa, obteniéndose los valores Totales de Inversión que se muestran de manera resumida en la siguiente tabla.

Tabla 4. 4 Resultados de las Valorizaciones de las alternativas

| ALT | EQUIPO                           | UNID | CANT | TOTAL GENERAL (US\$) | PRECIO TOTAL (US\$) | VALORIZACION DE (US\$) | TOTAL US\$ I.G.V. (18%) |
|-----|----------------------------------|------|------|----------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| 1   | LINEA DE TRANSMISIÓN SUBTERRANEA | Glb  | 1    | 423,825.89           | 423,825.89          | <b>423,825.89</b>      | <b>500,114.55</b>       |
| 2   | LINEA DE TRANSMISIÓN             | Glb  | 1    | 93,166.55            | 93,166.55           | <b>535,555.67</b>      | <b>631,955.69</b>       |
|     | CELDA                            | Cjto | 2    | 221,194.56           | 442,389.12          |                        |                         |
| 3   | LINEA DE TRANSMISIÓN             | Glb  | 1    | 549,760.02           | 549,760.02          | <b>992,149.14</b>      | <b>1,170,735.99</b>     |
|     | CELDA                            | Cjto | 2    | 221,194.56           | 442,389.12          |                        |                         |

Fuente: Anexo C.8- Valorización de la Alternativas



Como se puede apreciar, los costos de inversión para cada alternativa varían de acuerdo a los diferentes requerimientos que estas presentan; dichos costos están expresados en Dólares (US\$), que en Nuevos Soles (S/.) equivalen lo siguiente.

Tabla 4. 5 Cambio a moneda en Soles (S/.)

|   | INVERSION (US\$) | INVERSION (S/.)         |
|---|------------------|-------------------------|
| <b>Alternativa N° 1</b>   | \$ 423,825.89    | <b>S/. 1,678,384.42</b> |
| <b>Alternativa N° 2</b>   | \$ 535,555.67    | <b>S/. 2,120,843.29</b> |
| <b>Alternativa N° 3</b>   | \$ 992,149.14    | <b>S/. 3,928,989.97</b> |
| Tipo de Cambio (08/09/16) Banco Central de Reserva Corresponde a las transacciones entre 9:00 AM y 1:30 PM.<br>Fuente: Datatec. |                  | <b>3.356</b>            |

Fuente: Elaboración propia

Estos Costos de Inversión se utilizan para realizar el análisis de las pérdidas económicas en las que se incurre por la energía dejada de generar, ya que el proyecto presentado está enfocado a asegurar la continuidad del servicio eléctrico, para lo cual se deberá contar con la alternativa más pertinente que permita cumplir el objetivo del estudio.

Tabla 4. 6 Análisis económico por pérdidas

| Inversión S/.  | Probabilidad de Falla* | Duración de Falla (hora)* | Costo de energía generada por hora** | Compensación por Rechazo de Carga *** | Costo en los que incurre como Pérdidas | Horizonte del Proyecto (Años) | Pérdidas económicas en el Horizonte |
|--|------------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>S/. 1,678,384.42</b>  | 4                      | 6                         | S/. 8,264.58                         | S/. 22,545.68                         | S/. 739,446.10                         | 30                            | <b>S/. 22,183,383.08</b>            |
| <b>S/. 2,120,843.29</b>  | 4                      | 6                         | S/. 8,264.58                         | S/. 22,545.68                         | S/. 739,446.10                         | 30                            | <b>S/. 22,183,383.08</b>            |
| <b>S/. 3,928,989.97</b>  | 2                      | 6                         | S/. 8,264.58                         | S/. 22,545.68                         | S/. 369,723.05                         | 30                            | <b>S/. 11,091,691.54</b>            |
| *PROCEDIMIENTO PARA LA SUPERVISIÓN DE DEFICIENCIAS EN SEGURIDAD EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y EN ZONAS DE SERVIDUMBRE (R. N° 264-2005-OS/CD) - Cuadro N° 2: Tolerancia de Indicadores de Performance<br>** COES/D/DO/STR-INF, ENTREGAS Y RETIROS DE ENERGÍA VALORIZADOS<br>*** DECISION DE LA DIRECCION EJECUTIVA DEL COES RESPECTO DE LAS TRANSGRESIONES A LA NTCSE POR EL EV-013-2015 |                        |                           |                                      |                                       |  |                               |                                     |

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla 4.5, para la alternativa N°01 y N°02 los costos de la inversión son de **S/. 1,678,384.42** y **S/. 2,120,843.29** Nuevos Soles respectivamente, el diseño técnico propuesto tienen una probabilidad de ocurrencia de falla de 4 veces al año según Procedimiento para la supervisión de deficiencias en seguridad en líneas de transmisión y en zonas de servidumbre (N° 264-2005-OS/CD) elaborado por el OSINERGMIN, las mismas fallas que cuentan con una duración de 6 horas en atención al mismo documento, en este contexto por cada hora de falla se genera un costo de energía valorizado en S/. 8,264.58



Nuevos Soles según a las Entregas y Retiros de Energía valorizada que es reportado al COES (Valorizaciones de transferencias Energía y Potencia) por los agentes, a través del Sub Comité de Generadores.

Así también se incurre en el costo de compensación por rechazo de carga debido a las perturbaciones originadas por el déficit de generación en el sistema, en ese sentido tomando como referencia la Decisión de la Dirección Ejecutiva del COES del EV-013-2015, respecto de las Transgresiones a la NTCSE la compensación es de S/. 22,545.68 Nuevos Soles.

En este sentido se realizó el análisis de pérdidas económicas que en un año llega a sumar **S/. 739,446.10** Nuevos Soles, teniendo en cuenta que estas instalaciones tienen una vida útil de treinta (30)<sup>24</sup> años, las pérdidas económicas para este periodo alcanzan un valor un total de **S/. 22,183,383.08** Nuevos Soles.

En el caso de la alternativa N°03 “Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Suriray”, la probabilidad de fallas es menor, debido a que al plantear esta línea, existiría redundancia en el sistema, es decir si esta fallara la L-1038 estaría de respaldo y viceversa.

Del análisis se puede ver que la alternativa con menores pérdidas económicas es la N°03, ya que esta reduce las probabilidades de falla, lo que permite que la empresa generadora evite gastar **S/. 11,091,691.54** Nuevos Soles que es un monto mayor al de la inversión inicial.

Por otro lado, también se calculó los indicadores de rentabilidad el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para lo cual se tomó en cuenta los costos de Operación, Mantenimiento y beneficios de EGEMSA los mismos que se presentan en el Anexo C.8, de los cuales se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 4. 7 Resultados de los Indicadores de Rentabilidad

| INDICADOR | Alternativa N°01 | Alternativa N°02 | Alternativa N°03 |
|-----------|------------------|------------------|------------------|
| VAN       | S/. 445,186.24   | S/. -102,413.22  | S/. 637,952.81   |
| TIR       | 15.50%           | 11.34%           | 14.16%           |

Fuente: Anexo C.8- Cálculo del VAN y el TIR

<sup>24</sup> Ministerio de Energía y Minas (13, Setiembre de 2010). Criterios y metodología para la elaboración del plan de transmisión (R.M. N° 129-2009-MEM-DM). Lima, Perú. Pág. 18.



Como se aprecia en la tabla anterior las Alternativas N° 01 y 03 presentan una tasa de actualización superior al 12%<sup>25</sup> y el VAN positivo, según lo demostrado en el análisis de los flujos incrementales planteados para cada propuesta técnica, (Anexo C.8).

Finalmente se selecciona la Alternativa N°03 como la más rentable debido a que el VAN es superior entre todas y es la que incurre en menores pérdidas económicas.

#### 4.7. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para seleccionar la mejor alternativa se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Para la implementación de la Alternativa N° 01 “Reforzamiento de la interconexión entre S.E. GIS con S.E. Machupicchu I y II”. La opción elegida es mantener la configuración actual, sólo se reemplazaría el conductor existente de sección 300 mm<sup>2</sup> por uno de 400 mm<sup>2</sup> de una capacidad superior, para lo cual fue necesario verificar las características técnicas de la S.E. GIS. El cambio del conductor y las pruebas demorarían alrededor de 1 mes en los que el Grupo 4 de la C.H. Machupicchu estaría fuera de servicio.

En cuestión a la Alternativa N° 02 “Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Machupicchu II”. En la S.E. Machupicchu I se deberá instalar una nueva celda, lo cual es factible porque se cuenta con espacio disponible en dicha subestación. Con relación a la S.E. Machupicchu II, también se requiere agregar una nueva celda, estas deberán contar con propios equipos de protección, al mismo tiempo tendría que ser implementada una barra en la S.E. Machupicchu II ya que su configuración actual no permite esta conexión; el inconveniente es que en esta subestación no se cuenta con espacio suficiente para realizar estas modificaciones. Del mismo modo, el conductor que se emplearía para esta interconexión tendría una sección de 600 mm<sup>2</sup> aproximadamente.

---

<sup>25</sup> Ministerio de Energía y Minas . (2009). Artículo 79°. *Ley de Concesiones Electricas*. Lima. Perú.



Por último, en la Alternativa N° 03 “Interconexión en 138 kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Suriray” referente a la S.E. Machupicchu I, se empleará exactamente el mismo procedimiento descrito para la alternativa N° 02, instalar una nueva celda, lo cual es viable, como se indicó anteriormente porque se cuenta con espacio disponible, además, es necesaria la ampliación y reforzamiento de la barra existente, lo que supone verificar la capacidad térmica del conductor y ajustar las protecciones previa evaluación. En el caso de la S.E. Suriray, se necesita también una nueva celda de llegada, como esta subestación fue diseñada para adicionar celdas futuras, posee lugar para dicha instalación, no requerirá ninguna otra modificación en su configuración, ambas barras deberán contar con propios equipos de protección. Asimismo, para la interconexión propiamente dicha sería necesario instalar un conductor de sección 600 mm<sup>2</sup>.

Finalmente, tras un exhaustivo análisis de cada una de las alternativas y tomando en consideración los puntos descritos líneas arriba y el análisis económico desarrollado en este capítulo, se llegó a la conclusión de que la mejor alternativa es la N° 03 “Interconexión en 138kV entre la S.E. Machupicchu I y S.E. Suriray”, ya que presenta mayores ventajas frente a las otras, principalmente porque daría mayor seguridad en la operación del sistema, que es el objetivo del presente estudio; puesto que al presentarse una contingencia en la línea L-1038 (Machupicchu – Suriray), esta proporcionaría una vía de evacuación adyacente, evitándose de esta manera congestiones y sobrecargas en las otras líneas, y en caso que se retiren definitivamente las líneas L-1001 y L-1002, toma mayor importancia esta alternativa, solución que las otras no dan en su totalidad.

Cabe resaltar que para efectuar la alternativa N° 03 ya se cuentan con las estructuras para el recorrido de la línea de transmisión, lo que reduce el costo de inversión de este proyecto. Por todas las propiedades que presenta esta alternativa se determina que es la mejor opción y se demuestra que es viable tanto técnica como económicamente.



## **4.8. ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA “INTERCONEXIÓN EN 138KV ENTRE LA S.E. MACHUPICCHU I Y S.E. SURIRAY”,**

### **4.8.1. Normas y documentación empleada**

Para el análisis y desarrollo de esta alternativa se tuvo en cuenta las siguientes normas nacionales, internacionales y documentación técnica.

- Ley de Concesiones Eléctricas y Reglamento (D.L. 25844 - 2014)
- Código Nacional de Electricidad Suministro (CNE Suministro - 2011).
- Código Nacional de Electricidad Utilización (CNE Utilización - 2006).
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).
- Norma IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- Procedimiento Técnico del COES (PR-20)
- Estudio de Operatividad del proyecto “Línea de transmisión Machupicchu – Abancay – Cotaruse 220 kV”, desarrollado por la empresa ISA – CTM.
- Ficha técnica de la Línea de transmisión 220 kV Machupicchu – Abancay – Cotaruse, elaborado por OSINERGMIN.
- Ficha técnica de la Línea de transmisión 138 kV S.E. C.H. Machupicchu II S.E. Machupicchu elaborado por OSINERGMIN.
- Fichas técnicas y diagrama unifilar de la S.E. GIS, realizado por GyM.

Los programas de computación aplicados para este estudio son los siguientes:

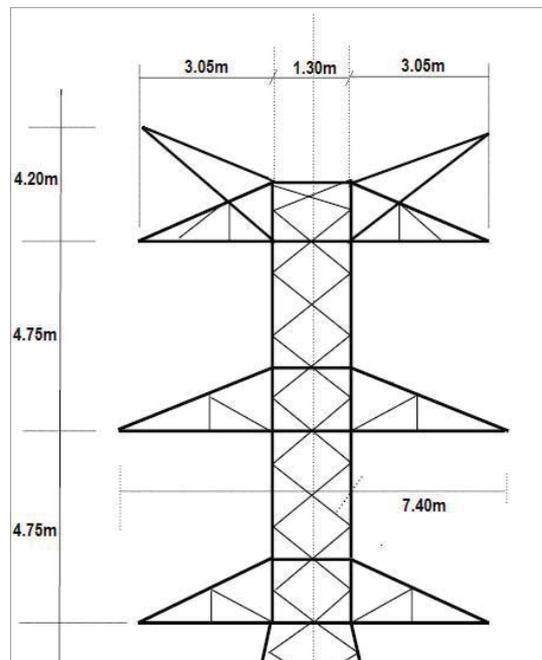
- Software DigSilent V15.01.
- Software DLTCAD 2010.

### **4.8.2. Configuración Geométrica de la estructura**

En este caso la geometría, silueta y configuración de las estructuras consideradas, serán las mismas de las torres instaladas en el tramo Machupicchu II – Suriray (L-1038) en 138 kV, que forma parte de la Línea de transmisión Machupicchu – Abancay – Cotaruse, presentando una configuración de doble circuito vertical, tal como se muestra en la Figura 4.11.



Figura 4.11 Estructura doble circuito vertical 138kV L-1038.



Fuente: PE-MACO, TRANSMANTARO – ISA

### 4.8.3. Criterios de selección del Conductor

Los principales criterios que deben orientar a la elección de los conductores de la línea de transmisión en 138 kV son:

#### 4.8.3.1. Material Del Conductor

Los materiales a analizar en esta línea serán de tipo AAAC (conductor de aleación de aluminio), ACAR (conductor de aluminio con refuerzo de aleación de aluminio) y ACSR (conductor de aluminio con refuerzo de acero) [29].

El AAAC presenta una alta resistencia, inexistencia de corrosión electroquímica, larga duración, conducción de sonido eléctrico, etc.; mientras que el ACAR ofrece excelente balance entre sus propiedades eléctricas y mecánicas con excelente resistencia a la corrosión, debido a los materiales compatibles que tiene en el centro y las capas externas.

El ACSR presenta un buen comportamiento mecánico ante vientos y hielo, pero tiene una pobre resistencia a la corrosión, ya que contiene acero, que es propenso a la oxidación



Entonces, el factor que diferencia los tres cables es su resistencia a la corrosión, lo cual es importante para la longevidad del cable. De lo mencionado, los conductores ACAR y AAAC presentan mayores ventajas respecto al ACSR porque tienen una mejor resistencia a la corrosión, debido al hecho de que son en gran parte o completamente de aluminio, es por ello que se analiza ambos conductores para seleccionar el más apropiado.

Con esas consideraciones, para elegir el calibre de los conductores a analizar se tomaron en cuenta los siguientes datos:

- Tensión nominal (V): 138 kV
- Potencia de diseño en condiciones de emergencia (S): 450 MVA<sup>26</sup>
- Circuitos por fase (n): 2

A partir de estos datos se hace el cálculo de la corriente nominal ( $I_{nom}$ ) mediante la siguiente formula:

$$I_{nom} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V \times n} \quad 4.1$$

Del catálogo se escogen los conductores cuyas corrientes se acercan al valor calculado ( $I_{nom} = 950$  A) mediante la Ecuación 4.1.

Tabla 4. 8 Datos relevantes del conductor tipo ACAR

| CALIBRE<br>AWG | N° HILOS |                         | AREA mm2 | CORRIENTE<br>(A) | RESISTENCIA<br>ELECTRICA<br>DC A 20°C (ohm/km) |
|----------------|----------|-------------------------|----------|------------------|--|
|                | ALUMINIO | ALEACION<br>DE ALUMINIO |          |                  |  |
| 1172           | 30       | 7                       | 593.9    | 962              | 0.0497   |
| 1200           | 33       | 28                      | 608      | 960              | 0.048  |

Fuente: Catálogo de fabricante CENTELSA

Tabla 4. 9 Datos relevantes del conductor tipo AAAC

| CALIBRE<br>AWG | N° DE ALAMBRES<br>ALEACION AL | AREA mm2 | CORRIENTE<br>(A) | RESISTENCIA ELECTRICA<br>DC A 20°C (ohm/km) |
|----------------|-------------------------------|----------|------------------|---|
| 927.2          | 37                            | 469.8    | 794              | 0.0713                                      |
| 1000           | 37                            | 506.7    | 831              | 0.0802                                      |

Fuente: Catálogo de fabricante CENTELSA

<sup>26</sup> Dato obtenido del documento: Anexo N° 1 Especificaciones Técnicas del Proyecto, Contrato de Concesión de la "Línea de Transmisión 220 kV Machupicchu – Abancay – Cotaruse y Subestaciones Asociadas" Pág. 2 (Potencia de diseño).



#### 4.8.3.2. Evaluación de conductores por Ampacitancia

- **Capacidad de Diseño y Condiciones de Operación de la Línea**

Según el Procedimiento Técnico del COES PR-20: Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN, la temperatura de los conductores no debe superar la temperatura máxima de 75°C [14]. La línea debe tener una capacidad nominal de 250 MVA [30] en condiciones de operación normal.

Tabla 4. 10 Condiciones de operación de los conductores de la línea

| CAPACIDAD                        | CARACTERÍSTICAS  |
|----------------------------------|--|
| <b>Capacidad Nominal</b>         | La línea debe tener una capacidad nominal de 250 MVA [30] en condiciones de operación normal. La temperatura de los conductores no debe superar la temperatura máxima de 75°C [14].                          |
| <b>En contingencias del SEIN</b> | La línea debe operar hasta con un 20% de sobrecarga sobre la capacidad de operación normal, es decir 300 MVA [30]  |
| <b>Potencia de diseño</b>        | La potencia de diseño debe ser mayor a 350 MVA [30]. En condiciones de emergencia, por un periodo de treinta (30) minutos, deberá soportar una sobrecarga no menor de 30%, sobre la potencia de diseño [14]. |

Fuente: Anexo N° 1: Especificaciones Técnicas, Contrato de Concesión SGT "L.T. Machupicchu-Abancay-Cotaruse 220 kV" - MEF PROINVERSIÓN

- **Metodología de Cálculo**

La metodología de cálculo que se empleará para determinar la capacidad de transporte de los conductores la cual está en relación directa con su temperatura de trabajo, para las condiciones planteadas en el literal A, será la recomendada en la IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors (IEEE Std 738-1993) [17], considerando la radiación solar para el hemisferio sur.

La metodología establece el balance térmico en el conductor para calcular la capacidad estable del mismo.

Tal como se ha establecido en las condiciones de operación de la línea, la temperatura del conductor en la condición de operación normal no debe superar los 75°C.



- **Condiciones Ambientales de Cálculo**

Para la determinación de la capacidad de los conductores se han asumido las condiciones climáticas en las que se produciría la transferencia de calor, tomando como base las condiciones climáticas de la zona del proyecto.

A partir de lo señalado las condiciones de trabajo asumidas para el cálculo en el software DLTCAD, son las que se indican a continuación:

Condiciones ambientales

- Temperatura ambiente del aire : 30°C
- Velocidad del viento : 0.61 m/s
- Dirección del viento : perpendicular al conductor

Calentamiento solar

- Altitud sobre el nivel del mar : 2080 msnm
- Latitud : 13° Sur
- Longitud : 72° Oeste
- Fecha : mediados del mes de Junio  
(Verano en la latitud sur)
- Hora : Mediodía
- Tipo de atmósfera : Clara sin nubes
- Coeficiente de absorción : 0,5
- Coeficiente de emisividad : 0,5

Para obtener estos resultados se hizo el modelamiento de la línea con cada uno de los conductores seleccionados, ingresando los datos correspondientes a su equipamiento, tales como: torres, aisladores, cable de guarda, entre otros; que se encuentran en el Anexo C.7

- **Resultados**

A partir de los datos de los conductores evaluados en el programa DLTCAD y tomando en cuenta las variables de cálculo y la temperatura de



trabajo señalada, se obtienen los resultados de ampacitancia (ver Anexo C.10), que se muestran en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Resultados de Ampacidad en conductores

| Conductor      | Tensión de Servicio Kv | Condición de Operación | Temperatura Conductor °C | Capacidad del Conductor |            |
|----------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|
|                |                        |                        |                          | Amperios                | MVA        |
| ACAR 1172 AWG  | 138                    | Normal                 | 75                       | 951.46                  | 227.15156  |
| ACAR 1200 AWG  | 138                    | Normal                 | 75                       | 987.32                  | 235.712777 |
| AAAC 927.2 AWG | 138                    | Normal                 | 75                       | 800.97                  | 191.223578 |
| AAAC 1000 AWG  | 138                    | Normal                 | 75                       | 903.67                  | 215.742176 |

Fuente: Elaboración propia DLTCAD

Se puede apreciar que los conductores que cumplirían con la capacidad requerida en las distintas condiciones de operación de la línea son los siguientes:

- ACAR 1172 AWG
- ACAR 1200 AWG
- AAAC 1000 AWG

En todos estos casos las potencias para la temperatura de trabajo de 75° son cercanos a la capacidad nominal de la línea.

#### 4.8.3.3. Pérdidas Eléctricas

- **Perdida por Efecto Corona**

Se debe tener en cuenta que en líneas de transmisión el máximo gradiente superficial en los conductores no debe superar los 18.5 kVrms/cm para altitudes mayores a los 1000 msnm [10].

Para calcular las pérdidas de los conductores por efecto corona se emplearán hojas de cálculo (ver Anexo C.11), cuyos resultados se ven en la Tabla 4.12.

Tabla 4. 12 Resultados de pérdida por Efecto Corona

| Conductor     | Pérdidas en la línea |
|---------------|----------------------|
|               | kW/km                |
| ACAR 1172 AWG | 3.61                 |
| ACAR 1200 AWG | 3.05                 |
| AAAC 1000 AWG | 4.27                 |

Fuente: Elaboración propia



- **Perdidas Joule**

Las pérdidas Joule serán calculadas para la capacidad de transmisión de la línea, considerando un factor de potencia unitario y la resistencia eléctrica del cable calculado a 75 ° C, obteniendo los resultados de la Tabla 4.13:

Tabla 4. 13 Resultados de pérdida por Efecto Joule

| Conductor            | Datos de operación del conductor |         |          | Porcentaje  |
|----------------------|----------------------------------|---------|----------|-------------|
|                      | Potencia                         | Tensión | R (75°C) | de Pérdidas |
|                      | MVA                              | kV      | Ohms     | %           |
| <b>ACAR 1172 AWG</b> | 250                              | 138     | 0.658    | 0.86        |
| <b>ACAR 1200 AWG</b> | 250                              | 138     | 0.603    | 0.79        |
| <b>AAAC 1000 AWG</b> | 250                              | 138     | 0.687    | 0.90        |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8.3.4. Análisis Económico de Conductores

Otro punto tomado en cuenta para la selección óptima del conductor, es la evaluación económica considerando los costos de inversión. De esta manera se podrá elegir al conductor que presente un costo bajo.

Los conductores serán analizados considerando lo siguiente:

- **Costos de Inversión**

Los costos de inversión fueron estimados a partir de la información contenida en la base de datos de módulos estándares de inversión para los sistemas de transmisión aéreos con torres metálicas, publicada por OSINERGMIN a través de la Resolución N° 015-2016-OS/CD, que aprueba la “Actualización de la Base de Datos de los Módulos Estándares de Inversión para Sistemas de Transmisión con Costos 2015” [12], mostrados en la Tabla 4.14.

Tabla 4. 14 Costos de inversión según tipo de conductor de la línea

| Tipo de Línea   | Costo de Inversión Estimado (US \$/km) |
|---|--|
| <b>Línea aérea trifásica con conductor ACAR 1172 AWG</b>    | 50185.22                               |
| <b>Línea aérea trifásica con conductor ACAR 1200 AWG</b>    | 50972.38                               |
| <b>Línea aérea trifásica con conductor AAAC de 1000 AWG</b> | 52443.40                               |

Fuente: Elaboración propia



#### 4.8.3.5. Resultados de la evaluación

Según los resultados de la Tabla 4.12, se aprecia que el conductor ACAR 1200 AWG presenta el menor valor de pérdidas por efecto corona, del mismo modo, en la Tabla 4.13 este mismo conductor tiene menor porcentaje de pérdidas por efecto Joule.

Sin embargo, en la tabla anterior 4.14, donde se muestran los costos de inversión para cada conductor analizado, el ACAR 1200 AWG no es el más económico, encontrándose en un valor intermedio, pero debido a sus características técnicas este es el más adecuado ya que cumple con la capacidad requerida de 250 MVA para la alternativa analizada.

Por lo tanto, ante lo mencionado, se elige el conductor ACAR 1200 AWG siendo el más óptimo y seguro para el transporte de energía eléctrica

#### 4.8.4. Criterios de selección del aislador

La línea proyectada de la alternativa seleccionada empleara aisladores compuestos o poliméricos tipo suspensión, tal como se seleccionó en el Capítulo 2, como retención de los conductores de fase de la línea en mención. Para hacer la selección del aislador es necesario calcular las características siguientes:

- **Calculo de Distancia de fuga mínima**

La distancia de fuga mínima se determina mediante el documento IEC 60815<sup>27</sup> con base a la distancia de fuga nominal mínima (USCD) para el nivel de contaminación seleccionado y la tensión máxima del sistema que es de 145 kV.

De esta manera, se selecciona un nivel de contaminación medio cuyo valor de distancia de fuga nominal mínima es 20 mm/kV y la SPS (severidad de polución en el sitio) para este valor es clase "c".

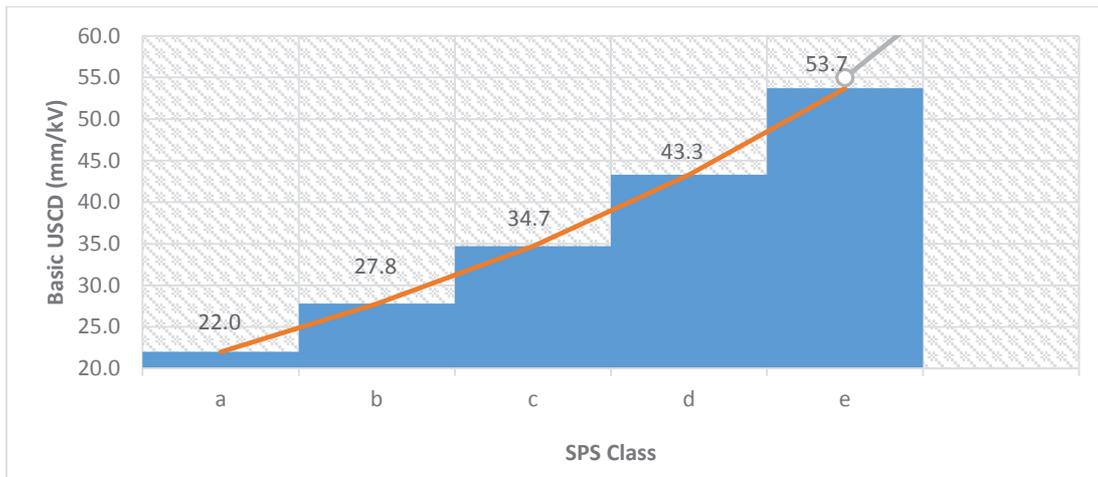
Obtenidos los datos antes mencionados, se determina el valor de RUSCD (distancia de fuga de referencia) en función del SPS mediante el siguiente gráfico:

---

<sup>27</sup> IEC 60815. (2008). Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions. Geneva, Switzerland.



Gráfico 4. 1 Valor de distancia de fuga de referencia



Fuente: IEC 60815

Según el gráfico 4.1 se tiene que para un SPS class “c”, el valor de RUSCD es de 34.7 mm/kV. Por tanto, según la altitud de la zona de ubicación de la línea proyectada se realiza la corrección del RUSCD mediante la siguiente fórmula:

$$USCD \text{ corregido} = RUSCD \times K_a \times K_{ad} \quad 4.2$$

Donde:

$K_a$ : Factor de corrección por altitud

$K_{ad}$ : Factor de corrección por diámetro promedio

Según la norma IEC – 60815, el factor  $K_a$  se determina cuando la línea se encuentra ubicada a una altura superior a 1.500 m, de lo contrario se puede asumir  $K_a=1$ .

Sabiendo que la línea proyectada se encuentra a una altitud promedio de 1800 m.s.n.m., es necesario hacer la corrección por altura mediante la Ecuación 4.2:

$$k_a = e^{m\left(\frac{H}{8150}\right)} \quad 4.3$$

Donde:

H: Altitud sobre el nivel del mar (m)

$m=1$ : Para las tensiones soportadas de coordinación a impulsos tipo rayo

Obteniéndose de esta manera el valor de  $k_a$  que es 1.25, por lo tanto, el USCD corregido será de 43.375 mm/kV.



Finalmente, la distancia de fuga mínima se obtiene de la Ecuación siguiente, cuyo valor es de 3631.28 mm.

$$\text{Distancia de fuga mínima (mm)} = \frac{U_m}{\sqrt{3}} * USCD \quad 4.4$$

Donde:

Um: Tensión máxima del sistema (145 kV)

- **Distancia de arco mínima**

La distancia de arco mínima es la distancia fase-tierra requerida por el nivel de aislamiento del sistema.

El valor de la distancia de arco mínima del aislador polimérico para 138 kV deberá ser igual o superior a la distancia mínima fase – tierra de 1 300 mm, correspondiente al nivel de aislamiento (LIWL) de 650 kV valor tomado de la IEC 60071<sup>28</sup>.

- **Tensión de rotura y esfuerzos en aisladores poliméricos**

La mínima tensión de rotura en los aisladores poliméricos se establece a partir de las ecuaciones siguientes:

$$\text{Tensión de rotura} = f_s * \sqrt{F_V^2 + F_T^2} \quad 4.5$$

$$F_V = L * P_U + P_M \quad 4.6$$

$$F_T = K * V^2 * S_f * A \quad 4.7$$

Donde:

$f_s$ : factor de seguridad (2)

$F_V$ : Carga vertical máxima

$F_T$ : Carga transversal máxima

L: Longitud de vano más largo (1 km)

$P_U$ : Peso unitario de conductor (1673 kg/km)

$P_M$ : Máxima carga de trabajo (150 kg)

<sup>28</sup> IEC 60071. (2006). INSULATION COORDINATION. NEW DELHI.



K: Constante de presión (0,613 para las elevaciones hasta 3 000 m.s.n.m.)

V: Velocidad del viento (25 m/s)

$S_f$ : Factor de forma (1 según el CNE-S)

A: Área proyectada en  $m^2$  (32.6  $m^2$ )

Reemplazando los valores en las ecuaciones antes mencionadas se obtiene la tensión de rotura de 87 kN para un nivel de tensión de 138 kV.

### Selección de aisladores poliméricos

En la Tabla 4.15 se indica las especificaciones mínimas requeridas para los aisladores poliméricos que se proponen instalar para la línea proyectada.

Tabla 4. 15 Especificaciones de aislador polimérico

| TENSION MAXIMA DEL SISTEMA | DISTANCIA DE FUGA (mm) | DISTANCIA DE ARCO (mm) | TENSION DE ROTURA MÍNIMA (kN) |
|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 145 kV                     | 3631.28                | 1300                   | 87                            |

Fuente: Datos calculados según IEC 60815

## 4.9. CARACTERISTICAS DE LA INTERCONEXIÓN EN 138 KV ENTRE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE MACHUPICCHU I Y SURIRAY

### 4.9.1. Ubicación Geográfica

En la Figura 4.12 se observa la ubicación geográfica que comprende el proyecto en la zona sur del Perú, exactamente en la Provincia de Urubamba en el Departamento del Cusco.



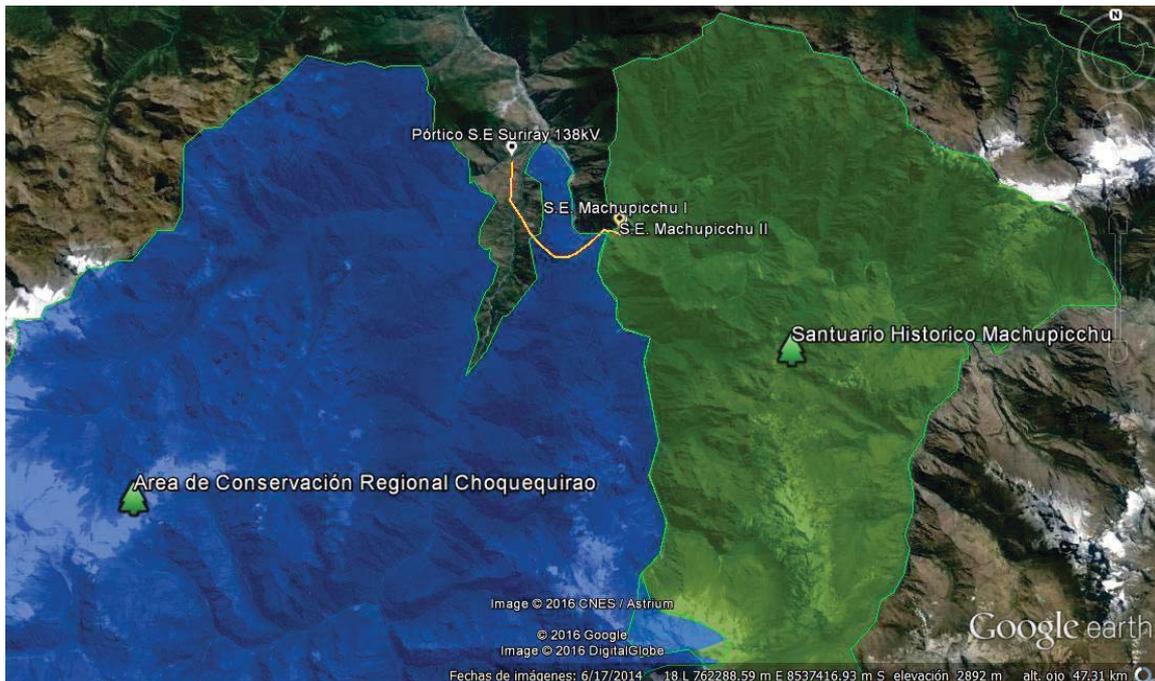
Figura 4. 12 Ubicación Geográfica



Fuente: Imágenes extraídas de Internet

Por otro lado la S.E. Machupicchu I, II y Suriray asociadas a este proyecto se encuentran dentro de la Zona de Amortiguamiento del Santuario Histórico de Machupicchu, y dentro del Área de Conservación Regional Choquequirao tal y como se aprecia en la Figura 4.13.

Figura 4. 13 Zonas Protegidas



Fuente: imágenes satelitales Google Earth.



#### 4.9.2. Características Climatológicas

La zona del estudio para la línea de 138 kV tiene una altitud promedio de 2080 msnm, las características climatológicas se muestran en la Tabla N° 4.16:

Tabla 4.16 Características Climatológicas - Machupicchu

| VARIABLE                    | VALOR | UNIDAD |
|-----------------------------|-------|--------|
| Temperatura mínima          | 14    | °C     |
| Temperatura media           | 22    | °C     |
| Temperatura máxima ambiente | 30    | °C     |
| Velocidad máxima del viento | 0.61  | m/s    |
| Humedad relativa promedio   | 68    | %      |
| Precipitación total anual   | 1324  | mm     |

Fuente: SENAMHI.

El clima de esta zona sub-tropical varía según la época del año, dada que su ubicación es en ceja de selva, las lluvias siempre están presentes en cualquier mes del año; como ligeras garúas que no son permanentes. La temperatura oscila entre los 8° C y 28° C; con temperaturas máximas de 19° C a 28° C y con temperaturas mínimas de 8° C a 13° C, aunque en las zonas altas pueden llegar a los 0° C<sup>29</sup>.

#### 4.9.3. Características del sistema

Las características técnicas más relevantes del sistema se presentan en la Tabla 4.17, que son datos obtenidos de la Ficha Técnica de la Línea de Transmisión 220 kV Machupicchu-Abancay-Cotaruse, elaborado por OSINERGMIN [2], así como del CNE-Suministro 2011 y el Anexo 1.1.1. Criterios de diseño de Sistemas de Transmisión<sup>30</sup>.

Tabla 4.17 Características técnicas principales

| DESCRIPCIÓN                  | UNIDAD | VALOR |
|------------------------------|--------|-------|
| <b>Potencia a transmitir</b> |        |       |
| Normal                       | MVA    | 250   |
| Contingencia                 | MVA    | 300   |
| Diseño                       | MVA    | 350   |

<sup>29</sup> Datos Históricos Aguas Calientes, Clima. (2015-2016). SENAMHI. Lima, Perú. Recuperado de [http://www.senamhi.gob.pe/include\\_mapas/\\_dat\\_esta\\_tipo.php?estaciones=000678](http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000678).

<sup>30</sup> COES-SINAC. (2013). Criterios y propuestas para la Coordinación de los Aislamientos, Anexo 1.1.1. Criterios de diseño de Sistemas de Transmisión, PR-20. Lima, Perú. Pág. 9.



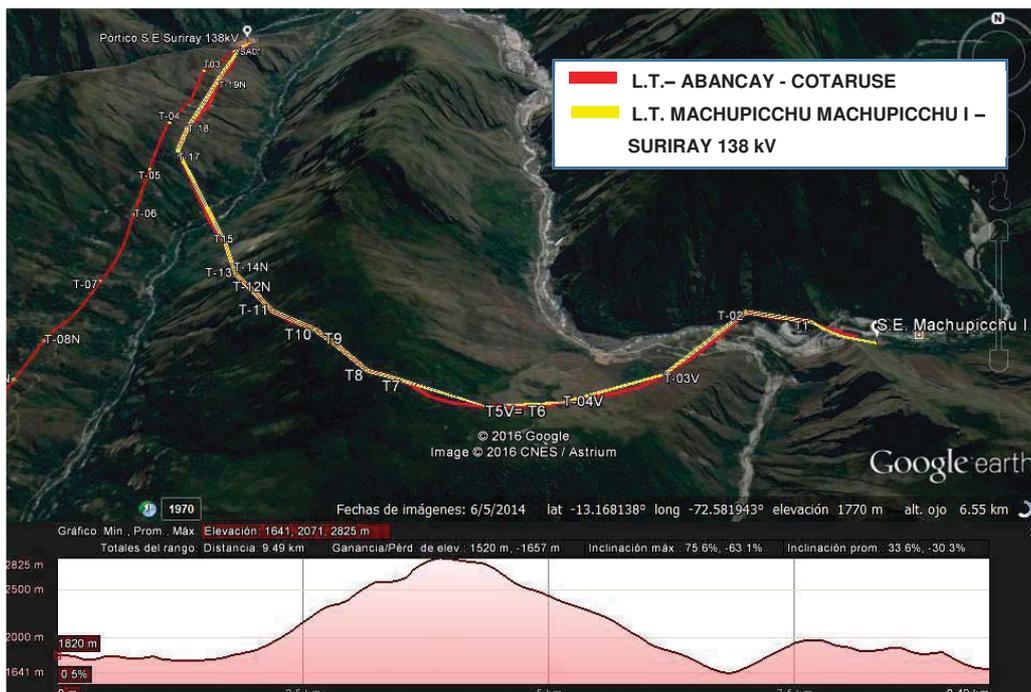
|                               |  |     |
|-------------------------------|--|-----|
| Emergencia durante 30 minutos | MVA  | 455 |
| Nivel de tensión              | kV   | 138 |
| Tensión asignada              | kV   | 145 |
| Frecuencia Eléctrica          | Hz   | 60  |
| Longitud aproximada           | km   | 10  |
| Zona de servidumbre           | m  | 20  |
| Número de Circuitos           | Dos circuitos  |     |
| Conductor de Fases            | ACAR   |     |
| Cable de guarda               | OPGW, 106 mm <sup>2</sup>                                  |     |
| Tipo de Estructura            | Estructuras en celosía autosoportadas de acero galvanizado |     |

Fuente: Recopilación propia de datos

#### 4.9.4. Descripción de trazo de ruta

El trazado de la línea de transmisión de 138 kV en color amarillo, que va desde la S.E. Machupicchu, hasta la nueva S.E. Suriray, está conformado por 19 vértices, los que se muestra en la Figura 4.14, cuyas coordenadas se puede encuentran en la Tabla 4.18. En la parte inferior de la misma imagen se visualiza también el perfil de elevación, que fue modelado en el programa DLTCAD.

Figura 4. 14 Trazo de ruta Machupicchu I - Suriray.



Fuente: imágenes satelitales Google Earth.

El Pórtico se localizó en la S.E. Machupicchu I, pasando al primer vértice sobre una pendiente fuerte del terreno y con afloramientos rocosos estables, donde la



empresa Luz del Sur anteriormente instaló torretas provisionales, la siguiente estructura T-01 se localiza cruzando el río Vilcanota.

El vértice de la estructura T-02 se ubica en un cerro alargado rocoso y estable, cerca de la zona conocida como Caminos del Inca, no hay afectación de este con la cimentación de la torre. De este punto se cruza nuevamente el río Vilcanota hacia la estructura T-03, la zona es plana, con cobertura vegetal compuesta por pastos.

El vértice T-04 se ubicó en una zona boscosa, amplia y estable, desde este los siguientes vértices van en ascenso entre la parte alta de cerros cruzando por riscos escarpados. A partir del T-11 comienza el tramo de descenso en busca del cruce del río Salkantay; el tramo entre estos vértices está conformado por medias laderas moderadas, estables, intercaladas con quebradas y cobertura vegetal de bosque a rastrojos altos y bajos a medida que va descendiendo.

Se ubicó el vértice T-17 al otro lado del río Salkantay, margen izquierda, y finalmente el T-19 se localizó en una zona estable, cercano a la S.E. Suriray, donde está el pórtico a 138 KV. El lote de la S.E. Suriray está localizado en una amplia meseta llamada potrero frente a la localidad de Santa Teresa.

*Tabla 4. 18 Coordenadas UTM de los vértices*

| VERTICES                          | ESTE     | NORTE   | COTA    |
|-----------------------------------|----------|---------|---------|
| <b>Pórtico S.E. Machupicchu I</b> | 764420.7 | 8542197 | 1824    |
| <b>V1</b>                         | 764272   | 8542285 | 1805    |
| <b>T-01</b>                       | 764008.3 | 8542393 | 1826.64 |
| <b>T-02</b>                       | 763580.8 | 8542481 | 1831.59 |
| <b>T-03</b>                       | 762957.8 | 8541975 | 2059.41 |
| <b>T-04</b>                       | 762279.7 | 8541482 | 2341.91 |
| <b>T-05</b>                       | 761861.1 | 8541311 | 2583.58 |
| <b>T-06</b>                       | 761404.2 | 8541364 | 2773.13 |
| <b>T-07</b>                       | 761279   | 8541379 | 2831.11 |
| <b>T-08</b>                       | 761092.3 | 8541573 | 2794.36 |
| <b>T-09</b>                       | 760967.1 | 8541703 | 2767.03 |
| <b>T-10</b>                       | 760627.6 | 8542056 | 2487.97 |
| <b>T-11</b>                       | 760448.8 | 8542307 | 2364.23 |
| <b>T-12</b>                       | 760257.1 | 8542577 | 2225.44 |
| <b>T-13</b>                       | 760198.2 | 8542709 | 2113.23 |
| <b>T-14</b>                       | 759984.5 | 8543188 | 1865.31 |
| <b>T-15</b>                       | 759461.9 | 8544108 | 1919.27 |
| <b>T-16</b>                       | 759489.6 | 8544342 | 1955.86 |



|                             |          |         |         |
|-----------------------------|----------|---------|---------|
| <b>T-17</b>                 | 759575.7 | 8545074 | 1881.08 |
| <b>T-18</b>                 | 759635.6 | 8545596 | 1810.14 |
| <b>T-19</b>                 | 759650.3 | 8545864 | 1680.21 |
| <b>Pórtico S.E. Suriray</b> | 759626.4 | 8545896 | 1681.19 |

*Fuente: Estudio de Operatividad de Proyecto Línea de Transmisión 220kV Machupicchu-*

*Abancay Nueva-Cotaruse*

#### 4.9.5. Faja de servidumbre

Teniendo en cuenta el CNE–Suministro 2011 [10], el ancho mínimo de la faja de servidumbre indicada en la Tabla 219, para la línea de transmisión con nivel de tensión igual a 138 kV, es de 20 m (10 m a ambos lados, en sentido transversal, del eje de la línea de transmisión).

Una vez constituida la faja de servidumbre se establecerán las siguientes restricciones:

Impedir que dentro del área de las servidumbres: i) se siembren árboles que con el transcurso del tiempo superen las distancias mínimas de seguridad indicadas en el CNE–Suministro 2011; ii) se construyan edificaciones que no cumplan con lo indicado en el artículo 220º del Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas; y, iii) se ejecuten obras que obstaculicen el libre ejercicio del derecho de servidumbre que el concesionario adquiera.

#### 4.9.6. Tipo De Estructura

La línea de transmisión constará de una estructura nueva instalada a la salida del pórtico de la S.E. Machupicchu I que será en simple terna, y 19 estructuras existente en doble terna, que pertenecen al tramo Machupicchu II – Suriray (L-1038), de la Línea de transmisión Machupicchu – Abancay – Cotaruse.

Ambos tipos de estructuras cuyos detalles se muestra en los Anexos C.14 y C.15, son en celosía metálica de acero galvanizado, resistente a la corrosión, de forma tronco piramidal, para un nivel de tensión de 138 kV.

#### 4.9.7. Datos técnicos del conductor

Las características técnicas más relevantes del conductor se presentan en la Tabla 4.19:



Tabla 4.19 Características Técnicas del conductor ACAR 1200 AWG

| Conductor     | Tensión de servicio Kv | Condición de operación | Temperatura Conductor °C | Capacidad del conductor |                |
|---------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|
|               |                        |                        |                          | Corriente (A)           | Potencia (MVA) |
| ACAR 1200 AWG | 138                    | Normal                 | 75                       | 987.32                  | 235.712777     |

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4.20 se muestran los parámetros eléctricos del conductor ACAR 1200 AWG, calculados en el programa DLTCAD:

Tabla 4. 20 Parámetros Eléctricos ACAR 1200 AWG

| PARAMETROS LONGITUDINALES |                     | PARAMETROS TRANSVERSALES   |                      |                            |
|---------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|
| Resistencia (ohms/km)     | Inductancia (Hr/km) | Conductancia (uSiemens/km) | Capacitancia (uF/km) | Susceptancia (uSiemens/km) |
| 0.0603                    | 0.009796            | 19975.614                  | 0.0022               | 0.82935                    |

| Impedancias      |                 | Admitancias        |                |
|------------------|-----------------|--------------------|----------------|
| (ohm/km)         | (ohm)           | (uSiemens/km)      | (uSiemens)     |
| 0.060300+j3.6929 | 0.5243+j32.1102 | 19975.614+j0.82935 | 173689+j7.2113 |

Fuente: Datos obtenidos DLTCAD

#### 4.9.8. Cable de guarda

El cable de guarda instalado en la línea L-1038 (Machupicchu II – Suriray) es del tipo OPGW de 24 fibras ópticas Monomodo ITU-T.G655, atenuación máxima 0.23 dB/km@1550 nm y 0.25 dB/km@1625 nm; la capa exterior es de hilos de aluminio y acero recubierto con aluminio. El máximo valor de corriente monofásica es de 14.5 kA para 138 kV.

#### 4.9.9. Estudios ambientales, arqueológicos y trámites ante el MINAM e INC

La Sociedad Concesionaria será responsable en todo lo relacionado a la construcción de accesos y el reconocimiento de costos respectivos a sus poseedores, para lo cual deberá ceñirse a las normas vigentes que corresponden.

Entre otras, la Sociedad Concesionaria será responsable de las siguientes actividades:



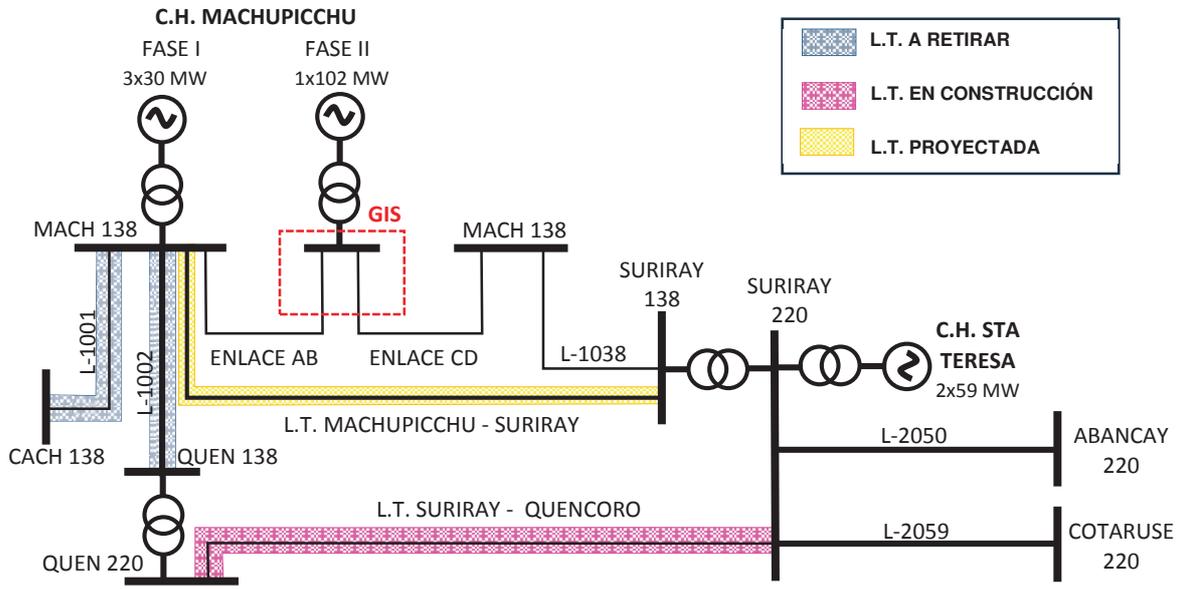
- Gestión de los derechos de servidumbre y el pago de las compensaciones a los propietarios o poseedores de los terrenos de la faja de servidumbre y de las vías de acceso. Incluye obtención de la resolución MEM del otorgamiento de la servidumbre de la línea.
- Obtención del CIRA (Certificación del Instituto Nacional de Cultura) – INC sobre afectación superficial a restos arqueológicos)
- Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y la aplicación del plan de monitoreo ambiental durante la ejecución de la obra, el mismo que será desarrollado dentro del marco legal vigente, además deberá tener la conformidad de las entidades públicas correspondientes en ambos casos.
- Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental de Desbosque (desbosque de la faja de servidumbre) hasta su conformidad regional y compensación económica y reforestación según lo señale la autoridad competente.
- Obtención de la Concesión Provisional y Definitiva de Transmisión Eléctrica.
- Coordinar con las empresas concesionarias de transmisión y/o distribución, comunicaciones u otros servicios y con todas aquellas que producto del trazo ocasiona cruces indeseados por encima.

#### **4.10. ANALISIS DE FLUJO DE LA INTERCONEXION EN OPERACIÓN NORMAL**

La nueva línea de la alternativa seleccionada transportará una potencia nominal de 250 MVA. El análisis de flujo de esta línea se realizará tomando como condición actual el ingreso de la línea de transmisión 220 kV Machupicchu – Quencoro – Onocora – Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 (Machupicchu – Cachimayo) y L-1002 (Machupicchu – Quencoro), así como se muestra en la Figura 4.15:



Figura 4. 15 Diagrama Unifilar en Condición Actual con incorporación de L.T. proyectada



Fuente: Elaboración Propia



## CAPITULO 5

### ESTUDIO DE OPERATIVIDAD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MACHUPICCHU I – SURIRAY 138 KV COMO ALTERNATIVA SELECCIONADA

#### 5.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se mostraran los resultados del estudio de operatividad de la alternativa seleccionada L.T Machupicchu I – Suriray 138 kV dentro del AOSE N° 13, en el cual se evalúa el comportamiento del sistema antes y después del ingreso de esta línea, para diferentes escenarios y estados de operación realizado a largo plazo en el periodo de 2018 – 2024. Dicho análisis estará regido bajo la normatividad que regula la operación del SEIN\*.

El estudio de operatividad con la entrada de esta línea, contemplará la incorporación de nuevas instalaciones previstas en el horizonte de estudio, tales como la C.H. Vilcanota (2019) y C.T. Quillabamba (2020).

#### 5.2. HORIZONTE Y ESCENARIOS DE ANALISIS

Para el estudio de operatividad de la línea se considerarán los años 2018, 2020, 2022 y 2024 como periodo de análisis, inicialmente sin la inclusión de la línea de transmisión al AOSE N° 13 y posteriormente con su ingreso al sistema, dicho análisis se realizará en los mismos escenarios tomados en cuenta en el Capítulo 3, que son:

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

#### 5.3. ANALISIS GENERAL DEL ESTUDIO

El análisis se realizará en estado estacionario, tomando en cuenta los siguientes estudios eléctricos:

---

\* Se detalla en el ítem 5.3.1 del presente capítulo.



- Análisis eléctricos de flujo de carga: para condiciones de red completa (N) en operación normal.
- Análisis eléctricos de flujo de carga: para condiciones de operación en contingencia (N-1).
- Análisis de Energización y efecto Ferranti.
- Análisis de Cortocircuito.
- Protecciones en la Línea de Trasmisión.

### 5.3.1. Normatividad.

Los documentos que regulan la operación del SEIN y sus integrantes, aplicados en este estudio, son referentes a la calidad y eficiencia del servicio brindado, asimismo en ellos se establece las obligaciones criterios y procedimientos que se deben seguir para la operación del sistema; relacionadas con la coordinación, supervisión y control de este, los cuales son:

- Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico NTCSE [23].
- Norma Técnica de Calidad de Operación en Tiempo Real de Sistemas Interconectados NTCOTRSI [24]
- Procedimiento Técnico: Ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el SEIN (PR-20) [14].

### 5.4. CRITERIOS GENERALES DE OPERACIÓN.

La operación de la línea a ingresar al SEIN, se realizará a través de los siguientes responsables [24]:

El Coordinador; a cargo del COES, es responsable de la coordinación de la operación de corto, mediano y largo plazo del Sistema, desde un centro de control e interactuará permanentemente con los Integrantes. La actividad de coordinación se desarrolla las 24 horas del día de todos los días del año.

Los integrantes del SEIN; que cuentan necesariamente con un Centro de Control para la operación de sus instalaciones; están obligados a cumplir las disposiciones del Coordinador, es responsable de operar físicamente sus



instalaciones, adquirir automáticamente información de su Sistema, coordinar e intercambiar información con el Coordinador.

#### **5.4.1. Operación en Estado Estacionario**

El estudio de operatividad en estado estacionario se realiza con el fin de observar las tensiones en las principales barras de la zona de estudio, la distribución de flujos de potencia a través de la red y la cargabilidad de los elementos de potencia, se simulan flujos de carga bajo condiciones de operación normal, así como en contingencia (N-1), en cada uno de estos casos los elementos que componen el sistema deben operar dentro de las siguientes condiciones:

- Según la NTCSE las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, es de hasta el  $\pm 5.0\%$  [23].
- Según la NTCOTRSI los niveles de tensión en las barras de carga del Sistema de Transmisión, en el Estado Normal, se debe mantener dentro de + 2,5% de su tensión de operación[24].
- No se permiten sobrecargas en líneas de transmisión ni en transformadores, en contingencia las líneas no deben superar el 20% de su potencia nominal durante un periodo de cuatro horas [14].

#### **5.4.2. Modelamiento de la L.T Machupicchu I – Suriray 138 kV dentro del AOSE N° 13.**

El software de simulación utilizado para modelar la configuración de la línea proyectada dentro del AOSE N° 13, es el programa DigSilent Power Factory 15.01, el cual permitirá analizar el comportamiento de todo el sistema ante el ingreso de nuevas instalaciones.

El modelamiento de esta nueva línea implica el ingreso de sus características técnicas generales a la base de datos de dicho programa vistas en el Anexo D.1, las cuales son:

- Tensión Nominal
- Corriente Nominal
- Frecuencia Nominal



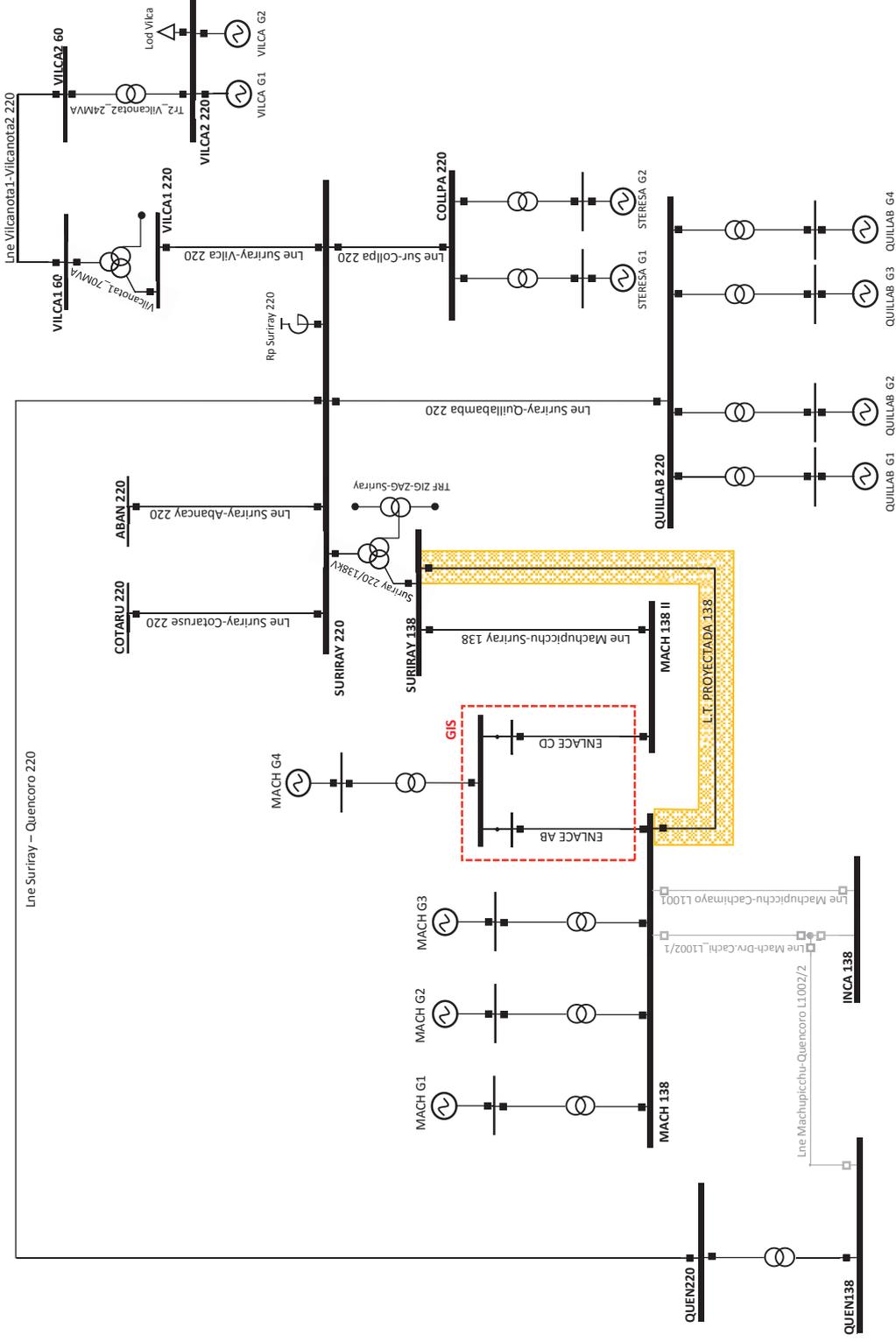
- Parámetros Longitudinales (Resistencia, Inductancia)
- Parámetros Transversales (Conductancia, Capacitancia y Susceptancia)
- Distancia de Línea

Es importante aclarar que los parámetros de esta línea fueron calculados por medio del programa DLTCAD 2010, los que se mostraron en el Capítulo 4 de esta tesis.

Finalmente, la topología resultante en el programa Power Factory DigSilent 15.01 se presenta en la Figura 5.1., donde se observa que el sistema está conformado por la línea proyectada Machupicchu I – Suriray 138 kV (color naranja), Subestaciones Eléctricas de Machupicchu I, II 138 kV, Suriray 220/138 kV, Quencoro 220/138 kV, Ccolpani 220 kV y las líneas de transmisión L-1038, L-2050, L-2059, Ccolpani-Suriray, Machupicchu-Quencoro-Onocora-Tintaya (color celeste) para el año 2018; a partir del 2020 se considerará también el ingreso de las Centrales de Generación Eléctrica de Quillabamba y Vilcanota (color verde).



Figura 5. 1 Diagrama Unifilar del nuevo AOSE N° 13



Fuente: Elaboración propia en base al programa Power Factory DigSilent 15.01



## 5.5. ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA.

### 5.5.1. Análisis en Estado de Operación Normal.

Se analizará el comportamiento de las líneas y barras eléctricas asociadas, tanto con la línea proyectada considerada dentro del Sistema como sin ella, tal como lo indica el procedimiento N°20 [14], para determinar si existe en el área de influencia del proyecto capacidad de tolerancia en diferentes condiciones de contingencia en la red. Se tomará en cuenta voltajes, potencia activa y reactiva, así como la corriente máxima, el porcentaje de cargabilidad y la caída de tensión propias de estas. Dichos valores serán analizados en los años 2018, 2020, 2022 y 2024, en época de avenida y estiaje en los escenarios de máxima y mínima demanda.

Los diagramas unifilares con el resultado de las simulaciones en operación normal son mostrados en el Anexo D.3.

#### 5.5.1.1. Año 2018

En la tabla 5.1 se muestran los resultados más relevantes del análisis de flujo de carga para el año 2018, sin y con la línea proyectada.

Tabla 5. 1 Resultado de Flujo de Carga 2018 sin y con Línea proyectada

| CASO                        | DESCRIPCION   | SIN LINEA |           |           |          |           |           | CON LINEA                |           |           |          |           |           |                          |
|-----------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|
|                             |               | L.T.      | TENSIONES |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | TENSIONES |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) |
|                             |               |           | Uli (kV)  | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          | Uli (kV)  | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          |
| Avenida Máxima Demanda 2018 | ENLACE AB     | 138.73    | 1.01      | 138.76    | 1.01     | 46.21     | -0.02     | 138.60                   | 1.00      | 138.60    | 1.00     | 1.81      | 0.00      |                          |
|                             | ENLACE CD     | 138.73    | 1.01      | 138.70    | 1.01     | 99.63     | 0.02      | 138.60                   | 1.00      | 138.58    | 1.00     | 54.81     | 0.01      |                          |
|                             | LÍNEA L-1038  | 138.16    | 1.00      | 138.70    | 1.01     | 72.42     | -0.39     | 138.25                   | 1.00      | 138.58    | 1.00     | 39.86     | -0.24     |                          |
|                             | L. PROYECTADA |           |           |           |          |           |           | 138.60                   | 1.00      | 138.25    | 1.00     | 32.75     | 0.25      |                          |
|                             | LÍNEA L-2049  | 219.88    | 1.00      | 219.99    | 1.00     | 21.41     | -0.05     | 219.41                   | 1.00      | 219.52    | 1.00     | 21.61     | -0.05     |                          |
|                             | LÍNEA L-2050  | 219.88    | 1.00      | 216.72    | 0.99     | 46.82     | 1.44      | 219.41                   | 1.00      | 216.65    | 0.98     | 33.35     | 1.25      |                          |
|                             | LÍNEA L-2059  | 219.88    | 1.00      | 222.21    | 1.01     | 30.62     | -1.06     | 219.41                   | 1.00      | 221.52    | 1.01     | 18.06     | -0.96     |                          |
| LÍNEA NUEVA                 | 219.88        | 1.00      | 218.09    | 0.99      | 40.51    | 0.81      | 219.41    | 1.00                     | 218.60    | 0.99      | 34.88    | 0.37      |           |                          |
| Avenida Mínima Demanda 2018 | ENLACE AB     | 137.99    | 1.00      | 138.02    | 1.00     | 46.43     | -0.02     | 138.05                   | 1.00      | 138.05    | 1.00     | 2.07      | 0.00      |                          |
|                             | ENLACE CD     | 137.99    | 1.00      | 137.96    | 1.00     | 99.88     | 0.02      | 138.05                   | 1.00      | 138.03    | 1.00     | 54.81     | 0.01      |                          |
|                             | LÍNEA L-1038  | 137.42    | 1.00      | 137.96    | 1.00     | 72.60     | -0.39     | 137.73                   | 1.00      | 138.03    | 1.00     | 39.85     | -0.22     |                          |
|                             | L. PROYECTADA |           |           |           |          |           |           | 138.05                   | 1.00      | 137.73    | 1.00     | 32.74     | 0.23      |                          |
|                             | LÍNEA L-2049  | 218.69    | 0.99      | 218.73    | 0.99     | 20.91     | -0.02     | 218.88                   | 0.99      | 218.92    | 1.00     | 20.88     | -0.02     |                          |
|                             | LÍNEA L-2050  | 218.69    | 0.99      | 216.95    | 0.99     | 33.96     | 0.79      | 218.88                   | 0.99      | 217.10    | 0.99     | 33.97     | 0.81      |                          |
|                             | LÍNEA L-2059  | 218.69    | 0.99      | 220.69    | 1.00     | 22.72     | -0.91     | 218.88                   | 0.99      | 220.74    | 1.00     | 22.66     | -0.84     |                          |
| LÍNEA NUEVA                 | 218.69        | 0.99      | 219.88    | 1.00      | 34.58    | -0.54     | 218.88    | 0.99                     | 220.00    | 1.00      | 34.55    | -0.51     |           |                          |
| Estiaje Máxima Demanda 2018 | ENLACE AB     | 137.23    | 0.99      | 137.26    | 0.99     | 42.19     | -0.02     | 137.24                   | 0.99      | 137.23    | 0.99     | 2.16      | 0.00      |                          |
|                             | ENLACE CD     | 137.23    | 0.99      | 137.19    | 0.99     | 96.97     | 0.03      | 137.24                   | 0.99      | 137.22    | 0.99     | 53.32     | 0.02      |                          |
|                             | LÍNEA L-1038  | 136.31    | 0.99      | 137.19    | 0.99     | 70.52     | -0.64     | 136.72                   | 0.99      | 137.22    | 0.99     | 38.80     | -0.36     |                          |
|                             | L. PROYECTADA |           |           |           |          |           |           | 137.23                   | 0.99      | 136.72    | 0.99     | 31.81     | 0.37      |                          |

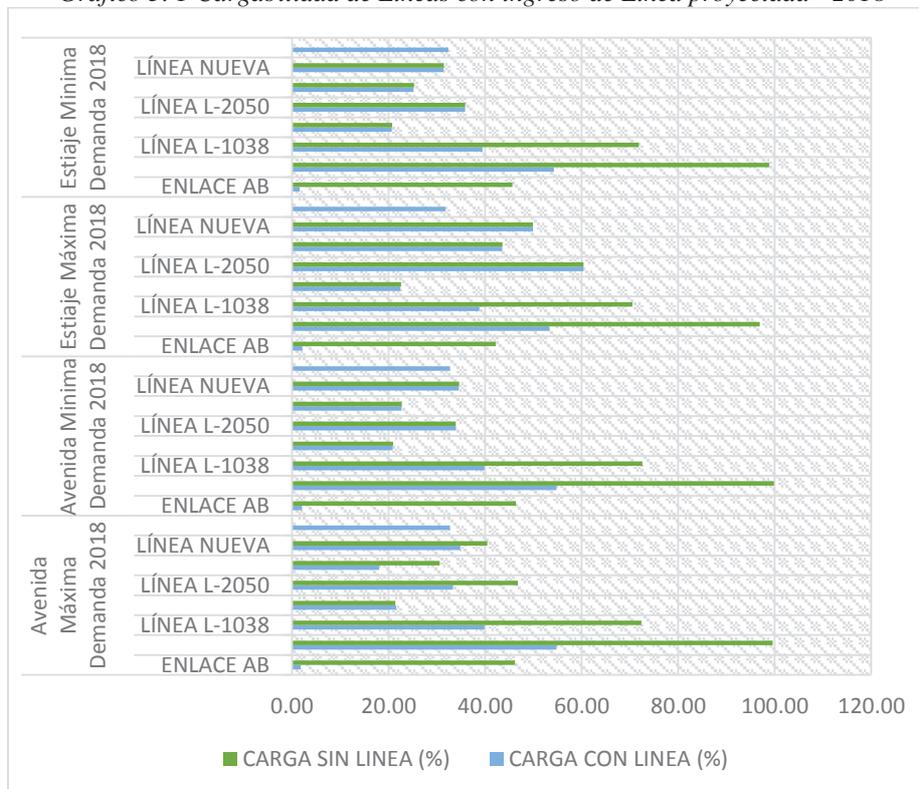


|                             |               |        |      |        |      |              |       |        |      |        |      |       |       |
|-----------------------------|---------------|--------|------|--------|------|--------------|-------|--------|------|--------|------|-------|-------|
| Estiaje Mínima Demanda 2018 | LÍNEA L-2049  | 214.48 | 0.97 | 214.63 | 0.98 | 22.60        | -0.07 | 214.76 | 0.98 | 214.90 | 0.98 | 22.45 | -0.07 |
|                             | LÍNEA L-2050  | 214.48 | 0.97 | 211.84 | 0.96 | 60.42        | 1.20  | 214.76 | 0.98 | 212.05 | 0.96 | 60.38 | 1.23  |
|                             | LÍNEA L-2059  | 214.48 | 0.97 | 220.75 | 1.00 | 43.62        | -2.85 | 214.76 | 0.98 | 220.81 | 1.00 | 43.53 | -2.75 |
|                             | LÍNEA NUEVA   | 214.48 | 0.97 | 212.98 | 0.97 | 49.97        | 0.68  | 214.76 | 0.98 | 213.17 | 0.97 | 49.92 | 0.72  |
|                             | ENLACE AB     | 138.69 | 1.00 | 138.71 | 1.01 | 45.69        | -0.02 | 138.74 | 1.01 | 138.74 | 1.01 | 1.57  | 0.00  |
|                             | ENLACE CD     | 138.69 | 1.00 | 138.66 | 1.00 | <b>98.88</b> | 0.02  | 138.74 | 1.01 | 138.73 | 1.01 | 54.26 | 0.01  |
|                             | LÍNEA L-1038  | 138.10 | 1.00 | 138.66 | 1.00 | 71.88        | -0.41 | 138.41 | 1.00 | 138.73 | 1.01 | 39.46 | -0.23 |
|                             | L. PROYECTADA |        |      |        |      |              |       | 138.74 | 1.01 | 138.41 | 1.00 | 32.42 | 0.24  |
|                             | LÍNEA L-2049  | 219.60 | 1.00 | 219.65 | 1.00 | 20.73        | -0.02 | 219.81 | 1.00 | 219.85 | 1.00 | 20.69 | -0.02 |
|                             | LÍNEA L-2050  | 219.60 | 1.00 | 217.83 | 0.99 | 35.86        | 0.81  | 219.81 | 1.00 | 217.98 | 0.99 | 35.87 | 0.83  |
|                             | LÍNEA L-2059  | 219.60 | 1.00 | 221.75 | 1.01 | 25.29        | -0.98 | 219.81 | 1.00 | 221.80 | 1.01 | 25.23 | -0.90 |
|                             | LÍNEA NUEVA   | 219.60 | 1.00 | 220.74 | 1.00 | 31.44        | -0.52 | 219.81 | 1.00 | 220.87 | 1.00 | 31.41 | -0.48 |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

En el Gráfico 5.1, se muestra el análisis de cargabilidad con los datos de la Tabla 5.1, de las líneas asociadas en operación normal, para los diferentes escenarios, con y sin el ingreso de la línea proyectada. Por tanto, se observa que del análisis efectuado sin la línea proyectada en los escenarios mencionados, se presentan cargabilidades en el enlace CD con valores de: 99.63%, 99.88%, 96.97% y 98.88% respectivamente, al incorporarse esta línea, las cargabilidades elevadas del enlace CD disminuyen considerablemente.

Gráfico 5.1 Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2018



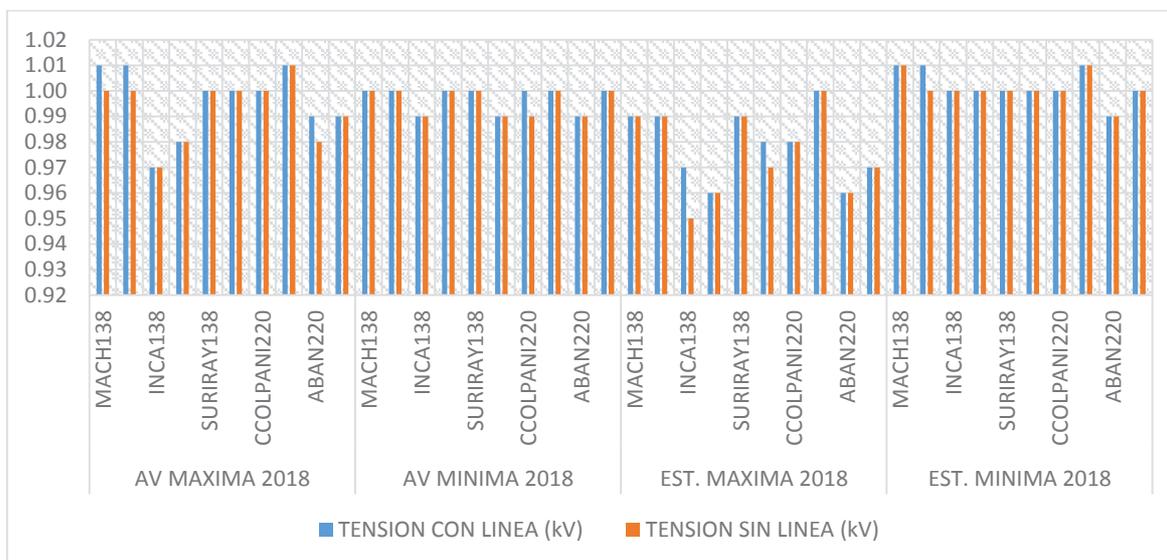
Fuente: Datos de la Tabla 5.1



En el gráfico 5.2 se observa que en los 4 escenarios las tensiones (p.u.) calculadas con y sin el ingreso de la línea proyectada, oscilan entre los valores de 0.95 a 1.01 p.u. resultados que se pueden apreciar en el Anexo D.2.

En el caso de la barra INCA138 en el escenario de estiaje máxima avenida, llega a un valor cercano al límite normado (0.95 p.u.) y con el ingreso de la línea proyectada se eleva la tensión a 0.97 p.u. mejorando los perfiles de tensión de este sistema.

Gráfico 5. 2 Perfiles de Tensión en barra con/sin línea proyectada - 2018



Fuente: Datos del Anexo D.2

### 5.5.1.2. Año 2020

A partir de este año se considera el ingreso al AOSE N° 13 del SEIN, las Centrales Generadoras de Quillabamba y Vilcanota para el análisis respectivo. En la Tabla 5.2 se muestran los resultados más relevantes del análisis de flujo de carga para el año 2020, sin y con la línea proyectada.

Tabla 5. 2 Resultado de Flujo de Carga 2020 sin y con Línea proyectada

| CASO                        | DESCRIPCION<br>L.T. | SIN LINEA         |           |          |           |           |                          | CON LINEA         |           |          |           |           |                          |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|
|                             |                     | TENSION EN BARRAS |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | TENSION EN BARRAS |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) |
|                             |                     | Uli (kV)          | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          | Uli (kV)          | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          |
| Avenida Máxima Demanda 2020 | ENLACE AB           | 138.63            | 1.00      | 138.65   | 1.00      | 42.31     | -0.02                    | 138.68            | 1.00      | 138.67   | 1.00      | 2.44      | 0.00                     |
|                             | ENLACE CD           | 138.63            | 1.00      | 138.60   | 1.00      | 97.20     | 0.02                     | 138.68            | 1.00      | 138.66   | 1.00      | 53.40     | 0.01                     |
|                             | Línea L-1038        | 138.10            | 1.00      | 138.60   | 1.00      | 70.65     | -0.36                    | 138.38            | 1.00      | 138.66   | 1.00      | 38.82     | -0.20                    |
|                             | L.T. Proyec         |                   |           |          |           |           |                          | 138.67            | 1.00      | 138.38   | 1.00      | 31.82     | 0.21                     |
|                             | Línea L-2049        | 219.95            | 1.00      | 220.06   | 1.00      | 20.59     | -0.05                    | 220.09            | 1.00      | 220.20   | 1.00      | 20.53     | -0.05                    |



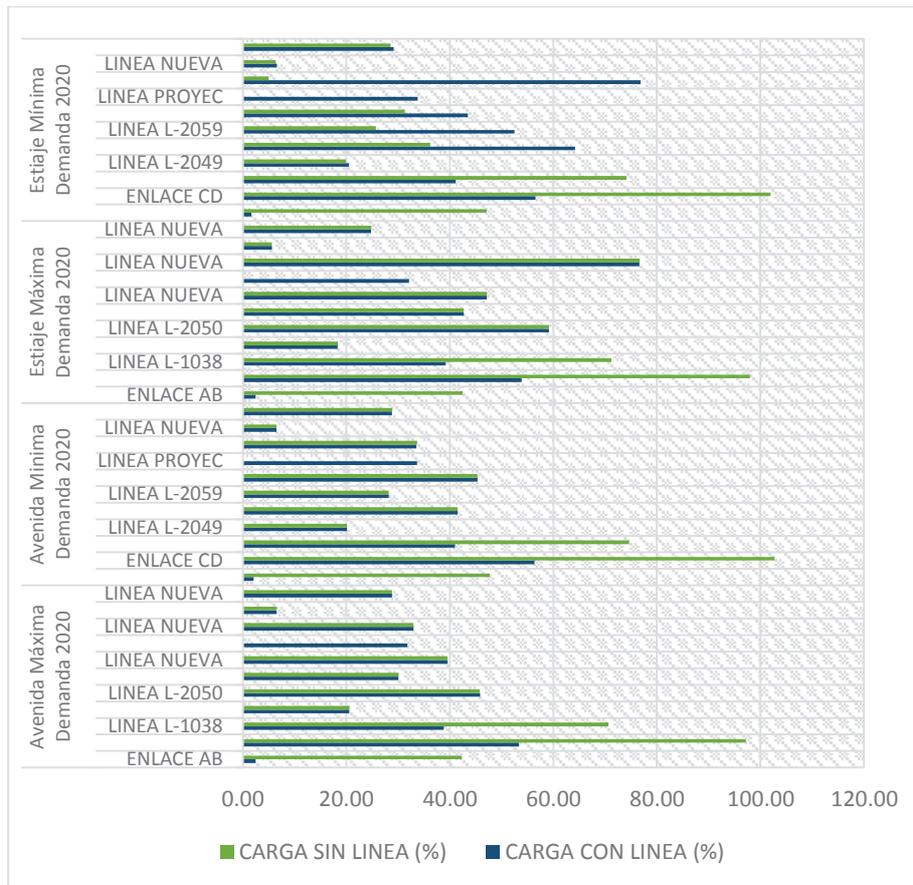
|                             |              |        |        |        |       |        |        |        |        |        |       |       |       |
|-----------------------------|--------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Avenida Mínima Demanda 2020 | Línea L-2050 | 219.95 | 1.00   | 216.98 | 0.99  | 45.80  | 1.35   | 220.09 | 1.00   | 217.09 | 0.99  | 45.82 | 1.37  |
|                             | Línea L-2059 | 219.95 | 1.00   | 222.64 | 1.01  | 30.10  | -1.22  | 220.09 | 1.00   | 222.67 | 1.01  | 30.07 | -1.17 |
|                             | L SUR-QUEN   | 219.95 | 1.00   | 218.02 | 0.99  | 39.57  | 0.88   | 220.09 | 1.00   | 218.11 | 0.99  | 39.55 | 0.90  |
|                             | L SUR-QUILL  | 219.95 | 1.00   | 221.22 | 1.01  | 33.00  | -0.58  | 220.09 | 1.00   | 221.31 | 1.01  | 32.95 | -0.56 |
|                             | L SUR-VIL    | 219.95 | 1.00   | 220.03 | 1.00  | 6.49   | -0.04  | 220.09 | 1.00   | 220.17 | 1.00  | 6.48  | -0.04 |
|                             | ENLACE AB    | 137.88 | 1.00   | 137.91 | 1.00  | 47.73  | -0.02  | 137.92 | 1.00   | 137.93 | 1.00  | 2.06  | 0.00  |
|                             | ENLACE CD    | 137.88 | 1.00   | 137.85 | 1.00  | 102.71 | 0.02   | 137.92 | 1.00   | 137.91 | 1.00  | 56.38 | 0.01  |
|                             | Línea L-1038 | 137.28 | 0.99   | 137.85 | 1.00  | 74.66  | -0.41  | 137.59 | 1.00   | 137.91 | 1.00  | 40.99 | -0.23 |
|                             | L.T. Proyec  |        |        |        |       |        |        | 137.93 | 1.00   | 137.59 | 1.00  | 33.67 | 0.24  |
|                             | Línea L-2049 | 218.44 | 0.99   | 218.49 | 0.99  | 20.11  | -0.02  | 218.61 | 0.99   | 218.65 | 0.99  | 20.08 | -0.02 |
| Línea L-2050                | 218.44       | 0.99   | 216.32 | 0.98   | 41.48 | 0.96   | 218.61 | 0.99   | 216.45 | 0.98   | 41.49 | 0.98  |       |
| Línea L-2059                | 218.44       | 0.99   | 220.19 | 1.00   | 28.21 | -0.79  | 218.61 | 0.99   | 220.22 | 1.00   | 28.18 | -0.74 |       |
| L SUR-QUEN                  | 218.44       | 0.99   | 217.76 | 0.99   | 45.37 | 0.31   | 218.61 | 0.99   | 217.87 | 0.99   | 45.36 | 0.34  |       |
| L SUR-QUILL                 | 218.44       | 0.99   | 220.29 | 1.00   | 33.64 | -0.84  | 218.61 | 0.99   | 220.39 | 1.00   | 33.56 | -0.81 |       |
| L SUR-VIL                   | 218.44       | 0.99   | 218.52 | 0.99   | 6.48  | -0.03  | 218.61 | 0.99   | 218.68 | 0.99   | 6.47  | -0.03 |       |
| Estiaje Máxima Demanda 2020 | ENLACE AB    | 138.02 | 1.00   | 138.05 | 1.00  | 42.49  | -0.02  | 138.04 | 1.00   | 138.04 | 1.00  | 2.47  | 0.00  |
|                             | ENLACE CD    | 138.02 | 1.00   | 137.99 | 1.00  | 97.99  | 0.02   | 138.04 | 1.00   | 138.02 | 1.00  | 53.86 | 0.01  |
|                             | Línea L-1038 | 137.33 | 1.00   | 137.99 | 1.00  | 71.24  | -0.48  | 137.65 | 1.00   | 138.02 | 1.00  | 39.17 | -0.27 |
|                             | L.T. Proyec  |        |        |        |       |        |        | 138.04 | 1.00   | 137.65 | 1.00  | 32.11 | 0.28  |
|                             | Línea L-2049 | 217.67 | 0.99   | 217.76 | 0.99  | 18.34  | -0.04  | 217.83 | 0.99   | 217.91 | 0.99  | 18.29 | -0.04 |
|                             | Línea L-2050 | 217.67 | 0.99   | 214.67 | 0.98  | 59.14  | 1.36   | 217.83 | 0.99   | 214.77 | 0.98  | 59.14 | 1.39  |
|                             | Línea L-2059 | 217.67 | 0.99   | 222.38 | 1.01  | 42.69  | -2.14  | 217.83 | 0.99   | 222.41 | 1.01  | 42.65 | -2.08 |
|                             | L SUR-QUEN   | 217.67 | 0.99   | 215.32 | 0.98  | 47.14  | 1.07   | 217.83 | 0.99   | 215.41 | 0.98  | 47.13 | 1.10  |
|                             | L SUR-QUILL  | 219.84 | 1.00   | 217.67 | 0.99  | 76.67  | 0.99   | 219.94 | 1.00   | 217.83 | 0.99  | 76.61 | 0.96  |
|                             | L SUR-VIL    | 217.67 | 0.99   | 217.75 | 0.99  | 5.62   | -0.04  | 217.83 | 0.99   | 217.91 | 0.99  | 5.61  | -0.03 |
| Estiaje Mínima Demanda 2020 | ENLACE AB    | 138.73 | 1.01   | 138.76 | 1.01  | 47.11  | -0.02  | 138.08 | 1.00   | 138.07 | 1.00  | 1.63  | 0.00  |
|                             | ENLACE CD    | 138.73 | 1.01   | 138.70 | 1.01  | 101.97 | 0.02   | 138.08 | 1.00   | 138.06 | 1.00  | 56.57 | 0.01  |
|                             | Línea L-1038 | 138.16 | 1.00   | 138.70 | 1.01  | 74.12  | -0.39  | 137.65 | 1.00   | 138.06 | 1.00  | 41.15 | -0.29 |
|                             | L.T. Proyec  |        |        |        |       |        |        | 138.07 | 1.00   | 137.65 | 1.00  | 33.80 | 0.31  |
|                             | Línea L-2049 | 219.98 | 1.00   | 220.02 | 1.00  | 19.94  | -0.02  | 217.64 | 0.99   | 217.72 | 0.99  | 20.50 | -0.04 |
|                             | Línea L-2050 | 219.98 | 1.00   | 218.05 | 0.99  | 36.22  | 0.88   | 217.64 | 0.99   | 215.02 | 0.98  | 64.20 | 1.19  |
|                             | Línea L-2059 | 219.98 | 1.00   | 221.48 | 1.01  | 25.67  | -0.68  | 217.64 | 0.99   | 221.18 | 1.01  | 52.47 | -1.61 |
|                             | L SUR-QUEN   | 219.98 | 1.00   | 220.98 | 1.00  | 31.30  | -0.45  | 217.64 | 0.99   | 217.74 | 0.99  | 43.48 | -0.05 |
|                             | L SUR-QUILL  | 220.74 | 1.00   | 219.98 | 1.00  | 5.01   | 0.35   | 218.65 | 0.99   | 217.64 | 0.99  | 76.84 | 0.46  |
|                             | L SUR-VIL    | 219.98 | 1.00   | 220.04 | 1.00  | 6.38   | -0.02  | 217.64 | 0.99   | 217.72 | 0.99  | 6.55  | -0.04 |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

En el Gráfico 5.3, se muestra el análisis de cargabilidad con los datos de la Tabla 5.2, de las líneas asociadas en operación normal, para los diferentes escenarios, con y sin el ingreso de la línea proyectada. Por tanto, se observa que del análisis efectuado sin la línea proyectada en los escenarios mencionados, se presentan cargabilidades en el enlace CD con valores de: 97.20%, 102.71%, 97.99% y 101.97% respectivamente, al incorporarse esta línea, las cargabilidades elevadas del enlace CD disminuyen considerablemente.



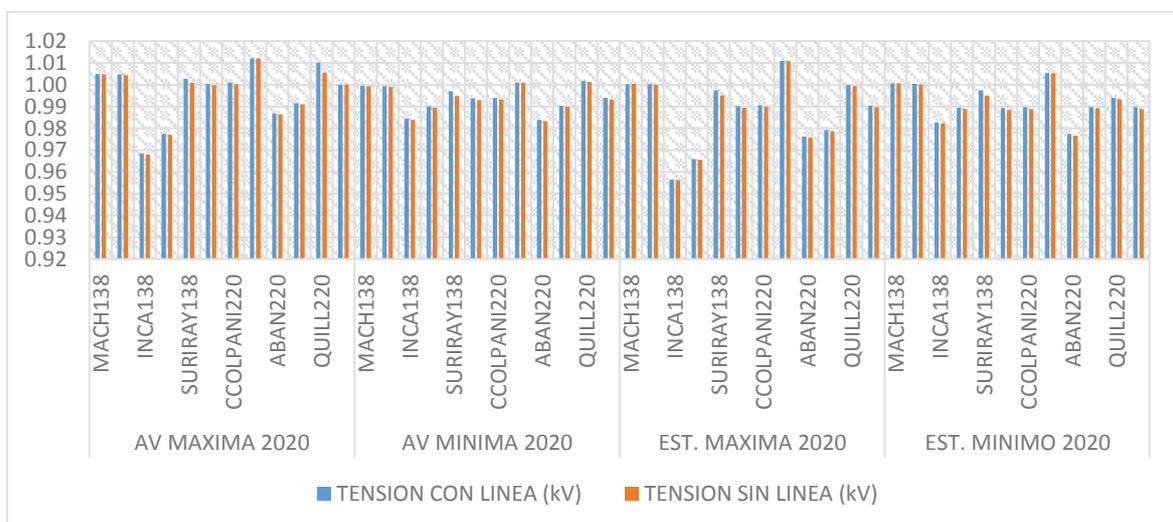
Gráfico 5. 3. Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2020



Fuente: Datos de la Tabla 5.2

En el gráfico 5.4 se observa que en los 4 escenarios las tensiones (p.u.) calculadas con y sin el ingreso de la línea proyectada, están en el rango de valores de 0.97 y 1.01 p.u., resultados que se pueden apreciar en el Anexo D.2.

Gráfico 5. 4 Perfiles de Tensión con/sin línea proyectada - 2020



Fuente: Datos del Anexo D.2



### 5.5.1.3. Año 2022

Del mismo modo que el ítem anterior, para este año se considera el ingreso de las Centrales Generadoras de Quillabamba y Vilcanota. En la Tabla 5.3 se muestran los resultados más relevantes del análisis de flujo de carga para el año 2022, sin y con la línea proyectada.

Tabla 5. 3 Resultado de Flujo de Carga 2022 sin y con Línea proyectada

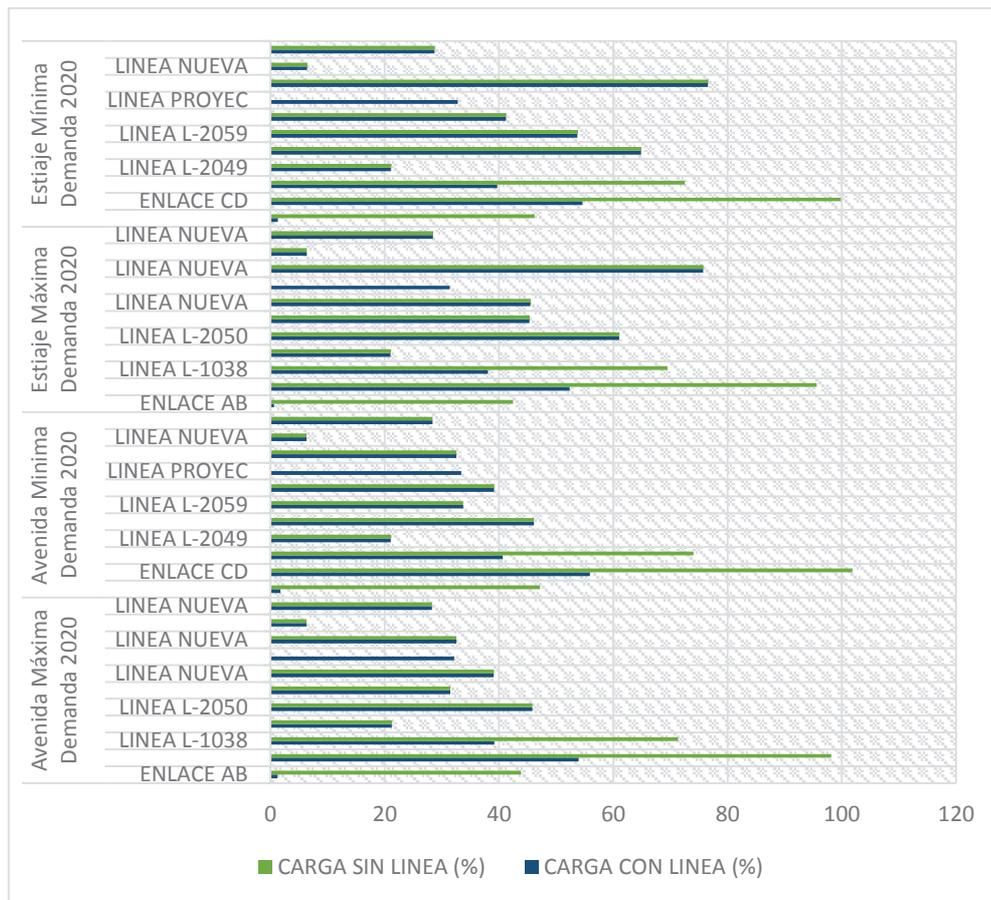
| CASO                        | DESCRIPCIÓN   | SIN LINEA         |           |          |           |           |                          | CON LINEA         |           |          |           |           |                          |
|-----------------------------|---------------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|
|                             |               | TENSION EN BARRAS |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | TENSION EN BARRAS |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) |
|                             |               | Uli (kV)          | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          | Uli (kV)          | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          |
| Avenida Máxima Demanda 2022 | ENLACE AB     | 138.02            | 1.00      | 138.05   | 1.00      | 43.80     | -0.02                    | 138.07            | 1.00      | 138.07   | 1.00      | 1.23      | 0.00                     |
|                             | ENLACE CD     | 138.02            | 1.00      | 137.99   | 1.00      | 98.16     | 0.02                     | 138.07            | 1.00      | 138.05   | 1.00      | 53.91     | 0.01                     |
|                             | LINEA L-1038  | 137.50            | 1.00      | 137.99   | 1.00      | 71.35     | -0.36                    | 137.78            | 1.00      | 138.05   | 1.00      | 39.20     | -0.20                    |
|                             | LINEA PROYEC. |                   |           |          |           |           |                          | 138.07            | 1.00      | 137.78   | 1.00      | 32.14     | 0.21                     |
|                             | LINEA L-2049  | 222.36            | 1.01      | 222.44   | 1.01      | 21.26     | -0.04                    | 222.51            | 1.01      | 222.59   | 1.01      | 21.21     | -0.04                    |
|                             | LINEA L-2050  | 222.36            | 1.01      | 219.33   | 1.00      | 45.84     | 1.38                     | 222.51            | 1.01      | 219.44   | 1.00      | 45.86     | 1.40                     |
|                             | LINEA L-2059  | 222.36            | 1.01      | 223.83   | 0.99      | 31.48     | 1.60                     | 222.51            | 1.01      | 223.86   | 0.99      | 31.46     | 1.65                     |
|                             | L SUR-QUEN    | 222.36            | 1.01      | 219.48   | 1.00      | 39.10     | 1.31                     | 222.51            | 1.01      | 219.58   | 1.00      | 39.09     | 1.33                     |
|                             | L SUR-QUILL   | 222.36            | 1.01      | 222.73   | 1.01      | 32.54     | -0.17                    | 222.51            | 1.01      | 222.82   | 1.01      | 32.54     | -0.14                    |
| L SUR-VIL                   | 222.36        | 1.01              | 222.42    | 1.01     | 6.31      | -0.02     | 222.51                   | 1.01              | 222.56    | 1.01     | 6.30      | -0.02     |                          |
| Avenida Mínima Demanda 2022 | ENLACE AB     | 137.53            | 1.00      | 137.55   | 1.00      | 47.16     | -0.02                    | 137.59            | 1.00      | 137.58   | 1.00      | 1.71      | 0.00                     |
|                             | ENLACE CD     | 137.53            | 1.00      | 137.50   | 1.00      | 101.86    | 0.02                     | 137.59            | 1.00      | 137.57   | 1.00      | 55.90     | 0.01                     |
|                             | LINEA L-1038  | 137.01            | 0.99      | 137.50   | 1.00      | 74.03     | -0.36                    | 137.29            | 0.99      | 137.57   | 1.00      | 40.63     | -0.20                    |
|                             | LINEA PROYEC. |                   |           |          |           |           |                          | 137.58            | 1.00      | 137.29   | 0.99      | 33.38     | 0.21                     |
|                             | LINEA L-2049  | 221.76            | 1.01      | 221.81   | 1.01      | 21.08     | -0.02                    | 221.91            | 1.01      | 221.96   | 1.01      | 21.06     | -0.02                    |
|                             | LINEA L-2050  | 221.76            | 1.01      | 218.92   | 1.00      | 46.10     | 1.29                     | 221.91            | 1.01      | 219.04   | 1.00      | 46.12     | 1.31                     |
|                             | LINEA L-2059  | 221.76            | 1.01      | 221.39   | 0.98      | 33.74     | 2.41                     | 221.91            | 1.01      | 221.42   | 0.98      | 33.72     | 2.46                     |
|                             | L SUR-QUEN    | 221.76            | 1.01      | 221.26   | 1.01      | 39.17     | 0.23                     | 221.91            | 1.01      | 221.36   | 1.01      | 39.15     | 0.25                     |
|                             | L SUR-QUILL   | 221.76            | 1.01      | 222.36   | 1.01      | 32.54     | -0.27                    | 221.91            | 1.01      | 222.45   | 1.01      | 32.54     | -0.24                    |
| L SUR-VIL                   | 221.76        | 1.01              | 221.80    | 1.01     | 6.31      | -0.02     | 221.91                   | 1.01              | 221.94    | 1.01     | 6.30      | -0.02     |                          |
| Estiaje Máxima Demanda 2022 | ENLACE AB     | 138.90            | 1.01      | 138.92   | 1.01      | 42.46     | -0.02                    | 139.34            | 1.01      | 139.34   | 1.01      | 0.59      | 0.00                     |
|                             | ENLACE CD     | 138.90            | 1.01      | 138.87   | 1.01      | 95.63     | 0.02                     | 139.34            | 1.01      | 139.32   | 1.01      | 52.35     | 0.01                     |
|                             | LINEA L-1038  | 138.40            | 1.00      | 138.87   | 1.01      | 69.51     | -0.34                    | 139.07            | 1.01      | 139.32   | 1.01      | 38.06     | -0.18                    |
|                             | LINEA PROYEC. |                   |           |          |           |           |                          | 139.34            | 1.01      | 139.07   | 1.01      | 31.37     | 0.19                     |
|                             | LINEA L-2049  | 220.57            | 1.00      | 220.67   | 1.00      | 21.11     | -0.04                    | 220.93            | 1.00      | 221.02   | 1.00      | 20.99     | -0.04                    |
|                             | LINEA L-2050  | 220.57            | 1.00      | 218.92   | 1.00      | 61.10     | 0.75                     | 220.93            | 1.00      | 219.20   | 1.00      | 61.02     | 0.79                     |
|                             | LINEA L-2059  | 220.57            | 1.00      | 220.32   | 0.98      | 45.40     | 2.34                     | 220.93            | 1.00      | 220.40   | 0.98      | 45.30     | 2.47                     |
|                             | L SUR-QUEN    | 220.57            | 1.00      | 217.24   | 0.99      | 45.52     | 1.51                     | 220.93            | 1.00      | 217.48   | 0.99      | 45.47     | 1.57                     |
|                             | L SUR-QUILL   | 220.57            | 1.00      | 221.66   | 1.01      | 75.81     | -0.50                    | 220.93            | 1.00      | 221.89   | 1.01      | 75.75     | -0.43                    |
| L SUR-VIL                   | 220.57        | 1.00              | 220.62    | 1.00     | 6.35      | -0.02     | 220.93                   | 1.00              | 220.98    | 1.00     | 6.33      | -0.02     |                          |
| Estiaje Mínima Demanda 2022 | ENLACE AB     | 137.67            | 1.00      | 137.69   | 1.00      | 46.22     | -0.02                    | 138.12            | 1.00      | 138.12   | 1.00      | 1.28      | 0.00                     |
|                             | ENLACE CD     | 137.67            | 1.00      | 137.64   | 1.00      | 99.82     | 0.02                     | 138.12            | 1.00      | 138.10   | 1.00      | 54.60     | 0.01                     |
|                             | LINEA L-1038  | 137.18            | 0.99      | 137.64   | 1.00      | 72.55     | -0.33                    | 138.12            | 1.00      | 137.86   | 1.00      | 32.74     | 0.19                     |
|                             | LINEA PROYEC. |                   |           |          |           |           |                          | 137.86            | 1.00      | 138.10   | 1.00      | 39.69     | -0.18                    |
|                             | LINEA L-2049  | 218.87            | 0.99      | 218.95   | 1.00      | 21.15     | -0.04                    | 219.24            | 1.00      | 219.32   | 1.00      | 21.03     | -0.04                    |
|                             | LINEA L-2050  | 218.87            | 0.99      | 215.93   | 0.98      | 64.93     | 1.33                     | 219.24            | 1.00      | 216.22   | 0.98      | 64.87     | 1.37                     |
|                             | LINEA L-2059  | 218.87            | 0.99      | 221.39   | 0.98      | 53.81     | 1.09                     | 219.24            | 1.00      | 221.47   | 0.98      | 53.70     | 1.22                     |
|                             | L SUR-QUEN    | 218.87            | 0.99      | 218.65   | 0.99      | 41.26     | 0.10                     | 219.24            | 1.00      | 218.94   | 1.00      | 41.20     | 0.14                     |
|                             | L SUR-QUILL   | 218.87            | 0.99      | 219.43   | 1.00      | 76.64     | -0.25                    | 219.24            | 1.00      | 219.66   | 1.00      | 76.59     | -0.19                    |
| L SUR-VIL                   | 218.87        | 0.99              | 218.94    | 1.00     | 6.45      | -0.03     | 219.24                   | 1.00              | 219.31    | 1.00     | 6.42      | -0.03     |                          |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01



En el Gráfico 5.5, se muestra el análisis de cargabilidad con los datos de la Tabla 5.3, de las líneas asociadas en operación normal, para los diferentes escenarios, contrastando dichos valores con y sin el ingreso de la línea proyectada. Las cargabilidades en el enlace CD sin la línea proyectada son de: 98.16%, 101.86%, 95.63% y 99.82% respectivamente, al incorporarse esta línea, estas cargabilidades disminuyen considerablemente.

Gráfico 5.5 Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2022

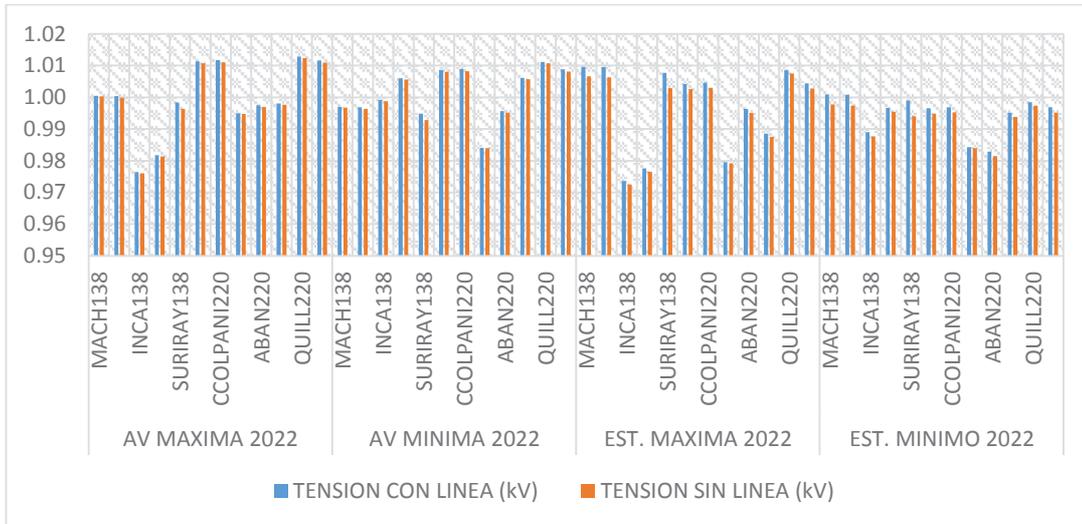


Fuente: Datos de la Tabla 5.3

En el gráfico 5.6 se observa que en los 4 escenarios las tensiones (p.u.) calculadas con y sin el ingreso de la línea proyectada, están en el rango de valores de 0.97 y 1.01 p.u., resultados que se pueden apreciar en el Anexo D.2.



Gráfico 5. 6 Perfiles de Tensión con/sin línea proyectada - 2022



Fuente: Datos del Anexo D.2

#### 5.5.1.4. Año 2024

Del mismo modo que el ítem anterior, para este año se considera el ingreso de las Centrales Generadoras de Quillabamba y Vilcanota. En la Tabla 5.4 se muestran los resultados más relevantes del análisis de flujo de carga para el año 2024, sin y con la línea proyectada.

Tabla 5. 4 Resultado de Flujo de Carga 2024 sin y con Línea proyectada

| CASO                        | DESCRIPCIÓN   | SIN LINEA |           |           |          |           |           | CON LINEA                |           |           |          |           |           |                          |
|-----------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|
|                             |               | L.T.      | TENSIONES |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | TENSIONES |           |          |           | CARGA (%) | CAIDA DE TENSION i-j (%) |
|                             |               |           | Uli (kV)  | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          | Uli (kV)  | ui (p.u.) | Ulj (kV) | uj (p.u.) |           |                          |
| Avenida Máxima Demanda 2024 | ENLACE AB     | 138.23    | 1.00      | 138.26    | 1.00     | 40.88     | -0.02     | 138.27                   | 1.00      | 138.26    | 1.00     | 3.13      | 0.00      |                          |
|                             | ENLACE CD     | 138.23    | 1.00      | 138.20    | 1.00     | 96.13     | 0.02      | 138.27                   | 1.00      | 138.25    | 1.00     | 52.84     | 0.01      |                          |
|                             | LINEA L-1038  | 137.62    | 1.00      | 138.20    | 1.00     | 69.88     | -0.43     | 137.92                   | 1.00      | 138.25    | 1.00     | 38.43     | -0.24     |                          |
|                             | LINEA PROYEC. |           |           |           |          |           |           | 138.26                   | 1.00      | 137.92    | 1.00     | 31.47     | 0.25      |                          |
|                             | LINEA L-2049  | 218.53    | 0.99      | 218.58    | 0.99     | 20.09     | -0.02     | 218.69                   | 0.99      | 218.73    | 0.99     | 20.07     | -0.02     |                          |
|                             | LINEA L-2050  | 218.53    | 0.99      | 216.00    | 0.98     | 55.61     | 1.15      | 218.69                   | 0.99      | 216.11    | 0.98     | 55.61     | 1.17      |                          |
|                             | LINEA L-2059  | 218.53    | 0.99      | 224.47    | 1.02     | 41.90     | -2.70     | 218.69                   | 0.99      | 224.50    | 1.02     | 41.86     | -2.24     |                          |
|                             | L SUR-QUEN    | 218.53    | 0.99      | 217.51    | 0.99     | 27.52     | 0.46      | 218.69                   | 0.99      | 217.60    | 0.99     | 27.50     | 0.49      |                          |
|                             | L SUR-QUILL   | 218.53    | 0.99      | 219.80    | 1.00     | 33.20     | -0.58     | 218.69                   | 0.99      | 219.90    | 1.00     | 33.14     | -0.55     |                          |
| L SUR-VIL                   | 218.53        | 0.99      | 218.58    | 0.99      | 6.40     | -0.02     | 218.69    | 0.99                     | 218.73    | 0.99      | 6.39     | -0.02     |           |                          |
| Avenida Mínima Demanda 2024 | ENLACE AB     | 138.49    | 1.00      | 138.51    | 1.00     | 46.86     | -0.02     | 138.53                   | 1.00      | 138.52    | 1.00     | 1.54      | 0.00      |                          |
|                             | ENLACE CD     | 138.49    | 1.00      | 138.45    | 1.00     | 101.93    | 0.02      | 138.53                   | 1.00      | 138.51    | 1.00     | 55.95     | 0.01      |                          |
|                             | LINEA L-1038  | 137.85    | 1.00      | 138.45    | 1.00     | 74.09     | -0.44     | 138.17                   | 1.00      | 138.51    | 1.00     | 40.69     | -0.25     |                          |
|                             | LINEA PROYEC. |           |           |           |          |           |           | 138.52                   | 1.00      | 138.17    | 1.00     | 33.42     | 0.26      |                          |
|                             | LINEA L-2049  | 219.09    | 1.00      | 219.13    | 1.00     | 20.01     | -0.02     | 219.25                   | 1.00      | 219.29    | 1.00     | 19.99     | -0.02     |                          |
|                             | LINEA L-2050  | 219.09    | 1.00      | 217.51    | 0.99     | 47.97     | 0.72      | 219.25                   | 1.00      | 217.63    | 0.99     | 47.96     | 0.74      |                          |
|                             | LINEA L-2059  | 219.09    | 1.00      | 223.80    | 1.02     | 36.71     | -2.14     | 219.25                   | 1.00      | 223.84    | 1.02     | 36.67     | -2.08     |                          |
|                             | L SUR-QUEN    | 219.09    | 1.00      | 218.63    | 0.99     | 36.93     | 0.21      | 219.25                   | 1.00      | 218.73    | 0.99     | 36.91     | 0.24      |                          |
|                             | L SUR-QUILL   | 219.09    | 1.00      | 220.15    | 1.00     | 33.01     | -0.48     | 219.25                   | 1.00      | 220.25    | 1.00     | 32.97     | -0.45     |                          |
| L SUR-VIL                   | 219.09        | 1.00      | 219.13    | 1.00      | 6.38     | -0.02     | 219.25    | 1.00                     | 219.29    | 1.00      | 6.37     | -0.02     |           |                          |
| Item De                     | ENLACE AB     | 145.44    | 1.05      | 145.47    | 1.05     | 43.73     | -0.02     | 145.22                   | 1.05      | 145.22    | 1.05     | 3.37      | 0.00      |                          |



|                             |               |        |        |        |       |        |        |        |        |        |       |       |       |
|-----------------------------|---------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Estiaje Mínima Demanda 2024 | ENLACE CD     | 145.44 | 1.05   | 145.40 | 1.05  | 102.76 | 0.03   | 145.22 | 1.05   | 145.20 | 1.05  | 56.42 | 0.01  |
|                             | LINEA L-1038  | 144.61 | 1.05   | 145.40 | 1.05  | 74.71  | -0.57  | 144.76 | 1.05   | 145.20 | 1.05  | 41.04 | -0.32 |
|                             | LINEA PROYEC. |        |        |        |       |        |        | 145.22 | 1.05   | 144.76 | 1.05  | 33.62 | 0.34  |
|                             | LINEA L-2049  | 228.55 | 1.04   | 228.65 | 1.04  | 21.77  | -0.04  | 228.39 | 1.04   | 228.49 | 1.04  | 21.67 | -0.04 |
|                             | LINEA L-2050  | 228.55 | 1.04   | 224.27 | 1.02  | 77.66  | 1.95   | 228.39 | 1.04   | 224.07 | 1.02  | 77.50 | 1.97  |
|                             | LINEA L-2059  | 228.55 | 1.04   | 235.17 | 1.07  | 62.70  | -3.01  | 228.39 | 1.04   | 234.85 | 1.07  | 62.51 | -2.44 |
|                             | L SUR-QUEN    | 228.55 | 1.04   | 228.27 | 1.04  | 34.50  | 0.13   | 228.39 | 1.04   | 228.03 | 1.04  | 34.46 | 0.17  |
|                             | L SUR-QUILL   | 230.18 | 1.05   | 228.55 | 1.04  | 81.39  | 0.74   | 229.95 | 1.05   | 228.39 | 1.04  | 81.22 | 0.71  |
|                             | L SUR-VIL     | 228.55 | 1.04   | 228.62 | 1.04  | 6.89   | -0.03  | 228.39 | 1.04   | 228.46 | 1.04  | 6.87  | -0.03 |
|                             | ENLACE AB     | 138.04 | 1.00   | 138.07 | 1.00  | 47.10  | -0.02  | 138.06 | 1.00   | 138.06 | 1.00  | 1.51  | 0.00  |
|                             | ENLACE CD     | 138.04 | 1.00   | 138.01 | 1.00  | 102.60 | 0.03   | 138.06 | 1.00   | 138.04 | 1.00  | 56.34 | 0.01  |
|                             | LINEA L-1038  | 137.29 | 0.99   | 138.01 | 1.00  | 74.59  | -0.52  | 137.64 | 1.00   | 138.04 | 1.00  | 40.98 | -0.29 |
|                             | LINEA PROYEC. |        |        |        |       |        |        | 138.06 | 1.00   | 137.64 | 1.00  | 33.66 | 0.31  |
|                             | LINEA L-2049  | 217.43 | 0.99   | 217.50 | 0.99  | 20.33  | -0.03  | 217.61 | 0.99   | 217.67 | 0.99  | 20.28 | -0.03 |
|                             | LINEA L-2050  | 217.43 | 0.99   | 214.98 | 0.98  | 69.05  | 1.11   | 217.61 | 0.99   | 215.12 | 0.98  | 69.03 | 1.13  |
|                             | LINEA L-2059  | 217.43 | 0.99   | 222.82 | 1.01  | 58.44  | -2.45  | 217.61 | 0.99   | 222.86 | 1.01  | 58.41 | -2.39 |
|                             | L SUR-QUEN    | 217.43 | 0.99   | 218.39 | 0.99  | 37.61  | -0.44  | 217.61 | 0.99   | 218.49 | 0.99  | 37.57 | -0.40 |
| L SUR-QUILL                 | 218.52        | 0.99   | 217.43 | 0.99   | 76.88 | 0.50   | 218.64 | 0.99   | 217.61 | 0.99   | 76.85 | 0.47  |       |
| L SUR-VIL                   | 217.43        | 0.99   | 217.49 | 0.99   | 6.46  | -0.03  | 217.61 | 0.99   | 217.67 | 0.99   | 6.45  | -0.03 |       |

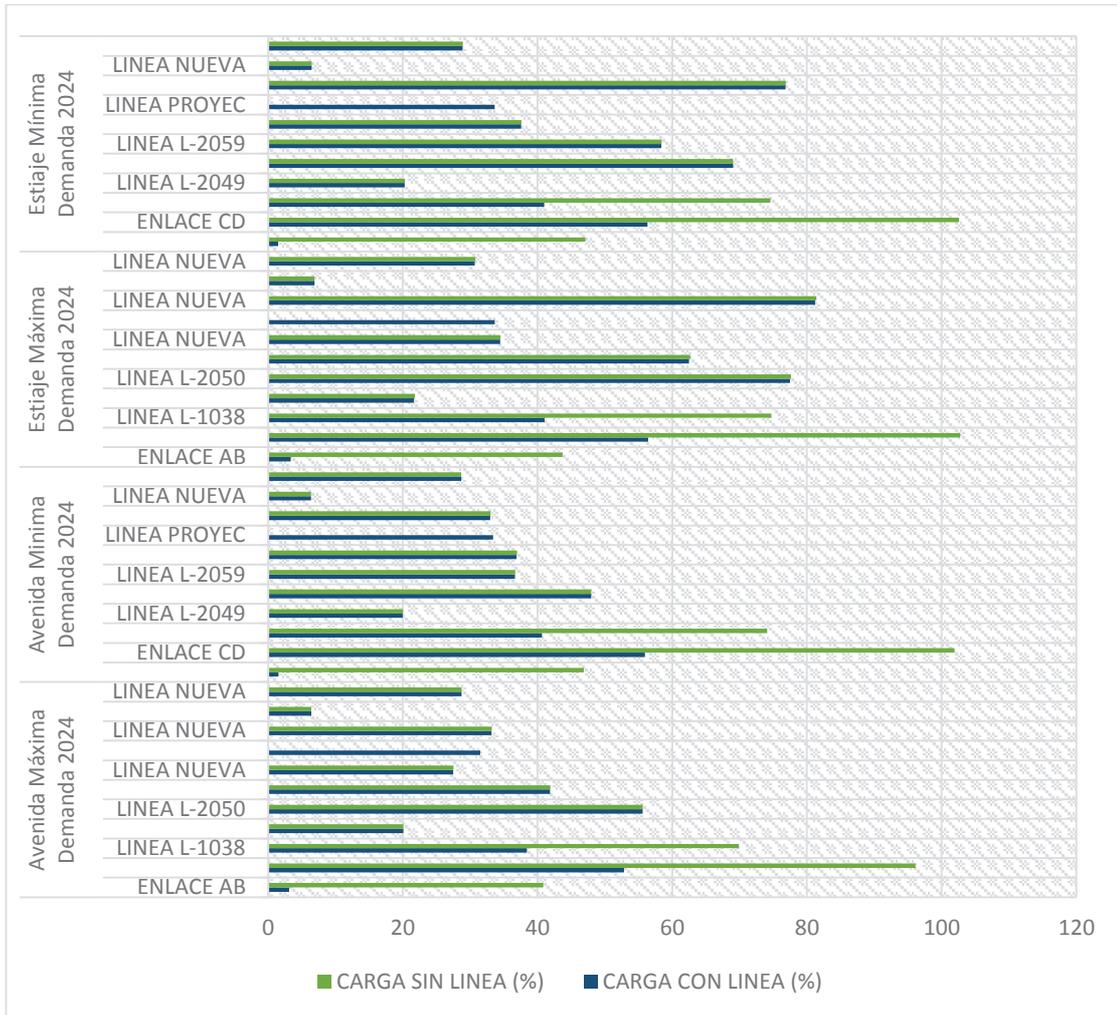
Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

De la Tabla 5.4 se puede observar que para los escenarios de avenida y estiaje en máxima demanda la caída de tensión en la L-2059 sobrepasa el límite normado con valores de 2.70% y 3.01% respectivamente, los cuales son corregidos con el ingreso de la línea proyectada.

En el Gráfico 5.7, se muestra el análisis de cargabilidad con los datos de la Tabla 5.4, de las líneas asociadas en operación normal, para los diferentes escenarios, contrastando dichos valores con y sin el ingreso de la línea proyectada. Las cargabilidades en el enlace CD sin la línea proyectada son de: 96.13%, 101.93%, 102.76% y 102.60% respectivamente, al incorporarse esta línea, estas cargabilidades disminuyen considerablemente.



Gráfico 5. 7 Cargabilidad de Líneas con ingreso de Línea proyectada - 2024

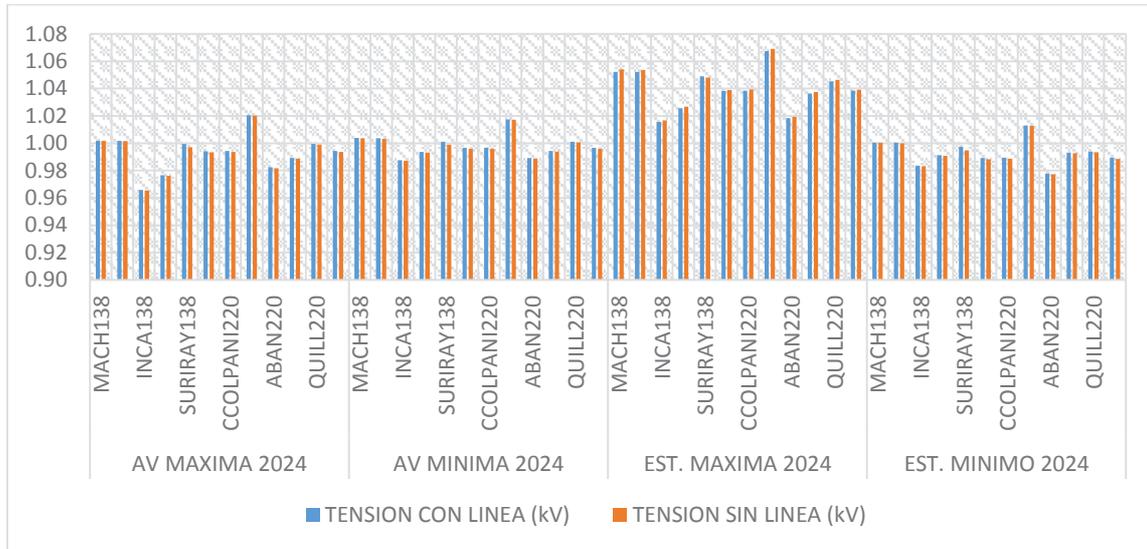


Fuente: Datos de la Tabla 5.4

En el gráfico 5.8 se observa que en los 4 escenarios las tensiones (p.u.) calculadas con y sin el ingreso de la línea proyectada, están en el rango de valores de 0.97 y 1.05 p.u., a excepción de la barra COTARUSE220 cuyo valor es de 1.07 p.u. sin la línea, estos resultados se pueden apreciar en el Anexo D.2.



Gráfico 5. 8 Perfiles de Tensión con/sin línea proyectada - 2024



Fuente: Datos del Anexo D.2

### 5.5.2. Análisis en estado de Contingencia

Para los casos de estudio considerados, se analizan las contingencias en las líneas con mayor impacto en la zona del proyecto, siguiendo el Criterio N-1, evaluadas en el periodo del 2018 al 2024; se considerará los escenarios de avenida y estiaje, máxima y mínima demanda, para los casos con y sin proyecto, tal como lo indica el procedimiento N°20 [14], lo que permitirá determinar si existe en el área de influencia del proyecto capacidad de tolerancia en diferentes condiciones de contingencia en la red.

Para este estudio en el año 2018 se considerará el ingreso al SEIN de la L.T. Machupicchu – Quencoro – Onocora - Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002, y a partir del año 2020 con la entrada de las Centrales Generadoras de Quillabamba y Vilcanota; tomando en cuenta los escenarios ya indicados anteriormente. Asimismo, se examinarán los valores de tensiones en las barras vinculadas.

#### 5.5.2.1. Año 2018

En los Anexos D.4 y D.5 se muestran los resultados de estos flujos tanto en líneas como barras y en el Anexo D.6 los diagramas unifilares con los flujos de carga para condiciones de contingencias.



- **Avenida Máxima Demanda (Av. Max):** Se hace el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión.

En la Tabla 5.5 se muestran los valores de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 5 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Máx. 2018

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|
| SIN LINEA | L-1038       | 45.76     | 0.01      | 0.00   |             | 20.14  | 7.24   | 28.82      | 21.38  |
|           | L-2050       | 46.33     | 99.92     | 72.64  |             | 0.00   | 49.73  | 52.31      | 21.74  |
|           | L-2059       | 46.54     | 100.45    | 73.02  |             | 61.63  | 0.00   | 46.05      | 22.35  |
|           | L Sur-Quen   | 46.66     | 100.76    | 73.26  |             | 89.50  | 56.55  | 0.00       | 22.73  |
| CON LINEA | L-1038       | 53.48     | 0.01      | 0.00   | 72.49       | 33.21  | 17.86  | 34.79      | 21.54  |
|           | L-2050       | 2.28      | 67.41     | 49.01  | 40.28       | 0.00   | 49.87  | 48.33      | 26.36  |
|           | L-2059       | 1.88      | 56.83     | 41.34  | 33.97       | 50.30  | 0.00   | 35.98      | 22.98  |
|           | L Sur-Quen   | 1.80      | 55.35     | 40.26  | 33.08       | 71.61  | 41.39  | 0.00       | 22.67  |

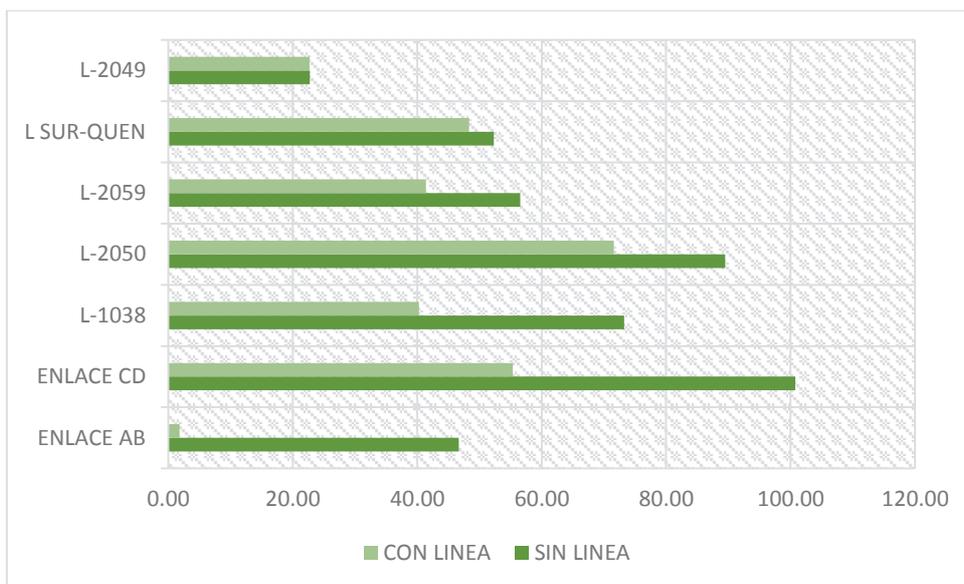
Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Av. Máxima Año 2018

Según el análisis sin la línea proyectada y ante contingencias y/o salidas de las líneas L-2050, L-2059 y L SUR-QUEN, se presentan sobrecargas principalmente en el enlace CD con valores de 99.92%, 100.45% y 100.76% respectivamente y en la L Sur-Aban de 89.5% para cada salida de línea. Asimismo, del análisis con la línea proyectada ante las mismas condiciones anteriormente mencionadas, se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 67.4%, 56.8% y 55.3% y la L Sur-Aban presenta el 71.6% de cargabilidad, con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.9, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.



Gráfico 5. 9 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Max. 2018



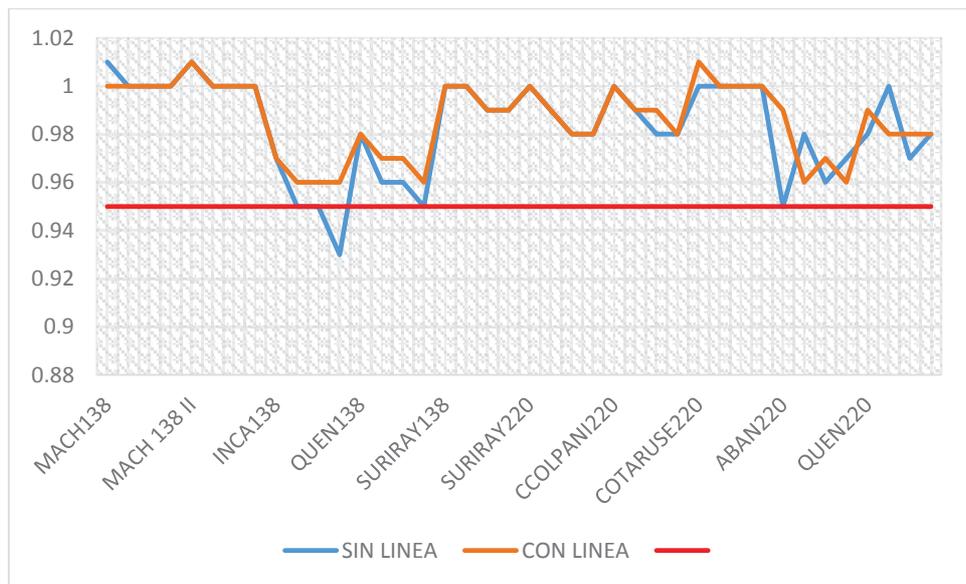
Fuente: Datos de la Tabla 5.5

En cuanto al análisis de caída de tensión (Anexo D.4) ante contingencias, sin considerar la L.T. Projectada, ante la salida de la L.T Sur-Quen, la caída de tensión en la L.T Suriray-Abancay es de 2.68%, que sobrepasa el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Projectada este valor es corregido a 2.11%.

En el Grafico 5.10, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de L.T. Projectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de INCASA 138 kV (0.93). Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra mantener la mayoría de los perfiles de tensión de las barras conectadas en un rango aceptable de operación bajo contingencia.



Gráfico 5. 10 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2018



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Av. Máxima – Año 2018

- **Avenida Mínima Demanda (Av. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, datos que se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

Por tanto, en la Tabla 5.6 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 6 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Min. 2018

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|
| SIN LINEA | L-1038       | 45.68     | 0.01      | 0.00   |             | 8.33   | 9.55   | 23.25      | 21.03  |
|           | L-2050       | 46.59     | 100.18    | 72.83  |             | 0.00   | 35.56  | 42.72      | 21.05  |
|           | L-2059       | 46.91     | 100.77    | 73.26  |             | 43.65  | 0.00   | 38.27      | 21.42  |
|           | L Sur-Quen   | 47.21     | 101.37    | 73.70  |             | 69.37  | 43.88  | 0.00       | 21.86  |
| CON LINEA | L-1038       | 53.50     | 0.01      | 0.00   | 72.62       | 32.05  | 21.00  | 33.82      | 20.93  |
|           | L-2050       | 2.08      | 54.98     | 39.98  | 32.84       | 0.00   | 35.51  | 42.68      | 21.00  |
|           | L-2059       | 2.09      | 55.31     | 40.23  | 33.05       | 43.63  | 0.00   | 38.23      | 21.34  |
|           | L Sur-Quen   | 2.11      | 55.64     | 40.48  | 33.26       | 69.34  | 43.81  | 0.00       | 21.75  |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del Analisis de Contingencia – Av. Mínima Año 2018

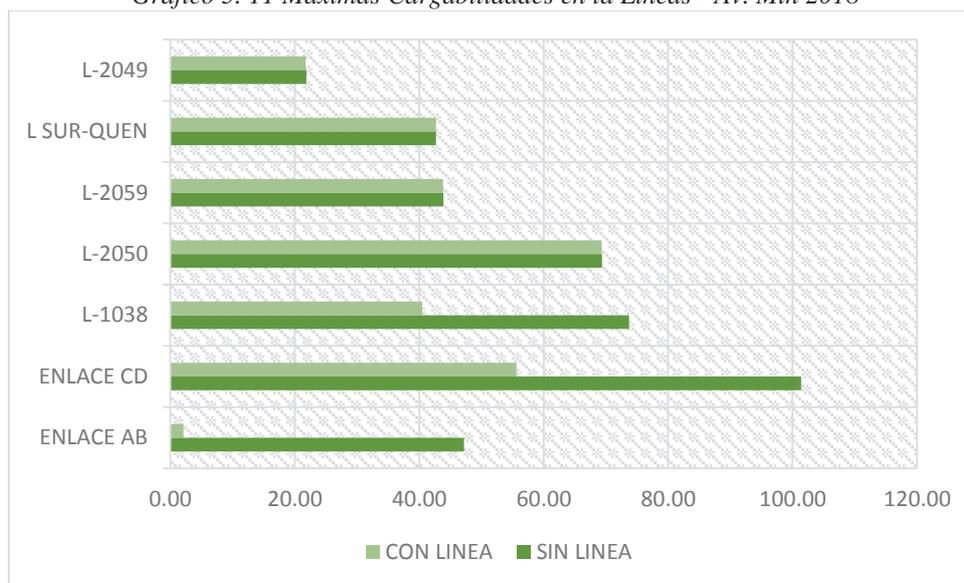
Según el análisis sin la línea proyectada y ante contingencias y/o salidas de las líneas L-2050, L-2059 y L SUR-QUEN, se presentan sobrecargas principalmente en el enlace CD con valores de 100.18%, 100.8% y 101.4 % respectivamente para cada salida de línea. Asimismo, del análisis con la línea proyectada ante las mismas condiciones anteriormente mencionadas, se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 54.9%, 55.3% y 55.6%;



con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.11, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T. Proyectada.

Gráfico 5. 11 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min 2018



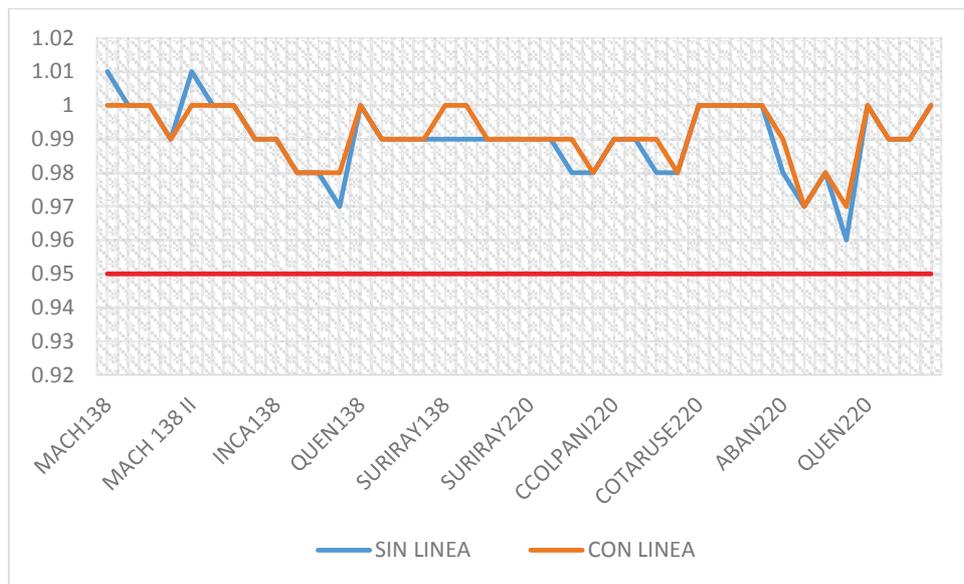
Fuente: Datos de la Tabla 5.6

En cuanto al análisis de caída de tensión (Anexo D.4), ante contingencias, no se presentan valores que sobrepasen el límite del valor normado (2.5%).

En el Grafico 5.12, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada, cuyos valores se mantienen en un rango aceptable de operación bajo contingencia.



Gráfico 5. 12 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2018



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Av. Mínima – Año 2018

- **Estiaje Máxima Demanda (Est. Max):** Se hace el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.7 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 7 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2018

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|
| SIN LINEA | L-1038       | 40.99     | 0.01      | 0.00   |             | 14.76  | 16.96  | 27.25      | 23.99  |
|           | L-2050       | 41.61     | 95.42     | 69.37  |             | 0.00   | 26.88  | 45.24      | 21.28  |
|           | L-2059       | 41.91     | 96.24     | 69.98  |             | 37.32  | 0.00   | 39.75      | 21.94  |
|           | L Sur-Quen   | 42.15     | 96.85     | 70.44  |             | 71.25  | 39.06  | 0.00       | 22.49  |
| CON LINEA | L-1038       | 53.78     | 0.01      | 0.00   | 69.30       | 30.53  | 14.30  | 36.93      | 21.25  |
|           | L-2050       | 2.18      | 52.42     | 38.13  | 31.26       | 0.00   | 26.82  | 45.21      | 21.20  |
|           | L-2059       | 2.17      | 52.89     | 38.49  | 31.55       | 37.33  | 0.00   | 39.72      | 21.82  |
|           | L Sur-Quen   | 2.17      | 53.24     | 38.75  | 31.77       | 71.24  | 38.98  | 0.00       | 22.33  |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Est. Máxima Año 2018

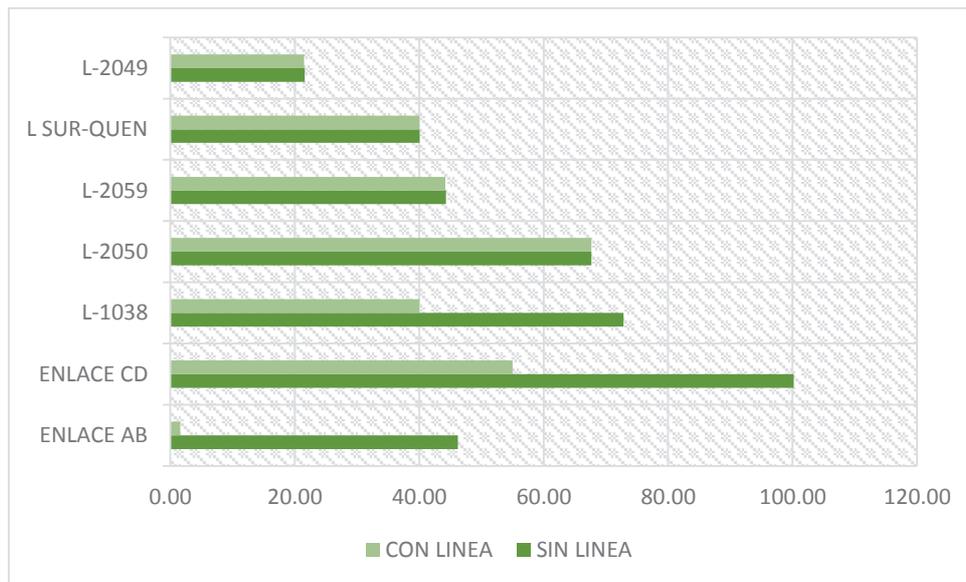
Considerando las mismas condiciones que en los escenarios de avenida máxima y mínima demanda, los resultados de cargabilidad del enlace CD, obtenidos sin la línea proyectada, son: 95.4%, 96.2% y 96.9% respectivamente para cada salida de línea. Asimismo, considerando el ingreso de la línea proyectada se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 52.4%,



52.9% y 53.2%; con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad en el enlace en mención.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.13, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T. Proyectada.

Gráfico 5. 13 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2018



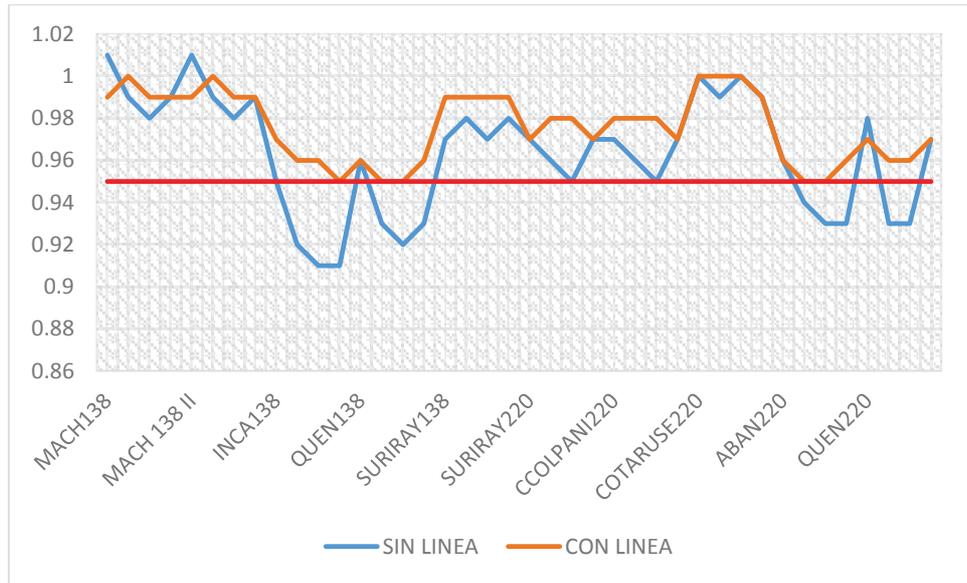
Fuente: Datos de la Tabla 5.7

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), ante contingencias, no se presentan valores que sobrepasen el límite del valor normado (2.5%).

En el Gráfico 5.14, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de L.T. Proyectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 kV (0.92) y en Quencoro 138 kV (0.93). Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra reducir y mantener la mayoría de los perfiles de tensión de las barras conectadas en un rango aceptable de operación bajo contingencia.



Gráfico 5. 14 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Min 2024



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Est. Máxima – Año 2018

- **Estiaje Mínima Demanda (Est. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5. En la Tabla 5.8 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 8 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2018

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|
| SIN LINEA | L-1038       | 45.18     | 0.01      | 0.00   |             | 9.67   | 8.05   | 20.25      | 20.81  |
|           | L-2050       | 45.79     | 99.13     | 72.06  |             | 0.00   | 39.08  | 40.06      | 20.85  |
|           | L-2059       | 46.03     | 99.74     | 72.52  |             | 47.20  | 0.00   | 35.68      | 21.23  |
|           | L Sur-Quen   | 46.22     | 100.21    | 72.86  |             | 67.69  | 44.27  | 0.00       | 21.58  |
| CON LINEA | L-1038       | 53.18     | 0.01      | 0.00   | 71.86       | 33.94  | 23.49  | 30.65      | 20.72  |
|           | L-2050       | 1.57      | 54.40     | 39.56  | 32.50       | 0.00   | 39.03  | 40.03      | 20.80  |
|           | L-2059       | 1.57      | 54.74     | 39.82  | 32.72       | 47.18  | 0.00   | 35.64      | 21.15  |
|           | L Sur-Quen   | 1.56      | 55.01     | 40.02  | 32.88       | 67.65  | 44.20  | 0.00       | 21.47  |

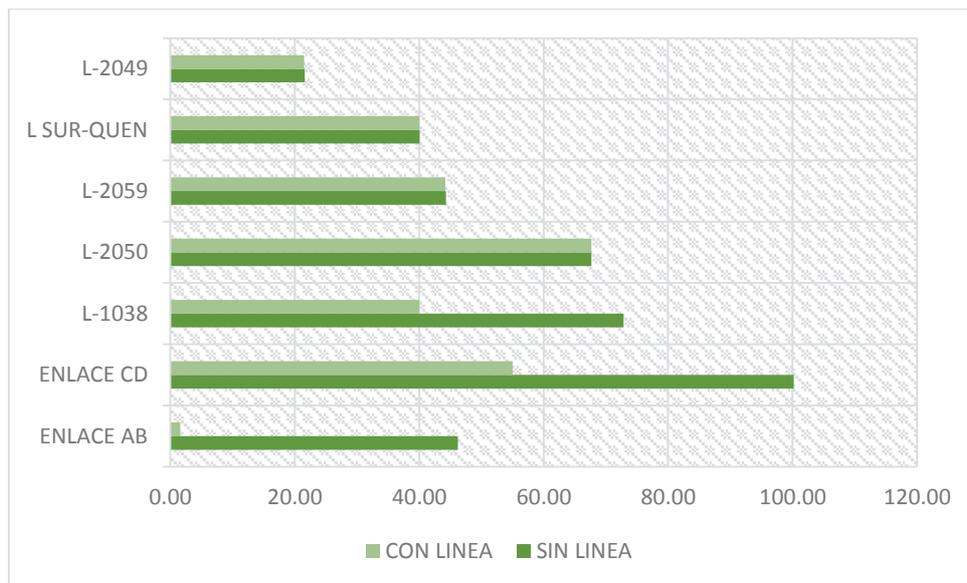
Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis De Contingencia – Est. Mínima Año 2018

Del mismo modo y ante las mismas condiciones de los ítems anteriores, del análisis sin la línea proyectada, se tiene que el enlace CD presenta estos valores de cargabilidad: 99.1%, 99.7% y 100.2% respectivamente para cada salida de línea. Asimismo, considerando el ingreso de la línea proyectada se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 54.4%. 54.7% y 55%; con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad en el enlace en mención.



Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.15, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T. Proyectada.

Gráfico 5.15 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2018



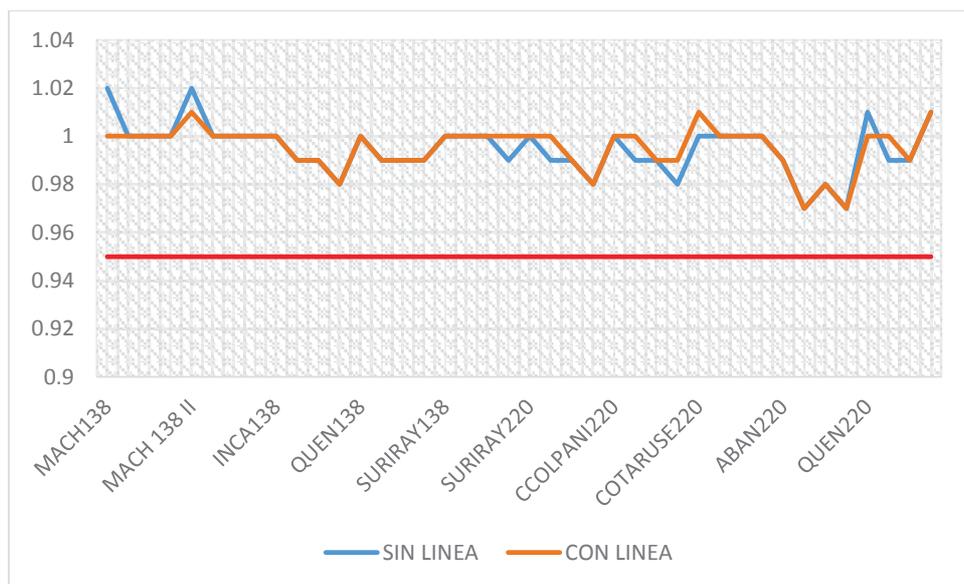
Fuente: Datos de la Tabla 5.8

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), ante contingencias, no se presentan valores que sobrepasen el límite del valor normado (2.5%).

En el Gráfico 5.16, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras conectadas se mantienen en un rango aceptable de operación bajo contingencia.



Gráfico 5. 16 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2018



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Est. Mínima – Año 2018

### 5.5.2.2. Año 2020

Las contingencias para este año, se analizan para los escenarios de avenida y estiaje, demanda máxima y mínima, para los casos con y sin proyecto, tal como lo indica el procedimiento N°20 [14], para determinar si existe en el área de influencia del proyecto capacidad de tolerancia en diferentes condiciones de contingencia en la red.

En los Anexos D.4 y D.5 se muestran los resultados de estos flujos tanto en líneas como barras y en el Anexo D.6 en los diagramas unifilares con los flujos de carga para condiciones de contingencias.

- **Avenida Máxima Demanda (Av. Max):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión.

En la Tabla 5.9 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 9 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av. Máx. 2020

| CASOS     | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L- 1038 | L.T. PROYEC | L- 2050 | L- 2059 | L SUR- QUEN | L- 2049 | L SUR- QUILL | L-SUR- VIL |
|-----------|--------------|-----------|-----------|---------|-------------|---------|---------|-------------|---------|--------------|------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 42.04     | 0.01      | 0.00    |             | 21.83   | 7.50    | 28.75       | 20.63   | 33.03        | 6.50       |
|           | L-2050       | 42.40     | 97.48     | 70.86   |             | 0.00    | 51.40   | 52.50       | 20.93   | 33.31        | 6.56       |
|           | L-2059       | 42.56     | 97.96     | 71.22   |             | 63.19   | 0.00    | 46.24       | 21.54   | 33.88        | 6.68       |
|           | L Sur-Quen   | 42.63     | 98.17     | 71.37   |             | 90.04   | 57.82   | 0.00        | 34.15   | 21.80        | 6.74       |



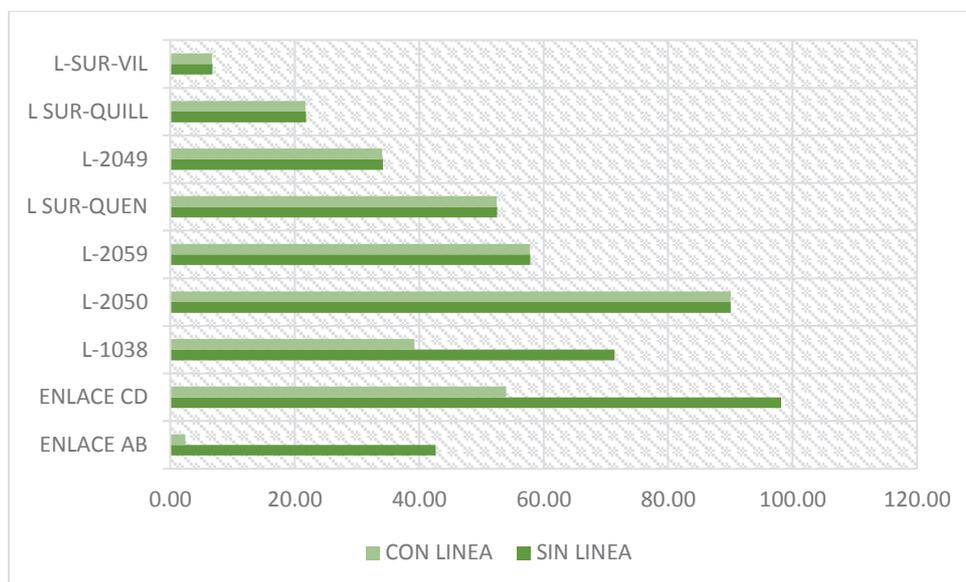
| CON LINEA | L-1038     | 54.95 | 0.01  | 0.00  | 70.65 | 45.80 | 30.11 | 39.57 | 20.61 | 33.02 | 6.49 |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|           | L-2050     | 2.43  | 53.56 | 38.94 | 31.92 | 0.00  | 51.37 | 52.49 | 20.86 | 33.24 | 6.55 |
|           | L-2059     | 2.43  | 53.83 | 39.15 | 32.09 | 63.20 | 0.00  | 46.22 | 21.44 | 33.79 | 6.66 |
|           | L Sur-Quen | 2.42  | 53.95 | 39.24 | 32.17 | 90.04 | 57.78 | 0.00  | 34.04 | 21.69 | 6.71 |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis De Contingencia – Av. Máxima Año 2022

Según el análisis sin la línea proyectada y ante contingencias y/o salidas de las líneas L-2050, L-2059 y L SUR-QUEN, se presentan sobrecargas principalmente en el enlace CD con valores de 97.5%, 97.9% y 98.2% respectivamente y en la línea Suriray Abancay de 90% para cada salida de línea. Asimismo, del análisis con la línea proyectada ante las mismas condiciones anteriormente mencionadas, se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 53.6%, 53.8% y 53.9% y la línea Suriray Abancay presenta el 90.04% de cargabilidad, con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.17, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 17 Máximas Cargabilidades en la Líneas – Av. Máx 2018



Fuente: Datos de la Tabla 5.9

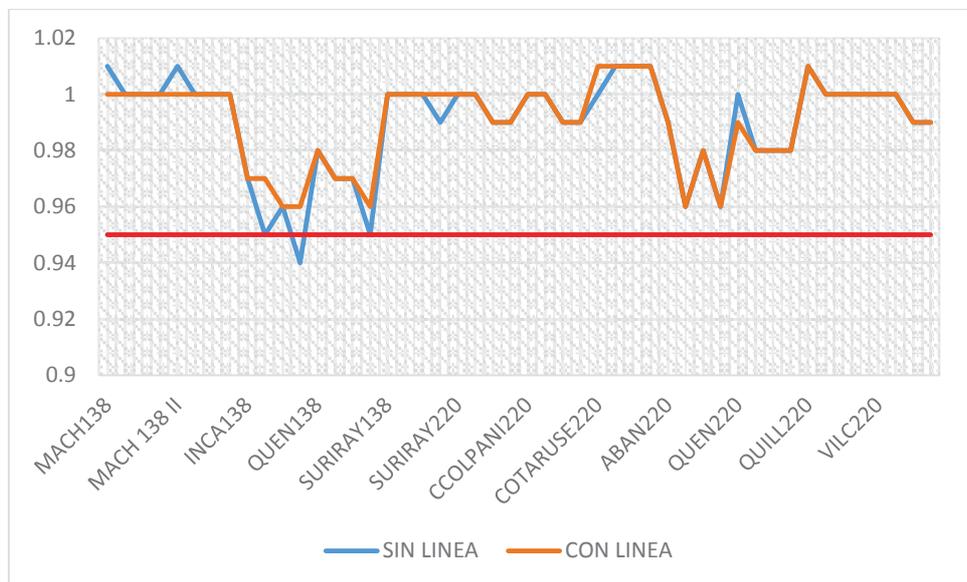
En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), con la salida de la línea Suriray Quencoro sin considerar la línea proyectada, la línea Suriray Abancay presenta una caída de tensión de 2.64% sobrepasando el límite del



valor normado (2.5%), sin embargo con el análisis efectuado considerando la línea proyectada este valor reduce a 2.35%.

En el Grafico 5.18, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de L.T. Proyectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 kV (0.94). Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra mantener la mayoría de los perfiles de tensión de las barras conectadas en un rango aceptable de operación bajo contingencia.

Gráfico 5. 18 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2020



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Av. Máxima – Año 2020

- **Avenida Mínima Demanda (Av. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.10 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 10 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av. Min. 2020

| CASOS     | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 | L SUR-QUILL | L-SUR-VIL |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|-------------|-----------|
| SIN LINEA | L-1038       | 46.92     | 0.01      | 0.00   |             | 15.67  | 6.46   | 33.93      | 20.05  | 33.49       | 6.46      |
|           | L-2050       | 47.95     | 103.13    | 74.97  |             | 0.00   | 47.73  | 57.19      | 20.34  | 34.21       | 6.57      |



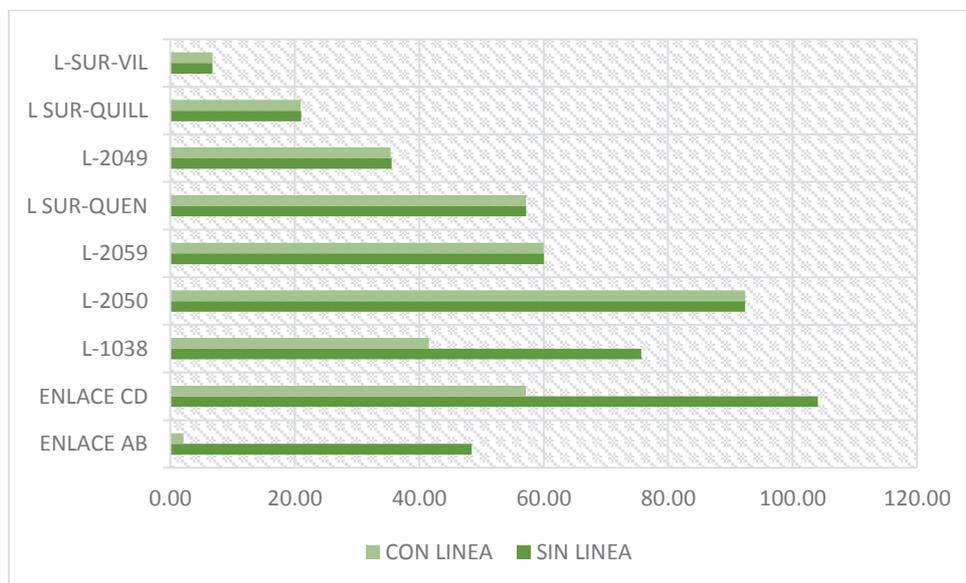
|           |            |       |        |       |       |       |       |       |       |       |      |
|-----------|------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| CON LINEA | L-2059     | 48.16 | 103.54 | 75.27 |       | 57.92 | 0.00  | 51.63 | 20.61 | 34.79 | 6.66 |
|           | L Sur-Quen | 48.43 | 104.07 | 75.66 |       | 92.40 | 60.00 | 0.00  | 35.55 | 21.02 | 6.77 |
|           | L-1038     | 55.01 | 0.01   | 0.00  | 74.66 | 41.48 | 28.23 | 45.38 | 20.12 | 33.67 | 6.49 |
|           | L-2050     | 2.07  | 56.61  | 41.17 | 33.82 | 0.00  | 47.70 | 57.17 | 20.29 | 34.10 | 6.55 |
|           | L-2059     | 2.08  | 56.84  | 41.34 | 33.96 | 57.92 | 0.00  | 51.61 | 20.55 | 34.65 | 6.64 |
|           | L Sur-Quen | 2.09  | 57.14  | 41.57 | 34.15 | 92.39 | 59.95 | 0.00  | 35.39 | 20.93 | 6.75 |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Av. Mínima Año 2020

Según el análisis sin la línea proyectada y ante contingencias y/o salidas de las líneas L-2050, L-2059 y L SUR-QUEN, se presentan sobrecargas principalmente en el enlace CD con valores de 103.1%, 103.55% y 104.1% respectivamente para cada salida de línea. Asimismo, del análisis con la línea proyectada ante las mismas condiciones anteriormente mencionadas, se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 56.6%, 56.8% y 57.1%; con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.18, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 19 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min. 2020



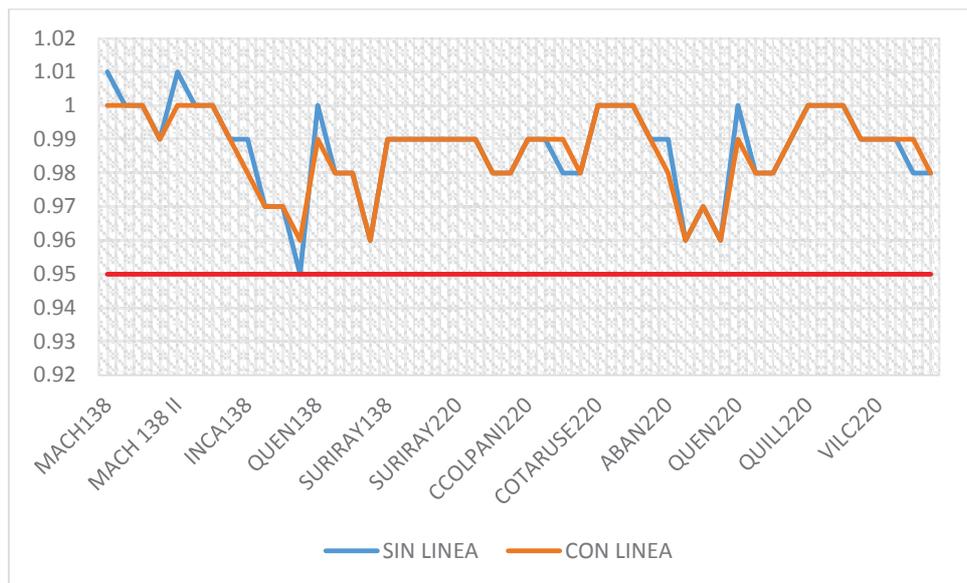
Fuente: Datos de la Tabla 5.10

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), ante contingencias, no se presentan valores que sobrepasen el límite del valor normado (2.5%).



En el Grafico 5.20, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras conectadas se mantienen en un rango aceptable de operación bajo contingencia.

Gráfico 5. 20 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2020



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Av. Mínima – Año 2020

- **Estiaje Máxima Demanda (Av. Max):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.11 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 11 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2020

| CASOS     | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 | L SUR-QUILL | L-SUR-VIL |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|-------------|-----------|
| SIN LINEA | L-1038       | 41.93     | 0.01      | 0.00   |             | 33.61  | 18.99  | 36.11      | 18.13  | 76.44       | 5.56      |
|           | L-2050       | 42.83     | 98.92     | 71.93  |             | 0.00   | 71.30  | 64.22      | 19.18  | 77.48       | 5.84      |
|           | L-2059       | 43.07     | 99.55     | 72.39  |             | 85.10  | 0.00   | 56.99      | 19.81  | 78.03       | 5.99      |
|           | L Sur-Quen   | 43.23     | 99.97     | 72.70  |             | 112.89 | 76.75  | 0.00       | 78.39  | 20.25       | 6.08      |
| CON LINEA | L-1038       | 55.52     | 0.01      | 0.00   | 71.22       | 59.14  | 42.71  | 47.15      | 18.36  | 76.69       | 5.63      |
|           | L-2050       | 2.46      | 54.39     | 39.57  | 32.43       | 0.00   | 71.24  | 64.19      | 19.07  | 77.38       | 5.81      |
|           | L-2059       | 2.45      | 54.75     | 39.84  | 32.66       | 85.06  | 0.00   | 56.96      | 19.68  | 77.91       | 5.95      |
|           | L Sur-Quen   | 2.45      | 54.99     | 40.02  | 32.80       | 112.86 | 76.68  | 0.00       | 78.27  | 20.10       | 6.05      |

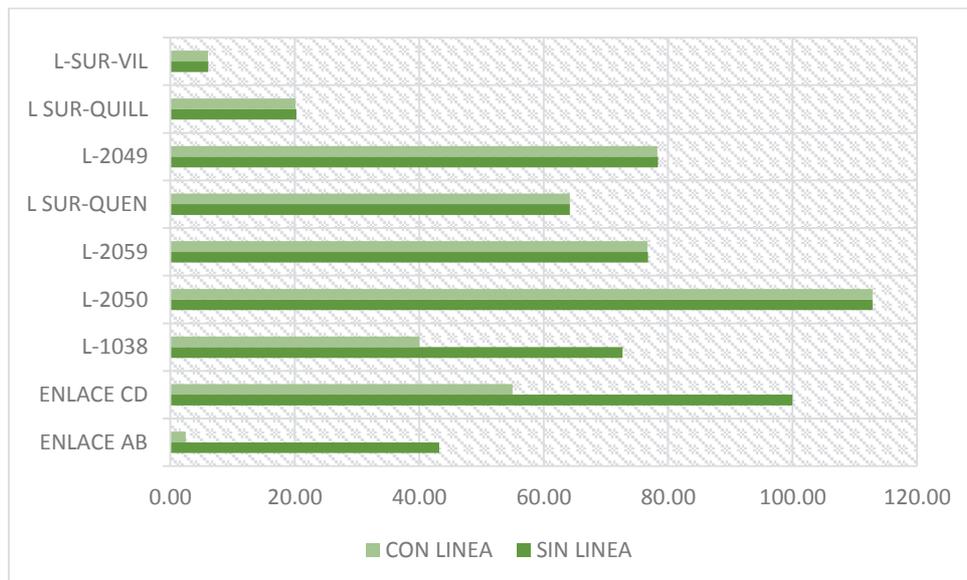
Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Est. Máxima Año 2020



Considerando las mismas condiciones que en los escenarios de avenida máxima y mínima demanda, los resultados de cargabilidad del enlace CD, obtenidos sin la línea proyectada, son: 98.9%, 99.6% y 99.9% respectivamente para cada salida de línea. Asimismo, considerando el ingreso de la línea proyectada se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 54.4%, 54.8% y 54.9%; con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad en el enlace en mención.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.21, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 21 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2020



Fuente: Datos de la Tabla 5.11

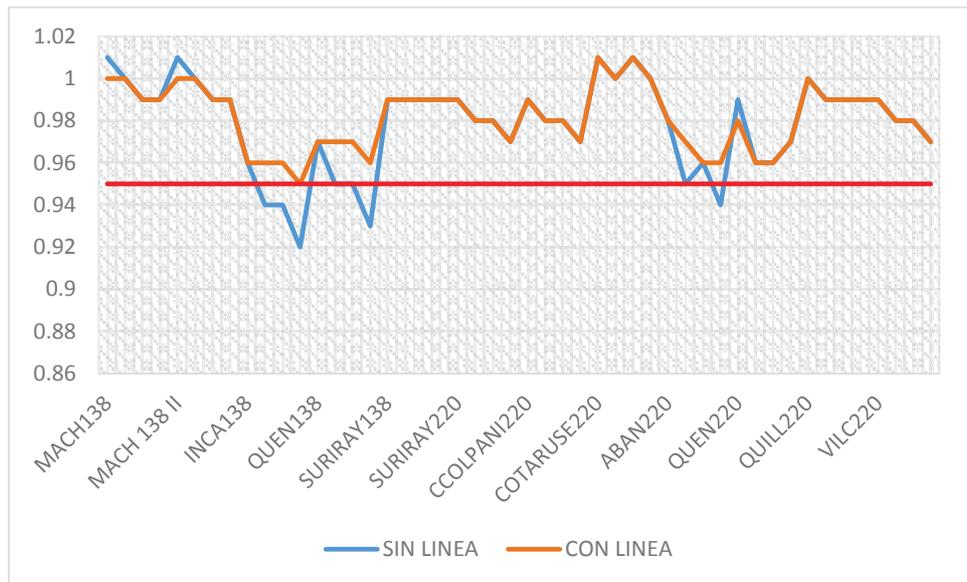
En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), con la salida de la línea Suriray Quencoro sin considerar la línea proyectada, la línea Suriray Abancay presenta una caída de tensión de 3.27% sobrepasando el límite del valor normado (2.5%), sin embargo con el análisis efectuado considerando la línea proyectada este valor reduce a 2.3%.

En el Grafico 5.22, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de L.T. Proyectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T.



Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 kV (0.92) y en Quencoro 138 kV (0.93). Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra reducir y mantener la mayoría de los perfiles de tensión de las barras conectadas en un rango aceptable de operación bajo contingencia.

Gráfico 5. 22 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Max 2020



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Est. Máxima – Año 2020

- **Estiaje Mínima Demanda (Av. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5. En la Tabla 5.12 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 12 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2020

| CASOS     | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYEC | L-2050 | L-2059 | L SUR-QUEN | L-2049 | L SUR-QUILL | L-SUR-VIL |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|--------|--------|------------|--------|-------------|-----------|
| SIN LINEA | L-1038       | 46.65     | 0.01      | 0.00   |             | 11.17  | 6.84   | 20.20      | 19.95  | 5.22        | 6.38      |
|           | L-2050       | 47.20     | 102.19    | 74.28  |             | 0.00   | 42.34  | 41.39      | 20.03  | 6.06        | 6.41      |
|           | L-2059       | 47.36     | 102.59    | 74.58  |             | 50.76  | 0.00   | 36.85      | 20.26  | 7.86        | 6.48      |
|           | L Sur-Quen   | 47.48     | 102.90    | 74.81  |             | 70.45  | 46.96  | 0.00       | 9.11   | 20.46       | 6.54      |
| CON LINEA | L-1038       | 54.86     | 0.01      | 0.00   | 74.12       | 36.21  | 25.68  | 31.31      | 19.94  | 5.10        | 6.38      |
|           | L-2050       | 1.64      | 56.08     | 40.78  | 33.50       | 0.00   | 42.32  | 41.38      | 20.00  | 5.74        | 6.40      |
|           | L-2059       | 1.64      | 56.31     | 40.95  | 33.65       | 50.77  | 0.00   | 36.83      | 20.21  | 7.52        | 6.47      |
|           | L Sur-Quen   | 1.63      | 56.49     | 41.08  | 33.75       | 70.45  | 46.92  | 0.00       | 8.75   | 20.40       | 6.52      |

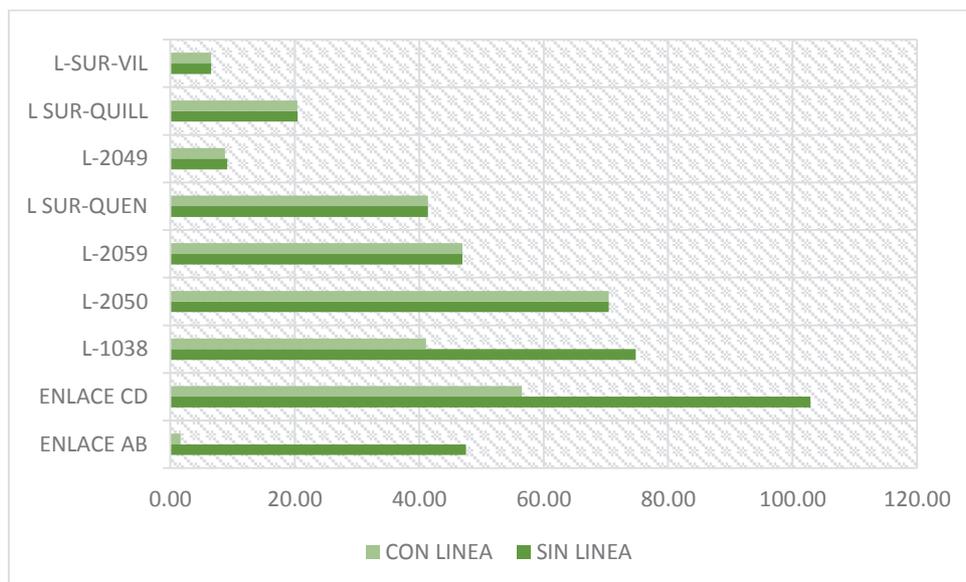
Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Est. Mínima Año 2020



Del mismo modo y ante las mismas condiciones de los ítems anteriores, del análisis sin la línea proyectada, se tiene que el enlace CD presenta estos valores de cargabilidad: 102.2%, 102.6% y 102.9% respectivamente para cada salida de línea. Asimismo, considerando el ingreso de la línea proyectada se tiene que el enlace CD disminuye la cargabilidad teniendo los siguientes valores: 56.1% 56.3% y 56.5%; con lo cual se concluye que con el ingreso de la línea proyectada disminuye considerablemente la cargabilidad en el enlace en mención.

Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.23, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 23 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2020



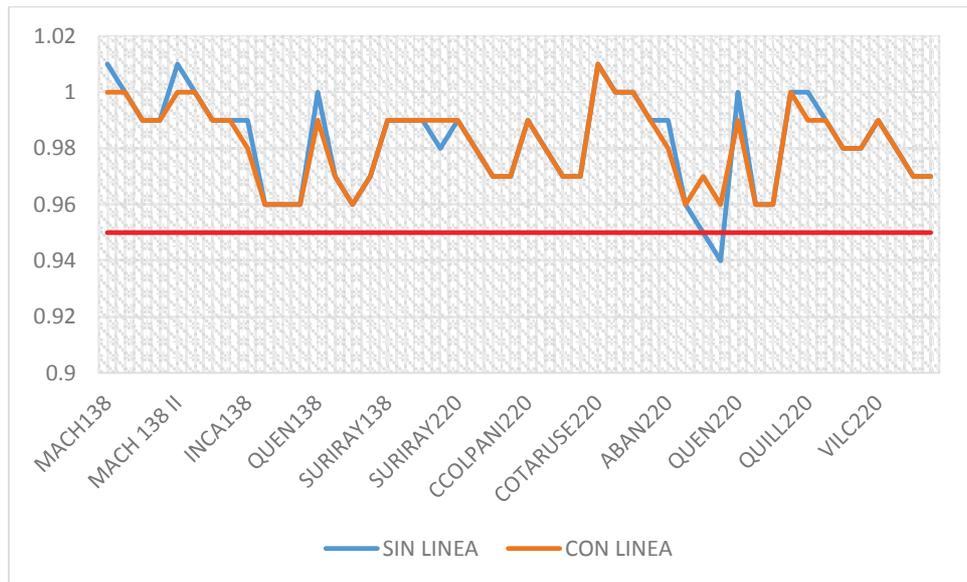
Fuente: Datos de la Tabla 5.12

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), ante contingencias, no se presentan valores que sobrepasen el límite del valor normado (2.5%).

En el Grafico 5.24, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras conectadas se mantienen en un rango aceptable de operación bajo contingencia.



Gráfico 5. 24 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2020



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles de Tensión Contingencia Est. Mínima – Año 2020

### 5.5.2.3. Año 2022

Las contingencias en este año, de igual manera que en los otros se analizan para los escenarios de avenida y estiaje, demanda máxima y mínima, para los casos con y sin L.T. Proyectada, tal como lo indica el procedimiento N°20 [14], para determinar si existe en el área de influencia capacidad de tolerancia en diferentes condiciones de contingencia en la red.

En el Anexo D.6 se muestran los diagramas unifilares con los flujos de carga para condiciones de contingencias y en los Anexos D.4 y D.5 los resultados estos flujos tanto en líneas como barras.

- **Avenida Máxima Demanda (Av. Max):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.13 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia, en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 13 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Máx. 2022

| CASO | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | Lne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|--------------|--------|---------------|-------------|
| 5    | z            | z         | z         | z      | z               | z      | z      | z            | z      | z             | z           |
|      | L-1038       | 43.23     | 0.01      | 0.00   |                 | 21.64  | 8.39   | 28.23        | 21.16  | 32.55         | 6.29        |

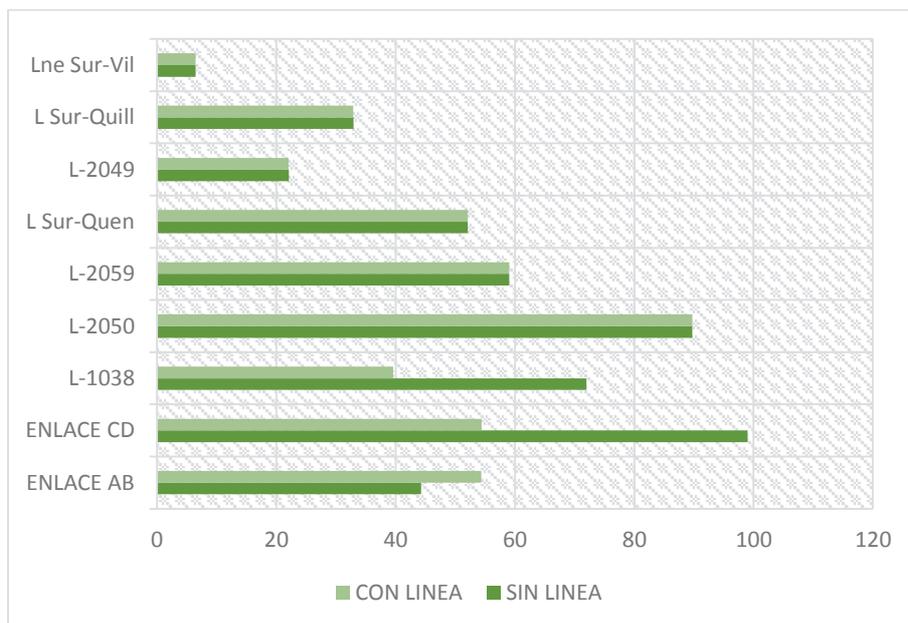


|           |            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| CON LINEA | L-2050     | 43.95 | 98.46 | 71.57 |       |       | 53.08 | 52.10 | 21.53 | 32.56 | 6.36 |
|           | L-2059     | 44.18 | 98.89 | 71.89 |       | 64.41 |       | 46.17 | 21.98 | 32.84 | 6.44 |
|           | L Sur-Quen | 44.24 | 99.02 | 71.98 |       | 89.72 | 59.05 |       | 22.11 | 32.94 | 6.46 |
|           | L-1038     | 54.37 | 0.01  |       | 71.35 | 45.84 | 31.49 | 39.11 | 21.27 | 32.54 | 6.31 |
|           | L-2050     | 1.23  | 54.08 | 39.32 | 32.25 |       | 53.06 | 52.09 | 21.47 | 32.54 | 6.35 |
|           | L-2059     | 1.24  | 54.33 | 39.51 | 32.41 | 64.42 |       | 46.16 | 21.90 | 32.79 | 6.43 |
|           | L Sur-Quen | 1.24  | 54.40 | 39.56 | 32.45 | 89.72 | 59.02 |       | 22.02 | 32.88 | 6.45 |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Av. Máxima Año 2022

De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que trabajaba cerca del 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.25, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 25 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Max. 2022



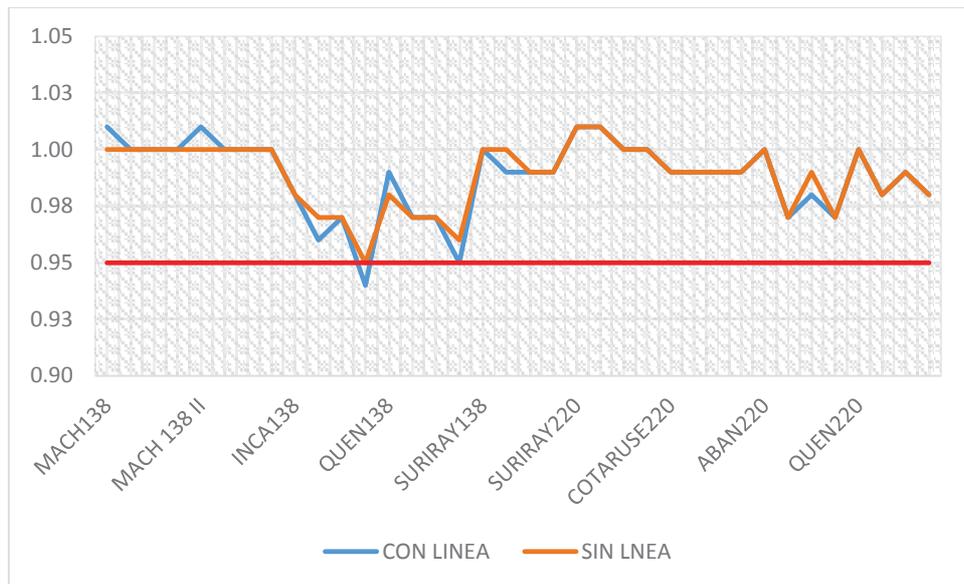
Fuente: Datos de la Tabla 5.13

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en la L.T Sur-Quen, la caída de tensión en la L.T Suriray-Abancay es de 2.72%, que sobrepasa el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada este valor es corregido a 2.44%.



En el Grafico 5.26, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de la L.T. Proyectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 kV (0.94). Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra mantener los perfiles de tensión de las barras conectadas en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia.

Gráfico 5. 26 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2022



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Av. Máxima – Año 2022

- **Avenida Mínima Demanda (Av. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.14 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia, en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 14 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Min. 2022

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | L.ne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|---------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 46.79     | 0.01      |        |                 | 21.00  | 27.99  | 10.53         | 21.01  | 32.54         | 6.30        |
|           | L-2050       | 47.29     | 102.19    | 74.28  |                 |        | 55.58  | 52.24         | 21.28  | 32.73         | 6.33        |
|           | L-2059       | 47.43     | 102.54    | 74.54  |                 | 66.26  |        | 46.83         | 21.53  | 33.01         | 6.38        |
|           | L Sur-Quen   | 47.61     | 103.00    | 74.88  |                 | 90.14  | 61.39  |               | 21.90  | 33.44         | 6.45        |
| CON LINEA | L-1038       | 54.71     | 0.01      |        | 74.04           | 46.10  | 33.75  | 39.17         | 21.09  | 32.54         | 6.31        |
|           | L-2050       | 1.70      | 56.08     | 40.77  | 33.50           |        | 55.56  | 52.23         | 21.24  | 32.68         | 6.33        |

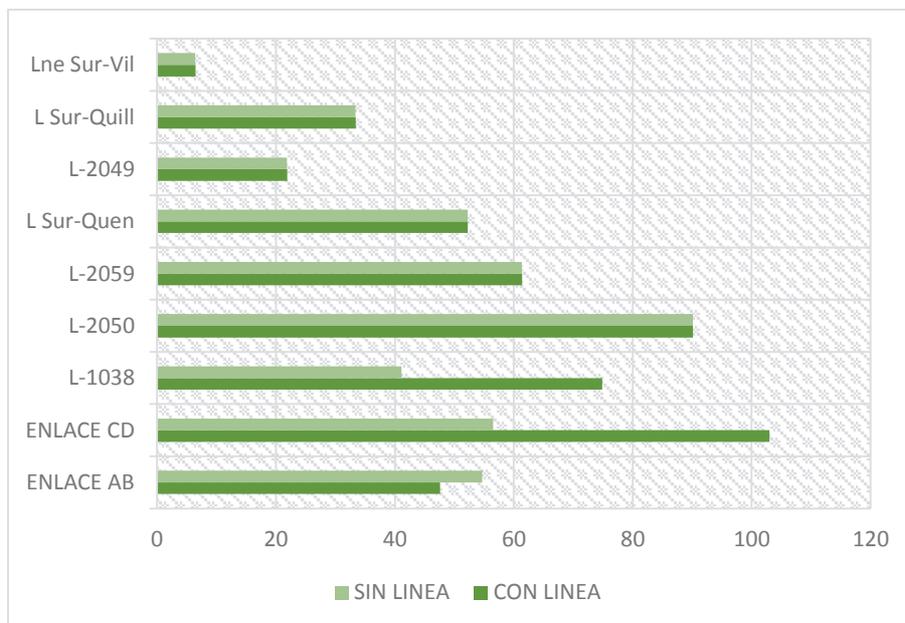


|            |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| L-2059     | 1.70 | 56.28 | 40.93 | 33.63 | 66.27 |       | 46.81 | 21.48 | 32.94 | 6.37 |
| L Sur-Quen | 1.70 | 56.54 | 41.12 | 33.79 | 90.13 | 61.36 |       | 21.83 | 33.35 | 6.44 |

Fuente: Anexo D.5. Resultados del análisis de contingencia – Av. Mínima Año 2022

De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que alcanza valores superiores al 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.27, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 27 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min. 2022



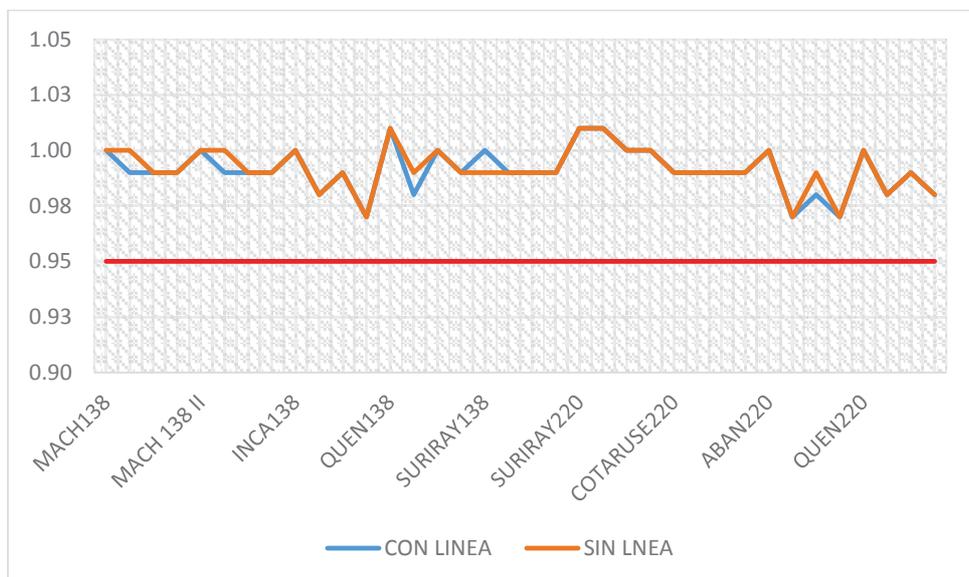
Fuente: Datos de la Tabla 5.14

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.5), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia el L-1038, la caída de tensión en la L.T Suriray-Quencoro es de 3.34%, de igual manera para contingencia en L-2050, la caída de tensión en la L.T Suriray-Cotaruse es 2.68%, ambos sobrepasan el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada estos valores son corregidos a 2.39%. y 2.44% respectivamente.



En el Grafico 5.28, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras se mantienen en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia.

Gráfico 5. 28 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2022



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Av. Mínima – Año 2022

- **Estiaje Máxima Demanda (Est. Max):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.23 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 15 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2022

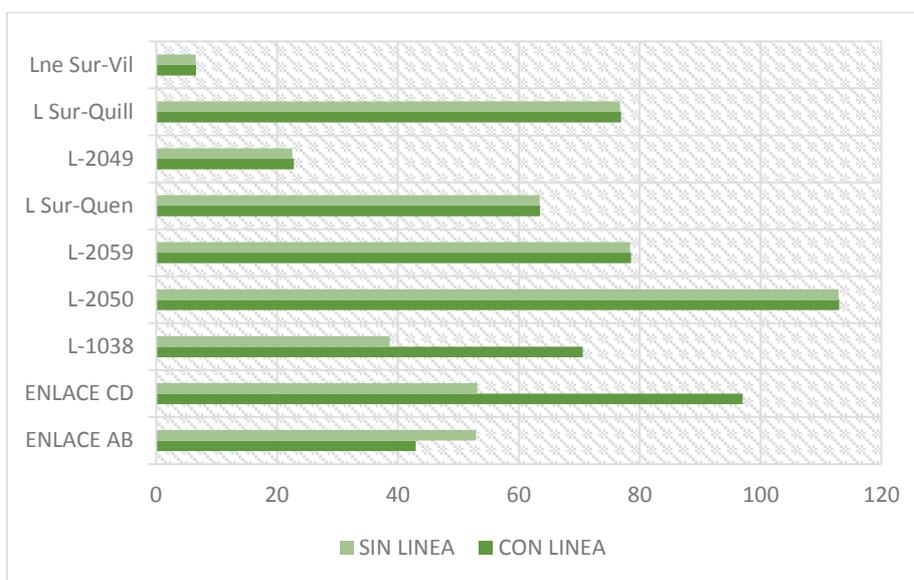
| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECT ADA | L-2050 | L-2059 | L.ne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|------------------|--------|--------|---------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 42.19     | 0.01      |        |                  | 35.78  | 20.99  | 34.56         | 20.72  | 75.60         | 6.30        |
|           | L-2050       | 42.79     | 96.56     | 70.20  |                  |        | 75.70  | 63.53         | 22.19  | 76.50         | 6.51        |
|           | L-2059       | 42.81     | 96.61     | 70.23  |                  |        | 88.90  | 56.22         | 22.25  | 76.54         | 6.52        |
|           | L Sur-Quen   | 42.98     | 97.06     | 70.57  |                  |        | 113.03 | 78.57         | 22.80  | 76.92         | 6.60        |
| CON LINEA | L-1038       | 52.93     | 0.01      |        | 69.38            | 61.04  | 45.33  | 45.49         | 21.05  | 75.78         | 6.34        |
|           | L-2050       | 0.58      | 52.86     | 38.44  | 31.78            |        | 75.57  | 63.45         | 21.98  | 76.35         | 6.47        |
|           | L-2059       | 0.58      | 52.88     | 38.46  | 31.80            | 88.77  |        | 56.14         | 22.03  | 76.39         | 6.48        |
|           | L Sur-Quen   | 0.57      | 53.13     | 38.65  | 32.00            | 112.90 | 78.43  |               | 22.54  | 76.74         | 6.56        |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de Contingencia – Est. Máxima Año 2022



De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que trabaja cerca del 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.29, donde se muestra las máximas cargabilidades alcanzadas de las líneas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 29 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2022



Fuente: Datos de la Tabla 5.23

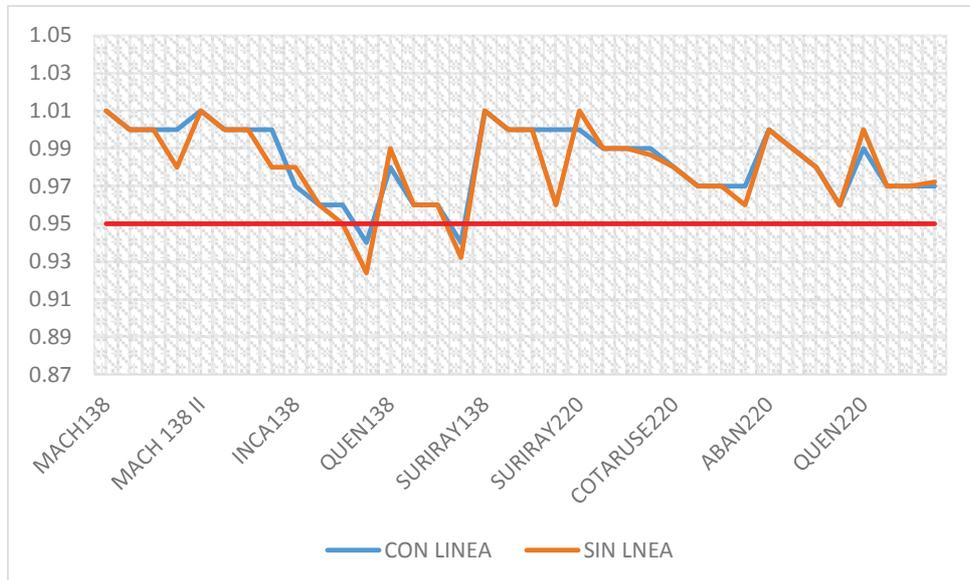
En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en la L.T Suriray - Quencoro, la caída de tensión en la L.T Suriray-Abancay es de 2.69%, que sobrepasa el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada este valor se reduce a 2.53%.

En el Gráfico 5.30, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de la L.T. Proyectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 kV (0.92) y en Quencoro 138 kV (0.93). Por el contrario, con la entrada de la L.T. Proyectada, se logra reducir y mantener la mayoría de los



perfiles de tensión de las barras en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia.

Gráfico 5. 30 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Max2022



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Est. Máxima – Año 2022

- **Estiaje Mínima Demanda (Est. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.16 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 16 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2022

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | Lne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|--------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 45.90     | 0.01      |        |                 | 38.61  | 28.46  | 30.02        | 20.68  | 76.45         | 6.34        |
|           | L-2050       | 46.56     | 100.69    | 73.20  |                 |        | 85.62  | 60.12        | 22.09  | 77.09         | 6.66        |
|           | L-2059       | 46.73     | 101.11    | 73.51  |                 | 98.29  |        | 53.84        | 22.58  | 77.37         | 6.76        |
|           | L Sur-Quen   | 46.88     | 101.49    | 73.78  |                 | 112.36 | 83.76  |              | 23.02  | 77.65         | 6.85        |
| CON LINEA | L-1038       | 53.36     | 0.01      | 72.40  | 64.87           |        | 53.73  | 41.22        | 21.09  | 76.61         | 6.44        |
|           | L-2050       | 1.30      | 55.07     | 40.05  | 33.13           |        | 85.49  | 60.03        | 21.89  | 76.99         | 6.61        |
|           | L-2059       | 1.30      | 55.31     | 40.22  | 33.31           | 98.18  |        | 53.75        | 22.35  | 77.23         | 6.71        |
|           | L Sur-Quen   | 1.31      | 55.51     | 40.38  | 33.47           | 112.23 | 83.60  |              | 22.76  | 77.49         | 6.79        |

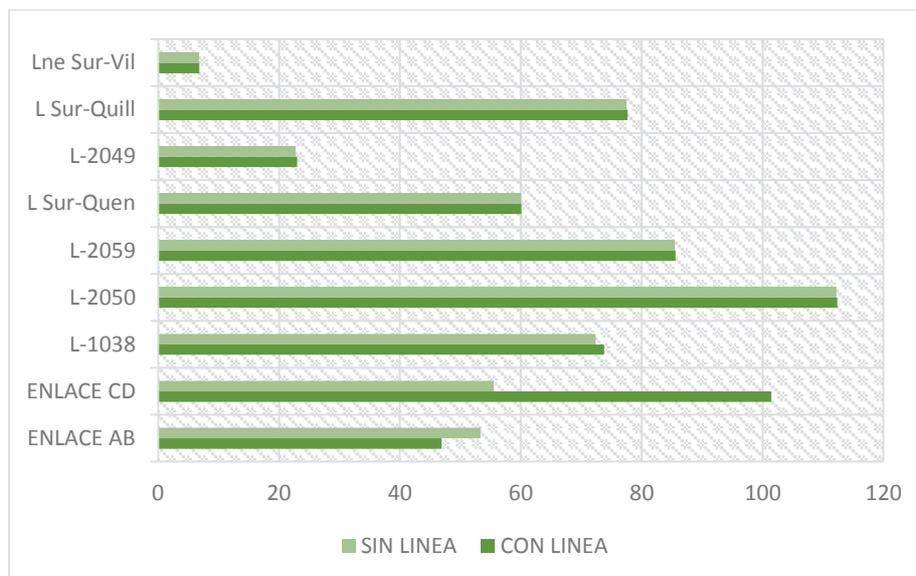
Fuente: Anexo D.4. Resultados del Análisis de contingencia – Est. Mínima Año 2022

De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD,



que alcanza valores superiores al 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.31, donde se muestra las máximas cargabilidades alcanzadas de las líneas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T. Proyectada.

Gráfico 5. 31 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2022



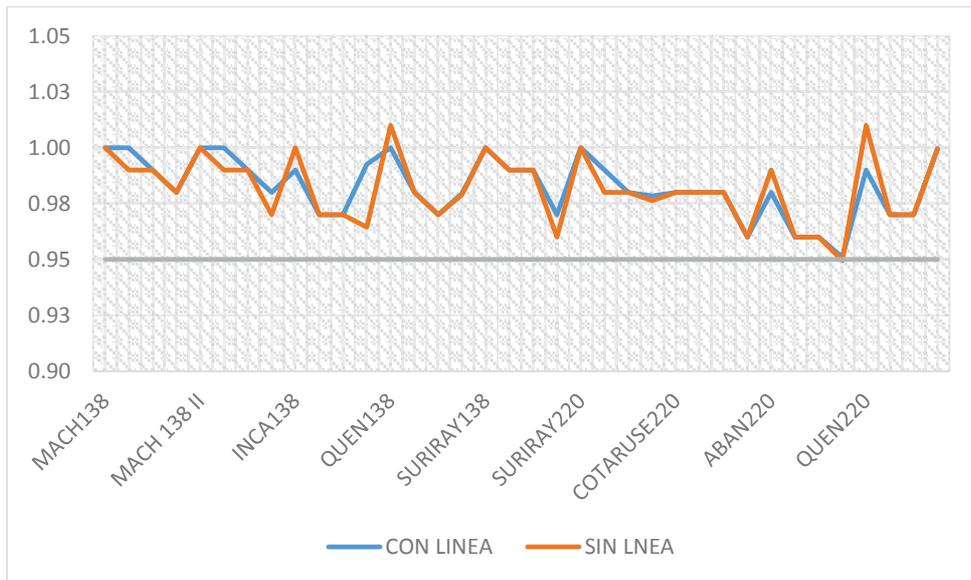
Fuente: Datos de la Tabla 5.16

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en L-1038, la caída de tensión en la L.T. Suriray-Cotaruse es de 3.06%, de igual manera para contingencia en L-2050, la caída de tensión en la L.T. Suriray-Quencoro es 2.64% y ante contingencia en la L.T. Suriray-Quencoro la caída de tensión en la L.T. Suriray-Abancay es de 2.68%, estos sobrepasan el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada este valor son corregidos 2.40%, 2.50% y 2.44% respectivamente.

En el Grafico 5.32, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras conectadas se mantienen en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia.



Gráfico 5. 32 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Min 2022



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Est. Mínima – Año 2022

#### 5.5.2.4. Año 2024

Las contingencias en este año, de misma forma que los anteriores se analizan para los escenarios de avenida y estiaje, demanda máxima y mínima, para los casos con y sin L.T. Proyectada, tal como lo indica el procedimiento N°20 [14], para determinar si existe en el área de influencia capacidad de tolerancia en diferentes condiciones de contingencia en la red.

En el Anexo D.6 se muestran los diagramas unifilares con los flujos de carga para condiciones de contingencias y en los Anexos D.4 y D.5 los resultados estos flujos tanto en líneas como barras.

- **Avenida Máxima Demanda (Av. Max):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.17 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 17 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av Máx. 2022

| CAS O     | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | Lne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|--------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 40.5      | 0.01      | 0.01   |                 | 31.08  | 19.57  | 16.26        | 20.08  | 33.17         | 6.4         |
|           | L-2050       | 41.04     | 96.63     | 70.25  |                 |        | 68.94  | 42.75        | 20.35  | 33.67         | 6.46        |

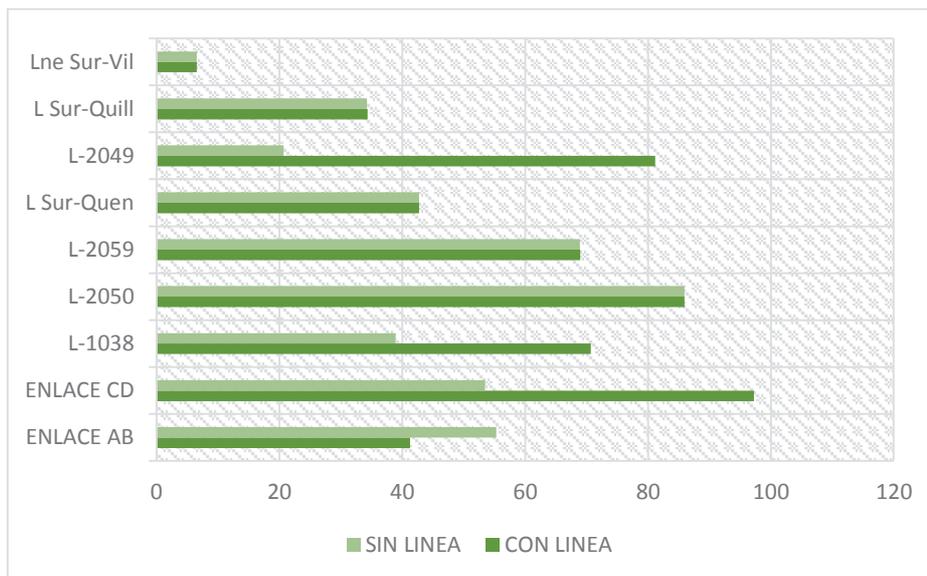


|           |            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|           | L-2059     | 41.26 | 97.25 | 70.71 |       | 20.76 |       | 36.39 | 81.16 | 34.34 | 6.56 |
|           | L Sur-Quen | 41.19 | 97.06 | 70.57 |       | 85.94 | 61.24 |       | 20.62 | 34.13 | 6.53 |
| CON LINEA | L-1038     | 55.3  | 0.01  | 0.01  | 69.87 | 56.08 | 42.55 | 26.9  | 20.1  | 33.21 | 6.4  |
|           | L-2050     | 3.13  | 53.13 | 38.65 | 31.65 |       | 68.91 | 42.73 | 20.3  | 33.59 | 6.45 |
|           | L-2059     | 3.13  | 53.49 | 38.92 | 31.87 | 81.16 |       | 36.36 | 20.68 | 34.23 | 6.54 |
|           | L Sur-Quen | 3.13  | 53.38 | 38.83 | 31.8  | 85.92 | 61.19 |       | 20.56 | 34.02 | 6.51 |

Fuente: Anexo D.5. Resultados del análisis de contingencia – Av. Máxima Año 2024

De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que trabajaba cerca del 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.33, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 33 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Max. 2024



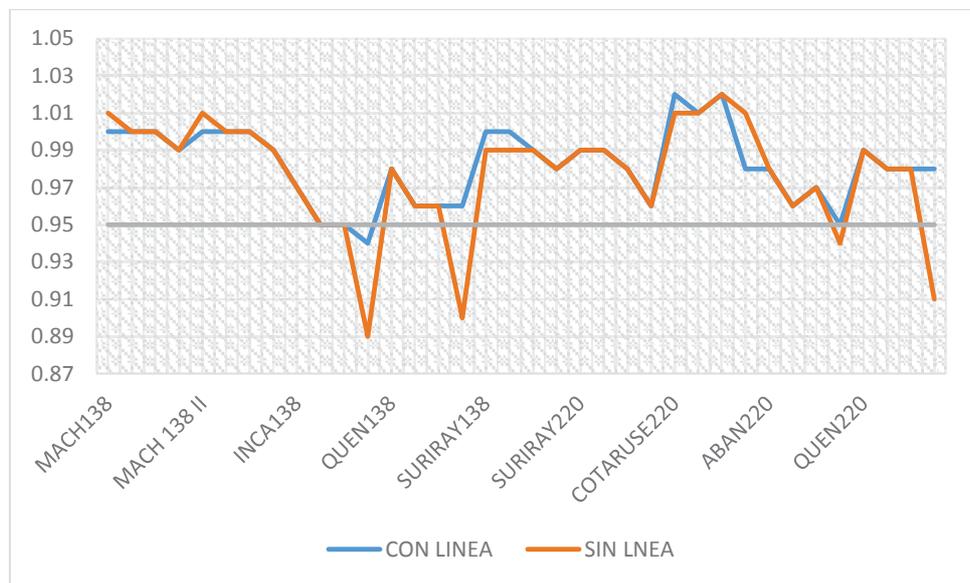
Fuente: Datos de la Tabla 5.17

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en L-2050, la caída de tensión en la L.T Suriray - Cotaruse es de 2.55%, de igual manera para contingencia en L.T Suriray - Quencoro, la caída de tensión en la L.T Suriray-Cotaruse es 3.23%, ambos sobrepasan el límite del valor normado (2.5%), posteriormente a estos valores son corregidos a 2.48%. y 2.76% respectivamente.



En el Grafico 5.34, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de la L.T. Proyectada la contingencia más severa es causada por la salida de la L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 kV (0.89), Quencoro 138 kV (0.90), Abancay 220kV (0.94) y Quencoro 220kV (0.91). Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra mantener la mayoría de los perfiles de tensión de las barras en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia, como se observa en la gráfica.

Gráfico 5. 34 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Max 2024



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Av. Máxima – Año 2024

- **Estiaje Mínima Demanda (Av. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5. En la Tabla 5.18 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 18 Cargabilidades de líneas – Contingencia Av. Min. 2024

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | Lne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|--------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 46.28     | 0.01      |        |                 | 21.63  | 13.63  | 25.23        | 19.97  | 32.91         | 6.37        |
|           | L-2050       | 47.09     | 102.50    | 74.52  |                 |        | 59.96  | 50.20        | 20.25  | 33.49         | 6.44        |
|           | L-2059       | 47.29     | 103.01    | 74.89  |                 | 70.13  |        | 44.67        | 20.54  | 33.99         | 6.51        |
|           | L Sur-Quen   | 47.36     | 103.17    | 75.01  |                 | 88.92  | 62.40  |              | 20.64  | 34.16         | 6.53        |
| CON LINEA | L-1038       | 55.06     | 0.01      |        | 74.08           | 48.30  | 37.18  | 36.50        | 20.01  | 33.02         | 6.38        |

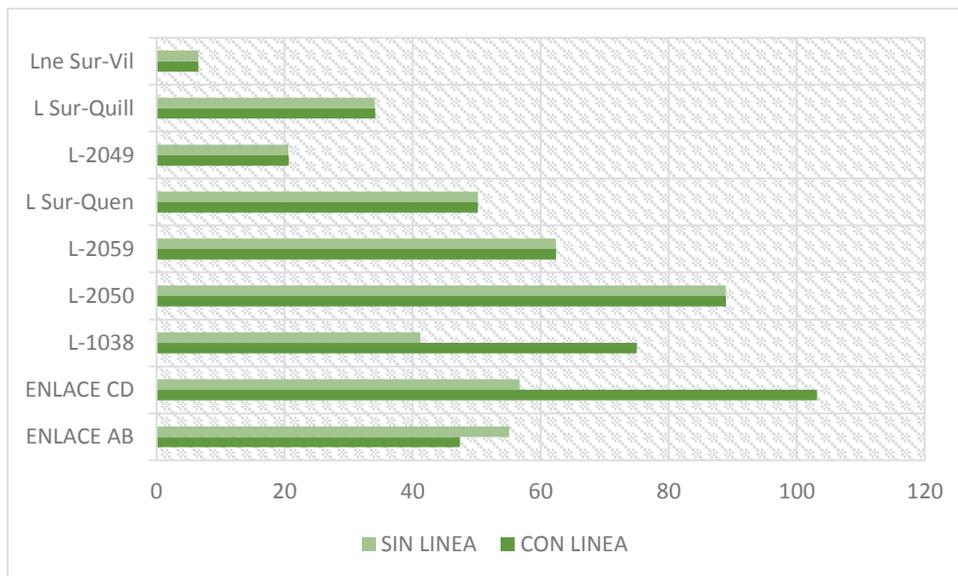


|            |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| L-2050     | 1.53 | 56.28 | 40.93 | 33.62 |       | 59.93 | 50.17 | 20.20 | 33.41 | 6.43 |
| L-2059     | 1.52 | 56.57 | 41.15 | 33.80 | 70.11 |       | 44.65 | 20.48 | 33.89 | 6.49 |
| L Sur-Quen | 1.52 | 56.66 | 41.22 | 33.86 | 88.89 | 62.35 |       | 20.57 | 34.05 | 6.52 |

Fuente: Anexo D.4. Resultados del análisis de contingencia – Av. Mínima Año 2024

De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que alcanza valores superiores al 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.35, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 35 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Av. Min. 2024



Fuente: Datos de la Tabla 5.18

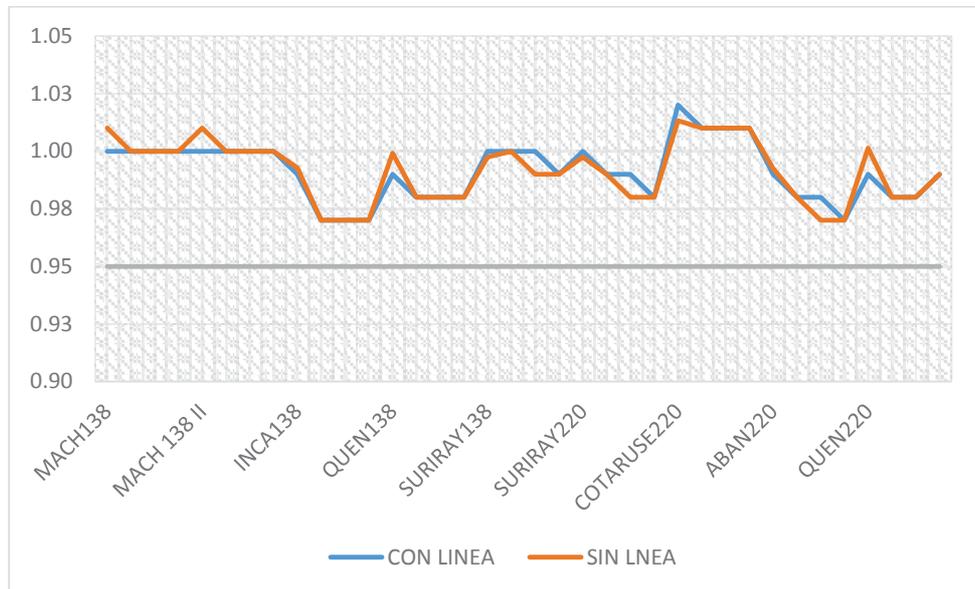
En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en la L.T Suriray-Quencoro, la caída de tensión en la L.T Suriray-Cotaruse es 2.75%, ambos sobrepasan el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada este valor es corregido a 2.53%.

En el Grafico 5.36, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, en este escenario sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras



conectadas se mantienen en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia.

Gráfico 5. 36 Perfiles de Tensión Contingencia – Av. Min 2024



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Av. Mínima – Año 2024

- **Estiaje Máxima Demanda (Est. Max):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.19 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 19 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Máx. 2024

| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | Lne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|--------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 40.34     | 0.01      |        |                 | 51.51  | 36.97  | 27.55        | 22.91  | 86.43         | 7.10        |
|           | L-2050       | 41.47     | 98.12     | 71.36  |                 |        | 89.20  | 56.92        | 21.57  | 77.88         | 6.73        |
|           | L-2059       | 41.80     | 98.99     | 71.99  |                 | 104.72 |        | 49.26        | 22.33  | 78.47         | 6.88        |
|           | L Sur-Quen   | 41.73     | 98.82     | 71.87  |                 | 112.56 | 81.24  |              | 22.19  | 78.36         | 6.85        |
| CON LINEA | L-1038       | 59.06     | 0.01      |        | 74.69           | 77.66  | 62.71  | 34.52        | 21.80  | 81.42         | 6.90        |
|           | L-2050       | 3.22      | 53.99     | 39.29  | 32.18           |        | 89.14  | 56.88        | 21.46  | 77.79         | 6.70        |
|           | L-2059       | 3.21      | 54.50     | 39.67  | 32.49           | 104.66 |        | 49.22        | 22.19  | 78.36         | 6.85        |
|           | L Sur-Quen   | 3.22      | 54.40     | 39.60  | 32.43           | 112.51 | 81.16  |              | 22.05  | 78.25         | 6.82        |

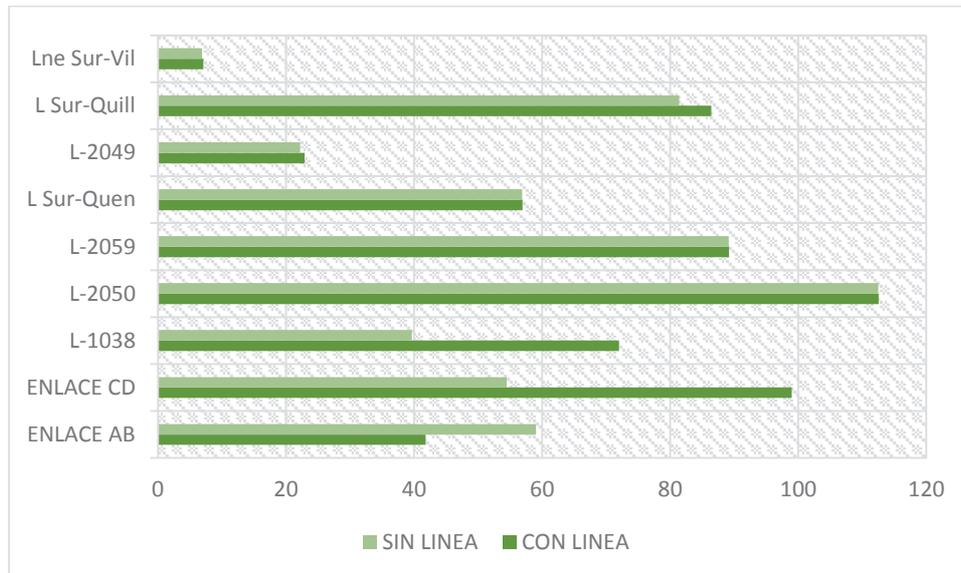
Fuente: Anexo D.4. Resultados Del Análisis De Contingencia – Est. Mínima Año 2024

De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que trabajaba cerca del 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la



seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.37, donde se muestra las máximas cargabilidades de las líneas alcanzadas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T. Proyectada.

Gráfico 5. 37 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Max. 2024



Fuente: Datos de la Tabla 5.19

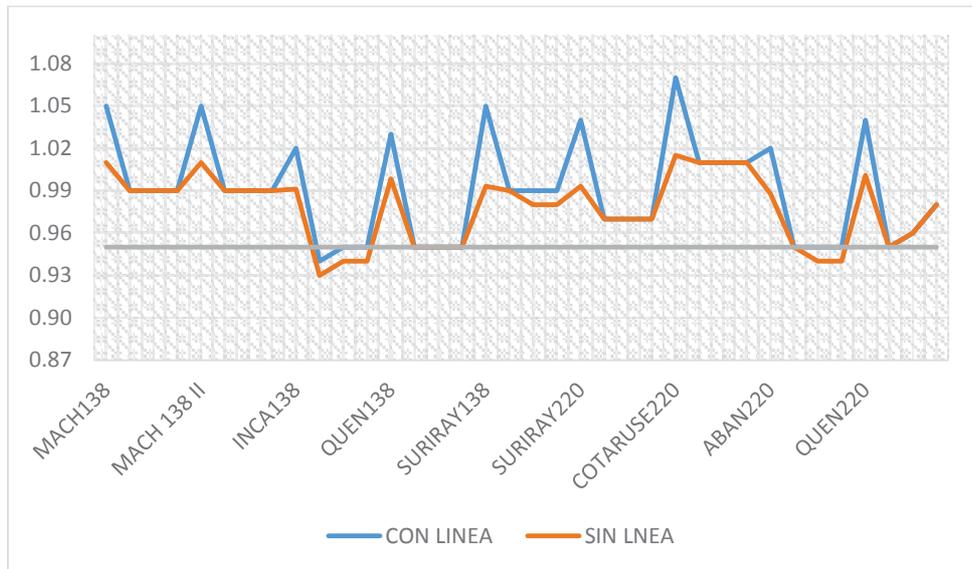
En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en L-1038, la caída de tensión en la L.T Suriray-Abancay es 3.63%, ante contingencia en L-2050, la caída de tensión en la L.T Suriray - Cotaruse es de 3.40%, de igual manera para contingencia en L.T Suriray - Quencoro, la caída de tensión en la L.T Suriray-Abancay es 2.88% y en L.T Suriray-Cotaruse es 4.00%, todos sobrepasan el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada estos valores son reducidos a 1.94%, 3.11%, 2.67% y 3.52% respectivamente.

En el Grafico 5.38, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin la entrada de la L.T. Proyectada las contingencias más severas son causadas por la salida de L-2050, L-2059 y L.T. Suriray - Quencoro, donde se produce un colapso de tensión en la barra de Incasa 138 Kv llegando a los 0.93, 0.94 y 0.94 en cada caso, de igual manera en la barra Abancay 220 kV cuando hay contingencia en



las L-2050 y L-2059 se alcanzan valores de 0.94 en cada caso. Por el contrario, con la entrada del proyecto, se logra mantener la mayoría de los perfiles de tensión de las barras en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia, como se observa en la gráfica.

Gráfico 5. 38 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Max 2024



Fuente: Anexo D.5. Resultados perfiles de tensión contingencia Est. Máxima – Año 2024

- **Estiaje Mínima Demanda (Est. Min):** Se hará el análisis de las cargabilidades en líneas, caída de tensión y los perfiles de tensión en barra, usando gráficos para mayor comprensión, estos datos se encuentran en los Anexos D.4. y D.5.

En la Tabla 5.20 se muestra los resultados de las cargabilidades (%) ante contingencia en las principales líneas del área de influencia:

Tabla 5. 20 Cargabilidades de líneas – Contingencia Est. Min. 2024

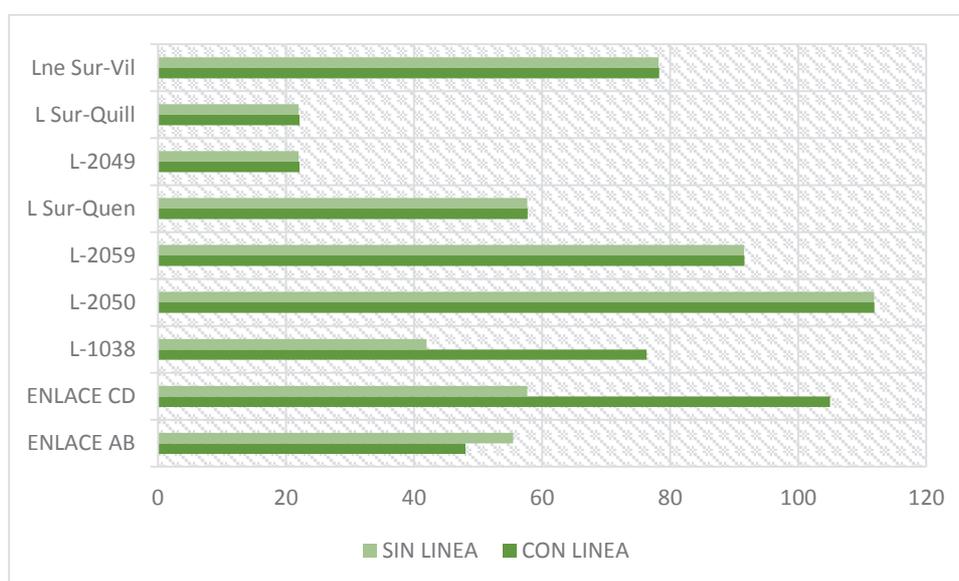
| CASO      | CONTINGENCIA | ENLACE AB | ENLACE CD | L-1038 | L.T. PROYECTADA | L-2050 | L-2059 | Lne Sur-Quen | L-2049 | Lne Sur-Quill | Lne Sur-Vil |
|-----------|--------------|-----------|-----------|--------|-----------------|--------|--------|--------------|--------|---------------|-------------|
| SIN LINEA | L-1038       | 46.23     | 0.01      |        |                 | 42.17  | 33.25  | 26.02        | 20.10  | 76.69         | 6.40        |
|           | L-2050       | 47.58     | 103.80    | 75.47  |                 |        | 91.60  | 57.72        | 21.13  | 77.52         | 6.64        |
|           | L-2059       | 47.82     | 104.38    | 75.90  |                 | 104.44 |        | 51.41        | 21.60  | 77.90         | 6.73        |
|           | L Sur-Quen   | 48.06     | 104.96    | 76.33  |                 | 111.91 | 85.61  |              | 22.09  | 78.28         | 6.83        |
| CON LINEA | L-1038       | 55.49     | 0.01      |        | 74.58           | 69.06  | 58.46  | 37.62        | 20.35  | 76.90         | 6.46        |
|           | L-2050       | 1.50      | 57.02     | 41.49  | 34.08           |        | 91.55  | 57.67        | 21.04  | 77.44         | 6.62        |
|           | L-2059       | 1.49      | 57.36     | 41.74  | 34.29           | 104.41 |        | 51.36        | 21.48  | 77.80         | 6.71        |
|           | L Sur-Quen   | 1.49      | 57.69     | 41.99  | 34.49           | 111.85 | 85.54  |              | 21.95  | 78.17         | 6.80        |

Fuente: Anexo D.5. Resultados del análisis de contingencia – Est. Mínima Año 2024



De estos resultados se puede concluir que con el ingreso de la L.T. Proyectada, las cargabilidades disminuyen considerablemente, más aún en el ENLACE CD, que alcanza valores superiores al 100%, logrando evitar que se ponga en riesgo la seguridad de estos elementos y en general del sistema. Esto se puede observar de mejor manera en el Gráfico 5.39, donde se muestra las máximas cargabilidades alcanzadas de las líneas ante contingencia, haciendo una comparación con y sin el ingreso de la L.T Proyectada.

Gráfico 5. 39 Máximas Cargabilidades en la Líneas - Est. Min. 2022



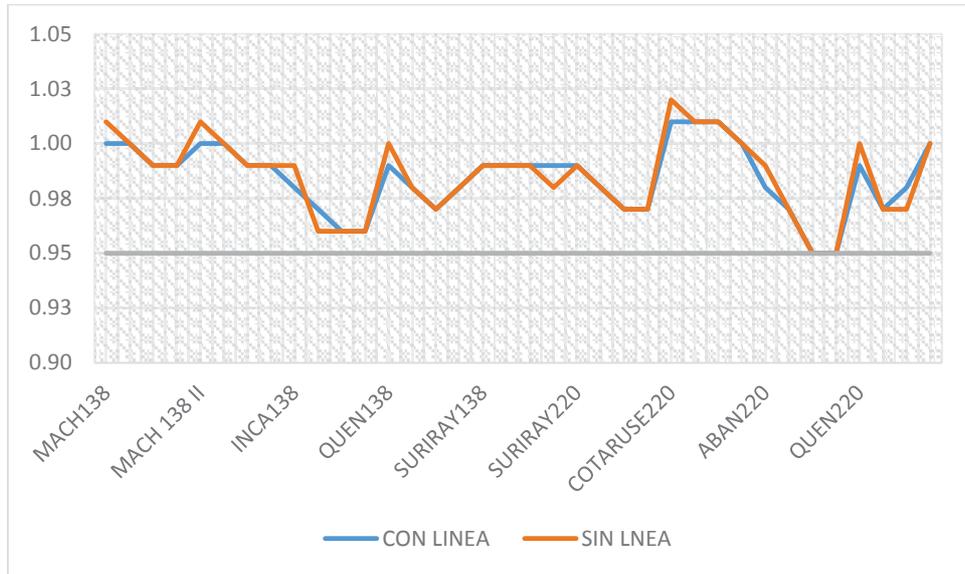
Fuente: Datos de la Tabla 5.20

En cuanto al análisis de los valores de caída de tensión (Anexo D.4), inicialmente haciendo la evaluación sin considerar la L.T. Proyectada, ante contingencia en L-2050, la caída de tensión en la L.T Suriray-Cotaruse es de 2.73%, de igual manera para contingencia en la L.T. Suriray- Quencoro la caída de tensión en la L.T Suriray-Cotaruse es de 3.36%, estos sobrepasan el límite del valor normado (2.5%), posteriormente al considerar la L.T. Proyectada este valor son corregidos 2.46% y 2.57% respectivamente.

En el Grafico 5.40, se muestra los perfiles de tensión (Anexo D.5) en valores por unidad (p.u), de las diferentes barras que componen el sistema, sin y con la entrada de L.T. Proyectada los perfiles de tensión de las barras conectadas se mantienen en un rango aceptable de operación (0.95 – 1.05) bajo contingencia.



Gráfico 5. 40 Perfiles de Tensión Contingencia – Est. Min 2024



Fuente: Anexo D.5. Resultados Perfiles De Tensión Contingencia Est. Mínima – Año 2022

## 5.6. ANÁLISIS DE ENERGIZACION

Para el análisis de la energización de la L.T. Machupicchu I – Suriray 138 kV, se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Para la sincronización, la diferencia de ángulo ( $\Delta\phi$ ) entre los sistemas a conectar no deber ser mayor a  $30^\circ$
- La diferencia en frecuencia ( $\Delta f$ ) no debe ser mayor a 0.1 Hz
- La diferencia de tensión ( $\Delta V$ ) no debe ser mayor a 10% de la tensión nominal.

Al realizar la sincronización de dos sistemas, se debe tomar en cuenta la fortaleza de cada sistema; por lo que para efectos de regulación de tensión y flujo de reactivos se considera un sistema fuerte al que tiene mayor potencia de cortocircuito.

Tabla 5. 21. Resultados de Potencia de Corto Circuito en Barras

| BARRAS                 | POTENCIA DE CORTO CIRCUITO MVA |            |
|------------------------|--------------------------------|------------|
|                        | TRIFASICO                      | MONOFASICO |
| <b>MACHUPICCHU 138</b> | 1937.69                        | 743.856    |
| <b>SURIRAY138</b>      | 1982.73                        | 818.854    |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01



En la Tabla 5.22 se considera el esquema de energización para la barra de salida y llegada de la línea proyectada, cuyos valores cumplen con los criterios establecidos anteriormente, en cuanto a su diferencia de ángulo el cual no supera los 30°, así como la variación de tensión que no es mayor del 10% de la tensión nominal.

Tabla 5. 22. Resultados Corto Circuito

| CASOS             | MACH138 |        |        | SURIRAY138 |        |        |
|-------------------|---------|--------|--------|------------|--------|--------|
|                   | V       | V p.u. | deg    | V          | V p.u. | Deg    |
| <b>OP. NORMAL</b> | 138.78  | 1.01   | -27.86 | 138.46     | 1.00   | -28.62 |
| <b>SIN CARGA</b>  | 138.80  | 1.01   | -27.20 | 138.20     | 1.00   | -28.62 |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

Para el caso de corto circuito en la línea, los valores calculados son los que se muestran en la Tabla 5.23.

Tabla 5. 23. Resultados Corto Circuito en Línea

| LINEA DE TRANSMISION         | POTENCIA DE CORTO CIRCUITO MVA |        |      |            |       |       |
|------------------------------|--------------------------------|--------|------|------------|-------|-------|
|                              | TRIFASICO                      |        |      | MONOFASICA |       |       |
|                              | 5%                             | 50%    | 95%  | 5%         | 50%   | 95%   |
| <b>Machupicchu - Suriray</b> | 1925.1                         | 1883.1 | 1965 | 732.4      | 701.2 | 797.1 |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

## 5.7. ANÁLISIS DE EFECTO FERRANTI

El efecto Ferranti es producido por el efecto capacitivo que hay en una línea larga de transmisión aérea que se comporta como si estuviese formado por infinitos capacitores que hacen a su vez de fuentes de acumulación de energía, por lo que el potencial en el extremo receptor es mayor que en el extremo transmisor. Sin embargo para el caso de esta línea de transmisión analizada, la cual tiene una longitud de solo 10 km, se desprecia este efecto.

## 5.8. ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO

Se adoptan criterios de acuerdo al Procedimiento Técnico “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN” (Procedimiento N°20) [14].

Se simulan cortocircuito trifásico, monofásico en las barras de 138 kV del área de influencia, con el fin de establecer los valores de los niveles máximos (kA) de las



corrientes de cortocircuito subtransitorias simétricas ( $I''_k$ ) en los barrajes de las redes de la zona de estudio.

Estos cálculos son realizados para el año de entrada del proyecto (2018) hasta el año 2024, considerando que están sincronizadas al SEIN todas las centrales de generación.

### **5.8.1. Metodología utilizada**

En estos estudios se definen niveles de cortocircuito para falla trifásica y monofásica], según la cual los resultados entregados corresponden a corrientes subtransitorias (o instantáneas) simétricas (sin componente cd) en Amperios y en valor rms. En los equipos e instalaciones aledañas existentes en la zona, los cálculos de cortocircuito se efectúan bajo condiciones normales de operación, en las condiciones de máxima y mínima demanda, con y sin el proyecto para los años 2018 al 2024.

Con las simulaciones de cortocircuito, se predice el comportamiento transitorio más severo para la red y la soportabilidad requerida por el equipo de interrupción en cada una de las subestaciones del proyecto.

Los resultados de los cálculos de cortocircuito se presentan en diagramas unifilares (ver Anexo D.7) y contienen, para cada falla, el valor de la corriente simétrica inicial de cortocircuito ( $I''_k$ ), la cual es el valor rms de la componente simétrica de la corriente de cortocircuito esperada y que aparece en el instante de la falla. También se presenta la potencia aparente inicial simétrica ( $SK''$ ).

### **5.8.2. Resultados obtenidos.**

En la Tabla 5.24 a la Tabla 5.26 se pueden ver los niveles máximos de cortocircuito de las subestaciones que hacen parte de la L.T. Proyectada, que fueron obtenidos en las simulaciones en el software PowerFactory DigSILENT 15.01, utilizando el método de cálculo completo. Se cuenta con resultados de cortocircuito trifásico y monofásico, para Demanda máxima y mínima en los escenarios de avenida y estiaje en los años de estudio (2018, 2020, 2022 y 2024).



Tabla 5. 24 Resultados de Cortocircuito Subestación Machupicchu I 138 kV

| MACH 138 I |           |           |        |         |        |           |        |         |        |           |        |
|------------|-----------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--------|
| AÑO        | ESCENARIO | CON LINEA |        |         |        | SIN LINEA |        |         |        | VARIACION |        |
|            |           | Icc_3F    | Icc_1F | Sc_3F   | Sc_1F  | Icc_3F    | Icc_1F | Sc_3F   | Sc_1F  | Icc_3F    | Icc_1F |
| 2018       | AVMAX     | 7.46      | 8.67   | 1783.32 | 690.97 | 7.25      | 8.15   | 1732.29 | 649.31 | 0.21      | 0.52   |
|            | AVMIN     | 7.45      | 8.66   | 1781.75 | 690.37 | 7.24      | 8.14   | 1730.88 | 648.81 | 0.21      | 0.52   |
|            | EST MAX   | 7.25      | 8.16   | 1731.94 | 649.97 | 7.25      | 8.16   | 1731.94 | 649.97 | 0.00      | 0.00   |
|            | EST MIN   | 7.45      | 8.67   | 1781.90 | 691.00 | 7.24      | 8.15   | 1731.02 | 649.62 | 0.21      | 0.52   |
| 2020       | AVMAX     | 8.12      | 9.36   | 1941.88 | 746.03 | 7.84      | 8.73   | 1872.98 | 695.52 | 0.29      | 0.63   |
|            | AVMIN     | 8.04      | 9.28   | 1922.93 | 739.72 | 7.77      | 8.66   | 1856.30 | 690.30 | 0.28      | 0.62   |
|            | EST MAX   | 8.12      | 9.36   | 1942.03 | 746.08 | 7.84      | 8.73   | 1873.11 | 695.56 | 0.29      | 0.63   |
|            | EST MIN   | 9.26      | 10.58  | 2212.75 | 843.23 | 7.83      | 8.73   | 1872.46 | 695.34 | 1.42      | 1.86   |
| 2022       | AVMAX     | 8.13      | 9.37   | 1943.58 | 746.56 | 7.84      | 8.74   | 1874.47 | 695.98 | 0.29      | 0.63   |
|            | AVMIN     | 8.12      | 9.35   | 1939.80 | 745.19 | 7.83      | 8.72   | 1871.15 | 694.85 | 0.29      | 0.63   |
|            | EST MAX   | 8.13      | 9.37   | 1943.63 | 746.58 | 7.84      | 8.74   | 1874.51 | 696.00 | 0.29      | 0.63   |
|            | EST MIN   | 8.13      | 9.37   | 1943.32 | 746.47 | 7.84      | 8.73   | 1874.25 | 695.91 | 0.29      | 0.63   |
| 2024       | AVMAX     | 8.15      | 9.39   | 1948.27 | 748.27 | 7.86      | 8.75   | 1878.59 | 697.37 | 0.29      | 0.64   |
|            | AVMIN     | 8.09      | 9.33   | 1933.26 | 743.14 | 7.80      | 8.70   | 1865.40 | 693.13 | 0.28      | 0.63   |
|            | EST MAX   | 8.15      | 9.39   | 1948.16 | 748.23 | 7.86      | 8.75   | 1878.49 | 697.34 | 0.29      | 0.64   |
|            | EST MIN   | 8.15      | 9.39   | 1947.67 | 748.05 | 7.86      | 8.75   | 1878.06 | 697.19 | 0.29      | 0.64   |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

Tabla 5. 25 Resultados de Cortocircuito Subestación Machupicchu II 138 kV

| MACH 138 II |           |           |        |         |        |           |        |         |        |           |        |
|-------------|-----------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--------|
| AÑO         | ESCENARIO | CON LINEA |        |         |        | SIN LINEA |        |         |        | VARIACION |        |
|             |           | Icc_3F    | Icc_1F | Sc_3F   | Sc_1F  | Icc_3F    | Icc_1F | Sc_3F   | Sc_1F  | Icc_3F    | Icc_1F |
| 2018        | AVMAX     | 7.45      | 8.63   | 1781.47 | 687.29 | 7.29      | 8.28   | 1742.87 | 659.52 | 0.16      | 0.35   |
|             | AVMIN     | 7.45      | 8.62   | 1779.89 | 686.70 | 7.29      | 8.27   | 1741.42 | 659.00 | 0.16      | 0.35   |
|             | EST MAX   | 7.29      | 8.28   | 1742.50 | 659.97 | 7.29      | 8.28   | 1742.50 | 659.97 | 0.00      | 0.00   |
|             | EST MIN   | 7.45      | 8.62   | 1780.05 | 687.17 | 7.29      | 8.28   | 1741.57 | 659.61 | 0.16      | 0.35   |
| 2020        | AVMAX     | 8.12      | 9.31   | 1940.17 | 741.68 | 7.89      | 8.88   | 1886.84 | 707.38 | 0.22      | 0.43   |
|             | AVMIN     | 8.04      | 9.23   | 1921.20 | 735.43 | 7.82      | 8.81   | 1869.75 | 701.94 | 0.22      | 0.42   |
|             | EST MAX   | 8.12      | 9.31   | 1940.31 | 741.73 | 7.89      | 8.88   | 1886.97 | 707.43 | 0.22      | 0.43   |
|             | EST MIN   | 9.22      | 10.46  | 2203.29 | 833.08 | 7.89      | 8.88   | 1886.31 | 707.19 | 1.33      | 1.58   |
| 2022        | AVMAX     | 8.12      | 9.32   | 1941.87 | 742.19 | 7.90      | 8.88   | 1888.37 | 707.85 | 0.22      | 0.43   |
|             | AVMIN     | 8.11      | 9.30   | 1938.08 | 740.84 | 7.89      | 8.87   | 1884.96 | 706.67 | 0.22      | 0.43   |
|             | EST MAX   | 8.12      | 9.32   | 1941.91 | 742.22 | 7.90      | 8.88   | 1888.41 | 707.87 | 0.22      | 0.43   |
|             | EST MIN   | 8.12      | 9.31   | 1941.61 | 742.12 | 7.90      | 8.88   | 1888.14 | 707.78 | 0.22      | 0.43   |
| 2024        | AVMAX     | 8.14      | 9.34   | 1946.56 | 743.90 | 7.92      | 8.90   | 1892.59 | 709.31 | 0.23      | 0.43   |
|             | AVMIN     | 8.08      | 9.27   | 1931.54 | 738.81 | 7.86      | 8.85   | 1879.07 | 704.89 | 0.22      | 0.43   |



|         |      |      |         |        |      |      |         |        |      |      |
|---------|------|------|---------|--------|------|------|---------|--------|------|------|
| EST MAX | 8.14 | 9.34 | 1946.45 | 743.86 | 7.92 | 8.90 | 1892.49 | 709.27 | 0.23 | 0.43 |
| EST MIN | 8.14 | 9.33 | 1945.96 | 743.68 | 7.92 | 8.90 | 1892.06 | 709.12 | 0.23 | 0.43 |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

Tabla 5. 26 Resultados de Cortocircuito Subestación Suriray 138 kV

| SURIRAY 138 |           |           |        |         |        |           |        |         |        |           |        |
|-------------|-----------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--------|
| AÑO         | ESCENARIO | CON LINEA |        |         |        | SIN LINEA |        |         |        | VARIACION |        |
|             |           | Icc_3F    | Icc_1F | Sc_3F   | Sc_1F  | Icc_3F    | Icc_1F | Sc_3F   | Sc_1F  | Icc_3F    | Icc_1F |
| 2018        | AVMAX     | 7.55      | 9.40   | 1803.79 | 749.27 | 7.40      | 9.21   | 1767.66 | 733.64 | 0.15      | 0.20   |
|             | AVMIN     | 7.54      | 9.39   | 1801.98 | 748.50 | 7.39      | 9.20   | 1765.85 | 732.88 | 0.15      | 0.20   |
|             | EST MAX   | 7.39      | 9.21   | 1767.21 | 733.51 | 7.39      | 9.21   | 1767.21 | 733.51 | 0.00      | 0.00   |
|             | EST MIN   | 7.54      | 9.40   | 1802.16 | 748.65 | 7.39      | 9.20   | 1766.03 | 732.99 | 0.15      | 0.20   |
| 2020        | AVMAX     | 8.32      | 10.30  | 1987.65 | 820.96 | 8.16      | 10.10  | 1951.50 | 804.54 | 0.15      | 0.21   |
|             | AVMIN     | 8.22      | 10.20  | 1965.43 | 812.55 | 8.07      | 9.99   | 1929.28 | 796.22 | 0.15      | 0.20   |
|             | EST MAX   | 8.32      | 10.30  | 1987.82 | 821.03 | 8.17      | 10.10  | 1951.68 | 804.61 | 0.15      | 0.21   |
|             | EST MIN   | 9.20      | 11.34  | 2199.89 | 903.59 | 8.16      | 10.09  | 1950.81 | 804.25 | 1.04      | 1.25   |
| 2022        | AVMAX     | 8.32      | 10.31  | 1989.65 | 821.52 | 8.17      | 10.10  | 1953.50 | 805.07 | 0.15      | 0.21   |
|             | AVMIN     | 8.31      | 10.29  | 1985.21 | 819.70 | 8.15      | 10.08  | 1949.06 | 803.27 | 0.15      | 0.21   |
|             | EST MAX   | 8.32      | 10.31  | 1989.70 | 821.56 | 8.17      | 10.11  | 1953.55 | 805.11 | 0.15      | 0.21   |
|             | EST MIN   | 8.32      | 10.31  | 1989.34 | 821.43 | 8.17      | 10.10  | 1953.20 | 804.98 | 0.15      | 0.21   |
| 2024        | AVMAX     | 8.35      | 10.34  | 1995.16 | 823.94 | 8.20      | 10.13  | 1959.01 | 807.48 | 0.15      | 0.21   |
|             | AVMIN     | 8.27      | 10.26  | 21.96   | 817.07 | 8.12      | 10.05  | 1941.39 | 800.69 | 0.15      | 0.21   |
|             | EST MAX   | 8.35      | 10.34  | 1995.03 | 823.89 | 8.20      | 10.13  | 1958.88 | 807.43 | 0.15      | 0.21   |
|             | EST MIN   | 8.34      | 10.34  | 1994.45 | 823.64 | 8.19      | 10.13  | 1958.31 | 807.19 | 0.15      | 0.21   |

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Power Factory DigSilent 15.01

Con la entrada en operación al AOSE N° 13 de la L.T. Proyectada, no se presentan grandes incrementos a las corrientes de falla en las subestaciones del sistema, ya que los aumentos más significativos, están entre 1 kA y 2 kA.

Los niveles de cortocircuito (trifásico y monofásico) con mayor incremento en las subestaciones se dieron en el año 2020, en el escenario de estiaje mínima demanda, alcanzando valores de cortocircuito trifásico en la S.E. Machupicchu I 138 Kv de 9.26 kA y monofásico 10.58 kA, en el caso de la S.E. de Machupicchu II 138 kV los valores de cortocircuito son trifásico de 9.22 kA y monofásico de 10.46 kA, asimismo en la S.E. Suriray 138 kV los valores de cortocircuito son trifásico de 9.20 kA y monofásico de 11.34 kA.



Los valores máximos de cortocircuito se presentaron en el escenario de máximo estiaje, debido a que la generación hidráulica, de la zona (centrales Machupicchu y Santa Teresa) permanece en servicio durante este periodo, además que para el año 2020 entran en servicio las Centrales Generadoras de Quillabamba y Vilcanota.

Por otro lado al comparar los resultados de cortocircuito simulados, con los valores de los elementos que componen las subestaciones asociadas, que se muestran a continuación en la Tabla 5.27, (estos datos que fueron extraídos en el Capítulo 3 de la presente tesis, en el ítem 3.4).

Tabla 5. 27 Datos de las Corrientes de Cortocircuito las S.E.

| ELEMENTO      | UNIDAD | MACH I | MACH II | SURIRAY |
|---------------|--------|--------|---------|---------|
| Interruptor   | kA     | 40     | 31,5    |         |
| Seccionador   |        | 40     |         |         |
| T/F Corriente |        | 31,5   |         |         |

Fuente: Capítulo3- 3.4. Subestaciones Eléctricas Asociadas

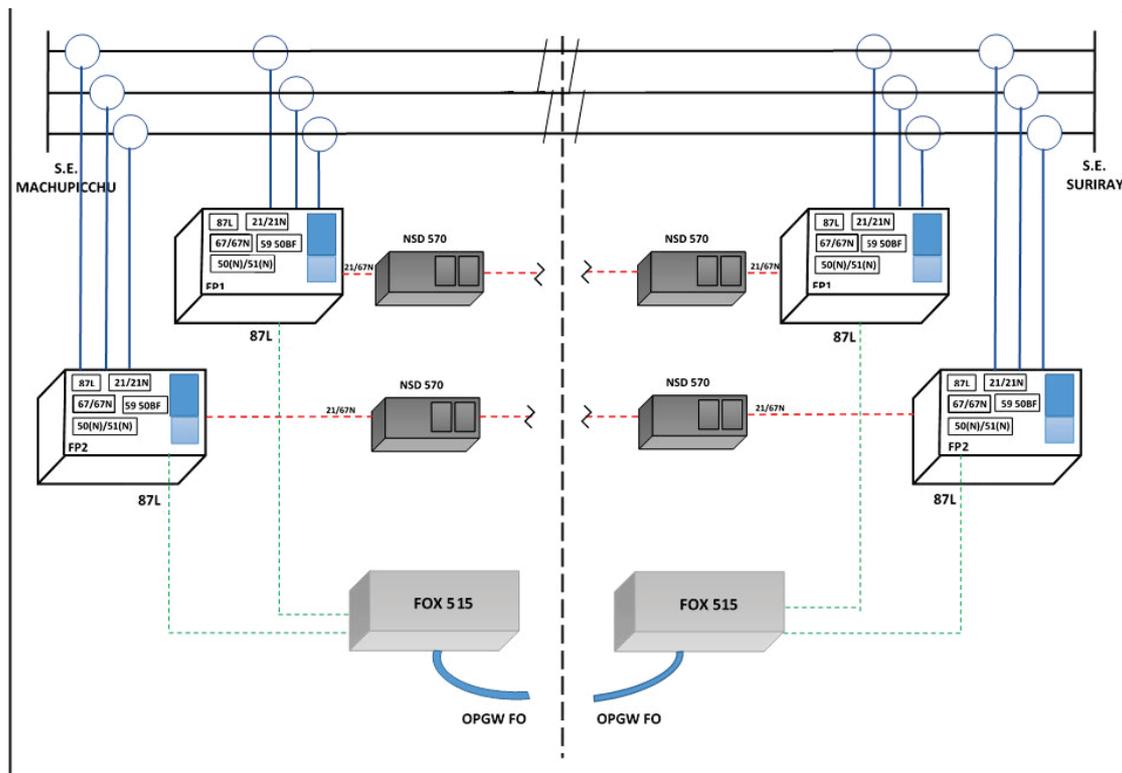
Como se puede apreciar con el ingreso de la L.T. Proyectada, no se presentan grandes incrementos de las corrientes de falla en las subestaciones del sistema, ya que los valores máximos calculados no superan los 11 kA, lo que indican que están dentro de los límites en los que trabajan estos elementos de manera segura.

## 5.9. ANÁLISIS DE SISTEMA DE PROTECCIÓN

El Sistema de protección para la L.T. Proyectada de 138 kV cuya longitud es de 10 km aproximadamente, constará de dos relés denominados FP1 (protección principal) y FP2 (protección de respaldo), las que estarán ubicadas en ambos extremos de la línea, en la S.E. Machupicchu y Suriray, enlazadas permanentemente, por medio de un sistema de comunicación de fibra óptica (OPGW FO).

Estos relés recibirán las señales del secundario de los transformadores de corriente y tensión del lado 138kV de cada subestación. El esquema de protecciones se puede observar en el Gráfico 5.41.

Gráfico 5. 41 Esquema del Sistema de Protección para L.T. Proyectada 138 kV



Fuente: Elaboración Propia

Los relés propuestos como sistema de protección para la L.T. proyectada presentan las funciones mostradas en la Tabla 5.28, en el cual se indica la marca, modelo y funciones que presentan dichos relés.

Tabla 5. 28 Funciones del Relé de protección de la L.T. Proyectada

| UBICACIÓN                       | MARCA   | MODELO | RTC      |         | RTT       |          | Funciones de protección |                                      | Apertura             |
|---------------------------------|---------|--------|----------|---------|-----------|----------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|
|                                 |         |        | Prim (A) | Sec (A) | Prim (kV) | Sec (kV) |                         |                                      |                      |
| Extremo S.E. Suriray 138 Kv     | SIEMENS | 7SD52  | 300      | 1       | 132       | 0.11     | 87L                     | Diferencial de línea                 | Monopolar y recierre |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 67N                     | Sobrecorriente direccional de tierra |                      |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 21/21N                  | Protección de respaldo de distancia  | Tripolar             |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 59                      | Sobretensión                         |                      |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 50/51                   | Sobrecorriente para transformadores  |                      |
| Extremo S.E. Machupicchu 138 kV | SIEMENS | 7SD52  | 625      | 1       | 138       | 0.11     | 87L                     | Diferencial de línea                 | Monopolar y recierre |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 67N                     | Sobrecorriente direccional de tierra |                      |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 21/21N                  | Protección de respaldo de distancia  | Tripolar             |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 59                      | Sobretensión                         |                      |
|                                 |         |        |          |         |           |          | 50/51                   | Sobrecorriente para transformadores  |                      |

Fuente: Datos del Catálogo SIEMENS 7SD52

Tal como se muestra en la tabla anterior, las funciones 87L, 67N, 21/21N, 59, 50/51, 50/51N habilitadas en cada relé, presentan las características descritas a continuación:

- **Función 87L:** Esta protección diferencial calcula la diferencia de corriente que entra y sale de la zona protegida, para lo cual se debe tomar en cuenta que



existen diferencias que no son atribuibles a una falla. Estas diferencias corresponden a valores de la operación normal que son las siguientes:

- Las corrientes de magnetización (o de carga) del elemento protegido que es una cantidad constante.
- El error de relación en los transformadores de corriente que es una diferencia casi proporcional a los valores de la corriente.
- El error debido a la saturación de los transformadores de corriente, el cual prácticamente no existe con pequeñas magnitudes, pero que se hace mayor con elevadas corrientes.

La suma de estas tres componentes de error dan como resultado la corriente diferencial que no es falla, y su cálculo permite establecer el ajuste del relé diferencial para que no efectúe una falsa operación.

El ajuste de esta protección se define en tres rangos de valores las cuales son:

- Zona 1: Mínima corriente diferencial que es constante.
  - Zona 2: Diferencias de relación de transformación del transformador de corriente y del equipo protegido.
  - Zona 3: Evitar error por posible saturación de los transformadores de corriente.
- **Función 67N:** Será una función de respaldo con dirección hacia la línea, con disparo definitivo. Para el ajuste de esta función se selecciona la máxima corriente de desbalance esperada en condiciones de máxima transferencia por la L.T. Proyectada, asegurando a su vez una cobertura amplia para fallas de alta impedancia.

Se debe verificar que el ajuste recomendado permita detectar fallas a tierra de más de 50 ohm en el extremo remoto, indicando la máxima impedancia que puede ser despejada por dicho ajuste. Por otra parte, se debe tener en cuenta que el tiempo de disparo de la protección de sobrecorriente de tierra, debe ser superior al tiempo de disparo por discrepancia de polos del interruptor ubicado en la subestación remota.



Por otro lado, se prefiere usar la tensión homopolar, para una evaluación numérica por el relé, por lo cual se debe ajustar el ángulo de máxima sensibilidad según el sistema de puesta a tierra. Como referencia se indica:

- Sistema de transmisión con puesta a tierra directa  $-60^\circ$
- Redes de distribución con puesta a tierra directa  $-45^\circ$
- Sistema con puesta a tierra a través de resistencia  $0^\circ$

Para una mejor evaluación de la condición de falla se utiliza también el valor de ambas magnitudes la corriente homopolar y la tensión homopolar, de manera que el relé viene a ser de “potencia homopolar”.

- **Función 21/21N:** La función distancia utiliza la medida de la relación entre la tensión y la corriente para determinar si la falla está en su zona de protección. Las características de ésta se pueden describir mediante un diagrama R-X. Su ajuste, se realiza de acuerdo con las impedancias de secuencia cero y positiva de la L.T. Proyectada y los equipos eléctricos adyacentes a ésta, es decir, transformadores de potencia y líneas de transmisión.

La función de distancia emplea varias zonas para proteger la línea de transmisión. Se recomienda ajustar tres zonas (Zona 1, Zona 2, Zona 3) en dirección hacia adelante y una zona en dirección reversa (Zona 4).

- **Función 59:** Esta función se implementa con base a los resultados de las simulaciones de sobretensión del área de influencia, para las dos protecciones de líneas FP1 y FP2, con dos etapas de disparo; la primera etapa lenta y la otra rápida ajustadas con respecto a la tensión nominal de la L.T. Proyectada.

El tiempo de actuación de esta protección es una función del valor de la tensión y puede ser:

- Tiempo Definido, cuando se supera un umbral previamente calibrado. En este caso su operación puede ser instantánea o temporizada
- Tiempo Inverso cuya operación depende del tiempo según una función exponencial establecida por las normas.



- **Función (50/51-50N/51N):** La protección de corriente mide permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar las sobrecorrientes que se pueden producir en un cortocircuito. El tiempo de actuación de esta protección es una función del valor de la corriente y puede ser:
  - De tiempo definido cuando se supera un umbral previamente calibrado. En este caso su operación puede ser instantánea (función 50) o temporizada (función 51)
  - De tiempo inverso cuya operación depende del tiempo según una función exponencial.

Para el ajuste del relé de protección de corriente se debe definir lo siguiente:

Para la función (51):

- La corriente de Arranque del Relé ( $I_s$ ) que viene a ser el umbral de la corriente de operación del relé.
- La constante de ajuste del Relé (TMS) que viene a ser el parámetro que permite definir los tiempos de operación según su curva característica

Para la función (50):

- La corriente de arranque del Relé ( $I_s$ ) que viene a ser el umbral de la corriente de operación del relé.
- A pesar que se trata de una función instantánea por definición (ANSI 50), es posible definir una temporización de su actuación cuando resulte conveniente.

### 5.9.1. Criterios de Ajuste y Coordinación

El Ajuste de protección define los límites o umbrales de su característica de operación para detectar las fallas, las condiciones anormales del sistema y las condiciones indeseadas de los equipos.

Este ajuste está determinado por la capacidad y el comportamiento de los equipos e instalaciones del sistema eléctrico, en todas las condiciones de operación, ya sean temporales como permanentes.



En cuanto a la coordinación de la protección, está determinada por la graduación de tiempos y magnitudes medidas para la correcta y oportuna actuación de todas las protecciones, tanto las principales como las de respaldo.

En el documento Criterios de ajuste y coordinación del SEIN [31], elaborado por el COES en Marzo del 2008, se definen los límites o umbrales de las señales de entrada para detectar las fallas, las condiciones anormales del sistema y las condiciones indeseadas de los equipos.

Según el documento anteriormente mencionado, en el caso de Líneas de Transmisión el ajuste de las protecciones graduadas de la línea proyectada, se definen en la Tabla 5.29 mostrada a continuación.

Tabla 5. 29 Ajuste de las protecciones graduadas de las líneas de interconexión

| RELÉ DE PROTECCIÓN   | POR LA INSTALACIÓN   | POR EL SISTEMA   |
|--|--|--|
| <b>21/21N</b><br>Protección de distancia   | <b>Zona 1</b><br>$X1 = 85\% X_L$ (simple terna)<br>$X1 = 65-85\% X_L$ (doble terna)<br>$R1 = R_{F1}$<br><b>Zona 2</b><br>$X2 = 115\% X_L$ ó $X_L + 50\% X_S$<br>$X2 < X_L + 20\% X_T$<br>$X2 < 85\%(X_L + X_P)$<br>$R2 = R_{F1}$<br><b>Zona 3</b><br>$X3 = 120\% (X_L + X_S)$<br>$R3 = R_{F1}$ | Las impedancias ajustadas deben ser menores que las impedancias vistas en las fases sanas después de un cortocircuito monofásico. Los ajustes de las Resistencias deben ser menores que el 50% de la Impedancia de Carga |
| <b>67N</b><br>Protección de sobrecorriente direccional homopolar   | 20% de la corriente de la nominal de la línea  | Se debe detectar una falla a tierra con 50 Ohm en el extremo de la línea protegida   |
| <b>50/51</b><br>Protección de sobrecorriente   | 150% de la corriente nominal de la línea protegida.  | Se debe detectar una falla a tierra en el extremo de la línea siguiente  |
| <b>50/51N</b><br>Protección de sobrecorriente homopolar  | 40% de la corriente de la nominal de la línea  | Se debe detectar una falla a tierra con 50 Ohm en el extremo de la línea siguiente   |
| Se considera las siguientes definiciones:<br>Impedancia de la línea = $(R_L, X_L)$<br>Impedancia de la línea siguiente más corta = $(R_S, X_S)$<br>Impedancia equivalente de la línea paralela siguiente = $(R_P, X_P)$<br>Impedancia del Transformador = $(R_T, X_T)$ |  |  |

Fuente: Criterios de ajuste y coordinación del SEIN



De la misma forma, para los Criterios de Coordinación de las protecciones graduadas de la línea proyectada, se debe definir los tiempos de operación como se muestra en la Tabla 5.30:

Tabla 5. 30 Coordinación de las protecciones graduadas de las líneas de interconexión

| RELÉ DE PROTECCIÓN   | EN LA LÍNEA  | EN EL CIRCUITO SIGUIENTE                             |
|--|--|--|
| <b>21/21N</b><br>Protección de distancia   | Zona 1 = Instantáneo<br>Zona 2 = 250 ms – 500 ms   | Zona 2 = 250 ms – 500 ms<br>Zona 3 = 500 ms – 750 ms |
| <b>67N</b><br>Protección de sobrecorriente direccional homopolar   | Ídem a Zona 2  | Ídem a Zona 2  |
| <b>50/51</b><br>Protección de sobrecorriente   | Tiempo para extremo cercano igual a Zona 1 *<br>Tiempo para extremo alejado igual a Zona 2 | Tiempo mayor a Zona 2                                |
| <b>50/51N</b><br>Protección de sobrecorriente homopolar  | Tiempo para extremo cercano igual a Zona 1<br>Tiempo para extremo alejado igual a Zona 2   | Tiempo mayor a Zona 2                                |
| *Si en la línea se utiliza recierre resulta recomendable modificar los ajustes de tiempo de la protección de sobrecorriente para que opere en la línea con tiempos de Zona 2 y Zona 3<br>*El recierre debe ser efectuado solo ante fallas monofásicas. Las fallas bifásicas y trifásicas serán con disparo definitivo. |  |  |

Fuente: Criterios de ajuste y coordinación del SEIN

Finalmente, el relé de protección que se propone implementar para la línea proyectada es de marca SIEMENS, modelo 7SD52, la que presenta las características y las funciones indicadas en la Tabla 5.31.

Tabla 5. 31 Ficha técnica de las funciones del Relé de Protección 7SD52

| SISTEMA            | DATOS TECNICOS                              |                                 |
|--------------------|---|---------------------------------|
| Relé de Protección | Modelo                                      | 7SD52                           |
|                    | Marca                                       | SIEMENS                         |
|                    | Frecuencia Nominal                          | 60 Hz                           |
|                    | Corriente Nominal                           | 1 o 5A                          |
|                    | Voltaje Nominal                             | 80 a 125V                       |
|                    | Grado de protección                         | IP 51                           |
|                    | Norma Pruebas eléctricas                    | IEC 60255                       |
|                    | Distancia típica de comunicación externa    | 15 km                           |
| <b>FUNCION</b>     |   |                                 |
| 87L                | Tiempo de retardo                           | 0 a 60 seg                      |
|                    | Compensación de carga corriente capacitiva  | 2 a 4                           |
|                    | Rango de ajuste                             | 0.1 a 20A (1A), 0.5 a 100A (5A) |
|                    | Máxima corriente de restricción             | 1.1 A a 25 A                    |
| 67N                | Voltaje mínimo, Sec. Cero                   | 0.5 a 10 V                      |
|                    | Corriente mínima                            | 0.05 a 1A (1A), 0.25 a 5A (5A)  |
| 59                 | Relación de reposición                      | 0.5 a 0.98                      |
|                    | Tiempo de retardo para baja y sobre tensión | 0 a 100 seg                     |



|                |                          |                                     |
|----------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <b>50N,51N</b> | Características          | 3 Etapas de tiempo definido         |
|                | Tiempo de funcionamiento | 25 ms aproximadamente               |
|                | Multiplicador de tiempo  | 0.05 a 3 seg                        |
| <b>21/21N</b>  | Zonas de protección      | 6                                   |
|                | Tiempo de disparo        | 0 a 30 seg para desactivar          |
|                | Corriente mínima de fase | 0.05 a 4 A (1A), 0.25 a 20 (5A)     |
|                | Alcance de impedancia    | 0.05 a 200Ω (1A), 0.01 a 0.40Ω (5A) |

*Fuente: Datos del Catálogo SIEMENS 7SD52*



## CONCLUSIONES.

1. Los resultados de cargabilidad más críticos de la interconexión entre las subestación de Machupicchu y Suriray en condiciones actuales (2017), tanto en estado estacionario como ante contingencias (N-1), en épocas de avenida y estiaje, máxima y mínima demanda, lo presenta el enlace entre la subestación GIS y la subestación Machupicchu II (enlace CD) con valores aproximados de 100% hasta 106.83%, asimismo se tienen bajas tensiones en la barra de la subestación INCASA138 kV, alcanzando un valor de 0.94 p.u.
2. La alternativa número tres “Interconexión en 138kV entre la subestación Machupicchu I y subestación Suriray” con un VAN de S/. 637,952.81 Nuevos Soles superior a las demás, permitiendo reducir pérdidas económicas por la energía dejada de generar, evitando gastar S/. 11, 091,691.54 Nuevos Soles. El conductor escogido es de tipo ACAR1200 de sección 608 mm<sup>2</sup> con doble conductor por fase. Asimismo se propone instalar un aislador de material polimérico.
3. Con el ingreso de la alternativa seleccionada “interconexión de las barras en 138 kV de la subestación Machupicchu I y Suriray”, en avenida y estiaje máxima y mínima demanda, dentro del horizonte 2018 – 2024, las cargabilidades en la líneas están entre 52% y 57%, las caídas de tensión se reducen significativamente, asimismo los perfiles de tensión de las barras se mantienen en un rango de operación de 0.95 a 1.05.
4. Finalmente, con el ingreso de la línea proyectada al sistema (alternativa tres), se concluye que los valores de cargabilidad, perfiles de tensión en las barras y caídas de tensión en las líneas se reducen significativamente garantizando la entrega del servicio eléctrico al Área Operativa Sur Este de manera continua convirtiéndolo en un sistema robusto y seguro tanto para las instalaciones como para el equipamiento que lo conforma, evitando pérdidas por energía dejada de generar ante contingencias; dicho sea de paso queda demostrado que la hipótesis principal es afirmativa.



## RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda realizar estudios completos del sistema de protecciones de la alternativa planteada en el presente estudio, así como verificar si las capacidades del equipamiento de la Subestación Eléctrica Machupicchu I.
2. Se recomienda con hacer un nuevo dimensionamiento de la barra de la Subestación Eléctrica Machupicchu I ya que este actualmente se encuentra dañada y fue solucionada provisionalmente mediante empalmes.
3. Se recomienda realizar nuevos estudios de transmisión eléctrica dentro del AOSE N° 13, ya que la zona en estudio se convertirá en un futuro cercano en un polo energético debido al notable incremento de centrales generadoras y de esta manera atender la demanda de nuevos proyectos tanto mineros como industriales que puedan incorporarse al sistema.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] COES-SINAC. (2013). Categorización del Sistema de Transmisión existente del SEIN. Lima, Perú.
- [2] OSINERGMIN. (2016). Supervisión de contratos de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica en operación. Lima, Perú.
- [3] Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M.P. (2010). Metodología de la Investigación. (5ta Edición). México: Mc Graw Hill.
- [4] EGEMSA. (2015). Análisis Eléctrico del Sistema EGEMSA con conexión entre la S.E. Machupicchu I y la S.E. Machupicchu-II 70LRP en 138KV. Cusco, Perú.
- [5] LUZ DEL SUR. (2014). Estudio de Pre Operatividad para la conexión temporal de la C.H. Santa Teresa a la S.E. Machupicchu. Lima, Perú.
- [6] ISA REP. (2012). Estudio de Operatividad de Proyecto Línea de Transmisión 220kV Machupicchu-Abancay Nueva-Cotaruse. Bogotá, Colombia.
- [7] Ministerio de Energía y Minas. (2002). Norma DGE-Terminología en Electricidad y Norma DGE-Símbolos Gráficos en Electricidad. Lima, Perú.
- [8] Curso de Subestaciones. (2015). CM2 Electrónica. Cauca, Colombia. Recuperado de <http://cm2electronica.260mb.com/download/CURSO%20DE%20SUBESTACIONES.pdf?ckattempt=1>
- [9] Configuración de Subestaciones Eléctricas (2009). XM Compañía Expertos en Mercados S.A. Colombia. Recuperado de [http://www.xm.com.co/MemoriasCapacitacionEMSA/Subestaciones\\_Maniobras/03\\_Configuracion%20de%20subestaciones%20electricas.pdf](http://www.xm.com.co/MemoriasCapacitacionEMSA/Subestaciones_Maniobras/03_Configuracion%20de%20subestaciones%20electricas.pdf)
- [10] Ministerio de Energía y Minas. (2011). Código Nacional de Electricidad - Suministro. Lima, Perú
- [11] Andersen Campos Peña (2011). Estudio de Operatividad de la Línea de Transmisión Suriray-Cusco Alto-Tintaya 220 kV (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Perú. 17



- [12] OSINERGMIN. (28, Enero del 2016). Base de Datos de los Módulos Estándares de Inversión para Sistemas de Transmisión con costos 2015 (MOD INV\_2016). (R. N° N° 015-2016-OS/CD) Lima, Perú
- [13] Martínez, H., Hernández, N. (2011). Mantenimiento a Subestaciones Eléctricas Comerciales y Residenciales. Universidad Veracruzana. México. Recuperado de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30505/1/MtzTinoyHdzRuiz.pdf>
- [14] COES-SINAC. (2013). Procedimiento Técnico: Ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el SEIN (PR-20). Lima, Perú.
- [15] COES-SINAC. (2016). Memoria Anual 2015. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.coes.org.pe/Portal/Publicaciones/Memorias/>
- [16] Ministerio de Energía y Minas. (2015). Anuario Estadístico de Electricidad 2014. Lima, Perú
- [17] IEEE. (2006). Standard 738 for Calculating the Current – Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors. New York, Estados Unidos.
- [18] COES-SINAC. (2016). Plan de Restablecimiento 2016. Área Operativa Sur Este. Lima, Perú.
- [19] ALSTOM. (2002). Manual de Operación y Mantenimiento, Proyecto Machupicchu. Alemania.
- [20] GyM. (2011). Datos Técnicos celdas 60LRB y 70LRP Obras de Rehabilitación Segunda Fase Central Hidroeléctrica Machupicchu. Perú.
- [21] ISA REP. (2014). Memoria descriptiva de subestaciones, Proyecto de Transmisión Machupicchu-Abancay Nueva-Cotaruse 220kV. Lima, Perú.
- [22] ABB. (2010). Catálogo de Subestación Aislada en Gas tipo EXK-0. Alemania
- [23] Ministerio de Energía y Minas. (09, Octubre de 1997). Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. Lima, Perú.



- [24] Ministerio de Energía y Minas. (23, Agosto del 2015). Norma Técnica para la coordinación de la operación en tiempo real de los Sistemas Interconectados. (R.D. N° 014-2005-DGE) Lima, Perú.
- [25] COES-SINAC. (2012). Estudio de Rechazo Automático de Carga/Generación del SEIN-Año 2013 (COES/DP/SNP-064-2012). Lima, Perú.
- [26] COES-SINAC. (2015). Informe de Evaluación de la Operación Diaria Miercoles 25 de Noviembre de 2015. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Reportes/leod>
- [27] COES-SINAC. (2015). Informe de Evaluación de la Operación Anual 2015. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.coes.org.pe/Portal/PostOperacion/Informes/EvaluacionAnual>
- [28] COES-SINAC. (2015). Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN 2017 – 2026 (COES/DP-01-2015). Lima, Perú.
- [29] CENTELSA. Catálogo de Conductores de Aluminio Desnudo AAAC y ACAR. Recuperado de <http://www.centelsa.com.co/index.php?lp=12>
- [30] Ministerio de Economía y Finanzas. (2010). Anexo N° 1: Especificaciones Técnicas del Proyecto, Contrato de Concesión del proyecto “Línea de Transmisión 220 kV Machupicchu – Abancay – Cotaruse y Subestaciones Asociadas”. Lima, Perú.
- [31] COES (2008). Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de Protección del SEIN. Lima, Perú.
- [32] ABB. (2010). Manual de instrucciones Instalación y mantenimiento, Subestación encapsulada en gas SF6 Modelo EXK-0. Alemania.



# ANEXOS

- ANEXO A
- ANEXO B
- ANEXO C
- ANEXO D



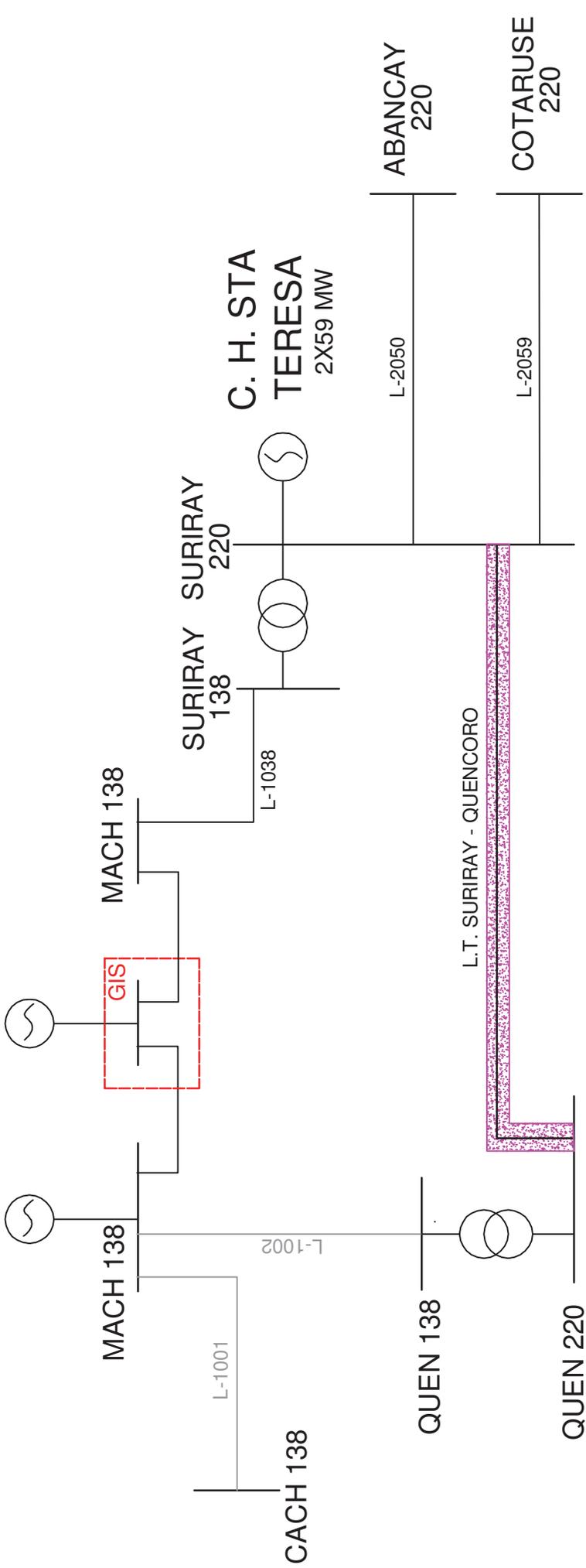
## **Anexo A.1:**

### Diagrama Unifilar Condición Actual

| LEYENDA   |                      |
|---|----------------------|
|  | Generador            |
|  | Barra                |
|  | Transformador        |
|  | L.T. en construcción |

C. H. MACHUPICCHU  
FASE I  
3X30 MW

C. H. MACHUPICCHU  
FASE II  
1X102 MW



|   |                    |
|---|--------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA: ELECTRONICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRICA |                    |
| Diagrama Unifilar del Sistema   |                    |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA  | FECHA: AGOSTO 2016 |
| ZONA DE ESTUDIO: AOSE N° 13   | PLANO N°: A.1.1    |



## **Anexo A.2:**

### Matriz de Consistencia



| PROBLEMA   | OBJETIVOS GENERALES  | HIPOTESIS   | VARIABLES E INDICADORES   |   | METODOLOGÍA   | CONCLUSIONES |
|--|--|---|---|---|---|--------------|
|  |  |   | INDEPENDIENTE   | DEPENDIENTE   |   |              |
| ¿Cómo mejorar la seguridad en la operación de las barras 138 KV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray, para garantizar la continuidad del servicio eléctrico del AOSE N° 13, en el periodo 2017-2024? | Estudiar una adecuada alternativa que mejore la seguridad en la operación de la interconexión entre las barras 138 KV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray, para garantizar la continuidad del servicio eléctrico del AOSE N° 13, en el periodo 2017-2024  | El estudio para mejorar la seguridad en la operación de la interconexión entre las barras 138 KV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray, permitirá la entrega continua del servicio eléctrico dentro del AOSE N° 13, en el periodo 2017-2024.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Seguridad en la operación de la Interconexión</li> <li>Indicador:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveles de Tensión: (V) [Volts]</li> <li>- Cargabilidad de las líneas: (%) [Amperios]</li> </ul> </li> <li>Determinación de alternativas de interconexión</li> <li>Indicador:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdidas efecto Joule y efecto Corona: (kW/km) [Porcentaje]</li> <li>- Ampacidad: (kA) [Amperios]</li> </ul> </li> </ul> | <p>El presente estudio se realizará bajo el enfoque <b>cuantitativo</b> ya que es secuencial y probatorio. Es parte de una idea, que va acotándose y una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables, se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; y se establece una serie de conclusiones respecto de las hipótesis. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010) [3]. De acuerdo a su aplicación es <b>Investigación Tecnológica</b>, ya que se buscan aplicaciones prácticas de los conocimientos, para el mejoramiento de una maquinaria o equipo, en este caso la interconexión entre las barras 138 kV de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Subestación Suriray.</p>   | <p>1. Los resultados de cargabilidad más críticos de la interconexión entre las subestación de Machupicchu y Suriray en condiciones actuales (2017), tanto en estado estacionario como ante contingencias (N-1), en épocas de avenida y estiaje, máxima y mínima demanda, lo presenta el ensaje entre la subestación GIS y la subestación Machupicchu II (enlace CD) con valores aproximados de 100% hasta 106.83%, asimismo se tienen bajas tensiones en la barra de la subestación INCASA 138 kV, alcanzando un valor de 0.94 p.u.</p> <p>2. La alternativa número tres "interconexión en 138kV entre la subestación Machupicchu I y subestación Suriray" con un VAN de S/. 637,952.81 Nuevos Soles superior a las demás, permitiendo reducir pérdidas económicas por la energía dejada de generar, evitando gastar S/. 11, 091,691.54 Nuevos Soles. El conductor escogido es de tipo ACAR1200 de sección 608 mm2 con doble conductor por fase. Asimismo se propone instalar un aislador de material polimérico.</p> <p>3. Con el ingreso de la alternativa seleccionada "interconexión de las barras en 138 kV de la subestación Machupicchu I y Suriray", en avenida y estiaje máxima y mínima demanda, dentro del horizonte 2018 – 2024, las cargabilidades en la líneas están entre 52% y 57%, las caídas de tensión se reducen significativamente, asimismo los perfiles de tensión de las barras se mantienen en un rango de operación (0.95 – 1.05).</p> <p>4. Finalmente, con el ingreso de la línea proyectada al sistema (alternativa tres), se concluye que los valores de cargabilidad, perfiles de tensión en las barras y caídas de tensión en las líneas se reducen significativamente garantizando la entrega del servicio eléctrico al Área Operativa Sur Este de manera continua convirtiéndolo en un sistema robusto y seguro tanto para las instalaciones como para el equipamiento que lo conforma, evitando pérdidas por energía dejada de generar ante contingencias; dicho sea de paso queda demostrado que la hipótesis principal es afirmativa.</p> |              |
| ¿Cómo opera la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray con el ingreso de la L.T. 220 kV Machupicchu - y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002?   | Evaluar en estado estacionario la operación de la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray con el ingreso de la L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002, permitirá identificar las deficiencias y riesgos del sistema actual y sus implicancias a largo plazo. | La evaluación de la operación de la interconexión entre las Subestaciones Eléctricas de Machupicchu y Suriray, con el ingreso de la L.T. 220 kV Machupicchu - Quencoro - Onocora - Tintaya y el retiro de las líneas L-1001 y L-1002, permitirá identificar las deficiencias y riesgos del sistema actual y sus implicancias a largo plazo. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Continuidad del Servicio Eléctrico</li> <li>Indicador:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flujo de potencia: (kW) [Wattios]</li> <li>- Interrupciones: (N) [Número interrupciones]</li> </ul> </li> <li>Solución a nivel técnico y económico</li> <li>Indicador:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculos técnico: (mm2) [diámetro del conductor]</li> <li>- Inversión/Retorno: (S/) [VAN][TIR]</li> </ul> </li> </ul>                      | <p><b>DISEÑO Y NIVEL</b></p> <p>El diseño determinado para esta investigación es la <b>experimental</b>, ya que se manipula deliberadamente una variable independiente que es la seguridad en la operación de la interconexión (causa), con la finalidad de medir la variable dependiente en este caso la continuidad del servicio eléctrico (efecto).</p> <p>El nivel alcanzado es el Correlacional-Explicativo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Correlacional.</b> Porque explica cómo se comporta una variable (continuidad del servicio eléctrico) en función de otra (seguridad en la operación de la interconexión).</li> <li><b>Explicativo.</b> Porque su interés se centra en demostrar porque ocurre un fenómeno (variable dependiente) y en qué condiciones se manifiesta (variable independiente), es decir se explica la relación que tiene la continuidad del servicio eléctrico con la operación de la interconexión.</li> </ul> | <p>1. Los resultados de cargabilidad más críticos de la interconexión entre las subestación de Machupicchu y Suriray en condiciones actuales (2017), tanto en estado estacionario como ante contingencias (N-1), en épocas de avenida y estiaje, máxima y mínima demanda, lo presenta el ensaje entre la subestación GIS y la subestación Machupicchu II (enlace CD) con valores aproximados de 100% hasta 106.83%, asimismo se tienen bajas tensiones en la barra de la subestación INCASA 138 kV, alcanzando un valor de 0.94 p.u.</p> <p>2. La alternativa número tres "interconexión en 138kV entre la subestación Machupicchu I y subestación Suriray" con un VAN de S/. 637,952.81 Nuevos Soles superior a las demás, permitiendo reducir pérdidas económicas por la energía dejada de generar, evitando gastar S/. 11, 091,691.54 Nuevos Soles. El conductor escogido es de tipo ACAR1200 de sección 608 mm2 con doble conductor por fase. Asimismo se propone instalar un aislador de material polimérico.</p> <p>3. Con el ingreso de la alternativa seleccionada "interconexión de las barras en 138 kV de la subestación Machupicchu I y Suriray", en avenida y estiaje máxima y mínima demanda, dentro del horizonte 2018 – 2024, las cargabilidades en la líneas están entre 52% y 57%, las caídas de tensión se reducen significativamente, asimismo los perfiles de tensión de las barras se mantienen en un rango de operación (0.95 – 1.05).</p> <p>4. Finalmente, con el ingreso de la línea proyectada al sistema (alternativa tres), se concluye que los valores de cargabilidad, perfiles de tensión en las barras y caídas de tensión en las líneas se reducen significativamente garantizando la entrega del servicio eléctrico al Área Operativa Sur Este de manera continua convirtiéndolo en un sistema robusto y seguro tanto para las instalaciones como para el equipamiento que lo conforma, evitando pérdidas por energía dejada de generar ante contingencias; dicho sea de paso queda demostrado que la hipótesis principal es afirmativa.</p> |              |
| ¿Cuáles serán las posibles soluciones que mejoren la seguridad en la operación de la interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Suriray?   | Determinar las alternativas de solución más adecuadas que mejoren la seguridad en la operación de la interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Suriray.   | La determinación de las alternativas de solución más adecuadas para la interconexión entre las Subestaciones de la Central Hidroeléctrica Machupicchu y Suriray, permitirá buscar la solución más conveniente a nivel técnico y económico, que asegure la continuidad del servicio eléctrico hacia el AOSE N° 13.                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de transporte</li> <li>Indicador:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencia: MVA [Volt-Amper]</li> <li>- Temperatura: °C [Grados Centígrados]</li> </ul> </li> </ul>   | <p><b>INTERVENIENTE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de transporte</li> <li>Indicador:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencia: MVA [Volt-Amper]</li> <li>- Temperatura: °C [Grados Centígrados]</li> </ul> </li> </ul>   | <p>1. Los resultados de cargabilidad más críticos de la interconexión entre las subestación de Machupicchu y Suriray en condiciones actuales (2017), tanto en estado estacionario como ante contingencias (N-1), en épocas de avenida y estiaje, máxima y mínima demanda, lo presenta el ensaje entre la subestación GIS y la subestación Machupicchu II (enlace CD) con valores aproximados de 100% hasta 106.83%, asimismo se tienen bajas tensiones en la barra de la subestación INCASA 138 kV, alcanzando un valor de 0.94 p.u.</p> <p>2. La alternativa número tres "interconexión en 138kV entre la subestación Machupicchu I y subestación Suriray" con un VAN de S/. 637,952.81 Nuevos Soles superior a las demás, permitiendo reducir pérdidas económicas por la energía dejada de generar, evitando gastar S/. 11, 091,691.54 Nuevos Soles. El conductor escogido es de tipo ACAR1200 de sección 608 mm2 con doble conductor por fase. Asimismo se propone instalar un aislador de material polimérico.</p> <p>3. Con el ingreso de la alternativa seleccionada "interconexión de las barras en 138 kV de la subestación Machupicchu I y Suriray", en avenida y estiaje máxima y mínima demanda, dentro del horizonte 2018 – 2024, las cargabilidades en la líneas están entre 52% y 57%, las caídas de tensión se reducen significativamente, asimismo los perfiles de tensión de las barras se mantienen en un rango de operación (0.95 – 1.05).</p> <p>4. Finalmente, con el ingreso de la línea proyectada al sistema (alternativa tres), se concluye que los valores de cargabilidad, perfiles de tensión en las barras y caídas de tensión en las líneas se reducen significativamente garantizando la entrega del servicio eléctrico al Área Operativa Sur Este de manera continua convirtiéndolo en un sistema robusto y seguro tanto para las instalaciones como para el equipamiento que lo conforma, evitando pérdidas por energía dejada de generar ante contingencias; dicho sea de paso queda demostrado que la hipótesis principal es afirmativa.</p> |              |
| ¿Cómo determinar el impacto en la operación del AOSE N° 13 con la incorporación de la alternativa interconexión seleccionada?  | Desarrollar el estudio de operación en estado estacionario y análisis del AOSE N° 13 con la incorporación de la alternativa interconexión seleccionada.  | El desarrollo del estudio de operación en estado estacionario y análisis de la alternativa de interconexión seleccionada, permitirá plantear una solución definitiva a las nuevas condiciones del AOSE N° 13.   |   |   |   |              |



## **Anexo B.1:**

### **Diagrama Unifilar Configuración S.E. GIS**





## **Anexo B.2:**

### Catálogo conductor – ABB





## **Anexo B.3:**

### Resultados de los Flujos – Contingencia



**ANÁLISIS DE CONTINGENCIA – AVENIDA AÑO 2017**

| CASO            | LINEA DE TRANSMISION | TENSION EN BARRAS |           |             |          |           |             | POTENCIA i |           |          | POTENCIA j |           |          | CARGA (%) | I (Amp) | CAIDA TENSION i-j (%) |       |
|-----------------|----------------------|-------------------|-----------|-------------|----------|-----------|-------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------------------|-------|
|                 |                      | Uli (kV)          | ui (p.u.) | phiui (deg) | Ulj (kV) | uj (p.u.) | phiuj (deg) | Pi (MW)    | Qi (MVAR) | Si (MVA) | Pj (MW)    | Qj (MVAR) | Sj (MVA) |           |         |                       |       |
| MAXIMA DEMANDA  | SALIDA L-1038        | ENLACE AB         | 140.03    | 1.01        | 154.28   | 140.05    | 1.01        | 154.31     | -84.27    | 3.86     | 84.36      | 84.28     | -3.84    | 84.37     | 45.76   | 0.35                  | -0.01 |
|                 |                      | ENLACE CD         | 140.03    | 1.01        | 154.28   | 140.03    | 1.01        | 154.28     | 0.00      | -0.01    | 0.01       | 0.00      | 0.00     | 0.00      | 0.01    | 0.00                  | 0.00  |
|                 |                      | Suriray-Abancay   | 219.94    | 1.00        | -56.22   | 217.04    | 0.99        | -57.72     | 45.80     | 11.79    | 47.29      | -45.61    | -19.71   | 49.68     | 20.14   | 0.13                  | 1.32  |
|                 |                      | Suriray-Ccollpani | 219.94    | 1.00        | -56.22   | 220.04    | 1.00        | -56.14     | -94.53    | -23.24   | 97.34      | 94.54     | 23.13    | 97.33     | 21.38   | 0.26                  | -0.05 |
|                 |                      | Suriray-Cotaruse  | 219.94    | 1.00        | -56.22   | 220.71    | 1.00        | -56.51     | 2.45      | -17.94   | 18.11      | -2.43     | -13.79   | 14.00     | 7.24    | 0.05                  | -0.35 |
|                 |                      | Suriray-Quencoro  | 219.94    | 1.00        | -56.22   | 219.60    | 1.00        | -62.29     | 128.00    | -21.59   | 129.81     | -125.89   | 14.63    | 126.74    | 28.82   | 0.34                  | 0.15  |
|                 | SALIDA L-2050        | ENLACE AB         | 138.53    | 1.00        | -23.04   | 138.55    | 1.00        | -23.01     | -84.26    | -6.07    | 84.48      | 84.28     | 6.09     | 84.50     | 46.33   | 0.35                  | -0.02 |
|                 |                      | ENLACE CD         | 138.53    | 1.00        | -23.04   | 138.49    | 1.00        | -23.07     | 181.29    | 18.24    | 182.21     | -181.26   | -18.14   | 182.17    | 99.92   | 0.76                  | 0.02  |
|                 |                      | Machu-Suriray     | 137.90    | 1.00        | -24.43   | 138.49    | 1.00        | -23.07     | -180.87   | -14.57   | 181.46     | 181.26    | 18.14    | 182.17    | 72.64   | 0.76                  | -0.43 |
|                 |                      | Suriray-Ccollpani | 219.11    | 1.00        | -30.21   | 219.23    | 1.00        | -30.13     | -94.53    | -28.02   | 98.59      | 94.54     | 27.92    | 98.58     | 21.74   | 0.26                  | -0.06 |
|                 |                      | Suriray-Cotaruse  | 219.11    | 1.00        | -30.21   | 220.70    | 1.00        | -43.65     | 122.38    | -18.86   | 123.83     | -119.14   | 15.82    | 120.19    | 49.73   | 0.33                  | -0.72 |
|                 |                      | Suriray-Quencoro  | 219.11    | 1.00        | -30.21   | 215.44    | 0.98        | -41.44     | 234.67    | -3.61    | 234.70     | -227.57   | 28.83    | 229.39    | 52.31   | 0.62                  | 1.67  |
|                 | SALIDA L-2059        | ENLACE AB         | 138.20    | 1.00        | -24.25   | 138.23    | 1.00        | -24.22     | -84.26    | -8.19    | 84.66      | 84.27     | 8.21     | 84.67     | 46.54   | 0.35                  | -0.02 |
|                 |                      | ENLACE CD         | 138.20    | 1.00        | -24.25   | 138.17    | 1.00        | -24.28     | 181.29    | 22.89    | 182.73     | -181.26   | -22.79   | 182.68    | 100.45  | 0.76                  | 0.02  |
|                 |                      | Machu-Suriray     | 137.49    | 1.00        | -25.65   | 138.17    | 1.00        | -24.28     | -180.86   | -19.18   | 181.88     | 181.26    | 22.79    | 182.68    | 73.02   | 0.76                  | -0.49 |
|                 |                      | Suriray-Abancay   | 217.89    | 0.99        | -31.48   | 214.36    | 0.97        | -36.79     | 151.99    | 8.49     | 152.23     | -150.08   | -3.51    | 150.12    | 61.63   | 0.40                  | 1.61  |
|                 |                      | Suriray-Ccollpani | 217.89    | 0.99        | -31.48   | 218.04    | 0.99        | -31.40     | -94.52    | -34.99   | 100.79     | 94.54     | 34.90    | 100.78    | 22.35   | 0.27                  | -0.07 |
|                 |                      | Suriray-Quencoro  | 217.89    | 0.99        | -31.48   | 215.91    | 0.98        | -41.37     | 205.04    | -13.48   | 205.48     | -199.56   | 28.46    | 201.58    | 46.05   | 0.54                  | 0.90  |
| SALIDA SUR-QUEN | ENLACE AB            | 138.02            | 1.00      | -20.61      | 138.05   | 1.00      | -20.58      | -84.26     | -9.36     | 84.78    | 84.27      | 9.38      | 84.79    | 46.66     | 0.35    | -0.02                 |       |
|                 | ENLACE CD            | 138.02            | 1.00      | -20.61      | 137.98   | 1.00      | -20.64      | 181.29     | 25.45     | 183.06   | -181.25    | -25.35    | 183.02   | 100.76    | 0.77    | 0.03                  |       |
|                 | Machu-Suriray        | 137.26            | 0.99      | -22.01      | 137.98   | 1.00      | -20.64      | -180.86    | -21.70    | 182.16   | 181.25     | 25.35     | 183.02   | 73.26     | 0.77    | -0.53                 |       |
|                 | Suriray-Abancay      | 217.22            | 0.99      | -27.87      | 211.32   | 0.96      | -35.61      | 218.91     | 24.83     | 220.32   | -214.88    | -4.05     | 214.92   | 89.50     | 0.59    | 2.68                  |       |
|                 | Suriray-Ccollpani    | 217.22            | 0.99      | -27.87      | 217.38   | 0.99      | -27.79      | -94.52     | -38.81    | 102.18   | 94.54      | 38.72     | 102.16   | 22.73     | 0.27    | -0.07                 |       |
|                 | Suriray-Cotaruse     | 217.22            | 0.99      | -27.87      | 220.57   | 1.00      | -43.23      | 138.10     | -20.26    | 139.58   | -133.90    | 25.97     | 136.40   | 56.55     | 0.37    | -1.52                 |       |
| MINIMA DEMANDA  | SALIDA L-1038        | ENLACE AB         | 139.31    | 1.01        | 154.32   | 139.33    | 1.01        | 154.35     | -83.75    | -1.41    | 83.77      | 83.77     | 1.43     | 83.78     | 45.68   | 0.35                  | -0.02 |
|                 |                      | ENLACE CD         | 139.31    | 1.01        | 154.32   | 139.31    | 1.01        | 154.32     | 0.00      | -0.01    | 0.01       | 0.00      | 0.00     | 0.01      | 0.00    | 0.00                  |       |
|                 |                      | Suriray-Abancay   | 218.01    | 0.99        | -59.45   | 216.40    | 0.98        | -59.90     | 14.30     | 5.67     | 15.38      | -14.27    | -14.69   | 20.48     | 8.33    | 0.05                  | 0.73  |
|                 |                      | Suriray-Ccollpani | 218.01    | 0.99        | -59.45   | 218.07    | 0.99        | -59.37     | -94.53    | -8.31    | 94.89      | 94.54     | 8.21     | 94.90     | 21.03   | 0.25                  | -0.03 |
|                 |                      | Suriray-Cotaruse  | 218.01    | 0.99        | -59.45   | 218.82    | 0.99        | -57.47     | -17.94    | -15.14   | 23.48      | 18.02     | -15.44   | 23.74     | 9.55    | 0.06                  | -0.37 |
|                 |                      | Suriray-Quencoro  | 218.01    | 0.99        | -59.45   | 220.69    | 1.00        | -64.21     | 97.36     | -35.98   | 103.79     | -96.03    | 24.07    | 99.01     | 23.25   | 0.27                  | -1.22 |
|                 | SALIDA L-2050        | ENLACE AB         | 137.78    | 1.00        | -27.12   | 137.81    | 1.00        | -27.09     | -83.74    | -11.36   | 84.51      | 83.75     | 11.38    | 84.52     | 46.59   | 0.35                  | -0.02 |
|                 |                      | ENLACE CD         | 137.78    | 1.00        | -27.12   | 137.75    | 1.00        | -27.15     | 180.77    | 18.36    | 181.70     | -180.74   | -18.26   | 181.66    | 100.18  | 0.76                  | 0.02  |
|                 |                      | Machu-Suriray     | 137.15    | 0.99        | -28.52   | 137.75    | 1.00        | -27.15     | -180.35   | -14.66   | 180.94     | 180.74    | 18.26    | 181.66    | 72.83   | 0.76                  | -0.43 |
|                 |                      | Suriray-Ccollpani | 217.90    | 0.99        | -34.35   | 217.96    | 0.99        | -34.27     | -94.53    | -8.95    | 94.95      | 94.54     | 8.84     | 94.95     | 21.05   | 0.25                  | -0.03 |
|                 |                      | Suriray-Cotaruse  | 217.90    | 0.99        | -34.35   | 219.69    | 1.00        | -43.81     | 85.20     | -22.29   | 88.06      | -83.59    | 5.06     | 83.75     | 35.56   | 0.23                  | -0.81 |
|                 |                      | Suriray-Quencoro  | 217.90    | 0.99        | -34.35   | 218.21    | 0.99        | -43.46     | 188.81    | -26.17   | 190.61     | -184.13   | 35.85    | 187.59    | 42.72   | 0.51                  | -0.14 |
|                 | SALIDA L-2059        | ENLACE AB         | 137.42    | 1.00        | -28.05   | 137.45    | 1.00        | -28.02     | -83.74    | -13.69   | 84.85      | 83.75     | 13.71    | 84.86     | 46.91   | 0.36                  | -0.02 |
|                 |                      | ENLACE CD         | 137.42    | 1.00        | -28.05   | 137.38    | 1.00        | -28.09     | 180.77    | 23.50    | 182.29     | -180.73   | -23.40   | 182.24    | 100.77  | 0.77                  | 0.02  |
|                 |                      | Machu-Suriray     | 136.69    | 0.99        | -29.46   | 137.38    | 1.00        | -28.09     | -180.34   | -19.75   | 181.42     | 180.73    | 23.40    | 182.24    | 73.26   | 0.77                  | -0.50 |
|                 |                      | Suriray-Abancay   | 216.55    | 0.98        | -35.34   | 214.86    | 0.98        | -39.14     | 107.38    | -2.87    | 107.42     | -106.42   | 0.86     | 106.43    | 43.65   | 0.29                  | 0.77  |
|                 |                      | Suriray-Ccollpani | 216.55    | 0.98        | -35.34   | 216.64    | 0.98        | -35.26     | -94.53    | -16.77   | 96.00      | 94.54     | 16.67    | 96.00     | 21.42   | 0.26                  | -0.04 |
|                 |                      | Suriray-Quencoro  | 216.55    | 0.98        | -35.34   | 218.05    | 0.99        | -43.49     | 166.62    | -32.24   | 169.71     | -162.89   | 36.01    | 166.83    | 38.27   | 0.45                  | -0.68 |
| SALIDA SUR-QUEN | ENLACE AB            | 137.09            | 0.99      | -24.29      | 137.13   | 0.99      | -24.26      | -83.73     | -15.77    | 85.20    | 83.74      | 15.79     | 85.22    | 47.21     | 0.36    | -0.03                 |       |
|                 | ENLACE CD            | 137.09            | 0.99      | -24.29      | 137.05   | 0.99      | -24.32      | 180.76     | 28.09     | 182.93   | -180.73    | -27.99    | 182.88   | 101.37    | 0.77    | 0.03                  |       |
|                 | Machu-Suriray        | 136.27            | 0.99      | -25.70      | 137.05   | 0.99      | -24.32      | -180.33    | -24.28    | 181.95   | 180.73     | 27.99     | 182.88   | 73.70     | 0.77    | -0.57                 |       |
|                 | Suriray-Abancay      | 215.33            | 0.98      | -31.63      | 212.54   | 0.97      | -37.72      | 169.73     | 2.39      | 169.74   | -167.30    | 6.57      | 167.43   | 69.37     | 0.46    | 1.27                  |       |
|                 | Suriray-Ccollpani    | 215.33            | 0.98      | -31.63      | 215.44   | 0.98      | -31.55      | -94.53     | -23.70    | 97.45    | 94.54      | 23.61     | 97.44    | 21.86     | 0.26    | -0.05                 |       |
|                 | Suriray-Cotaruse     | 215.33            | 0.98      | -31.63      | 219.43   | 1.00      | -43.42      | 104.27     | -25.68    | 107.38   | -101.81    | 16.45     | 103.13   | 43.88     | 0.29    | -1.86                 |       |



**ANÁLISIS DE CONTINGENCIA – AVENIDA AÑO 2017**

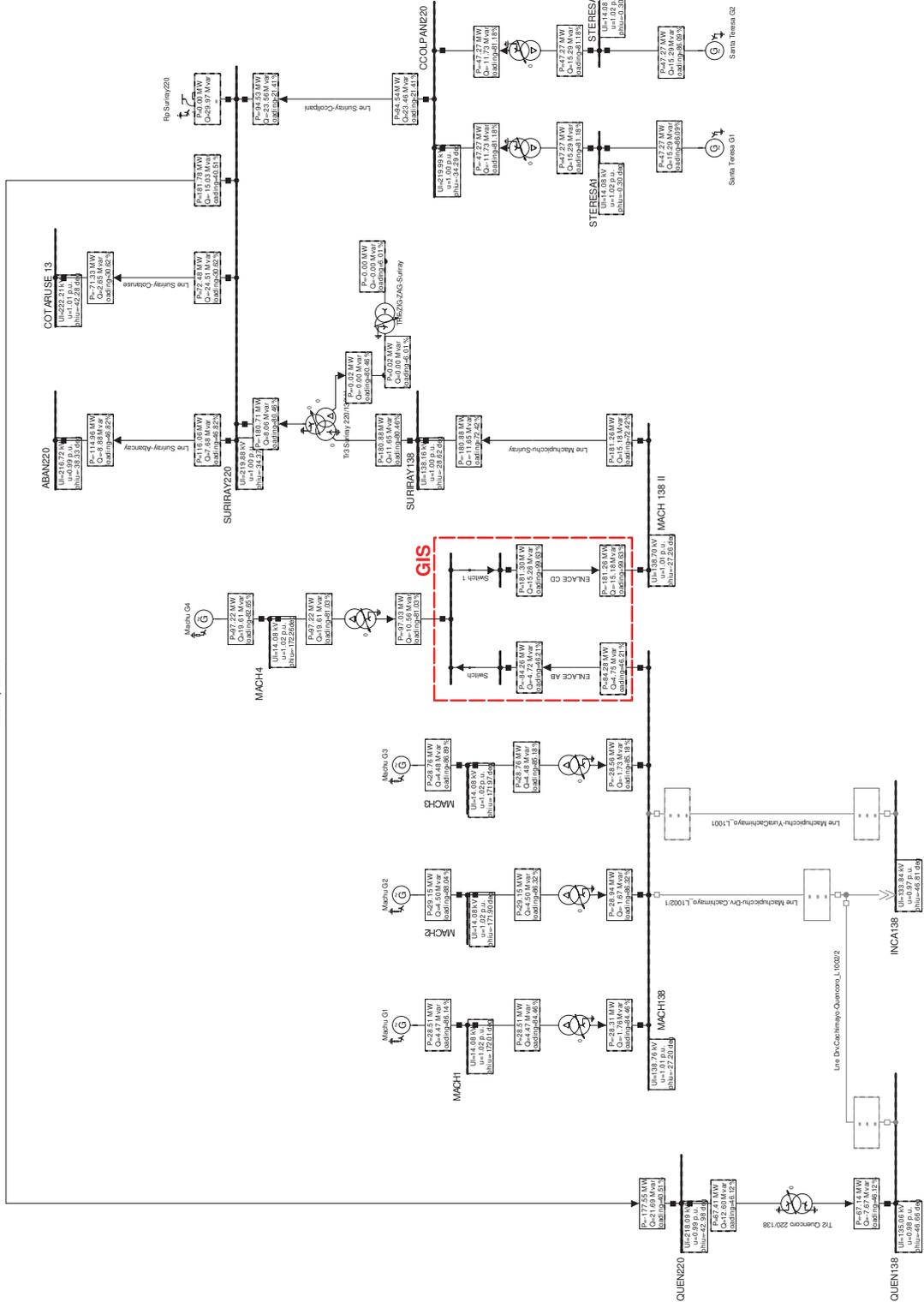
| CASO           | LINEA DE TRANSMISION | TENSION EN BARRAS |           |             |          |           |             | POTENCIA i |           |          | POTENCIA j |           |          | CARGA (%) | I (Amp) | CAIDA TENSION i-j (%) |       |       |
|----------------|----------------------|-------------------|-----------|-------------|----------|-----------|-------------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------------------|-------|-------|
|                |                      | Uli (kV)          | ui (p.u.) | phiui (deg) | Ulj (kV) | uj (p.u.) | phiuj (deg) | Pi (MW)    | Qi (MVAR) | Si (MVA) | Pj (MW)    | Qj (MVAR) | Sj (MVA) |           |         |                       |       |       |
| MAXIMA DEMANDA | SALIDA L-1038        | ENLACE AB         | 140.04    | 1.01        | 153.24   | 140.05    | 1.01        | 153.27     | -63.79    | 4.89     | 63.98      | 63.80     | -4.89    | 63.99     | 34.71   | 0.26                  | -0.01 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 140.04    | 1.01        | 153.24   | 140.04    | 1.01        | 153.24     | 0.00      | -0.01    | 0.01       | 0.00      | 0.00     | 0.00      | 0.01    | 0.00                  | 0.00  |       |
|                |                      | Suriray-Abancay   | 218.75    | 0.99        | -48.05   | 216.55    | 0.98        | -50.86     | 81.64     | 2.95     | 81.70      | -81.09    | -8.16    | 81.50     | 33.12   | 0.22                  | 1.00  |       |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 218.75    | 0.99        | -48.05   | 218.82    | 0.99        | -47.98     | -81.65    | -11.40   | 82.44      | 81.66     | 11.26    | 82.43     | 18.21   | 0.22                  | -0.03 |       |
|                |                      | Suriray-Cotaruse  | 218.75    | 0.99        | -48.05   | 222.65    | 1.01        | -52.23     | 37.36     | -27.77   | 46.55      | -37.01    | -1.14    | 37.03     | 18.72   | 0.12                  | -1.77 |       |
|                |                      | Suriray-Quencoro  | 218.75    | 0.99        | -48.05   | 218.49    | 0.99        | -55.95     | 164.85    | -23.03   | 166.45     | -         | 161.32   | 25.33     | 163.29  | 37.16                 | 0.44  | 0.12  |
|                | SALIDA L-2050        | ENLACE AB         | 138.09    | 1.00        | -19.05   | 138.12    | 1.00        | -19.02     | -63.78    | -7.84    | 64.26      | 63.78     | 7.84     | 64.26     | 35.35   | 0.27                  | -0.02 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 138.09    | 1.00        | -19.05   | 138.06    | 1.00        | -19.07     | 147.52    | 24.63    | 149.57     | -         | 147.50   | -24.57    | 149.54  | 82.28                 | 0.63  | 0.02  |
|                |                      | Machu-Suriray     | 137.39    | 1.00        | -20.18   | 138.06    | 1.00        | -19.07     | -         | 147.24   | -22.40     | 148.93    | 147.50   | 24.57     | 149.54  | 59.84                 | 0.63  | -0.49 |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 216.98    | 0.99        | -24.94   | 217.08    | 0.99        | -24.87     | -81.65    | -21.67   | 84.48      | 81.66     | 21.53    | 84.45     | 18.81   | 0.22                  | -0.05 |       |
|                |                      | Suriray-Cotaruse  | 216.98    | 0.99        | -24.94   | 221.82    | 1.01        | -42.44     | 157.47    | -20.32   | 158.77     | -         | 152.01   | 37.11     | 156.47  | 64.39                 | 0.42  | -2.20 |
|                |                      | Suriray-Quencoro  | 216.98    | 0.99        | -24.94   | 212.70    | 0.97        | -38.33     | 273.54    | 2.54     | 273.55     | -         | 263.69   | 40.62     | 266.80  | 61.56                 | 0.73  | 1.94  |
|                | SALIDA L-2059        | ENLACE AB         | 137.79    | 1.00        | -20.09   | 137.81    | 1.00        | -20.06     | -63.77    | -9.82    | 64.52      | 63.78     | 9.82     | 64.53     | 35.57   | 0.27                  | -0.02 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 137.79    | 1.00        | -20.09   | 137.75    | 1.00        | -20.11     | 147.52    | 28.98    | 150.34     | -         | 147.50   | -28.92    | 150.31  | 82.89                 | 0.63  | 0.02  |
|                |                      | Machu-Suriray     | 137.00    | 0.99        | -21.22   | 137.75    | 1.00        | -20.11     | -         | 147.23   | -26.70     | 149.63    | 147.50   | 28.92     | 150.31  | 60.29                 | 0.63  | -0.55 |
|                |                      | Suriray-Abancay   | 215.83    | 0.98        | -26.03   | 212.27    | 0.96        | -32.81     | 189.66    | 7.54     | 189.81     | -         | 186.64   | 5.82      | 186.73  | 77.41                 | 0.51  | 1.61  |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 215.83    | 0.98        | -26.03   | 215.95    | 0.98        | -25.96     | -81.65    | -28.23   | 86.39      | 81.66     | 28.11    | 86.36     | 19.34   | 0.23                  | -0.06 |       |
|                |                      | Suriray-Quencoro  | 215.83    | 0.98        | -26.03   | 213.23    | 0.97        | -37.92     | 241.30    | -8.39    | 241.44     | -         | 233.57   | 38.13     | 236.66  | 54.63                 | 0.65  | 1.18  |
|                | SALIDA SUR-QUEN      | ENLACE AB         | 137.55    | 1.00        | -16.92   | 137.57    | 1.00        | -16.90     | -63.77    | -11.35   | 64.77      | 63.78     | 11.35    | 64.78     | 35.77   | 0.27                  | -0.02 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 137.55    | 1.00        | -16.92   | 137.51    | 1.00        | -16.95     | 147.51    | 32.35    | 151.02     | -         | 147.49   | -32.28    | 150.98  | 83.41                 | 0.63  | 0.02  |
|                |                      | Machu-Suriray     | 136.70    | 0.99        | -18.06   | 137.51    | 1.00        | -16.95     | -         | 147.22   | -30.03     | 150.25    | 147.49   | 32.28     | 150.98  | 60.67                 | 0.63  | -0.59 |
|                |                      | Suriray-Abancay   | 214.93    | 0.98        | -22.89   | 208.28    | 0.95        | -32.28     | 258.59    | 31.01    | 260.44     | -         | 252.84   | 2.66      | 252.85  | 106.83                | 0.70  | 3.03  |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 214.93    | 0.98        | -22.89   | 215.07    | 0.98        | -22.82     | -81.65    | -33.28   | 88.17      | 81.66     | 33.16    | 88.14     | 19.82   | 0.24                  | -0.06 |       |
|                |                      | Suriray-Cotaruse  | 214.93    | 0.98        | -22.89   | 220.86    | 1.00        | -42.36     | 172.34    | -18.84   | 173.36     | -         | 165.67   | 46.67     | 172.12  | 70.98                 | 0.47  | -2.69 |
| MINIMA DEMANDA | SALIDA L-1038        | ENLACE AB         | 140.53    | 1.02        | 152.07   | 140.54    | 1.02        | 152.09     | -40.99    | 1.68     | 41.02      | 40.99     | -1.70    | 41.02     | 22.18   | 0.17                  | -0.01 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 140.53    | 1.02        | 152.07   | 140.53    | 1.02        | 152.07     | 0.00      | -0.01    | 0.01       | 0.00      | 0.00     | 0.00      | 0.01    | 0.00                  | 0.00  |       |
|                |                      | Suriray-Abancay   | 218.74    | 0.99        | -54.25   | 217.12    | 0.99        | -54.15     | -1.33     | 7.88     | 7.99       | 1.34      | -17.06   | 17.11     | 6.94    | 0.05                  | 0.74  |       |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 218.74    | 0.99        | -54.25   | 218.80    | 0.99        | -54.21     | -47.75    | -12.38   | 49.32      | 47.75     | 12.17    | 49.28     | 10.89   | 0.13                  | -0.03 |       |
|                |                      | Suriray-Cotaruse  | 218.74    | 0.99        | -54.25   | 220.29    | 1.00        | -50.44     | -34.76    | -14.26   | 37.57      | 35.04     | -14.95   | 38.09     | 15.22   | 0.10                  | -0.70 |       |
|                |                      | Suriray-Quencoro  | 218.74    | 0.99        | -54.25   | 221.10    | 1.01        | -58.92     | 96.27     | -34.29   | 102.20     | -95.00    | 21.97    | 97.51     | 22.81   | 0.27                  | -1.07 |       |
|                | SALIDA L-2050        | ENLACE AB         | 139.54    | 1.01        | -38.84   | 139.55    | 1.01        | -38.83     | -40.99    | -4.93    | 41.28      | 40.99     | 4.91     | 41.28     | 22.47   | 0.17                  | -0.01 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 139.54    | 1.01        | -38.84   | 139.52    | 1.01        | -38.86     | 90.00     | 12.94    | 90.92      | -89.99    | -12.92   | 90.91     | 49.50   | 0.38                  | 0.01  |       |
|                |                      | Machu-Suriray     | 139.14    | 1.01        | -39.52   | 139.52    | 1.01        | -38.86     | -89.89    | -12.66   | 90.78      | 89.99     | 12.92    | 90.91     | 36.01   | 0.38                  | -0.27 |       |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 220.53    | 1.00        | -42.34   | 220.55    | 1.00        | -42.30     | -47.75    | -1.89    | 47.78      | 47.75     | 1.67     | 47.78     | 10.47   | 0.13                  | -0.01 |       |
|                |                      | Suriray-Cotaruse  | 220.53    | 1.00        | -42.34   | 220.86    | 1.00        | -43.65     | 11.88     | -17.91   | 21.50      | -11.84    | -13.67   | 18.09     | 8.58    | 0.06                  | -0.15 |       |
|                |                      | Suriray-Quencoro  | 220.53    | 1.00        | -42.34   | 221.07    | 1.00        | -48.86     | 138.17    | -27.03   | 140.79     | -         | 135.71   | 22.12     | 137.50  | 31.17                 | 0.37  | -0.25 |
|                | SALIDA L-2059        | ENLACE AB         | 139.15    | 1.01        | -40.46   | 139.16    | 1.01        | -40.44     | -40.98    | -7.51    | 41.67      | 40.99     | 7.50     | 41.67     | 22.75   | 0.17                  | -0.01 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 139.15    | 1.01        | -40.46   | 139.13    | 1.01        | -40.47     | 89.99     | 18.63    | 91.90      | -89.99    | -18.62   | 91.89     | 50.18   | 0.38                  | 0.01  |       |
|                |                      | Machu-Suriray     | 138.64    | 1.00        | -41.13   | 139.13    | 1.01        | -40.47     | -89.89    | -18.32   | 91.74      | 89.99     | 18.62    | 91.89     | 36.52   | 0.38                  | -0.35 |       |
|                |                      | Suriray-Abancay   | 219.04    | 1.00        | -43.99   | 217.46    | 0.99        | -44.96     | 29.36     | 3.63     | 29.58      | -29.28    | -12.37   | 31.79     | 12.87   | 0.08                  | 0.72  |       |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 219.04    | 1.00        | -43.99   | 219.09    | 1.00        | -43.95     | -47.75    | -10.64   | 48.92      | 47.75     | 10.43    | 48.88     | 10.79   | 0.13                  | -0.02 |       |
|                |                      | Suriray-Quencoro  | 219.04    | 1.00        | -43.99   | 220.81    | 1.00        | -49.78     | 120.69    | -32.64   | 125.03     | -         | 118.75   | 24.58     | 121.27  | 27.87                 | 0.33  | -0.80 |
|                | SALIDA SUR-QUEN      | ENLACE AB         | 139.01    | 1.01        | -34.84   | 139.03    | 1.01        | -34.82     | -40.98    | -8.42    | 41.84      | 40.99     | 8.41     | 41.84     | 22.87   | 0.17                  | -0.01 |       |
|                |                      | ENLACE CD         | 139.01    | 1.01        | -34.84   | 138.99    | 1.01        | -34.85     | 89.99     | 20.63    | 92.33      | -89.98    | -20.62   | 92.32     | 50.46   | 0.38                  | 0.02  |       |
|                |                      | Machu-Suriray     | 138.47    | 1.00        | -35.51   | 138.99    | 1.01        | -34.85     | -89.89    | -20.31   | 92.15      | 89.98     | 20.62    | 92.32     | 36.74   | 0.38                  | -0.38 |       |
|                |                      | Suriray-Abancay   | 218.52    | 0.99        | -38.38   | 216.21    | 0.98        | -42.03     | 105.49    | 1.86     | 105.51     | -         | 104.58   | -4.36     | 104.67  | 42.60                 | 0.28  | 1.05  |
|                |                      | Suriray-Ccollpani | 218.52    | 0.99        | -38.38   | 218.58    | 0.99        | -38.33     | -47.75    | -13.70   | 49.67      | 47.75     | 13.49    | 49.62     | 10.98   | 0.13                  | -0.03 |       |
|                |                      | Suriray-Cotaruse  | 218.52    | 0.99        | -38.38   | 221.30    | 1.01        | -43.33     | 44.56     | -25.31   | 51.25      | -44.10    | -2.33    | 44.16     | 20.64   | 0.14                  | -1.27 |       |



## **Anexo B.4:**

### Diagramas unifilares – Operación Normal

Line Supply Quimono



Load Flow Balance

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



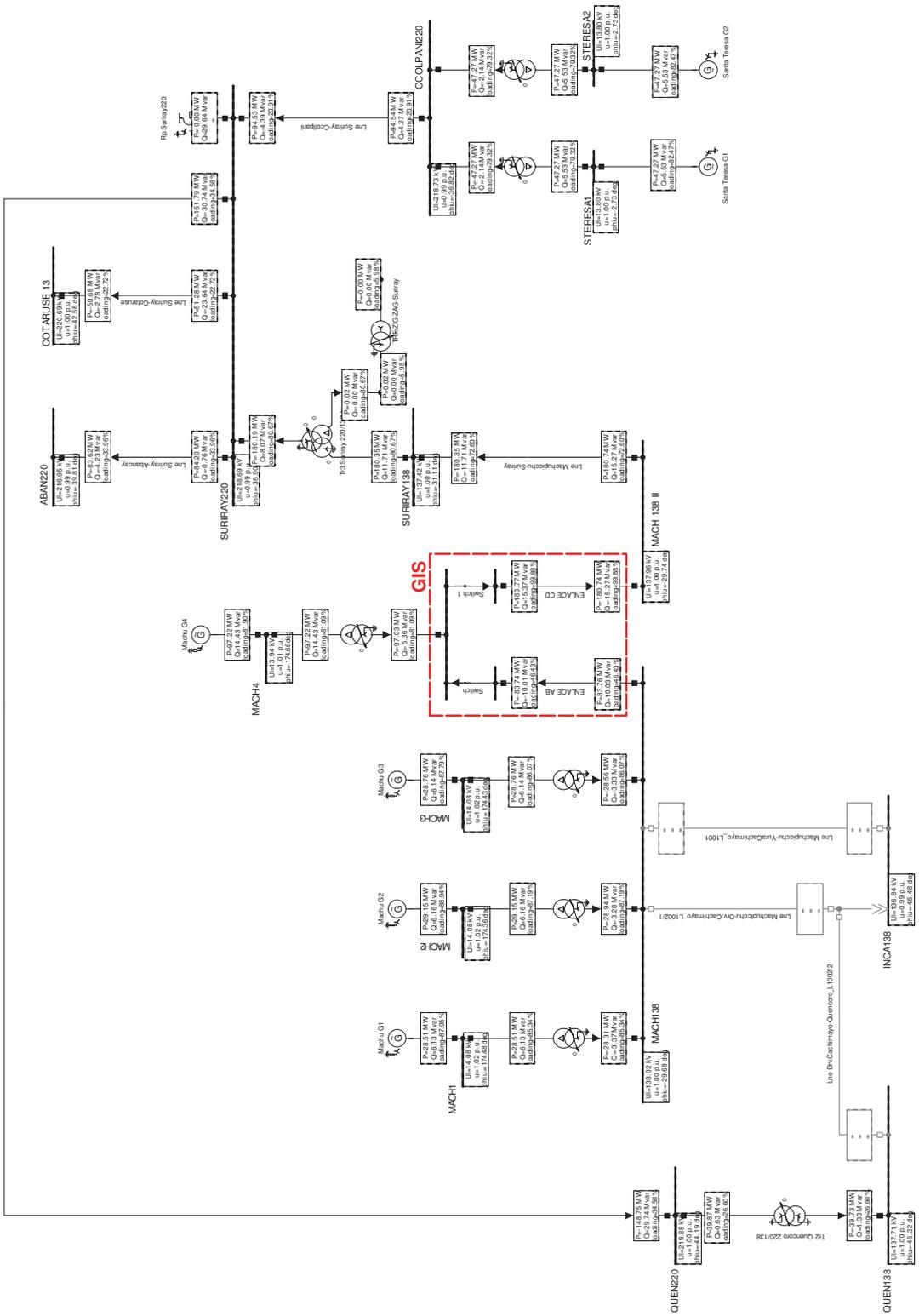
PowerFactory 15.1.7

UNSAAC - FIEEM

FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017  
AVENIDA, MAX  
OP. NORMAL

Project: TESIS  
Graphic: AOSE N°13  
Date: 3/18/2016  
Annex:

Line Supply Quimono



UNSAAC - FIEEM

FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017

OP. NORMAL

Project: TESIS

Graphic: AOSE N°13

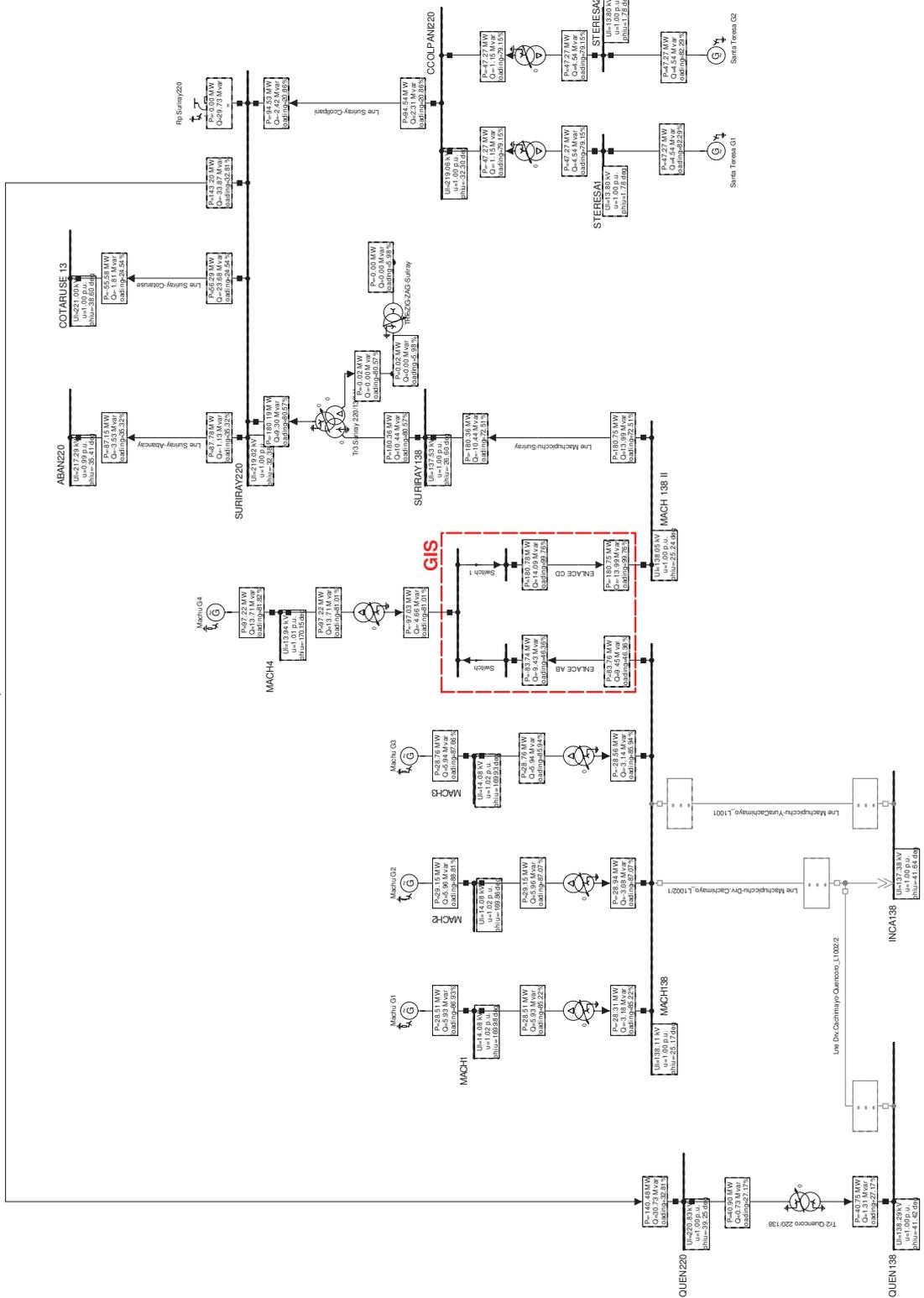
Date: 31/8/2016

Annex:



PowerFactory 15.1.7

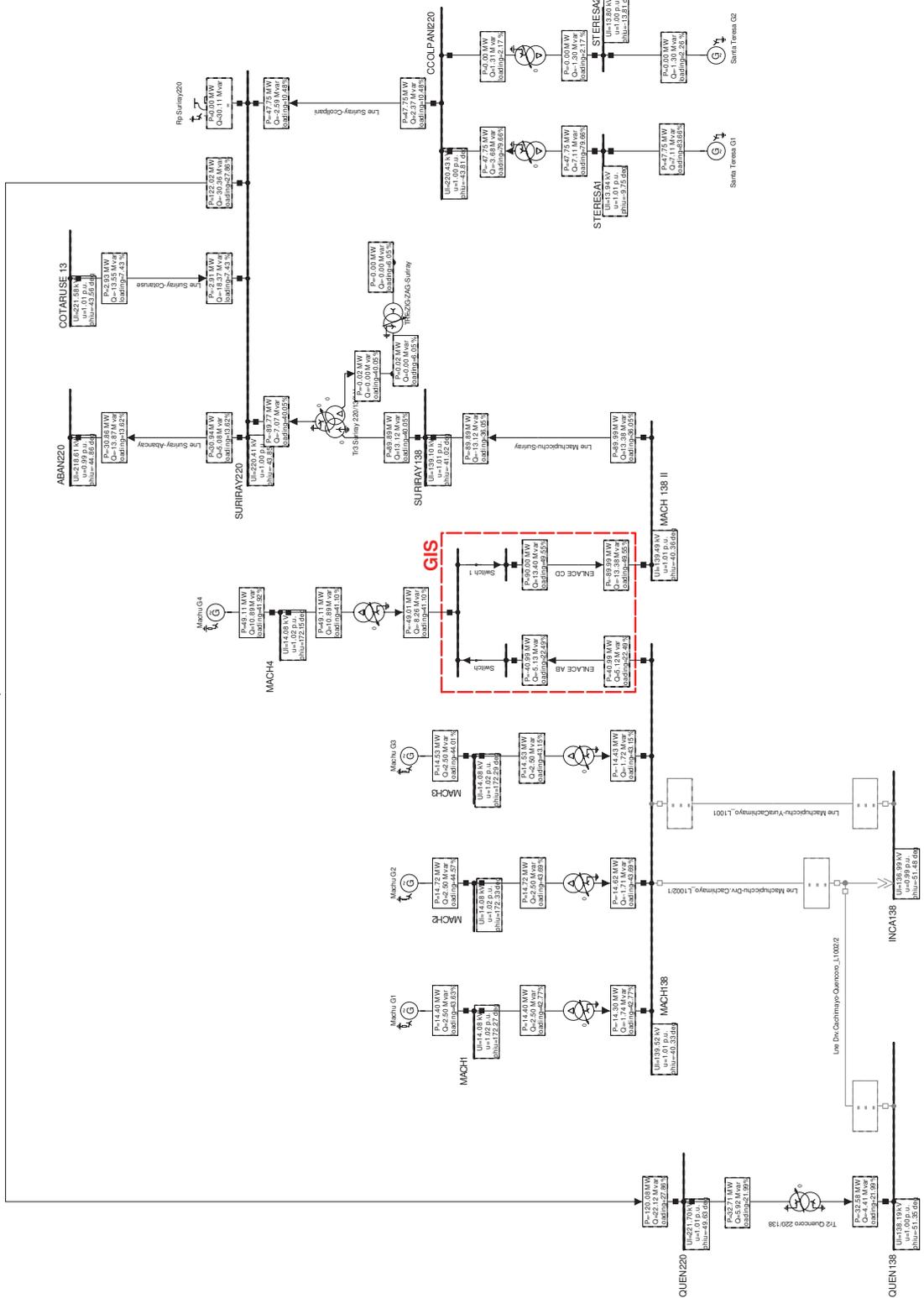
Line Sundry-Quimico



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

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| UNSAAC - FIEEM               | Project: TESIS     |
| FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017 | Graphic: ADFE N°13 |
| ESTIAJE_MAX                  | Date: 31/8/2016    |
| PowerFactory 15.1.7          | Annex:             |

Line Supply Diagram



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

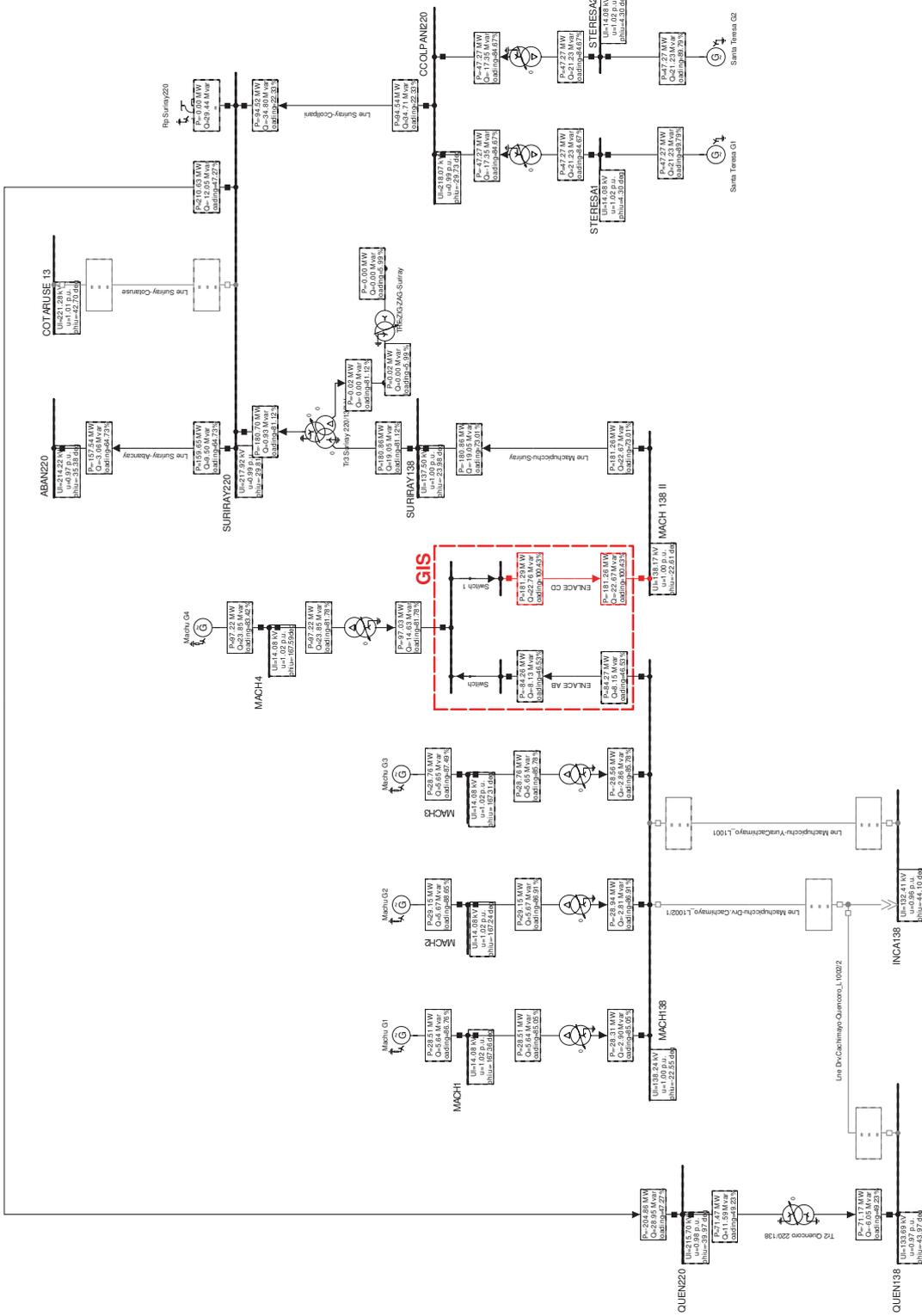
|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| UNSAAC - FIEEM               | Project: TESIS     |
| FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017 | Graphic: AOSE N°13 |
| ESTIAJE_MIN                  | Date: 31/8/2016    |
| PowerFactory 15.1.7          | Annex:             |



## **Anexo B.5:**

### **Diagramas Unifilares - Contingencia**

Line Supply Quimono



| Nodes                             | Branches              |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Line-Line Voltage, Magnitude [kV] | Active Power [MW]     |
| Voltage, Magnitude [p.u.]         | Reactive Power [MVar] |
| Voltage, Angle [deg]              | Loading [%]           |



PowerFactory 15.1.7

UNSAAC - FIEEM

FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017

AVENIDA MAX SALIDA L-2059

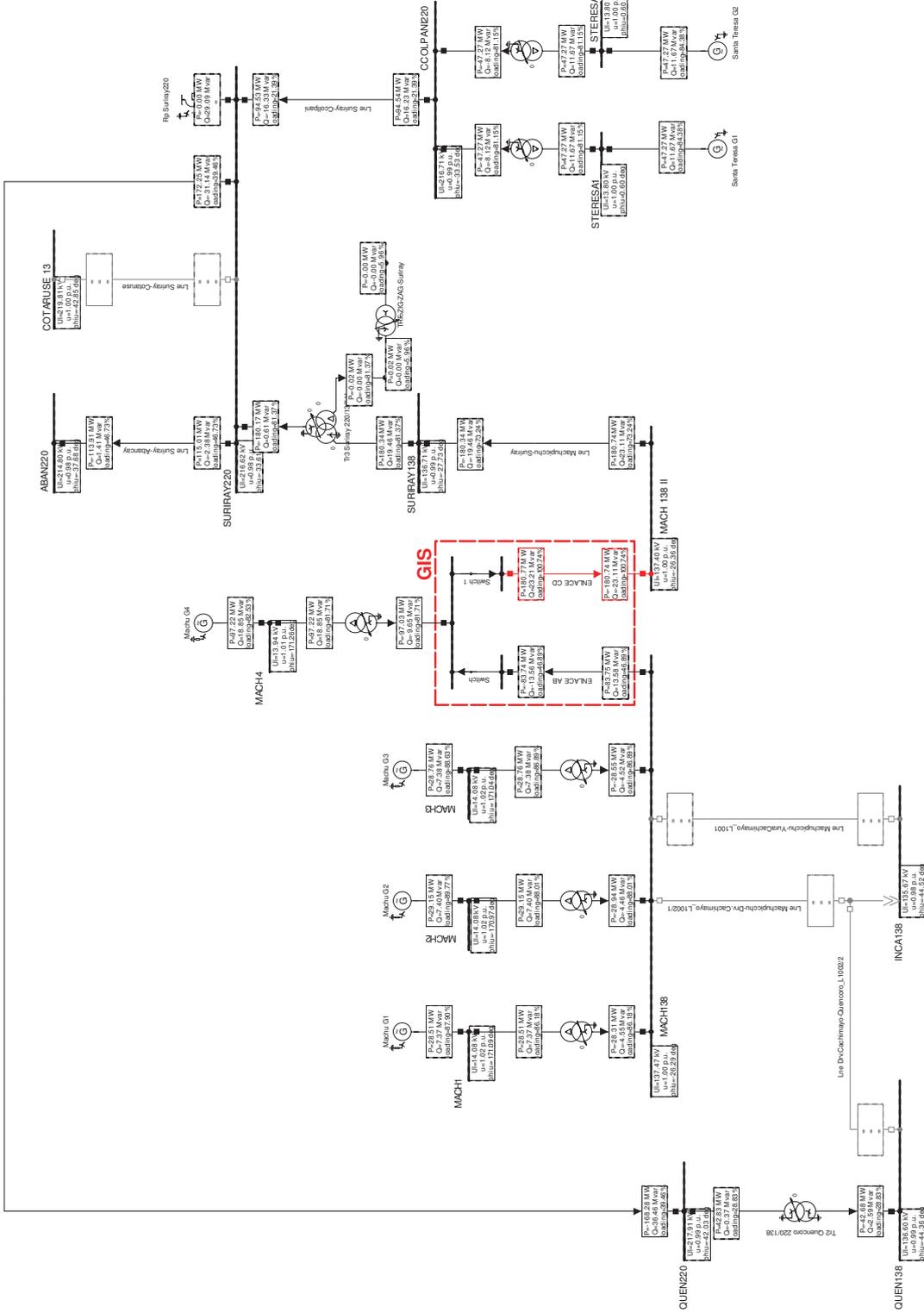
Project: TESIS

Graphic: AOSE N°13

Date: 3/18/2016

Annex:

Line Supply Quimono



| Nodes                             | Branches              |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Line-Line Voltage, Magnitude [kV] | Active Power [MW]     |
| Voltage, Magnitude [p.u.]         | Reactive Power [MVar] |
| Voltage, Angle [deg]              | Loading [%]           |

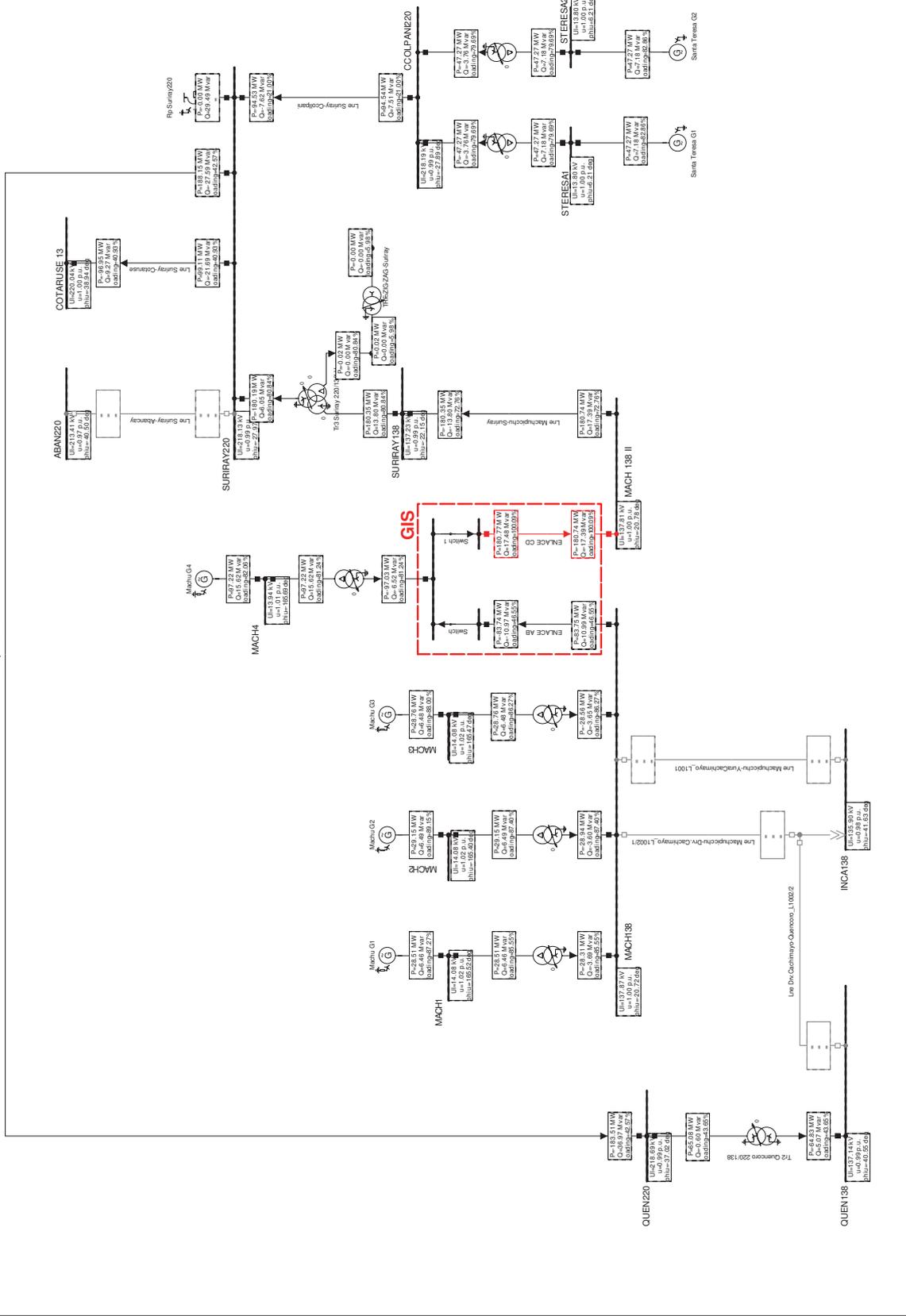
UNSAAC - FIEEM

FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017

AVENIDA, MN

SALIDA L-2059

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| Project: TESIS      | Graphic: ADFE N°13 |
| Date: 3/18/2016     | Annex:             |
| PowerFactory 15.1.7 |                    |



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

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| UNSAAC - FIEEM               | Project: TESIS     |
| FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2017 | Graphic: AOSE N°13 |
| ESTIAJE_MAX                  | Date: 31/8/2016    |
| SALIDA L-2050                | Annex:             |

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| PowerFactory 15.1.7 | PowerFactory 15.1.7 |
|---------------------|---------------------|





## **Anexo C.1:**

### **Diagrama Unifilar Alternativa N° 01**

# C. H. MACHUPICCHU

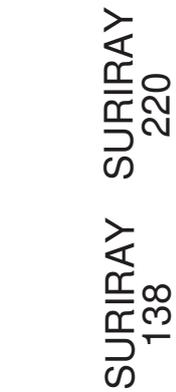
FASE I  
3X30 MW

FASE II  
1X102 MW



MACH 138

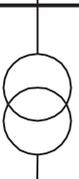
MACH 138



SURIRAY 138



C. H. STA  
TERESA  
2X59 MW



SURIRAY 220

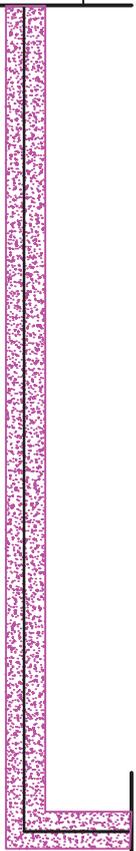
L-1038

QUEN 138



QUEN 220

L.T. SURIRAY - QUENCORO



ABANCAY  
220

L-2050

COTARUSE  
220

L-2059

| LEYENDA |                                    |
|---------|------------------------------------|
|         | Generador                          |
|         | Barra                              |
|         | Transformador                      |
|         | Alternativas planteadas en estudio |
|         | L.T. en construcción               |



|   |                    |
|---|--------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA |                    |
| Diagrama Unifilar de la Alternativa N° 01   |                    |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA  | FECHA: AGOSTO 2016 |
| ZONA DE ESTUDIO: AOSE N°13  | PLANO N°: C.1.1    |



## **Anexo C.2:**

### **Diagrama Unifilar Alternativa N° 02**

# C. H. MACHUPICCHU

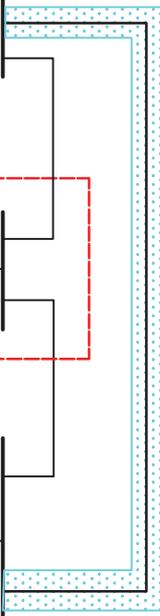
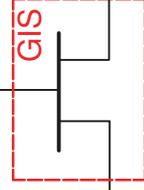
FASE I  
3X30 MW

FASE II  
1X102 MW



MACH 138

MACH 138



LINEA PROYECTADA

L-1038

SURIRAY 138

SURIRAY 220

C. H. STA  
TERESA  
2X59 MW



QUEN 138



QUEN 220

L.T. SURIRAY - QUENCORO



L-2050

ABANCAY  
220

L-2059

COTARUSE  
220

| LEYENDA |                                    |
|---------|------------------------------------|
|         | Generador                          |
|         | Barra                              |
|         | Transformador                      |
|         | Alternativas planteadas en estudio |
|         | L.T. en construcción               |



|   |                    |
|---|--------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERIA: ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELÉCTRICA |                    |
| Diagrama Unifilar de la Alternativa N° 02   |                    |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA  | FECHA: AGOSTO 2016 |
| ZONA DE ESTUDIO: AOSE N°13  | PLANO N°: C.1.2    |



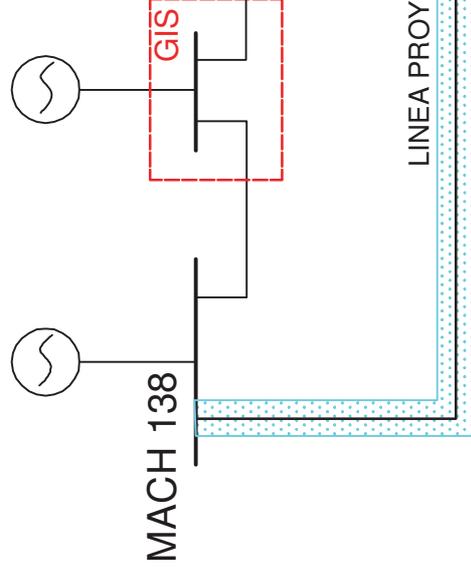
## **Anexo C.3:**

### **Diagrama Unifilar Alternativa N° 03**

# C. H. MACHUPICCHU

FASE I  
3X30 MW

FASE II  
1X102 MW



MACH 138

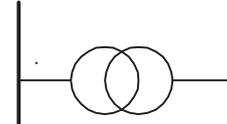
MACH 138

SURIRAY 138

SURIRAY 220

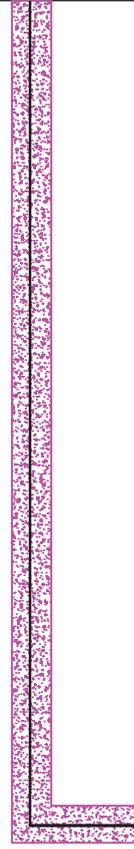
C. H. STA  
TERESA  
2X59 MW

QUEN 138



QUEN 220

L.T. SURIRAY - QUENCORO



L-2050

ABANCAY  
220

L-2059

COTARUSE  
220

## LEYENDA



Generador



Barra



Transformador



Alternativas planteadas en estudio



L.T. en construcción



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Diagrama Unifilar de la Alternativa N° 03

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FECHA: AGOSTO 2016

ZONA DE ESTUDIO: AOSE N°13

PLANO N°: C.1.3



## **Anexo C.4:**

### Procedimiento del Cálculo de los Conductores para cada Alternativa



## PROCEDIMIENTO PARA SELECCIÓN DE LA SECCION DEL CONDUCTOR PARA ALTERNATIVAS 1, 2 Y 3

Se sabe que la Potencia activa (P) de un sistema trifásico está en función de sus tensiones y corrientes de línea representada mediante la siguiente Ecuación 1:

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \phi$$

Donde:

$V_L$ : Tensión de línea (kV)

$I_L$ : Corriente de línea (A)

$\cos \phi$ : Factor de potencia (0.85)

Asimismo, se tiene que la potencia aparente (S) está expresada mediante la Ecuación 2:

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

Por tanto, para el cálculo de la corriente de línea se emplea la Ecuación 1, la cual al despejar la corriente queda de la siguiente manera:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} * V_L * \cos \phi} \quad \text{Ecuación 3}$$

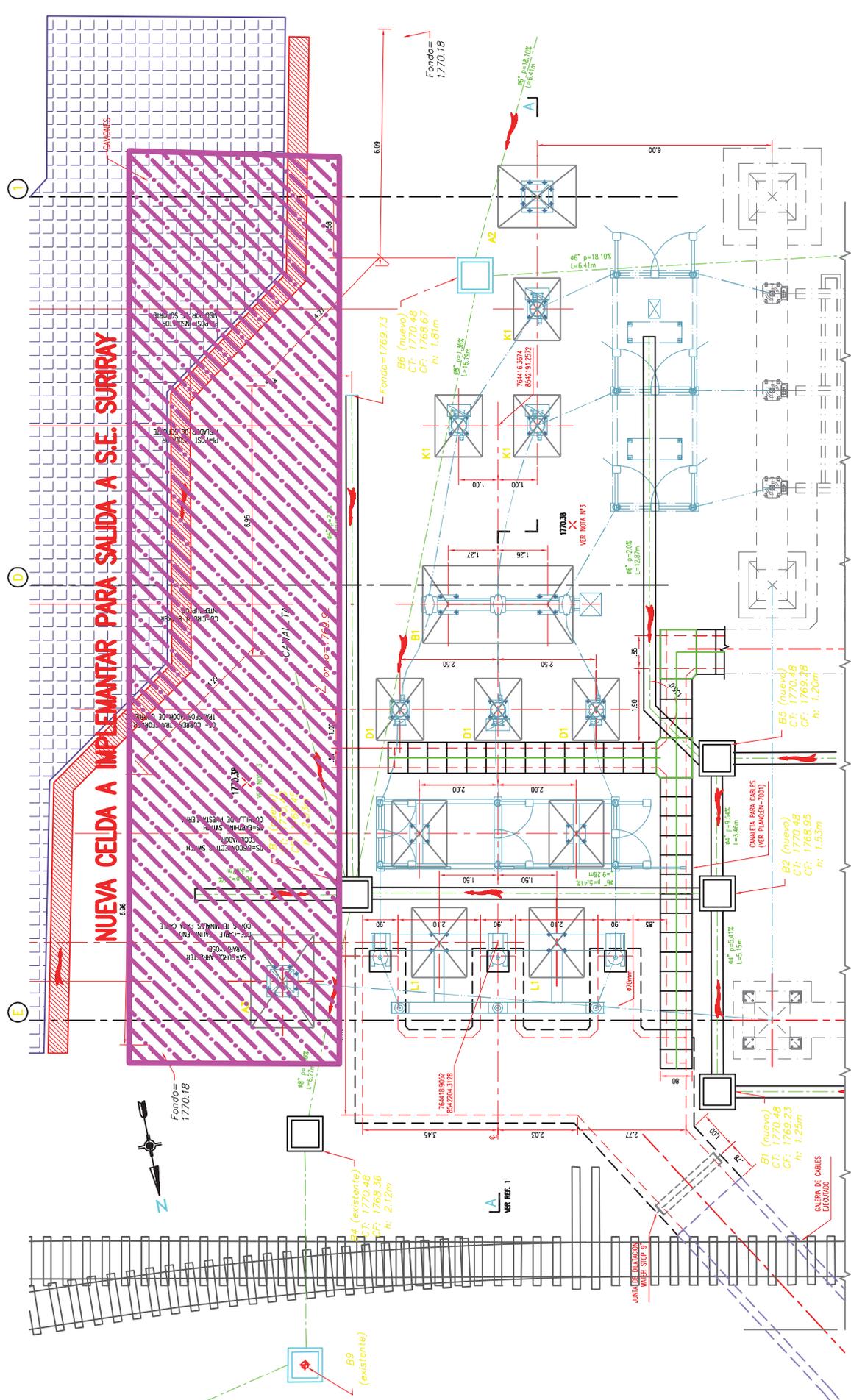
Finalmente, con el valor de la corriente de línea calculada mediante la Ecuación 3, se procede a buscar en el catálogo de conductores la sección que cumpla con este valor hallado, teniendo de esta manera una sección aproximada del conductor que se podría utilizar para las alternativas estudiadas en el Capítulo 4, Ítem 4.5.1 y 4.5.2.

Los resultados de los conductores que se emplearían se aprecian en las tablas 4.1, 4.2 Y 4.3.



## **Anexo C.5:**

### **Subestación Eléctrica Machupicchu I**



**LEYENDA:**

- CONCRETO  $f_c=71.5 \text{ MPa}$
- TIERRO NATURAL
- SOLADO  $f_c=10 \text{ MPa}$
- PIEDRA MAX. 3"

**ESCALA:**

PLANTA

**TABLA DE PEDESTALES**

| PEDESTAL | T                  | DIMENSION (M) |
|----------|--------------------|---------------|
| A2       | 1.60 x 2.00 x 1.00 |               |
| A3       | 1.60 x 2.40 x 1.00 |               |
| B1       | 2.00 x 3.83 x 0.80 |               |
| C1       | 1.40 x 1.70 x 0.80 |               |
| D1       | 1.20 x 1.60 x 0.80 |               |
| K1       | 1.40 x 1.80 x 0.80 |               |
| L1       | 1.40 x 1.80 x 0.80 |               |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL DEL CUSCO  
 FACULTAD DE INGENIERIA: ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRICA

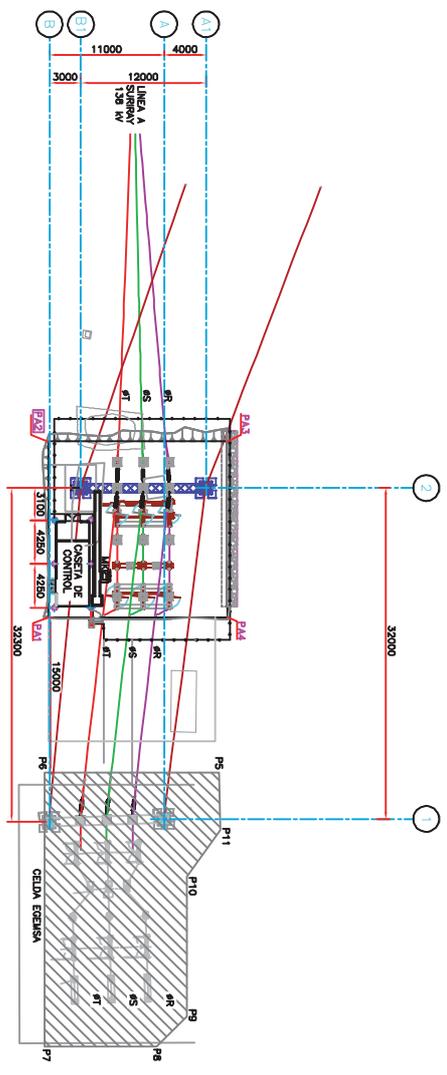
DISPOSICION FISICA S.E. MACHUPICCHUI

FUENTE: ISA REP - HMV  
 FECHA: AGOSTO 2016  
 ZONA DE ESTUDIO: AOSEN° 13  
 PLANO N°: C.5.1

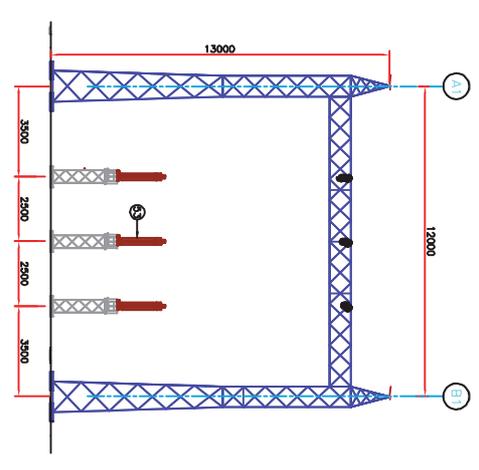


## **Anexo C.6:**

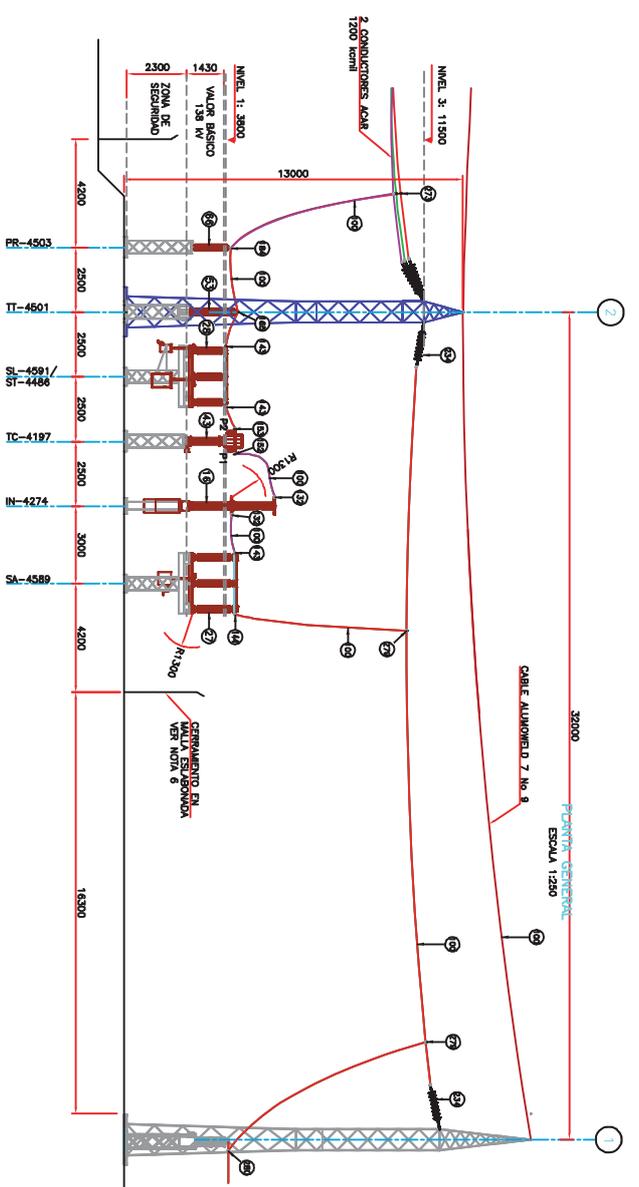
### **Subestación Eléctrica Machupicchu II**



PLANTA GENERAL  
ESCALA 1:250



SECCION B-B  
ESCALA 1:100



SECCION A-A  
ESCALA 1:100

CONVENCIONES:

- MK GABINETE DE ARREGLO
- GM GABINETE DE MANDO MONOPOLAR INTERRUPTOR
- OT GABINETE DE MANDO TRIPOLAR INTERRUPTOR
- MS MANDO TRIPOLAR DE SECCIONADOR
- MP MANDO MONOPOLAR DE SECCIONADOR
- MT MANDO TRIPOLAR DE PUESTA A TIERRA DE SECCIONADOR

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN MILIMETROS.
2. LAS CONEXIONES ENTRE EQUIPOS PARA LOS CAMPOS DE 138 kV SON EN UN CONDUCTOR CONSUP #4/1,38 mm 1010 mm<sup>2</sup>.

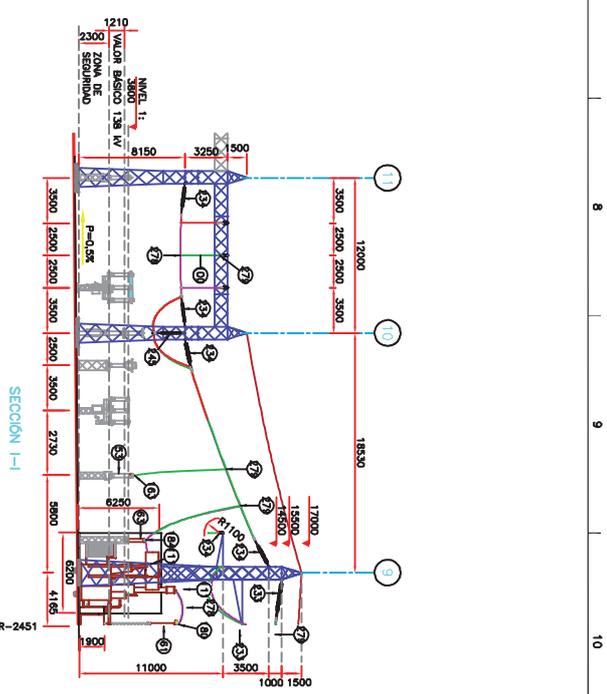
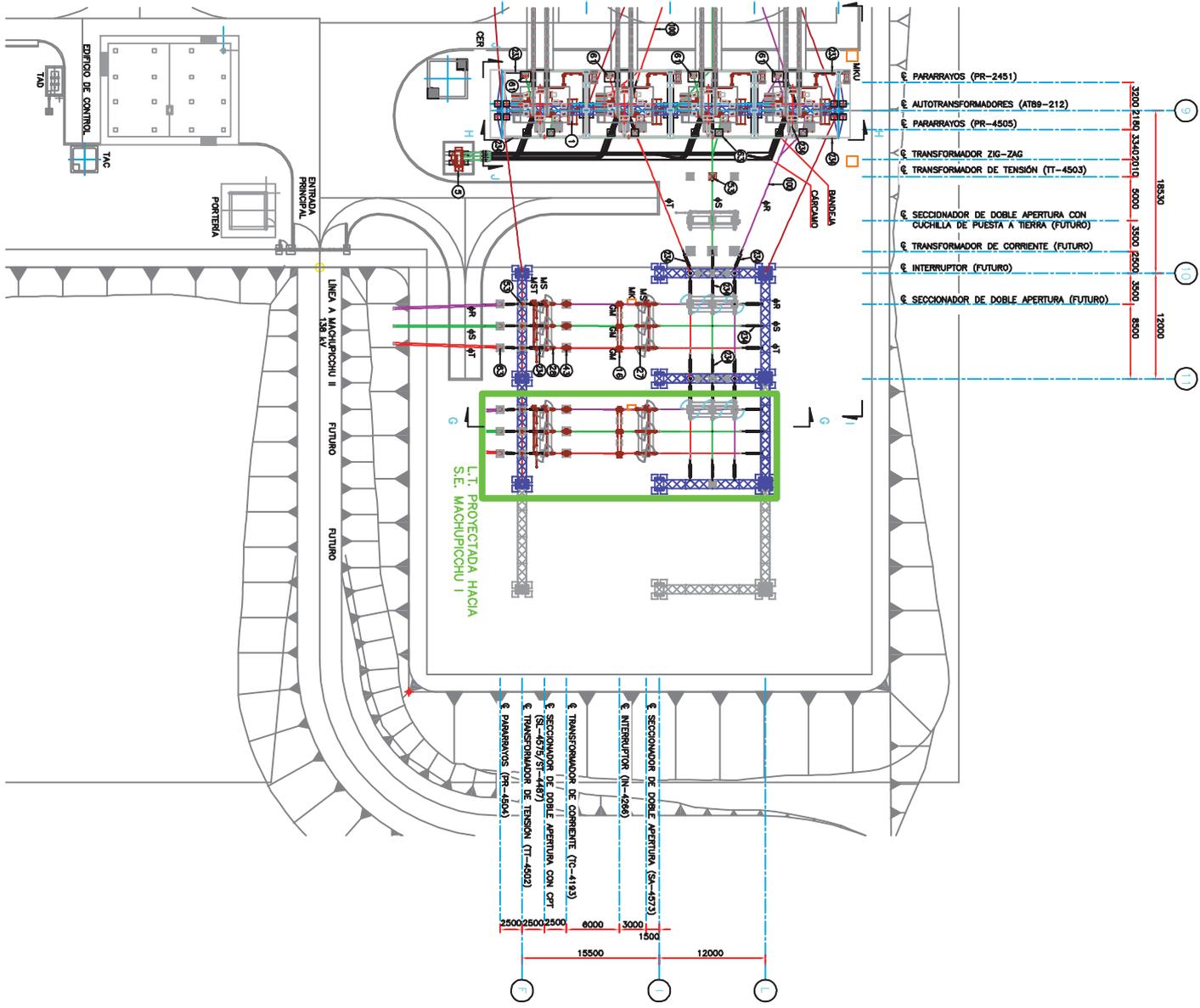


|   |                    |
|---|--------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO                   |                    |
| FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA |                    |
| ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRICA                           |                    |
| DISPOSICION FISICA S.E. MACHUPICCHU II                                |                    |
| FUENTE: ISA REP - IHV   | FECHA: AGOSTO 2016 |
| ZONA DE ESTUDIO: ADSE N° 13   | PLANO N° 1 C.A.1   |



## **Anexo C.7:**

### **Subestación Eléctrica Suriray 220/138 kV**



CONVENCIONES:

— CERRAMIENTO EN MALLA ESABOMADA

— FUTURO

- MK GABINETE DE AGRUPAMIENTO
- MKU GABINETE CAMBIO DE LINDADO
- MS MANDO TRIPOLAR SECCIONADOR
- MST MANDO TRIPOLAR SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA
- GM GABINETE MANDO MONOPOLAR INTERRUPTOR
- TZZ TRANSFORMADOR ZO-ZIG

NOTAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN MILIMETROS.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO**  
 FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA, INFORMATICA Y MECANICA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRICA

**DISPOSICION FISICA S.E. SURIRAY**

FUENTE: ISA REP - HMV      FECHA: AGOSTO 2016

ZONA DE ESTUDIO: ADSE N° 13      PLANO N° 1      C.7.1



## **Anexo C.8:**

Valorizaciones de la Alternativa, VAN y TIR - Hojas de Cálculo.

VALORIZACION LÍNEAS DE TRANSMISIÓN - ALTERNATIVA N° 01

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| CODIGO                              | LT-138500XX59/C340052                  |
| DESCRIPCIÓN                         | 138 KV                                 |
| POTENCIA MÁXIMA A TRANSMITIR        |  |
| DENOMINACIÓN DE LA LÍNEA            | Instalación Subterránea - Simple Terna |
| TIPO DE ESTRUCTURA                  | Instalación Subterránea                |
| TIPO DE CABLE                       | 3x150/25                               |
| TIPO DE CABLE DE GUARDA             | 3x150/25                               |
| CONDICIONES AMBIENTALES             | SIN CABLE DE GUARDA                    |
| LONGITUD DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN | 8,715 Km                               |

FECHA DE IMPRESIÓN 08-30-2016  
TIPO DE CAMBIO (S./POR. US\$) 3,956

| ITEM | ACTIVIDAD  | UNIDAD | CANTIDAD | SUMINISTROS IMPORTADOS |            | SUMINISTROS NACIONALES |            | FLETE DE SUMINISTROS NACIONALES |          | OBRAS CIVILES Y MONTAJE ELECTROMECAÁNICO |           |                         |            | TOTAL GENERAL (US\$) | TOTAL CIF SIN ALUMINO (US\$) | TOTAL CIF ALUMINO (M.E.) (US\$) | TOTAL ARANCELES (M.N.) (US\$) | TOTAL SARANCELES (M.N.) (US\$) |
|------|--|--------|----------|------------------------|------------|------------------------|------------|---------------------------------|----------|--|-----------|-------------------------|------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |  |        |          | PRECIO CIF (M.E.)      |            | ADUANA (M.N.)          |            | MONTAJE ELECTROMECAÁNICO (M.N.) |          | OBRAS CIVILES (M.N.)                     |           | SUB-TOTAL (M.N.) (US\$) |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
|      |  |        |          | UNITARIO               | TOTAL      | UNITARIO               | TOTAL      | UNITARIO                        | TOTAL    | UNITARIO                                 | TOTAL     | UNITARIO                | TOTAL      |                      |                              |                                 |                               |                                |
| I    | OBRAS CIVILES  |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
| 1.1  | Movilización y Desmovilización                                     | Glb    | 1.0      |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         | 3,668.96   |                      |                              |                                 |                               | 3,668.96                       |
| 2.0  | Obras Provisionales  |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
| 2.1  | Instalación de Cables metálicos y Alambres                         | Glb    | 1.0      |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         | 3,153.58   |                      |                              |                                 |                               | 3,153.58                       |
| 2.2  | Mantenimiento y Operación de Equipamientos                         | Glb    | 1.0      |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         | 2,000.00   |                      |                              |                                 |                               | 2,000.00                       |
|      |  |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               | 8,822.16                       |
| II   | OBRAS Y OBRAS CIVILES  |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
|      | OBRAS ELECTROMECANICAS   |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
| 2.   | ESTRUCTURAS METALICAS  |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
| 2.1  | CADENA DE AISLADORES Y CABEZAS TERMINALES                          | Und    | 12       | 3,840.95               | 46,091.40  | 1,728.45               | 20,741.40  | 4.55                            | 54.31    | 982.95                                   | 11,784.60 | 11,784.60               | 59,656.74  | -0.04                | 46,091.44                    | 1,728.45                        | 11,898.91                     |                                |
| 3.1  | Conectores empalmados para cables subterranos                      | Und    | 30       | 118.45                 | 3,553.50   | 133.26                 | 3,996.74   | 0.88                            | 273.30   | 9.11                                     | 273.30    | 273.30                  | 3,960.74   | 3,953.50             | 281.25                       | 133.26                          | 273.98                        |                                |
| 4.   | CABLE SUBTERRANEO  | Und    | 0.800    | 397,393.15             | 257,914.50 | 6,335.15               | 5,075.15   | 283.65                          | 227.52   | 5,107.95                                 | 1,983.15  | 1,983.15                | 267,831.69 | 0.00                 | 257,914.50                   | 6,335.15                        | 1,983.15                      |                                |
| 4.1  | Conductor aluminio para cables subterranos                         | Mt     | 8        | 1,680.00               | 13,440.00  | 1,620.00               | 12,960.00  | 0.58                            | 4,656.00 | 768.23                                   | 6,144.00  | 6,144.00                | 12,960.00  | 13,440.00            | 13,440.00                    | 1,620.00                        | 13,440.00                     |                                |
| 4.2  | Conductor aluminio para cables subterranos                         | Mt     | 20.00    | 5.49                   | 109.80     | 4.12                   | 82.40      | 0.01                            | 0.26     | 1.02                                     | 20.40     | 20.40                   | 109.80     | 109.80               | 109.80                       | 4.12                            | 20.68                         |                                |
| 4.3  | Empalmado conductor de 8x7.24 mm de diámetro a tierra en 20 metros | Und    | 7.00     | 1.28                   | 8.96       | 0.81                   | 9.11       | 0.16                            | 1.32     | 5.28                                     | 37.04     | 37.04                   | 8.96       | 8.96                 | 8.96                         | 1.28                            | 10.24                         |                                |
| 4.4  | Empalmado conductor de 8x7.24 mm de diámetro a tierra en 20 metros | Glb    | 2.00     | 2,114.56               | 4,229.12   | 253.75                 | 517.50     | 2.26                            | 4.52     | 32.11                                    | 64.22     | 64.22                   | 4,865.65   | 4,229.12             | 4,229.12                     | 253.75                          | 4,478.87                      |                                |
| 4.5  | Cable tipo para a tierra Simple Boring con SWL 1.5KV               | Und    | 1.00     | 2,897.30               | 2,897.30   | 253.75                 | 253.75     | 2.26                            | 4.52     | 102.28                                   | 102.28    | 102.28                  | 3,197.76   | 2,897.30             | 2,897.30                     | 253.75                          | 3,151.05                      |                                |
| 4.6  | Cable tipo para a tierra Simple Boring con SWL 1.5KV               | Und    | 2.00     | 3,996.40               | 7,992.80   | 253.75                 | 507.50     | 2.26                            | 4.52     | 102.28                                   | 204.56    | 204.56                  | 8,441.67   | 7,992.80             | 7,992.80                     | 253.75                          | 8,245.55                      |                                |
| 5.   | Inspección de la Línea Constituida                                 | Glb    | 1        |                        |            | 239.78                 | 239.78     |                                 |          | 3,182.01                                 | 3,182.01  | 3,182.01                | 3,182.01   |                      |                              |                                 |                               | 3,182.01                       |
| 6.   | Pruebas y Puestas en Servicio                                      | Glb    | 1        |                        |            | 12,709.84              | 12,709.84  |                                 |          | 2,915.35                                 | 2,915.35  | 2,915.35                | 2,915.35   |                      |                              |                                 |                               | 2,915.35                       |
|      | SUB TOTAL DE OBRAS ELECTROMECAANICAS                               |        |          |                        |            | 367,243.78             | 367,243.78 |                                 |          | 314.02                                   | 27,464.09 | 27,464.09               | 407,746.48 | 75,411.44            | 12,724.59                    |                                 |                               | 485,877.51                     |
|      | TOTAL COSTO I+II   |        |          |                        |            | 367,243.78             | 367,243.78 |                                 |          | 314.02                                   | 27,464.09 | 27,464.09               | 407,746.48 | 75,411.44            | 12,724.59                    |                                 |                               | 485,877.51                     |
| III  | GASTOS GENERALES DEL CONTRATISTA                                   |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
|      | UTILIDADES DEL CONTRATISTA   |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
| IV   | UTILIDADES DEL CONTRATISTA   |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
|      | TOTAL GENERAL  |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
|      | TOTAL MONEDA EXTRANJERA (US\$)                                     |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |
|      | TOTAL MONEDA NACIONAL (US\$)                                       |        |          |                        |            |                        |            |                                 |          |  |           |                         |            |                      |                              |                                 |                               |                                |

FUENTE: ELABORACION PROPIA

VALORIZACION LINEAS DE TRANSMISION - ALTERNATIVA N° 02

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| CODIGO                              | LT13BSERROTAS1C400A                      |
| NIVEL DE TENSION                    | 138 KV                                   |
| POTENCIA MAXIMA A TRANSMITIR        |  |
| TIPO DE LINEA                       | Torre de Acero - SIMPLE TERNASERRA RURAL |
| TIPO DE ESTRECHURA                  | Torre de Acero                           |
| TIPO DE CONDUCTOR                   | ACAR 400 mm2                             |
| TIPO DE CABLE DE GUARDA             | 1 CABLE DE GUARDA OPQW-24 HILOS          |
| CONDICIONES AMBIENTALES             | AMBIENTE LIMPIO                          |
| LONGITUD DE LA LINEA DE TRANSMISION | 2 km                                     |

FECHA DE IMPRESION 05-sep-2016  
TIPO DE CAMBIO (S.POR US\$) 3.356

| ITEM      | ACTIVIDAD  | UNIDAD | CANTIDAD | SUMINISTROS IMPORTADOS |           | ADUANA (MIL) | SUMINISTROS NACIONALES (MIL) |        | FLETE DE SUMINISTROS A OBRA (MIL) |                  | OBRAS CIVILES Y MONTAJE ELECTROMECANICO |       | TOTAL GENERAL (US\$) | TOTAL CIF SIN ALUMINO (ME) (US\$) | TOTAL CIF ALUMINO (ME) (US\$) | TOTAL ARANCEL (MIL) (US\$) | TOTAL SANCIONES (MIL) (US\$) |
|-----------|--|--------|----------|------------------------|-----------|--------------|------------------------------|--------|-----------------------------------|------------------|---|-------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
|           |  |        |          | PRECIO CIF (M.E.)      | TOTAL     |              | UNIDAD                       | TOTAL  | UNIDAD                            | TOTAL            | UNIDAD                                  | TOTAL |                      |                                   |                               |                            |                              |
| <b>I</b>  | <b>OBRAS CIVILES</b>                                       |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 1.1       | Movilizaci3n y Desmovilizaci3n                             | GR     | 1,00     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 6,000.00             |                                   |                               |                            | 6,000.00                     |
| 2.0       | Obras Provisionales  | GR     | 1,00     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 3,000.00             |                                   |                               |                            | 3,000.00                     |
| 2.1       | Instalaci3n de Campanarios y Almocenas                     | GR     | 1,00     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 2,000.00             |                                   |                               |                            | 2,000.00                     |
| 2.2       | Mantenimiento y Operaci3n de Campanarios                   |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 3.0       | Trabajos Preliminares                                      |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 4.0       | Caminos de Acero   | km     | 2,00     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 6,164.70             |                                   |                               |                            | 6,164.70                     |
| 4.1       | Camino de Acero en Terreno Plano                           | km     | 1,00     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 14,194.45            |                                   |                               |                            | 14,194.45                    |
| 4.2       | Camino de Acero en Terreno Accidentado Normal              | km     | 1,00     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 5.0       | Instalaci3n de Estructuras                                 | m3     | 20,44    |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 665.39               |                                   |                               |                            | 665.39                       |
| 5.1       | Instalaci3n de Estructuras                                 | m3     | 18,12    |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 409.42               |                                   |                               |                            | 409.42                       |
| 5.2       | Rebajo conopeado con material propio                       | m3     | 5,41     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 127.52               |                                   |                               |                            | 127.52                       |
| 5.3       | Eliminaci3n de material excedente (3 km.)                  | m3     | 2,88     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 424.60               |                                   |                               |                            | 424.60                       |
| 5.4       | Encofrado y Descofrado                                     | m2     | 2,88     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 4.54                 |                                   |                               |                            | 4.54                         |
| 5.5       | Concreto para cimentaciones                                | m3     | 2,35     |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | 4.54                 |                                   |                               |                            | 4.54                         |
|           | <b>SUB-TOTAL OBRAS CIVILES</b>                             |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       | <b>32,990.61</b>     |                                   |                               |                            | <b>32,990.61</b>             |
| <b>II</b> | <b>OBRAS ELECTROMECANICAS</b>                              |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 1.0       | ESTRUCTURAS METALICAS                                      |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 1.3       | ANGULO MAYOR   | UD     | 1        | 13,905.32              | 13,905.32 | 634.32       | 469.13                       | 469.13 | 5,772.48                          | 5,772.48         |   |       | 21,328.88            | 13,905.32                         | 4,748.23                      | 1,181.95                   | 6,241.61                     |
|           | Torre de Angulo Mayor tipo BS1 (BS7) Tipo BS1-H            | TN     | 12       | 1,650.77               | 2,045.07  | 99.05        | 51.13                        | 61.35  | 1,477.79                          | 1,650.77         |   |       | 4,089.63             | 2,045.07                          | 1,501.77                      | 150.17                     | 1,894.39                     |
|           | Parrillas Para suspensi3n y anclaje                        | UD     | 4        | 12.28                  | 49.16     | 0.74         | 0.74                         | 7.70   | 30.81                             | 38.51            |   |       | 63.05                | 49.16                             | 48.16                         | 1.97                       | 62.183                       |
| 2.0       | ASLADORES  | 300    | 6        | 261.95                 | 1,571.69  | 58.94        | 6.10                         | 36.60  | 34.49                             | 208.94           |   |       | 1,571.69             |                                   |                               | 58.94                      | 243.54                       |
| 3.0       | CONDUCTOR ACTIVO, CABLE DE GUARDA                          | km     | 2        | 3,165.49               | 4,748.23  | 154.32       | 86.12                        | 129.18 | 3,447.58                          | 1,723.79         |   |       | 6,752.52             | 3,165.49                          | 4,748.23                      | 154.32                     | 1,852.97                     |
| 3.1       | Cables de puestas OPWG 24                                  | km     | 1        | 2,495.06               | 2,495.06  | 149.70       | 30.58                        | 30.58  | 2,183.15                          | 2,183.15         |   |       | 4,877.10             | 2,495.06                          | 2,183.15                      | 218.32                     | 2,257.73                     |
| 3.2       | Cables de puestas OPWG 24                                  | km     | 1        |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 4.0       | ACCESORIOS DEL CONDUCTOR ACTIVO                            | UD     | 6        | 71.26                  | 427.51    | 13.09        | 0.91                         | 1.58   | 6.11                              | 54.65            |   |       | 427.51               | 71.26                             |                               | 13.09                      | 45.52                        |
| 4.1       | Arreglos para el cable de guarda                           | UD     | 6        |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 4.2       | Arreglos para el cable de guarda                           | UD     | 6        | 71.26                  | 427.51    | 13.09        | 0.91                         | 1.58   | 6.11                              | 54.65            |   |       | 427.51               | 71.26                             |                               | 13.09                      | 45.52                        |
| 4.3       | Margado de Reparaci3n Conductor ACAR 400 mm2               | UD     | 9        | 86.27                  | 776.27    | 2.84         | 0.07                         | 0.07   | 19.37                             | 19.37            |   |       | 100.54               | 86.27                             | 2.84                          | 2.84                       | 19.44                        |
| 4.4       | Arreglos para el cable de guarda                           | UD     | 12       | 47.09                  | 565.09    | 33.91        | 0.35                         | 4.16   | 18.41                             | 220.92           |   |       | 850.91               | 565.09                            | 607.95                        | 2.63                       | 194.44                       |
| 5.0       | ACCESORIOS DEL CABLE DE GUARDA OPQW24 HILOS                |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 5.1       | Conjuntos de suspensi3n para Cable OPQW-24 Hiros           | Cjto   | 1        | 76.40                  | 76.40     | 2.86         | 0.05                         | 0.05   | 24.54                             | 24.54            |   |       | 103.85               | 76.40                             |                               | 2.63                       | 24.59                        |
| 5.2       | Conjuntos de suspensi3n para Cable OPQW-24 Hiros           | Cjto   | 1        | 70.00                  | 70.00     | 2.63         | 0.05                         | 0.05   | 34.71                             | 34.71            |   |       | 107.39               | 70.00                             |                               | 2.63                       | 34.78                        |
| 5.3       | Arreglos para el cable de guarda                           | Cjto   | 1        | 47.09                  | 47.09     | 1.65         | 0.05                         | 0.05   | 22.28                             | 22.28            |   |       | 69.37                | 47.09                             |                               | 0.68                       | 22.28                        |
| 5.4       | Arreglos para el cable de guarda                           | Cjto   | 2        | 171.18                 | 342.36    | 2.06         | 0.05                         | 0.10   | 44.40                             | 44.40            |   |       | 88.80                | 171.18                            |                               | 3.63                       | 44.50                        |
| 6.0       | PUESTA A TIERRA  |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 6.1       | Medici3n de resistividad y resistenci3n de puesta a tierra | UD     | 1        |                        |           |              |                              |        | 21.51                             | 21.51            |   |       | 21.51                |                                   |                               |                            | 21.51                        |
| 6.2       | Conductor de cobre porred                                  | km     | 0.07     | 3,764.23               | 244.69    | 0.04         | 53.51                        | 3.48   | 4,413.58                          | 286.88           |   |       | 535.07               | 244.69                            | 4,413.58                      | 0.04                       | 290.36                       |
| 6.3       | Jaliscoas conopewy y conexi3n                              | UD     | 1        | 18.21                  | 18.21     | 0.68         | 0.36                         | 0.36   | 24.63                             | 24.63            |   |       | 43.88                | 18.21                             |                               | 0.68                       | 24.99                        |
| 6.4       | Pozo a tierra B.S.1 - bornera                              | UD     | 1        | 70.00                  | 70.00     |              | 70.00                        | 70.00  | 546.94                            | 546.94           |   |       | 697.15               | 70.00                             |                               | 6.81                       | 617.15                       |
| 7.0       | Pruebas y Puestas en Tierra                                |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| 8.0       | Pruebas y Puestas en Tierra                                | GR     | 1        |                        |           |              |                              |        | 2,915.35                          | 2,915.35         |   |       | 2,915.35             |                                   |                               |                            | 2,915.35                     |
|           | <b>SUB-TOTAL DE OBRAS ELECTROMECANICAS</b>                 |        |          |                        |           |              |                              |        | <b>19,874.83</b>                  | <b>52,950.61</b> |   |       | <b>82,995.46</b>     | <b>22,266.59</b>                  | <b>47,482.23</b>              | <b>1,872.77</b>            | <b>20,713.27</b>             |
|           | <b>TOTAL COSTO I + II</b>                                  |        |          |                        |           |              |                              |        | <b>770.44</b>                     | <b>770.44</b>    |   |       | <b>32,990.61</b>     | <b>22,266.59</b>                  | <b>47,482.23</b>              | <b>1,872.77</b>            | <b>53,705.89</b>             |
| III       | GASTOS GENERALES DEL CONTRATISTA                           |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
| IV        | UTILIDADES DEL CONTRATISTA                                 |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
|           | <b>TOTAL GENERAL</b>                                       |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
|           | <b>TOTAL MONEDA EXTRANJERA (US\$)</b>                      |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |
|           | <b>TOTAL MONEDA NACIONAL (US\$)</b>                        |        |          |                        |           |              |                              |        |                                   |                  |   |       |                      |                                   |                               |                            |                              |

FUENTE: ESTIMACION PROPIA



VALORIZACION CELDA SALIDA Y LLEGADA

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| NOMBRE DE MODULO                 | MODULO DE CELDA TIPO CONVENCIONAL, AL EXTERIOR 138 KV SIERRA RURAL (De 1000 a 3000 ms/mm) - SIMPLE BARRA - LINEA |
| CODIGO                           | CE-138SIR2C-IESBLI3  |
| TIPO DE EQUIPAMIENTO SUBESTACION | SUBESTACION TIPO CONVENCIONAL, AL EXTERIOR   |
| NIVEL DE TENSION                 | 138 KV   |
| LUGAR                            | SIERRA RURAL (De 1000 a 3000 ms/mm)  |
| SISTEMA DE BARRAS-TIPO DE CELDA  | SIMPLE BARRA - LINEA   |
| TIPO DE MODULO ESTANDAR          | MODULO DE CELDAS   |
|                                  | 221,194.55   |

FECHA DE IMPRESION  
TIPO DE CAMBIO (S./POR US\$)

08-sep-2016  
3.356

| ITEM  | DESCRIPCION  | UNIDAD | CANTIDAD | SUMINISTROS IMPORTADOS |              |                | SUMINISTROS NACIONALES |                 | FLETE DE SUMINISTROS A OBRA |                 | OBRAS CIVILES |                 |              | MONTAJE ELECTROMECHANICO |              | TOTAL GENERAL (US\$) | TOTAL ARMALES (M.N.) (US\$) | TOTAL SAMBALES (M.N.) (US\$) |
|---|--|--------|----------|------------------------|--------------|----------------|------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|--------------------------|--------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|
|   |  |        |          | PRECIO CIF (M.E.)      |              | ARANCEL (M.N.) | GG ADUANAS (M.N.)      | UNITARIO (US\$) | TOTAL (US\$)                | UNITARIO (US\$) | TOTAL (US\$)  | UNITARIO (US\$) | TOTAL (US\$) | UNITARIO (US\$)          | TOTAL (US\$) |                      |                             |                              |
|   |  |        |          | UNITARIO (US\$)        | TOTAL (US\$) |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>I OBRAS CIVILES</b>                      |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.  | BASES DE EQUIPOS Y PORTICOS  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.1   | Bases de Interruptor de Potencia   | Und    | 1        |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.2   | Bases de Seccionador de Linea  | Und    | 1        |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.3   | Bases de Seccionador de Barra  | Und    | 1        |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.4   | Bases de Transformador de Tension  | Und    | 3        |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.5   | Bases de Pararrayos  | Und    | 3        |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.6   | Bases de Estructuras Metalicas de los Porticos   | Cilo   | 3.00     |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 2.  | CANALLETAS   |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 2.1   | Canaletas de 60 x 60   | m      | 10       |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 2.2   | Canaletas de 30 x 30   | m      | 24       |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>SUB TOTAL OBRAS CIVILES</b>              |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>II OBRAS ELECTROMECHANICAS</b>           |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>1. EQUIPOS PRINCIPALES</b>               |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 1.1   | Interruptor, 138 KV, 850 kVp (BL), 2000 A, 31.5 KA, operacion unipolar, incluye estructura soporte.                                | Und    | 1        | 23,911.65              | 23,911.65    | 1,434.70       | 657.57                 |                 | 79.20                       | 79.20           |               |                 |              | 2,223.85                 | 2,223.85     | 28,306.97            | 1,434.70                    | 2,960.62                     |
| 1.2   | Seccionador de linea, 138 KV, 850 kVp (BL), 2000 A, incluye estructura soporte   | Und    | 1        | 10,194.66              | 10,194.66    | 611.68         | 280.35                 |                 | 79.20                       | 79.20           |               |                 |              | 1,418.81                 | 1,418.81     | 12,584.73            | 611.68                      | 1,776.37                     |
| 1.3   | Seccionador de barra, 138 KV, 850 kVp (BL), 2000 A, incluye estructura soporte   | Und    | 1        | 9,975.07               | 9,975.07     | 592.50         | 271.56                 |                 | 79.20                       | 79.20           |               |                 |              | 1,188.57                 | 1,188.57     | 12,006.91            | 592.50                      | 1,539.33                     |
| 1.4   | Transformador de capacitores, 138 KV, 888 kVp (BL), 1600/2000/171/A, 2x30 VA - 5P20, 30 VA - CI 02, incluye estructuras soporte.   | Und    | 3        | 6,729.35               | 26,188.06    |                | 1,434.93               |                 | 25.66                       | 78.98           |               |                 |              | 631.20                   | 1,893.59     | 29,402.56            |                             | 3,124.50                     |
| 1.5   | Transformador de tension capacitivo, 138 KV, 850 kVp (BL), 138/0/0, 1V/3 KV, 30 VA - 3P, 30 VA - CI 02, incluye estructura soporte | Und    | 3        | 6,574.29               | 19,722.88    |                | 938.84                 |                 | 34.85                       | 104.54          |               |                 |              | 614.77                   | 1,844.31     | 22,608.57            |                             | 2,886.69                     |
| 1.6   | Pararrayos 120 KV, 10 KA, clase 3, incluye estructura soporte y contador de descarga (850 kVp BL)                                  | Und    | 3        | 2,515.24               | 7,545.71     |                | 207.51                 |                 | 12.67                       | 38.02           |               |                 |              | 372.21                   | 1,116.62     | 8,907.84             |                             | 1,362.14                     |
| <b>2. EQUIPOS COMPLEMENTARIOS</b>           |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| 2.1   | Sistema de Barras, Conexiones de A.T.  | Cilo   | 1        | 5,529.30               | 5,529.30     |                | 179.70                 |                 | 63.93                       | 63.93           |               |                 |              | 2,837.91                 | 2,837.91     | 8,610.85             |                             | 3,081.54                     |
| 2.2   | Control, Proteccion y Medicion   | Cilo   | 1        | 27,000.00              | 27,000.00    |                | 1,012.50               |                 | 312.19                      | 312.19          |               |                 |              | 257.48                   | 257.48       | 28,562.17            |                             | 1,562.17                     |
| 2.3   | Cables de Control  | Cilo   | 1        |                        |              |                | 2,681.56               |                 | 30.43                       | 30.43           |               |                 |              | 912.09                   | 912.09       | 3,574.08             |                             | 3,574.08                     |
| 2.4   | Conexión al sistema de R.T.P. de los equipos   | Cilo   | 1        |                        |              |                | 2,410.30               |                 | 27.87                       | 27.87           |               |                 |              | 639.96                   | 639.96       | 3,076.13             |                             | 3,076.13                     |
| 2.5   | Estructuras metalicas de los porticos  | Cilo   | 1        |                        |              |                | 6,972.24               |                 | 79.46                       | 79.46           |               |                 |              | 1,838.50                 | 1,838.50     | 8,786.20             |                             | 8,786.20                     |
| 2.6   | Cables de guarda   | Cilo   | 1        |                        |              |                | 399.34                 |                 | 4.62                        | 4.62            |               |                 |              | 44.91                    | 44.91        | 487.80               |                             | 64.50                        |
| <b>3. PRIEBAS Y PUESTA EN SERVICIO</b>      |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>4. INGENIERIA DE DETALLE</b>             |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>SUB TOTAL OBRAS ELECTROMECHANICAS</b>    |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>TOTAL COSTO I + II</b>                   |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>III GASTOS GENERALES DEL CONTRATISTA</b> |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>IV UTILIDADES DEL CONTRATISTA</b>        |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>TOTAL GENERAL</b>                        |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>TOTAL MONEDA EXTRANJERA (US\$)</b>       |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| <b>TOTAL MONEDA NACIONAL (US\$)</b>         |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |
| FUENTE: ELABORACION PROPIA                  |  |        |          |                        |              |                |                        |                 |                             |                 |               |                 |              |                          |              |                      |                             |                              |

**CALCULO DEL FLUJO INCREMENTAL**

| ALTERNATIVA N°01           |               |                            |                               |                           |
|----------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| AÑO                        | INVERSIÓN     | COSTOS DE O&M CON PROYECTO | FLUJO DE COSTOS INCREMENTALES | FLUJO DE BENEFICIOS NETOS |
| 0                          | S/ 1.678.384  |                            | 1.678.384                     | -1.678.384                |
| 1                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 2                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 3                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 4                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 5                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 6                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 7                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 8                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 9                          |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 10                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 11                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 12                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 13                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 14                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 15                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 16                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 17                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 18                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 19                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 20                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 21                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 22                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 23                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 24                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 25                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 26                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 27                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 28                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 29                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| 30                         |               | 8.349.512,34               | 8.349.512                     | 263.627,83                |
| VAN                        | S/ 445.186,24 |                            |                               | 12%                       |
| TIR                        | 15,50%        |                            |                               |                           |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA |               |                            |                               | TA                        |

| ALTERNATIVA N°02           |               |                            |                               |                           |
|----------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| AÑO                        | INVERSIÓN     | COSTOS DE O&M CON PROYECTO | FLUJO DE COSTOS INCREMENTALES | FLUJO DE BENEFICIOS NETOS |
| 0                          | S/ 2.120.843  |                            | 2.120.843                     | -2.120.843                |
| 1                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 2                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 3                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 4                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 5                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 6                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 7                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 8                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 9                          |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 10                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 11                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 12                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 13                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 14                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 15                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 16                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 17                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 18                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 19                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 20                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 21                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 22                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 23                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 24                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 25                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 26                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 27                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 28                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 29                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| 30                         |               | 8.362.564,88               | 8.362.565                     | 250.575,29                |
| VAN                        | S/ 102.413,22 |                            |                               | 12%                       |
| TIR                        | 11,34%        |                            |                               |                           |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA |               |                            |                               | TA                        |

| ALTERNATIVA N°03           |               |                            |                               |                           |
|----------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| AÑO                        | INVERSIÓN     | COSTOS DE O&M CON PROYECTO | FLUJO DE COSTOS INCREMENTALES | FLUJO DE BENEFICIOS NETOS |
| 0                          | S/ 3.928.990  |                            | 3.928.990                     | -3.928.990                |
| 1                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 2                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 3                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 4                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 5                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 6                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 7                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 8                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 9                          |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 10                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 11                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 12                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 13                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 14                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 15                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 16                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 17                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 18                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 19                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 20                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 21                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 22                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 23                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 24                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 25                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 26                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 27                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 28                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 29                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| 30                         |               | 8.415.905,20               | 8.415.905                     | 566.958,02                |
| VAN                        | S/ 637.952,81 |                            |                               | 12%                       |
| TIR                        | 14,16%        |                            |                               |                           |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA |               |                            |                               | TA                        |

**CRITERIOS USADOS EN EL CALCULO**

- Costo de Inversión Calculado en las valorizaciones de las alternativas
- Costo Anual Estándar de Operación y Mantenimiento de las Instalaciones de Transmisión **2.95%** respecto del costo de inversión - OSINERGMIN (25, Octubre de 2007). Artículo 1°. Resolución de Consejo Directivo Organismo Supervisor De La Inversión En Energía Y Minería (R.N.° 0635-2007-OS/CD). Pag. 4.
- Tasa de Actualización **12%** - Ministerio de Energía y Minas - (2009). Artículo 79°. Ley de Concesiones Eléctricas. Lima, Perú.
- Costos actuales de Operación, Mantenimiento y beneficios de EGEMSA



## **Anexo C.9:**

### Datos ingresados al programa DLTCAD

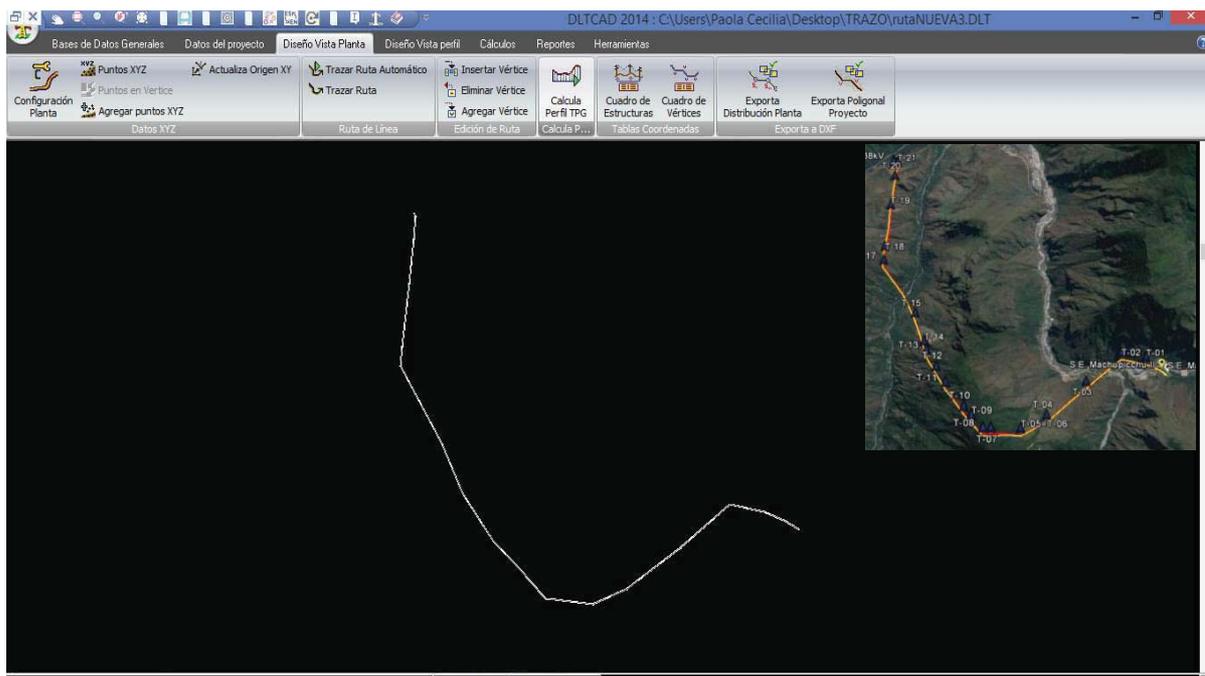


## DATOS INGRESADOS AL PROGRAMA DLTCAD

- Primero se cargaron las coordenadas de la ruta de línea tal como se muestra en la figura, con la altura y el ángulo de, para este caso ingresamos 378 puntos :

| Punto | Progresiva (m) | Cota (m)  | Atributo | Angulo(°g)    | Etiqueta   | Tip. Terreno | Comentario |
|-------|----------------|-----------|----------|---------------|------------|--------------|------------|
| 368   | 8612.0484      | 1705.0000 | 0        | 0°            | A          | 0            |            |
| 369   | 8618.1507      | 1683.0000 | 0        | -56°59'17.27" | A          | 0            |            |
| 370   | 8623.1344      | 1683.0000 | 0        | -53°15'8.27"  | A          | 0            |            |
| 371   | 8628.2347      | 1683.0000 | 0        | -56°26'44.16" | A          | 0            |            |
| 372   | 8641.5338      | 1683.0000 | 0        | -55°29'51.73" | A          | 0            |            |
| 373   | 8653.3795      | 1683.0000 | 0        | -16°3'38.98"  | V21        | 0            | TMS;MACO   |
| 374   | 8659.6158      | 1683.0000 | 0        | -17°42'37.12" | A          | 0            |            |
| 375   | 8665.4438      | 1683.0000 | 0        | -20°6'0.31"   | A          | 0            |            |
| 376   | 8671.2421      | 1683.0000 | 0        | 4°51'39.13"   | A          | 0            |            |
| 377   | 8682.2628      | 1683.0000 | 0        | -31°45'52.07" | A          | 0            |            |
| 378   | 8695.0542      | 1683.0000 | 0        | 0°            | PorticoSur | 0            |            |

- Posteriormente se hace la vista de planta de la ruta la cual coincide con la del Google Earth como se aprecia a continuación, de igual manera para el perfil de elevación:





- Posteriormente se realiza el ingreso de los datos técnicos de los conductores y armados

|                      | A0        | A1       | A2        | A3        | A4       | (Esfuerzo %) |
|----------------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|
| Esfuerzo_Deformacion | -0.005152 | 0.511964 | -0.016329 | -1.449018 | 1.440241 | kN/mm2       |

Grabando cada uno de las configuraciones que están presentes

| Tema   | Tipo Aislador(Cto) | Cantidad/Fase |
|--------|--------------------|---------------|
| Tema 1 | CAD53-2            | 1             |
| Tema 2 | CAD53-2            | 1             |

| Auxiliar | Cantidad/Global |
|----------|-----------------|
| PIN56-2  | 0               |



## **Anexo C.10:**

### Resultados de Ampacidad en conductores



**CALCULO DE AMPACIDAD MEDIANTE EL SOFTWARE DLTCAD**

• **Conductor ACAR 1172**

**REPORTE DE CALCULO DE AMPACIDAD**

| DATOS DE LA LINEA                     |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Tension Nominal (kV) :                | 138            |
| Potencia Nomila (MVA) :               | 250            |
| CONDICIONES LOCALES                   |                |
| Velocidad de Viento (m/s):            | 0.61           |
| Angulo de incidencia del viento(°g)   | 80             |
| Temperatura Ambiente del aire (°C)    | 30             |
| Tipo de Atmósfera :                   | Claro          |
| UBICACION DEL PROYECTO                |                |
| Hemisferio:                           | Hemisferio Sur |
| Altitud (msnm):                       | 2070           |
| Latitud (°g) :                        | -13            |
| Azimut de la Linea :                  | 128            |
| Hora de mayor incidencia:             | 11:50:00 a.m.  |
| Fecha de mayor inciencia:             | 15/06/2016     |
| DATOS DEL CONDUCTOR                   |                |
| Nombre :                              | ACAR-1172      |
| Resistencia eléctrica en AC(Ohms/km): |                |
| En baja temperatura(20.00°C):         | 0.053          |
| En alta temperatura (75.00°C):        | 0.0645         |
| Coeficientes Termicos                 |                |
| Emisividad :                          | 0.5            |
| Absorcion Solar:                      | 0.5            |

**Máxima Temperatura de Conducción (Ampacity)**

POTENCIA DISEÑO (MW)  Cosf  TENSIÓN (kV)  N° Conductores /Fase

**Condiciones Locales**

Velocidad de Viento (m/s)

Ang. incidencia Viento(°g)

Tem. Ambiente Aire (°C)

Tipo Atmósfera

**Datos del Conductor**

Tipo

Nombre

**Resistencia Eléctrica en AC (Ohms/km)**

En Baja Temperatura

En Alta Temperatura

**Coeficientes Térmicos**

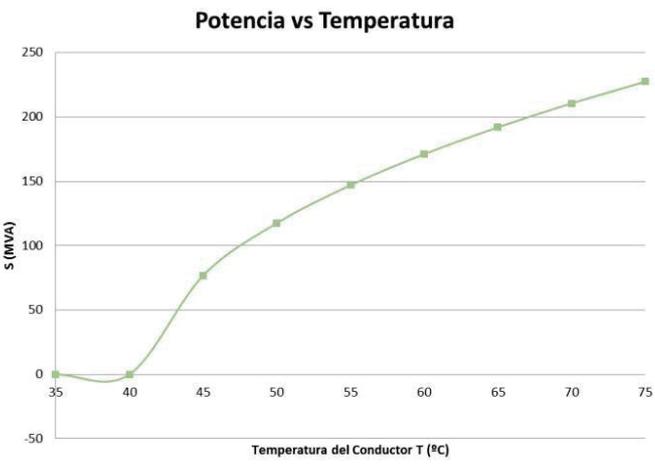
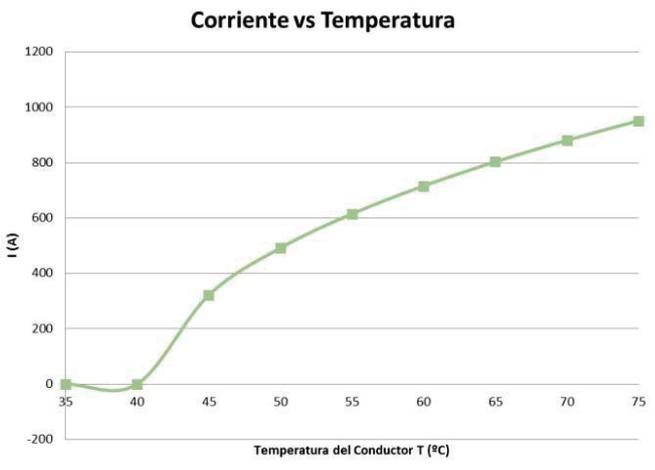
Emisividad (e)

Absorción Solar(a)

Máxima Corriente (Amp) : 522.96 (Por conductor)

**Temp. Conducción (°C) : 51.16**

| Nro. | Temp.(°C) | Req (Ohms/km) | Qc (W/m) | Qr (W/m) | Qs (W/m) | I (amp) | Patencia (MVA) |
|------|-----------|---------------|----------|----------|----------|---------|----------------|
| 1    | 30        | 0.0551        | 0        | 0        | 17.98    | 0       | 0              |
| 2    | 35        | 0.0561        | 6.23     | 1.61     | 17.98    | 0       | 0              |
| 3    | 40        | 0.0572        | 12.53    | 3.29     | 17.98    | 0       | 0              |
| 4    | 45        | 0.0582        | 18.92    | 5.06     | 17.98    | 321.12  | 76.76          |
| 5    | 50        | 0.0593        | 25.38    | 6.92     | 17.98    | 491.55  | 117.49         |
| 6    | 55        | 0.0603        | 31.92    | 8.86     | 17.98    | 614.85  | 146.96         |
| 7    | 60        | 0.0614        | 38.53    | 10.89    | 17.98    | 715.89  | 171.11         |
| 8    | 65        | 0.0624        | 45.22    | 13.02    | 17.98    | 803.19  | 191.98         |
| 9    | 70        | 0.0635        | 51.98    | 15.24    | 17.98    | 880.91  | 210.56         |
| 10   | 75        | 0.0645        | 58.8     | 17.56    | 17.98    | 951.46  | 227.42         |





• **Conductor ACAR 1200**

REPORTE DE CALCULO DE AMPACITY

DATOS DE LA LINEA

Tension Nominal (kV) : 138  
 Potencia Nomila (MVA) : 250

CONDICIONES LOCALES

Velocidad de Viento (m/s): 0.61  
 Angulo de incidencia del viento(°g): 80  
 Temperatura Ambiente del aire (°C): 30  
 Tipo de Atmósfera : Claro

UBICACION DEL PROYECTO

Hemisferio: Hemisferio Sur  
 Altitud (msnm): 2070  
 Latitud (°g) : -13  
 Azimut de la Linea : 128  
 Hora de mayor incidencia: 11:50:00 a.m.  
 Fecha de mayor inciencia: 15/06/2016

DATOS DEL CONDUCTOR

Nombre : ACAR-1200  
 Resistencia eléctrica en AC(Ohms/km):  
 En baja temperatura(20.00°C): 0.0497  
 En alta temperatura (75.00°C): 0.0603  
 Coeficientes Termicos  
 Emisividad : 0.5  
 Absorción Solar: 0.5

**Máxima Temperatura de Conducción (Ampacity)**

POTENCIA DISEÑO (MW)  Cosf  TENSIÓN (kV)  N° Conductores /Fase

**Condiciones Locales**

Velocidad de Viento (m/s)

Ang. incidencia Viento(°g)

Tem. Ambiente Aire (°C)

Tipo Atmósfera

**Datos del Conductor**

Tipo

Nombre

**Resistencia Eléctrica en AC (Ohms/km)**

En Baja Temperatura

En Alta Temperatura

**Coefficientes Térmicos**

Emisividad (e)

Absorción Solar(a)

**Ubicación del Proyecto**

Hemisferio

Latitud de Linea (°g)

Altitud (m)

Azimut de Linea (°g)

Hora (hh/mm/ss)

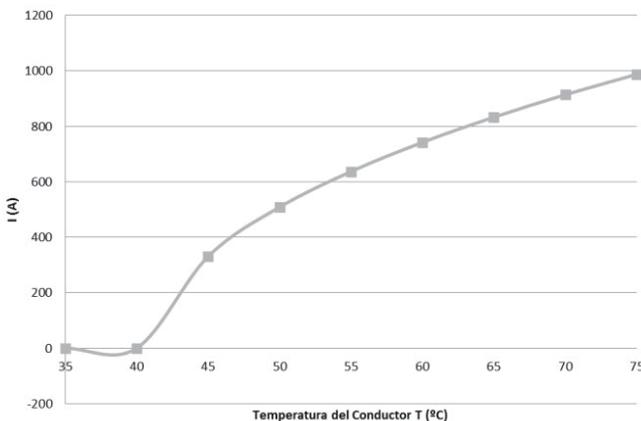
Fecha (dd/mm/aa)

Máxima Corriente (Amp) : 522.96  
(Por conductor)

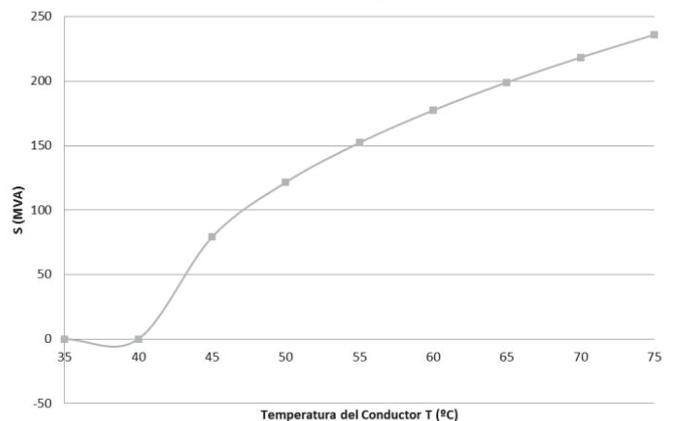
**Temp. Conducción (°C): 50.50**

| Nro. | Temp.(°C) | Req (Ohms/km) | Qc (W/m) | Qr (W/m) | Qs (W/m) | I (amp) | Patencia (MVA) |
|------|-----------|---------------|----------|----------|----------|---------|----------------|
| 1    | 30        | 0.0516        | 0        | 0        | 18.21    | 0       | 0              |
| 2    | 35        | 0.0526        | 6.27     | 1.63     | 18.21    | 0       | 0              |
| 3    | 40        | 0.0536        | 12.62    | 3.34     | 18.21    | 0       | 0              |
| 4    | 45        | 0.0545        | 19.05    | 5.13     | 18.21    | 330.64  | 79.03          |
| 5    | 50        | 0.0555        | 25.55    | 7.01     | 18.21    | 508.49  | 121.54         |
| 6    | 55        | 0.0564        | 32.14    | 8.97     | 18.21    | 636.89  | 152.23         |
| 7    | 60        | 0.0574        | 38.79    | 11.04    | 18.21    | 742.07  | 177.37         |
| 8    | 65        | 0.0584        | 45.52    | 13.19    | 18.21    | 832.95  | 199.09         |
| 9    | 70        | 0.0593        | 52.33    | 15.44    | 18.21    | 913.86  | 218.43         |
| 10   | 75        | 0.0603        | 59.20    | 17.80    | 18.21    | 987.32  | 235.99         |

**Corriente vs Temperatura**



**Potencia vs Temperatura**





• Conductor AAAC 927.2

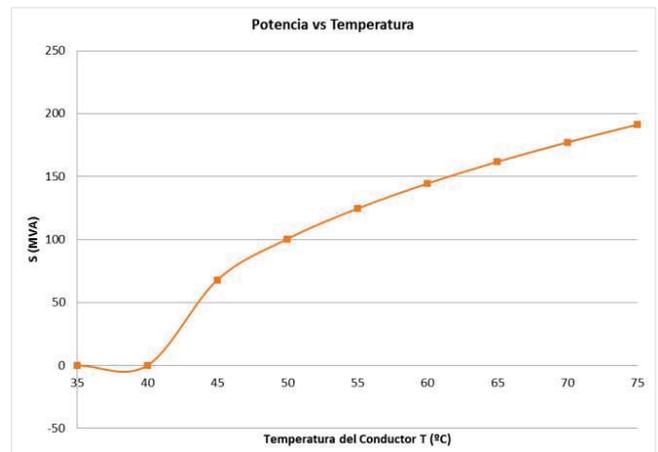
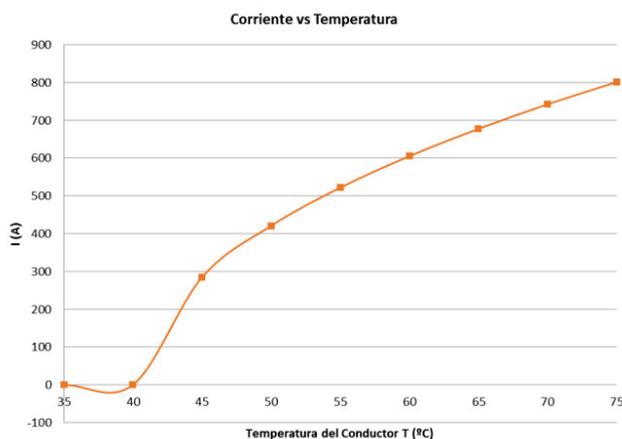
| REPORTE DE CALCUCLO DE AMPACITY       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| <b>DATOS DE LA LINEA</b>              |                |
| Tension Nominal (kV) :                | 138            |
| Potencia Nomila (MVA) :               | 250            |
| <b>CONDICIONES LOCALES</b>            |                |
| Velocidad de Viento (m/s):            | 0.61           |
| Angulo de incidencia del viento(°g):  | 80             |
| Temperatura Ambiente del aire (°C)    | 30             |
| Tipo de Atmósfera :                   | Claro          |
| <b>UBICACION DEL PROYECTO</b>         |                |
| Hemisferio:                           | Hemisferio Sur |
| Altitud (msnm):                       | 2070           |
| Latitud (°g) :                        | -13            |
| Azimut de la Linea :                  | 128            |
| Hora de mayor incidencia:             | 11:50:00 a.m.  |
| Fecha de mayor inciencia:             | 15/06/2016     |
| <b>DATOS DEL CONDUCTOR</b>            |                |
| Nombre :                              | AAAC-927       |
| Resistencia eléctrica en AC(Ohms/km): |                |
| En baja temperatura(20.00°C):         | 0.072          |
| En alta temperatura (75.00°C):        | 0.0858         |
| Coeficientes Termicos                 |                |
| Emisividad :                          | 0.5            |
| Absorcion Solar:                      | 0.5            |

**Máxima Temperatura de Conducción (Ampacity)**

POTENCIA DISEÑO (MW)  Cosf  TENSIÓN (kV)  N° Conductores /Fase

|                                      |  |  |                                       |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| <b>Condiciones Locales</b>           |  | <b>Datos del Conductor</b>   |                                       |
| Velocidad de Viento (m/s)            | <input type="text" value="0.61"/>          | Tipo   | <input type="text" value="AAAC-927"/> |
| Ang. incidencia Viento(°g)           | <input type="text" value="80.00"/>         | Nombre   | <input type="text" value="AAAC-927"/> |
| Tem. Ambiente Aire (°C)              | <input type="text" value="30.00"/>         | <b>Resistencia Eléctrica en AC (Ohms/km)</b>   |                                       |
| Tipo Atmósfera                       | <input type="text" value="Claro"/>         | En Baja Temperatura  | <input type="text" value="0.072000"/> |
|                                      |  | En Alta Temperatura  | <input type="text" value="0.085800"/> |
| <b>Ubicación del Proyecto</b>        |  | <b>Coefficientes Térmicos</b>  |                                       |
| Hemisferio                           | <input type="text" value="Sur"/>           | Emisividad (e)   | <input type="text" value="0.50"/>     |
| Latitud de Línea (°g)                | <input type="text" value="-13.00"/>        | Absorción Solar(a)   | <input type="text" value="0.50"/>     |
| Altitud (m)                          | <input type="text" value="2070.00"/>       | Máxima Corriente (Amp) : 522.96<br>(Por conductor)<br><b>Temp. Conducción (°C) : 55.08</b> |                                       |
| Azimut de Línea (°g)                 | <input type="text" value="128.00"/>        |  |                                       |
| Hora (hh/mm/ss)                      | <input type="text" value="11:50:00 a.m."/> |  |                                       |
| Fecha (dd/mm/aa)                     | <input type="text" value="15/06/2016"/>    | <input type="button" value="Calcular"/>  |                                       |
| <input type="button" value="Salir"/> |  | <input type="button" value="Mostrar Reporte"/>   |                                       |

| Nro. | Temp.(°C) | Req (Ohms/km) | Qc (W/m) | Qr (W/m) | Qs (W/m) | I (amp) | Potencia (MVA) |
|------|-----------|---------------|----------|----------|----------|---------|----------------|
| 1    | 30        | 0.0745        | 0        | 0        | 15.99    | 0       | 0              |
| 2    | 35        | 0.0758        | 5.87     | 1.43     | 15.99    | 0       | 0              |
| 3    | 40        | 0.077         | 11.81    | 2.93     | 15.99    | 0       | 0              |
| 4    | 45        | 0.0783        | 17.83    | 4.5      | 15.99    | 284.54  | 68.01          |
| 5    | 50        | 0.0795        | 23.92    | 6.15     | 15.99    | 420.72  | 100.56         |
| 6    | 55        | 0.0808        | 30.08    | 7.88     | 15.99    | 521.46  | 124.64         |
| 7    | 60        | 0.0820        | 36.31    | 9.69     | 15.99    | 604.8   | 144.56         |
| 8    | 65        | 0.0833        | 42.61    | 11.58    | 15.99    | 677.22  | 161.87         |
| 9    | 70        | 0.0845        | 48.98    | 13.56    | 15.99    | 741.98  | 177.35         |
| 10   | 75        | 0.0858        | 55.41    | 15.63    | 15.99    | 800.97  | 191.45         |





• Conductor AAAC 1000

REPORTE DE CALCUCLO DE AMPACITY

| DATOS DE LA LINEA                     |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Tension Nominal (kV) :                | 138            |
| Potencia Nomila (MVA) :               | 250            |
| CONDICIONES LOCALES                   |                |
| Velocidad de Viento (m/s):            | 0.61           |
| Angulo de incidencia del viento(°g)   | 80             |
| Temperatura Ambiente del aire (°C)    | 30             |
| Tipo de Atmósfera :                   | Claro          |
| UBICACION DEL PROYECTO                |                |
| Hemisferio:                           | Hemisferio Sur |
| Altitud (msnm):                       | 2070           |
| Latitud (°g) :                        | -13            |
| Azimut de la Linea :                  | 128            |
| Hora de mayor incidencia:             | 11:50:00 a.m.  |
| Fecha de mayor inciencia:             | 15/06/2016     |
| DATOS DEL CONDUCTOR                   |                |
| Nombre :                              | AAAC-1000      |
| Resistencia eléctrica en AC(Ohms/km): |                |
| En baja temperatura(20.00°C):         | 0.0577         |
| En alta temperatura (75.00°C):        | 0.0687         |
| Coeficientes Termicos                 |                |
| Emisividad :                          | 0.5            |
| Absorcion Solar:                      | 0.5            |

**Máxima Temperatura de Conducción (Ampacity)**

POTENCIA DISEÑO (MW)  Cosf  TENSION (kV)  N° Conductores /Fase

**Condiciones Locales**

Velocidad de Viento (m/s)

Ang. incidencia Viento(°g)

Tem. Ambiente Aire (°C)

Tipo Atmósfera

**Datos del Conductor**

Tipo

Nombre

**Resistencia Eléctrica en AC (Ohms/km)**

En Baja Temperatura

En Alta Temperatura

**Coeficientes Térmicos**

Emisividad (e)

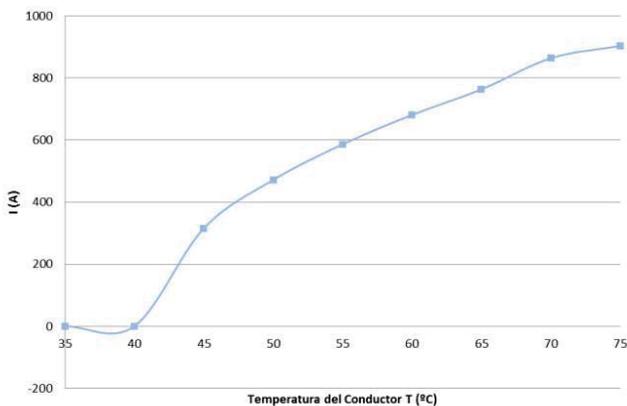
Absorción Solar(a)

**Máxima Corriente (Amp) : 522.96 (Por conductor)**

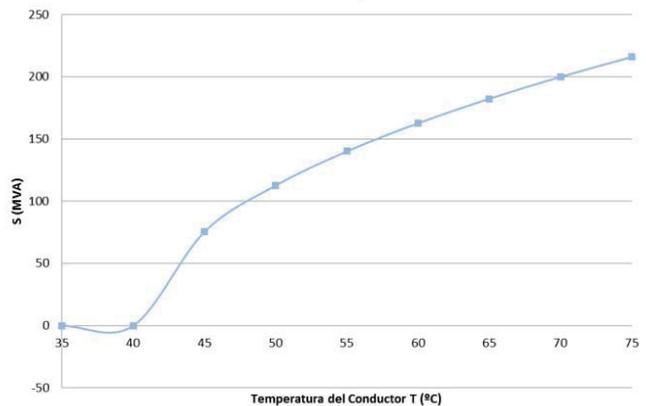
**Temp. Conducción (°C): 52.10**

| Nro. | Temp.(°C) | Req (Ohms/km) | Qc (W/m) | Qr (W/m) | Qs (W/m) | I (amp) | Patencia (MVA) |
|------|-----------|---------------|----------|----------|----------|---------|----------------|
| 1    | 30        | 0.0597        | 0        | 0        | 16.61    | 0       | 0              |
| 2    | 35        | 0.0607        | 5.98     | 1.48     | 16.61    | 0       | 0              |
| 3    | 40        | 0.0617        | 12.04    | 3.04     | 16.61    | 0       | 0              |
| 4    | 45        | 0.0627        | 18.17    | 4.68     | 16.61    | 315.49  | 75.41          |
| 5    | 50        | 0.0637        | 24.38    | 6.39     | 16.61    | 471.5   | 112.7          |
| 6    | 55        | 0.0647        | 30.66    | 8.18     | 16.61    | 586.25  | 140.13         |
| 7    | 60        | 0.0657        | 37.01    | 10.06    | 16.61    | 680.97  | 162.77         |
| 8    | 65        | 0.0667        | 43.43    | 12.03    | 16.61    | 763.22  | 182.43         |
| 9    | 70        | 0.0677        | 49.92    | 14.08    | 16.61    | 863.73  | 200.00         |
| 10   | 75        | 0.0687        | 56.48    | 16.23    | 16.61    | 903.67  | 216.00         |

Corriente vs Temperatura



Potencia vs Temperatura





## **Anexo C.11:**

### Resultados de pérdida por Efecto Corona - Hojas de Cálculo



**HOJA DE CÁLCULOS DE PERDIDAS POR EFECTO CORONA**

• **Conductor ACAR 1200**

| Cálculo de Perdidas por Efecto Corona             |           |                 |  |             |                 |
|---|-----------|-----------------|--|-------------|-----------------|
| Datos de Entrada/Inputs                           |           |                 | Datos de Salida/Outputs  |             |                 |
| Código del Conductor/Conductor Code               | ACAR 1200 |                 | Exponente empirico (a)   | 2.35        |                 |
| Sección/Cross Section                             | 606.90    | mm <sup>2</sup> | Presión Atmosférica/Atmospheric Pressure, (b)  | 58.63       | cmHg            |
| Diámetro/Diameter                                 | 31.99     | mm              | Densidad relativa del aire/Relative air density, (d)                                 | 0.76        |                 |
| Temperatura/Temperature                           | 30.00     | °C              | <b>Gradiente crítico/Disruptive or Critical Surface Gradient, (Eo)</b>               | <b>5.32</b> | <b>kVrms/cm</b> |
| Altura sobre el nivel del mar/Field Altitude      | 2070.00   | m               | Radio equivalente haz de conductores/Equivalent Radius of a Bundle Conductors, (reg) | 5.66        | cm              |
| Altura conexión/Mean height of the conductor      | 32.00     | m               | Capacitancia máxima/Maximun Capacitance, (Cmax)                                      | 1.30E-11    | F/m             |
| Separación fases/Distance between conductors      | 4.75      | m               | Tensión fase-tierra/Phase to Earth Voltage, (Ur)                                     | 83.72       | kV              |
| Separación del haz de conductores/Bundle Radius   | 20.00     | cm              | Carga máxima en el conductor/Maximun Conductor Lineic Charge, (Q)                    | 1.09E-08    | C/cm            |
| Tensión máxima del sistema/Maximun Voltage System | 145.00    | kV              | Gradiente superficial/Surface Gradient, (gav)  | 6.12        | kV/cm           |
| Numero de subconductores por fase                 | 2.00      |                 | <b>Gradiente superficial máximo/Maximum Surface Gradient, (Emáx)</b>                 | <b>7.10</b> | <b>kV/cm</b>    |
| Frecuencia (f)                                    | 60.00     | Hz              | Perdidas por Efecto Corona   | 1.02        | kW/Km, por fase |
| Constante empírica (Np)                           | 0.00085   |                 | <b>Perdidas Totales por Efecto Corona</b>  | <b>3.05</b> | <b>kW/Km</b>    |

• **Conductor ACAR 1172**

| Cálculo de Perdidas por Efecto Corona             |             |                 |  |             |                 |
|---|-------------|-----------------|--|-------------|-----------------|
| Datos de Entrada/Inputs                           |             |                 | Datos de Salida/Outputs  |             |                 |
| Código del Conductor/Conductor Code               | ELEY (AAAC) |                 | Exponente empirico (a)   | 2.35        |                 |
| Sección/Cross Section                             | 927.20      | mm <sup>2</sup> | Presión Atmosférica/Atmospheric Pressure, (b)  | 58.63       | cmHg            |
| Diámetro/Diameter                                 | 28.14       | mm              | Densidad relativa del aire/Relative air density, (d)                                 | 0.76        |                 |
| Temperatura/Temperature                           | 30.00       | °C              | <b>Gradiente crítico/Disruptive or Critical Surface Gradient, (Eo)</b>               | <b>5.40</b> | <b>kVrms/cm</b> |
| Altura sobre el nivel del mar/Field Altitude      | 2070.00     | m               | Radio equivalente haz de conductores/Equivalent Radius of a Bundle Conductors, (reg) | 5.30        | cm              |
| Altura conexión/Mean height of the conductor      | 32.00       | m               | Capacitancia máxima/Maximun Capacitance, (Cmax)                                      | 1.28E-11    | F/m             |
| Separación fases/Distance between conductors      | 4.75        | m               | Tensión fase-tierra/Phase to Earth Voltage, (Ur)                                     | 83.72       | kV              |
| Separación del haz de conductores/Bundle Radius   | 20.00       | cm              | Carga máxima en el conductor/Maximun Conductor Lineic Charge, (Q)                    | 1.07E-08    | C/cm            |
| Tensión máxima del sistema/Maximun Voltage System | 145.00      | kV              | Gradiente superficial/Surface Gradient, (gav)  | 6.86        | kV/cm           |
| Numero de subconductores por fase                 | 2.00        |                 | <b>Gradiente superficial máximo/Maximum Surface Gradient, (Emáx)</b>                 | <b>7.82</b> | <b>kV/cm</b>    |
| Frecuencia (f)                                    | 60.00       | Hz              | Perdidas por Efecto Corona   | 1.62        | kW/Km, por fase |
| Constante empírica (Np)                           | 0.00085     |                 | <b>Perdidas Totales por Efecto Corona</b>  | <b>4.86</b> | <b>kW/Km</b>    |

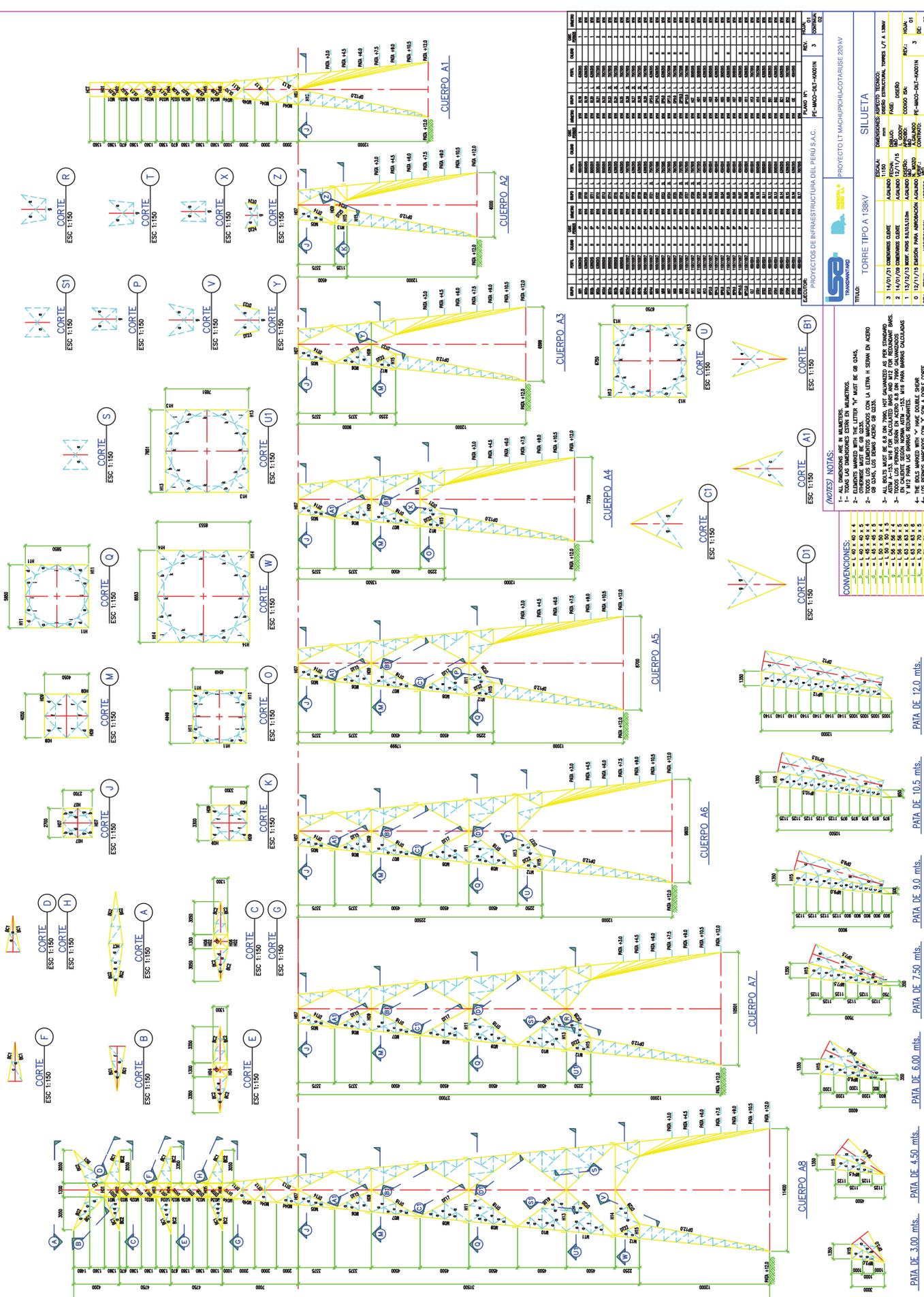
• **Conductor AAAC 1000**

| Cálculo de Perdidas por Efecto Corona             |          |                 |  |             |                 |
|---|----------|-----------------|--|-------------|-----------------|
| Datos de Entrada/Inputs                           |          |                 | Datos de Salida/Outputs  |             |                 |
| Código del Conductor/Conductor Code               | AAC 1000 |                 | Exponente empirico (a)   | 2.35        |                 |
| Sección/Cross Section                             | 506.70   | mm <sup>2</sup> | Presión Atmosférica/Atmospheric Pressure, (b)  | 58.63       | cmHg            |
| Diámetro/Diameter                                 | 29.27    | mm              | Densidad relativa del aire/Relative air density, (d)                                 | 0.76        |                 |
| Temperatura/Temperature                           | 30.00    | °C              | <b>Gradiente crítico/Disruptive or Critical Surface Gradient, (Eo)</b>               | <b>5.37</b> | <b>kVrms/cm</b> |
| Altura sobre el nivel del mar/Field Altitude      | 2070.00  | m               | Radio equivalente haz de conductores/Equivalent Radius of a Bundle Conductors, (reg) | 5.41        | cm              |
| Altura conexión/Mean height of the conductor      | 32.00    | m               | Capacitancia máxima/Maximun Capacitance, (Cmax)                                      | 1.29E-11    | F/m             |
| Separación fases/Distance between conductors      | 4.75     | m               | Tensión fase-tierra/Phase to Earth Voltage, (Ur)                                     | 83.72       | kV              |
| Separación del haz de conductores/Bundle Radius   | 20.00    | cm              | Carga máxima en el conductor/Maximun Conductor Lineic Charge, (Q)                    | 1.08E-08    | C/cm            |
| Tensión máxima del sistema/Maximun Voltage System | 145.00   | kV              | Gradiente superficial/Surface Gradient, (gav)  | 6.62        | kV/cm           |
| Numero de subconductores por fase                 | 2.00     |                 | <b>Gradiente superficial máximo/Maximum Surface Gradient, (Emáx)</b>                 | <b>7.59</b> | <b>kV/cm</b>    |
| Frecuencia (f)                                    | 60.00    | Hz              | Perdidas por Efecto Corona   | 1.42        | kW/Km, por fase |
| Constante empírica (Np)                           | 0.00085  |                 | <b>Perdidas Totales por Efecto Corona</b>  | <b>4.27</b> | <b>kW/Km</b>    |



## **Anexo C.12:**

### **Estructuras 138kV Proyecto Machupicchu-Abancay- Cotaruse**



**CONVENCIONES:**

|    |    |    |    |     |
|----|----|----|----|-----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5   |
| 6  | 7  | 8  | 9  | 10  |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15  |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20  |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25  |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30  |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35  |
| 36 | 37 | 38 | 39 | 40  |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45  |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50  |
| 51 | 52 | 53 | 54 | 55  |
| 56 | 57 | 58 | 59 | 60  |
| 61 | 62 | 63 | 64 | 65  |
| 66 | 67 | 68 | 69 | 70  |
| 71 | 72 | 73 | 74 | 75  |
| 76 | 77 | 78 | 79 | 80  |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85  |
| 86 | 87 | 88 | 89 | 90  |
| 91 | 92 | 93 | 94 | 95  |
| 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |

- (NOTAS) NOTAS:**
- 1- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
  - 2- TOUS LES DIMENSIONS SONT EN MILLIMETRES.
  - 3- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 4- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 5- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 6- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 7- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 8- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 9- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
  - 10- ALL BOLTS MUST BE A307 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

**PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL PERU S.A.C.**

**FC-IND-DIT-MADIN**

**TORRE TIPO A 158KV**

**SILUETA**

|           |                                      |                  |                                      |
|-----------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| FECHA:    | 14/07/2011                           | COMANDO EN JEFE: | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV |
| REVISOR:  | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV | PROYECTISTA:     | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV |
| APROBADO: | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV | REVISOR:         | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV |
| FECHA:    | 14/07/2011                           | COMANDO EN JEFE: | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV |
| REVISOR:  | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV | PROYECTISTA:     | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV |
| APROBADO: | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV | REVISOR:         | ING. JUAN CARLOS TORRES LUT A. 158KV |

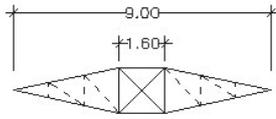
|    |    |    |    |     |
|----|----|----|----|-----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5   |
| 6  | 7  | 8  | 9  | 10  |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15  |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20  |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25  |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30  |
| 31 | 32 | 33 | 34 | 35  |
| 36 | 37 | 38 | 39 | 40  |
| 41 | 42 | 43 | 44 | 45  |
| 46 | 47 | 48 | 49 | 50  |
| 51 | 52 | 53 | 54 | 55  |
| 56 | 57 | 58 | 59 | 60  |
| 61 | 62 | 63 | 64 | 65  |
| 66 | 67 | 68 | 69 | 70  |
| 71 | 72 | 73 | 74 | 75  |
| 76 | 77 | 78 | 79 | 80  |
| 81 | 82 | 83 | 84 | 85  |
| 86 | 87 | 88 | 89 | 90  |
| 91 | 92 | 93 | 94 | 95  |
| 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |

... PATA DE 3.00 mts. ... PATA DE 4.50 mts. ... PATA DE 6.00 mts. ... PATA DE 7.50 mts. ... PATA DE 9.0 mts. ... PATA DE 10.5 mts. ... PATA DE 12.0 mts.



## **Anexo C.13:**

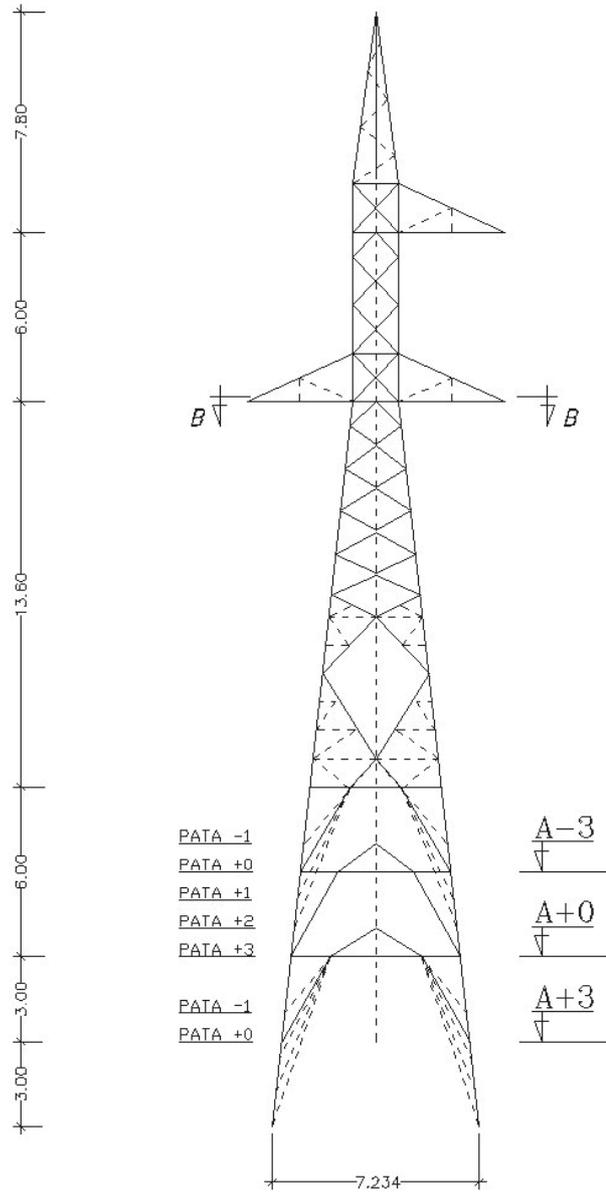
**Estructuras 138kV Propuesta para el primer vértice de  
la L.T. Machupicchu I – Suriray 138kV**



SECCION B-B

NOTAS:

- Todas las distancias estan en metros.



|            |                 |        |
|------------|-----------------|--------|
| ESTRUCTURA | TIPO            | " A "  |
|            | FUNCION         | ANGULO |
|            | ANGULO DE LINEA | 0°-45° |
|            | VANO VIENTO     | 400    |
|            | VANO GRAVANTE   | 1700   |

|   |  |  |
|---|--|--|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA. |  |
|   | <b>Configuración de la Estructura Metálica V01 - 138kV</b>   |  |
| FUENTE:<br>ELABORACION PROPIA   | FECHA:<br>MAYO 2016  |  |



## **Anexo D.1:**

### **Modelamiento de la L.T Machupicchu I – Suriray en el programa DigSilent**



## PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA L.T. MACHUPICCHU -SURIRAY 138 Kv (PROGRAMA DIGSILENT)

- Parámetros eléctricos calculados en DLTCAD

- Ingreso de datos de la línea al software DigSilent



## **Anexo D.2:**

### Resultados de los Perfiles de Tensión – Operación Normal



**PERFILES DE TENSIÓN OPERACIÓN NORMAL – AÑO 2018**

| BARRA       | TENSION kV | UNIDAD | AV MAXIMA |           | AV MINIMA |           | EST MAXIMA |           | EST MINIMA |           |
|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|             |            |        | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA |
| MACH138     | 138        | kV     | 138.52    | 138.72    | 137.98    | 138.05    | 137.26     | 137.23    | 138.71     | 138.74    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.01      | 1.00      | 1.00      | 0.99       | 0.99      | 1.01       | 1.01      |
| MACH 138 II | 138        | kV     | 138.46    | 138.71    | 137.92    | 138.03    | 137.19     | 137.22    | 138.66     | 138.73    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.01      | 1.00      | 1.00      | 0.99       | 0.99      | 1.00       | 1.01      |
| INCA138     | 138        | kV     | 133.47    | 134.20    | 136.78    | 136.92    | 130.73     | 130.85    | 137.35     | 137.43    |
|             |            | p.u.   | 0.97      | 0.97      | 0.99      | 0.99      | 0.95       | 0.95      | 1.00       | 1.00      |
| QUEN138     | 138        | kV     | 134.71    | 135.44    | 137.65    | 137.78    | 132.05     | 132.16    | 138.22     | 138.30    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.98      | 1.00      | 1.00      | 0.96       | 0.96      | 1.00       | 1.00      |
| SURIRAY138  | 138        | kV     | 137.85    | 138.39    | 137.36    | 137.73    | 136.31     | 136.72    | 138.10     | 138.41    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 0.99       | 0.99      | 1.00       | 1.00      |
| SURIRAY220  | 220        | kV     | 218.97    | 219.84    | 218.53    | 218.88    | 214.48     | 214.76    | 219.60     | 219.81    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 0.99      | 0.97       | 0.98      | 1.00       | 1.00      |
| CCOLPANI220 | 220        | kV     | 219.10    | 219.95    | 218.58    | 218.92    | 214.63     | 214.90    | 219.65     | 219.85    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 1.00      | 0.98       | 0.98      | 1.00       | 1.00      |
| COTARUSE220 | 220        | kV     | 222.02    | 221.60    | 220.66    | 220.74    | 220.75     | 220.81    | 221.75     | 221.80    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.00      | 1.00      | 1.00       | 1.00      | 1.01       | 1.01      |
| ABAN220     | 220        | kV     | 216.02    | 216.97    | 216.83    | 217.10    | 211.84     | 212.05    | 217.83     | 217.98    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.99      | 0.99      | 0.99      | 0.96       | 0.96      | 0.99       | 0.99      |
| QUEN220     | 220        | kV     | 217.51    | 218.88    | 219.78    | 220.00    | 212.98     | 213.17    | 220.74     | 220.87    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 1.00      | 1.00      | 0.97       | 0.97      | 1.00       | 1.00      |

**PERFILES DE TENSIÓN OPERACIÓN NORMAL – AÑO 2020**

| BARRA       | TENSION kV | UNIDAD | AV MAXIMA |           | AV MINIMA |           | EST MAXIMA |           | EST MINIMA |           |
|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|             |            |        | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA |
| MACH138     | 138        | kV     | 138.65    | 138.67    | 137.91    | 137.93    | 138.05     | 138.04    | 138.08     | 138.07    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00       | 1.00      | 1.00       | 1.00      |
| MACH 138 II | 138        | kV     | 138.60    | 138.66    | 137.85    | 137.91    | 137.99     | 138.02    | 138.02     | 138.06    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00       | 1.00      | 1.00       | 1.00      |
| INCA138     | 138        | kV     | 133.59    | 133.64    | 135.77    | 135.84    | 131.96     | 132.00    | 135.55     | 135.62    |
|             |            | p.u.   | 0.97      | 0.97      | 0.98      | 0.98      | 0.96       | 0.96      | 0.98       | 0.98      |
| QUEN138     | 138        | kV     | 134.83    | 134.88    | 136.55    | 136.61    | 133.24     | 133.29    | 136.46     | 136.53    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.98      | 0.99      | 0.99      | 0.97       | 0.97      | 0.99       | 0.99      |
| SURIRAY138  | 138        | kV     | 138.10    | 138.38    | 137.28    | 137.59    | 137.33     | 137.65    | 137.30     | 137.65    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 1.00      | 1.00       | 1.00      | 0.99       | 1.00      |
| SURIRAY220  | 220        | kV     | 219.95    | 220.09    | 218.44    | 218.61    | 217.67     | 217.83    | 217.45     | 217.64    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 0.99      | 0.99       | 0.99      | 0.99       | 0.99      |
| CCOLPANI220 | 220        | kV     | 220.06    | 220.20    | 218.49    | 218.65    | 217.76     | 217.91    | 217.54     | 217.72    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 0.99      | 0.99       | 0.99      | 0.99       | 0.99      |
| COTARUSE220 | 220        | kV     | 222.64    | 222.67    | 220.19    | 220.22    | 222.38     | 222.41    | 221.14     | 221.18    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.00      | 1.00      | 1.01       | 1.01      | 1.01       | 1.01      |
| ABAN220     | 220        | kV     | 216.98    | 217.09    | 216.32    | 216.45    | 214.67     | 214.77    | 214.88     | 215.02    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 0.98      | 0.98      | 0.98       | 0.98      | 0.98       | 0.98      |
| QUEN220     | 220        | kV     | 218.02    | 218.11    | 217.76    | 217.87    | 215.32     | 215.41    | 217.63     | 217.74    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 0.99      | 0.99      | 0.98       | 0.98      | 0.99       | 0.99      |
| QUILL220    | 220        | kV     | 221.22    | 221.32    | 220.29    | 220.39    | 219.84     | 219.94    | 218.54     | 218.65    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.00      | 1.00      | 1.00       | 1.00      | 0.99       | 0.99      |
| VILC220     | 220        | kV     | 220.03    | 220.17    | 218.52    | 218.68    | 217.75     | 217.91    | 217.53     | 217.72    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 0.99      | 0.99       | 0.99      | 0.99       | 0.99      |



**PERFILES DE TENSIÓN OPERACIÓN NORMAL – AÑO 2022**

| BARRA       | TENSION kV | UNIDAD | AV MAXIMA |           | AV MINIMA |           | EST MAXIMA |           | EST MINIMA |           |
|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|             |            |        | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA |
| MACH138     | 138        | kV     | 138.05    | 138.07    | 137.55    | 137.58    | 138.92     | 139.34    | 137.69     | 138.12    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.01       | 1.01      | 1.00       | 1.00      |
| MACH 138 II | 138        | kV     | 137.99    | 138.05    | 137.5     | 137.57    | 138.87     | 139.32    | 137.64     | 138.1     |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.01       | 1.01      | 1.00       | 1.00      |
| INCA138     | 138        | kV     | 134.69    | 134.75    | 137.83    | 137.89    | 134.2      | 134.36    | 136.31     | 136.48    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.98      | 1.00      | 1.00      | 0.97       | 0.97      | 0.99       | 0.99      |
| QUEN138     | 138        | kV     | 135.43    | 135.49    | 138.78    | 138.84    | 134.76     | 134.91    | 137.37     | 137.54    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.98      | 1.01      | 1.01      | 0.98       | 0.98      | 1.00       | 1.00      |
| SURIRAY138  | 138        | kV     | 137.5     | 137.78    | 137.01    | 137.29    | 138.4      | 139.07    | 137.18     | 137.86    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 0.99      | 0.99      | 1.00       | 1.01      | 0.99       | 1.00      |
| SURIRAY220  | 220        | kV     | 222.36    | 222.51    | 221.76    | 221.91    | 220.57     | 220.93    | 218.87     | 219.24    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.00       | 1.00      | 0.99       | 1.00      |
| CCOLPANI220 | 220        | kV     | 222.44    | 222.59    | 221.81    | 221.96    | 220.67     | 221.02    | 218.95     | 219.32    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.00       | 1.00      | 1.00       | 1.00      |
| COTARUSE220 | 220        | kV     | 223.83    | 223.86    | 221.39    | 221.42    | 220.32     | 220.4     | 221.39     | 221.47    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 0.98      | 0.98      | 0.98       | 0.98      | 0.98       | 0.98      |
| ABAN220     | 220        | kV     | 219.33    | 219.44    | 218.92    | 219.04    | 218.92     | 219.2     | 215.93     | 216.22    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00       | 1.00      | 0.98       | 0.98      |
| QUEN220     | 220        | kV     | 219.48    | 219.58    | 221.26    | 221.36    | 217.24     | 217.48    | 218.65     | 218.94    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.01      | 1.01      | 0.99       | 0.99      | 0.99       | 1.00      |
| QUILL220    | 220        | kV     | 222.73    | 222.82    | 222.36    | 222.45    | 221.66     | 221.89    | 219.43     | 219.66    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.01       | 1.01      | 1.00       | 1.00      |
| VILC220     | 220        | kV     | 222.42    | 222.56    | 221.8     | 221.94    | 220.62     | 220.98    | 218.94     | 219.31    |
|             |            | p.u.   | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.01      | 1.00       | 1.00      | 1.00       | 1.00      |

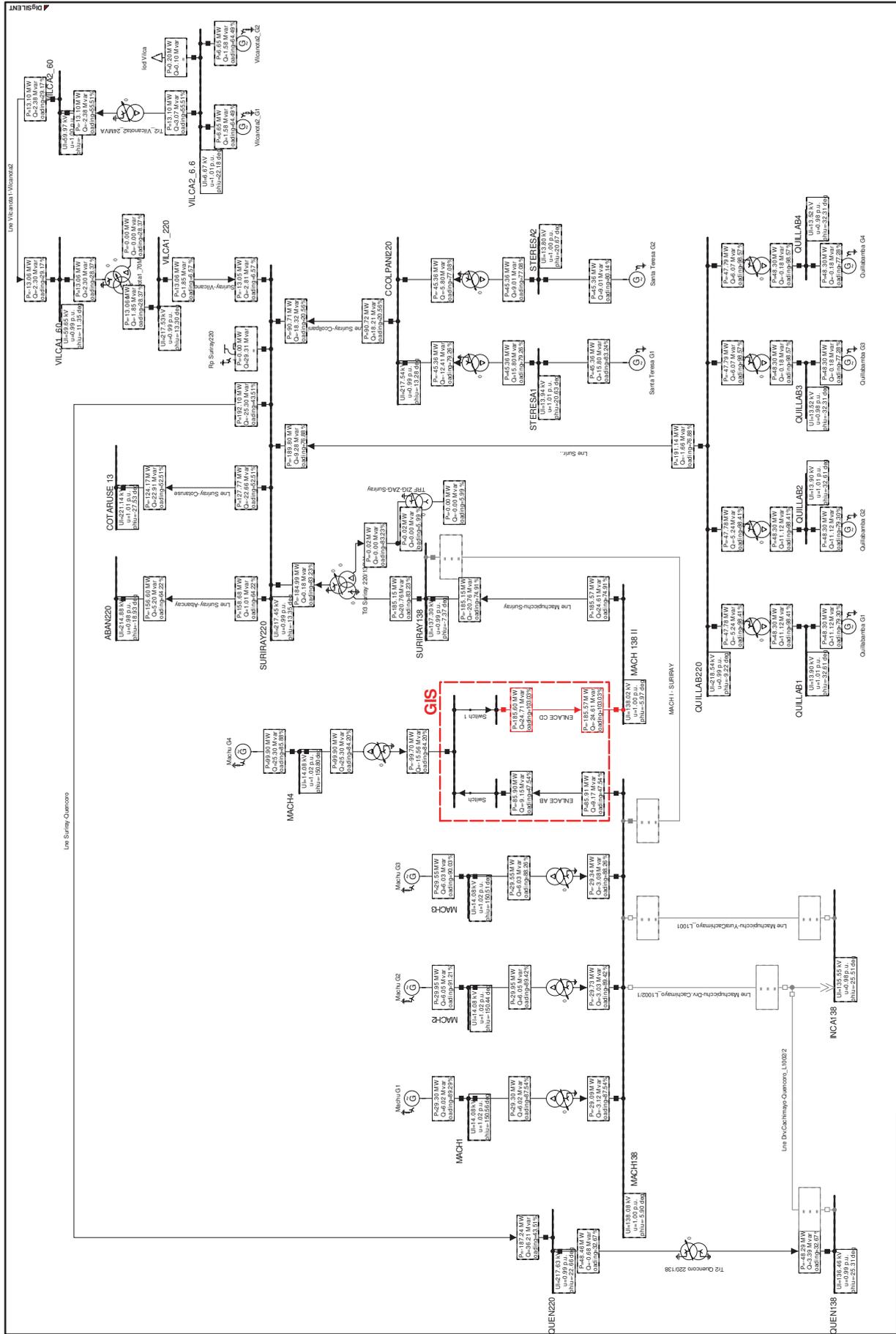
**PERFILES DE TENSIÓN OPERACIÓN NORMAL – AÑO 2024**

| BARRA       | TENSION kV | UNIDAD | AV MAXIMA |           | AV MINIMA |           | EST MAXIMA |           | EST MINIMA |           |
|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
|             |            |        | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA | SIN LINEA  | CON LINEA |
| MACH138     | 138        | kV     | 138.26    | 138.26    | 138.51    | 138.52    | 145.47     | 144.22    | 138.07     | 138.06    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.05       | 1.04      | 1.00       | 1.00      |
| MACH 138 II | 138        | kV     | 138.20    | 138.25    | 138.45    | 138.51    | 145.40     | 145.02    | 138.01     | 138.04    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.05       | 1.05      | 1.00       | 1.00      |
| INCA138     | 138        | kV     | 133.22    | 133.28    | 136.21    | 136.28    | 140.30     | 140.15    | 135.67     | 135.74    |
|             |            | p.u.   | 0.97      | 0.97      | 0.99      | 0.99      | 1.02       | 1.02      | 0.98       | 0.98      |
| QUEN138     | 138        | kV     | 134.71    | 134.77    | 137.06    | 137.12    | 141.69     | 141.54    | 136.74     | 136.81    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.98      | 0.99      | 0.99      | 1.03       | 1.03      | 0.99       | 0.99      |
| SURIRAY138  | 138        | kV     | 137.62    | 137.92    | 137.85    | 138.17    | 144.61     | 144.76    | 137.29     | 137.64    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.05       | 1.05      | 0.99       | 1.00      |
| SURIRAY220  | 220        | kV     | 218.53    | 218.69    | 219.09    | 219.25    | 228.55     | 228.39    | 217.43     | 217.61    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 1.00      | 1.00      | 1.04       | 1.04      | 0.99       | 0.99      |
| CCOLPANI220 | 220        | kV     | 218.58    | 218.73    | 219.13    | 219.29    | 228.65     | 228.49    | 217.50     | 217.67    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 1.00      | 1.00      | 1.04       | 1.04      | 0.99       | 0.99      |
| COTARUSE220 | 220        | kV     | 224.47    | 224.50    | 223.80    | 223.84    | 235.17     | 228.85    | 222.82     | 222.86    |
|             |            | p.u.   | 1.02      | 1.02      | 1.02      | 1.02      | 1.07       | 1.05      | 1.01       | 1.01      |
| ABAN220     | 220        | kV     | 216.00    | 216.11    | 217.51    | 217.63    | 224.27     | 224.07    | 214.98     | 215.12    |
|             |            | p.u.   | 0.98      | 0.98      | 0.99      | 0.99      | 1.02       | 1.02      | 0.98       | 0.98      |
| QUEN220     | 220        | kV     | 217.51    | 217.60    | 218.63    | 218.73    | 228.27     | 228.03    | 218.39     | 218.49    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 0.99      | 0.99      | 1.04       | 1.04      | 0.99       | 0.99      |
| QUILL220    | 220        | kV     | 219.80    | 219.90    | 220.15    | 220.25    | 230.18     | 229.95    | 218.52     | 218.64    |
|             |            | p.u.   | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.00      | 1.05       | 1.05      | 0.99       | 0.99      |
| VILC220     | 220        | kV     | 218.58    | 218.73    | 219.13    | 219.29    | 228.62     | 228.46    | 217.49     | 217.67    |
|             |            | p.u.   | 0.99      | 0.99      | 1.00      | 1.00      | 1.04       | 1.04      | 0.99       | 0.99      |



## **Anexo D.3:**

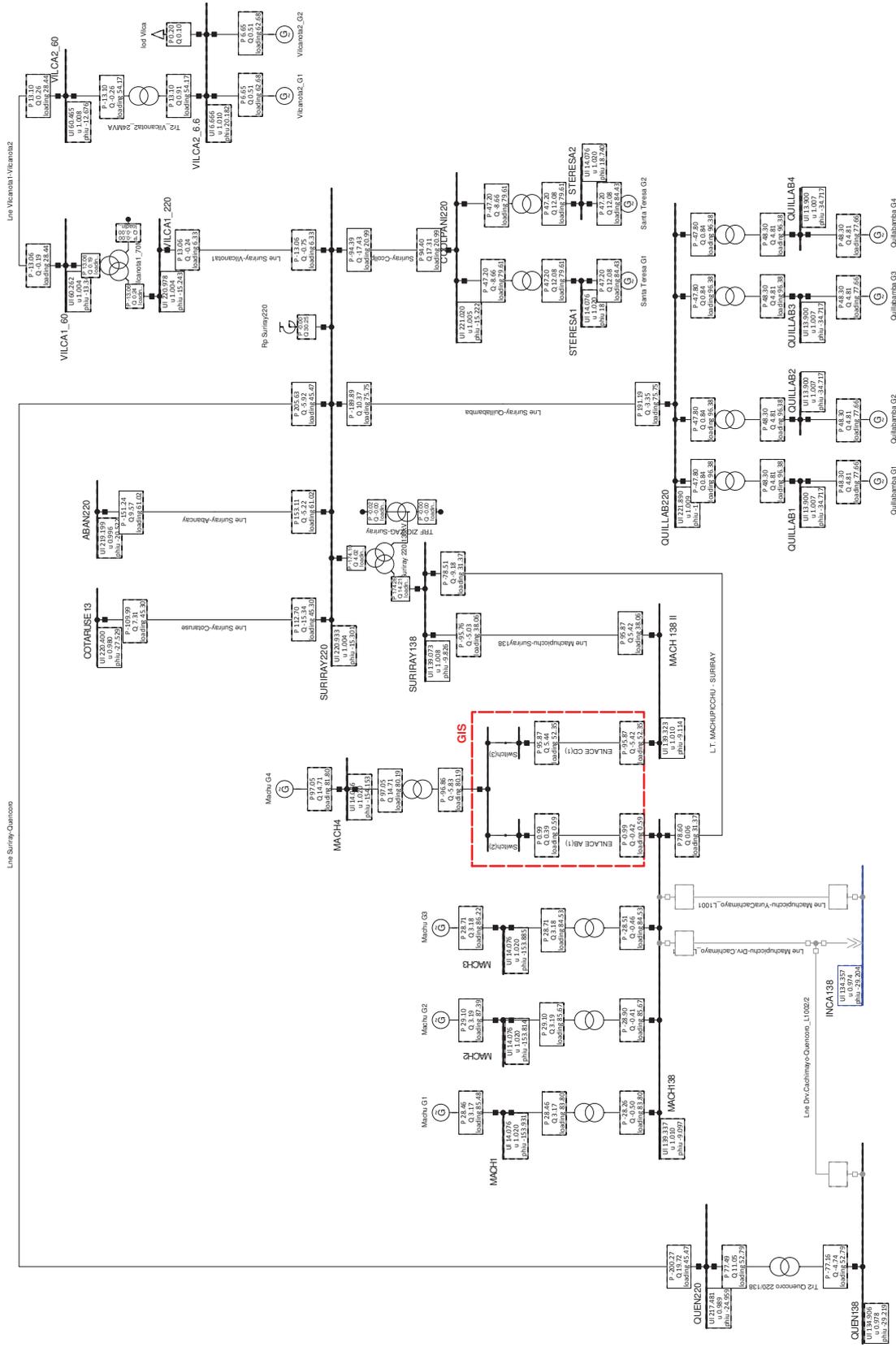
### Diagramas Unifilares – Operación Normal



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

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| UNSAACH-FHEEM                | Project: TESIS     |
| FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2020 | Graphic: A05E N°13 |
| OP. NORMAL - EST. MINIMA     | Date: 5/30/2016    |
| SIN L.T. PROYECTADA          | Anexo:             |

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| PowerFactory 15.1.7 | Quilabamba G1  |
|                     | Quilabamba G2  |
|                     | Quilabamba G3  |
|                     | Quilabamba G4  |
|                     | Sanja Tenoa G1 |
|                     | Sanja Tenoa G2 |



Load Flow Balanced

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

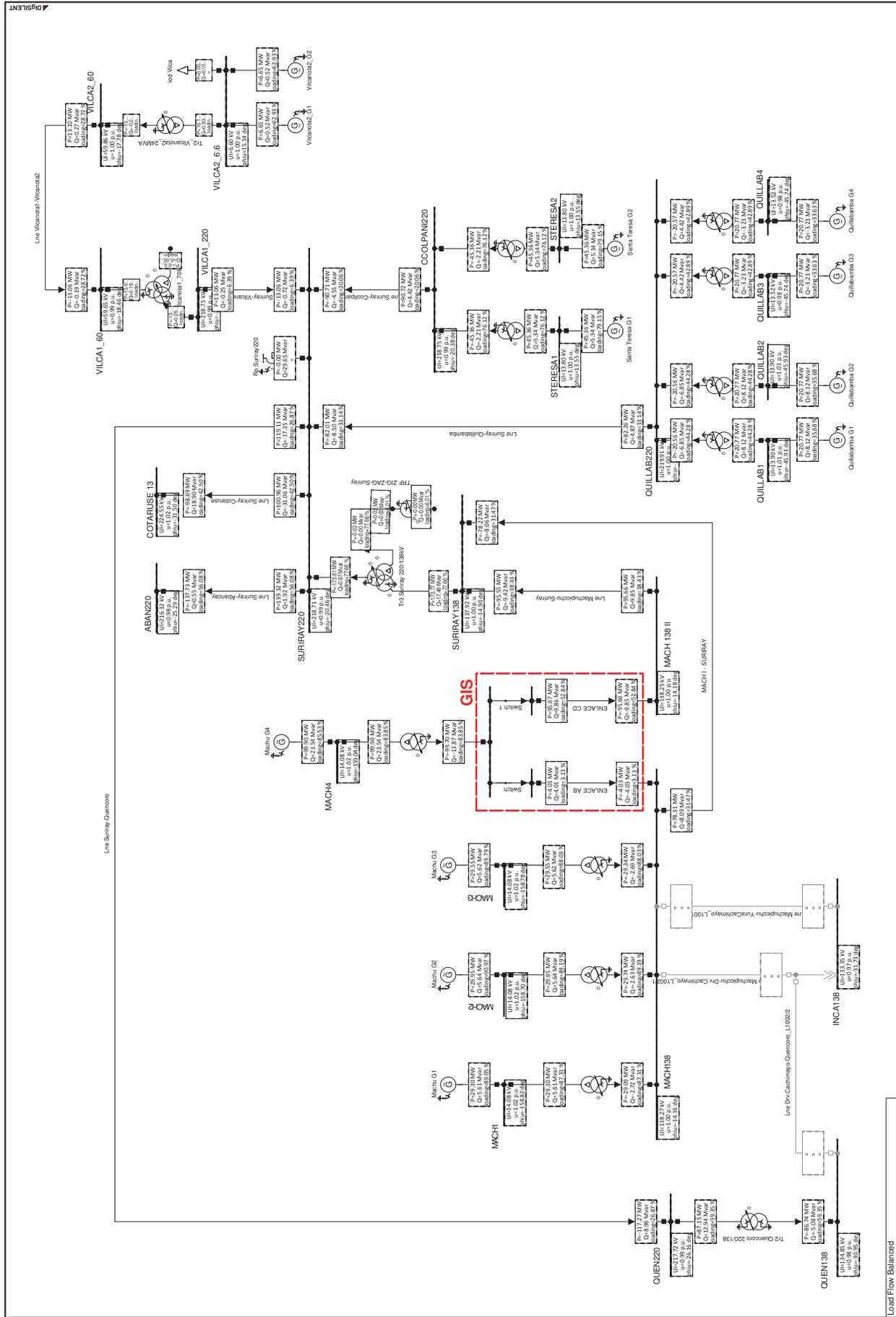
UNSAAC - FREEM

FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2022  
OP. NORMAL EST. MAXIMO  
CON L.T. MACHUPICCHU I - SURIRAY

Project TESIS  
Graphic: AOSE N°13  
Date: 5/31/2016  
Annex:



PowerFactory 15.1.7



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

Branches  
 Active Power [MW]  
 Reactive Power [Mvar]  
 Loading [%]



UNSAAC-FEEM  
 FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2024  
 OP. NORMAL AV. MINIMA  
 CON LT. MACHUPICCHU I - SURIRAY

PowerFactory 15.1.7  
 Project: TESIS  
 Graphic: AOSE N°13  
 Date: 5/30/2016  
 Annex:





## **Anexo D.4:**

### Resultados de los Flujos – Análisis en Contingencia



**ANÁLISIS DE CONTINGENCIA – AÑO 2018**

| CASO                    | LINEA DE TRANSMISION    | AVENIDA MAXIMA DEMANDA  |                  |                       | AVENIDA MINIMA DEMANDA |                  |                       | ESTIAJE MAXIMA DEMANDA |                  |                       | ESTIAJE MINIMA DEMANDA |                  |                       |       |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|------------------|-----------------------|-------|
|                         |                         | CARGA (%)               | CORRIENTE I (kA) | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I (kA) | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I (kA) | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I (kA) | CAIDA TENSION i-j (%) |       |
| SIN LINEA               | SALIDA L-1038           | ENLACE AB               | 45.76            | 347.81                | -0.01                  | 45.68            | 347.15                | -0.02                  | 40.99            | 311.50                | -0.01                  | 45.18            | 343.37                | -0.01 |
|                         |                         | ENLACE CD               | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01             | 0.05                  | 0.00  |
|                         |                         | Lne Suriray-Abancay     | 20.14            | 132.16                | 1.32                   | 8.33             | 54.65                 | 0.73                   | 14.76            | 96.83                 | 1.87                   | 9.67             | 63.44                 | 0.71  |
|                         |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 7.24             | 47.53                 | -0.35                  | 9.55             | 62.63                 | -0.37                  | 16.96            | 111.24                | 1.55                   | 8.05             | 52.79                 | -0.48 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 28.82            | 340.76                | 0.15                   | 23.25            | 274.86                | -1.22                  | 27.25            | 322.16                | -0.89                  | 20.25            | 239.37                | -1.11 |
|                         |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.38            | 255.53                | -0.05                  | 21.03            | 251.30                | -0.03                  | 23.99            | 286.63                | -0.08                  | 20.81            | 248.70                | -0.03 |
|                         | SALIDA L-2050           | ENLACE AB               | 46.33            | 352.10                | -0.02                  | 46.59            | 354.12                | -0.02                  | 41.61            | 316.22                | -0.02                  | 45.79            | 347.98                | -0.02 |
|                         |                         | ENLACE CD               | 99.92            | 759.41                | 0.02                   | 100.18           | 761.40                | 0.02                   | 95.42            | 725.16                | 0.02                   | 99.13            | 753.42                | 0.02  |
|                         |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 72.64            | 759.71                | -0.43                  | 72.83            | 761.71                | -0.43                  | 69.37            | 725.57                | -0.49                  | 72.06            | 753.74                | -0.44 |
|                         |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 49.73            | 326.29                | -0.72                  | 35.56            | 233.33                | -0.81                  | 26.88            | 176.38                | -0.09                  | 39.08            | 256.39                | -0.82 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 52.31            | 618.43                | 1.67                   | 42.72            | 505.05                | -0.14                  | 45.24            | 534.85                | 0.93                   | 40.06            | 473.64                | -0.07 |
|                         |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.74            | 259.79                | -0.06                  | 21.05            | 251.58                | -0.03                  | 21.28            | 254.33                | -0.04                  | 20.85            | 249.19                | -0.03 |
|                         | SALIDA L-2059           | ENLACE AB               | 46.54            | 353.67                | -0.02                  | 46.91            | 356.48                | -0.02                  | 41.91            | 318.53                | -0.02                  | 46.03            | 349.84                | -0.02 |
|                         |                         | ENLACE CD               | 100.45           | 763.38                | 0.02                   | 100.77           | 765.88                | 0.02                   | 96.24            | 731.42                | 0.03                   | 99.74            | 758.05                | 0.02  |
|                         |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 73.02            | 763.77                | -0.49                  | 73.26            | 766.27                | -0.50                  | 69.98            | 731.94                | -0.57                  | 72.52            | 758.46                | -0.51 |
|                         |                         | Lne Suriray-Abancay     | 61.63            | 404.34                | 1.61                   | 43.65            | 286.40                | 0.77                   | 37.32            | 244.83                | 1.27                   | 47.20            | 309.65                | 0.84  |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 46.05            | 544.47                | 0.90                   | 38.27            | 452.47                | -0.68                  | 39.75            | 470.03                | 0.11                   | 35.68            | 421.89                | -0.62 |
|                         |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 22.35            | 267.08                | -0.07                  | 21.42            | 255.96                | -0.04                  | 21.94            | 262.24                | -0.06                  | 21.23            | 253.75                | -0.04 |
| SALIDA SUR-QUEN         | ENLACE AB               | 46.66                   | 354.63           | -0.02                 | 47.21                  | 358.83           | -0.03                 | 42.15                  | 320.31           | -0.02                 | 46.22                  | 351.29           | -0.02                 |       |
|                         | ENLACE CD               | 100.76                  | 765.78           | 0.03                  | 101.37                 | 770.41           | 0.03                  | 96.85                  | 736.10           | 0.03                  | 100.21                 | 761.60           | 0.03                  |       |
|                         | Lne Machupicchu-Suriray | 73.26                   | 766.21           | -0.53                 | 73.70                  | 770.88           | -0.57                 | 70.44                  | 736.70           | -0.63                 | 72.86                  | 762.08           | -0.56                 |       |
|                         | Lne Suriray-Abancay     | 89.50                   | 587.20           | 2.68                  | 69.37                  | 455.12           | 1.27                  | 71.25                  | 467.43           | 2.23                  | 67.69                  | 444.07           | 1.20                  |       |
|                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 56.55                   | 370.99           | -1.52                 | 43.88                  | 287.91           | -1.86                 | 39.06                  | 256.26           | -1.25                 | 44.27                  | 290.48           | -1.84                 |       |
|                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 22.73                   | 271.59           | -0.07                 | 21.86                  | 261.29           | -0.05                 | 22.49                  | 268.76           | -0.07                 | 21.58                  | 257.90           | -0.05                 |       |
| CON LINEA               | SALIDA L-1038           | ENLACE AB               | 53.48            | 406.45                | 0.03                   | 53.50            | 406.57                | 0.02                   | 53.78            | 408.70                | 0.03                   | 53.18            | 404.15                | 0.02  |
|                         |                         | ENLACE CD               | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01             | 0.05                  | 0.00  |
|                         |                         | L.T. PROYECTADA         | 72.49            | 758.18                | 0.50                   | 32.05            | 210.30                | 0.76                   | 30.53            | 200.28                | 1.31                   | 33.94            | 222.67                | 0.79  |
|                         |                         | Lne Suriray-Abancay     | 33.21            | 217.87                | 1.27                   | 72.62            | 759.60                | 0.49                   | 69.30            | 724.86                | 0.59                   | 71.86            | 751.55                | 0.50  |
|                         |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 17.86            | 117.14                | -0.90                  | 21.00            | 137.78                | -0.93                  | 14.30            | 93.84                 | -0.73                  | 23.49            | 154.12                | -0.94 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 34.79            | 411.37                | 0.39                   | 33.82            | 399.82                | -0.62                  | 36.93            | 436.60                | 0.23                   | 30.65            | 362.41                | -0.56 |
|                         |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.54            | 257.38                | -0.05                  | 20.93            | 250.09                | -0.02                  | 21.25            | 253.93                | -0.04                  | 20.72            | 247.65                | -0.02 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 2.28             | 17.32                 | 0.00                   | 2.08             | 15.81                 | 0.00                   | 2.18             | 16.58                 | 0.00                   | 1.57             | 11.94                 | 0.00  |
|                         | SALIDA L-2050           | ENLACE AB               | 67.41            | 512.31                | 0.01                   | 54.98            | 417.83                | 0.01                   | 52.42            | 398.41                | 0.01                   | 54.40            | 413.43                | 0.01  |
|                         |                         | ENLACE CD               | 67.41            | 512.31                | 0.01                   | 54.98            | 417.83                | 0.01                   | 52.42            | 398.41                | 0.01                   | 54.40            | 413.43                | 0.01  |
|                         |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 49.01            | 512.64                | -0.28                  | 39.98            | 418.14                | -0.24                  | 38.13            | 398.84                | -0.27                  | 39.56            | 413.76                | -0.25 |
|                         |                         | L.T. PROYECTADA         | 40.28            | 421.25                | 0.29                   | 32.84            | 343.48                | 0.26                   | 31.26            | 326.97                | 0.28                   | 32.50            | 339.94                | 0.26  |
|                         |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 49.87            | 327.21                | -1.15                  | 35.51            | 232.97                | -0.72                  | 26.82            | 175.96                | 0.00                   | 39.03            | 256.06                | -0.73 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 48.33            | 571.48                | 1.24                   | 42.68            | 504.67                | -0.09                  | 45.21            | 534.52                | 0.98                   | 40.03            | 473.27                | -0.03 |
|                         |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 26.36            | 315.01                | -0.06                  | 21.00            | 250.98                | -0.03                  | 21.20            | 253.34                | -0.04                  | 20.80            | 248.59                | -0.03 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 2.28             | 17.32                 | 0.00                   | 2.08             | 15.81                 | 0.00                   | 2.18             | 16.58                 | 0.00                   | 1.57             | 11.94                 | 0.00  |
|                         | SALIDA L-2059           | ENLACE AB               | 1.88             | 14.29                 | 0.00                   | 2.09             | 15.92                 | 0.00                   | 2.17             | 16.51                 | 0.00                   | 1.57             | 11.91                 | 0.00  |
|                         |                         | ENLACE CD               | 56.83            | 431.91                | 0.01                   | 55.31            | 420.34                | 0.01                   | 52.89            | 401.98                | 0.01                   | 54.74            | 416.05                | 0.01  |
| Lne Machupicchu-Suriray |                         | 41.34                   | 432.33           | -0.29                 | 40.23                  | 420.75           | -0.28                 | 38.49                  | 402.52           | -0.32                 | 39.82                  | 416.48           | -0.29                 |       |
| L.T. PROYECTADA         |                         | 33.97                   | 355.28           | 0.30                  | 33.05                  | 345.66           | 0.30                  | 31.55                  | 330.00           | 0.33                  | 32.72                  | 342.18           | 0.30                  |       |
| Lne Suriray-Abancay     |                         | 50.30                   | 330.04           | 1.41                  | 43.63                  | 286.26           | 0.80                  | 37.33                  | 244.95           | 1.30                  | 47.18                  | 309.51           | 0.87                  |       |
| Lne Suriray-Quencoro    |                         | 35.98                   | 425.45           | 0.23                  | 38.23                  | 451.99           | -0.64                 | 39.72                  | 469.59           | 0.15                  | 35.64                  | 421.42           | -0.57                 |       |
| Lne Suriray-Ccollpani   |                         | 22.98                   | 274.62           | -0.07                 | 21.34                  | 254.98           | -0.04                 | 21.82                  | 260.75           | -0.05                 | 21.15                  | 252.76           | -0.04                 |       |
| Lne Suriray-Quencoro    |                         | 2.28                    | 17.32            | 0.00                  | 2.08                   | 15.81            | 0.00                  | 2.18                   | 16.58            | 0.00                  | 1.57                   | 11.94            | 0.00                  |       |
| SALIDA SUR-QUEN         | ENLACE AB               | 1.80                    | 13.69            | 0.00                  | 2.11                   | 16.02            | 0.00                  | 2.17                   | 16.46            | 0.00                  | 1.56                   | 11.89            | 0.00                  |       |
|                         | ENLACE CD               | 55.35                   | 420.63           | 0.01                  | 55.64                  | 422.89           | 0.01                  | 53.24                  | 404.63           | 0.01                  | 55.01                  | 418.06           | 0.01                  |       |
|                         | Lne Machupicchu-Suriray | 40.26                   | 421.09           | -0.30                 | 40.48                  | 423.38           | -0.32                 | 38.75                  | 405.26           | -0.35                 | 40.02                  | 418.55           | -0.31                 |       |
|                         | L.T. PROYECTADA         | 33.08                   | 346.03           | 0.31                  | 33.26                  | 347.85           | 0.33                  | 31.77                  | 332.24           | 0.37                  | 32.88                  | 343.89           | 0.33                  |       |
|                         | Lne Suriray-Abancay     | 71.61                   | 469.80           | 2.11                  | 69.34                  | 454.91           | 1.31                  | 71.24                  | 467.38           | 2.26                  | 67.65                  | 443.86           | 1.23                  |       |
|                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 41.39                   | 271.55           | -1.48                 | 43.81                  | 287.43           | -1.76                 | 38.98                  | 255.75           | -1.15                 | 44.20                  | 290.01           | -1.74                 |       |
|                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 22.67                   | 270.88           | -0.07                 | 21.75                  | 259.91           | -0.05                 | 22.33                  | 266.87           | -0.06                 | 21.47                  | 256.59           | -0.05                 |       |
|                         | Lne Suriray-Quencoro    | 2.28                    | 17.32            | 0.00                  | 2.08                   | 15.81            | 0.00                  | 2.18                   | 16.58            | 0.00                  | 1.57                   | 11.94            | 0.00                  |       |



**ANÁLISIS DE CONTINGENCIA – AÑO 2020**

| CASO                    | LINEA DE TRANSMISION   | AVENIDA MAXIMA DEMANDA  |                     |                       | AVENIDA MINIMA DEMANDA |                 |                       | ESTIAJE MAXIMA DEMANDA |                 |                       | ESTIAJE MINIMA DEMANDA |                 |                       |        |      |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|--------|------|
|                         |                        | CARGA (%)               | CORRIENTE I(kA)     | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA TENSION i-j (%) |        |      |
| SIN LINEA               | SALIDA L-1038          | ENLACE AB               | 42.04               | 319.52                | -0.01                  | 46.92           | 356.58                | -0.02                  | 41.93           | 318.69                | -0.01                  | 46.65           | 354.57                | -0.01  |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 0.01                | 0.05                  | 0                      | 0.01            | 0.05                  | 0                      | 0.01            | 0.05                  | 0                      | 0.01            | 0.05                  | 0      |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Abancay     | 21.83               | 143.25                | 1.37                   | 15.67           | 102.84                | 0.88                   | 33.61           | 220.53                | 1.06                   | 11.17           | 73.27                 | 0.78   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Cotaruse    | 7.5                 | 49.24                 | -0.1                   | 6.46            | 42.4                  | -0.07                  | 18.99           | 124.59                | -1.61                  | 6.84            | 44.86                 | -0.18  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quencoro    | 28.75               | 339.92                | 0.28                   | 33.93           | 401.15                | -0.41                  | 36.11           | 426.97                | 0.39                   | 20.2            | 238.8                 | -0.94  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.63               | 246.48                | -0.05                  | 20.05           | 239.66                | -0.02                  | 18.13           | 216.71                | -0.03                  | 19.95           | 238.46                | -0.02  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quillabamba | 33.03               | 216.98                | -0.6                   | 33.49           | 219.98                | -0.78                  | 76.44           | 502.11                | 0.88                   | 5.22            | 34.28                 | 0.37   |      |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1 | 6.5                     | 35.09               | -0.04                 | 6.46                   | 34.87           | -0.03                 | 5.56                   | 30.05           | -0.03                 | 6.38                   | 34.48           | -0.03                 |        |      |
|                         | SALIDA L-2050          | ENLACE AB               | 42.4                | 322.22                | -0.02                  | 47.95           | 364.42                | -0.02                  | 42.83           | 325.53                | -0.02                  | 47.2            | 358.7                 | -0.02  |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 97.48               | 740.86                | 0.02                   | 103.13          | 783.8                 | 0.02                   | 98.92           | 751.8                 | 0.03                   | 102.19          | 776.62                | 0.02   |      |
|                         |                        | Lne Machupicchu-Suriray | 70.86               | 741.13                | -0.4                   | 74.97           | 784.13                | -0.46                  | 71.93           | 752.3                 | -0.58                  | 74.28           | 776.9                 | -0.42  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Cotaruse    | 51.4                | 337.21                | -0.92                  | 47.73           | 313.16                | -0.73                  | 71.3            | 467.76                | -2.21                  | 42.34           | 277.79                | -0.48  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quencoro    | 52.5                | 620.74                | 1.79                   | 57.19           | 676.17                | 1.16                   | 64.22           | 759.31                | 2.46                   | 41.39           | 489.42                | 0.1    |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.93               | 250.15                | -0.06                  | 20.34           | 243.02                | -0.03                  | 19.18           | 229.22                | -0.06                  | 20.03           | 239.39                | -0.02  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quillabamba | 33.31               | 218.79                | -0.71                  | 34.21           | 224.69                | -1.01                  | 77.48           | 508.91                | 1.31                   | 6.06            | 39.78                 | 0.44   |      |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1 | 6.56                    | 35.43               | -0.04                 | 6.57                   | 35.47           | -0.04                 | 5.84                   | 31.52           | -0.04                 | 6.41                   | 34.63           | -0.03                 |        |      |
|                         | SALIDA L-2059          | ENLACE AB               | 42.56               | 323.45                | -0.02                  | 48.16           | 366.04                | -0.03                  | 43.07           | 327.33                | -0.02                  | 47.36           | 359.92                | -0.02  |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 97.96               | 744.5                 | 0.02                   | 103.54          | 786.92                | 0.03                   | 99.55           | 756.58                | 0.03                   | 102.59          | 779.7                 | 0.02   |      |
|                         |                        | Lne Machupicchu-Suriray | 71.22               | 744.86                | -0.46                  | 75.27           | 787.3                 | -0.51                  | 72.39           | 757.17                | -0.63                  | 74.58           | 780.04                | -0.47  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Abancay     | 63.19               | 414.59                | 1.58                   | 57.92           | 380.01                | 1.18                   | 85.1            | 558.33                | 1.88                   | 50.76           | 333.02                | 1.05   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quencoro    | 46.24               | 546.75                | 1.04                   | 51.63           | 610.44                | 0.63                   | 56.99           | 673.83                | 1.68                   | 36.85           | 435.69                | -0.39  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.54               | 257.35                | -0.07                  | 20.61           | 246.31                | -0.04                  | 19.81           | 236.76                | -0.07                  | 20.26           | 242.09                | -0.03  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quillabamba | 33.88               | 222.55                | -0.92                  | 34.79           | 228.49                | -1.17                  | 78.03           | 512.51                | 1.5                    | 7.86            | 51.61                 | 0.61   |      |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1 | 6.68                    | 36.09               | -0.05                 | 6.66                   | 35.95           | -0.04                 | 5.99                   | 32.32           | -0.05                 | 6.48                   | 35.01           | -0.03                 |        |      |
|                         | SALIDA SUR-QUEN        | ENLACE AB               | 42.63               | 324.01                | -0.02                  | 48.43           | 368.09                | -0.03                  | 43.23           | 328.54                | -0.02                  | 47.48           | 360.86                | -0.02  |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 98.17               | 746.09                | 0.02                   | 104.07          | 790.9                 | 0.03                   | 99.97           | 759.76                | 0.03                   | 102.9           | 782.03                | 0.02   |      |
|                         |                        | Lne Machupicchu-Suriray | 71.37               | 746.48                | -0.49                  | 75.66           | 791.36                | -0.57                  | 72.7            | 760.39                | -0.67                  | 74.81           | 782.41                | -0.51  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Abancay     | 90.04               | 590.77                | 2.63                   | 92.4            | 606.24                | 2.37                   | 112.89          | 740.67                | 3.27                   | 70.45           | 462.18                | 1.42   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Cotaruse    | 57.82               | 379.35                | -1.69                  | 60              | 393.63                | -1.41                  | 76.75           | 503.54                | -2.75                  | 46.96           | 308.07                | -1.35  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.8                | 260.54                | -0.07                  | 21.02           | 251.14                | -0.05                  | 20.25           | 241.97                | -0.07                  | 20.46           | 244.53                | -0.04  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quillabamba | 34.15               | 224.29                | -1                     | 35.55           | 233.52                | -1.35                  | 78.39           | 514.92                | 1.62                   | 9.11            | 59.86                 | 0.73   |      |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1 | 6.74                    | 36.38               | -0.05                 | 6.77                   | 36.57           | -0.05                 | 6.08                   | 32.86           | -0.05                 | 6.54                   | 35.31           | -0.04                 |        |      |
|                         | CON LINEA              | SALIDA L-1038           | ENLACE AB           | 54.95                 | 417.6                  | 0.03            | 55.01                 | 418.1                  | 0.02            | 55.52                 | 421.94                 | 0.03            | 54.86                 | 416.96 | 0.03 |
|                         |                        |                         | ENLACE CD           | 0.01                  | 0.05                   | 0               | 0.01                  | 0.05                   | 0               | 0.01                  | 0.05                   | 0               | 0.01                  | 0.05   | 0    |
|                         |                        |                         | L.T. PROYECTADA     | 70.65                 | 738.94                 | 0.45            | 74.66                 | 780.89                 | 0.51            | 71.22                 | 744.96                 | 0.59            | 74.12                 | 775.25 | 0.48 |
|                         |                        |                         | Lne Suriray-Abancay | 45.8                  | 300.48                 | 1.34            | 41.48                 | 272.15                 | 0.96            | 59.14                 | 388                    | 1.36            | 36.21                 | 237.58 | 0.87 |
| Lne Suriray-Cotaruse    |                        |                         | 30.11               | 197.54                | -1.24                  | 28.23           | 185.19                | -0.81                  | 42.71           | 280.21                | -2.16                  | 25.68           | 168.51                | -0.7   |      |
| Lne Suriray-Quencoro    |                        |                         | 39.57               | 467.86                | 0.87                   | 45.38           | 536.54                | 0.3                    | 47.15           | 557.5                 | 1.06                   | 31.31           | 370.19                | -0.46  |      |
| Lne Suriray-Ccollpani   |                        |                         | 20.61               | 246.25                | -0.05                  | 20.12           | 240.39                | -0.02                  | 18.36           | 219.45                | -0.04                  | 19.94           | 238.34                | -0.02  |      |
| Lne Suriray-Quillabamba |                        | 33.02                   | 216.87              | -0.59                 | 33.67                  | 221.16          | -0.85                 | 76.69                  | 503.77          | 1                     | 5.1                    | 33.51           | 0.36                  |        |      |
| Lne Suriray-Vilcanota1  |                        | 6.49                    | 35.06               | -0.04                 | 6.49                   | 35.03           | -0.03                 | 5.63                   | 30.4            | -0.04                 | 6.38                   | 34.46           | -0.03                 |        |      |
| SALIDA L-2050           |                        | ENLACE AB               | 2.43                | 18.49                 | 0                      | 2.07            | 15.73                 | 0                      | 2.46            | 18.66                 | 0                      | 1.64            | 12.47                 | 0      |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 53.56               | 407.04                | 0.01                   | 56.61           | 430.24                | 0.01                   | 54.39           | 413.35                | 0.01                   | 56.08           | 426.23                | 0.01   |      |
|                         |                        | Lne Machupicchu-Suriray | 38.94               | 407.33                | -0.23                  | 41.17           | 430.58                | -0.26                  | 39.57           | 413.88                | -0.33                  | 40.78           | 426.52                | -0.24  |      |
|                         |                        | L.T. PROYECTADA         | 31.92               | 333.87                | 0.24                   | 33.82           | 353.7                 | 0.28                   | 32.43           | 339.23                | 0.34                   | 33.5            | 350.41                | 0.25   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Cotaruse    | 51.37               | 337.03                | -0.86                  | 47.7            | 312.93                | -0.66                  | 71.24           | 467.39                | -2.12                  | 42.32           | 277.66                | -0.41  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quencoro    | 52.49               | 620.58                | 1.82                   | 57.17           | 675.96                | 1.19                   | 64.19           | 758.97                | 2.49                   | 41.38           | 489.23                | 0.13   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.86               | 249.24                | -0.05                  | 20.29           | 242.44                | -0.03                  | 19.07           | 227.94                | -0.05                  | 20              | 239.01                | -0.02  |      |
| Lne Suriray-Quillabamba |                        | 33.24                   | 218.33              | -0.69                 | 34.1                   | 223.97          | -0.98                 | 77.38                  | 508.27          | 1.28                  | 5.74                   | 37.69           | 0.41                  |        |      |
| Lne Suriray-Vilcanota1  |                        | 6.55                    | 35.35               | -0.04                 | 6.55                   | 35.38           | -0.04                 | 5.81                   | 31.38           | -0.04                 | 6.4                    | 34.57           | -0.03                 |        |      |
| SALIDA L-2059           |                        | ENLACE AB               | 2.43                | 18.44                 | 0                      | 2.08            | 15.8                  | 0                      | 2.45            | 18.62                 | 0                      | 1.64            | 12.44                 | 0      |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 53.83               | 409.12                | 0.01                   | 56.84           | 432.01                | 0.01                   | 54.75           | 416.11                | 0.02                   | 56.31           | 427.98                | 0.01   |      |
|                         |                        | Lne Machupicchu-Suriray | 39.15               | 409.5                 | -0.26                  | 41.34           | 432.41                | -0.29                  | 39.84           | 416.72                | -0.36                  | 40.95           | 428.34                | -0.27  |      |
|                         |                        | L.T. PROYECTADA         | 32.09               | 335.65                | 0.27                   | 33.96           | 355.23                | 0.3                    | 32.66           | 341.55                | 0.37                   | 33.65           | 351.91                | 0.28   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Abancay     | 63.2                | 414.62                | 1.6                    | 57.92           | 379.98                | 1.21                   | 85.06           | 558.09                | 1.91                   | 50.77           | 333.12                | 1.08   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Quencoro    | 46.22               | 546.53                | 1.07                   | 51.61           | 610.18                | 0.66                   | 56.96           | 673.43                | 1.71                   | 36.83           | 435.44                | -0.36  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.44               | 256.18                | -0.06                  | 20.55           | 245.52                | -0.04                  | 19.68           | 235.15                | -0.06                  | 20.21           | 241.51                | -0.03  |      |
| Lne Suriray-Quillabamba |                        | 33.79                   | 221.92              | -0.88                 | 34.65                  | 227.62          | -1.14                 | 77.91                  | 511.76          | 1.47                  | 7.52                   | 49.38           | 0.58                  |        |      |
| Lne Suriray-Vilcanota1  |                        | 6.66                    | 35.98               | -0.04                 | 6.64                   | 35.84           | -0.04                 | 5.95                   | 32.15           | -0.05                 | 6.47                   | 34.93           | -0.03                 |        |      |
| SALIDA SUR-QUEN         |                        | ENLACE AB               | 2.42                | 18.43                 | 0                      | 2.09            | 15.89                 | 0                      | 2.45            | 18.6                  | 0                      | 1.63            | 12.42                 | 0      |      |
|                         |                        | ENLACE CD               | 53.95               | 410.03                | 0.01                   | 57.14           | 434.28                | 0.01                   | 54.99           | 417.95                | 0.02                   | 56.49           | 429.31                | 0.01   |      |
|                         |                        | Lne Machupicchu-Suriray | 39.24               | 410.44                | -0.28                  | 41.57           | 434.75                | -0.32                  | 40.02           | 418.61                | -0.38                  | 41.08           | 429.72                | -0.29  |      |
|                         |                        | L.T. PROYECTADA         | 32.17               | 336.42                | 0.29                   | 34.15           | 357.18                | 0.34                   | 32.8            | 343.1                 | 0.39                   | 33.75           | 353.05                | 0.3    |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Abancay     | 90.04               | 590.73                | 2.35                   | 92.39           | 606.18                | 2.4                    | 112.86          | 740.42                | 2.3                    | 70.45           | 462.2                 | 1.44   |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Cotaruse    | 57.78               | 379.11                | -1.63                  | 59.95           | 393.35                | -1.34                  | 76.68           | 503.1                 | -2.66                  | 46.92           | 307.86                | -1.28  |      |
|                         |                        | Lne Suriray-Ccollpani   | 21.69               | 259.24                | -0.07                  | 20.93           | 250.1                 | -0.05                  | 20.1            | 240.17                | -0.07                  | 20.4            | 243.79                | -0.04  |      |
| Lne Suriray-Quillabamba |                        | 34.04                   | 223.58              | -0.96                 | 35.39                  | 232.47          | -1.32                 | 78.27                  | 514.1           | 1.58                  | 8.75                   | 57.5            | 0.7                   |        |      |



**ANÁLISIS DE CONTINGENCIA - AÑO 2022**

| CASO                    | LINEA DE TRANSMISION    | AVENIDA MAXIMA DEMANDA  |                 |                          | AVENIDA MINIMA DEMANDA |                 |                          | ESTIAJE MAXIMA DEMANDA |                 |                          | ESTIAJE MINIMA DEMANDA |                 |                          |       |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|-------|
|                         |                         | CARGA (%)               | CORRIENTE I(kA) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA DE TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA DE TENSION i-j (%) |       |
| SIN LINEA               | SAIDA L-1038            | ENLACE AB               | 43.23           | 328.52                   | -0.01                  | 46.79           | 355.61                   | -0.01                  | 42.19           | 320.67                   | -0.01                  | 45.90           | 348.86                   | -0.01 |
|                         |                         | ENLACE CD               | 0.01            | 0.05                     | 0.00                   | 0.01            | 0.05                     | 0.00                   | 0.01            | 0.05                     | 0.00                   | 0.01            | 0.05                     | 0.00  |
|                         | SAIDA L-2050            | Lne Suriray-Abancay     | 21.64           | 141.99                   | 1.28                   | 21.00           | 137.76                   | 1.21                   | 35.78           | 234.73                   | 0.47                   | 38.61           | 253.34                   | 0.96  |
|                         |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 8.39            | 55.07                    | 2.33                   | 27.99           | 330.97                   | -0.37                  | 20.99           | 137.70                   | 3.06                   | 28.46           | 186.70                   | 1.89  |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 28.23           | 333.81                   | 0.76                   | 10.53           | 69.10                    | 3.34                   | 34.56           | 408.67                   | 0.96                   | 30.02           | 355.00                   | -0.53 |
|                         |                         | Lne Suriray-Collpani    | 21.16           | 252.88                   | -0.03                  | 21.01           | 251.07                   | -0.02                  | 20.72           | 247.56                   | -0.03                  | 20.68           | 247.18                   | -0.02 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quillabamba | 32.55           | 213.83                   | -0.11                  | 32.54           | 213.71                   | -0.19                  | 75.60           | 496.57                   | -0.28                  | 76.45           | 502.17                   | 0.07  |
|                         |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.29            | 33.96                    | -0.02                  | 6.30            | 34.03                    | -0.01                  | 6.30            | 34.04                    | -0.02                  | 6.34            | 34.21                    | -0.02 |
|                         |                         | ENLACE AB               | 43.95           | 334.04                   | -0.02                  | 47.29           | 359.41                   | -0.02                  | 42.79           | 325.23                   | -0.02                  | 46.56           | 353.86                   | -0.02 |
|                         |                         | ENLACE CD               | 98.46           | 748.26                   | 0.02                   | 102.19          | 776.63                   | 0.02                   | 96.56           | 733.86                   | 0.02                   | 100.69          | 765.26                   | 0.02  |
| SAIDA L-2059            | Lne Machupicchu-Suriray | 71.57                   | 748.52          | -0.40                    | 74.28                  | 776.88          | -0.40                    | 70.20                  | 734.23          | -0.46                    | 73.20                  | 765.59          | -0.45                    |       |
|                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 53.08                   | 348.27          | 1.94                     | 55.58                  | 364.65          | 2.68                     | 75.70                  | 496.67          | 1.95                     | 85.62                  | 561.76          | 0.91                     |       |
|                         | Lne Suriray-Quencoro    | 52.10                   | 615.98          | 2.26                     | 52.24                  | 617.70          | 1.13                     | 63.53                  | 751.16          | 2.64                     | 60.12                  | 710.78          | 1.51                     |       |
|                         | Lne Suriray-Collpani    | 21.53                   | 257.31          | -0.04                    | 21.28                  | 254.30          | -0.03                    | 22.19                  | 265.23          | -0.06                    | 22.09                  | 264.01          | -0.06                    |       |
|                         | Lne Suriray-Quillabamba | 32.56                   | 213.88          | -0.31                    | 32.73                  | 214.96          | -0.43                    | 76.50                  | 502.51          | -0.91                    | 77.09                  | 506.36          | -0.65                    |       |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.36                    | 34.33           | -0.03                    | 6.33                   | 34.20           | -0.02                    | 6.51                   | 35.14           | -0.03                    | 6.66                   | 35.94           | -0.04                    |       |
|                         | ENLACE AB               | 44.18                   | 335.75          | -0.02                    | 47.43                  | 360.47          | -0.02                    | 42.81                  | 325.36          | -0.02                    | 46.73                  | 355.13          | -0.02                    |       |
|                         | ENLACE CD               | 98.89                   | 751.60          | 0.02                     | 102.54                 | 779.33          | 0.02                     | 96.61                  | 734.21          | 0.02                     | 101.11                 | 768.44          | 0.02                     |       |
|                         | Lne Machupicchu-Suriray | 71.89                   | 751.94          | -0.46                    | 74.54                  | 779.63          | -0.45                    | 70.23                  | 734.58          | -0.47                    | 73.51                  | 768.82          | -0.50                    |       |
|                         | Lne Suriray-Abancay     | 64.41                   | 422.61          | 1.70                     | 66.26                  | 434.72          | 1.72                     | 88.90                  | 583.28          | 1.55                     | 98.29                  | 644.83          | 2.36                     |       |
| SAIDA SUR-QUEN          | Lne Suriray-Quencoro    | 46.17                   | 545.94          | 1.54                     | 46.83                  | 553.68          | 0.57                     | 56.22                  | 664.72          | 2.14                     | 53.84                  | 636.61          | 0.96                     |       |
|                         | Lne Suriray-Collpani    | 21.98                   | 262.63          | -0.05                    | 21.53                  | 257.33          | -0.04                    | 22.25                  | 265.89          | -0.07                    | 22.58                  | 269.80          | -0.07                    |       |
|                         | Lne Suriray-Quillabamba | 32.84                   | 215.74          | -0.50                    | 33.01                  | 216.82          | -0.58                    | 76.54                  | 502.76          | -0.93                    | 77.37                  | 508.24          | -0.81                    |       |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.44                    | 34.78           | -0.03                    | 6.38                   | 34.46           | -0.03                    | 6.52                   | 35.19           | -0.03                    | 6.76                   | 36.48           | -0.05                    |       |
|                         | ENLACE AB               | 44.24                   | 336.22          | -0.02                    | 47.61                  | 361.85          | -0.02                    | 42.98                  | 326.67          | -0.02                    | 46.88                  | 356.29          | -0.02                    |       |
|                         | ENLACE CD               | 99.02                   | 752.53          | 0.02                     | 103.00                 | 782.77          | 0.02                     | 97.06                  | 737.66          | 0.02                     | 101.49                 | 771.29          | 0.03                     |       |
|                         | Lne Machupicchu-Suriray | 71.98                   | 752.89          | -0.47                    | 74.88                  | 783.15          | -0.50                    | 70.57                  | 738.10          | -0.52                    | 73.78                  | 771.73          | -0.54                    |       |
|                         | Lne Suriray-Abancay     | 89.72                   | 588.64          | 2.72                     | 90.14                  | 591.38          | 2.39                     | 113.03                 | 741.59          | 2.68                     | 112.36                 | 737.20          | 2.69                     |       |
|                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 59.05                   | 387.41          | 1.15                     | 61.39                  | 402.75          | 1.81                     | 78.57                  | 515.51          | 1.77                     | 83.76                  | 549.50          | 0.28                     |       |
|                         | Lne Suriray-Collpani    | 22.11                   | 264.17          | -0.06                    | 21.90                  | 261.76          | -0.05                    | 22.80                  | 272.49          | -0.07                    | 23.02                  | 275.12          | -0.07                    |       |
| Lne Suriray-Quillabamba | 32.94                   | 216.35                  | -0.55           | 33.44                    | 219.63                 | -0.76           | 76.92                    | 505.24                 | -1.09           | 77.65                    | 510.07                 | -0.94           |                          |       |
| Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.46                    | 34.91                   | -0.03           | 6.45                     | 34.83                  | -0.03           | 6.60                     | 35.66                  | -0.04           | 6.85                     | 36.97                  | -0.05           |                          |       |
| CON LINEA               | SAIDA L-1038            | ENLACE AB               | 54.37           | 413.23                   | 0.02                   | 54.71           | 415.78                   | 0.02                   | 52.93           | 402.23                   | 0.02                   | 53.36           | 405.52                   | 0.02  |
|                         |                         | ENLACE CD               | 0.01            | 0.05                     | 0.00                   | 0.01            | 0.05                     | 0.00                   | 0.01            | 0.05                     | 0.00                   | 0.01            | 0.05                     | 0.00  |
|                         | SAIDA L-2050            | L.T. PROYECTADA         | 71.35           | 746.25                   | 0.44                   | 74.04           | 774.39                   | 0.44                   | 69.38           | 725.67                   | 0.40                   | 72.40           | 757.25                   | 0.39  |
|                         |                         | Lne Suriray-Abancay     | 45.84           | 300.74                   | 1.37                   | 46.10           | 302.44                   | 1.28                   | 61.04           | 400.47                   | 0.77                   | 64.87           | 425.62                   | 1.35  |
|                         |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 31.49           | 206.61                   | 1.58                   | 33.75           | 221.40                   | 0.22                   | 45.33           | 297.38                   | 2.40                   | 53.73           | 352.53                   | 1.15  |
|                         |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 39.11           | 462.37                   | 1.30                   | 39.17           | 463.15                   | 2.39                   | 45.49           | 537.80                   | 1.54                   | 41.22           | 487.40                   | 0.12  |
|                         |                         | Lne Suriray-Collpani    | 21.27           | 254.19                   | -0.04                  | 21.09           | 252.07                   | -0.02                  | 21.05           | 251.56                   | -0.04                  | 21.09           | 252.03                   | -0.04 |
|                         |                         | Lne Suriray-Quillabamba | 32.54           | 213.72                   | -0.18                  | 32.54           | 213.75                   | -0.28                  | 75.78           | 497.77                   | -0.47                  | 76.61           | 503.24                   | -0.22 |
|                         |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.31            | 34.07                    | -0.02                  | 6.31            | 34.05                    | -0.02                  | 6.34            | 34.22                    | -0.02                  | 6.44            | 34.76                    | -0.03 |
|                         |                         | ENLACE AB               | 1.23            | 9.37                     | 0.00                   | 1.70            | 12.94                    | 0.00                   | 0.58            | 4.38                     | 0.00                   | 1.30            | 9.87                     | 0.00  |
| ENLACE CD               | 54.08                   | 410.99                  | 0.01            | 56.08                    | 426.20                 | 0.01            | 52.86                    | 401.71                 | 0.01            | 55.07                    | 418.57                 | 0.01            |                          |       |
| SAIDA L-2059            | Lne Machupicchu-Suriray | 39.32                   | 411.27          | -0.22                    | 40.77                  | 426.46          | -0.23                    | 38.44                  | 402.07          | -0.25                    | 40.05                  | 418.89          | -0.25                    |       |
|                         | L.T. PROYECTADA         | 32.25                   | 337.29          | 0.24                     | 33.50                  | 350.38          | 0.24                     | 31.78                  | 332.44          | 0.26                     | 33.13                  | 346.51          | 0.26                     |       |
|                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 53.06                   | 348.12          | 2.01                     | 55.56                  | 364.54          | 2.44                     | 75.57                  | 495.78          | 2.11                     | 85.49                  | 560.86          | 1.07                     |       |
|                         | Lne Suriray-Quencoro    | 52.09                   | 615.85          | 2.29                     | 52.23                  | 617.51          | 1.16                     | 63.45                  | 750.20          | 2.50                     | 60.03                  | 709.73          | 1.57                     |       |
|                         | Lne Suriray-Collpani    | 21.47                   | 256.60          | -0.04                    | 21.24                  | 253.81          | -0.03                    | 21.98                  | 262.61          | -0.06                    | 21.89                  | 261.60          | -0.06                    |       |
|                         | Lne Suriray-Quillabamba | 32.54                   | 213.75          | -0.28                    | 32.68                  | 214.66          | -0.40                    | 76.35                  | 501.52          | -0.84                    | 76.99                  | 505.70          | -0.58                    |       |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.35                    | 34.27           | -0.03                    | 6.33                   | 34.16           | -0.02                    | 6.47                   | 34.96           | -0.03                    | 6.61                   | 35.71           | -0.04                    |       |
|                         | ENLACE AB               | 1.24                    | 9.43            | 0.00                     | 1.70                   | 12.92           | 0.00                     | 0.58                   | 4.38            | 0.00                     | 1.30                   | 9.92            | 0.00                     |       |
|                         | ENLACE CD               | 54.33                   | 412.89          | 0.01                     | 56.28                  | 427.73          | 0.01                     | 52.88                  | 401.90          | 0.01                     | 55.31                  | 420.33          | 0.01                     |       |
|                         | Lne Machupicchu-Suriray | 39.51                   | 413.25          | -0.26                    | 40.93                  | 428.05          | -0.25                    | 38.46                  | 402.27          | -0.25                    | 40.22                  | 420.72          | -0.27                    |       |
| SAIDA SUR-QUEN          | L.T. PROYECTADA         | 32.41                   | 338.94          | 0.27                     | 33.63                  | 351.70          | 0.27                     | 31.80                  | 332.64          | 0.27                     | 33.31                  | 348.40          | 0.29                     |       |
|                         | Lne Suriray-Abancay     | 64.42                   | 422.64          | 1.72                     | 66.27                  | 434.76          | 1.75                     | 88.77                  | 582.39          | 1.60                     | 98.18                  | 644.13          | 2.41                     |       |
|                         | Lne Suriray-Quencoro    | 46.16                   | 545.74          | 1.57                     | 46.81                  | 553.44          | 0.60                     | 56.14                  | 663.77          | 2.20                     | 53.75                  | 635.55          | 1.02                     |       |
|                         | Lne Suriray-Collpani    | 21.90                   | 261.69          | -0.05                    | 21.48                  | 256.66          | -0.04                    | 22.03                  | 263.21          | -0.06                    | 22.35                  | 267.04          | -0.06                    |       |
|                         | Lne Suriray-Quillabamba | 32.79                   | 215.38          | -0.47                    | 32.94                  | 216.40          | -0.55                    | 76.39                  | 501.74          | -0.86                    | 77.23                  | 507.29          | -0.74                    |       |
|                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.43                    | 34.70           | -0.03                    | 6.37                   | 34.40           | -0.02                    | 6.48                   | 35.00           | -0.03                    | 6.71                   | 36.22           | -0.04                    |       |
|                         | ENLACE AB               | 1.24                    | 9.45            | 0.00                     | 1.70                   | 12.89           | 0.00                     | 0.57                   | 4.36            | 0.00                     | 1.31                   | 9.95            | 0.00                     |       |
|                         | ENLACE CD               | 54.40                   | 413.42          | 0.01                     | 56.54                  | 429.69          | 0.01                     | 53.13                  | 403.81          | 0.01                     | 55.51                  | 421.90          | 0.01                     |       |
|                         | Lne Machupicchu-Suriray | 39.56                   | 413.79          | -0.26                    | 41.12                  | 430.09          | -0.28                    | 38.65                  | 404.25          | -0.28                    | 40.38                  | 422.34          | -0.30                    |       |
|                         | L.T. PROYECTADA         | 32.45                   | 339.39          | 0.28                     | 33.79                  | 353.37          | 0.30                     | 32.00                  | 334.68          | 0.30                     | 33.47                  | 350.03          | 0.31                     |       |
| Lne Suriray-Abancay     | 89.72                   | 588.63                  | 2.44            | 90.13                    | 591.34                 | 2.42            | 112.90                   | 740.74                 | 2.42            | 112.23                   | 736.33                 | 2.53            |                          |       |
| Lne Suriray-Cotaruse    | 59.02                   | 387.19                  | 1.22            | 61.36                    | 402.54                 | 1.88            | 78.43                    | 514.57                 | 1.93            | 83.60                    | 548.49                 | 0.43            |                          |       |
| Lne Suriray-Collpani    | 22.02                   | 263.16                  | -0.06           | 21.83                    | 260.85                 | -0.05           | 22.54                    | 269.39                 | -0.07           | 22.76                    | 271.96                 | -0.07           |                          |       |
| Lne Suriray-Quillabamba | 32.88                   | 215.94                  | -0.52           | 33.35                    | 219.05                 | -0.73           | 76.74                    | 504.08                 | -1.02           | 77.49                    | 508.98                 | -0.87           |                          |       |
| Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.45                    | 34.82                   | -0.03           | 6.44                     | 34.75                  | -0.03           | 6.56                     | 35.44                  | -0.04           | 6.79                     | 36.68                  | -0.05           |                          |       |



**ANÁLISIS DE CONTINGENCIA – AÑO 2024**

| CASO          | LINEA DE TRANSMISION    | AVENIDA MAXIMA DEMANDA  |                  |                       | AVENIDA MINIMA DEMANDA |                 |                         | ESTIAJE MAXIMA DEMANDA |                 |                         | ESTIAJE MINIMA DEMANDA |                 |                       |       |
|---------------|-------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|-------|
|               |                         | CARGA (%)               | CORRIENTE I (kA) | CAIDA TENSION i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA TENSION N i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA TENSION N i-j (%) | CARGA (%)              | CORRIENTE I(kA) | CAIDA TENSION i-j (%) |       |
| SIN LINEA     | SALIDA L-1038           | ENLACE AB               | 40.50            | 307.82                | -0.01                  | 46.28           | 351.75                  | -0.01                  | 40.34           | 306.61                  | -0.01                  | 46.23           | 351.34                | -0.01 |
|               |                         | ENLACE CD               | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01            | 0.05                    | 0.00                   | 0.01            | 0.05                    | 0.00                   | 0.01            | 0.05                  | 0.00  |
|               |                         | Lne Suriray-Abancay     | 31.08            | 203.92                | 0.90                   | 21.63           | 141.91                  | 0.50                   | 51.51           | 337.92                  | 1.19                   | 42.17           | 276.65                | 0.55  |
|               |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 19.57            | 128.37                | -2.12                  | 13.63           | 89.42                   | -1.58                  | 36.97           | 242.54                  | -3.63                  | 33.25           | 218.14                | -2.20 |
|               |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 16.26            | 192.21                | 0.09                   | 25.23           | 298.35                  | -0.38                  | 27.55           | 325.74                  | 0.08                   | 26.02           | 307.70                | -0.77 |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.08            | 239.97                | -0.02                  | 19.97           | 238.64                  | -0.01                  | 22.91           | 273.80                  | -0.04                  | 20.10           | 240.17                | -0.02 |
|               | SALIDA L-2050           | Lne Suriray-Quillabamba | 33.17            | 217.90                | -0.57                  | 32.91           | 216.19                  | -0.42                  | 86.43           | 567.73                  | 0.58                   | 76.69           | 503.76                | 0.32  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.40             | 34.54                 | -0.02                  | 6.37            | 34.40                   | -0.02                  | 7.10            | 38.32                   | -0.03                  | 6.40            | 34.57                 | -0.02 |
|               |                         | ENLACE AB               | 41.04            | 311.92                | -0.02                  | 47.09           | 357.87                  | -0.02                  | 41.47           | 315.15                  | -0.02                  | 47.58           | 361.61                | -0.02 |
|               |                         | ENLACE CD               | 96.63            | 734.40                | 0.02                   | 102.50          | 779.02                  | 0.02                   | 98.12           | 745.72                  | 0.03                   | 103.80          | 788.86                | 0.03  |
|               |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 70.25            | 734.80                | -0.48                  | 74.52           | 779.40                  | -0.50                  | 71.36           | 746.33                  | -0.65                  | 75.47           | 789.41                | -0.64 |
|               |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 68.94            | 452.33                | -2.55                  | 59.96           | 393.42                  | -2.28                  | 89.20           | 585.24                  | -3.40                  | 91.60           | 600.96                | -2.73 |
| SIN LINEA     | SALIDA L-2059           | Lne Suriray-Quencoro    | 42.75            | 505.42                | 1.23                   | 50.20           | 593.49                  | 0.91                   | 56.92           | 672.94                  | 2.09                   | 57.72           | 682.44                | 0.44  |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.35            | 243.15                | -0.03                  | 20.25           | 241.96                  | -0.03                  | 21.57           | 257.80                  | -0.06                  | 21.13           | 252.53                | -0.05 |
|               |                         | Lne Suriray-Quillabamba | 33.67            | 221.17                | -0.78                  | 33.49           | 220.01                  | -0.71                  | 77.88           | 511.55                  | 1.04                   | 77.52           | 509.22                | 0.88  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.46             | 34.91                 | -0.03                  | 6.44            | 34.78                   | -0.02                  | 6.73            | 36.32                   | -0.04                  | 6.64            | 35.83                 | -0.04 |
|               |                         | ENLACE AB               | 41.26            | 313.58                | -0.02                  | 47.29           | 359.42                  | -0.02                  | 41.80           | 317.66                  | -0.02                  | 47.82           | 363.43                | -0.03 |
|               |                         | ENLACE CD               | 97.25            | 739.13                | 0.03                   | 103.01          | 782.88                  | 0.03                   | 98.99           | 752.31                  | 0.03                   | 104.38          | 793.29                | 0.03  |
|               | SALIDA SUR-QUEEN        | Lne Machupicchu-Suriray | 70.71            | 739.61                | -0.55                  | 74.89           | 783.34                  | -0.56                  | 71.99           | 753.01                  | -0.72                  | 75.90           | 793.90                | -0.69 |
|               |                         | Lne Suriray-Abancay     | 20.76            | 248.03                | -0.04                  | 70.13           | 460.10                  | 1.05                   | 104.72          | 687.02                  | 2.51                   | 104.44          | 685.19                | 2.22  |
|               |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 36.39            | 430.26                | 0.47                   | 44.67           | 528.17                  | 0.43                   | 49.26           | 582.38                  | 1.18                   | 51.41           | 607.87                | -0.11 |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 81.16            | 532.50                | 1.64                   | 20.54           | 245.45                  | -0.04                  | 22.33           | 266.90                  | -0.07                  | 21.60           | 258.10                | -0.06 |
|               |                         | Lne Suriray-Quillabamba | 34.34            | 225.57                | -1.00                  | 33.99           | 223.30                  | -0.89                  | 78.47           | 515.45                  | 1.28                   | 77.90           | 511.68                | 1.05  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.56             | 35.40                 | -0.03                  | 6.51            | 35.15                   | -0.03                  | 6.88            | 37.14                   | -0.05                  | 6.73            | 36.34                 | -0.04 |
| CON LINEAS    | SALIDA L-1038           | ENLACE AB               | 41.19            | 313.06                | -0.02                  | 47.36           | 359.92                  | -0.02                  | 41.73           | 317.18                  | -0.02                  | 48.06           | 365.25                | -0.03 |
|               |                         | ENLACE CD               | 97.06            | 737.66                | 0.02                   | 103.17          | 784.10                  | 0.03                   | 98.82           | 751.05                  | 0.03                   | 104.96          | 797.69                | 0.03  |
|               |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 70.57            | 738.12                | -0.53                  | 75.01           | 784.58                  | -0.57                  | 71.87           | 751.74                  | -0.70                  | 76.33           | 798.36                | -0.74 |
|               |                         | Lne Suriray-Abancay     | 85.94            | 563.83                | 1.85                   | 88.92           | 583.39                  | 1.69                   | 112.56          | 738.45                  | 2.85                   | 111.91          | 734.22                | 2.25  |
|               |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 61.24            | 401.76                | -3.23                  | 62.40           | 409.39                  | -2.75                  | 81.24           | 532.97                  | -4.00                  | 85.61           | 561.68                | -3.36 |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.62            | 246.41                | -0.04                  | 20.64           | 246.69                  | -0.04                  | 22.19           | 265.12                  | -0.07                  | 22.09           | 264.00                | -0.07 |
|               | SALIDA L-2050           | Lne Suriray-Quillabamba | 34.13            | 224.16                | -0.93                  | 34.16           | 224.41                  | -0.94                  | 78.36           | 514.69                  | 1.24                   | 78.28           | 514.21                | 1.21  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.53             | 35.24                 | -0.03                  | 6.53            | 35.27                   | -0.03                  | 6.85            | 36.98                   | -0.05                  | 6.83            | 36.88                 | -0.05 |
|               |                         | ENLACE AB               | 55.30            | 420.27                | 0.03                   | 55.06           | 418.45                  | 0.03                   | 59.06           | 448.89                  | 0.03                   | 55.49           | 421.74                | 0.03  |
|               |                         | ENLACE CD               | 0.01             | 0.05                  | 0.00                   | 0.01            | 0.05                    | 0.00                   | 0.01            | 0.06                    | 0.00                   | 0.01            | 0.05                  | 0.00  |
|               |                         | L.T. PROYECTADA         | 69.87            | 730.78                | 0.52                   | 74.08           | 774.82                  | 0.53                   | 74.69           | 781.24                  | 0.70                   | 74.58           | 780.08                | 0.64  |
|               |                         | Lne Suriray-Abancay     | 56.08            | 367.93                | 1.15                   | 48.30           | 316.88                  | 0.71                   | 77.66           | 509.52                  | 1.94                   | 69.06           | 453.08                | 1.10  |
| SALIDA L-2059 | Lne Suriray-Cotaruse    | 42.55                   | 279.14           | -2.73                 | 37.18                  | 243.92          | -2.20                   | 62.71                  | 411.44          | -3.03                   | 58.46                  | 383.51          | -2.47                 |       |
|               | Lne Suriray-Quencoro    | 26.90                   | 318.04           | 0.41                  | 36.50                  | 431.52          | 0.16                    | 34.52                  | 408.16          | 0.12                    | 37.62                  | 444.80          | -0.45                 |       |
|               | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.10                   | 240.16           | -0.02                 | 20.01                  | 239.13          | -0.02                   | 21.80                  | 260.45          | -0.05                   | 20.35                  | 243.16          | -0.03                 |       |
|               | Lne Suriray-Quillabamba | 33.21                   | 218.12           | -0.58                 | 33.02                  | 216.88          | -0.48                   | 81.42                  | 534.78          | 0.75                    | 76.90                  | 505.10          | 0.51                  |       |
|               | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.40                    | 34.57            | -0.02                 | 6.38                   | 34.43           | -0.02                   | 6.90                   | 37.24           | -0.03                   | 6.46                   | 34.91           | -0.03                 |       |
|               | ENLACE AB               | 3.13                    | 23.80            | 0.00                  | 1.53                   | 11.62           | 0.00                    | 3.22                   | 24.46           | 0.00                    | 1.50                   | 11.38           | 0.00                  |       |
| CON LINEAS    | SALIDA L-2050           | ENLACE CD               | 53.13            | 403.78                | 0.01                   | 56.28           | 427.69                  | 0.01                   | 53.99           | 410.35                  | 0.02                   | 57.02           | 433.37                | 0.02  |
|               |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 38.65            | 404.20                | -0.28                  | 40.93           | 428.10                  | -0.28                  | 39.29           | 410.99                  | -0.37                  | 41.49           | 433.95                | -0.36 |
|               |                         | L.T. PROYECTADA         | 31.65            | 331.04                | 0.28                   | 33.62           | 351.65                  | 0.30                   | 32.18           | 336.57                  | 0.38                   | 34.08           | 356.46                | 0.38  |
|               |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 68.91            | 452.13                | -2.48                  | 59.93           | 393.17                  | -2.21                  | 89.14           | 584.80                  | -3.31                  | 91.55           | 600.67                | -2.64 |
|               |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 42.73            | 505.19                | 1.27                   | 50.17           | 593.24                  | 0.94                   | 56.88           | 672.54                  | 2.12                   | 57.67           | 681.90                | 0.49  |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.30            | 242.59                | -0.03                  | 20.20           | 241.43                  | -0.03                  | 21.46           | 256.44                  | -0.06                  | 21.04           | 251.38                | -0.05 |
|               | SALIDA SUR-QUEEN        | Lne Suriray-Quillabamba | 33.59            | 220.63                | -0.75                  | 33.41           | 219.48                  | -0.68                  | 77.79           | 510.96                  | 1.00                   | 77.44           | 508.69                | 0.85  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.45             | 34.85                 | -0.03                  | 6.43            | 34.72                   | -0.02                  | 6.70            | 36.19                   | -0.04                  | 6.62            | 35.72                 | -0.04 |
|               |                         | ENLACE AB               | 3.13             | 23.77                 | 0.00                   | 1.52            | 11.59                   | 0.00                   | 3.21            | 24.43                   | 0.00                   | 1.49            | 11.34                 | 0.00  |
|               |                         | ENLACE CD               | 53.49            | 406.51                | 0.01                   | 56.57           | 429.91                  | 0.01                   | 54.50           | 414.17                  | 0.02                   | 57.36           | 435.93                | 0.02  |
|               |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 38.92            | 407.02                | -0.31                  | 41.15           | 430.38                  | -0.32                  | 39.67           | 414.90                  | -0.41                  | 41.74           | 436.57                | -0.39 |
|               |                         | L.T. PROYECTADA         | 31.87            | 333.35                | 0.32                   | 33.80           | 353.54                  | 0.33                   | 32.49           | 339.78                  | 0.42                   | 34.29           | 358.62                | 0.41  |
| CON LINEAS    | SALIDA L-2059           | Lne Suriray-Abancay     | 81.16            | 532.44                | 1.66                   | 70.11           | 459.95                  | 1.08                   | 104.66          | 686.67                  | 2.53                   | 104.41          | 684.99                | 2.25  |
|               |                         | Lne Suriray-Quencoro    | 36.36            | 429.94                | 0.51                   | 44.65           | 527.87                  | 0.47                   | 49.22           | 581.91                  | 1.21                   | 51.36           | 607.26                | -0.07 |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.68            | 247.18                | -0.04                  | 20.48           | 244.68                  | -0.04                  | 22.19           | 265.16                  | -0.07                  | 21.48           | 256.69                | -0.06 |
|               |                         | Lne Suriray-Quillabamba | 34.23            | 224.84                | -0.96                  | 33.89           | 222.60                  | -0.85                  | 78.36           | 514.71                  | 1.24                   | 77.80           | 511.06                | 1.01  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.54             | 35.32                 | -0.03                  | 6.49            | 35.07                   | -0.03                  | 6.85            | 36.98                   | -0.05                  | 6.71            | 36.22                 | -0.04 |
|               |                         | ENLACE AB               | 3.13             | 23.78                 | 0.00                   | 1.52            | 11.57                   | 0.00                   | 3.22            | 24.44                   | 0.00                   | 1.49            | 11.31                 | 0.00  |
|               | SALIDA SUR-QUEEN        | ENLACE CD               | 53.38            | 405.65                | 0.01                   | 56.66           | 430.61                  | 0.01                   | 54.40           | 413.45                  | 0.02                   | 57.69           | 438.45                | 0.02  |
|               |                         | Lne Machupicchu-Suriray | 38.83            | 406.14                | -0.30                  | 41.22           | 431.10                  | -0.32                  | 39.60           | 414.16                  | -0.40                  | 41.99           | 439.15                | -0.42 |
|               |                         | L.T. PROYECTADA         | 31.80            | 332.62                | 0.31                   | 33.86           | 354.13                  | 0.34                   | 32.43           | 339.17                  | 0.41                   | 34.49           | 360.74                | 0.43  |
|               |                         | Lne Suriray-Abancay     | 85.92            | 563.73                | 1.88                   | 88.89           | 583.22                  | 1.71                   | 112.51          | 738.13                  | 2.87                   | 111.85          | 733.84                | 2.28  |
|               |                         | Lne Suriray-Cotaruse    | 61.19            | 401.46                | -3.16                  | 62.35           | 409.08                  | -2.68                  | 81.16           | 532.48                  | -3.92                  | 85.54           | 561.21                | -3.27 |
|               |                         | Lne Suriray-Ccollpani   | 20.56            | 245.64                | -0.04                  | 20.57           | 245.84                  | -0.04                  | 22.05           | 263.47                  | -0.07                  | 21.95           | 262.28                | -0.07 |
| CON LINEAS    | SALIDA SUR-QUEEN        | Lne Suriray-Quillabamba | 34.02            | 223.47                | -0.90                  | 34.05           | 223.65                  | -0.91                  | 78.25           | 513.99                  | 1.19                   | 78.17           | 513.48                | 1.16  |
|               |                         | Lne Suriray-Vilcanota1  | 6.51             | 35.17                 | -0.03                  | 6.52            | 35.19                   | -0.03                  | 6.82            | 36.83                   | -0.05                  | 6.80            | 36.72                 | -0.05 |



## **Anexo D.5:**

### **Resultados de los Perfiles de Tensión – Análisis en Contingencia**



**PERFILES DE TENSION CONTINGENCIA- AÑO 2018**

| BARRA       | TENSION<br>KV | UNIDAD | MAXIMA DEMANDA   |                  |                  |                  |           |                  |                  |                  |                  |          |                  |                  |           |                  |                  |          |        |
|-------------|---------------|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|------------------|------------------|-----------|------------------|------------------|----------|--------|
|             |               |        | SIN LINEA        |                  |                  |                  | CON LINEA |                  |                  |                  | SIN LINEA        |          |                  |                  | CON LINEA |                  |                  |          |        |
|             |               |        | SALIDA<br>L-1038 | SALIDA<br>L-2050 | SALIDA<br>L-1038 | SALIDA<br>L-2050 | SUR-QUEN  | SALIDA<br>L-1038 | SALIDA<br>L-2050 | SALIDA<br>L-1038 | SALIDA<br>L-2050 | SUR-QUEN | SALIDA<br>L-1038 | SALIDA<br>L-2050 | SUR-QUEN  | SALIDA<br>L-1038 | SALIDA<br>L-2050 | SUR-QUEN |        |
| AVENIDA     |               |        | 138              | 140.05           | 138.19           | 137.76           | 137.49    | 138.66           | 138.19           | 137.73           | 137.47           | 139.33   | 137.76           | 137.40           | 137.06    | 137.99           | 137.84           | 137.48   | 137.15 |
|             |               |        | p.u.             | 1.01             | 1.00             | 1.00             | 1.00      | 1.00             | 1.01             | 1.00             | 1.00             | 1.00     | 1.01             | 1.00             | 1.00      | 0.99             | 1.00             | 1.00     | 1.00   |
| MACH 138 II |               |        | 138              | 140.03           | 138.13           | 137.69           | 137.42    | 138.70           | 138.17           | 137.71           | 137.45           | 139.31   | 137.69           | 137.33           | 136.99    | 138.02           | 137.82           | 137.46   | 137.13 |
|             |               |        | p.u.             | 1.01             | 1.00             | 1.00             | 1.00      | 1.01             | 1.00             | 1.00             | 1.00             | 1.00     | 1.01             | 1.00             | 1.00      | 0.99             | 1.00             | 1.00     | 1.00   |
| INCA138     |               |        | 138              | 134.11           | 131.33           | 131.70           | 128.97    | 134.09           | 131.52           | 131.93           | 131.20           | 137.01   | 135.50           | 135.57           | 134.44    | 136.82           | 135.62           | 135.77   | 134.56 |
|             |               |        | p.u.             | 0.97             | 0.95             | 0.95             | 0.93      | 0.97             | 0.96             | 0.96             | 0.96             | 0.96     | 0.96             | 0.99             | 0.98      | 0.98             | 0.97             | 0.98     | 0.98   |
| QUEN138     |               |        | 138              | 135.40           | 132.97           | 133.01           | 131.11    | 135.33           | 133.23           | 133.23           | 131.78           | 137.96   | 136.70           | 136.50           | 135.95    | 137.69           | 136.83           | 136.69   | 136.03 |
|             |               |        | p.u.             | 0.98             | 0.96             | 0.96             | 0.95      | 0.98             | 0.97             | 0.97             | 0.97             | 0.96     | 1.00             | 0.99             | 0.99      | 0.99             | 1.00             | 0.99     | 0.99   |
| SURIRAY138  |               |        | 138              | 137.41           | 137.44           | 136.89           | 136.54    | 137.97           | 137.81           | 137.29           | 136.98           | 136.78   | 137.08           | 136.62           | 136.19    | 137.32           | 137.49           | 137.08   | 136.70 |
|             |               |        | p.u.             | 1.00             | 1.00             | 0.99             | 0.99      | 1.00             | 1.00             | 0.99             | 0.99             | 0.99     | 0.99             | 0.99             | 0.99      | 0.99             | 1.00             | 1.00     | 0.99   |
| SURIRAY220  |               |        | 220              | 219.05           | 217.76           | 216.13           | 215.12    | 219.56           | 218.17           | 216.55           | 215.61           | 218.06   | 217.70           | 216.35           | 215.10    | 218.62           | 218.14           | 216.87   | 215.70 |
|             |               |        | p.u.             | 1.00             | 0.99             | 0.98             | 0.98      | 1.00             | 0.99             | 0.98             | 0.98             | 0.98     | 0.99             | 0.99             | 0.99      | 0.98             | 0.99             | 0.99     | 0.99   |
| COTARUSEZ20 |               |        | 220              | 220.67           | 220.55           | 221.07           | 220.08    | 221.55           | 220.58           | 221.08           | 220.21           | 218.99   | 219.73           | 219.78           | 219.39    | 220.68           | 219.79           | 219.84   | 219.51 |
|             |               |        | p.u.             | 1.00             | 1.00             | 1.00             | 1.00      | 1.01             | 1.00             | 1.00             | 1.00             | 1.00     | 1.00             | 1.00             | 1.00      | 1.00             | 1.00             | 1.00     | 1.00   |
| ABAN220     |               |        | 220              | 216.40           | 210.38           | 212.91           | 209.51    | 216.76           | 210.50           | 213.29           | 211.03           | 216.48   | 213.02           | 214.61           | 212.18    | 216.90           | 213.12           | 214.98   | 212.62 |
|             |               |        | p.u.             | 0.98             | 0.96             | 0.97             | 0.95      | 0.99             | 0.96             | 0.97             | 0.97             | 0.96     | 0.98             | 0.97             | 0.98      | 0.96             | 0.99             | 0.97     | 0.98   |
| QUEN220     |               |        | 220              | 218.97           | 214.35           | 214.54           | 216.16    | 218.71           | 214.76           | 214.94           | 216.32           | 220.66   | 217.89           | 217.74           | 221.01    | 219.84           | 218.15           | 218.06   | 221.09 |
|             |               |        | p.u.             | 1.00             | 0.97             | 0.98             | 0.98      | 0.99             | 0.98             | 0.98             | 0.98             | 0.98     | 1.00             | 0.99             | 0.99      | 1.00             | 1.00             | 0.99     | 0.99   |
| MACH        |               |        | 138              | 139.92           | 136.22           | 135.74           | 136.94    | 137.25           | 137.51           | 137.20           | 136.85           | 140.09   | 138.49           | 138.12           | 137.86    | 138.68           | 138.51           | 138.13   | 137.86 |
|             |               |        | p.u.             | 1.01             | 0.99             | 0.98             | 0.99      | 0.99             | 1.00             | 0.99             | 1.00             | 0.99     | 1.02             | 1.00             | 1.00      | 1.00             | 1.00             | 1.00     | 1.00   |
| MACH 138 II |               |        | 138              | 139.91           | 136.14           | 135.66           | 136.87    | 137.29           | 137.49           | 137.18           | 136.83           | 140.08   | 138.43           | 138.06           | 137.79    | 138.72           | 138.50           | 138.12   | 137.84 |
|             |               |        | p.u.             | 1.01             | 0.99             | 0.98             | 0.99      | 0.99             | 1.00             | 0.99             | 1.00             | 0.99     | 1.02             | 1.00             | 1.00      | 1.00             | 1.01             | 1.00     | 1.00   |
| INCA138     |               |        | 138              | 131.45           | 126.42           | 125.91           | 125.69    | 132.69           | 131.06           | 131.50           | 130.75           | 137.60   | 136.01           | 136.11           | 135.33    | 137.33           | 136.06           | 136.21   | 135.39 |
|             |               |        | p.u.             | 0.95             | 0.92             | 0.91             | 0.91      | 0.97             | 0.96             | 0.96             | 0.96             | 0.95     | 1.00             | 0.99             | 0.99      | 0.98             | 1.00             | 0.99     | 0.99   |
| QUEN138     |               |        | 138              | 132.83           | 127.81           | 127.21           | 128.49    | 132.01           | 130.70           | 130.86           | 131.52           | 138.52   | 137.24           | 137.04           | 136.68    | 138.20           | 137.29           | 137.14   | 136.73 |
|             |               |        | p.u.             | 0.96             | 0.93             | 0.92             | 0.93      | 0.96             | 0.95             | 0.95             | 0.95             | 0.96     | 1.00             | 0.99             | 0.99      | 0.99             | 1.00             | 0.99     | 0.99   |
| SURIRAY138  |               |        | 138              | 134.28           | 134.98           | 134.37           | 135.89    | 136.16           | 137.03           | 136.68           | 136.28           | 137.49   | 137.81           | 137.34           | 137.01    | 137.99           | 138.15           | 137.71   | 137.40 |
|             |               |        | p.u.             | 0.97             | 0.98             | 0.97             | 0.98      | 0.99             | 0.99             | 0.99             | 0.99             | 0.99     | 1.00             | 1.00             | 1.00      | 0.99             | 1.00             | 1.00     | 1.00   |
| SURIRAY220  |               |        | 220              | 214.07           | 210.57           | 208.79           | 213.20    | 214.38           | 215.73           | 214.65           | 213.40           | 219.19   | 218.77           | 217.39           | 216.40    | 219.53           | 219.00           | 217.65   | 216.68 |
|             |               |        | p.u.             | 0.97             | 0.96             | 0.95             | 0.97      | 0.97             | 0.98             | 0.98             | 0.98             | 0.97     | 1.00             | 0.99             | 0.99      | 0.98             | 1.00             | 1.00     | 0.99   |
| COTARUSEZ20 |               |        | 220              | 219.03           | 218.73           | 219.58           | 218.26    | 220.73           | 219.55           | 220.35           | 218.33           | 220.35   | 220.79           | 220.83           | 220.63    | 221.74           | 220.81           | 220.86   | 220.69 |
|             |               |        | p.u.             | 1.00             | 0.99             | 1.00             | 0.99      | 1.00             | 1.00             | 1.00             | 1.00             | 0.99     | 1.00             | 1.00             | 1.00      | 1.00             | 1.01             | 1.00     | 1.00   |
| ABAN220     |               |        | 220              | 212.12           | 206.86           | 205.41           | 204.97    | 211.76           | 208.39           | 210.07           | 211.15           | 217.65   | 213.99           | 215.47           | 213.64    | 217.78           | 213.99           | 215.66   | 213.85 |
|             |               |        | p.u.             | 0.96             | 0.94             | 0.93             | 0.93      | 0.96             | 0.95             | 0.95             | 0.95             | 0.95     | 0.99             | 0.97             | 0.98      | 0.97             | 0.99             | 0.97     | 0.98   |
| QUEN220     |               |        | 220              | 214.56           | 205.14           | 205.11           | 213.72    | 212.92           | 210.18           | 210.96           | 213.72           | 221.56   | 218.83           | 218.64           | 221.58    | 220.70           | 218.95           | 218.80   | 221.63 |
|             |               |        | p.u.             | 0.98             | 0.93             | 0.93             | 0.97      | 0.97             | 0.96             | 0.96             | 0.96             | 0.96     | 1.01             | 0.99             | 0.99      | 1.01             | 1.00             | 1.00     | 0.99   |







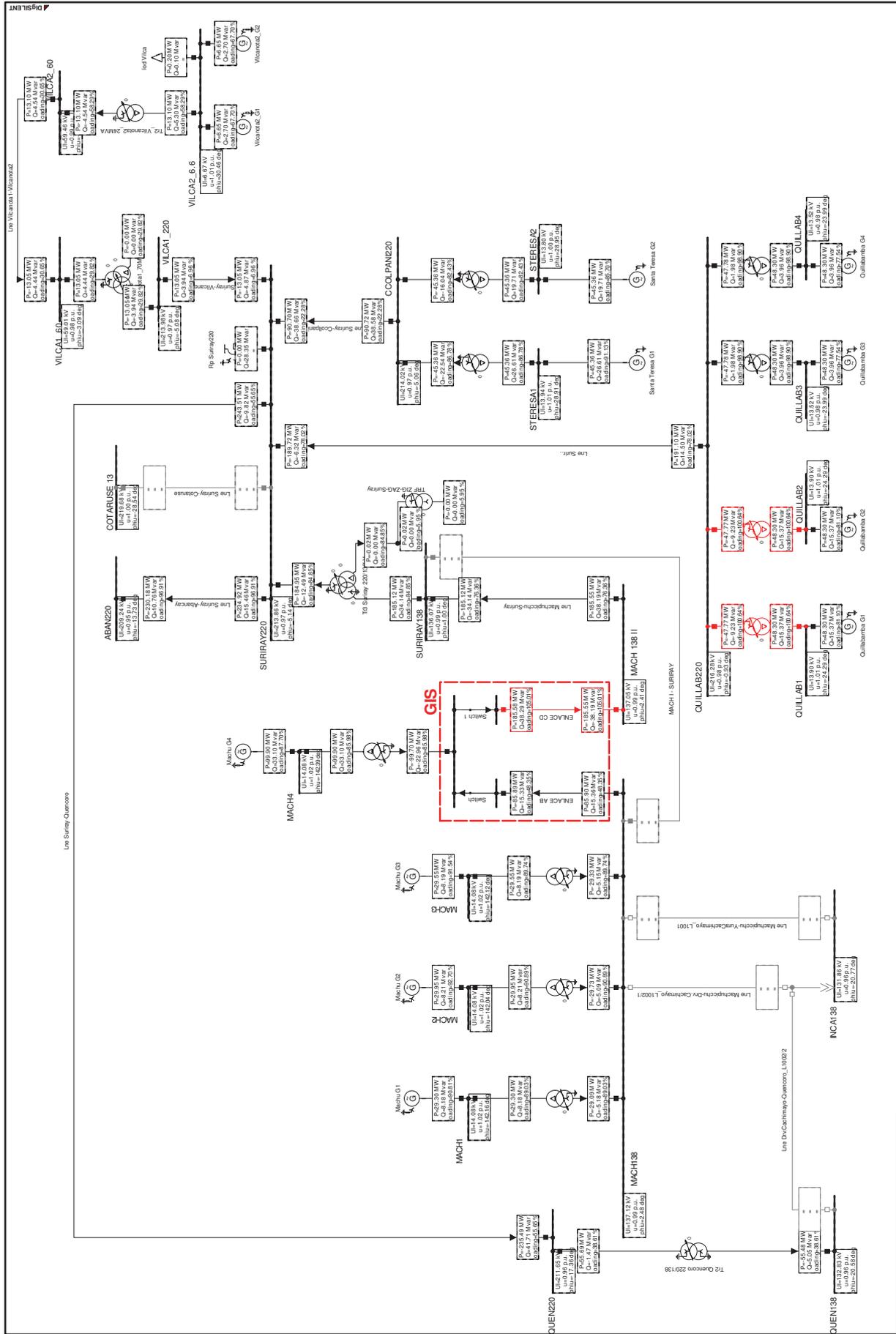
## PERFILES DE TENSION CONTINGENCIA - AÑO 2024

| BARRA       | DESCRIPCION | MAXIMA DEMANDA |        |               |                 |               |               |                 |               |               |                 |               |               | MINIMA DEMANDA  |               |         |        |               |                 |               |               |                 |               |               |                 |               |        |        |
|-------------|-------------|----------------|--------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------|--------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|--------|--------|
|             |             | SIN LINEA      |        |               |                 | CON LINEA     |               |                 |               | SIN LINEA     |                 |               |               | CON LINEA       |               |         |        | SIN LINEA     |                 |               |               | CON LINEA       |               |               |                 |               |        |        |
|             |             | TENSION        | UNIDAD | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 | TENSION | UNIDAD | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 | SALIDA L-1038 | SALIDA SUR-QUEN | SALIDA L-2059 |        |        |
| AVENIDA     | MACH138     | 138            | kV     | 139.82        | 137.94          | 137.60        | 136.49        | 138.24          | 137.94        | 137.58        | 136.11          | 139.82        | 137.94        | 137.60          | 136.49        | 138.24  | 137.94 | 137.58        | 136.11          | 139.82        | 137.94        | 137.60          | 136.49        | 138.24        | 137.94          | 137.58        | 136.11 |        |
|             |             |                | p.u.   | 1.01          | 1.00            | 1.00          | 0.99          | 1.00            | 1.00          | 0.99          | 1.01            | 0.99          | 1.01          | 0.99            | 1.00          | 0.99    | 1.00   | 0.99          | 1.00            | 0.99          | 1.01          | 0.99            | 1.00          | 0.99          | 1.00            | 0.99          | 1.00   | 0.99   |
|             |             |                | kV     | 139.81        | 137.89          | 137.54        | 136.41        | 138.27          | 137.92        | 137.56        | 136.09          | 139.81        | 137.89        | 137.54          | 136.41        | 138.27  | 137.92 | 137.56        | 136.09          | 139.81        | 137.89        | 137.54          | 136.41        | 138.27        | 137.92          | 137.56        | 136.09 | 139.81 |
|             | MACH138 II  | 138            | kV     | 133.65        | 130.88          | 131.44        | 122.15        | 133.20          | 130.94        | 131.52        | 130.02          | 133.65        | 130.88        | 131.44          | 122.15        | 133.20  | 130.94 | 131.52        | 130.02          | 133.65        | 130.88        | 131.44          | 122.15        | 133.20        | 130.94          | 131.52        | 130.02 | 133.65 |
|             |             |                | p.u.   | 0.97          | 0.95            | 0.95          | 0.89          | 0.97            | 0.95          | 0.95          | 0.94            | 0.97          | 0.95          | 0.95            | 0.89          | 0.97    | 0.95   | 0.95          | 0.94            | 0.97          | 0.95          | 0.95            | 0.89          | 0.97          | 0.95            | 0.95          | 0.94   | 0.97   |
|             |             |                | kV     | 135.15        | 132.84          | 133.05        | 124.35        | 134.69          | 132.90        | 133.13        | 132.12          | 135.15        | 132.84        | 133.05          | 124.35        | 134.69  | 132.90 | 133.13        | 132.12          | 135.15        | 132.84        | 133.05          | 124.35        | 134.69        | 132.90          | 133.13        | 132.12 | 135.15 |
|             | QUEN138     | 138            | p.u.   | 0.98          | 0.96            | 0.96          | 0.90          | 0.98            | 0.96          | 0.96          | 0.96            | 0.96          | 0.98          | 0.96            | 0.96          | 0.98    | 0.96   | 0.96          | 0.96            | 0.96          | 0.98          | 0.96            | 0.96          | 0.98          | 0.96            | 0.96          | 0.96   | 0.96   |
|             |             |                | kV     | 137.10        | 137.22          | 136.78        | 135.36        | 137.51          | 137.54        | 137.13        | 135.45          | 137.10        | 137.22        | 136.78          | 135.36        | 137.51  | 137.54 | 137.13        | 135.45          | 137.10        | 137.22        | 136.78          | 135.36        | 137.51        | 137.54          | 137.13        | 135.45 | 137.10 |
|             |             |                | p.u.   | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 1.00            | 1.00          | 0.99          | 0.98            | 0.99          | 0.98          | 0.99            | 0.98          | 1.00    | 1.00   | 0.99          | 0.98            | 0.99          | 0.98          | 0.99            | 0.98          | 1.00          | 1.00            | 0.99          | 0.98   | 0.99   |
|             | SURIRAY138  | 220            | kV     | 218.56        | 217.35          | 216.07        | 211.90        | 218.48          | 217.53        | 216.26        | 211.08          | 218.56        | 217.35        | 216.07          | 211.90        | 218.48  | 217.53 | 216.26        | 211.08          | 218.56        | 217.35        | 216.07          | 211.90        | 218.48        | 217.53          | 216.26        | 211.08 | 218.56 |
|             |             |                | p.u.   | 0.99          | 0.99            | 0.98          | 0.96          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.96            | 0.99          | 0.99          | 0.98            | 0.96          | 0.99    | 0.99   | 0.98          | 0.96            | 0.99          | 0.99          | 0.98            | 0.96          | 0.99          | 0.99            | 0.98          | 0.96   | 0.99   |
|             |             |                | kV     | 218.61        | 217.42          | 216.16        | 212.08        | 218.53          | 217.60        | 216.36        | 211.28          | 218.61        | 217.42        | 216.16          | 212.08        | 218.53  | 217.60 | 216.36        | 211.28          | 218.61        | 217.42        | 216.16          | 212.08        | 218.53        | 217.60          | 216.36        | 211.28 | 218.61 |
| CCOLPANIZ20 | 220         | p.u.           | 0.99   | 0.99          | 0.98            | 0.96          | 0.99          | 0.99            | 0.98          | 0.96          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.96            | 0.99          | 0.99    | 0.98   | 0.96          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.96            | 0.99          | 0.99          | 0.98            | 0.96          | 0.99   |        |
|             |             | kV             | 223.18 | 222.95        | 223.62          | 222.14        | 224.46        | 222.97          | 223.65        | 216.40        | 223.18          | 222.95        | 223.62        | 222.14          | 224.46        | 222.97  | 223.65 | 216.40        | 223.18          | 222.95        | 223.62        | 222.14          | 224.46        | 222.97        | 223.65          | 216.40        | 223.18 |        |
|             |             | p.u.           | 1.01   | 1.01          | 1.02            | 1.01          | 1.02          | 1.01            | 1.02          | 1.01          | 1.01            | 1.01          | 1.02          | 1.01            | 1.02          | 1.01    | 1.02   | 1.01          | 1.01            | 1.01          | 1.02          | 1.01            | 1.02          | 1.01          | 1.02            | 1.01          | 1.02   |        |
| COTARUSE20  | 220         | kV             | 216.56 | 211.67        | 212.52          | 206.14        | 215.95        | 211.71          | 212.66        | 209.98        | 216.56          | 211.67        | 212.52        | 206.14          | 215.95        | 211.71  | 212.66 | 209.98        | 216.56          | 211.67        | 212.52        | 206.14          | 215.95        | 211.71        | 212.66          | 209.98        | 216.56 |        |
|             |             | p.u.           | 0.98   | 0.96          | 0.97            | 0.94          | 0.98          | 0.96            | 0.96          | 0.95          | 0.98            | 0.96          | 0.97          | 0.94            | 0.98          | 0.96    | 0.96   | 0.95          | 0.98            | 0.96          | 0.97          | 0.94            | 0.98          | 0.96          | 0.96            | 0.95          | 0.98   |        |
|             |             | kV             | 218.31 | 214.53        | 214.92          | 201.13        | 217.48        | 214.64          | 215.03        | 214.91        | 218.31          | 214.53        | 214.92        | 201.13          | 217.48        | 214.64  | 215.03 | 214.91        | 218.31          | 214.53        | 214.92        | 201.13          | 217.48        | 214.64        | 215.03          | 214.91        | 218.31 |        |
| ABAN220     | 220         | p.u.           | 0.99   | 0.98          | 0.98            | 0.91          | 0.99          | 0.98            | 0.98          | 0.98          | 0.99            | 0.98          | 0.91          | 0.99            | 0.98          | 0.98    | 0.98   | 0.91          | 0.99            | 0.98          | 0.98          | 0.99            | 0.98          | 0.98          | 0.98            | 0.91          | 0.99   |        |
|             |             | kV             | 219.82 | 219.07        | 218.26          | 215.66        | 219.77        | 219.18          | 218.39        | 215.15        | 219.82          | 219.07        | 218.26        | 215.66          | 219.77        | 219.18  | 218.39 | 215.15        | 219.82          | 219.07        | 218.26        | 215.66          | 219.77        | 219.18        | 218.39          | 215.15        | 219.82 |        |
|             |             | p.u.           | 1.00   | 1.00          | 0.99            | 0.98          | 1.00          | 1.00            | 0.99          | 0.98          | 1.00            | 1.00          | 0.99          | 0.98            | 1.00          | 1.00    | 0.99   | 0.98          | 1.00            | 1.00          | 0.99          | 0.98            | 1.00          | 1.00          | 0.99            | 0.98          | 1.00   |        |
| VILC220     | 220         | kV             | 218.61 | 217.41        | 216.14          | 212.02        | 218.53        | 217.59          | 216.34        | 211.21        | 218.61          | 217.41        | 216.14        | 212.02          | 218.53        | 217.59  | 216.34 | 211.21        | 218.61          | 217.41        | 216.14        | 212.02          | 218.53        | 217.59        | 216.34          | 211.21        | 218.61 |        |
|             |             | p.u.           | 0.99   | 0.99          | 0.98            | 0.96          | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.96            | 0.99          | 0.99    | 0.99   | 0.98          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.99            | 0.99          | 0.99          | 0.98            | 0.99          | 0.99   |        |
|             |             | kV             | 139.82 | 137.10        | 136.73          | 136.80        | 145.45        | 137.06          | 136.67        | 136.74        | 140.04          | 139.82        | 137.10        | 136.73          | 136.80        | 145.45  | 137.06 | 136.67        | 136.74          | 140.04        | 139.82        | 137.10          | 136.73        | 136.80        | 145.45          | 137.06        | 136.67 | 136.74 |
| MACH138     | 138         | p.u.           | 1.01   | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 1.05          | 0.99            | 0.99          | 0.99          | 1.01            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 1.05          | 0.99    | 0.99   | 0.99          | 1.01            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 1.05          | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 1.01   |        |
|             |             | kV             | 139.80 | 137.03        | 136.65          | 136.72        | 145.50        | 137.04          | 136.65        | 136.72        | 140.02          | 139.80        | 137.03        | 136.65          | 136.72        | 145.50  | 137.04 | 136.65        | 136.72          | 140.02        | 139.80        | 137.03          | 136.65        | 136.72        | 145.50          | 137.04        | 136.65 | 136.72 |
|             |             | p.u.           | 1.01   | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 1.05          | 0.99            | 0.99          | 0.99          | 1.01            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 1.05          | 0.99    | 0.99   | 0.99          | 1.01            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 1.05          | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 1.01   |        |
| MACH138 II  | 138         | kV             | 136.78 | 128.92        | 129.40          | 129.68        | 140.27        | 130.00          | 130.52        | 129.99        | 136.78          | 133.13        | 133.02        | 132.90          | 135.65        | 133.13  | 133.02 | 132.90        | 135.65          | 133.13        | 133.02        | 132.90          | 135.65        | 133.13        | 133.02          | 132.90        | 135.65 |        |
|             |             | p.u.           | 0.99   | 0.93          | 0.94            | 0.94          | 1.02          | 0.95            | 0.95          | 0.95          | 0.99            | 0.99          | 0.96          | 0.96            | 0.98          | 0.97    | 0.96   | 0.96          | 0.98            | 0.97          | 0.96          | 0.96            | 0.98          | 0.97          | 0.96            | 0.96          | 0.98   |        |
|             |             | kV             | 137.77 | 130.45        | 130.62          | 131.53        | 141.67        | 130.54          | 130.74        | 131.57        | 137.77          | 137.77        | 134.66        | 134.72          | 136.72        | 134.72  | 134.66 | 134.72        | 136.72          | 134.72        | 134.66        | 134.72          | 136.72        | 134.72        | 134.66          | 134.72        | 136.72 |        |
| QUEN138     | 138         | p.u.           | 1.00   | 0.95          | 0.95            | 0.95          | 1.03          | 0.95            | 0.95          | 0.95          | 1.00            | 0.98          | 0.97          | 0.98            | 1.00          | 0.98    | 0.97   | 0.98          | 1.00            | 0.98          | 0.97          | 0.98            | 1.00          | 0.98          | 0.97            | 0.98          | 1.00   |        |
|             |             | kV             | 137.06 | 136.14        | 135.67          | 135.75        | 144.48        | 136.53          | 136.09        | 136.17        | 137.06          | 137.06        | 136.51        | 136.17          | 135.86        | 137.17  | 136.91 | 136.59        | 136.30          | 136.30        | 136.17        | 135.86          | 137.17        | 136.91        | 136.59          | 136.30        |        |        |
|             |             | p.u.           | 0.99   | 0.99          | 0.98            | 0.98          | 1.05          | 0.99            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 1.05          | 0.99    | 0.99   | 0.99          | 0.99            | 0.99          | 0.99          | 1.05            | 0.99          | 0.99          | 0.99            | 1.05          |        |        |
| SURIRAY220  | 220         | kV             | 218.50 | 214.21        | 212.82          | 213.07        | 228.49        | 214.44          | 213.06        | 213.31        | 218.50          | 214.21        | 212.82        | 213.07          | 228.49        | 214.44  | 213.06 | 213.31        | 218.50          | 214.21        | 212.82        | 213.07          | 228.49        | 214.44        | 213.06          | 213.31        | 218.50 |        |
|             |             | p.u.           | 0.99   | 0.97          | 0.97            | 0.97          | 1.04          | 0.97            | 0.97          | 0.97          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.97            | 1.04          | 0.97    | 0.97   | 0.97          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.97            | 1.04          | 0.97          | 0.97            | 0.97          | 1.04   |        |
|             |             | kV             | 218.55 | 214.34        | 212.98          | 213.23        | 228.58        | 214.56          | 213.22        | 213.46        | 218.55          | 214.34        | 212.98        | 213.23          | 228.58        | 214.56  | 213.22 | 213.46        | 218.55          | 214.34        | 212.98        | 213.23          | 228.58        | 214.56        | 213.22          | 213.46        | 218.55 |        |
| CCOLPANIZ20 | 220         | p.u.           | 0.99   | 0.97          | 0.97            | 0.97          | 1.04          | 0.98            | 0.97          | 0.97          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.97            | 1.04          | 0.98    | 0.97   | 0.97          | 0.99            | 0.99          | 0.98          | 0.97            | 1.04          | 0.98          | 0.97            | 0.97          | 1.04   |        |
|             |             | kV             | 223.34 | 221.68        | 222.71          | 221.88        | 235.15        | 221.72          | 222.74        | 221.93        | 223.34          | 221.68        | 222.71        | 221.88          | 235.15        | 221.72  | 222.74 | 221.93        | 223.34          | 221.68        | 222.71        | 221.88          | 235.15        | 221.72        | 222.74          | 221.93        | 223.34 |        |
|             |             | p.u.           | 1.02   | 1.01          | 1.01            | 1.01          | 1.07          | 1.01            | 1.01          | 1.01          | 1.02            | 1.01          | 1.01          | 1.01            | 1.07          | 1.01    | 1.01   | 1.01          | 1.02            | 1.01          | 1.01          | 1.01            | 1             |               |                 |               |        |        |



## **Anexo D.6:**

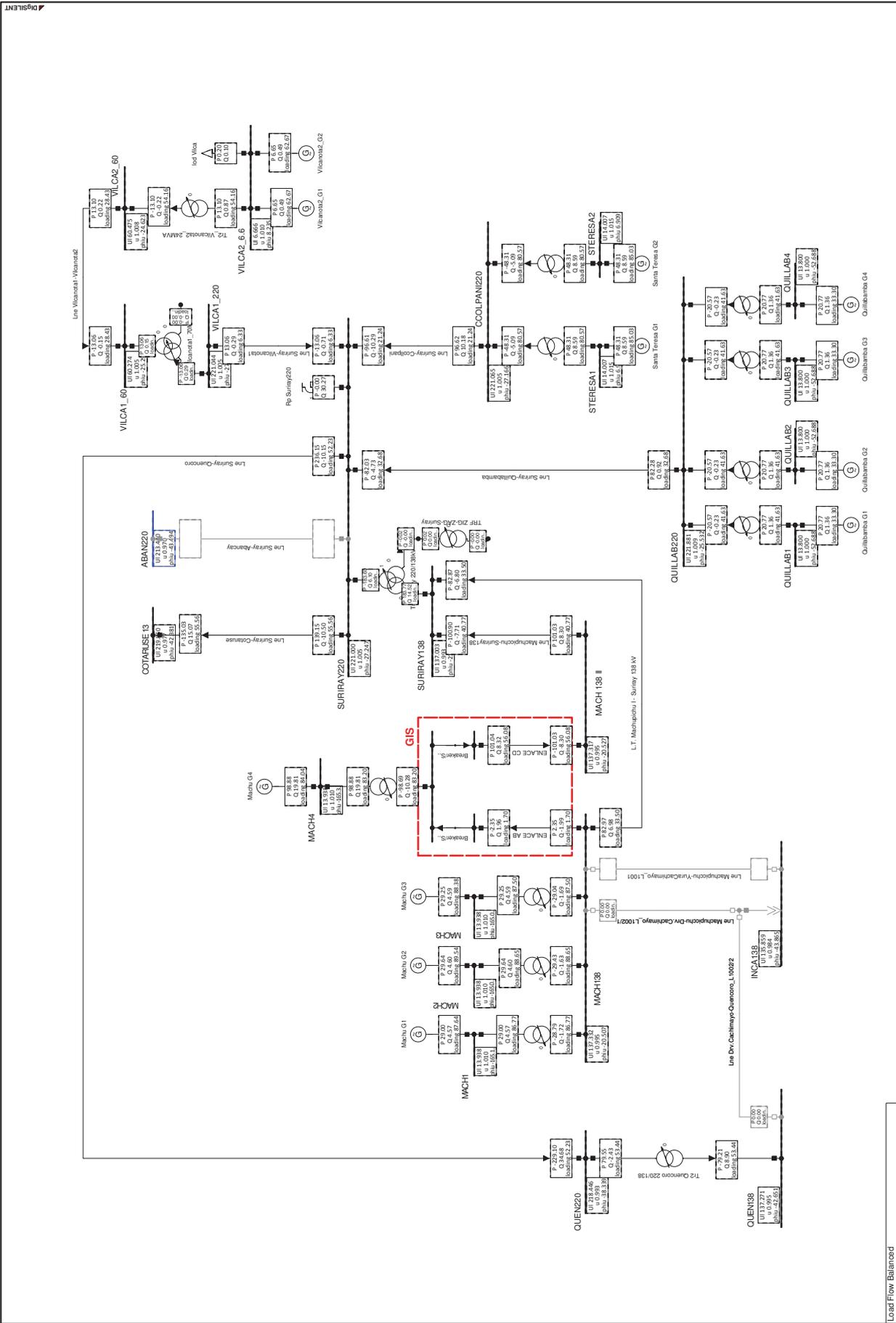
### **Diagramas Unifilares – Análisis en Contingencia**



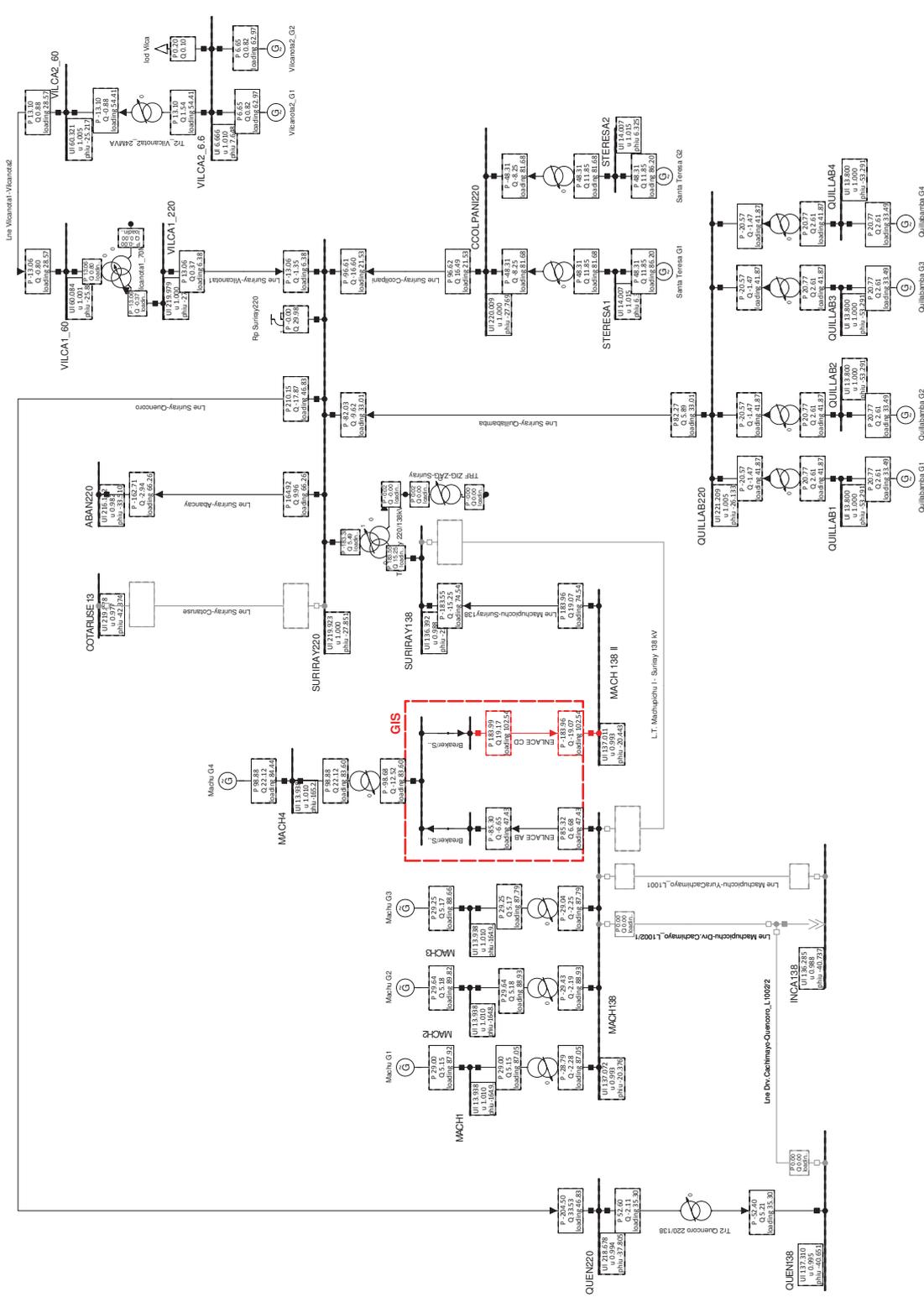
| Load Flow Balance | Branches                     |
|-------------------|------------------------------|
| Nodes             | Line-Voltage, Magnitude [kV] |
|                   | Active Power [MW]            |
|                   | Voltage, Magnitude [p.u.]    |
|                   | Reactive Power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

|                     |   |
|---------------------|---|
|                     | UNSAAC-FHEEM<br>FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2020<br>EST. MINIMA<br>SIN L.T. PROYEC. Y SALIDA L-2059 |
| PowerFactory 15.1.7 | Project: TESIS<br>Graphic: A05E N°13<br>Date: 5/30/2016<br>Annex:                               |



| Load Flow Balanced                |                       | Branches  |  |
|-----------------------------------|-----------------------|---|--|
| Nodes                             |                       |   |  |
| Line-Line Voltage, Magnitude [kV] | Active Power [MW]     |   |  |
| Voltage, Magnitude [p.u.]         | Reactive Power [Mvar] |   |  |
| Voltage, Angle [deg]              | Loading [%]           |   |  |
| UNSAAC - FREEM                    |                       | Project: TESIS  |  |
| FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2022      |                       | Graphic: AOSE N°13  |  |
| AV. MINIMA                        |                       | Date: 5/31/2016   |  |
| CON.L.T. PROYEC Y SALIDA L-2050   |                       | Annex:  |  |
| PowerFactory 15.1.7               |                       |  |  |



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

|                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
|                     | UNSAAC - FREEM                  |
|                     | FLUJO DE POTENCIA - AÑO 2022    |
| PowerFactory 15.1.7 | SIN L.T. PROYEC Y SALIDA L-2059 |

|                    |
|--------------------|
| Project: TESIS     |
| Graphic: AOSE N°13 |
| Date: 5/31/2016    |
| Annex:             |





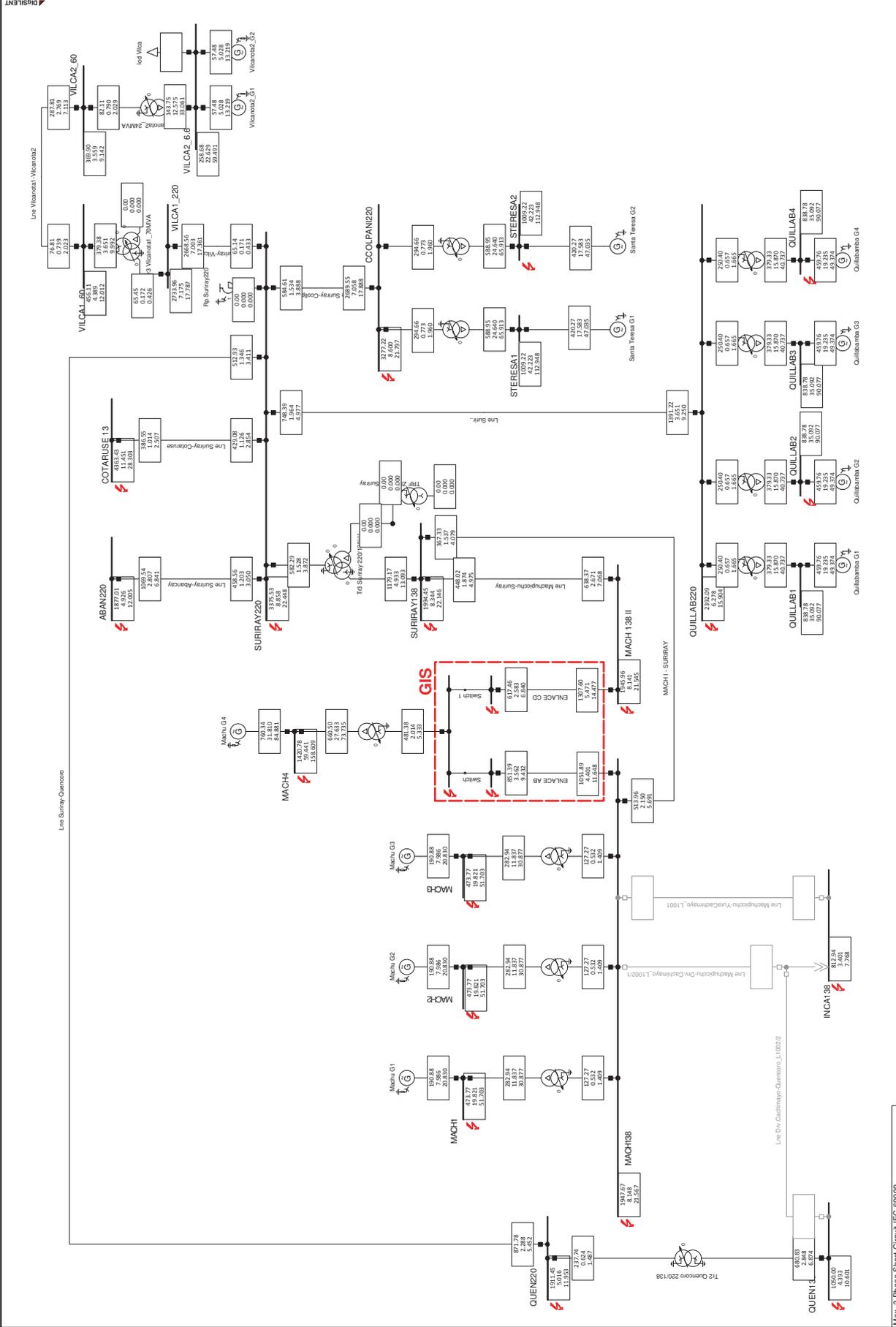
## **Anexo D.7:**

### Diagramas Unifilares – Análisis de Cortocircuito









|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <b>Max. 3-Phase Short-Circuit IEC 60909</b><br>Short-Circuit Nodes<br>Branches<br>Initial Short-Circuit Power [MVA]<br>Initial Short-Circuit Current [kA]<br>Initial Short-Circuit Current [kA]<br>Peak Short-Circuit Current [kA] |  | UNISAAC-FIEIM<br>ANALISIS DE CORTOCIRCUITO TRIFASICO - AÑO 2024<br>EST. MINIMO<br>CON LT. MACHUPICCHU I - SURIRAY | Project: TESIS<br>Graphic: A05E N13<br>Date: 5/30/2016<br>Annex: |
| PowerFactory 15.1.7  |  |                                |  |