

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Diseño y selección de equipos del sistema de servicios auxiliares  
AC y DC para una subestación de 60 kV**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Electricista

Elaborado por

Jorge Eduardo Mañuico Guerra

 [0009-0001-6942-9943](https://orcid.org/0009-0001-6942-9943)

Asesor

Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva

 [0000-0002-3335-0926](https://orcid.org/0000-0002-3335-0926)

LIMA – PERÚ

2024

|                              |                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Citar/How to cite            | Mañuico Guerra [1]                                                                                                                                                                                                                     |
| Referencia/Reference         | [1] J. Mañuico Guerra, " <i>Diseño y selección de equipos del sistema de servicios auxiliares AC y DC para una subestación de 60 kV</i> " [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024. |
| Estilo/Style:<br>IEEE (2020) |                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Citar/How to cite              | (Mañuico, 2024)                                                                                                                                                                                                                                          |
| Referencia/Reference           | Mañuico, J. (2024). <i>Diseño y selección de equipos del sistema de servicios auxiliares AC y DC para una subestación de 60 kV</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI. |
| Estilo/Style:<br>APA (7ma ed.) |                                                                                                                                                                                                                                                          |

### ***Dedicatoria***

*Dedicado a mis padres por sus consejos y el apoyo incondicional que me dieron para poder lograr este objetivo. En especial, a Ana María, por su amor y apoyo incondicional en la etapa más difícil de mi vida. Siempre estarás en mi corazón.*

## **Resumen**

En los próximos años, debido al incremento de la demanda eléctrica en el sector de Lima Este, se presentarán problemas de confiabilidad y sobrecarga de líneas de transmisión de alta tensión en el área de influencia, que traerían como consecuencia el racionamiento de carga perjudicando a los usuarios de la zona de Ñaña y Santa Clara. Con la finalidad de corregir estos problemas futuros, se implementó una nueva subestación de alta tensión en 60 kV en la zona de Carapongo, en Chosica, Lima, para garantizar la fiabilidad del sistema eléctrico; ya que implicará una reducción de los cortes de energía eléctrica generados por fallas en el sistema de transmisión involucrado. Para la operación adecuada de la subestación es necesario garantizar el suministro continuo de energía hacia las cargas críticas, especialmente aquellas relacionadas con los sistemas de protección y control, además de equipos contra incendios, aire acondicionado, iluminación y otras cargas complementarias que son alimentadas desde los Servicios Auxiliares de la subestación. En el presente informe, se expondrá el procedimiento para el diseño, cálculo, selección de equipamiento e implementación de los Servicios Auxiliares AC y DC de una subestación eléctrica en 60 kV, cuyo dimensionamiento correcto es importante para garantizar una operación confiable. Se concluye que una adecuada implementación de los servicios auxiliares de la subestación garantizará un suministro eléctrico estable en la zona este de Lima.

Palabras clave – Máxima demanda, confiabilidad, flexibilidad, operación desatendida.

## **Abstract**

In the coming years, due to the increase in electrical demand in the Eastern Lima sector, there will be problems of reliability and overloading of high voltage transmission lines in influence area, which would result in load shedding harming consumers users in the Ñaña and Santa Clara areas. In order to correct these future problems, a new high voltage substation in 60 kV was implemented in the area of Carapongo, Chosica – Lima to guarantee the reliability of the electrical system; since it will imply a reduction in electrical power outages generated by failures in the transmission system involved. For the proper operation of the substation, it is necessary to ensure the continuous supply of energy to critical loads, especially those related to protection and control systems, in addition to firefighting equipment, air conditioning, lighting, and other complementary loads that fed from the substation's auxiliary services. In this paper, the procedure for designing, calculating, selecting equipment, and implementing of the AC and DC auxiliary services of an electrical substation in 60kV will be explained, whose correct sizing is important to guarantee reliable operation. It is concluded that an adequate implementation of the auxiliary services of the substation will guarantee a stable electricity supply in the eastern area of Lima.

Keywords – maximum demand, reliability, flexibility, unattended operation.

## Tabla de Contenido

|                                                                      | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| Resumen.....                                                         | iv   |
| Abstract.....                                                        | v    |
| Introducción.....                                                    | xiii |
| Capítulo I . Parte Introductoria del Trabajo .....                   | 1    |
| 1.1. Generalidades.....                                              | 1    |
| 1.2. Descripción del problema de investigación.....                  | 1    |
| 1.2.1.Situación problemática .....                                   | 1    |
| 1.2.2.Problema a resolver .....                                      | 5    |
| 1.3. Objetivos del estudio .....                                     | 6    |
| 1.3.1.Objetivo general .....                                         | 6    |
| 1.3.2.Objetivos específicos .....                                    | 7    |
| 1.3.3.Indicadores de logro de los objetivos.....                     | 7    |
| 1.4. Antecedentes investigativos .....                               | 8    |
| Capítulo II . Marco teórico y conceptual.....                        | 10   |
| 2.1. Marco teórico .....                                             | 10   |
| 2.1.1.Fuentes de alimentación de servicios auxiliares .....          | 10   |
| 2.1.2.Configuraciones de servicios auxiliares de subestaciones ..... | 13   |
| 2.1.3.Equipos del sistema de servicios auxiliares.....               | 21   |
| 2.1.4.Transformador de servicios auxiliares .....                    | 23   |
| 2.1.5.Banco de baterías .....                                        | 30   |
| 2.1.6.Cargador rectificador .....                                    | 38   |
| 2.1.7.Grupo electrógeno de emergencia .....                          | 46   |
| 2.2. Marco conceptual .....                                          | 51   |
| 2.2.1.Normas de diseño .....                                         | 51   |
| 2.2.2.Niveles y límites de tensión .....                             | 52   |
| 2.2.1.Análisis de cargas .....                                       | 56   |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.2. Dimensionamiento de cables.....                           | 61  |
| 2.2.3. Cálculo de la corriente de cortocircuito.....             | 67  |
| 2.2.4. Dimensionamiento del transformador de SS.AA.....          | 70  |
| 2.2.5. Dimensionamiento del grupo electrógeno .....              | 71  |
| 2.2.6. Dimensionamiento del banco de baterías.....               | 72  |
| 2.2.7. Dimensionamiento del cargador rectificador.....           | 79  |
| Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....      | 81  |
| 3.1. Descripción del proyecto.....                               | 81  |
| 3.1.1. Antecedentes.....                                         | 81  |
| 3.1.2. Ubicación del proyecto.....                               | 82  |
| 3.1.3. Características generales del proyecto .....              | 83  |
| 3.1.1. Descripción del trabajo de suficiencia .....              | 85  |
| 3.2. Especificaciones de diseño de servicios auxiliares.....     | 86  |
| 3.2.1. Premisas de diseño.....                                   | 86  |
| 3.2.2. Configuración del sistema.....                            | 87  |
| 3.2.3. Determinación de tableros de servicios auxiliares.....    | 90  |
| 3.2.4. Cálculo de la demanda .....                               | 96  |
| 3.2.5. Selección del transformador de servicios auxiliares ..... | 103 |
| 3.2.6. Selección del grupo electrógeno de emergencia.....        | 104 |
| 3.2.7. Selección del banco de baterías .....                     | 105 |
| 3.2.8. Selección del cargador rectificador .....                 | 108 |
| 3.2.9. Determinación de los niveles de cortocircuito.....        | 109 |
| 3.2.10. Cálculo de conductores.....                              | 112 |
| 3.2.11. Selección de Interruptores .....                         | 114 |
| 3.3. Especificaciones de fabricación de los equipos.....         | 118 |
| 3.3.1. Tableros de servicios auxiliares .....                    | 118 |
| 3.3.2. Transformador de servicios auxiliares .....               | 119 |
| 3.3.3. Grupo electrógeno .....                                   | 121 |

|                                                       |     |
|-------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.4. Bancos de baterías .....                       | 123 |
| 3.3.5. Cargador rectificador.....                     | 125 |
| Capítulo IV . Análisis y discusión de resultados..... | 128 |
| Conclusiones.....                                     | 133 |
| Referencias bibliográficas.....                       | 135 |
| Anexos .....                                          | 138 |

## Lista de Tablas

|                                                                                   | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1: Indicadores de logro.....                                                | 7    |
| Tabla 2: Valores recomendados de potencia nominal de transformadores .....        | 25   |
| Tabla 3: Cuadro comparativo de tipos de transformadores .....                     | 27   |
| Tabla 4: Cuadro comparativo de cargadores rectificadores .....                    | 46   |
| Tabla 5: Cuadro comparativo de eficiencia de grupos electrógenos .....            | 49   |
| Tabla 6: Clasificación de cargas según ISO 8528.....                              | 50   |
| Tabla 7: Cuadro de tolerancias de voltaje y frecuencia según ISO 8528.....        | 50   |
| Tabla 8: Tensiones nominales de corriente continua según norma IEC .....          | 53   |
| Tabla 9: Tensiones nominales de corriente alterna según norma IEC .....           | 53   |
| Tabla 10: Tensiones nominales de corriente continua según norma ANSI/IEEE.....    | 54   |
| Tabla 11: Tensiones nominales de corriente alterna según norma ANSI/IEEE .....    | 54   |
| Tabla 12: Límites de tensión admisibles según norma ANSI/IEEE.....                | 55   |
| Tabla 13: Factores de simultaneidad para tableros de distribución .....           | 59   |
| Tabla 14: Factores de simultaneidad de acuerdo con la función del circuito .....  | 60   |
| Tabla 15: Valores típicos de impedancia de cortocircuito de transformadores ..... | 68   |
| Tabla 16: Tensiones características de baterías en volt por celda .....           | 73   |
| Tabla 17: Corrección del tamaño de celdas por factor de temperatura .....         | 78   |
| Tabla 18: Factores de corrección por temperatura y altitud.....                   | 80   |
| Tabla 19: Coordenadas UTM de SE Portillo 60 kV .....                              | 83   |
| Tabla 20: Características generales de líneas de transmisión .....                | 84   |
| Tabla 21: Características generales de subestación Portillo 60 kV .....           | 85   |
| Tabla 22: Cuadro de cargas del tablero general de distribución 380/220 Vac.....   | 91   |
| Tabla 23: Cuadro de cargas del tablero de cargas esenciales 380/220 Vac .....     | 92   |
| Tabla 24: Cuadro de cargas del tablero de alimentación de celdas GIS .....        | 92   |
| Tabla 25: Cuadro de cargas barra n°1 del tablero de SS.AA. 110 Vdc .....          | 94   |
| Tabla 26: Cuadro de cargas barra n°2 del tablero de SS.AA. 110 Vdc .....          | 95   |

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 27: Máximas demandas - tablero general de servicios auxiliares..... | 97  |
| Tabla 28: Máximas demandas - tablero de transferencia automática .....    | 98  |
| Tabla 29: Máximas demandas - tablero de distribución celdas GIS.....      | 99  |
| Tabla 30: Máximas demandas - tablero de SS. AA. 110 Vdc barra n°1 .....   | 100 |
| Tabla 31: Máximas demandas - tablero de SS. AA. 110 Vdc barra n°2 .....   | 101 |
| Tabla 32: Cuadro general de demanda por tablero.....                      | 103 |

## Lista de Figuras

|                                                                                   | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1: Área de demanda 7 .....                                                 | 2    |
| Figura 2: Sistema de transmisión 220 kV en área de demanda 7 .....                | 3    |
| Figura 3: Sistema de transmisión 60 kV en área de demanda 7 .....                 | 4    |
| Figura 4: Esquema de conexión de S.E. Portillo 60 kV en área de demanda 7 .....   | 5    |
| Figura 5: Configuración de S.E. Portillo 60 kV .....                              | 6    |
| Figura 6: Esquema radial simple .....                                             | 14   |
| Figura 7: Esquema radial doble .....                                              | 15   |
| Figura 8: Esquema con alimentador de reserva .....                                | 15   |
| Figura 9: Esquema de barras acopladas con un solo alimentador .....               | 16   |
| Figura 10: Esquemas de barras acopladas con dos alimentadores .....               | 17   |
| Figura 11: Esquemas de barras acopladas con dos alimentadores y dos grupos .....  | 18   |
| Figura 12: Esquema con un solo cargador y un banco de baterías .....              | 19   |
| Figura 13: Barra de distribución seccionada con dos cargadores .....              | 20   |
| Figura 14: Barra de distribución seccionada con dos cargadores y dos bancos ..... | 20   |
| Figura 15: Transformador sumergido en aceite .....                                | 25   |
| Figura 16: Transformador seco encapsulado en resina .....                         | 26   |
| Figura 17: Conexión de los devanados del transformador de SS.AA. ....             | 28   |
| Figura 18: Componentes de las baterías de plomo-ácido .....                       | 31   |
| Figura 19: Banco de baterías de plomo-acido ventiladas .....                      | 33   |
| Figura 20: Banco de baterías de plomo-ácido selladas .....                        | 34   |
| Figura 21: Componentes de las baterías de níquel-cadmio .....                     | 35   |
| Figura 22: Banco de baterías de níquel-cadmio .....                               | 36   |
| Figura 23: Rectificador monofásico de media onda .....                            | 40   |
| Figura 24: Rectificador trifásico de media onda .....                             | 40   |
| Figura 25: Rectificador monofásico de onda completa .....                         | 41   |
| Figura 26: Rectificador trifásico de onda completa .....                          | 41   |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 27: Tablero cargador rectificador tiristorizado .....         | 43  |
| Figura 28: Tablero cargador rectificador de fuente conmutada .....   | 45  |
| Figura 29: Grupo electrógeno encapsulado .....                       | 47  |
| Figura 30: Diagrama de ciclo de trabajo de una batería.....          | 73  |
| Figura 31: Curva hipotética de capacidad de celdas de baterías ..... | 77  |
| Figura 32: Esquema unifilar del proyecto.....                        | 82  |
| Figura 33: Ubicación del proyecto.....                               | 82  |
| Figura 34: Diagrama unifilar de servicios auxiliares AC .....        | 89  |
| Figura 35: Diagrama unifilar de servicios auxiliares DC .....        | 90  |
| Figura 36: Cable de baja tensión N2XOH unipolar 0,6/1 kV .....       | 113 |
| Figura 37: Cable de baja tensión N2XOH multiconductor 0,6/1 kV ..... | 114 |
| Figura 38: Curva característica de interruptores en DC .....         | 115 |

## **Introducción**

El papel que desempeñan las subestaciones es clave en el funcionamiento del sistema eléctrico de potencia, ya que posibilitan la modificación de las características fundamentales de la energía eléctrica. Pueden ser reductoras o elevadoras de tensión, o pueden permitir realizar maniobras para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico. Los servicios auxiliares están compuestos por equipos en corriente alterna (AC) y corriente continua (DC) de baja tensión para alimentar los sistemas de control, señalización, protección, alumbrado, alarmas, entre otros sistemas complementarios de la subestación. Es importante el diseño correcto de los servicios auxiliares, ya que estos garantizan la operación confiable de la subestación.

En el presente informe se desarrolla el procedimiento para el diseño de los servicios auxiliares de una subestación de alta tensión en 60kV, se realiza la adecuada selección de la configuración del sistema, cálculo y selección del equipamiento. Asimismo, las pruebas para puesta en operación de los servicios auxiliares, de tal manera que garanticen una operación confiable y segura.

El presente informe está estructurado en los siguientes 4 capítulos:

En el capítulo 1, Parte introductoria del trabajo, se explican las generalidades del trabajo, la descripción del problema y los objetivos generales y específicos.

En el capítulo 2, Marcos teórico y conceptual, incluye los aspectos teóricos a tomar en cuenta en el presente trabajo.

En el capítulo 3, Desarrollo del trabajo de investigación, se explica la metodología para obtener un desarrollo de servicios auxiliares en una subestación de 60 kV.

En el capítulo 4, Análisis y discusión de los resultados, se realiza un análisis de los datos obtenidos y su interpretación.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1. Generalidades

Los servicios auxiliares son el grupo de equipos que forman parte en el funcionamiento de las subestaciones eléctricas, que distribuyen la corriente continua a los equipos de protección, control y supervisión de estas, así como los servicios complementarios en corriente alterna (iluminación, aire acondicionado, sistema contraincendios, etc.). Además, son indispensables para el funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia, porque aseguran la óptima condición del suministro y complementan los servicios primarios de la subestación.

La importancia de realizar este trabajo es dar a conocer la metodología para el diseño y cálculo de los servicios auxiliares requeridos para una subestación eléctrica en alta tensión 60 kV, siguiendo las recomendaciones establecidas en las normas de diseño internacionales IEC e IEEE/ANSI y verificando que se cumplan los requisitos y criterios establecidos por los organismos nacionales como Osinergmin y COES.

## 1.2. Descripción del problema de investigación

### 1.2.1. *Situación problemática*

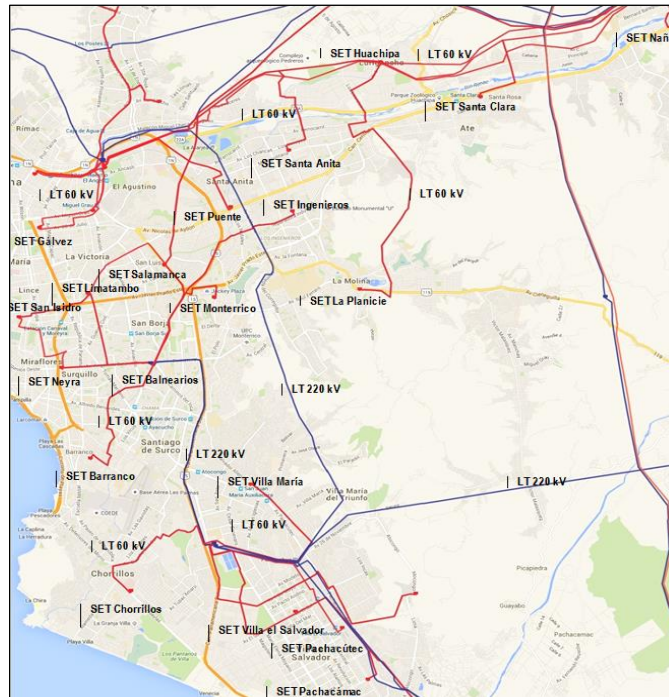
El crecimiento de la demanda, ingreso de nuevos proyectos y modificaciones sobre las instalaciones existentes del SEIN; ya sean centrales eléctricas, subestaciones, líneas de transmisión y/o equipos genera cambios importantes en la topología de la red eléctrica en las áreas de demanda eléctrica del SEIN.

De acuerdo con los lineamientos de la Ley de Concesiones Eléctricas, se define como Área de Demanda al agrupamiento de todos los sistemas eléctricos de las instalaciones de transmisión, que deberá ser reconocido por todos los usuarios libres y regulados del sistema interconectado, según la distribución de las regiones geográficas del Perú y las áreas de concesión de las empresas de distribución eléctrica. El SEIN está dividido en un total de 14 Áreas de Demanda; el área de Demanda 7 comprende los

sistemas eléctricos de Lima Sur y Cañete (Lunahuaná), tal y como se puede notar en la figura 1.

**Figura 1**

*Área de demanda 7*



*Nota:* adaptado del Informe Osinergmin N°058-2020-GRT. Revisión y Aprobación del Plan de Inversiones en Transmisión 2021-2025 para el Área de Demanda 7.

Las empresas titulares de los sistemas de transmisión en dicha Área de Demanda son las siguientes: Luz del Sur S.A.A, Consorcio Transmantaro S.A., Red de Energía del Perú S.A. y Conelsur LT S.A.C.

Los titulares de los sistemas de transmisión están obligados a realizar la evaluación y diagnóstico de sus instalaciones eléctricas en el corto y mediano plazo a fin de garantizar que los cambios en la topología del sistema de potencia (por incremento de la demanda, ingreso de nuevos proyectos y/o modificación de instalaciones existentes) no pongan en riesgo la operación normal de los elementos de transmisión, ni afecten el suministro de energía de los usuarios libres y regulados del SEIN.

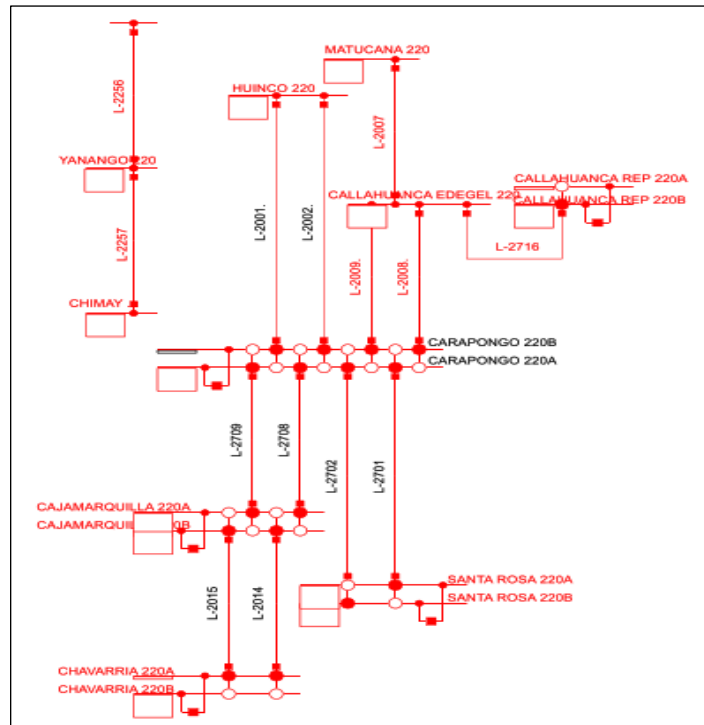
De los resultados de los estudios eléctricos de operación a mediano plazo, elaborados para el Área de Demanda 7, se observa que debido al crecimiento de la

demanda en los siguientes años se producirán problemas de sobrecargas en algunas líneas de transmisión, tanto en estado de operación normal como en estado de operación en contingencia, lo cual repercutirá directamente sobre los usuarios finales, que genera rechazo de carga y la consecuente interrupción de suministro de la demanda conectada en las subestaciones Santa Clara y Ñaña 60 kV.

La zona donde se concentra el problema abarca una franja entre las subestaciones Huachipa, Santa Clara, Ñaña y Huampaní (zona este de Lima). Dicha franja tiene 6 líneas en 60kV, que vienen desde las subestaciones Callahuanca y Moyopampa hasta las subestaciones Huachipa, Santa Rosa y Salamanca; además de 4 líneas en 220 kV, que vienen desde las subestaciones Huinco y Callahuanca hasta la subestación Carapongo, para luego extenderse hasta las subestaciones Santa Rosa y Chavarria como se puede apreciar en las figuras 2 y 3.

**Figura 2**

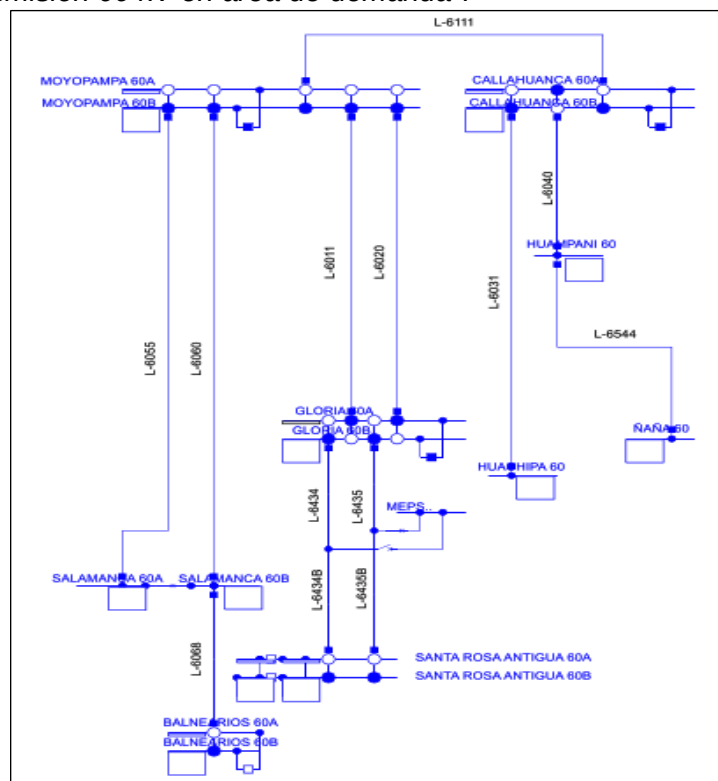
*Sistema de transmisión 220 kV en área de demanda 7*



*Nota:* adaptado de la Propuesta del Plan de Inversiones de Conelsur período 2021-2025.

**Figura 3**

*Sistema de transmisión 60 kV en área de demanda 7*

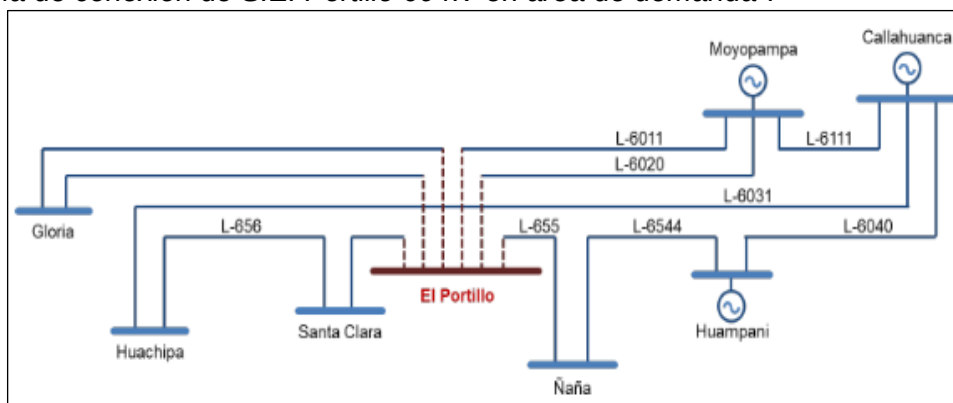


*Nota:* adaptado de la Propuesta del Plan de Inversiones de Conelsur período 2021-2025.

Como resultado, esta zona está abarrotada de líneas aéreas, que limitan la posible solución de implementar una nueva línea de transmisión (aérea o subterránea) que pueda mitigar los problemas de sobrecarga que se presentarán en el futuro. Sin embargo, para dar solución a los problemas a mediano plazo descritos en el Área de Demanda 7, el Plan de Transmisión del Osinergmin propuso la construcción de la “Nueva Subestación Portillo 60 kV y enlaces asociados” proyectada para entrar en operación durante el último trimestre del año 2022, la cual se ubicó geográficamente en la zona este de Lima. Específicamente, en el área de influencia donde se presentan problemas de sobrecarga de líneas de transmisión a futuro y seccionó las dos líneas de transmisión L-6020 y L-6011 correspondiente al enlace Moyopampa - Gloria 60 kV y la línea L-655 correspondiente al enlace Santa Clara-Ñaña 60 kV. (Ver figura 4).

**Figura 4**

*Esquema de conexión de S.E. Portillo 60 kV en área de demanda 7*



*Nota:* adaptado de la Propuesta del Plan de Inversiones de Conelsur período 2021-2025.

La construcción y puesta en servicio de esta subestación, mejoró la confiabilidad del sistema eléctrico de la zona este de Lima, mitigando los futuros problemas de sobrecarga en las líneas de transmisión, evitando así la interrupción de suministro por rechazo de carga de la demanda conectada en las subestaciones Santa Clara y Ñaña 60 kV.

El Osinergmin, en su calidad de Organismo Supervisor de Inversión de Energía, revisó y aprobó la propuesta de implementación de la nueva subestación e incluyó el proyecto dentro del “Plan de Inversiones en Transmisión del período 2021-2025”, considerando la puesta en servicio para fines del año 2022.

### **1.2.2. Problema a resolver**

Realizar el diseño, cálculo y selección adecuada de los equipos de servicios auxiliares en corriente alterna (AC) y corriente continua (DC) para una subestación de alta tensión en 60 kV, tomando como caso de aplicación práctica la subestación Portillo 60 kV, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

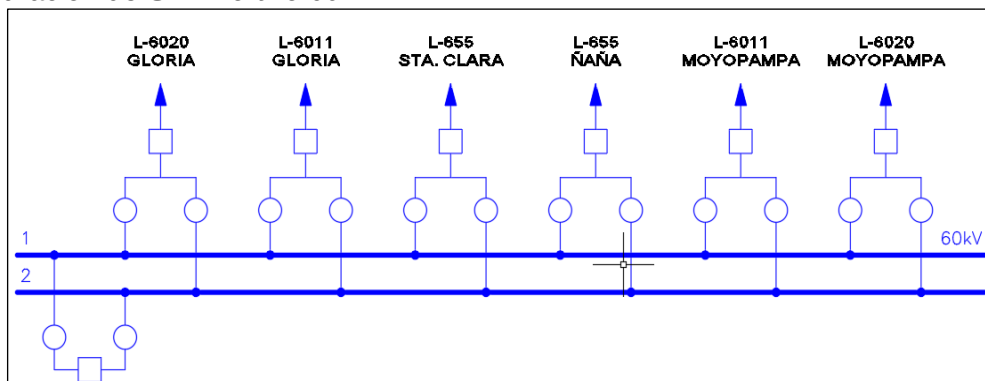
- La subestación está concebida para trabajar en configuración doble barra con la finalidad de tener mayor facilidad de maniobra de las líneas de transmisión conectadas a esta, para evitar cortes de suministro y mejorar la confiabilidad del sistema (ver figura 5). Por ello, se debe garantizar el dimensionamiento adecuado

de los servicios auxiliares para el suministro continuo de la alimentación de los sistemas de medición, protección y control, del mismo modo que los equipos complementarios de las bahías de la subestación.

- La subestación trabaja en operación desatendida; por ello, se debe garantizar que la confiabilidad y flexibilidad de los servicios auxiliares sea mayor que la de la propia subestación.
- La subestación está preparada para implementar a futuro nuevas bahías de líneas y un nuevo transformador de potencia; por ello, se debe garantizar que el diseño de los servicios auxiliares contemple el crecimiento de la carga sin requerir el cambio de los equipos seleccionados.

**Figura 5**

*Configuración de S.E. Portillo 60 kV*



### 1.3. Objetivos del estudio

#### 1.3.1. Objetivo general

Ejecutar el diseño, dimensionamiento y selección óptima de los equipos que integran el sistema de servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua de una subestación de alta tensión de 60 kV, considerando la evaluación de cargas en ambos tipos de corriente y verificar que el diseño cumpla con los criterios de flexibilidad, seguridad y confiabilidad con la finalidad de garantizar la operación confiable de las instalaciones.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Definir los conceptos básicos y los criterios de diseño para el dimensionamiento y selección de los servicios auxiliares de una subestación eléctrica.
- Mostrar los diferentes tipos de filosofía y configuraciones de fuentes de alimentación aplicados para la implementación óptima de los servicios auxiliares de una subestación eléctrica.
- Conocer los aspectos técnicos y requisitos mínimos establecidos por el COES para el dimensionamiento de los servicios auxiliares de las subestaciones de alta tensión que forman parte del SEIN.
- Determinar la configuración óptima de los servicios auxiliares que garanticen la operación confiable de una subestación.
- Determinar, mediante uso de software de diseño, la selección adecuada del equipamiento y cables de alimentación de los servicios auxiliares de corriente alterna de una subestación.
- Establecer las especificaciones técnicas requeridas para el suministro de los principales equipos de servicios auxiliares de una subestación.

### **1.3.3. Indicadores de logro de los objetivos**

Los indicadores establecidos en este trabajo son nivel de confiabilidad, límites de tensión de operación en corriente alterna, y límites de tensión de operación en corriente continua de los servicios auxiliares establecidos para una subestación eléctrica.

**Tabla 1**

#### *Indicadores de logro*

| <b>Objetivo específico</b>                            | <b>Indicador de logro</b> | <b>Métrica</b> |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|
| Nivel de confiabilidad                                | Bajo, medio, alto         |                |
| Límites de tensión de operación en corriente alterna  | 85 – 110 %                | Porcentaje (%) |
| Límites de tensión de operación en corriente continua | 85 – 110 %                | Porcentaje (%) |

#### **1.4. Antecedentes investigativos**

Huamaní (2013), en su informe de titulación, desarrolla el cálculo de la capacidad requerida para el generador de emergencia en una subestación eléctrica, tomando en consideración las cargas necesarias para asegurar el funcionamiento adecuado de dicha subestación mediante la elaboración de un listado de las cargas típicas consideradas como esenciales dentro de una subestación. Utilizando, como herramienta, un *software* de selección de grupo electrógeno propio de la empresa Caterpillar, se explica cómo dimensionarlo ingresando la información de las cargas esenciales en el programa.

Calderón, Casas y López (2017), en su trabajo de investigación desarrollado en Santander, realizan el diseño de los servicios auxiliares de una subestación de alta tensión bajo la reglamentación colombiana y estándares internacionales necesarios, que garanticen el correcto funcionamiento de esta. El estudio se aplicó para determinar los servicios auxiliares de la subestación Urán 220 kV, ubicada en el municipio de Bucaramanga, departamento de Santander. Comienza seleccionando la configuración más apropiada para la operación del sistema y, a partir de aquí, describe el desarrollo de los cálculos justificativos para la selección del equipamiento en AC y DC, llega a la conclusión que, para diseñar los servicios auxiliares en subestaciones, es fundamental dimensionar e identificar las cargas asociadas, establecer aspectos como tipos de corriente, impacto sobre el sistema, duración y potencia, puesto que de este proceso depende la elección efectiva de los diferentes elementos que componen este sistema.

Montes y Pineda (2019), en su trabajo de investigación desarrollado en Ciudad de México, elaboran una guía práctica sobre los lineamientos a considerar como parte del diseño de los servicios auxiliares de una subestación, que utiliza criterios basados en guías de diseño y normativa eléctrica tanto local como internacional. Seguidamente, muestran una guía de aplicación práctica de cálculo para una subestación de potencia, a partir de los conceptos y procedimientos presentados en el desarrollo del informe. Tras el análisis, se concluyó que, a través del uso de las herramientas y guías adecuadas aplicando los

cálculos de ingeniería necesarios, es posible obtener resultados confiables en el proyecto de diseño de los servicios auxiliares de una subestación.

Correa (2021), en su investigación elaborada en Medellín (Colombia), actualiza la herramienta de cálculo desarrollado por la empresa IEB Ingeniería Especializada S.A., que facilita el diseño de SS.AA. en corriente alterna dentro de una subestación para mejorar la eficiencia del sistema y aplicar normativas de estandarización corporativas. El *software* de cálculo fue utilizado como una herramienta de apoyo en el diseño de servicios auxiliares de 05 subestaciones de potencia con diversos niveles de tensión en tecnologías aisladas en aire (AIS) y gas (GIS), del sistema eléctrico colombiano, obtuvo como resultado las memorias de los servicios auxiliares en corriente alterna de estas subestaciones, concluye que el uso de este tipo de *software* como apoyo en los entregables de diseño permite reducir los tiempos de ejecución de las memorias y ofrecen resultados con mayor exactitud que evitan el sobredimensionamiento de cables y equipos asociados a los servicios auxiliares en corriente alterna.

Gutiérrez (2021), en su informe de suficiencia profesional, elabora el estudio de demanda de los servicios auxiliares de la subestación Yarabamba 500/220 kV con la finalidad de mejorar el suministro eléctrico de este sistema, reemplazada en condiciones anteriores por un grupo electrógeno, a través de un sistema de alimentación directa desde una red de media tensión existente. El análisis se basa en la evaluación de las cargas actuales conectadas al tablero general de servicios auxiliares junto con la demanda futura correspondiente a la ampliación de la subestación, para el cual se desarrollan los criterios y cálculos justificativos necesarios para el correcto dimensionamiento de la proyección de demanda, obtiene como resultados los cuadros de cargas para dimensionamiento del transformador de refuerzo de los servicios auxiliares de la subestación. Se concluye que al tener un nuevo punto de alimentación se mejora la confiabilidad de los servicios auxiliares, aumenta la garantía y autonomía sobre el funcionamiento de la subestación Yarabamba 500/220 kV, al no depender únicamente del grupo electrógeno y energía eléctrica de la propia subestación.

## **Capítulo II. Marco teórico y conceptual**

### **2.1. Marco teórico**

#### **2.1.1. Fuentes de alimentación de servicios auxiliares**

Los servicios auxiliares de las centrales eléctricas y las subestaciones de potencia se dividen en dos grupos de acuerdo con la clase de tensión que los alimenta: estos son servicios auxiliares de corriente alterna y de corriente continua. A partir de esta clasificación, se realiza el diseño que debe considerar la selección de la fuente de alimentación, los niveles de tensión más utilizados y la configuración más adecuada para el suministro de energía de los servicios auxiliares. Por esto, el diseño debe realizarse aplicando criterios de confiabilidad, flexibilidad y simplicidad que puedan garantizar la máxima continuidad del servicio; sin embargo, implementar los servicios auxiliares con un alto nivel de confiabilidad y flexibilidad implica altos costos de inversión de la instalación, por lo que esquemas más redundantes y complejos se justifican únicamente cuando el tipo de carga que se alimenta y la importancia de la instalación dentro del sistema eléctrico así lo requiera.

La primera etapa en el desarrollo del diseño de los servicios auxiliares es la selección de la fuente de alimentación.

Mera (1994), según la localización de la subestación en el sistema eléctrico, identifica 3 escenarios para las fuentes de alimentación de los servicios auxiliares.

- Subestación en extremo de central de generación: aquí, generalmente, los servicios auxiliares se conectan directamente en barras principales de la central.
- Subestación intermedia de línea de transmisión (pueden ser subestaciones de maniobra o de transformación): en este escenario, por lo general, la fuente de alimentación se toma desde el terciario del transformador principal (para subestaciones de transformación) mediante una fuente externa de media tensión (para subestaciones de maniobra sin transformador de potencia) o, en caso no se

disponga de estas fuentes, es necesario utilizar instalaciones que cuenten con respaldo de energía mediante grupos electrógenos.

- Subestaciones en extremo de carga: en este caso lo recomendable es disponer de una fuente externa en media tensión.

A continuación, se describen las características de las fuentes de alimentación que se utilizan para el abastecimiento de energía de los servicios auxiliares.

**Desde barras principales de la central.** En la gran mayoría de las centrales eléctricas, la conexión a las barras principales constituye el método principal para suministrar energía a los servicios auxiliares. Generalmente se utiliza el juego de barras de baja tensión, aunque en circunstancias especiales también se puede emplear el juego de barras de alta tensión según las exigencias del servicio. En ocasiones, es necesario energizar desde las barras principales mediante un transformador hacia otro juego de barras de servicio local, los cuales proveen energía adicional a los servicios auxiliares y en algunos casos muy particulares, también dan energía a la zona que circunda la central (Mera, 1994).

**Desde el devanado terciario de transformador de potencia.** En las subestaciones de transformación, es común el uso del devanado terciario del transformador de potencia principal de la subestación, debido a que su uso presenta algunas ventajas, ya que con un cuidado adecuado se reducen costos de no solo en cuanto al transformador se refiere, sino también al arreglo de barras, espacios, operación y mantenimiento (Mera, 1994).

El transformador de potencia principal en una subestación debe ser capaz de soportar las fuerzas mecánicas y térmicas generadas por el flujo de corriente de cortocircuito. Según normas de diseño, la máxima corriente permitida es 25 veces la corriente de carga asignada para los devanados durante un período de 2 segundos. Por esta razón, el devanado del terciario se fabrica con una capacidad equivalente al 35% de

uno de los otros dos devanados ya que en caso de una falla línea-neutro en el secundario, el devanado del terciario quedaría expuesto a  $\frac{1}{3}$  de los KVA de la corriente que circularía por un devanado secundario. Por tanto, la capacidad de la bobina del terciario del transformador se define como el 35% o  $\frac{1}{3}$  de la capacidad del primario. (Mera, 1994)

Generalmente, a la salida del terciario del transformador de potencia de una subestación se dispone de un barraje de distribución principal desde donde se deriva la energía necesaria para alimentar los servicios auxiliares de la subestación y/o otros equipos complementarios como por ejemplo bancos de condensadores sincrónicos destinados a generar reactivos en el sistema eléctrico, bancos de reactores para evitar la aparición del efecto Ferranti y alimentadores en media tensión para suministrar energía a las zonas aledañas (Cadena, 1978).

**Desde líneas eléctricas de distribución trifásica urbanas o rurales.** Las subestaciones ubicadas en áreas urbanas y rurales a menudo utilizan líneas aéreas de distribución trifásica de media tensión como fuente de energía para los servicios auxiliares. Estas líneas suelen provenir de la red eléctrica urbana o rural existente, o de otras subestaciones cercanas (Mejía Villegas, 2003). Esta clase de suministro de energía es, por lo general, más fácil de implementar y se realiza mediante un transformador de servicios auxiliares cuyos terminales primarios se conectan a la red de distribución del sistema (normalmente 10 kV o 22,9 kV).

**Desde grupos electrógenos.** En general, la utilización de grupos electrógenos se contempla como una medida de contingencia para otras fuentes de energía con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento del sistema. Sin embargo, en circunstancias excepcionales, es posible que se necesite instalar grupos electrógenos como fuente de energía principal; sin embargo, no es recomendable utilizar grupos electrógenos como fuente de suministro principal, debido a los costos asociados a mantener en operación continua este equipo.

### **2.1.2. Configuraciones de servicios auxiliares de subestaciones**

Luego de haber identificado las diferentes fuentes de alimentación disponibles para el suministro de los servicios auxiliares de la subestación, corresponde seleccionar la configuración del sistema en corriente alterna y corriente continua.

Para la selección de la configuración, es necesario considerar criterios de flexibilidad, simplicidad, confiabilidad, costos, importancia de la subestación en el sistema eléctrico, configuración adecuada y nivel de tensión de la red (Mejía Villegas, 2003).

La importancia de la subestación está directamente ligada con las condiciones de flexibilidad y confiabilidad del servicio que debe cumplir el diseño de los servicios auxiliares. Las diferentes configuraciones de operación de barras de las subestaciones del SEIN, de menor a mayor grado de importancia y complejidad, se indican a continuación:

- Configuración simple barra
- Configuración barra principal con barra de transferencia
- Configuración doble barra con simple interruptor
- Configuración doble barra con simple interruptor y seccionador de transferencia
- Configuración doble barra con simple interruptor más barra de transferencia
- Configuración doble barra con interruptor y medio
- Configuración doble barra con doble interruptor

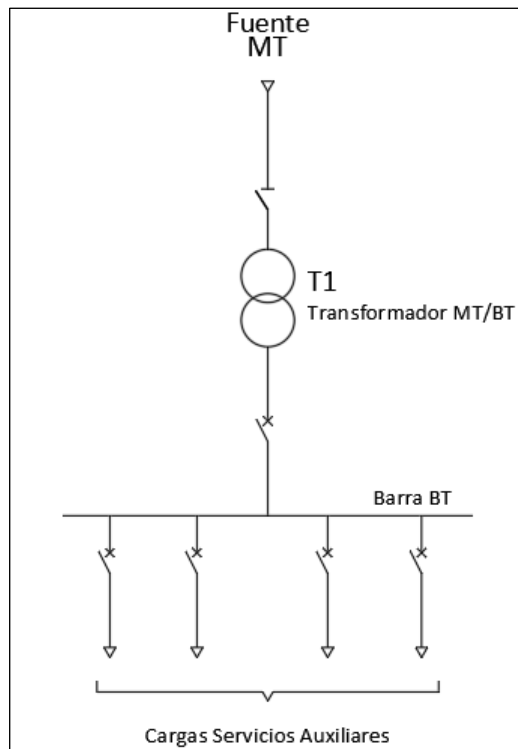
Por tanto, dependiendo de su ubicación física, nivel de importancia y grado de complejidad, es necesario realizar un análisis exhaustivo de cada subestación para garantizar la más alta confiabilidad en la selección de la configuración del sistema de servicios auxiliares, justificable desde el punto de vista económico. A continuación, se presentan los esquemas más usados tanto para corriente alterna como para corriente continua.

**Esquema radial simple.** Generalmente, se usan en subestaciones de menor importancia (subestaciones rurales), debido a que no contempla ninguna medida de respaldo en caso de fallo de algún componente situado entre la fuente de energía y la

carga, y además, cualquier trabajo de mantenimiento deja inoperativos los servicios auxiliares de la subestación. En la figura 6 se muestra este esquema.

**Figura 6**

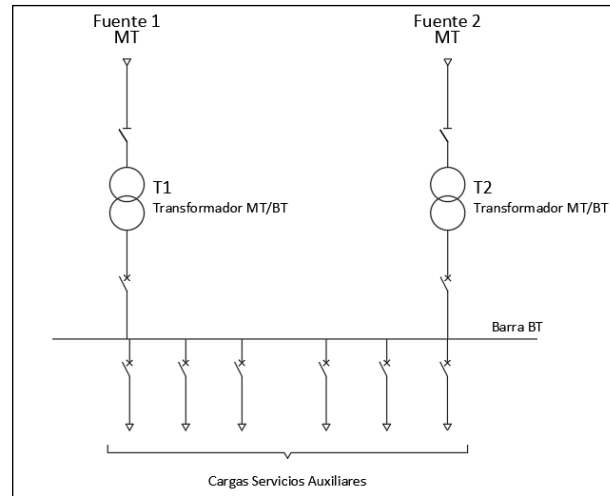
*Esquema radial simple*



**Esquema radial doble.** Para subestaciones de alta importancia en el sistema eléctrico, el esquema radial simple no es suficiente, por lo que es necesario implementar dos fuentes de alimentación independientes (internas o externas a la subestación) y se deben utilizar dos transformadores en media/baja tensión, con la recomendación que uno de ellos sea un transformador seco instalado dentro del edificio de control y el otro sea aislado en aceite, exterior al edificio de control a fin de mejorar la confiabilidad. Cada transformador debe contar con un sistema de medición individual en media tensión y tener la capacidad adecuada para suministrar energía a todas las cargas de los servicios auxiliares de la subestación (Mejía Villegas, 2003). En la figura 7 se muestra este esquema.

**Figura 7**

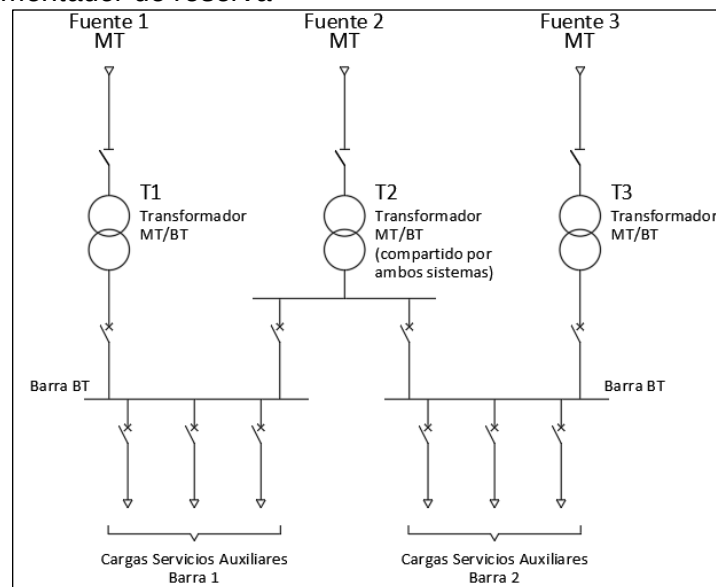
*Esquema radial doble*



**Esquema con alimentador de reserva.** Para las subestaciones que necesitan sistemas altamente confiables, es recomendable tener hasta tres transformadores de media/baja tensión como se aprecia en la figura 8. El transformador T1 podría compartir la misma fuente de alimentación con el transformador T3, mientras que el transformador T2 se debe alimentar desde una fuente independiente. Esto garantiza una disponibilidad del sistema extremadamente alta (Mejía Villegas, 2003).

**Figura 8**

*Esquema con alimentador de reserva*

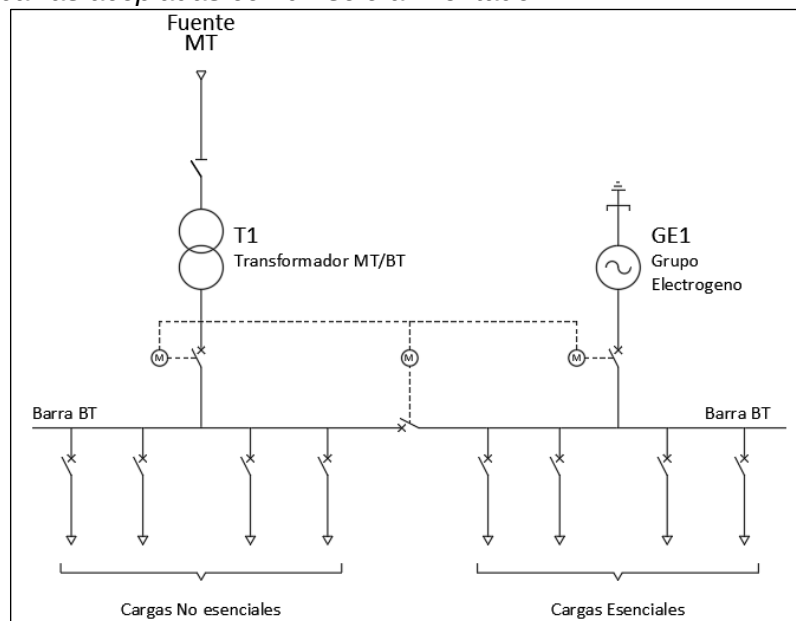


**Esquema de barras acopladas con un solo alimentador.** Para subestaciones donde la carga a alimentar es relativamente grande y es necesario un sistema confiable, pero sin elevados costos de implementación, se propone un esquema que consiste en dos barras de distribución interconectadas mediante un interruptor de acoplamiento, una fuente de alimentación principal de media tensión y una fuente de alimentación secundaria (como respaldo) suministrada por un grupo electrógeno.

Este diseño separa el sistema entre cargas esenciales y no esenciales. Las barras donde llegan los alimentadores (principal y de respaldo) se destinan a las cargas esenciales, mientras que las otras barras son para las cargas no esenciales. El transformador debe contar con la capacidad necesaria para suministrar energía a las cargas de ambos barrajes con el interruptor de acoplamiento en posición cerrado. Se optimiza el tamaño del grupo electrógeno ya que sólo cuenta con la capacidad suficiente para alimentar las barras de los servicios esenciales, es decir, el interruptor de acoplamiento permanece abierto mientras el grupo este operando (Raúll, 1990). En la figura 9, se muestra este esquema.

**Figura 9**

*Esquema de barras acopladas con un solo alimentador*

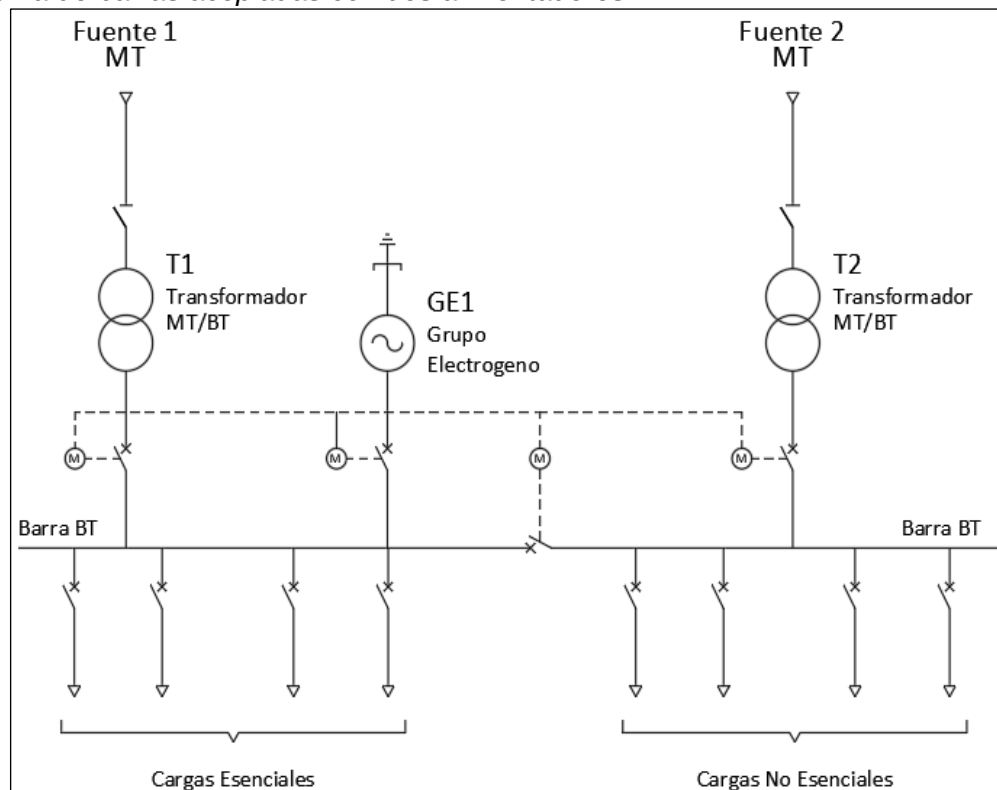


**Esquema de barras acopladas mediante dos alimentadores.** Esta configuración también está compuesta por dos barras interconectadas mediante un interruptor de acople. Se tiene en cuenta que cada barra recibe energía de un transformador de media/baja tensión, con la capacidad adecuada para abastecer ambas barras. Uno de los transformadores actuará como respaldo del otro.

En este esquema opera una sola fuente de alimentación a la vez y, en caso de que falle esta, el sistema de control desconecta el transformador fallado de la barra y realiza la transferencia hacia el transformador de la otra fuente de alimentación. En caso de que los dos transformadores experimenten una falla, el interruptor de acoplamiento se abrirá y el grupo electrógeno entrará en funcionamiento para suministrar energía únicamente a la barra de cargas críticas. (Mejía Villegas, 2003). Se puede apreciar esta configuración en la figura 10.

**Figura 10**

*Esquema de barras acopladas con dos alimentadores*

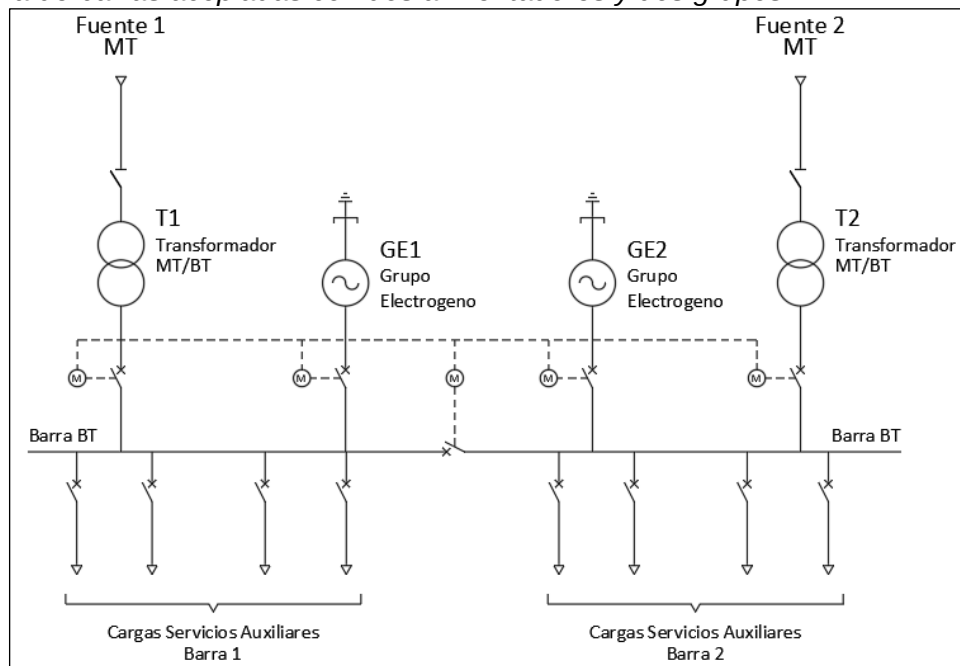


**Esquema de barras acopladas mediante dos alimentadores y dos grupos electrógenos.** En el caso de subestaciones de alta importancia, se implementa un esquema en el cual cada barra cuenta con un grupo electrógeno como respaldo, que asegura el correcto funcionamiento y la operación segura de la subestación. En la figura 11 se muestra esta configuración.

Igual que el esquema anterior, esta configuración opera con una sola fuente de alimentación a la vez. En caso falla este, se transfiere la carga hacia el otro transformador. Cuando fallan los dos transformadores a la vez, el interruptor de acoplamiento se abre y permite la operación de ambos grupos electrógenos de manera independiente en cada barra de distribución. (Mejía Villegas, 2003).

**Figura 11**

*Esquema de barras acopladas con dos alimentadores y dos grupos*

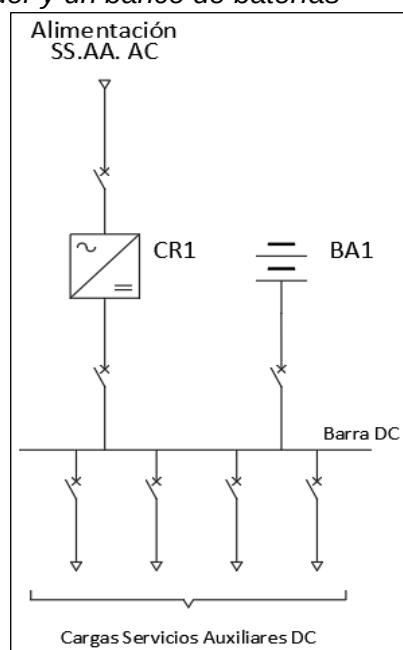


Para los sistemas de corriente continua, la fuente de alimentación principal es a través de cargadores rectificadores AC/DC usando como respaldo bancos de baterías. En este caso, los sistemas son más confiables cuando se duplican los equipos que alimentan las cargas. A continuación, se describen algunos esquemas básicos.

**Esquema con un solo cargador y un banco de baterías.** Este esquema se caracteriza por su simplicidad, ya que consta únicamente de un cargador de baterías (que se alimenta de un circuito de corriente alterna trifásico o monofásico), un banco de baterías para operar como respaldo y un sistema de barras desde donde se suministra energía a los distintos circuitos (Mejía Villegas, 2003). En la figura 12 se muestra este esquema.

**Figura 12**

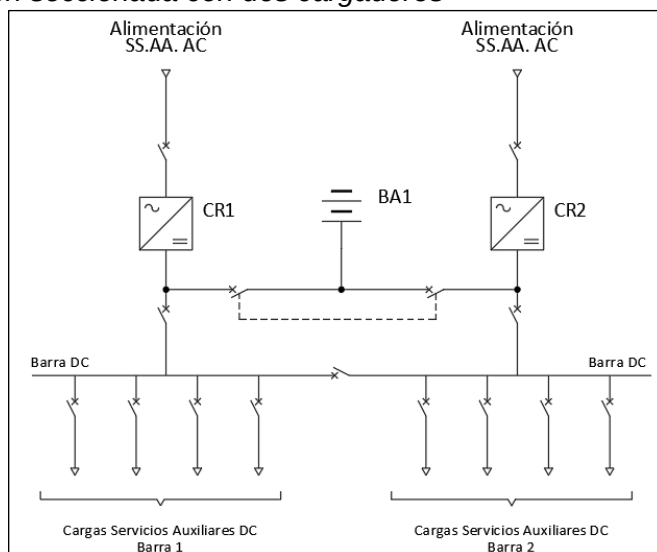
*Esquema con un solo cargador y un banco de baterías*



**Barra de distribución seccionada con dos cargadores.** Para incrementar la confiabilidad del sistema, este esquema propone considerar la incorporación de un cargador adicional y dividir en 02 la barra de distribución de corriente continua. Este enfoque facilita la asignación de cargas en ambas barras al permitir la conexión de cargas redundantes en barras distintas, lo que brinda una mayor seguridad al sistema. En esta disposición, los dos cargadores de baterías operan de manera independiente y se alimentan desde una fuente de corriente alterna, proveniente de distintas barras o de una misma barra. Esta configuración proporciona una alta disponibilidad y confiabilidad al sistema (Mejía Villegas, 2003). Se presenta este esquema en la figura 13.

**Figura 13**

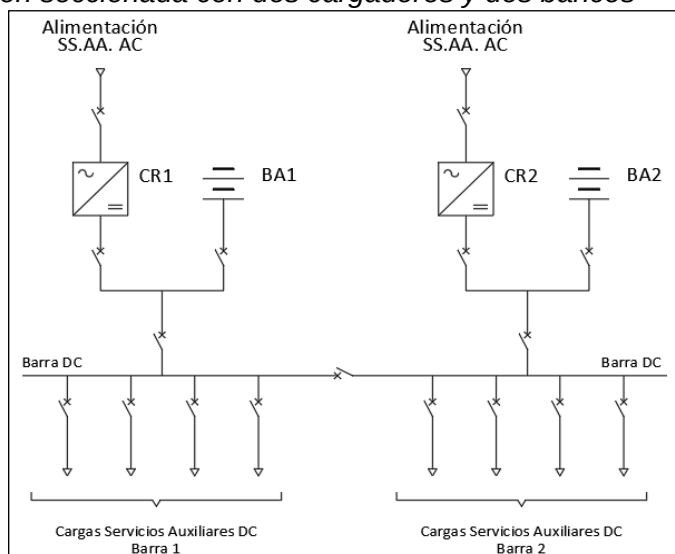
*Barra de distribución seccionada con dos cargadores*



**Barra de distribución seccionada con dos cargadores y dos bancos de baterías.** En subestaciones que se requiere que sean muy confiables, se pueden implementar dos cargadores y dos bancos de baterías de respaldo, manteniendo el esquema anterior de seccionar la barra de distribución de corriente continua. El sistema opera con un cargador y un banco de baterías conectado en cada barra. De esta manera, el esquema ofrece una gran seguridad y flexibilidad al sistema; ya que la configuración puede operar con el acople abierto o cerrado. En la figura 14 se presenta este esquema.

**Figura 14**

*Barra de distribución seccionada con dos cargadores y dos bancos*



### **2.1.3. Equipos del sistema de servicios auxiliares**

Los equipos de servicios auxiliares son todos aquellos necesarios para el funcionamiento adecuado de una subestación eléctrica, pero que no están directamente involucrados a los sistemas de transmisión o distribución de la energía sino al funcionamiento propio de las instalaciones eléctricas internas de la subestación.

Los servicios auxiliares en corriente alterna son necesarios en las subestaciones; ya que se cuenta con cargas que necesitan de un suministro ininterrumpido de energía para activar elementos fundamentales para la operación en condiciones normales de componentes importantes dentro del equipamiento que conforma una subestación (Cadena, 1978). Generalmente, las cargas que se alimentan desde los servicios auxiliares de corriente alterna son las siguientes:

- Cargadores rectificadores de baterías
- Equipos para refrigeración de transformadores: sistemas de bombeo de aceites y/o ventiladores
- Sistemas de iluminación de salas de control y patio de llaves de la subestación (iluminación interna y externa)
- Equipos de sistemas contra incendios de sala de control
- Equipos de sistemas contra incendios para transformadores
- Motor de cambiador de taps de transformador de potencia
- Tomacorrientes monofásicos y trifásicos distribuidos en la sala de control y patio de llaves de la subestación
- Circuitos de alimentación de talleres, oficinas y almacenes.
- Circuitos de calefacción de tableros y equipos de patio.
- Equipos de sistema de cómputo en sala de control.
- Circuito de alimentación de caseta de vigilancia.

Para garantizar el suministro continuo y confiable de todas las cargas de servicios auxiliares en corriente alterna, se deben considerar los siguientes equipos:

- Transformador de servicios auxiliares con la capacidad necesaria para alimentar la totalidad de cargas de la subestación.
- Grupo electrógeno de emergencia con la capacidad necesaria para alimentar los circuitos esenciales, que deben seguir en funcionamiento luego de producida una interrupción de suministro.
- Tableros eléctricos de corriente alterna (AC) a través de los cuales se realiza la distribución de las cargas de la subestación. La cantidad de tableros eléctricos a implementar depende de la configuración e importancia del sistema.

De la misma forma, como es necesario el trabajo de los servicios auxiliares en corriente alterna, también es necesario y con un alto grado de importancia, los servicios auxiliares de corriente continua para la subestación. Del buen funcionamiento de estos circuitos auxiliares depende la operación segura de los interruptores de potencia en alta tensión, las maniobras de seccionadores y todos los equipos secundarios de protección, señalización y alarma de la subestación (Cadena, 1978).

Por tanto, también se debe garantizar el suministro confiable de los servicios auxiliares en corriente continua, por ser igual o aún más importantes que los servicios auxiliares de corriente alterna. Generalmente, las cargas que se alimentan desde los servicios auxiliares de corriente continua son las siguientes:

- Control de interruptores de líneas de transmisión, transformadores y autotransformadores en alta y media tensión
- Control de seccionadores de líneas de transmisión, transformadores y autotransformadores en alta y media tensión
- Suministro de energía a los motores auxiliares del sistema de accionamiento de interruptores
- Alimentación de equipos de protección de línea, transformadores y autotransformadores
- Alimentación de instrumentos y lámparas indicadoras de tableros de control

- Alimentación de equipos del sistema de automatización y telecomunicaciones de la subestación

Para garantizar el suministro continuo y confiable de todas las cargas de servicios auxiliares en corriente continua, se deben considerar los siguientes equipos:

- Cargador rectificador con la capacidad necesaria para alimentar la totalidad de cargas en corriente continua de la subestación.
- Banco de baterías como respaldo de energía para alimentar las cargas en corriente continua en caso de falla o interrupción de cargador rectificador. El banco de baterías debe ser dimensionado con la capacidad necesaria (Ah) para alimentar todas las cargas durante el tiempo de autonomía establecido por el operador de la subestación.
- Tableros eléctricos de corriente continua (DC) a través de los cuales se realiza la distribución de las cargas de corriente continua.

Se debe tener en consideración que, la importancia y necesidad de los servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua, así como la cantidad de equipos destinados para la operación confiable de estos, están directamente relacionados con la configuración establecida para la operación de la subestación. Es decir, primero se tiene que seleccionar la configuración óptima de los servicios auxiliares que garanticen la continuidad de servicio, así como las facilidades de mantenimiento y operación de los equipos asociados y, a partir de esto, se determina el equipamiento más adecuado para la operación segura y confiable de la subestación.

#### **2.1.4. Transformador de servicios auxiliares**

El transformador de servicios auxiliares es uno de los componentes principales del sistema de servicios auxiliares, ya que a través de este equipo se energizan todas las cargas en barras de corriente alterna, que se conectan a la fuente de alimentación del

sistema. Dependiente del tipo de fuente de alimentación a la que se conectan los servicios auxiliares (descrita en el numeral 2.1.1), se puede utilizar un solo transformador trifásico o un banco de transformadores monofásicos, inclusive en algunos casos particulares se puede utilizar un transformador monofásico (Mera, 1994).

Las características de selección y operación del transformador de servicios auxiliares dependen de factores como los siguientes:

- Tensión del sistema, frecuencia y carga a alimentar. Estos factores determinan la capacidad del transformador.
- Tensiones primaria, secundaria y relación de transformación
- Tipo de enfriamiento del transformador. El transformador puede ser del tipo seco con enfriamiento en aire (AA) o transformador con enfriamiento en aceite (OA) (Cadena, 1978)
- Necesidad de disponer de cambiador de tomas sin carga
- Nivel de aislamiento al impulso tipo rayo (BIL)
- Selección del grupo de conexión de los devanados primario y secundario

El valor de la capacidad del transformador depende de la magnitud de la carga conectada en la barra de servicios auxiliares, la cual se estima que es proporcional con el tamaño físico de la subestación y puede ir desde menos de 100 kVA en subestaciones pequeñas y medianas, hasta más de 2000 kVA en subestaciones más grandes (Cadena, 1978). El transformador de servicios auxiliares debe contar con la capacidad suficiente para alimentar cargas propias y la reserva necesaria para ampliaciones futuras o cargas por uso de equipos durante actividades de mantenimiento. En las normas IEC e IEEE se recomiendan los siguientes valores estándar para las potencias del transformador mostrados en la tabla 2.

**Tabla 2***Valores recomendados de potencia nominal de transformadores*

| <b>Norma</b>                          | <b>Valores preferibles de potencia nominal (kVA)</b>           |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| IEC 60076-1<br>(Numeral 4.3)          | ...100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 ...  |
| IEEE Std C57.12.00<br>(Numeral 5.4.2) | 15, 30, 45, 75, 112.5, 150, 225, 300, 500, 750, 1000, 1500 ... |

El transformador puede ser de dos tipos: seco o sumergido en aceite. Los transformadores en aceite se distinguen por tener su circuito magnético y sus bobinados completamente sumergidos en este líquido. El aceite actúa como aislante y puede ser de diferentes tipos, como silicona, mineral, éster o vegetal, dependiendo de las necesidades del cliente y del entorno de instalación. (ver figura 15).

**Figura 15***Transformador sumergido en aceite*

Nota: adaptado de <https://ssem.pe/transformadores-inmersos-en-aceite>

En contraste con el transformador sumergido en aceite, el transformador seco se encuentra inmerso en una resina que lo encapsula. Aunque de acuerdo con su tecnología de fabricación pueden ser también encapsulados en vacío o de tipo abierto, lo que los hace a prueba de humedad al utilizar el aire exterior para su enfriamiento. Esta tecnología innovadora y sencilla garantiza la seguridad de este equipo para trabajar en ambientes

húmedos o con alta afluencia de personas ya que pueden soportar hasta un 95% de humedad a temperaturas menores a los 25° bajo cero (ver figura 16).

**Figura 16**

*Transformador seco encapsulado en resina*



Nota: adaptado de <https://cda-ingenieros.com/producto/transformador-encapsulado-en-resina/>

Ambos transformadores presentan ventajas y desventajas con respecto a su uso; sin embargo, la implementación de uno u otro tipo para alimentar los servicios auxiliares queda generalmente a criterio del diseñador de la subestación de acuerdo con las necesidades del proyecto. En la tabla 3 se muestra el cuadro comparativo en el uso entre uno y otro tipo de transformador.

**Tabla 3***Cuadro comparativo de tipos de transformadores*

| <b>Tipo</b>                       | <b>Ventajas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>Desventajas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transformador sumergido en aceite | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo unitario más bajo</li> <li>- Nivel de ruido reducido</li> <li>- Menores pérdidas de vacío</li> <li>- Puede instalarse a la intemperie</li> <li>- Adecuado funcionamiento en ambientes con alto nivel de contaminación atmosférica</li> <li>- Mejor comportamiento frente a las sobretensiones y sobrecargas por períodos prolongados de tiempo</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor riesgo de incendio por la relativamente baja temperatura de inflamación del aceite</li> <li>- Se debe instalar sobre un depósito colector de aceite, lo que incrementa los costos de obras civiles</li> <li>- Requiere mayor inspección y planes de mantenimiento</li> <li>- Debe efectuarse un control periódico del aceite</li> </ul>                                     |
| Transformador tipo seco           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor costo de instalación, ya que no requiere depósito de aceite</li> <li>- Menor riesgo de incendio, por estar fabricado con materiales auto extingüibles</li> <li>- Es ecológico y ambientalmente seguro.</li> <li>- No presenta riesgo de fugas, contaminación de fuentes de agua o generación de humos tóxicos</li> <li>- Libre de mantenimiento</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo elevado del equipo</li> <li>- Nivel de ruido significativo</li> <li>- Incremento de pérdidas en vacío</li> <li>- Poca resistencia a las sobretensiones</li> <li>- No es recomendable instalarlos en entornos contaminados</li> <li>- Par instalación a intemperie debe instalarse dentro de una celda con un grado de IP adecuado, lo que implica mayores costos</li> </ul> |

Los cambiadores de tensión (taps) son utilizados para ajustar la relación entre los devanados de alta y baja tensión en los transformadores. Existen dos tipos: bajo carga y sin carga. Los cambiadores bajo carga se pueden cambiar cuando el transformador está energizado, se usan para compensar fluctuaciones significativas en la tensión de suministro. Por lo general, este tipo de cambiadores se utiliza en los transformadores de potencia principales de las subestaciones.

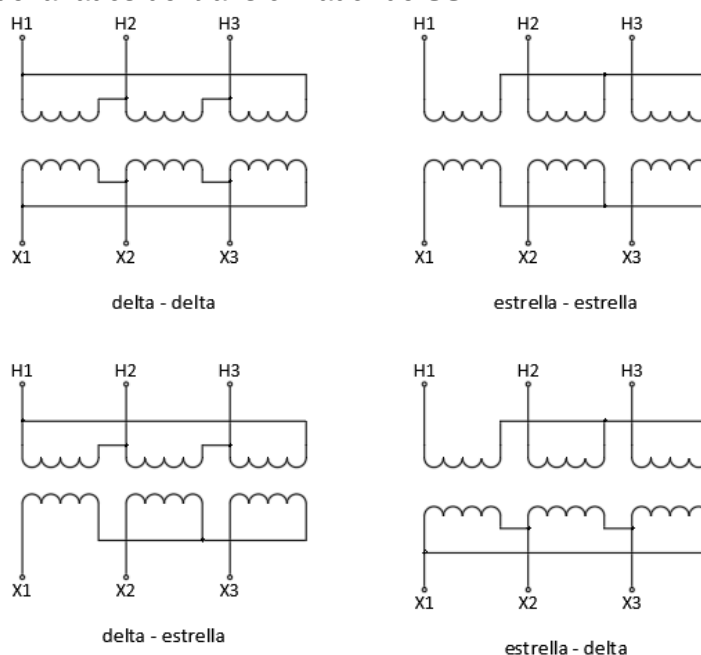
Los cambiadores sin carga se utilizan solo cuando el transformador está desenergizado, su función es corregir variaciones de tensión a largo plazo y no son adecuados para fluctuaciones constantes. En transformadores pequeños de aceite y tipo seco, los ajustes de tensión se realizan mediante la manipulación de una palanca situada en un panel accesible en la carcasa.

Para la elección del transformador, es importante seleccionar el grupo de conexión adecuado, debido a que cuentan con la capacidad de ser conectados de diversas formas según las necesidades de la operación o conveniencias del servicio.

Son cuatro las principales formas de conexión de los devanados primarios y secundarios de un transformador: delta-delta, estrella-estrella, delta-estrella, estrella-delta. De la forma de conexión de los bobinados primario y secundario, dependen los valores de corrientes y tensiones de fase, así como de corrientes y tensiones de línea, magnitudes que son importantes conocer, principalmente, en bornes de secundario del transformador que alimentan al tablero de distribución del que se derivan todos los conductores que suministran a las cargas de los servicios auxiliares (Cadena, 1978). En la figura 17 se muestra cada una de estas conexiones.

**Figura 17**

*Conexión de los devanados del transformador de SS. AA.*



**Conexión delta-delta.** La configuración delta-delta es una opción apropiada cuando se trabajan con fuentes de alimentación que no cuentan con conexión del neutro a tierra. La corriente de línea es  $\sqrt{3}$  veces la corriente de fase y está desplazada  $30^\circ$  hacia atrás una de la otra (Montes & Pineda, 2019).

Los niveles de tensión del sistema se mantienen más estables en presencia de una carga desequilibrada, por lo general se emplea la conexión Dd0 y Dd6 para aplicación de circuitos de baja tensión. Si se usa un banco conformado por tres transformadores, cuando se produce la falla de uno de ellos, los dos restantes toman el 58% de la carga total, manteniendo así la continuidad del servicio a carga reducida (Cadena, 1978).

La desventaja de este tipo de conexión es que al no tener neutro, ni en alta ni baja tensión, no es posible la protección a tierra ni alimentación de redes de 4 conductores; además, de ser susceptible a la ferresonancia por ausencia de neutro (Raúll, 1990).

**Conexión estrella-estrella.** La conexión estrella-estrella permite disponer del conductor neutro en ambos devanados (alta y baja), posibilitando la conexión del neutro de la fuente de alimentación con el neutro del primario del transformador; mientras que el neutro del lado secundario conectado a tierra. La tensión de línea es  $\sqrt{3}$  veces la tensión de fase, en tanto que las corrientes de línea y fase son iguales (Cadena, 1978).

Se recomienda evitar la conexión estrella-estrella a menos que se haga una conexión sólida (de baja impedancia) entre el neutro de la fuente de energía y el neutro del primario del transformador. Sin una conexión adecuada, es probable que los voltajes de fase se desequilibren significativamente cuando la carga no está balanceada. Además, pueden surgir dificultades relacionadas con las armónicas de tercer orden (Raúll, 1990).

**Conexión delta-estrella.** La conexión delta-estrella es comúnmente empleada en los transformadores de distribución, con la conexión estrella en el devanado de baja tensión para facilitar la alimentación de cargas trifásicas y monofásicas (entre fase y neutro).

En esta conexión, se produce un desfase de  $30^\circ$  entre las tensiones y corrientes de las líneas primarias y secundarias. Cuando se presentan corrientes de secuencia cero de la frecuencia fundamental y armónicas en el lado secundario del transformador, estas no se trasladan al lado primario debido al tipo de conexión (Montes & Pineda, 2019).

**Conexión estrella-delta.** La conexión estrella-delta se utiliza para alimentar cargas trifásicas y monofásicas cuando no se necesita de un sistema trifásico con neutro en el devanado de baja tensión. Por lo general, se emplea la conexión Yd5 y algunas veces el Yd11 (Cadena, 1978).

El neutro del primario se conecta a tierra como protección, pero tiene la desventaja que al no tener neutro en el lado secundario no es posible alimentar redes de 4 conductores.

#### **2.1.5. Banco de baterías**

Una batería es un dispositivo compuesto por dos o más celdas electroquímicas con conectores externos, capaz de transformar la energía química de su interior en energía eléctrica con una tensión continua aproximadamente constante. Este proceso es reversible, es decir, la batería almacena energía química cuando se aplica energía eléctrica (Suárez, 2022).

Al conjunto de baterías conectadas entre sí, en serie o en paralelo, se le denomina banco de baterías. Este banco de baterías debe estar preparado para operar (entregar energía eléctrica al sistema a una tensión constante) en los siguientes casos:

- Cuando la demanda del sistema DC supera la capacidad máxima de corriente del cargador rectificador.
- Cuando se produce una interrupción a la salida del cargador rectificador.
- Cuando la fuente auxiliar de corriente alterna (AC) queda fuera de servicio.

El banco de baterías se utiliza como fuente de respaldo de corriente continua de los sistemas de control, protección, comunicación y señalización de las subestaciones eléctricas. El voltaje nominal y la capacidad de las baterías son determinados por la tensión de servicio establecida para la instalación, teniendo en cuenta los umbrales de voltaje tolerables en cada una de las cargas de manera individual y las fluctuaciones permitidas en la tensión, debido al comportamiento del consumo de potencia de estas cargas durante un tiempo de operación determinado, que también es importante definir para un correcto dimensionamiento del banco de baterías (Aguirre & Bejarano, 1991).

Para la determinación de la tensión y capacidad del banco baterías, se debe tener en cuenta lo siguiente (Mercado, 2017):

- Cuando son conectadas dos baterías en serie, se produce un incremento de la tensión.
- Cuando son conectadas dos baterías en paralelo, se produce un incremento de la capacidad.
- Cuando son conectadas las baterías en serie y en paralelo, se produce un incremento de la tensión y la capacidad.

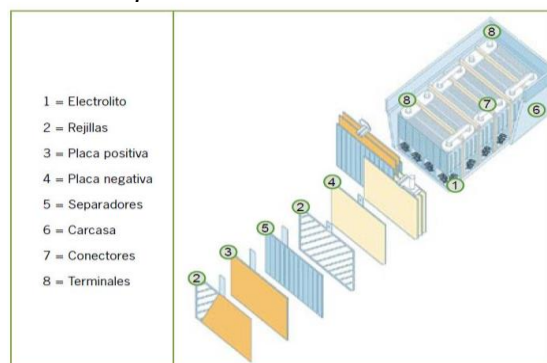
Las baterías empleadas en las subestaciones son del tipo estacionarias y pueden ser de naturaleza ácida (baterías de plomo-ácido) o alcalina (baterías de níquel-cadmio).

**Baterías de plomo-ácido.** Están formadas por electrodos de plomo que utilizan una solución de agua destilada y ácido sulfúrico como electrolito. El electrodo positivo (ánodo) está hecho de dióxido de plomo, mientras que el electrodo negativo (cátodo) está compuesto de plomo. Ambos electrodos contienen un material activo poroso para incrementar la superficie de contacto. En este tipo de baterías, el electrolito desempeña un papel fundamental en el proceso electroquímico, regulando la densidad de ácido en la solución de manera activa (Gonzáles, 2015).

En la figura 18 se muestra la gráfica de una batería de plomo-ácido donde pueden encontrarse los siguientes componentes:

**Figura 18**

*Componentes de las baterías de plomo-ácido*



Nota: adaptado de <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2011/10/caracteristicas-tecnicas-de-las.html>

- Electrolito: solución diluida de ácido sulfúrico en agua (aproximadamente 33,5%), que puede encontrarse en tres formas distintas: estado líquido, gelificado o absorbido (Aguirre & Bejarano, 1991).
- Placas o electrodos: están formadas por la materia activa y la rejilla. La materia activa que se encuentra en las rejillas de las placas positivas es dióxido de plomo, mientras que la materia activa de las placas negativas es plomo esponjoso. En estas últimas también se utiliza en pequeñas cantidades sustancias como sulfato de bario, negro de humo y lignina. Las placas se pueden diferenciar en tubulares y planas. Las placas tubulares son ampliamente utilizadas en aplicaciones estacionarias que demandan un respaldo prolongado con corrientes de trabajo bajas y medias, comúnmente se denominan placas OPzS (Mercado, 2017).
- Rejillas: es el componente estructural que brinda soporte a la materia activa. Están fabricadas con una aleación de plomo y un agente endurecedor como antimonio o calcio. También se utilizan otros metales como estaño, arsénico, plata y selenio en pequeñas cantidades en las aleaciones. Las rejillas pueden ser fabricadas en forma plana o tubular (Aguirre & Bejarano, 1991).
- Separadores: son elementos de material microporoso colocados entre las placas de polaridad opuesta con el fin de prevenir cortocircuitos. En separadores tipo hoja se utilizan generalmente materiales celulósicos, de fibra de vidrio y de PVC. En separadores tipo sobre el material que más se emplea es el polietileno (Mercado, 2017).
- Carcasa: está fabricada principalmente de polipropileno y en algunos casos de ebonita (caucho endurecido), también se suele usar el estireno acrilonitrilo (SAN) que es transparente y facilita la visualización del nivel de electrolito. En la parte inferior se encuentra un espacio vacío que actúa como cámara colectora de la materia activa liberada por las placas (Mercado, 2017).
- Conectores: componentes que conectan los elementos internos de una batería, se fabrican con aleaciones de plomo antimonio o plomo-cobre.

- Terminales: bornes que se utilizan para la conexión del circuito externo, se fabrican con aleaciones de plomo.

Por otro lado, de acuerdo con la tecnología empleada en la fabricación, se pueden dividir las baterías de plomo-ácido en los siguientes tipos:

- Batería abierta o ventilada: Su característica principal es que cuenta con orificios de acceso a su interior mediante tapones removibles. Esto facilita la verificación del nivel del electrolito, la reposición de agua perdida si es necesario, y permite que los gases generados en su interior se liberen a la atmósfera. En este tipo de baterías, el electrolito se encuentra en estado líquido. (González, 2015). Según el proveedor, las baterías pueden ser suministradas en las siguientes condiciones: cargadas y llenas con electrolito o cargadas y secas (sin electrolito). En la Figura 19 se muestra un banco de baterías ventiladas que se implementa generalmente en subestaciones.

**Figura 19**

*Banco de baterías de plomo-ácido ventiladas*



Nota. Adaptado de <https://www.gastelek.com/producto/banco-de-baterias-tipo-abiertas-144-ah/>

- Batería sellada o regulada por válvula. Es un tipo de batería en la que el escape de los gases producidos por la electrolisis se controla de forma automática mediante una válvula sensible a la presión, utilizan placas de plomo-calcio y se conocen comúnmente como baterías "libres de mantenimiento". De acuerdo con el estado

del electrolito, se pueden identificar dos categorías: las baterías AGM y las de gel. Las baterías AGM (Absorbed Glass Mat) retienen el electrolito en un material de fibra de vidrio y se caracterizan por su capacidad para soportar altas corrientes y tiempos de carga reducidos. Las baterías de gel contienen el electrolito en forma de gel de sílice, permitiendo descargas más profundas y una vida útil más prolongada en comparación con otras (González, 2015).

- Las baterías selladas tienen ventajas técnicas sobre las baterías abiertas, como la ausencia de fugas de electrolito, emisiones mínimas de gases, nula posibilidad de contaminación del electrolito y bajos requerimientos de mantenimiento. Sin embargo, tienen limitaciones, como un menor número de ciclos, la imposibilidad de reponer el agua perdida por sobrecarga, dificultad de verificar en forma confiable su estado de carga y, en algunos casos, una mayor sensibilidad a la temperatura de operación (Mercado, 2017). En la figura 20 se muestra un banco de baterías tipo selladas para subestaciones.

**Figura 20**

*Banco de baterías de plomo-ácida selladas*



*Nota:* adaptado de <https://dcbballester.com/tipos-de-baterias-baterias-de-plomo/>

**Baterías de níquel cadmio.** Están formadas por electrodos positivos de níquel, electrodos negativos de cadmio e hidróxido de potasio diluido como electrolito.

Generalmente, se utilizan este tipo de baterías en instalaciones de tamaño pequeño o mediano donde el espacio es reducido (Aguirre & Bejarano, 1991).

El electrodo positivo (ánodo) está fabricado con una aleación de Níquel (Ni) e Hidróxido de Níquel (NiOH), mientras que el electrodo negativo (cátodo) está fabricado de Cadmio en un sistema poroso de acero inoxidable. Ambos electrodos se encuentran sumergidos en una solución de Hidróxido de Potasio (KOH) y agua con concentraciones que varían entre el 20% y el 40% en peso (Aguirre & Bejarano, 1991).

De manera similar a las baterías de plomo-ácido, las baterías de Níquel Cadmio cuentan con los siguientes componentes (ver figura 21):

**Figura 21**

*Componentes de las baterías de níquel-cadmio*



*Nota:* adaptado de <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/ii-congreso-sq-baterias-para-almacenamiento-energetico>

- Electrolito. Está compuesto por una mezcla de Hidróxido de Potasio (KOH) y agua destilada en una proporción específica por peso. Esto resulta en una densidad promedio que oscila entre 1.18 kg/l y 1.2 kg/l (Mercado, 2017).
- Placas o electrodos. En esta batería el componente principal es el Níquel, el cual se encuentra ubicado en el terminal positivo. Por otro lado, la placa negativa (de cadmio) podría ser de otro metal como zinc, hierro, etc. (Mercado, 2017).
- Rejillas. Separa las placas y deja que fluyan mejor los electrodos.
- Separadores. Están constituidos de barras de polietileno o de hule.

- Válvula reguladora de ventilación. Previene la explosión y contaminación del electrodo.
- Terminales. Bornes en donde se hace la conexión con el circuito externo. Generalmente, son revestidos de níquel que ofrecen buena conductividad.
- Contenedor. Es del tipo traslucido de polipropileno, hace la celda mecánicamente estable y facilita la visualización de los electrodos durante la inspección.

En general, se puede fabricar de dos maneras las baterías NiCd. Una se denomina Placas de Bolsillo y la otra Placas de Fibra. Por otro lado, de acuerdo con su aplicación, se tienen tres tipos de baterías (Aguirre & Bejarano, 1991):

- Tipo L: para uso en situaciones de larga duración de respaldo y baja corriente como por ejemplo sistemas de monitoreo, control, alarmas o similares.
- Tipo M: utilizado en situaciones que requieren tiempo de respaldo promedio entre 5 y 10 horas, ideal para uso en control, telecomunicaciones y subestaciones. En la figura 22 se muestra un banco de baterías de NiCd que, generalmente, se emplea en subestaciones.
- Tipo H: placa de alto volumen diseñada para satisfacer necesidades de consumos elevados en intervalos de tiempo reducidos. Resultan ideales para ser utilizadas en aplicaciones que requieran de tracción y fuerza motriz.

**Figura 22**

*Banco de baterías de níquel-cadmio*



Nota: adaptado de <https://ktronix.com.mx/baterias-niquel-cadmio/>

Al elegirse un cierto tipo de batería para utilizar en una determinada instalación, deben tenerse en cuenta los principales inconvenientes o desventajas frente a las virtudes o ventajas que se van a encontrar cuando estén en funcionamiento (Cadena, 1978). A continuación, se indican algunas de las ventajas y desventajas entre el uso de las baterías de plomo ácido y las baterías de níquel cadmio.

Ventajas de las baterías de plomo ácido (Cadena, 1978):

- Tienen menor costo de fabricación que las baterías de níquel-cadmio.
- Para un régimen de descarga de 100%, las baterías de plomo-ácido tienen un rendimiento a la descarga de 75%, mientras que las baterías de níquel-cadmio solamente alcanzan el 60%.
- La capacidad de descarga de las baterías de plomo-ácido es más duradera y está basada en un tiempo de 8 a 10 horas, lo que no sucede con las baterías alcalinas, que tienen un tiempo de descarga de 5 horas.
- Las baterías de plomo-ácido tienen mayor tensión por celda, por lo cual se requiere menor cantidad de elementos conectados en serie o paralelo para un determinado nivel de tensión.

Ventajas de las baterías de níquel-cadmio (Cadena, 1978):

- Están exentas del fenómeno de la sulfatación: proceso que afecta en gran medida a las baterías de plomo-ácido. La vida útil de una batería alcalina es mucho mayor que la de una batería ácida, lo que las hace más rentables cuando se trata de instalaciones estacionarias.
- Al no presentar el proceso de sulfatación, tienen la posibilidad de resistir sin deterioro grandes corrientes, incluso cortocircuitos.
- Las baterías alcalinas no contienen ácido en el electrolito, lo que supone que no presentan peligro de fallas por corrosión ni deterioro por efecto de la temperatura.
- No requieren lugares especiales para su instalación, ya que el electrolito empleado no se descompone. En cambio, las baterías ácidas deben ser instaladas en salas

aisladas y bien ventiladas por el inconveniente que se puede producir desprendimiento de gases.

- Ya que no producen efecto de sulfatación, el costo de mantenimiento de las baterías de níquel-cadmio es considerablemente menor que las baterías ácidas.

#### **2.1.6. Cargador rectificador**

Los cargadores rectificadores son dispositivos que convierten la corriente alterna (AC) proveniente de la red eléctrica en corriente continua (DC) mediante un circuito rectificador de diodos o tiristores, lo que produce una señal de corriente continua suave y constante que se utiliza para cargar las baterías.

Durante la operación normal de las subestaciones eléctricas, el banco de baterías permanece cargado y no alimenta las cargas de corriente continua hasta que se produzca la interrupción de corriente alterna de la fuente principal de suministro. Así pues, el cargador rectificador es un equipo que proporciona alimentación a la carga DC y asegura la carga del banco de baterías. Por ende, es fundamental que su diseño se realice de manera que garantice la capacidad de suministrar energía DC para recargar las baterías, así como para alimentar simultáneamente la parte de la carga de emergencia DC (Aguirre & Bejarano, 1991).

Se pueden establecer diferentes tipos de clasificación de los cargadores rectificadores, como se indica a continuación:

Por la fuente de alimentación en corriente alterna (AC)

- Cargadores rectificadores monofásicos. Son los más simples y económicos, están diseñados para convertir una entrada de corriente alterna monofásica en una salida de corriente continua.
- Cargadores rectificadores trifásicos. Este dispositivo funciona de manera similar al cargador rectificador monofásico, solo que utiliza tres fases de corriente alterna en lugar de una sola fase. El uso de una fuente trifásica en lugar de la monofásica permite una mayor eficiencia en la conversión de la corriente alterna a corriente

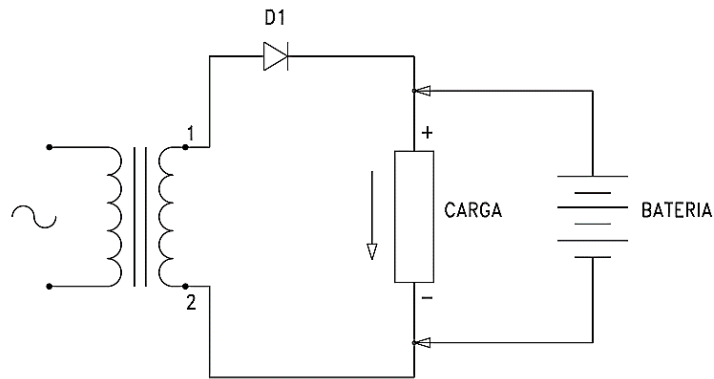
continua, ya que las tres fases de corriente alterna están desfasadas en 120 grados, lo que significa que siempre hay al menos una fase de corriente alterna presente en el puente de diodos. Esto resulta en una corriente continua más suave y constante, lo que es beneficioso para la carga de baterías o el suministro de energía de corriente continua a los sistemas de la subestación (Aguirre & Bejarano, 1991).

Por la configuración de conexión de los elementos rectificadores

- Cargadores rectificadores de media onda. Permiten convertir la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC) de manera parcial, ya que solo rectifican la mitad del ciclo de la onda sinusoidal de entrada. Estos dispositivos utilizan un diodo para facilitar el flujo de corriente eléctrica en una dirección específica, eliminan la otra mitad de la onda sinusoidal de entrada. Durante la mitad positiva del ciclo de la onda, el diodo se enciende y la corriente fluye hacia la carga, mientras que, durante la mitad negativa del ciclo de la onda, el diodo se apaga y no permite que fluya corriente hacia la carga. Aunque son menos eficientes que los rectificadores de onda completa pueden ser útiles en algunas aplicaciones específicas, por ejemplo, se pueden utilizar para cargar baterías de plomo-ácido en sistemas de respaldo en los que la eficiencia no es un factor crítico, ya que la polaridad de la batería se mantiene constante con una corriente continua parcial (Suárez, 2022). En las figuras 23 y 24 se muestran los esquemas de rectificadores de media onda monofásicos y trifásicos.

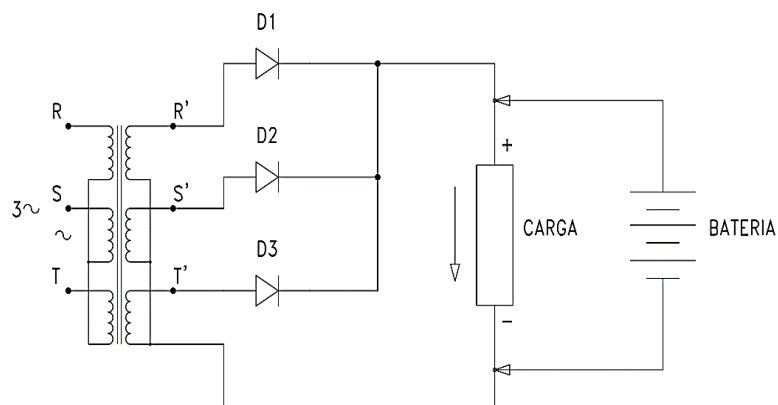
**Figura 23**

*Rectificador monofásico de media onda*



**Figura 24**

*Rectificador trifásico de media onda*

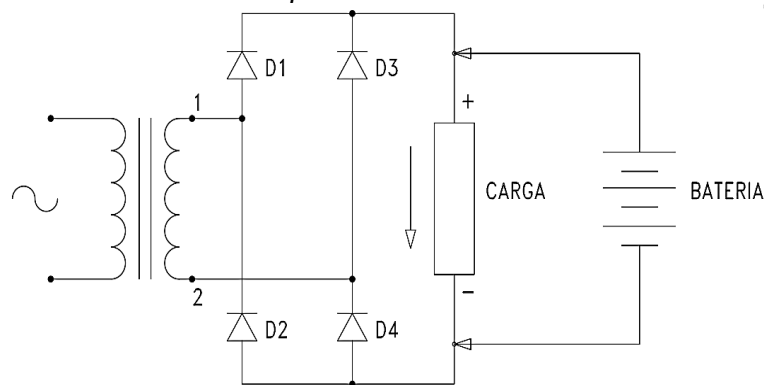


- Cargadores rectificadores de onda completa. Permiten convertir la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC) de manera completa, rectifican tanto la mitad positiva como la mitad negativa de cada ciclo de la onda sinusoidal de entrada. En estos dispositivos, se utiliza un puente de diodos para facilitar el flujo de corriente eléctrica en una dirección específica. Los diodos se encienden y apagan en secuencia, de modo que siempre hay dos diodos que permitan el flujo unidireccional de la corriente. De esta manera, la señal de salida de corriente continua es una corriente pulsante que oscila entre el valor máximo positivo y el máximo negativo de la señal alterna. Los rectificadores de onda completa son más eficientes que los rectificadores de media onda, ya que aprovechan al máximo la energía disponible

de la corriente alterna de entrada. Además, proporcionan una corriente continua más suave y constante, lo que es beneficioso para la carga de baterías o el suministro de energía de corriente continua a los sistemas de la subestación (Cadena, 1978). En las figuras 25 y 26 se muestran los esquemas de rectificadores de onda completa monofásicos y trifásicos.

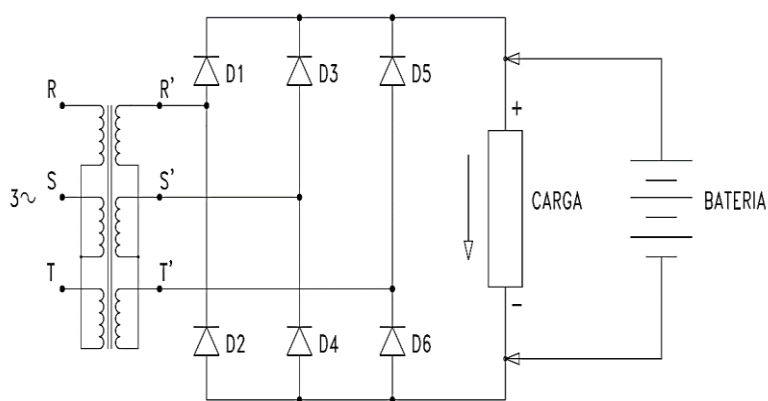
**Figura 25**

*Rectificador monofásico de onda completa*



**Figura 26**

*Rectificador trifásico de onda completa*



Según la forma de controlar el voltaje de salida:

- Cargadores rectificadores no controlados. Constan de un transformador que reduce la tensión de la fuente de alimentación de corriente alterna a un valor adecuado para cargar las baterías. Luego, la corriente alterna se rectifica mediante un rectificador de onda completa (formado por diodos), que convierte la señal alterna

en una señal continua de corriente pulsante. Se le llama “no controlado”, porque su funcionamiento no se puede controlar directamente, lo que significa que no se puede controlar el voltaje o la corriente de salida de forma directa. En cambio, se debe utilizar un regulador de tensión para ajustar la carga de las baterías. Este regulador actúa como interruptor para detener la carga de la batería cuando se alcanza el voltaje de carga completo, evita así que se dañen las baterías por sobrecarga (Pinto & Celleri, 2015).

- Cargadores rectificadores controlados. Utilizan los mismos componentes que el cargador rectificador no controlado; sin embargo, en el puente rectificador, se utilizan tiristores o transistores de potencia (GTO, Mosfet, IGBT, etc.), en lugar de diodos, como dispositivos de control que ajustan la corriente y el voltaje de salida para mantener la carga de la batería en un nivel adecuado (García, 2010). Este tipo de dispositivo ofrece algunas ventajas con respecto al cargador rectificador no controlado. En primer lugar, el control preciso de la carga de la batería significa que las baterías se pueden cargar más rápido y de manera más eficiente. En segundo lugar, se reduce el riesgo de dañar las baterías por sobrecarga, lo que puede prolongar su ciclo de vida y reducir los costos de mantenimiento. En tercer lugar, el uso de un cargador rectificador controlado puede aumentar la confiabilidad del sistema al garantizar que las baterías siempre estén listas para su uso en caso de una interrupción en la fuente de alimentación principal (Aguirre & Bejarano, 1991).

Los cargadores rectificadores no controlados son relativamente económicos y fáciles de instalar y mantener; sin embargo, no son adecuados para todas las aplicaciones y, generalmente, en las subestaciones se requiere un control riguroso de la carga de la batería, la cual se obtiene con los cargadores rectificadores controlados.

La evolución de los cargadores rectificadores controlados ha cambiado con el paso de los años, los que se instalan en las subestaciones eléctricas son de dos tipos: rectificadores controlados por tiristores (SCR) y rectificadores de alta frecuencia (fuente

conmutada). A continuación, se procede con la descripción de cada uno de estos tipos de rectificadores.

**Cargadores rectificadores controlados por tiristores (SCR).** El rectificador controlado de silicio (SCR) es un dispositivo que cuenta con un circuito de control de disparo que se utiliza para controlar el encendido y apagado de los tiristores. El circuito de disparo proporciona una señal de control de pulso para cada tiristor, lo que permite que el tiristor conduzca la corriente cuando se activa. Para volver al estado de bloqueo (no conducción), la corriente de carga debe disminuir por debajo de un umbral denominado “valor de sostenimiento”. El ángulo durante el cual conduce el tiristor se denomina ángulo de conducción y puede regularse entre 0 y 180°. Si se varía el ángulo durante el cual conduce el tiristor, se varía la parte alterna rectificada y con ello el valor medio de la corriente rectificada, consiguiendo así una magnitud continua regulable. Por tanto, el circuito de disparo controla el momento en que se activa cada tiristor y se utiliza para ajustar el nivel de tensión de salida de corriente continua (Cadena, 1978).

En la figura 27 se muestra un cargador rectificador tiristorizado que se usa generalmente en subestaciones eléctricas.

### **Figura 27**

*Tablero cargador rectificador tiristorizado*



*Nota:* adaptado de <https://www.benning.de/productos/sistemas-de-fuentes-de-alimentacion-conmutadas/sistemas-rectificadores/thyrotronic-06kw-1mw.html>

El funcionamiento del rectificador trifásico controlado por tiristores se puede dividir en dos fases principales: la fase de encendido y la fase de conducción.

- En la fase de encendido, los tiristores se activan en secuencia mediante el circuito de disparo. Los tiristores se activan cuando la tensión de entrada alcanza un cierto nivel y se apagan una vez que la corriente de entrada ha disminuido por debajo de un cierto nivel (Pastor, 2017).
- En la fase de conducción, los tiristores que están activos conducen la corriente en una dirección determinada. La corriente fluye a través del circuito de carga y la señal de corriente continua de salida se filtra mediante un circuito de filtro para eliminar las fluctuaciones de voltaje y corriente, y proporcionar una señal de salida suave (Pastor, 2017).

**Cargadores rectificadores de fuente conmutada.** Los cargadores rectificadores de fuente conmutada son dispositivos electrónicos que convierten la energía eléctrica de entrada en corriente continua (DC) controlada mediante un circuito de conmutación. Estos rectificadores se caracterizan por una alta eficiencia energética y una mayor precisión de control, en comparación con los rectificadores convencionales de tiristores.

Están conformados por un puente rectificador que se utiliza para convertir la corriente alterna en corriente continúa, permitiendo que la corriente fluya en una sola dirección, y un circuito de conmutación, compuesto de dispositivos electrónicos como transistores, MOSFET o IGBT, que se utilizan para controlar la frecuencia y la amplitud de la señal de salida. Este circuito de conmutación alterna la dirección de corriente a una frecuencia mucho más alta que la frecuencia de la corriente de entrada. (Pastor, 2017)

En la figura 28 se muestra un cargador rectificador de fuente conmutada, que se usa generalmente en subestaciones eléctricas.

**Figura 28**

*Tablero cargador rectificador de fuente conmutada*



*Nota:* adaptado de <https://www.benning.de/productos/sistemas-de-fuentes-de-alimentacion-conmutadas/sistemas-rectificadores/rectificador-industrial-tebechop-se.html>

En general, los cargadores rectificadores de fuente conmutada son una opción más avanzada y preferible debido a su alta eficiencia energética, control preciso de la carga y mayor capacidad de carga. Aunque son más costosos que los cargadores rectificadores controlados por tiristores ofrecen una mayor fiabilidad y requieren un mantenimiento regular, pero son menos propensos a fallas y averías (Pinto & Celleri, 2015).

En la tabla 4 se presenta un análisis comparativo de los pro y los contra de los cargadores rectificadores controlados por tiristores y los cargadores rectificadores de fuente conmutada.

**Tabla 4***Cuadro comparativo de cargadores rectificadores*

| <b>Tipo</b>                                              | <b>Ventajas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Desventajas</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cargador<br>rectificador<br>controlado por<br>tiristores | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Amplia disponibilidad y experiencia en el mercado</li> <li>- Bajo costo en comparación con los cargadores rectificadores de fuente conmutada</li> <li>- Menor mantenimiento</li> <li>- Menos propensos a sobrecargas</li> </ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor tamaño y peso</li> <li>- Eficiencia energética limitada debido a la alta caída de tensión de los tiristores</li> <li>- Limitado control de carga debido a la dificultad para regular la fase de la corriente</li> <li>- Menor capacidad de carga debido a la limitada capacidad de los tiristores</li> </ul> |
| Cargador<br>rectificador de<br>fuente<br>conmutada       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamaño más pequeño y ligero</li> <li>- Mayor eficiencia energética</li> <li>- Menor disipación de calor</li> <li>- Mayor capacidad de carga y control más preciso</li> <li>- Mayor estabilidad en la salida</li> <li>- Mayor confiabilidad</li> <li>- Menor probabilidad de fallas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor costo en comparación con los cargadores rectificadores tiristorizados</li> <li>- Mayor complejidad</li> <li>- Mayor requerimiento de mantenimiento</li> <li>- Mayor susceptibilidad a los picos de tensión y sobrecarga</li> </ul>                                                                           |

Como se puede observar, ambos tipos de cargadores rectificadores tienen ventajas y desventajas. Los cargadores rectificadores tiristorizados son más eficientes en términos de costo y periodicidad de mantenimiento, pero pueden generar más ruido y ser más grandes y pesados. Por otro lado, los cargadores rectificadores de fuente conmutada son más pequeños y livianos, tienen un bajo nivel de ruido, ofrecen mayor control y protección electrónica, pero son más costosos y complejos en su diseño. En última instancia, la elección entre uno u otro dependerá de las necesidades específicas de cada aplicación.

**2.1.7. Grupo electrógeno de emergencia**

Los grupos electrógenos son generalmente empleados en situaciones de falta de generación de energía o cortes frecuentes de servicio eléctrico. En las subestaciones eléctricas se utilizan como sistemas complementarios de emergencia para diversas instalaciones de servicios auxiliares y sistemas de iluminación de emergencia (Huamaní,

2013). En la figura 29 se muestra un grupo electrógeno del tipo encapsulado que se usa generalmente en subestaciones eléctricas.

### **Figura 29**

*Grupo electrógeno encapsulado*



*Nota:* adaptado de <http://www.hpetersen.com.uy/producto/nuevos/xqp300-1664/>

Un grupo electrógeno es un sistema electrónico independiente que produce electricidad a partir de un motor de combustión interna. Para que funcione de manera eficiente, es importante que todos sus componentes estén en buen estado y funcionen de manera adecuada. A continuación, se hace una breve descripción de los componentes de un grupo electrógeno (Caterpillar, 2005).

- Motor. Corazón del grupo electrógeno, responsable de convertir la energía química de la combustión en energía mecánica. Los motores más comunes utilizados en grupos electrógenos son de gasolina, diésel o gas.
- Alternador. Componente responsable de convertir la energía mecánica del motor en energía eléctrica. La energía eléctrica generada por el alternador es utilizada para cargar las baterías y para suministrar energía a los equipos conectados al grupo.
- Sistema de control: Encargado de regular el funcionamiento del grupo electrógeno. Aquí se incluye el regulador de voltaje (AVR), el interruptor automático y el tablero de control mediante el cual se monitorea la operación del motor y se verifican las

variables del generador a través de los componentes de medición, señalización y protección instalados en el tablero.

- Sistema de refrigeración. Responsable de mantener el motor a una temperatura adecuada. Aquí se considera un radiador, un ventilador y un sistema de enfriamiento por agua. Generalmente, los grupos electrógenos pequeños tienen refrigeración por aire con un ventilador; en cambio, en grupos electrógenos diésel hasta 80 kVA se encuentran versiones en ambos sistemas: aire y agua. En grupos electrógenos con potencia 80 kVA en adelante, solo encontraremos el sistema de refrigeración por agua.
- Sistema de combustible. Este sistema es el que se encarga de suministrar combustible al motor. Está compuesto por un tanque de combustible, una bomba de combustible y un filtro de combustible.
- Sistema de escape. Responsable de evacuar los gases de escape del motor. Generalmente, este componente incluye un tubo de escape y un silenciador.
- Sistema eléctrico. Encargado de distribuir la energía eléctrica generada por el alternador a los equipos eléctricos conectados. Está compuesto por cables, conectores e interruptores.

Para garantizar el correcto funcionamiento del grupo electrógeno, se debe realizar una adecuada selección teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

**Clasificación de potencia del generador.** De acuerdo con normas internacionales ISO, se definen tres tipos de servicio.

- Potencia de funcionamiento de tiempo limitado (LPT): cuando el generador entrega energía en situaciones de emergencia por cortes de suministro eléctrico durante un número limitado de horas, operando hasta 500 horas anuales con carga variable, idealmente al 80% de su capacidad nominal y no soporta sobrecargas (Huamaní, 2013). Se le conoce también como potencia en *stand by* del generador.

- **Potencia de funcionamiento principal (PRP):** cuando el generador trabaja en situaciones de suministro de energía temporal, durante un número ilimitado de horas (mayor a 500 horas anuales) con carga variable, generalmente trabaja en el rango de 30% a 70% de su capacidad nominal y puede soportar sobrecargas del 10% (en intervalos de 1 hora por 12 horas) (Huamaní, 2013). Se le conoce también como potencia *prime* del generador y es comúnmente utilizado en zonas rurales donde no existe servicio por parte de la compañía eléctrica.
- **Potencia de operación continua (COP):** cuando el generador opera en situaciones de suministro de energía continua con carga constante, trabaja al 100% de la capacidad nominal, sin soportar sobrecargas y recomendable para soluciones en paralelo (Huamaní, 2013). Se le conoce también como potencia de carga base del generador.

**Tipo de combustible utilizado.** Dependiendo del tipo de combustible que utiliza, los grupos electrógenos se pueden clasificar en 03 categorías: gasolina, diésel y gas. Generalmente, los grupos electrógenos a gas son más eficientes que los de gasolina y diésel. En la tabla 5 se muestra el cuadro comparativo de las eficiencias de los diferentes tipos de grupos electrógenos.

**Tabla 5**

*Cuadro comparativo de eficiencia de grupos electrógenos*

| <b>Tipo</b> | <b>Eficiencia típica</b> | <b>Ventajas</b>                                                                                                                                                        | <b>Desventajas</b>                                                                                                            |
|-------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gasolina    | Entre 35% a 40%          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peso, tamaño y nivel sonoro menor que los grupos a diésel.</li> <li>- Ligeramente más económico.</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor consumo de combustible frente a otros tipos de grupos electrógenos.</li> </ul> |
| Diésel      | Entre 30% y 60%          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiabilidad, disponibilidad y costo bajo.</li> </ul>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones de gases de efecto invernadero y ruido</li> </ul>                          |
| Gas         | Entre 40% y 60%          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos emisiones de gases de efecto invernadero.</li> <li>- Menos ruido que los otros tipos de grupos electrógenos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor costo y requerimiento de infraestructura.</li> </ul>                           |

**Caída de voltaje y frecuencia permitida.** Para dimensionar el grupo electrógeno, es necesario considerar los valores de caída de tensión y variación de frecuencia que pueden soportar todas las cargas que alimenta. La Norma ISO 8528 agrupa las cargas con el fin de asignar un cuadro permisible en caídas de tensión y variaciones de frecuencia que tiene que garantizar el grupo electrógeno seleccionado (Huamaní, 2013).

En las tablas 6 y 7 se muestran las características de las cargas y las tolerancias de acuerdo con la clasificación de la norma ISO.

**Tabla 6**

*Clasificación de cargas según ISO 8528*

|    |                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| G1 | Requerido por aplicaciones donde las cargas conectadas son tales que sólo parámetros básicos de voltaje y frecuencia necesitan ser especificados.                                                                                       | Aplicaciones para propósitos generales como iluminación y otras cargas eléctricas |
| G2 | Requerido por aplicaciones donde las cargas tienen requerimientos de voltaje que normalmente son los suministrados por el sistema comercial de energía. Cuando los cambios de carga generan cambios en voltaje y frecuencia aceptables. | Sistema de iluminación, bombas, ventiladores y grúas                              |
| G3 | Requerido por aplicaciones donde las cargas tienen requerimientos de voltaje y frecuencia que podrían no ser suministrados por el sistema comercial de energía.                                                                         | Equipos de telecomunicaciones                                                     |
| G4 | Requerido por aplicaciones donde las cargas tienen requerimientos de voltaje y frecuencia muy exigentes y que probablemente no pueden ser suministrados por el sistema comercial de energía.                                            | Procesamiento de datos y equipos de cómputo                                       |

*Nota:* adaptado de la Norma ISO 8528-5:2018

**Tabla 7**

*Cuadro de tolerancias de voltaje y frecuencia según ISO 8528*

|                           | Clase G1 | Clase G2 | Clase G3 | Clase G4 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Frecuencia (%) aceptada   | -15      | -10      | -7       | AMC      |
| Frecuencia (%) en rechazo | 18       | 12       | 10       | AMC      |
| Voltaje (%) aceptada      | -25      | -20      | -15      | AMC      |
| Voltaje (%) en rechazo    | 35       | 25       | 20       | AMC      |
| Tiempo (segundos)         | 5        | 5        | 3        | AMC      |

*Nota.* AMC: Límites acordados entre el fabricante y el cliente. Adaptado de la Norma ISO 8528-5:2018

De las consideraciones indicadas, para las subestaciones, generalmente, se elige un grupo electrógeno con potencia de funcionamiento de tiempo limitado (*stand by*), combustible diésel y para operar con cargas clase G2, que generalmente son las que están tipificadas como cargas esenciales de la subestación (iluminación, ventiladores, cargadores de baterías, etc.).

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Normas de diseño**

Para el diseño de los servicios auxiliares de las subestaciones, incluyendo el dimensionamiento y selección de los equipos principales, se ha tomado considerado las recomendaciones establecidas en las siguientes normas y reglamentos.

#### **Nacionales**

- Código Nacional de Electricidad (CNE) Suministro 2011. RM-214-2011-MEM/DM
- Código Nacional de Electricidad (CNE) Utilización 2006. RM-037-2006-MEM/DM
- Procedimiento Técnico del COES, PR-20: Ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el SEIN. Resolución OSINERGMIN N° 035-2013-OS/CD

#### **Internacionales:**

- IEC 60694, Edition 2.2, January 2002, Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards.
- ANSI C84.1-2020, American National Standards for Electric Power Systems and Equipment – Voltage Ratings (60 Hz).
- IEEE Std 946-2020, IEEE Recommended Practice for the Design of DC Power Systems for Stationary Applications.
- IEC 60529, Edition 2.1, February 2002, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

- IEEE C37.13-2015, IEEE Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures.
- IEC 61439, Edition 3.0, May 2020, Low-voltage switchgear and controlgear assemblies.
- IEC 60076, Edition 2.1, April 2000, Power Transformers.
- IEEE Std C57.12.01-2015, IEEE Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers, Including Those with Solid-Cast and/or Resin Encapsulated Windings.
- IEC 60896-11, Edition 1.0, April 2002, Stationary lead-acid batteries – Part 11: Vented types – General requirements and methods of tests
- IEC 60896-21, Edition 1.0, February 2004, Stationary lead-acid batteries – Part 21: Valve regulated types – Methods of test.
- IEC 60896-22, Edition 1.0, February 2004, Stationary lead-acid batteries – Part 22: Valve regulated types – Requirements.
- IEEE Std 485-2010, IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications.
- ISO, ISO 8528-1:2018 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 1: Application, ratings and performance, n.d.

### **2.2.2. Niveles y límites de tensión**

Los niveles y límites de tensión para los sistemas de servicios auxiliares de las subestaciones están clasificados según las normas IEC y ANSI / IEEE.

**A. Según Norma IEC.** Según la Norma IEC 60694 (2002), numeral 4.8, se entenderá por tensión de alimentación de los elementos de cierre y de maniobra de los circuitos auxiliares y de mando de la aparamenta, a la tensión real medida en bornes del circuito del equipo, incluyendo los requisitos del fabricante, las resistencias auxiliares y

accesorios instalados en serie con él, excluyendo los conductores conectados a la fuente de alimentación.

Bajo el estándar IEC, las tensiones nominales deben ser elegidas de los valores que se indican en las tablas 8 y 9.

**Tabla 8**

*Tensiones nominales de corriente continua según norma IEC*

| V         |
|-----------|
| 24        |
| 48        |
| 60        |
| 110 o 125 |
| 220 o 250 |

*Nota:* adaptado de la Norma IEC 60694 (2002). Tabla 14

**Tabla 9**

*Tensiones nominales de corriente alterna según norma IEC*

| Sistemas trifásicos, 3<br>hilos o 4 hilos<br>V | Sistemas monofásicos,<br>3 hilos<br>V | Sistemas monofásicos,<br>2 hilos<br>V |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| -                                              | 120/240                               | 120                                   |
| 120/208                                        | -                                     | 120                                   |
| (220/380)                                      | -                                     | (220)                                 |
| 230/400                                        | -                                     | 230                                   |
| (240/415)                                      | -                                     | (240)                                 |
| 277/480                                        | -                                     | 277                                   |
| 347/600                                        | -                                     | 347                                   |

Los valores más bajos en la primera columna de esta tabla son las tensiones a neutro y los valores más altos son las tensiones entre fases. El valor más bajo en la segunda columna es la tensión a neutro y el valor más alto es la tensión entre líneas.

El valor 230/400 V indicado en la tabla será, en el futuro, la única tensión estándar IEC y se recomienda su adopción en los nuevos sistemas. Las variaciones de tensión de los sistemas existentes en 220/380 V y 240/415 V deben estar dentro del rango 230/400 V  $\pm$  10 %. La reducción de este rango se considerará en una etapa posterior de estandarización.

*Nota:* adaptado de la Norma IEC 60694 (2002). Tabla 15

**B. Según Norma ANSI/IEEE.** Según la Norma IEEE Std 946-2020, en los circuitos de corriente continua se deben considerar el tipo, la clasificación, el costo, la disponibilidad y la ubicación del equipo conectado para determinar la clasificación de voltaje del sistema, que es adecuada para una aplicación en particular. Los sistemas de 125 V se usan comúnmente para alimentar circuitos lógicos de relés anidados, el cierre y apertura de interruptores. Los sistemas de 48 V o 24 V se utilizan, comúnmente, para aplicaciones especializadas. En la tabla 10 se indican los valores normalizados de tensión continua.

**Tabla 10**

*Tensiones nominales de corriente continua según norma ANSI/IEEE*

| V   |
|-----|
| 24  |
| 48  |
| 125 |
| 250 |

*Nota:* adaptado de la Norma IEEE Std 946-2020. Tabla 1

Para el caso de los circuitos de corriente alterna, la norma ANSI C84.1-2020 define las tensiones nominales indicadas en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Tensiones nominales de corriente alterna según norma ANSI/IEEE*

| Sistemas trifásicos de 3 o 4 hilos | Sistemas monofásicos de 2 o 3 hilos |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| V                                  | V                                   |
| -                                  | 120                                 |
| 120/208                            | -                                   |
| -                                  | 120/240                             |
| 127/220                            | -                                   |
| 220                                | -                                   |
| 277/480                            | -                                   |
| 480                                | -                                   |

*Nota:* adaptado de la Norma ANSI C84.1-2020. Tabla 1

**C. Límites de tensión admisibles.** Según la Norma IEC 60694, la tolerancia admisible de la tensión nominal, tanto para corriente alterna (AC) y corriente continua (DC), medida en bornes del equipamiento auxiliar (control electrónico, supervisión, monitoreo y comunicación), debe estar entre el 85% y el 110%. Con la excepción que las bobinas de apertura de los interruptores deben trabajar entre 70% y 110% en corriente continua (Mejía Villegas, 2003).

Por otro lado, de acuerdo con la Norma IEEE Std 946-2020, los límites de tensión admisibles para equipos en corriente continua deben estar según se indica en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Límites de tensión admisibles según norma ANSI/IEEE*

| Componente                                                          | Rango de tensión |                 |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
|                                                                     | 125 V (nominal)  | 250 V (nominal) |
| Bobina de cierre de interruptor                                     | 90 – 140         | 180 – 280       |
| Bobina de disparo de interruptor                                    | 70 – 140         | 140 – 280       |
| Bobina de arranque de motor                                         | 90 – 140         | 180 – 280       |
| Válvula de solenoide                                                | 90 – 140         | 180 – 280       |
| Motor de accionamiento de válvula                                   | 90 – 140         | 180 – 280       |
| Motor auxiliar                                                      | 100 – 140        | 200 – 280       |
| Bobina de relé electromecánico                                      | 100 – 140        | 200 – 280       |
| Relé de estado sólido                                               | 100 – 140        | 200 – 280       |
| Instrumentación                                                     | 100 – 140        | 200 – 280       |
| Lámparas de indicación                                              | 100 – 140        | 200 – 280       |
| Fuente de alimentación en estado sólido<br>(inversor y convertidor) | 100 – 140        | 200 – 280       |

Es posible que el rango de tensiones mencionado arriba no coincida con lo recomendado en otros estándares de la industria para estos equipos, pero se recomiendan para la operación adecuada de los componentes cuando la tensión de barra del panel de distribución principal varía entre 105 V – 140 V (210 V – 280 V).

*Nota:* adaptado de la Norma IEEE Std 946-2020. Tabla 2

Conforme a la Norma ANSI C84.1-2020, los valores de tensión en corriente alterna (AC) en los bornes del equipo no deben desviarse de la tensión asignada en + 5% a -10%.

### **2.2.1. Análisis de cargas**

Para garantizar el correcto funcionamiento de una subestación eléctrica, los servicios auxiliares requieren de diferentes equipos que operan en corriente alterna y en corriente continua. Estos equipos son llamados, comúnmente, cargas y se conectan a los diferentes tableros de distribución de energía dentro de la subestación.

Para poder seleccionar con mayor exactitud los equipos principales de los servicios auxiliares (transformador, grupo electrógeno, banco de baterías), es necesario realizar un estudio de cargas que consiste en definir adecuadamente los tipos de cargas que irán conectadas al sistema, así como los cálculos requeridos para determinar las potencias de consumo para cada equipo.

**Tipos de cargas.** En la distribución de circuitos de los servicios auxiliares, se pueden establecer dos tipos de cargas: de corriente alterna y de corriente continua, estas a su vez se pueden subdividir en diferentes clasificaciones como se indica a continuación.

Para los circuitos de corriente alterna son los siguientes:

**Cargas no esenciales.** Las cargas no críticas para el funcionamiento seguro y confiable de la subestación eléctrica comprenden aquellas que, si bien son importantes, pueden prescindirse en situaciones de operación en contingencia. Algunas de estas cargas pueden ser, por ejemplo, la alimentación de áreas de oficinas, almacenes, y/o circuito de iluminación y tomacorrientes generales (Mejía Villegas, 2003).

**Cargas esenciales.** Las cargas críticas para el funcionamiento seguro y confiable de la subestación eléctrica deben contar con un respaldo de alimentación constante para garantizar su operatividad. Es necesario asegurar que estas cargas estén respaldadas por una fuente de alimentación alternativa en todo momento (generalmente un grupo electrógeno). Algunas de estas cargas pueden ser, por ejemplo, la alimentación de cargadores rectificadores, sistemas de aire acondicionado, sistemas de ventilación de

transformadores y sistemas contra incendios de la subestación, entre otras (Mejía Villegas, 2003).

Para los circuitos de corriente continua son los siguientes:

**Cargas fijas.** Se refiere a todas las cargas que están permanentemente conectadas al sistema de corriente continua durante todo el ciclo de trabajo y que se alimentan desde el cargador de baterías, utilizando como respaldo el banco de baterías (Mejía Villegas, 2003). Algunas de estas cargas pueden ser, por ejemplo, las luces indicadoras de los tableros, relés auxiliares repetidores, la alimentación de los equipos de protección, control y comunicaciones.

**Cargas no permanentes.** Son todas aquellas cargas que van conectadas al sistema de corriente continua pero que solo requieren energía durante una parte del ciclo de trabajo (cargas de emergencia), pudiendo funcionar por un período de tiempo específico hasta el final del ciclo de trabajo o hasta que sea desconectada por el operador (Mejía Villegas, 2003). Algunas de estas cargas pueden ser, por ejemplo, motores para bombas de emergencia, motores para sistemas de ventilación de emergencia.

**Cargas transitorias.** Se refiere a las cargas que se conectan al sistema de corriente continua de manera imprevista durante el ciclo de trabajo, pero su duración no supera el tiempo de 1 minuto (Mejía Villegas, 2003). Algunas de estas cargas pueden ser, por ejemplo, corrientes de arranques de motores, operación de equipos de protección y control, activación de bobinas de disparo.

**Determinación de la demanda.** Los requisitos de las cargas conectadas a los servicios auxiliares de la subestación deben definirse de la manera más exacta posible con la finalidad de determinar el tamaño adecuado de los equipos principales del sistema (transformador, grupo electrógeno, banco de baterías).

Es fundamental tener en cuenta que en ningún momento funcionarán al mismo tiempo todos los equipos conectados a los servicios auxiliares de la subestación, por lo

que se deben considerar algunos factores que se pueden utilizar para el correcto dimensionamiento de las cargas (Montes & Pineda, 2019). Estos factores son los siguientes:

- Factor de utilización
- Factor de simultaneidad
- Factor de reserva

**Factor de utilización ( $F_U$ ).** La relación entre la demanda efectiva de la carga y su potencia nominal se conoce como factor de utilización. Por lo general, este factor es inferior a 1 y alcanza el valor unitario únicamente cuando todas las cargas conectadas están absorbiendo sus potencias nominales. Para la determinación de la demanda, este factor se debe aplicar de forma individual por cada circuito (carga) conectado al tablero de distribución. Este factor se expresa como se muestra en la ecuación 1.

$$F_U = \frac{P_e}{P_N} \quad (1)$$

Donde:

$F_U$  : factor de utilización

$P_e$ : potencia efectiva (demandada) de la carga

$P_N$ : potencia nominal de la carga

**Factor de simultaneidad ( $F_s$ ).** Es la relación entre la demanda máxima total de un grupo de cargas y la suma de las demandas máximas individuales de cada carga que forma parte de dicho grupo. Esto se debe a que en la práctica nunca ocurre la operación simultánea de todas las cargas conectadas en una instalación, existe siempre un grado de diversidad que es tomado en cuenta por el factor de simultaneidad (Montes & Pineda, 2019). Cuando se habla de conjunto de cargas, esto se refiere generalmente al tablero de distribución que agrupa todas las cargas conectadas en una sola barra. El factor de simultaneidad se expresa como se muestra en la ecuación 2.

$$F_s = \frac{MD_{sist}}{\sum MD_i} \quad (2)$$

Donde

$F_s$  : factor de simultaneidad

$MD_{sist}$  : máxima demanda del conjunto de cargas

$MD_i$  : suma de las máximas demandas individuales

**Factor de reserva.** Este factor debe ser calculado teniendo en cuenta las posibles expansiones planeadas para las cargas de la subestación eléctrica; no obstante, en caso de no contar con información precisa, se sugiere contemplar un margen de reserva del 20% para futuras ampliaciones.

La determinación de los factores de utilización ( $F_u$ ) y simultaneidad ( $F_s$ ), para el cálculo de la carga, es responsabilidad del diseñador de los servicios auxiliares de la subestación, dado que se necesita un entendimiento minucioso de la instalación y las condiciones específicas en las que se utilizará cada circuito..

Sin embargo, la Norma IEC 61439 define algunos valores típicos de factores de simultaneidad que aplican para tableros de distribución de acuerdo con el número de circuitos que tiene en total y también de acuerdo con la función de cada circuito. Estos factores de simultaneidad típicos, que pueden ser tomados como referencia para la determinación de la carga, se muestran en las tablas 13 y 14 respectivamente.

**Tabla 13**

*Factores de simultaneidad para tableros de distribución*

| Número de circuitos | Factor |
|---------------------|--------|
| 2 y 3               | 0,9    |
| 4 y 5               | 0,8    |
| 6 a 9               | 0,7    |
| 10 a más            | 0,6    |

*Nota:* adaptado de la Norma IEC 61439

**Tabla 14***Factores de simultaneidad de acuerdo con la función del circuito*

| <b>Función del circuito</b>      | <b>Factor</b> |
|----------------------------------|---------------|
| Iluminación                      | 1             |
| Calefacción y aire acondicionado | 1             |
| Tomacorrientes                   | 0,2 a 0,25    |
| Motor (más potente)              | 1             |
| Segundo motor (más potente)      | 0,75          |
| Todos los demás motores          | 0,6           |

*Nota:* adaptado de la Norma IEC 61439

**Balanceo de fases.** En los sistemas trifásicos de corriente alterna, es fundamental asegurar un equilibrio adecuado en cada una de las fases para evitar variaciones excesivas en la tensión (por lo general superiores al 5%). Esto garantiza una distribución uniforme de la potencia en las 3 fases, independientemente de si el sistema cuenta con cargas monofásicas conectadas entre fase y neutro o entre fases. (Montes & Pineda, 2019).

Para el cálculo del balanceo se deben considerar los siguientes puntos (Montes & Pineda, 2019):

- Para cargas trifásicas: se debe tener en cuenta que la capacidad nominal será dividida entre las tres fases, asignando una tercera parte a cada una de ellas.
- Para cargas monofásicas entre fases: se debe asignar el 50% de la capacidad nominal a cada fase que se vaya a conectar.
- Para cargas monofásicas fase-neutro: se debe tener en cuenta la capacidad nominal de la carga en la fase que se va a conectar.

Seguidamente, se procede a sumar las cargas de cada fase para verificar que el desbalance sea menor al 5% de acuerdo con la expresión indicada en la ecuación 3.

$$\%Desbalanceo = \frac{F_{Mayor} - F_{Menor}}{F_{Menor}} * 100 \quad (3)$$

Donde

$F_{Mayor}$  : fase con la mayor carga total

$F_{Menor}$  : Fase con la menor carga total

### **2.2.2. Dimensionamiento de cables**

La selección adecuada del cable de alimentación de los circuitos de servicios auxiliares es importante para garantizar una operación confiable de la subestación, por lo que se deben tomar en cuenta algunas características tales como:

- Tipo de conductor. Puede ser de cobre o de aluminio. Generalmente, en cables de baja tensión se utiliza conductores de cobre, ya que tiene mejor conductividad, mayor resistencia a la conducción y mayor grado de flexibilidad. En contraparte, el aluminio es menos pesado y más barato que el cobre (Montes & Pineda, 2019). Por otro lado, para los circuitos de servicios auxiliares, en alimentadores principales se utilizan cables del tipo unipolares; mientras que en los circuitos derivados se utilizan cables del tipo multiconductor de 3 o 4 conductores según se requiera.
- Tipo de aislamiento. Aun cuando existen diferentes tipos, los más frecuentes son la poliolefina (Z1), que es libre de halógenos, el polietileno reticulado (XLPE), el cloruro de polivinilo (PVC) y el etileno propileno (EPR). En cuanto a su comportamiento térmico, los aislamientos básicamente se distinguen en termoplásticos (PVC, Z1) y termoestables (XLPE, EPR). Los termoplásticos soportan 70°C en régimen permanente y 160°C en cortocircuito; mientras que los termoestables soportan 90°C en régimen permanente y 250°C en cortocircuito debido a que tienen una capacidad mayor de calentamiento y, por tanto, soportan mayor intensidad de corriente admisible que los cables con aislamiento termoplástico (Montes & Pineda, 2019).
- Clasificación de aislamiento por tensión, que está determinado por la tensión asignada del cable ( $U_0/U$ ) donde  $U_0$  representa el voltaje RMS de la tensión nominal entre un conductor aislado y el suelo, mientras que  $U$  es el voltaje RMS de la tensión nominal entre dos conductores aislados (Montes & Pineda, 2019). En baja tensión, generalmente se diseñan cables con tensiones asignadas de 450/750 V y 0,6/1 kV según la Norma IEC 60502.

Para el dimensionamiento adecuado de los conductores, la selección se realiza teniendo en consideración los siguientes cálculos (Mejía Villegas, 2003):

- Intensidad admisible
- Caída de Tensión
- Cálculo de cortocircuito

A continuación, se describe los métodos de cálculo para cada uno de los criterios indicados. La sección de cable a utilizar será la que resulte mayor de los tres cálculos.

**Intensidad admisible.** Es la capacidad de corriente a plena carga, que portará el conductor considerando su longitud, los conductores deben ser dimensionados para soportar una capacidad de corriente que sea al menos el 125% de la corriente máxima (a plena carga) a la que estarán sometidos. de acuerdo con lo que se muestra en la ecuación 4.

$$I_D = 1.25I_{FLA} \quad (4)$$

Donde

$I_D$  : corriente de diseño (A)

$I_{FLA}$ : corriente a plena carga del circuito (A)

Por otro lado, la corriente a plena carga del circuito se calcula del siguiente modo:

- Para circuitos trifásicos, el cálculo es como se muestra en la ecuación 5.

$$I_{FLA} = \frac{P}{\sqrt{3}V_N \cos \varphi} \quad (5)$$

- Para circuitos monofásicos y de corriente continua, el cálculo es como se muestra en la ecuación 6.

$$I_{FLA} = \frac{P}{V_N \cos \varphi} \quad (6)$$

Donde

$I_{FLA}$  : corriente a plena carga del circuito (A)

$P$  : potencia eléctrica requerida por la carga (kW)

$V_N$  : tensión Nominal de utilización (V)

$I_{FLA}$ : corriente a plena carga del circuito

$\cos\phi$  : factor de potencia (igual a 1 para circuitos de corriente continua)

Luego de determinar la corriente admisible del circuito, según las ecuaciones indicadas líneas arriba, se procede a seleccionar la sección del conductor que soportará esta corriente. Para esto, es necesario que el diseñador conozca a detalle las instalaciones físicas de la subestación eléctrica debido a que la intensidad admisible del conductor depende del tipo de canalización proyectado en la instalación y de los factores de corrección por temperatura y derrateo por agrupamiento de cables.

Los métodos de instalación, así como las corrientes admisibles (en ampere) de acuerdo con el tipo de aislamiento, material y sección del conductor (en mm<sup>2</sup>), están indicados en la Tabla A.52.3 de la Norma IEC 60364-5-52 (ver anexo 1).

Los valores de corriente admisibles indicados en tablas aplican para un solo circuito en la canalización y a una temperatura ambiente de 30°C. Por tanto, el valor seleccionado en tablas de la corriente admisible debe ser ajustado aplicando los factores de corrección correspondientes por temperatura y derrateo debido al agrupamiento de cables según se muestra en las tablas B.52.14, B.52.15 y C.52.1 de la Norma IEC 60364-5-52 (ver anexo 1).

**Caída de tensión.** Son pérdidas directamente proporcionales a la impedancia y longitud del cable. Según la Ley de Ohm el aumento de la corriente o la resistencia en un cable genera el aumento de la caída de tensión, que puede llegar a un nivel tal que resulte inadecuada para la operación eficiente de los equipos de la subestación (Montes & Pineda, 2019).

De acuerdo con la Regla 050.012 del Código Nacional de Electricidad, los cables de los alimentadores y los circuitos derivados deben ser calculados para que,

- la caída de tensión no sea supere el 2,5%, y

- la caída de tensión total (valor máximo) en el alimentador y los circuitos derivados hasta el punto de utilización más distante no debe superar el 4%.

Las ecuaciones para determinar la caída de tensión son las siguientes:

- Para circuitos trifásicos, el cálculo es como se muestra en la ecuación 7.

$$\Delta V = \sqrt{3}IL(R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (7)$$

- Para circuitos monofásicos, el cálculo es como se muestra en la ecuación 8.

$$\Delta V = 2IL(R \cos \phi + X \sin \phi) \quad (8)$$

- Para circuitos de corriente continua, el cálculo es como se muestra en la ecuación 9.

$$\Delta V = 2ILR \quad (9)$$

Donde

$\Delta V$  : caída de tensión (expresada en V).

$I$  : corriente a transportar (A)

$R$  : resistencia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ )

$X$  : Reactancia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ )

$L$  : longitud del circuito (km)

$\Phi$  : ángulo de fase

$\cos \Phi$  : factor de potencia de la carga

Para el cálculo de la caída de tensión, es necesario conocer los valores de resistencia y reactancia de los cables de acuerdo con su sección (en  $\text{mm}^2$ ). Para fines prácticos, un valor comúnmente utilizado de la reactancia ( $X$ ) en baja tensión es  $0,09 \Omega/\text{km}$  en circuitos trifásicos o monofásicos independientemente del tipo de material, sea de cobre o aluminio.

El cálculo de la resistencia del conductor (R) está influenciado por diversos factores, como la temperatura de operación del conductor, el efecto proximidad y el efecto skin. Las ecuaciones para determinar el valor de la resistencia se muestran a continuación:

- Temperatura de operación del conductor:

$$T = T_0 + (T_{MAX} - T_0) \left( \frac{I}{I_{MAX}} \right)^2 \quad (10)$$

Donde

T : temperatura real estimada del conductor.

T<sub>0</sub> : temperatura ambiente

T<sub>MAX</sub> : temperatura máxima admisible para el conductor (90°C para aislamiento XLPE, 70°C para aislamiento PVC)

I : intensidad de corriente que circula por el conductor debido a la carga (A)

I<sub>MAX</sub> : intensidad de corriente máxima admisible para el conductor, obtenido según el tipo de aislamiento y tablas de capacidad de corriente, afectado por factores de corrección

- Resistencia en corriente continua

$$R_{CCT} = R_{CC20} [1 + \alpha(T - 20)] \quad (11)$$

Donde

R<sub>CCT</sub> : resistencia en corriente continua a temperatura T en Ω/km.

R<sub>CC20</sub> : resistencia en corriente continua a temperatura 20°C en Ω/km.

α : coeficiente de temperatura (0,00393 para conductor de cobre y 0,00403 para conductor de aluminio)

T : temperatura real estimada del conductor.

- Resistencia en corriente alterna

$$R_{CAT} = R_{CCT}[1 + Y_s + Y_p] \quad (12)$$

Donde

$R_{CAT}$  : resistencia en corriente alterna a temperatura T en  $\Omega/\text{km}$ .

$R_{CCT}$  : resistencia en corriente continua a temperatura T en  $\Omega/\text{km}$ .

$Y_s$  : factor del efecto skin

$Y_p$  : factor del efecto proximidad.

En corriente alterna se producen efectos piel y efectos proximidad, los cuales son significativamente más notables en conductores de alta sección y en frecuencias elevadas. Su cálculo riguroso se detalla en la Norma IEC 60287; no obstante, en el caso de instalaciones de baja tensión, se puede estimar que habrá un ligero aumento de la resistencia en corriente alterna de menos del 2% en comparación con el valor en corriente continua (Pfeil, 1994).

**Cálculo de cortocircuito.** Es el último criterio que el diseñador debe tener en cuenta para la determinación del cable. La elevación de la temperatura en un conductor generalmente se debe a un cortocircuito a través de un proceso no adiabático, donde el calentamiento está determinado por la intensidad y la duración del cortocircuito (Mejía Villegas, 2003).

De acuerdo con la Norma IEC 60949, tenemos que la capacidad del cable frente a los cortocircuitos se obtiene a partir de la ecuación 13.

$$I_{AD}^2 t = K^2 S^2 \ln \left( \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) \quad (13)$$

Donde

$I_{AD}$  : corriente de cortocircuito (A)

$t$  : duración del cortocircuito (s)

$K$  : constante dependiente del material conductor ( $\text{As}^{1/2}/\text{mm}^2$ )

$S$  : sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

- $\theta_f$  : temperatura final del conductor (°C)
- $\theta_i$  : temperatura inicial del conductor (°C)
- $\beta$  : inversa del coeficiente de variación de la resistencia a 0°C

De los tres criterios considerados, se selecciona el conductor que resulte de mayor sección luego de realizar los cálculos respectivos. En términos prácticos, la verificación de la capacidad de corriente de cortocircuito en la selección de los cables se realiza para los alimentadores principales, que conectan los tableros con la fuente de alimentación. Para los circuitos derivados es válida la selección del cable cumpliendo los dos primeros criterios.

### **2.2.3. Cálculo de la corriente de cortocircuito**

El cálculo de la corriente de cortocircuito se debe elaborar para el barraje de corriente alterna y para el barraje de corriente continua.

**Cortocircuito de corriente alterna.** Para efectos prácticos, el cálculo de cortocircuito de corriente alterna se basa en considerar el escenario más crítico posible, el cual consiste en considerar una potencia infinita en bornes del transformador de servicios auxiliares. La corriente de cortocircuito en baja tensión de los servicios auxiliares está determinada por la ecuación 14 (Mejía Villegas, 2003).

$$I_{Kca} = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3}U_r} \frac{100\%}{Z_T} \quad (14)$$

Donde

- $I_{Kca}$  : corriente trifásica de cortocircuito del barraje (A)
- $S_{3\phi}$  : potencia asignada del transformador (kVA)
- $Z_T$  : impedancia de cortocircuito del transformador (%)
- $U_r$  : tensión asignada fase-fase del barraje (V)

La impedancia de cortocircuito varía de acuerdo con la potencia nominal del transformador y es un valor que debe ser indicado por el fabricante del equipo; sin

embargo, se puede tomar como referencia los valores típicos especificados en la tabla 1 de la Norma IEC 60076-5. Estos valores se muestran en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Valores típicos de impedancia de cortocircuito de transformadores*

| Potencia nominal (kVA) | Mínima impedancia de cortocircuito (%) |
|------------------------|----------------------------------------|
| 25 a 630               | 4,0                                    |
| 631 a 1 250            | 5,0                                    |
| 1 251 a 2 500          | 6,0                                    |
| 2 501 a 6 300          | 7,0                                    |
| 6 301 a 25 000         | 8,0                                    |
| 25 001 a 40 000        | 10,0                                   |
| 40 001 a 63 000        | 11,0                                   |
| 63 001 a 100 000       | 12,5                                   |
| Arriba de 100 000      | >12,5                                  |

*Nota:* adaptado de la Norma IEC 60076-5. Tabla 1

Este cálculo es considerado conservador, ya que no tiene en cuenta la impedancia de los cables ni la impedancia de cortocircuito en el lado de la fuente (asumiendo una barra infinita). Se elige el valor de corriente de cortocircuito normalizado inmediato superior (Mejía Villegas, 2003).

**Cortocircuito de corriente continua.** La corriente de cortocircuito en el barraje de servicios auxiliares de corriente continua está determinada por la suma de las corrientes de cortocircuito aportadas por el cargador rectificador y el banco de baterías (Mejía Villegas, 2003).

- Aporte de los cargadores

$$I_{Kcc} = 1,282 I_{Kca} \quad (15)$$

$$I_{Kca} = \frac{U_c}{X_{total}} \text{ (rectificador monofásico)} \quad (16)$$

$$I_{Kca} = \frac{U_c}{\sqrt{3} X_{total}} \text{ (rectificador trifásico)} \quad (17)$$

Donde

$$U_c = \frac{U_{cc}\pi}{2\sqrt{2}} \text{ (rectificador monofásico)} \quad (18)$$

$$U_c = \frac{\sqrt{3}U_{cc}}{1,17} \text{ (rectificador trifásico)} \quad (19)$$

$$X_{total} = X_t + X_f \quad (20)$$

$$X_t = \frac{Z_{Tp.u.}U_c^2}{S_t} \quad (21)$$

$$X_f = 2\pi f L_f \quad (22)$$

Donde

$I_{Kca}$  : corriente de cortocircuito de corriente alterna (A)

$I_{Kcc}$  : corriente de cortocircuito de corriente continua (A)

$U_c$  : tensión secundaria del transformador del rectificador (Vac)

$U_{cc}$  : tensión de salida del rectificador (48 Vdc o 125 Vdc)

$X_{total}$  : reactancia total del rectificador ( $\Omega$ )

$X_f$  : reactancia del filtro del rectificador ( $\Omega$ )

$X_t$  : reactancia del transformador del rectificador ( $\Omega$ )

$Z_{Tpu}$  : impedancia de cortocircuito del transformador del rectificador en % por unidad (valores típicos son 2 a 3%).

$S_t$  : potencia aparente del transformador del rectificador (VA)

$L_f$  : inductancia del filtro del rectificador, H: 40 $\mu$ H típico

Si se contara con dos cargadores en paralelo con especificaciones idénticas, la corriente resultante se incrementaría en un factor de dos. Todos los valores indicados para el cálculo del cortocircuito son datos que deben ser entregados por el fabricante del equipo (Pfeil, 1994); sin embargo, un valor conservador que se puede considerar para la corriente de cortocircuito que aporta el rectificador, recomendado en la Norma IEEE Std 946, indica que el aporte de los cargadores rectificadores no excede el 150% de su corriente nominal.

- Aporte de las baterías

La corriente que la batería entrega al cortocircuito está dada por la ecuación 23.

$$I_{Kmax} = \frac{U_{flotacion}}{R_i} \quad (23)$$

Donde

$U_{flotación}$  : tensión de flotación por celda (V)

$R_i$  : resistencia interna de la celda ( $\Omega$ )

De acuerdo con la recomendación establecida en la Norma NEMA PE-5-1997 (R2003), la tensión de flotación para las baterías ácidas debe encontrarse en el rango de 2,15 a 2,25 V. En este escenario, se utilizará el valor estándar de 2,23 V por celda. Además, la resistencia interna de la batería a plena carga a una temperatura de 20°C puede ser obtenida a partir de catálogos de fabricantes. (Pfeil, 1994).

La corriente de cortocircuito en corriente continua se calcula sumando todas las fuentes de corriente, incluyendo cargadores y baterías, y seleccionando la corriente de cortocircuito asignada normalizada inmediata superior (Mejía Villegas, 2003).

#### **2.2.4. Dimensionamiento del transformador de SS. AA.**

El transformador que se utiliza para la alimentación de los servicios auxiliares debe tener la capacidad necesaria para asumir toda la carga conectada a las barras principales formadas por las cargas esenciales y no esenciales de la subestación.

El cálculo del transformador de servicios auxiliares es como se muestra en la ecuación 24

$$S_{3\phi} = \frac{MD_{CNE} F_{S(CNE)} + MD_{CE} F_{S(CE)}}{\cos \phi} M_R \quad (24)$$

Donde

$MD_{CNE}$  : máxima demanda del tablero de cargas no esenciales (kW)

$MD_{CE}$  : máxima demanda del tablero de cargas esenciales (kW)

$F_{S(CNE)}$  : factor de simultaneidad del tablero de cargas no esenciales

- $F_{S(CE)}$  : factor de simultaneidad del tablero de cargas esenciales
- $\cos\Phi$  : factor de potencia
- $M_R$ : margen de reserva para ampliaciones futuras. Generalmente se considera 25% de margen de reserva

Luego de determinada la potencia del transformador de servicios auxiliares, se procede a realizar el cálculo de la corriente asignada en barrajes principales, determinada por la siguiente ecuación:

$$I_r = k \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3}U_r} \quad (25)$$

Donde

- $I_r$  : corriente asignada de diseño del barraje (A)
- $S_{3\phi}$  : potencia asignada del transformador (VA)
- $U_r$  : tensión asignada fase-fase del barraje (V)
- $k$  : factor de diseño (típicamente  $k = 1,4$ )

#### **2.2.5. Dimensionamiento del grupo electrógeno**

El grupo electrógeno debe tener la capacidad suficiente para suministrar energía al tablero de cargas esenciales ante la desconexión del suministro de la fuente principal de alimentación por falla o mantenimiento.

El cálculo del grupo electrógeno de emergencia es como se muestra en la siguiente ecuación:

$$S_{G.E.} = \frac{MD_{CE} F_{S(CE)}}{n \cos \phi} M_R \quad (26)$$

Donde

- $MD_{CE}$  : máxima demanda del tablero de cargas esenciales (kW)
- $F_{S(CE)}$  : factor de simultaneidad del tablero de cargas esenciales
- $n$  : eficiencia del alternador del grupo.
- $\cos\Phi$  : factor de potencia

$M_R$ : margen de reserva para ampliaciones futuras. Generalmente, se considera 25% de margen de reserva.

#### **2.2.6. Dimensionamiento del banco de baterías**

A continuación, se realiza una breve descripción de todas las consideraciones que se deben tener en cuenta para el dimensionamiento del banco de baterías (Mejía Villegas, 2003).

- Ciclo de trabajo: régimen de demanda de energía que tiene el banco y está compuesto por las cargas permanentes, de emergencia y transitorias, con las cuales se calcula su capacidad.
- Ampere-hora: definen la capacidad nominal del banco indicando la cantidad de corriente que puede suministrar el banco de baterías en un intervalo de tiempo específico.
- Diagrama de ciclo de trabajo: indica el consumo de corriente por parte de los distintos tipos de cargas en un período de tiempo específico, pueden ser del tipo permanentes, no permanentes y momentáneas.
- Tensión nominal de la batería: tensión que la batería proporcione durante su funcionamiento en el escenario de operación normal.
- Tensión de flotación: tensión más baja que se debe aplicar a la celda para restituir y mantener su estado de carga total. Esta tensión no solo carga la batería, sino que, una vez cargada, debe compensar las pérdidas internas, por tanto se mantiene constante para evitar que la batería se sobrecargue y suele ser ligeramente superior a la tensión nominal.
- Tensión de igualación o carga rápida: tensión aplicada a la batería después de haber sido cargada con la finalidad de equilibrar la carga en las celdas individuales de la batería.
- Tensión final de descarga: tensión a la que se considera que la batería está completamente descargada y se debe dejar de usar. La tensión final de descarga se define por el fabricante y depende del tipo de batería.

En la tabla 16 se muestran los valores característicos de tensión en volts por celda para batería de plomo-ácido y níquel cadmio.

**Tabla 16**

*Tensiones características de baterías en volt por celda*

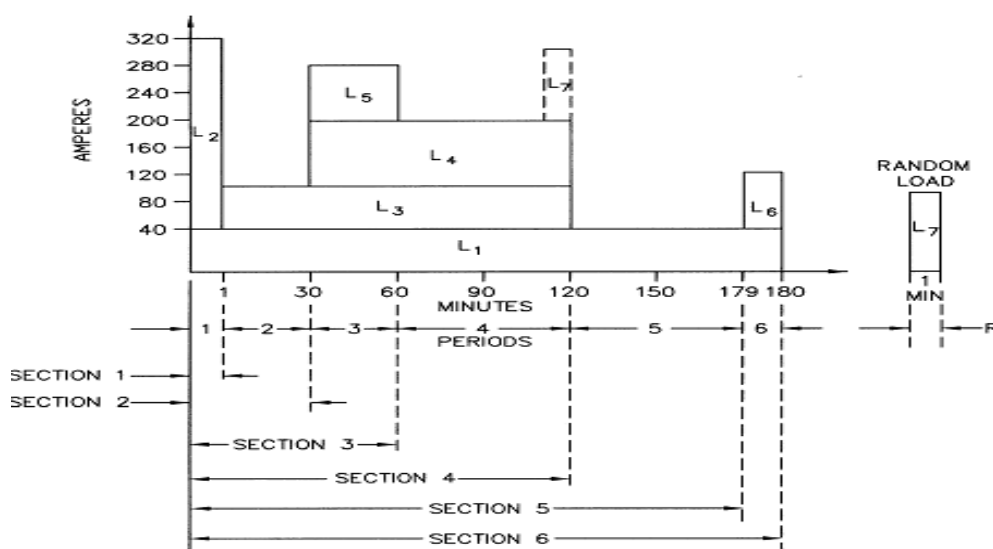
| Tensión    | Plomo-ácido | Níquel-cadmio |
|------------|-------------|---------------|
| Nominal    | 2,00        | 1,20          |
| Final      | 1,75        | 1,14          |
| Flotación  | 2,15        | 1,40          |
| Igualación | 2,33        | 1,55          |

*Nota:* adaptado de (Montes & Pineda, 2019)

En la figura 30, se muestra el diagrama de un ciclo de trabajo para un caso hipotético compuesto por n períodos, donde cada periodo se define como un intervalo de tiempo en el ciclo de trabajo del banco de baterías. Durante estos periodos, la corriente de carga se mantiene constante para propósitos de dimensionamiento. Además, los n períodos están divididos en secciones que representan los diferentes momentos del ciclo de trabajo del banco de baterías (Mejía Villegas, 2003).

**Figura 30**

*Diagrama de ciclo de trabajo de una batería*



*Nota:* adaptado de la Norma IEEE Std 485-2010. Anexo A

Para un adecuado dimensionamiento del banco de baterías, es necesario establecer las siguientes premisas de diseño (Pfeil, 1994):

- Elección de la Configuración Básica de los Servicios Auxiliares DC.
- Fijación del tiempo de respaldo del banco.
- Determinación de las demandas esperadas (ciclo de trabajo) de la batería.
- Determinación de la tensión final de descarga de las baterías.
- Determinación de la temperatura a la cual trabajará el banco de baterías de manera continua.

Luego de identificar las características preliminares del diseño, se procede a realizar la selección del banco de baterías que consiste en determinar el número de celdas y la capacidad del banco en ampere – hora.

**A. Número de celdas.** El número de celdas del banco de baterías se obtiene a partir de la máxima tensión admisible del sistema de corriente continua, ya esta es la que garantiza las tensiones permisibles de flotación e igualación de las baterías (Mejía Villegas, 2003). Para el cálculo del número de celdas se utilizan las ecuaciones 27 y 28 respectivamente.

$$\# \text{ Celdas} = \frac{U_{max}}{U_c} \quad (27)$$

$$\# \text{ Celdas} = \frac{U_{min}}{U_d} \quad (28)$$

Donde

$U_{max}$  : tensión máxima permisible del sistema ( $U_{max} = 110\% U_n$ )

$U_c$  : tensión de recarga de una celda (típicamente 2,23 para baterías de plomo-ácido y 1,45 para baterías de níquel-cadmio)

$U_{min}$  : tensión mínima permisible del sistema ( $U_{min} = 85\% U_n$ )

$U_d$ : tensión final de descarga de una celda (típicamente 1,75 para baterías de plomo-ácido y 1,14 para baterías de níquel-cadmio)

La ecuación 27 debe utilizarse cuando el factor determinante es la tensión máxima del sistema. En cambio, si el valor limitante fuera la tensión mínima del sistema, corresponde aplicar la ecuación 28 para la determinación del número de celdas.

**B. Capacidad de la batería.** El banco de baterías debe tener la suficiente capacidad (ampere-hora) para atender plenamente durante el tiempo de servicio (falla de la alimentación principal) las cargas fijas, de emergencia y transitorias conectadas al sistema de servicios auxiliares en corriente continua (Cadena, 1978).

El primer paso para determinar adecuadamente la capacidad del banco de baterías es establecer el tiempo de respaldo del banco y determinar el ciclo de trabajo por secciones de tiempo según se muestra en la figura 30. Es importante recalcar que, para determinar el ciclo de trabajo y tiempo de respaldo, el diseñador debe conocer las potencias de las cargas y forma de operación de los equipos involucrados en el sistema de servicios auxiliares DC de la subestación. El proceso de cálculo de la capacidad, a partir del ciclo de trabajo establecido, es como sigue (Mejía Villegas, 2003):

- La sección inicial por examinar es el primer ciclo de trabajo. A través del factor de capacidad CT, se determina la capacidad necesaria para garantizar el suministro de corriente adecuado durante la duración del primer período.
- En la segunda sección, la capacidad se determina tomando en consideración que la corriente A1 calculada para el primer período se mantiene constante durante el segundo período. Se realiza un ajuste en esta capacidad para considerar el cambio de corriente (A2 - A1) que ocurre durante el segundo período.
- De esta manera, se determina la capacidad para cada fase del ciclo de trabajo. El proceso iterativo se lleva a cabo de forma continua hasta que se completen todas las secciones establecidas. El cálculo de la capacidad por cada sección se puede expresar matemática como se muestra en la ecuación 29.

$$F_S = \sum_{p=1}^{p=s} \frac{A_{(p)} - A_{(p-1)}}{C_T} \quad (29)$$

- La capacidad máxima calculada del ciclo de trabajo,  $F_s$ , determina el número de ampere-hora como sigue:

$$\#Celdas = \max \sum_{s=1}^{s=n} F_s \quad (30)$$

Donde

s : sección del ciclo de trabajo analizado. La sección s contiene los primeros s períodos del ciclo de trabajo

n : número de períodos en el ciclo de trabajo

p : período que se está analizando

Ap : amperes requeridos para el período p

t : tiempo en minutos desde el comienzo del ciclo hasta el fin de la sección s.

CT : factor de dimensionamiento de capacidad para un tipo de celda determinado

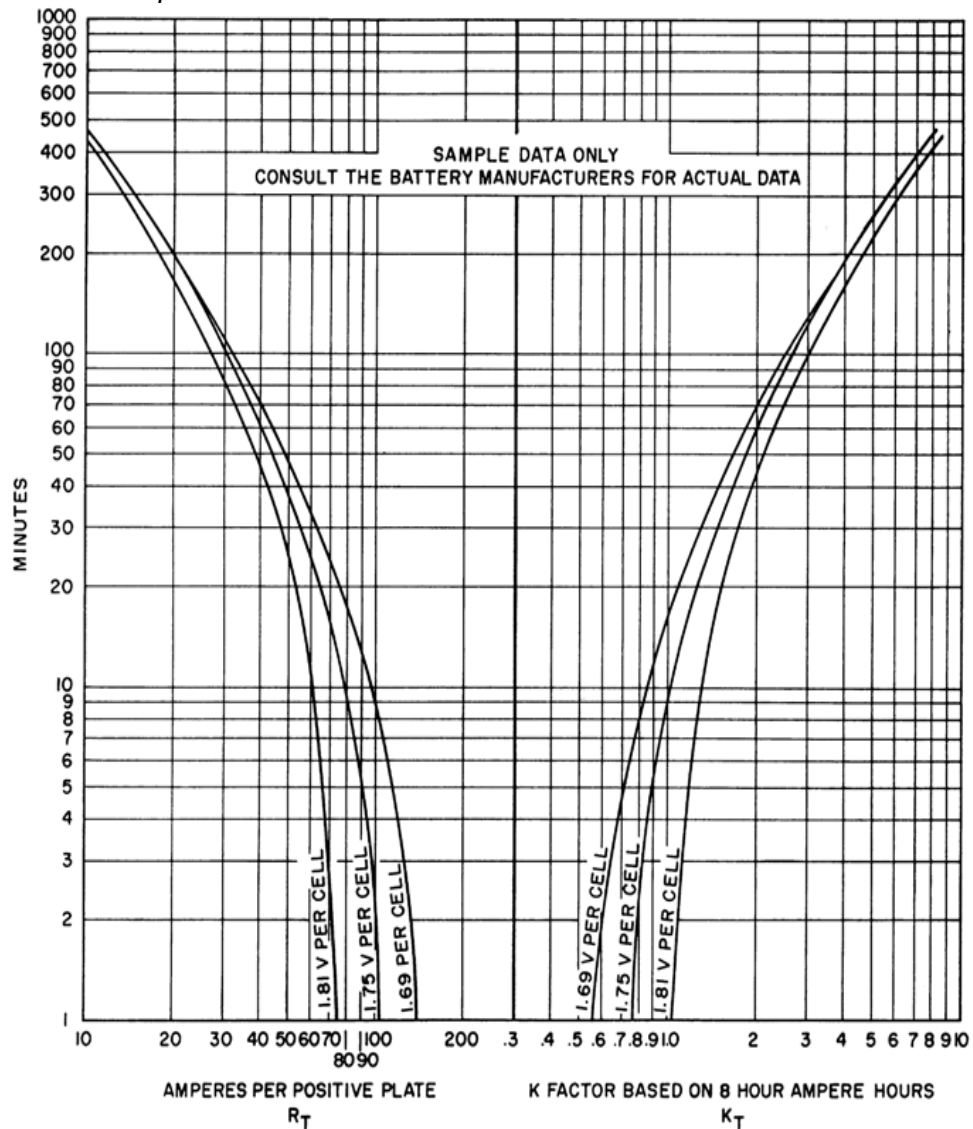
El factor de dimensionamiento  $C_T$  se puede expresar mediante dos términos diferentes. El primer término,  $R_T$ , representa la capacidad en amperios que cada placa positiva puede proporcionar durante un tiempo t determinado, a una temperatura de 25°C y una tensión final de descarga específica. Por tanto,  $C_T = R_T$  (Mejía Villegas, 2003).

El otro término,  $K_T$ , se refiere a la relación entre la capacidad nominal en ampere-hora proporcionada por el fabricante de una celda y la corriente en amperes que dicha celda puede suministrar durante un período de tiempo t, a una temperatura de 25°C y con una tensión final de descarga específica. Por tanto,  $C_T = 1/K_T$  (Mejía Villegas, 2003).

Se debe tener en cuenta que el valor de  $R_T$  no es igual a  $1/K_T$  debido a las diferentes unidades aplicada a cada valor. Por tanto,  $R_T$  es proporcional a  $1/K_T$ . Estos valores pueden obtenerse de catálogos de fabricante, ya que dependen del diseño de las celdas puesto que varía según el tipo de tensión final de descarga. En la figura 31, se muestra una curva hipotética de factores  $R_T$  y  $K_T$  para diferentes tensiones de descarga tomada de la Norma IEEE Std 485-2010.

**Figura 31**

*Curva hipotética de capacidad de celdas de baterías*



*Nota:* adaptado de la Norma IEEE Std 485-2010. Anexo A

Para determinar la capacidad final del banco de baterías, es necesario considerar los siguientes factores (Pfeil, 1994):

- Corrección por temperatura: generalmente, en el diseño de las celdas se considera que la temperatura máxima de operación es 25°C. Para temperaturas distintas, se recomienda aplicar factores de corrección indicados en la Norma IEEE Std. 485-2010 que se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17***Corrección del tamaño de celdas por factor de temperatura*

| Temperatura<br>Electrolito<br>(°C) | Temperatura<br>Electrolito<br>(°F) | Factor de<br>corrección de<br>Temperatura | Temperatura<br>Electrolito<br>(°C) | Temperatura<br>Electrolito<br>(°F) | Factor de<br>corrección de<br>Temperatura |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| 4,4                                | 40                                 | 1,300                                     | 26,1                               | 79                                 | 0,987                                     |
| 7,2                                | 45                                 | 1,250                                     | 26,7                               | 80                                 | 0,980                                     |
| 10,0                               | 50                                 | 1,190                                     | 27,2                               | 81                                 | 0,976                                     |
| 12,8                               | 55                                 | 1,150                                     | 27,8                               | 82                                 | 0,972                                     |
| 15,6                               | 60                                 | 1,110                                     | 28,3                               | 83                                 | 0,968                                     |
| 18,3                               | 65                                 | 1,080                                     | 28,9                               | 84                                 | 0,964                                     |
| 18,9                               | 66                                 | 1,072                                     | 29,4                               | 85                                 | 0,960                                     |
| 19,4                               | 67                                 | 1,064                                     | 30,0                               | 86                                 | 0,956                                     |
| 20,0                               | 68                                 | 1,056                                     | 30,6                               | 87                                 | 0,952                                     |
| 20,6                               | 69                                 | 1,048                                     | 31,1                               | 88                                 | 0,948                                     |
| 21,1                               | 70                                 | 1,040                                     | 31,6                               | 89                                 | 0,944                                     |
| 21,7                               | 71                                 | 1,034                                     | 32,2                               | 90                                 | 0,940                                     |
| 22,2                               | 72                                 | 1,029                                     | 35,0                               | 95                                 | 0,930                                     |
| 22,8                               | 73                                 | 1,023                                     | 37,8                               | 100                                | 0,910                                     |
| 23,4                               | 74                                 | 1,017                                     | 40,6                               | 105                                | 0,890                                     |
| 23,9                               | 75                                 | 1,011                                     | 43,3                               | 110                                | 0,880                                     |
| 24,5                               | 76                                 | 1,006                                     | 46,1                               | 115                                | 0,870                                     |
| 25,0                               | 77                                 | 1,000                                     | 48,9                               | 120                                | 0,860                                     |
| 25,6                               | 78                                 | 0,994                                     |                                    |                                    |                                           |

Esta tabla se basa en celdas de plomo-ácido de gravedad específica nominal 1.215 clasificadas a 25 °C (77 °F). Para celdas con otras gravedades específicas o temperaturas nominales, consulte al fabricante.

*Nota:* adaptado de la Norma IEEE Std 485-2010. Tabla 1

- Margen de diseño: se debe tener en cuenta para permitir incrementos de carga al sistema de servicios auxiliares en corriente continua, condiciones no óptimas de funcionamiento de la batería, mantenimiento inadecuado, temperaturas ambientales inferiores a la prevista o una combinación de estos factores. Se

recomienda utilizar un margen de diseño entre 10 a 15% del tamaño de la celda determinado por los cálculos.

- Corrección por envejecimiento: por recomendación de fabricantes, se debería sustituir una batería cuando su capacidad cae por debajo del 80% de la capacidad asignada. Por tanto, es necesario corregir la capacidad asignada a un 120% del tamaño de la celda determinada en los cálculos (Mejía Villegas, 2003).

### **2.2.7. Dimensionamiento del cargador rectificador**

Para calcular la corriente asignada de los cargadores rectificadores, es necesario tener en cuenta que cada cargador debe ser capaz de suministrar energía a todas las cargas y proporcionar la corriente necesaria al banco de baterías para recargarlo en un tiempo adecuado. (Mejía Villegas, 2003).

La ecuación utilizada para dimensionar el cargador rectificador es la siguiente:

$$A = \frac{nA_h}{t} + A_0 \quad (31)$$

Donde

A : capacidad del cargador rectificador (A)

$A_h$  : ampere – hora del banco de baterías seleccionado

n : constante para compensar las pérdidas durante la carga (1,25 para baterías de plomo ácido)

t: tiempo de recarga de la batería en horas (recomendado por el fabricante)

$A_0$  : carga en ampere que toma el sistema en carga continua

A la corriente calculada se procede a ajustarla mediante factores de corrección por temperatura y altitud sobre el nivel del mar. La corrección por temperatura se realiza cuando la temperatura supera los 40°C (valor máximo recomendado por los fabricantes) por un periodo de tiempo superior a una hora. La corrección por altitud aplica para alturas superiores a 1000 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.) (Mejía Villegas, 2003).

En la tabla número 18 se presentan los factores de corrección, teniendo en cuenta que los valores entre paréntesis son los que deben tomarse en consideración para calcular la capacidad mínima del cargador rectificador (Mejía Villegas, 2003).

**Tabla 18**

*Factores de corrección por temperatura y altitud*

| Corrección por temperatura |             | Corrección por altitud sobre el nivel del mar |             |
|----------------------------|-------------|-----------------------------------------------|-------------|
| Temperatura (°C)           | Factor      | Altura (m s. n. m.)                           | Factor      |
| 45                         | 0,93 (1,07) | 1 500                                         | 0,95 (1,05) |
| 50                         | 0,86 (1,16) | 2 000                                         | 0,91 (1,09) |
| 55                         | 0,74 (1,35) | 2 500                                         | 0,86 (1,16) |
|                            |             | 3 000                                         | 0,83 (1,20) |
|                            |             | 3 500                                         | 0,81 (1,23) |
|                            |             | 4 000                                         | 0,80 (1,25) |

*Nota:* adaptado de Mejía Villegas (2003)

La potencia de salida del cargador en corriente continua es

$$P_{cc} = AU_{cc} \quad (32)$$

La potencia activa en corriente alterna es

$$P_{ca} = \frac{P_{cc}}{n} \quad (33)$$

Donde

n : eficiencia del cargador (generalmente entre 85% a 90%)

Finalmente, la potencia aparente de entrada del cargador rectificador es

$$S_{ca} = \frac{P_{ca}}{\cos \varphi} \quad (34)$$

## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1. Descripción del proyecto

#### 3.1.1. Antecedentes

Se toma como caso de aplicación, para la ejecución del diseño, el cálculo de los servicios auxiliares AC y DC la nueva subestación Portillo 60kV, que se puso en servicio durante el año 2023 en la zona este de Lima.

La empresa Conelsur, en su área de concesión, administra líneas de transmisión en 60kV y 220kV que transportan energía eléctrica desde centrales hidroeléctricas en la sierra central de Lima hacia las zonas urbanas e industriales principales en este departamento. Tras examinar las condiciones operativas a mediano y largo plazo, se ha identificado que, debido al aumento de la demanda, algunas de estas instalaciones de transmisión podrían experimentar sobrecargas. Además, se ha observado que en la zona este de Lima no se cumple el criterio de confiabilidad N-1, lo que significa que si una de las líneas de transmisión en el área de demanda 7 se desconectara, podría haber sobrecargas severas en el sistema de transmisión administrado por Conelsur, lo que llevaría a un racionamiento de carga en esa zona.

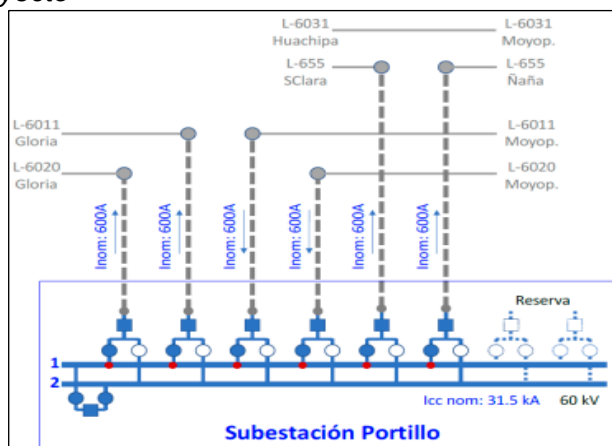
Por consiguiente, Conelsur presentó en el Plan de Inversiones en Transmisión 2021-2025 la propuesta para llevar a cabo el proyecto "Subestación Portillo y sus conexiones correspondientes" en el área de demanda 7. Dicho proyecto fue posteriormente aprobado por el Osinergmin el 06 de noviembre de 2020.

El proyecto consistió en el diseño y construcción de una nueva subestación con tecnología GIS en configuración doble barra 60kV, compuesta de seis (06) celdas de línea y una (01) celda de acoplamiento conectadas mediante enlaces subterráneos con las siguientes líneas de transmisión existentes (ver figura 32):

- (i) Línea de transmisión 60kV SE Moyopampa – SE Gloria (L-6011)
- (ii) Línea de transmisión 60kV SE Moyopampa – SE Gloria (L-6020)
- (iii) Línea de transmisión 60kV SE Santa Clara – SE Ñaña (L-655)

**Figura 32**

*Esquema unifilar del proyecto*



*Nota:* adaptado del Estudio de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto “Nueva Subestación Portillo y enlaces asociados”.

Con la puesta en servicio de la nueva subestación Portillo 60 kV, se mejoró la confiabilidad del SEIN garantizando el suministro de energía oportuno frente al crecimiento de demanda en la zona este de Lima.

### **3.1.2. Ubicación del proyecto**

La subestación Portillo 60 kV está situada en el distrito de Lurigancho, perteneciente a la provincia y departamento de Lima (ver figura 33). El acceso a la misma es mediante vías públicas existentes en el distrito tales como calle Las Violetas, calle Los Sauces y calle Buenos Aires.

**Figura 33**

*Ubicación del proyecto*



*Nota:* adaptado del Estudio de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto “Nueva Subestación Portillo y enlaces asociados”.

En la tabla 19, se detallan las coordenadas UTM, Datum WGS84 y zona 18S correspondientes a la subestación.

**Tabla 19**

*Coordenadas UTM de SE Portillo 60 kV*

| Componente           | Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S |            |              |
|----------------------|--------------------------------|------------|--------------|
|                      | Vértice                        | Este       | Norte        |
|                      |                                | X (m)      | Y (m)        |
| Subestación Portillo | A1                             | 296 331,69 | 8 673 093,31 |
|                      | A2                             | 296 407,65 | 8 673 111,76 |
|                      | A3                             | 296 414,29 | 8 673 087,13 |
|                      | A4                             | 296 337,68 | 8 673 068,57 |

*Nota:* adaptado del Estudio de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto “Nueva Subestación Portillo y enlaces asociados”.

### **3.1.3. Características generales del proyecto**

El proyecto SE Portillo 60 kV consiste en una subestación encapsulada tipo GIS (*Gas Insulated Switchgear*) en configuración doble barra, que albergará 03 líneas de transmisión seccionadas y los equipos complementarios de protección, control y servicios auxiliares para la correcta operación de la subestación.

A continuación, se describen las especificaciones técnicas de cada uno de los elementos del proyecto.

**Líneas de transmisión.** A la subestación Portillo llegan 03 enlaces subterráneos de líneas de transmisión, que se detallan a continuación.

- Enlace del seccionamiento de las líneas de transmisión L-6020 y L-6011, Moyopampa-Gloria 60 kV (circuitos en doble terna).
- Enlace del seccionamiento de línea de transmisión L-655, Ñaña-Santa Clara 60 kV (circuito en simple terna).

En la tabla 20, se muestran las características generales de las líneas de transmisión.

**Tabla 20***Características generales de líneas de transmisión*

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nivel de tensión</b>            | 60 kV                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Tensión máxima de operación</b> | 72,5 kV                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Nivel básico de aislamiento</b> | 325 kVp                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Frecuencia</b>                  | 60 Hz                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Longitud (km)</b>               | 0,3 km (derivación hacia la subestación)                                                                                                                                                                                         |
| <b>Instalación</b>                 | Sistema de canaletas de aproximadamente 300m de longitud para alojar dos ternas simples de cables aislados de 60 kV. Estos cables estarán conectados desde monopostes hasta la Sala GIS y serán instalados de forma subterránea. |
| <b>Cables de poder</b>             | Dos (02) ternas de cables de poder aislados de 60 kV, Cu de 800 mm <sup>2</sup> , XLPE, de 63 MVA por terna                                                                                                                      |
| <b>Monopostes</b>                  | Dos (02) estructuras metálicas autosoportados (monopostes) de aproximadamente 22m de altura cada uno.                                                                                                                            |

*Nota:* adaptado del Estudio de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto "Nueva Subestación Portillo y enlaces asociados".

**Subestación Portillo 60 kV.** En esta subestación, se albergan los siguientes componentes:

- Edificio de control, dividido en dos áreas principales
  - Sala de control, protecciones y telecomunicaciones
  - Sala de subestación eléctrica aislada en gas (GIS)
- Sala de grupo electrógeno
- Sala de transformador de servicios auxiliares
- Canaletas para cables de poder aislado
- Estructuras metálicas autosoportadas (monopostes) para seccionamiento de las líneas de transmisión L-6020 y L-6011 hacia S.E. Gloria

En la tabla 21, se presentan las características generales de la subestación.

**Tabla 21***Características generales de subestación Portillo 60 kV*

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Nivel de tensión</b>            | 60 kV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Tensión máxima de operación</b> | 72,5 kV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Nivel básico de aislamiento</b> | 325 kVp                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Frecuencia</b>                  | 60 Hz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Tipo</b>                        | Subestación eléctrica con tecnología aislada en gas (GIS)                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Configuración</b>               | Doble barra con bahía de acople                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Bahías de Línea</b>             | Seis (06)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Bahías de acoplamiento</b>      | Una (01)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Transformador</b>               | Un (01) transformador trifásico de 300 kVA, con relación de transformación 22.9/0.38 kV, destinado a proporcionar suministro eléctrico de los servicios auxiliares de corriente alterna. Este equipo va conectado a la red de media tensión.                                                                                    |
| <b>Grupo Electrónico</b>           | Un (01) grupo electrógeno de emergencia 380 Vac, 125 kVA (aprox.), incluyendo tanque de combustible.                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Componentes auxiliares</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tableros del sistema de protección y control</li> <li>- Tableros del sistema de telecomunicaciones</li> <li>- Tableros del sistema de servicios auxiliares (fuerza, alumbrado, etc.)</li> <li>- Tableros del sistema contra incendio</li> <li>- Bancos de baterías 110 Vdc.</li> </ul> |

*Nota:* adaptado del Estudio de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto “Nueva Subestación Portillo y enlaces asociados”.

**3.1.1. Descripción del trabajo de suficiencia**

El trabajo de suficiencia consiste en el diseño de los servicios auxiliares AC y DC de la subestación Portillo 60 kV, incluyendo los cálculos de ingeniería necesarios para el dimensionamiento y selección adecuada de los equipos que conformarán el sistema. El desarrollo del trabajo se realiza tomando como referencia guías, procedimientos y normas de diseño tanto nacionales como internacionales, de tal manera que se garantice el cumplimiento de criterios de seguridad y confiabilidad del sistema que para este caso en particular tienen mayor relevancia debido a que la subestación será del tipo operación desatendida.

Como parte de los entregables se verificó y validó el cálculo y selección de lo siguiente:

- Determinación de la demanda de la subestación
- Cálculo y selección de los tableros de servicios auxiliares
- Cálculo y selección del transformador de servicios auxiliares
- Cálculo y selección del grupo electrógeno
- Cálculo y selección de cargadores rectificadores y banco de baterías
- Cálculos de cortocircuitos en barras AC y DC del sistema
- Dimensionamiento de cables

### **3.2. Especificaciones de diseño de servicios auxiliares**

#### **3.2.1. Premisas de diseño**

El diseño de los servicios auxiliares de la subestación Portillo 60 kV se realizó de acuerdo con los criterios establecidos en las normas nacionales e internacionales indicadas en el Numeral 2.2.1 del presente informe.

Por otro lado, la subestación Portillo está tipificada en el SEIN (Sistema Eléctrico Interconectado Nacional) como una instalación que forma parte del Sistema Transmisión Local (STL); por lo que, el dimensionamiento de los servicios auxiliares debe cumplir con los criterios mínimos establecidos por el COES en el Procedimiento Técnico N°20 “Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones al SEIN” (PR-20).

A partir de los criterios indicados en el Numeral 2.6, Capítulo 1, Anexo 1 del PR-20, se establecieron las siguientes premisas para el diseño de los servicios auxiliares de la subestación.

Para corriente alterna

- Alimentación desde un transformador de servicios auxiliares conectado a una fuente principal externa y como respaldo un grupo electrógeno de emergencia

- Tablero general de distribución y tablero de transferencia automática
- Tableros de distribución en corriente alterna
- El sistema de servicios auxiliares de corriente alterna se diseñó con el neutro conectado sólidamente a tierra, con el fin de operar de manera óptima con un nivel de tensión de 380/220 V, 60 Hz y un margen del 85% al 110% de la tensión nominal de servicio

Para corriente continua

- Cargadores rectificadores independientes y redundantes en 110 V para sistemas de mando y protección
- Banco de baterías en 110 V para sistemas de mando y protección, con autonomía no menor a 5 horas, hasta alcanzar el voltaje final por elemento correspondiente al tipo de baterías seleccionado.
- El sistema de servicios auxiliares de corriente continua fue diseñado con ambos polos aislados de tierra, para operar a una tensión nominal de 110 V y con un margen de operación que va desde el 85% hasta el 110% de la tensión nominal de servicio.

### **3.2.2. Configuración del sistema**

La selección óptima de la configuración de servicios auxiliares para la subestación Portillo 60 kV se basa en tres criterios principales:

- ser técnicamente realizable,
- ser económicamente factible,
- garantizar la confiabilidad necesaria para la continuidad del servicio de los sistemas en corriente continua (DC) de control, protección, comunicaciones y cargas críticas en corriente alterna (AC).

Además, se debe tener en cuenta las principales características de operación de la subestación, que se indican a continuación:

- La subestación es de maniobra y operará en configuración doble barra con simple interruptor, lo que supone un grado de complejidad medio del sistema por lo que se debe garantizar un suministro de energía continuo para los sistemas de protección y control debido a la importancia que estos tienen en la operación de los equipos.
- La subestación está ubicada dentro de una zona urbana, por lo que dentro del área de operación se tiene disponibilidad de líneas aéreas de distribución en media tensión para el punto de suministro de alimentación de los servicios auxiliares.
- La subestación será del tipo desatendida; es decir, no se contará con personal de operación permanente dentro de las instalaciones por lo que se debe alimentar de manera ininterrumpida los sistemas de comunicación SCADA para la supervisión y operación remota de los equipos desde un centro de control.

Con estas consideraciones, se selecciona la siguiente configuración para los servicios auxiliares de la subestación:

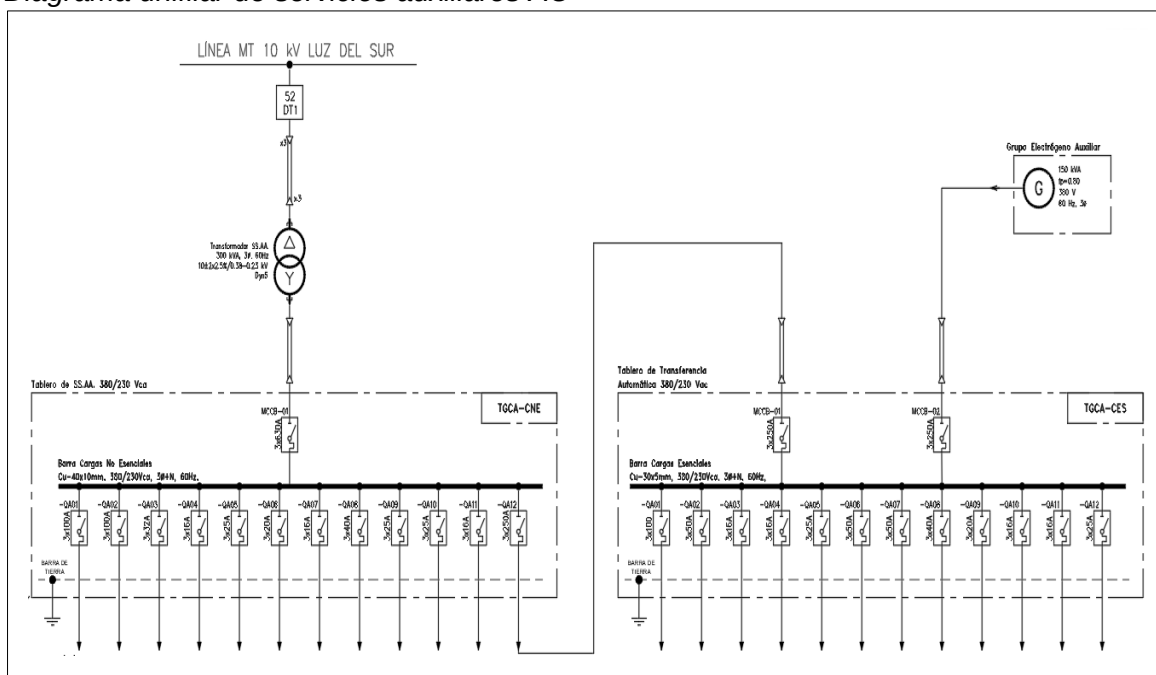
**Servicios auxiliares en corriente alterna (AC).** Para garantizar la confiabilidad del suministro se seleccionó el esquema de barras acopladas con un solo alimentador, con las siguientes características de operación:

- El punto de alimentación de suministro se tomó de una red aérea de media tensión 22.9 kV propiedad de Luz del Sur.
- Se implementó un transformador de SS.AA. 22.9/0.38-0.22 kV, 300 kVA.
- En el lado de baja tensión, se implementó 01 tablero general de distribución y 01 tablero de cargas esenciales con transferencia automática.
- Para el suministro de alimentación de emergencia se implementó 01 grupo electrógeno 125 kVA, 380 Vac, conectado al tablero de cargas esenciales.

En la figura 34, se muestra el diagrama unifilar de la configuración implementada para los servicios auxiliares en corriente alterna (AC) de la subestación Portillo.

**Figura 34**

*Diagrama unifilar de servicios auxiliares AC*



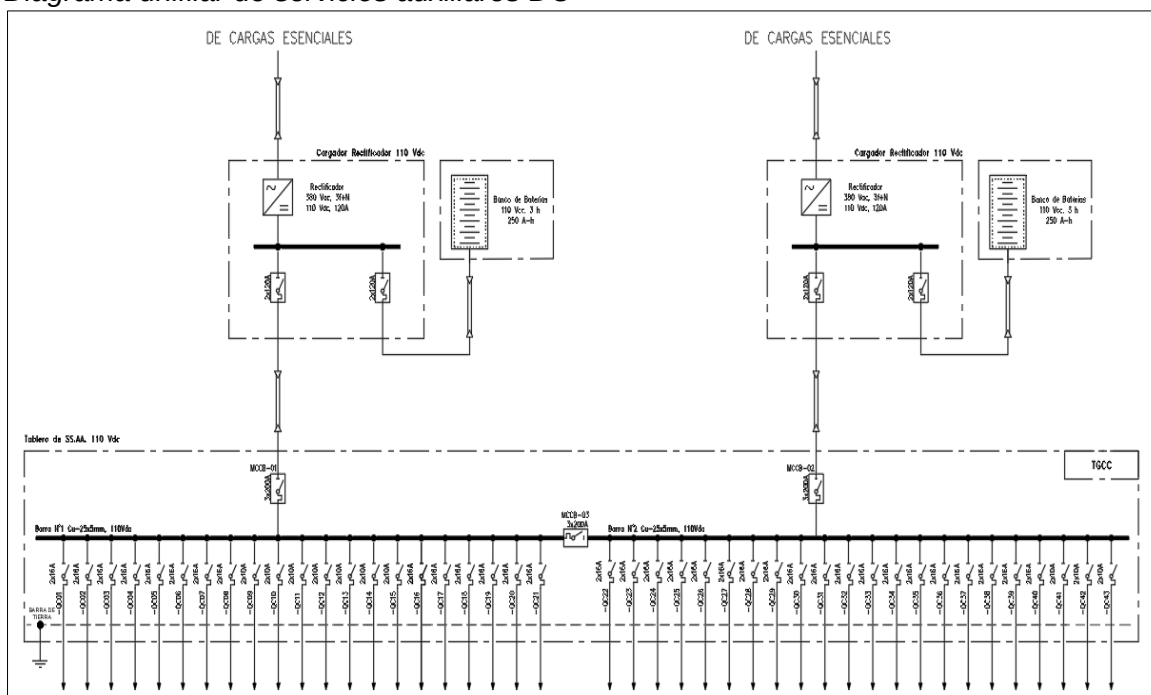
**Servicios auxiliares en corriente continua (DC).** La subestación será del tipo desatendida, por lo que se deberá garantizar el suministro continuo de alimentación auxiliar para los sistemas de control, protección y automatización de los equipos, considerando que será operada en forma remota desde un centro de control nivel 3.

Se optó por seleccionar el esquema de barra de distribución seccionada con dos cargadores y dos bancos de baterías, ya que es el esquema que ofrece el grado de confiabilidad más alto.

En la figura 35 se muestra el diagrama unifilar de la configuración implementada para los servicios auxiliares en corriente continua (DC) de la subestación Portillo.

**Figura 35**

*Diagrama unifilar de servicios auxiliares DC*



La configuración del sistema de servicios auxiliares se realizó validando el cumplimiento de los criterios mínimos establecidos en el Procedimiento 20 del COES.

### 3.2.3. Determinación de tableros de servicios auxiliares

Luego de la selección de la configuración del sistema de servicios auxiliares, se debe determinar la cantidad de tableros necesarios para alimentar todas las cargas de la subestación conformadas por todos los equipos de las bahías, sistemas de control y protección, telecomunicaciones, automatización, iluminación, tomacorrientes, etc., los cuales serán distribuidos en tableros autosoportados, tanto para corriente continua como para corriente alterna.

Para la subestación Portillo, se implementaron en total 04 tableros de servicios auxiliares AC y DC para la distribución de las cargas, según se indica a continuación.

Para corriente alterna

- 01 tablero general de distribución 380/220 Vac: desde donde se alimentan todas las cargas (esenciales y no esenciales) de la subestación. Los circuitos que forman parte de este tablero se muestran en la tabla 22.

**Tabla 22**

*Cuadro de cargas del tablero general de distribución 380/220 Vac*

| N° Circuito | Descripción                                                                           |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| QG01        | Alimentación tablero de distribución 380 Vac<br>Gabinets de campo – equipos GIS 60 kV |
| QG02        | Tablero de distribución sala de control (TD1)                                         |
| QG03        | Servicios auxiliares – grupo electrógeno                                              |
| QG04        | Puente grúa                                                                           |
| QG05        | Calefacción e iluminación<br>Gabinets de control y protección                         |
| QG06        | Iluminación y calefacción<br>Gabinets de SS.AA. AC y DC                               |
| QG07        | Calefacción e iluminación<br>Tableros de automatización y telecom                     |
| QG08        | Reserva equipada 01                                                                   |
| QG09        | Reserva equipada 02                                                                   |
| QG10        | Reserva equipada 03                                                                   |
| QG11        | Reserva equipada 04                                                                   |
| QG12        | Tablero de transferencia automática (cargas esenciales)                               |

- 01 tablero de cargas esenciales 380/220 Vac, donde están conectados todos los circuitos críticos de la subestación que deben estar respaldados por el grupo electrógeno de emergencia. Aquí se implementó el sistema de transferencia automática para el arranque del grupo electrógeno ante la falla del suministro principal de energía. Los circuitos que forman parte de este tablero se muestran en la tabla 23.

**Tabla 23***Cuadro de cargas del tablero de cargas esenciales 380/220 Vac*

| N° Circuito | Descripción                              |
|-------------|------------------------------------------|
| QE01        | Aire acondicionado sala de control       |
| QE02        | Extractor de aire sala de baterías       |
| QE03        | Sistema contra incendios sala de control |
| QE04        | Sistema de video vigilancia              |
| QE05        | Cargador rectificador 01                 |
| QE06        | Cargador rectificador 02                 |
| QE07        | Aire acondicionado sala GIS              |
| QE08        | Sistema contra incendios sala GIS        |
| QE09        | Tablero de automatización SAS            |
| QE10        | Reserva equipada 01                      |
| QE11        | Reserva equipada 02                      |
| QE12        | Reserva equipada 03                      |

- 01 tablero de alimentación de celdas GIS: donde están conectados todos los alimentadores para calefacción e iluminación de los gabinetes de campo asociados a las celdas GIS 60kV de la subestación. Los circuitos que forman parte de este tablero se muestran en la tabla 24.

**Tabla 24***Cuadro de cargas del tablero de alimentación de celdas GIS*

| N° Circuito | Descripción                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| -QA01       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Gloria 1 60kV    |
| -QA02       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Gloria 2 60kV    |
| -QA03       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Moyopampa 1 60kV |
| -QA04       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Moyopampa 2 60kV |
| -QA05       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Ñaña 60kV        |
| -QA06       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Santa Clara 60kV |
| -QA07       | Iluminación y calefacción<br>Gabinete de campo – celda GIS Acople 60kV      |
| -QA08       | Reserva equipada 01                                                         |
| -QA09       | Reserva equipada 02                                                         |
| -QA10       | Reserva equipada 03                                                         |

Para corriente continua:

- 01 tablero general de distribución 110 Vdc: desde donde se alimentan todas las cargas en corriente continua de la subestación. Teniendo en consideración que, de acuerdo con la configuración elegida para el sistema de corriente continua, se implementaron 02 cargadores rectificadores y 02 bancos de baterías, en este tablero se instalaron 02 barras conectadas mediante un interruptor de enlace. En cada barra se conectó un cargador rectificador y un banco de baterías. Los circuitos que forman parte de cada una de las barras de este tablero se muestran en las tablas 25 y 26.

**Tabla 25***Cuadro de cargas barra n°1 del tablero de SS.AA. 110 Vdc*

| <b>N° Circuito</b> | <b>Descripción</b>                                                                      |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| QD01               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Gloria 1 60 kV    |
| QD02               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Gloria 2 60 kV    |
| QD03               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Moyopampa 1 60 kV |
| QD04               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Moyopampa 2 60 kV |
| QD05               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Ñaña 60kV         |
| QD06               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Santa Clara 60 kV |
| QD07               | Circuito 1 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Acoplamiento 60 kV      |
| QD08               | Circuito 1 – Tablero de protección Diferencial<br>de Barras 60 kV                       |
| QD09               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Línea Gloria 1 60 kV                        |
| QD10               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Línea Gloria 2 60 kV                        |
| QD11               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Línea Moyopampa 1 60 kV                     |
| QD12               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Línea Moyopampa 2 60 kV                     |
| QD13               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Línea Ñaña 60 kV                            |
| QD14               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Línea Santa Clara 60 kV                     |
| QD15               | Alimentación control seccionadores<br>Bahía Acoplamiento 60 kV                          |
| QD16               | Circuito 1 – Alimentación tablero controlador de SS.AA.                                 |
| QD17               | Circuito 1 – Alimentación tablero automatización SAS                                    |
| QD18               | Circuito 1 – Alimentación tablero multiplexor                                           |
| QD19               | Reserva equipada 1                                                                      |
| QD20               | Reserva equipada 2                                                                      |
| QD21               | Reserva equipada 3                                                                      |

**Tabla 26***Cuadro de cargas barra n°2 del tablero de SS.AA. 110 Vdc*

| <b>N° Circuito</b> | <b>Descripción</b>                                                                      |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| QD22               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Gloria 1 60 kV    |
| QD23               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Gloria 2 60 kV    |
| QD24               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Moyopampa 1 60 kV |
| QD25               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Moyopampa 2 60 kV |
| QD26               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Ñaña 60kV         |
| QD27               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Línea Santa Clara 60 kV |
| QD28               | Circuito 2 – Tablero de protección, control y medición<br>Bahía Acoplamiento 60 kV      |
| QD29               | Circuito 2 – Tablero de protección diferencial<br>de Barras 60 kV                       |
| QD30               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Línea Gloria 1 60 kV                              |
| QD31               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Línea Gloria 2 60 kV                              |
| QD32               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Línea Moyopampa 1 60 kV                           |
| QD33               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Línea Moyopampa 2 60 kV                           |
| QD34               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Línea Ñaña 60 kV                                  |
| QD35               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Línea Santa Clara 60 kV                           |
| QD36               | Alimentación motores equipos<br>Bahía Acoplamiento 60 kV                                |
| QD37               | Circuito 2 – Alimentación tablero controlador de SS.AA.                                 |
| QD38               | Circuito 2 – Alimentación tablero automatización SAS                                    |
| QD39               | Circuito 2 – Alimentación tablero multiplexor                                           |
| QD40               | Alimentación tableros SS.AA. AC                                                         |
| QD41               | Reserva equipada 4                                                                      |
| QD42               | Reserva equipada 5                                                                      |
| QD43               | Reserva equipada 6                                                                      |

En el anexo 2, se presentan los diagramas unifilares detallados de los tableros de servicios auxiliares AC y DC de la subestación.

#### **3.2.4. Cálculo de la demanda**

Para dimensionar la potencia requerida para las instalaciones del proyecto, se debe calcular la máxima demanda de todas las cargas involucradas, conformada por todos los equipos de las bahías, tableros de control y protección, telecomunicaciones, automatización, iluminación, etc., los cuales se han distribuidos en tableros autosoportados de servicios auxiliares

AC y DC.

Para cuantificar la demanda de la subestación Portillo 60 kV se realizó el siguiente procedimiento:

**Máxima demanda por circuito.** Se calcula la potencia instalada de cada circuito. Para la determinación de la demanda máxima del circuito se aplica un factor de utilización que varía según el tipo de carga a considerar, el cual es relevante en el caso de cargas de gran tamaño, ya que estas suelen implicar un servicio intermitente o segmentado, por ejemplo circuitos de calefacción o iluminación de equipos de patio que funcionan solo algunos simultáneamente.

Asimismo, se considera una reserva de 20% por circuito y se agrega un porcentaje de pérdidas producidas en los cables, asumiéndose un 2% de pérdidas.

En las tablas 27, 28 y 29 se muestran los cuadros de demandas de los tableros de servicios auxiliares AC, con las máximas demandas obtenidas de acuerdo con los criterios indicados.

En el anexo 3, se desarrolla el cálculo detallado de la demanda de los tableros de servicios auxiliares en corriente alterna AC.

**Tabla 27***Máximas demandas - tablero general de servicios auxiliares*

| Cto. | Descripción                                                           | Potencia<br>instalada<br>(W) | Máxima<br>demanda<br>(W) | Máxima demanda por fase (W) |                 |                 |
|------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
|      |                                                                       |                              |                          | Fase A                      | Fase B          | Fase C          |
| QG01 | Tablero de Distribución<br>380 Vac Gabinetes de<br>Campo GIS          | 34 233,2                     | 25 674,9                 | 8 558,3                     | 8 558,3         | 8 558,3         |
| QG02 | Tablero de Distribución<br>Sala de Control (TD1)                      | 40 749,2                     | 20 781,5                 | 6 927,2                     | 6 927,2         | 6 927,2         |
| QG03 | Servicios Auxiliares Grupo<br>Electrógeno                             | 2 244,8                      | 1 683,6                  | 1 683,6                     | -               | -               |
| QG04 | Puente Grúa                                                           | 6 002,4                      | 6 002,4                  | 2 000,8                     | 2 000,8         | 2 000,8         |
| QG05 | Calefacción e Iluminación<br>Gabinetes de Control y<br>Protección     | 7 949,5                      | 5 962,2                  | -                           | 5 962,2         | -               |
| QG06 | Calefacción e Iluminación<br>Gabinetes de SS.AA. AC y<br>DC           | 4 416,4                      | 3 312,3                  | -                           | -               | 3 312,3         |
| QG07 | Calefacción e Iluminación<br>Gabinetes de<br>Automatización y Telecom | 1 766,5                      | 1 324,9                  | 1 324,9                     | -               | -               |
| QG08 | Reserva equipada 01                                                   | 17 340                       | 17 340                   | 5 780                       | 5 780           | 5 780           |
| QG09 | Reserva equipada 02                                                   | 8 160                        | 8 160                    | 2 720                       | 2 720           | 2 720           |
| QG10 | Reserva equipada 03                                                   | 8 160                        | 8 160                    | 2 720                       | 2 720           | 2 720           |
| QG11 | Reserva equipada 04                                                   | 5 100                        | 5 100                    | 1 700                       | 1 700           | 1 700           |
| QG12 | Tablero de Transferencia<br>Automática                                | 117 251,2                    | 87 938,4                 | 29 312,8                    | 29 312,8        | 29 312,8        |
|      | <b>Máxima demanda del<br/>tablero</b>                                 | <b>253 373,2</b>             | <b>191<br/>440,2</b>     | <b>62 727,6</b>             | <b>65 681,3</b> | <b>63 031,4</b> |

**Tabla 28***Máximas demandas - tablero de transferencia automática*

| Cto.                                  | Descripción                                        | Potencia<br>instalada<br>(W) | Máxima<br>demanda<br>(W) | Máxima demanda por fase (W) |                 |                 |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
|                                       |                                                    |                              |                          | Fase A                      | Fase B          | Fase C          |
| QE01                                  | Aire Acondicionado<br>Sala de Control              | 10 492                       | 7 869                    | 2 623                       | 2 623           | 2 623           |
| QE02                                  | Extractor de Aire Sala<br>de Baterías              | 2 440                        | 1 464                    | 1 464                       | -               | -               |
| QE03                                  | Sistema contra<br>incendios Sala de<br>Control     | 4 270                        | 3 202,5                  | -                           | 3 202,5         | -               |
| QE04                                  | Sistema de video<br>vigilancia                     | 280,6                        | 280,6                    | -                           | 280,6           | -               |
| QE05                                  | Cargador Rectificador<br>01                        | 17 696,1                     | 8 848,1                  | 2 949,4                     | 2 949,4         | 2 949,4         |
| QE06                                  | Cargador Rectificador<br>02                        | 17 696,1                     | 8 848,1                  | 2 949,4                     | 2 949,4         | 2 949,4         |
| QE07                                  | Aire Acondicionado<br>Sala GIS                     | 21 960                       | 21 960                   | 7 320                       | 7 320           | 7 320           |
| QE08                                  | Sistema contra<br>incendios Sala GIS               | 9 150                        | 6 405                    | -                           | -               | 6 405           |
| QE09                                  | Alimentación Tablero<br>de Automatización<br>(SAS) | 902,8                        | 677                      | 677                         | -               | -               |
| QE10                                  | Reserva equipada 01                                | 5 100                        | 5 100                    | 1 700                       | 1 700           | 1 700           |
| QE11                                  | Reserva equipada 02                                | 4 080                        | 4 080                    | 4 080                       | -               | -               |
| QE12                                  | Reserva equipada 03                                | 2 040                        | 2 040                    | -                           | 2 040           | -               |
| <b>Máxima demanda<br/>del tablero</b> |                                                    | <b>96 107,6</b>              | <b>70 774,3</b>          | <b>23 762,8</b>             | <b>23 064,9</b> | <b>23 946,8</b> |

**Tabla 29***Máximas demandas - tablero de distribución celdas GIS*

| Cto.                                  | Descripción                  | Potencia<br>instalada<br>(W) | Máxima<br>demanda<br>(W) | Máxima demanda por fase (W) |              |              |
|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|
|                                       |                              |                              |                          | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |
| QE01                                  | Gabinete GIS Gloria 1        | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE02                                  | Gabinete GIS Gloria 2        | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE03                                  | Gabinete GIS<br>Moyopampa 1  | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE04                                  | Gabinete GIS<br>Moyopampa 2  | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE05                                  | Gabinete GIS Ñaña            | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE06                                  | Gabinete GIS Santa<br>Clara  | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE07                                  | Gabinete GIS<br>Acoplamiento | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE08                                  | Reserva equipada 01          | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE09                                  | Reserva equipada 02          | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| QE10                                  | Reserva equipada 03          | 2 806                        | 2 104,5                  | 701,5                       | 701,5        | 701,5        |
| <b>Máxima demanda<br/>del tablero</b> |                              | <b>28 060</b>                | <b>21 045</b>            | <b>7 015</b>                | <b>7 015</b> | <b>7 015</b> |

En las tablas 30 y 31, se muestra el cuadro de demandas del tablero de servicios auxiliares DC, para los circuitos conectados a las barras 1 y 2 respectivamente, con las máximas demandas obtenidas de acuerdo con los criterios indicados.

**Tabla 30***Máximas demandas - tablero de SS.AA. 110 Vdc barra n°1*

|      | Cargas conectadas a la barra                                  | Potencia instalada |         | Máxima demanda |         | Máxima    |
|------|---------------------------------------------------------------|--------------------|---------|----------------|---------|-----------|
| Cto. | Nº1                                                           | (W)                |         | (W)            |         | demanda   |
|      | Descripción                                                   | Transit.           | Cont.   | Transit.       | Cont.   | total (W) |
| QD01 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Línea Gloria 1                | 2 196              | 317,2   | 1 921,5        | 287,9   | 2 209,4   |
| QD02 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Línea Gloria 2                | 2 196              | 256,2   | 1 921,5        | 226,9   | 2 184,4   |
| QD03 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Línea Moyopampa 1             | 2 196              | 341,6   | 1 921,5        | 302,5   | 2 224     |
| QD04 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Línea Moyopampa 2             | 2 196              | 280,6   | 1 921,5        | 241,5   | 2 163     |
| QD05 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Línea Ñaña                    | 2 196              | 317,2   | 1 921,5        | 287,9   | 2 209,4   |
| QD06 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Línea Santa Clara             | 2 196              | 317,2   | 1 921,5        | 287,9   | 2 209,4   |
| QD07 | Circuito 01 – Gab. C&P Bahía de Acoplamiento                  | 2 196              | 183     | 1 921,5        | 158,6   | 2 080,1   |
| QD08 | Circuito 01 – Tablero de Protección Diferencial de Barras 87B | -                  | 366     | -              | 317,2   | 317,2     |
| QD09 | Control Seccionadores Bahía de Línea Gloria 1                 | -                  | 146,4   | -              | 87,8    | 87,8      |
| QD10 | Control Seccionadores Bahía de Línea Gloria 2                 | -                  | 146,4   | -              | 87,8    | 87,8      |
| QD11 | Control Seccionadores Bahía de Línea Moyopampa 1              | -                  | 146,4   | -              | 87,8    | 87,8      |
| QD12 | Control Seccionadores Bahía de Línea Moyopampa 2              | -                  | 146,4   | -              | 87,8    | 87,8      |
| QD13 | Control Seccionadores Bahía de Línea Ñaña                     | -                  | 146,4   | -              | 87,8    | 87,8      |
| QD14 | Control Seccionadores Bahía de Línea Santa Clara              | -                  | 146,4   | -              | 87,8    | 87,8      |
| QD15 | Control Seccionadores Bahía de Acoplamiento                   | -                  | 73,2    | -              | 43,9    | 43,9      |
| QD16 | Circuito 01 – Alimentación Panel Controlador de SS.AA.        | -                  | 122     | -              | 122     | 122       |
| QD17 | Circuito 01 – Tablero Automatización (SAS)                    | -                  | 768,6   | -              | 768,6   | 768,6     |
| QD18 | Circuito 01 – Tablero Multiplexor                             | -                  | 512,4   | -              | 512,4   | 512,4     |
| QD19 | Reserva equipada 01                                           | 510                | 510     | 510            | 510     | 1 024     |
| QD20 | Reserva equipada 02                                           | 102                | 102     | 102            | 102     | 204       |
| QD21 | Reserva equipada 03                                           | 408                | 255     | 408            | 255     | 663       |
|      | Máxima demanda conectada a la barra Nº1                       | 16 392             | 5 600,6 | 14 470,5       | 4 951,1 | 19 421,6  |

**Tabla 31**

*Máximas demandas - tablero de SS.AA. 110 Vdc barra n°2*

| Cto.                                           | Cargas conectadas a la barra N°2                              | Potencia instalada (W) |                | Máxima demanda (W) |                | Máxima demanda total (W) |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------------|
|                                                | Descripción                                                   | Transit.               | Cont.          | Transit.           | Cont.          |                          |
| QD22                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Línea Gloria 1                | 2 196                  | 317,2          | 1 921,5            | 144            | 2 065,5                  |
| QD23                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Línea Gloria 2                | 2 196                  | 256,2          | 1 921,5            | 113,4          | 2 034,9                  |
| QD24                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Línea Moyopampa 1             | 2 196                  | 341,6          | 1 921,5            | 151,3          | 2 072,8                  |
| QD25                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Línea Moyopampa 2             | 2 196                  | 280,6          | 1 921,5            | 120,7          | 2 042,2                  |
| QD26                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Línea Ñaña                    | 2 196                  | 317,2          | 1 921,5            | 144            | 2 065,5                  |
| QD27                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Línea Santa Clara             | 2 196                  | 317,2          | 1 921,5            | 144            | 2 065,5                  |
| QD28                                           | Circuito 02 – Gab. C&P Bahía de Acoplamiento                  | 2 196                  | 183            | 1 921,5            | 79,3           | 2 000,8                  |
| QD29                                           | Circuito 02 – Tablero de Protección Diferencial de Barras 87B | -                      | 366            | -                  | 158,6          | 158,6                    |
| QD30                                           | Alimentación motores equipos Bahía Línea Gloria 1             | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD31                                           | Alimentación motores equipos Bahía Línea Gloria 2             | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD32                                           | Alimentación motores equipos Bahía Línea Moyopampa 1          | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD33                                           | Alimentación motores equipos Bahía Línea Moyopampa 2          | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD34                                           | Alimentación motores equipos Bahía Línea Ñaña                 | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD35                                           | Alimentación motores equipos Bahía Línea Santa Clara          | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD36                                           | Alimentación motores equipos Bahía Acoplamiento               | 1 781,2                | -              | 1 049,2            | -              | 1 049,2                  |
| QD37                                           | Circuito 02 – Alimentación Panel Controlador de SS.AA.        | -                      | 122            | -                  | 61             | 61                       |
| QD38                                           | Circuito 02 – Tablero Automatización (SAS)                    | -                      | 768,6          | -                  | 384,3          | 383,3                    |
| QD39                                           | Circuito 02 – Tablero Multiplexor                             | -                      | 512,4          | -                  | 256,2          | 256,2                    |
| QD40                                           | Alimentación Tableros de SS.AA. AC                            | -                      | 146,4          | -                  | 146,4          | 146,4                    |
| QD41                                           | Reserva equipada 04                                           | 204                    | 255            | 204                | 255            | 459                      |
| QD42                                           | Reserva equipada 05                                           | 102                    | 102            | 102                | 102            | 204                      |
| QD43                                           | Reserva equipada 06                                           | 102                    | 102            | 102                | 102            | 204                      |
| <b>Máxima demanda conectada a la barra N°2</b> |                                                               | <b>28 248,4</b>        | <b>4 387,4</b> | <b>21 202,9</b>    | <b>2 362,2</b> | <b>23 565,1</b>          |

En el anexo 4, se desarrolla el cálculo detallado de la demanda por cada circuito del tablero de servicios auxiliares en corriente continua DC.

Se observa que, tanto el Tablero general de servicios auxiliares como el Tablero de transferencia automática cuentan con cargas del tipo monofásicas, por lo que es necesario verificar que no se exceda el 5% de desbalance entre fases para evitar caídas de tensión anormales.

Para calcular el porcentaje de desbalance entre fases, se aplica la ecuación (3) para cada tablero, tomando los datos necesarios a partir de la información mostrada en las tablas 27 y 28 respectivamente.

- Para el Tablero General de Servicios Auxiliares

Datos:

Fase con la mayor carga total (FMayor) : 65 681,3 W

Fase con la menor carga total (FMenor) : 63 031,4 W

Resultado:

**% Desbalance entre fases : 4,04 %**

- Para el Tablero de Transferencia Automática:

Datos:

Fase con la mayor carga total (FMayor) : 23 946,8 W

Fase con la menor carga total (FMenor) : 23 064,9 W

Resultado:

**% Desbalance entre fases : 3,82 %**

De los resultados obtenidos, se verifica que, para ambos tableros, el porcentaje de desbalance entre fases no excede el límite del 5%.

**Máxima demanda instalada por tablero.** Se aplica un factor de simultaneidad variable, de acuerdo con la simultaneidad esperada entre circuitos para el momento de máxima demanda coincidente del tablero.

En la tabla 32, se muestra el cuadro resumen del cálculo de demanda por cada tablero que forma parte de los servicios auxiliares AC y DC de la subestación.

**Tabla 32**

*Cuadro general de demanda por tablero*

| Ítem | Descripción                                                             | Máxima demanda (W) | Factor de simultaneidad (Fs) | Máxima demanda coincidente (W) |
|------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1    | Tablero General de servicios auxiliares: 380/230 Vac                    | 191 440,2          | 0,80                         | 153 152,2                      |
| 2    | Tablero de transferencia automática 380/230 Vac (Cargas esenciales)     | 70 774,3           | 0,80                         | 56 619,4                       |
| 3    | Tablero de distribución celdas GIS 380 Vac                              | 21 045             | 0,80                         | 16 836,0                       |
| 4    | Tablero general de servicios auxiliares 110 Vdc (Barra N°1 + Barra N°2) | 42 986,7           | 0,60                         | 25 792,1                       |

### **3.2.5. Selección del transformador de servicios auxiliares**

El transformador de servicios auxiliares es la fuente principal del suministro de los servicios auxiliares para la subestación Portillo, el cual está conectado a una red de Media Tensión existente en 22.9 kV.

Para la selección del transformador de servicios auxiliares se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Máxima demanda coincidente en 380 Vac. La máxima demanda coincidente se toma a partir de la máxima demanda del Tablero general de SS.AA. 380/230 Vac, el cual se alimenta desde el Transformador de SS.AA.
- Margen de reserva. El Transformador de SS.AA. se diseñará con un margen de reserva de 25%.

Con los criterios indicados, utilizando la ecuación (24), reemplazando los datos correspondientes tomados a partir de la tabla 32, obtenemos los siguientes resultados para el cálculo del Transformador de SS.AA.:

Datos:

|                                       |   |           |
|---------------------------------------|---|-----------|
| Máxima demanda coincidente en 380 Vac | : | 153,15 kW |
| Factor de potencia                    | : | 0,90 pu   |
| Margen de reserva                     | : | 1,25 pu   |

Resultados:

|                                                          |   |                |
|----------------------------------------------------------|---|----------------|
| Potencia calculada del Transformador de SS.AA.           | : | 213,22 kVA     |
| <b>Potencia seleccionada del Transformador de SS.AA.</b> | : | <b>300 kVA</b> |

Por tanto, se seleccionó un transformador de 300 kVA, 22.9 / 0.38 – 0.23 kV para alimentar las cargas de servicios auxiliares de la subestación Portillo 60 kV.

### **3.2.6. Selección del grupo electrógeno de emergencia**

El grupo electrógeno es la fuente de respaldo del suministro de los servicios auxiliares para la subestación Portillo, el cual va conectado al Tablero de transferencia automática, ya que desde aquí se alimentan todas las cargas esenciales de la subestación Portillo.

Para la selección del grupo electrógeno se ha tomado en cuenta lo siguiente:

- Máxima demanda coincidente en 380 Vac. La máxima demanda coincidente se toma a partir de la máxima demanda del Tablero de transferencia automática 380/230 Vac.
- Margen de reserva. El grupo electrógeno se diseñará con un margen de reserva de 25%.
- Eficiencia. Se considera 80% de eficiencia para el diseño del grupo electrógeno.

Con los criterios indicados, utilizando la ecuación (26), reemplazando los datos necesarios tomados de la tabla 32, obtenemos los siguientes resultados para el cálculo del grupo electrógeno:

Datos:

|                                             |   |          |
|---------------------------------------------|---|----------|
| Máxima demanda del Tablero de Transferencia | : | 56,62 kW |
| Factor de potencia                          | : | 0,80 pu  |
| Margen de reserva                           | : | 1,25 pu  |
| Eficiencia del grupo electrógeno            | : | 0,80 pu  |

Resultados:

|                                                    |   |                |
|----------------------------------------------------|---|----------------|
| Potencia calculada del grupo electrógeno           | : | 110,58 kVA     |
| <b>Potencia seleccionada del Grupo Electrógeno</b> | : | <b>125 kVA</b> |

Por tanto, se elige una Planta de emergencia diésel de 125 kVA, 380 Vac.

### **3.2.7. Selección del banco de baterías**

El Tablero de distribución de SS.AA. 110 Vdc está conformado por una barra principal seccionada en dos, donde se encuentran dos bancos de baterías y dos cargadores rectificadores conectados uno en cada barra (Barra N°1 y Barra N°2).

El banco de baterías de la subestación portillo se dimensionará considerando los siguientes escenarios de operación:

- Escenario N°1: dos bancos de baterías, conectados de manera independiente a las Barras N°1 y N°2 del Tablero de servicios auxiliares 110vdc, para respaldo de los consumos de cargas conectados en cada barra, con el interruptor de acople en posición abierto (NA).
- Escenario N°2: los dos bancos de baterías operando en paralelo para soportar la totalidad de los consumos de ambas barras (N°1 y N°2), con el interruptor de acople en posición cerrado (NC).

Para cumplir los requisitos de diseño establecidos en el Procedimiento 20 del COES, ambos bancos de baterías deben dimensionarse para soportar la totalidad de los consumos de cada barra de manera individual con una autonomía mínima de 05 horas y un voltaje final de 1.8 V/celda. Asimismo, debe validarse que, durante el funcionamiento en paralelo de ambos bancos de baterías, también se garantice la autonomía de 05 horas para suministro de energía a todas las cargas de servicios auxiliares 110Vdc.

**Determinación del número de celdas.** En función de las condiciones de operación de los equipos en el sistema de 110 Vdc, se ha determinado un rango de tolerancia para la tensión del banco de baterías. Siguiendo las directrices del diseño del proyecto, se establece un límite superior del 10% y un límite inferior del 15%. Esto es especialmente importante debido a la sensibilidad de ciertos equipos como los relés auxiliares, que requieren un rango de operación más preciso.

Por tanto:

La tensión máxima del sistema será : 121 V

La tensión mínima del sistema será : 93,5 V

De acuerdo con la norma IEEE-STD-485, la cantidad de celdas se determina siguiendo las ecuaciones 27 y 28 descritas a continuación:

Considerando la tensión máxima del sistema como limitante, aplicamos la ecuación 27, reemplazando los datos correspondientes, obtenemos lo siguiente:

Datos:

Tensión máxima del sistema : 121 V

Tensión por celda en carga flotante ( $U_c$ ) : 2,25 V  
(según dato del Fabricante)

Resultados:

**Número de celdas calculada : 54**

Considerando la tensión mínima del sistema como limitante, aplicamos la ecuación 28, reemplazando los datos correspondientes, obtenemos lo siguiente:

Datos:

|                                             |   |                                       |
|---------------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Tensión mínima del sistema                  | : | 93,5 V                                |
| Tensión de descarga de la batería ( $U_d$ ) | : | 1,80 V<br>(según dato del Fabricante) |

Resultados:

|                                   |          |           |
|-----------------------------------|----------|-----------|
| <b>Número de celdas calculada</b> | <b>:</b> | <b>52</b> |
|-----------------------------------|----------|-----------|

De los resultados obtenidos, se selecciona 54 celdas que darán una tensión máxima de 121,5 V y una tensión mínima de 97,2 V que está dentro de los límites permitidos por el sistema.

Por tanto, los 02 bancos de baterías de subestación Portillo estarán compuestos por un total de 54 celdas cada uno.

**Determinación de la capacidad.** Para determinar los ampere-hora de la batería, es necesario definir el ciclo de trabajo en la condición más desfavorable de la subestación (de manera independiente por cada barra y de forma conjunta cuando el interruptor de acople esté cerrado.

El ciclo de trabajo está compuesto por la suma de las cargas momentáneas y la suma de las cargas continuas. En el anexo 5, se desarrolla la memoria de cálculo de la capacidad del banco de baterías para la subestación Portillo.

De los resultados obtenidos, se concluye que la capacidad requerida del banco de baterías es de 250 Ah.

Por lo tanto, para el proyecto se implementaron 02 bancos de baterías de 54 celdas y 250 Ah cada uno.

### 3.2.8. Selección del cargador rectificador

Para calcular la corriente requerida en corriente continua para cada cargador rectificador, es necesario asegurar que cada uno pueda suministrar la energía necesaria para cubrir la demanda total del Tablero de servicios auxiliares a 110 Vcc (escenario de operación N°2). Además, cada cargador debe ser capaz de proporcionar la corriente necesaria de forma individual al banco de baterías, garantizando su recarga en un período de tiempo no superior a 5 horas.

El cálculo del rectificador está basado en la ecuación (31), utilizando los datos mostrados a continuación y reemplazando valores en la ecuación indicada, obteniéndose los siguientes resultados:

Datos:

|                                                |   |         |
|------------------------------------------------|---|---------|
| Ampere – hora del banco de baterías (Ah)       | : | 250 Ah  |
| Constante de compensación de pérdidas (n)      | : | 1,25    |
| Tiempo de recarga de las baterías en horas (t) | : | 5       |
| Carga continua en ampere (A0)                  | : | 44,38 A |

Resultados:

|                                                |   |              |
|------------------------------------------------|---|--------------|
| Capacidad del cargador (A)                     | : | 106,88 A     |
| <b>Capacidad seleccionada del Cargador (A)</b> | : | <b>120 A</b> |

Por tanto, se elige un cargador rectificador de 120 A de capacidad en corriente continua. De acuerdo con las consideraciones indicadas anteriormente, ambos rectificadores serán de la misma capacidad.

Finalmente, a partir de las ecuaciones 32, 33 y 34, reemplazando los datos de la eficiencia del rectificador (según Fabricante) y el factor de potencia del sistema, se obtienen

los valores de potencia en corriente continua y corriente alterna del Cargador, como sigue a continuación:

Datos:

|                                          |   |      |
|------------------------------------------|---|------|
| Eficiencia del Cargador Rectificador (n) | : | 91%  |
| Factor de potencia ( $\cos\Phi$ )        | : | 0,85 |

Resultados:

|                                                        |   |                  |
|--------------------------------------------------------|---|------------------|
| <b>Potencia de salida del cargador en CC (PCC)</b>     | : | <b>13 200 W</b>  |
| <b>Potencia de salida del cargador en CA (PCA)</b>     | : | <b>14 505 W</b>  |
| <b>Potencia aparente de entrada del cargador (SCA)</b> | : | <b>17,06 kVA</b> |

### **3.2.9. Determinación de los niveles de cortocircuito**

**Cálculo de corriente de cortocircuito en 380 Vac.** El cálculo de la corriente de cortocircuito de los tableros de servicios auxiliares de corriente alterna se lleva a cabo teniendo en cuenta la potencia del transformador de servicios auxiliares y la impedancia de cortocircuito asociada a dicho transformador.

Del cálculo del transformador de servicios auxiliares, se determinó que la potencia es de 300 kVA. Con este dato, considerando que la impedancia de este transformador es 4,0% (según Norma IEC 60076-5, ver tabla N° 2.14) y, utilizando la ecuación 14, obtenemos como resultado el valor de corriente de cortocircuito en Barras 380 Vac.

Datos:

|                                 |   |         |
|---------------------------------|---|---------|
| Potencia del Transformador      | : | 300 kVA |
| Tensión Nominal en Baja Tensión | : | 380 Vac |
| Impedancia de cortocircuito     | : | 4,0 %   |

Resultados:

|                                                      |   |              |
|------------------------------------------------------|---|--------------|
| Corriente de cortocircuito calculada en barras       | : | 11,4 kA      |
| <b>Corriente de cortocircuito mínima normalizada</b> | : | <b>20 kA</b> |

La corriente de corto circuito calculada es de 11,40 kA. Este será el máximo valor posible de corriente de cortocircuito en el lado de baja tensión del transformador de servicios auxiliares de corriente alterna. Por lo que los tableros de servicios auxiliares AC deben poder soportar este valor de corriente sin sufrir daños el tiempo que tarden las protecciones en actuar y los interruptores automáticos instalados deben cumplir con esta capacidad de ruptura como mínimo.

Se selecciona la corriente mínima normalizada de 20 kA para el sistema. Por tanto, los interruptores automáticos que serán instalados en los tableros de servicios auxiliares de corriente alterna tendrán, como mínimo una capacidad de ruptura de 20 kA a 380 Vac.

**Cálculo de corriente de cortocircuito en 110 Vdc.** El armario de distribución de corriente continua de 110 Vdc recibe alimentación de dos cargadores de batería y dos bancos de baterías.. Al tener en paralelo dos bancos de batería y dos cargadores rectificadores la corriente de cortocircuito será la suma total de las corrientes que aporta cada equipo.

- Aporte del rectificador

El aporte de corriente de cortocircuito del cargador rectificador se obtiene a partir de la ecuación 15. A partir de la selección del cargador rectificador (numeral 3.2.8), se determinó que el equipo es del tipo trifásico, 380 Vac (tensión de entrada), 110 Vdc (tensión de salida), 120 A (corriente de salida) en corriente continua.

Con los criterios indicados, empleando los datos de diseño que se muestran a continuación (tomados de la información entregada por el fabricante) y, reemplazando valores en las ecuaciones 17, 19, 20, 21 y 22, se obtiene la corriente de cortocircuito que aporta cada cargador rectificador, como sigue a continuación:

Datos:

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tensión secundaria del transformador del rectificador (UC) :            | 140 Vac   |
| Tensión de salida del rectificador (UCC) :                              | 110 Vdc   |
| Impedancia de cortocircuito del transformador del rectificador (ZTpu) : | 3,0%      |
| Potencia aparente del transformador del rectificador (St) :             | 20 000 VA |
| Inductancia del filtro del rectificador (Lf) :                          | 1,0 mH    |

Resultados:

**Aporte de cortocircuito del rectificador (IKcc) : 254,9 A**

Del cálculo, se concluye que cada cargador rectificador aporta una corriente de cortocircuito de 254,9 A.

- Aporte del banco de baterías

El aporte de corriente de cortocircuito se encuentra determinado por la resistencia interna de la batería y el tipo de batería suministrada. A partir de la selección del banco de baterías (numeral 3.2.7), se determinó que la batería implementada era del tipo plomo ácido, reemplazando los datos de diseño que se muestran a continuación (tomados de la información entregada por el fabricante) en la ecuación 23 se determina la corriente de cortocircuito que aporta el banco de baterías, como sigue a continuación:

Datos:

|                                               |               |
|-----------------------------------------------|---------------|
| Tensión de flotación por celda (Uflotación) : | 2,25 V/celda  |
| Resistencia interna de la celda (Ri) :        | 0,76 mΩ/celda |

Resultados:

**Aporte de cortocircuito del banco de baterías (IKmax) : 2 960,5 A**

El valor de la corriente de cortocircuito total en barras del tablero de SS.AA. 110 Vdc, se determina como la suma total de las corrientes de cortocircuito que aporta cada equipo. Por tanto, la corriente de cortocircuito en 110 Vdc, se calcula como sigue:

Datos:

|                                                  |   |           |
|--------------------------------------------------|---|-----------|
| Aporte de cortocircuito del Rectificador 01      | : | 254,9 A   |
| Aporte de cortocircuito del Rectificador 02      | : | 254,9 A   |
| Aporte de cortocircuito del Banco de Baterías 01 | : | 2 960,5 A |
| Aporte de cortocircuito del Banco de Baterías 02 | : | 2 960,5 A |

Resultados:

|                                                      |   |              |
|------------------------------------------------------|---|--------------|
| Corriente de cortocircuito total en Barras 110 Vdc   | : | 6,43 kA      |
| <b>Corriente de cortocircuito mínima normalizada</b> | : | <b>10 kA</b> |

Por tanto, los interruptores automáticos que serán instalados en el Tablero de servicios auxiliares 110 Vdc tendrán, como mínimo, una capacidad de ruptura de 10 kA a 110 Vdc.

### **3.2.10. Cálculo de conductores**

Los conductores de baja tensión seleccionados para el proyecto son de cobre con un recubrimiento de polietileno reticulado (XLPE) y una capa protectora de poliolefina termoplástica libre de halógenos. Esta elección se basa en las excelentes propiedades que presenta esta combinación en cuanto a resistencia al fuego y comportamiento ante diferentes condiciones.

Para los circuitos alimentadores principales se utilizaron cables de fuerza unipolares, mientras que para los circuitos derivados se utilizaron cables multiconductores de 3 o 4 conductores según requerimiento.

Se empleó el cable N2XOH de las características indicadas en las figuras 36 y 37 para conductores unipolares y multipolares, respectivamente.

El cálculo de los conductores se realiza de acuerdo con los criterios establecidos en el numeral 2.2.2, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Se determina la sección del conductor por intensidad de corriente admisible para cada circuito (principal y alimentadores).
- A partir de la sección en mm<sup>2</sup> calculada en el paso anterior, se realiza el cálculo de caída de tensión verificando si los porcentajes de caída de tensión obtenidos cumplen con la regla 050.012 del Código Nacional de Electricidad (CNE). Si el valor final obtenido cumple la regla, la sección de conductor evaluada es la adecuada para el circuito; por el contrario, si no se cumple con la regla se realizan nuevamente los cálculos utilizando la sección de conductor inmediata superior.
- La evaluación culmina cuando se encuentra la sección de conductor adecuada que cumpla con la regla 052.012 del CNE. Esta será la sección final del conductor que cumple los dos criterios de dimensionamiento del cable.

**Figura 36**

*Cable de baja tensión N2XOH unipolar 0,6/1 kV*

| Sección [mm <sup>2</sup> ] | Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km] | Capac. Corriente enterrado 20°C [A] | Capac. Corriente aire 30°C - formac. plana [A] | Capac. Corriente aire 30°C - formac. triang. [A] | Capacitancia Nominal [pF/m] |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1,5                        | 12,1                                | 23                                  | 22                                             | 21                                               | 200,0                       |
| 2,5                        | 7,41                                | 30                                  | 30                                             | 29                                               | 239,0                       |
| 4                          | 4,61                                | 39                                  | 42                                             | 40                                               | 286,0                       |
| 6                          | 3,08                                | 49                                  | 55                                             | 53                                               | 363,0                       |
| 10                         | 1,83                                | 65                                  | 77                                             | 74                                               | 408,0                       |
| 16                         | 1,15                                | 84                                  | 105                                            | 101                                              | 492,0                       |
| 25                         | 0,727                               | 107                                 | 141                                            | 135                                              | 490,0                       |
| 35                         | 0,524                               | 129                                 | 176                                            | 169                                              | 564,0                       |
| 50                         | 0,387                               | 153                                 | 216                                            | 207                                              | 589,0                       |
| 70                         | 0,268                               | 188                                 | 279                                            | 268                                              | 641,0                       |
| 95                         | 0,193                               | 226                                 | 342                                            | 328                                              | 744,0                       |
| 120                        | 0,153                               | 257                                 | 400                                            | 383                                              | 778,0                       |
| 150                        | 0,124                               | 287                                 | 464                                            | 444                                              | 747,0                       |
| 185                        | 0,0991                              | 324                                 | 533                                            | 510                                              | 713,0                       |
| 240                        | 0,0754                              | 375                                 | 634                                            | 607                                              | 762,0                       |
| 300                        | 0,0601                              | 419                                 | 736                                            | 703                                              | 802,0                       |
| 400                        | 0,047                               | 491                                 | 868                                            | 823                                              | 838,0                       |
| 500                        | 0,0366                              | 554                                 | 998                                            | 946                                              | 859,0                       |
| 630                        | 0,0283                              | 627                                 | 1151                                           | 1088                                             | 901,0                       |



Nota: adaptado de <https://www.nexans.pe/es/products/Sistemas-Solares/Cables-de-Cobre-aislados/FREETOX-N229178.html>

**Figura 37**

*Cable de baja tensión N2XOH multiconductor 0,6/1 kV*

| Nro.Fases | Sección<br>[mm²] | Sección<br>cond.Tierr<br>a<br>[mm²] | Max. DC<br>Resist. Cond.<br>20°C<br>[Ohm/km] | Capac.<br>Corriente<br>enterrado 20°C<br>[A] | Capac.<br>Corriente aire<br>30°C<br>[A] | Capac.<br>Corriente<br>ducto a 20°C<br>[A] | Capacitancia<br>Nominal<br>[pF/m] |
|-----------|------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| 2         | 4                | 4                                   | 4,95                                         | 46                                           | 49                                      | 43                                         | 296,0                             |
| 2         | 6                | 6                                   | 3,3                                          | 58                                           | 63                                      | 53                                         | 343,0                             |
| 2         | 16               | 16                                  | 1,21                                         | 100                                          | 115                                     | 91                                         | 557,0                             |
| 3         | 4                | 4                                   | 4,95                                         | 39                                           | 42                                      | 36                                         | 296,0                             |
| 3         | 6                | 6                                   | 3,3                                          | 49                                           | 54                                      | 44                                         | 343,0                             |
| 3         | 10               | 10                                  | 1,91                                         | 65                                           | 75                                      | 58                                         | 464,0                             |
| 3         | 16               | 16                                  | 1,21                                         | 84                                           | 100                                     | 75                                         | 557,0                             |
| 3         | 25               | 25                                  | 0,78                                         | 107                                          | 127                                     | 96                                         | 549,0                             |
| 3         | 35               | 35                                  | 0,554                                        | 129                                          | 158                                     | 115                                        | 644,0                             |
| 3         | 70               | 35                                  | 0,272                                        | 188                                          | 246                                     | 167                                        | 750,0                             |
| 3         | 70               | 70                                  | 0,272                                        | 188                                          | 246                                     | 167                                        | 750,0                             |
| 3         | 95               | 50                                  | 0,206                                        | 226                                          | 298                                     | 197                                        | 859,0                             |
| 3         | 120              | 70                                  | 0,161                                        | 257                                          | 346                                     | 223                                        | 884,0                             |
| 3         | 120              | 120                                 | 0,161                                        | 257                                          | 346                                     | 223                                        | 884,0                             |
| 3         | 150              | 70                                  | 0,129                                        | 287                                          | 399                                     | 251                                        | 858,0                             |
| 3         | 150              | 150                                 | 0,129                                        | 287                                          | 399                                     | 251                                        | 858,0                             |
| 3         | 185              | 95                                  | 0,106                                        | 324                                          | 456                                     | 281                                        | 807,0                             |
| 3         | 185              | 120                                 | 0,161                                        | 456                                          | 324                                     | 281                                        | 807,0                             |
| 3         | 240              | 120                                 | 0,0801                                       | 375                                          | 538                                     | 324                                        | 874,0                             |
| 3         | 300              | 150                                 | 0,0641                                       | 419                                          | 621                                     | 365                                        | 919,0                             |
| 4         | 6                | 6                                   | 3,3                                          | 49                                           | 54                                      | 44                                         | 343,0                             |
| 4         | 10               | 10                                  | 1,91                                         | 65                                           | 75                                      | 58                                         | 464,0                             |
| 4         | 16               | 16                                  | 1,21                                         | 84                                           | 100                                     | 75                                         | 557,0                             |



*Nota:* adaptado de <https://www.nexans.pe/es/products/Miner%C3%ADa/Cables-para-infraestructura-en-baja-tensi%C3%B3n/FREETOX-N234160.html>

En el Anexo 6 se desarrolla la memoria de cálculo de conductores AC y DC de los tableros de SS.AA. de subestación Portillo.

### 3.2.11. Selección de Interruptores

Los interruptores para los circuitos alimentadores principales y derivados de los tableros de servicios auxiliares fueron seleccionados verificando que garanticen la protección contra sobrecarga y contra cortocircuito de los equipos que protegen.

**Elección de la protección contra sobrecargas.** En el caso de sobrecargas, las características de funcionamiento de los interruptores para los circuitos alimentadores deben satisfacer la siguiente condición:

$$I_D < I_N < I_Z \quad (35)$$

Donde

ID : corriente de diseño (A).

IN : corriente asignada del interruptor (A).

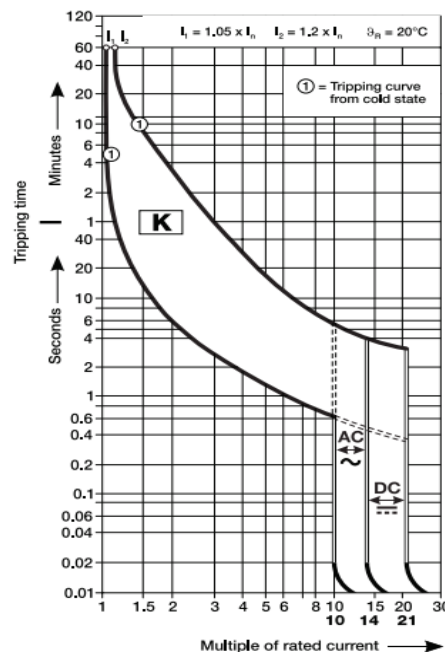
IZ : corriente admisible permanente del conductor (A)

Para los servicios auxiliares de corriente alterna, la corriente de diseño ( $I_D$ ) se calculó para cada circuito a partir de la ecuación 4, así como de las ecuaciones 5 y 6 para circuitos trifásicos y monofásicos respectivamente según sea el caso.

En cambio, para circuitos de corriente continua, el interruptor de protección debe poder dejar circular la corriente máxima del circuito cubriendo la carga continua y momentánea. Seleccionamos el interruptor automático para los circuitos alimentadores en DC con la curva características mostrada en la figura 38.

**Figura 38**

*Curva característica de interruptores en DC*



Nota: adaptado de <https://new.abb.com/products/es/2CDS272061R0427/s202m-k10uc>

Considerando que la carga momentánea para los circuitos de corriente continua tiene una duración de algunos segundos (por ser transitoria), se estima un tiempo de operación de 2 segundos para este tipo de cargas (según recomendaciones de diseño). La selección del interruptor debe garantizar la circulación de corriente durante este tiempo estimado.

Al observar la curva característica del interruptor, se tiene que el cálculo de la corriente de diseño es como sigue a continuación:

$$I_{DCC} = 1,25\left(\frac{I_m}{k} + I_C\right) \quad (36)$$

Donde

IDCC : corriente de diseño en corriente continua (A)

Im : corriente de las cargas momentáneas (A)

IC : corriente de las cargas continuas (A). Se obtiene a partir de la ecuación (2.6)

k : factor determinado a partir de la curva característica de disparo del interruptor. Para t = 2 segundos, k = 4

**Elección de la protección contra cortocircuitos.** En cuanto a las características de protección de los interruptores frente a cortocircuitos, se seleccionaron verificando las siguientes condiciones:

- El poder de corte elegido es como mínimo igual a la corriente de cortocircuito calculada en las barras de corriente AC y DC de los tableros de servicios auxiliares de la subestación. La corriente de cortocircuito calculada en barras AC fue de 11,4 kA y en barras DC fue de 6,34 kA.
- Para los tableros de corriente alterna, se seleccionaron interruptores de caja moldeada con corriente de cortocircuito de 25 kA; mientras que para el tablero de corriente continua se seleccionaron interruptores en riel DIN con corriente de cortocircuito de 10 kA.
- El tiempo de desconexión de la corriente generada por un cortocircuito, en cualquier punto del sistema, no debe exceder el tiempo necesario para que los conductores alcancen la temperatura máxima permitida.
- El periodo de tiempo requerido para que una corriente de cortocircuito aumente la temperatura de los conductores, desde la máxima temperatura permitida en condiciones normales de funcionamiento, hasta el límite establecido se calcula a partir de la ecuación 13, considerando que para un conductor de cobre con aislamiento XLPE se tienen los siguientes valores:

|                                                                |   |                                        |
|----------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------|
| Constante de material del conductor (K)                        | : | 226 As <sup>1/2</sup> /mm <sup>2</sup> |
| Inversa del coeficiente de variación de la resistencia a 0°C : |   | 234,5                                  |
| Temperatura final del conductor (θ <sub>f</sub> )              | : | 250 °C                                 |
| Temperatura inicial del conductor (θ <sub>i</sub> )            | : | 90 °C                                  |

- Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (2.13) obtenemos el tiempo “t” necesario para la elevación de temperatura de los conductores como una ecuación en función de la sección del conductor y la corriente de cortocircuito del sistema como sigue:

$$\sqrt{t} = \frac{143,1S}{I_{CC}} \quad (37)$$

Donde

t : tiempo de duración del cortocircuito en segundos (0,1 a 5 s)

S : sección de los conductores en mm<sup>2</sup>

ICC : corriente de cortocircuito efectiva (valor eficaz) del sistema (A)

En el anexo 7, se desarrolla la memoria de cálculo de selección de interruptores para los circuitos AC y DC de los tableros de SS.AA. de subestación Portillo.

Por otro lado, existen algunas herramientas computacionales (*software* de diseño) que se utilizan con frecuencia para el cálculo y dimensionamiento de sistemas de corriente alterna en baja tensión. Estos *software* (desarrollados principalmente por reconocidos fabricantes de interruptores termomagnéticos) permiten optimizar el tiempo de ejecución del diseño, aplica los criterios establecidos en Normas Internacionales IEC y ANSI/IEEE, garantizan cálculos más exactos evitando el sobredimensionamiento de conductores y equipos asociados en los sistema eléctricos de corriente alterna.

Para la subestación Portillo 60 kV, se realizó el cálculo del equipamiento de servicios auxiliares en corriente alterna mediante un *software* de diseño, principalmente

para garantizar la selección y selectividad adecuada de los interruptores tipo caja moldeada de los tableros de servicios auxiliares AC del proyecto.

En el anexo 8, se muestra los resultados del cálculo de servicios auxiliares AC mediante *software* de diseño.

### **3.3. Especificaciones de fabricación de los equipos**

#### **3.3.1. Tableros de servicios auxiliares**

Para la subestación Portillo se utilizaron gabinetes autosoportados fabricados a base de planchas y perfiles de acero, diseñados con grado de protección IP 54 como mínimo, debido a las condiciones ambientales de la zona, con accesos por el frente y aptos para uso individual o al lado de otros armarios para formar un conjunto uniforme. Las dimensiones de los gabinetes instalados son las siguientes:

- Altura : 2100 mm
- Ancho : 800 mm
- Profundidad : 800 mm

El sistema de barras de los tableros se instaló y guardó las distancias eléctricas para el nivel de tensión establecido cubiertos con mangas termocontraíbles de acuerdo con el código de colores estandarizado en el Código Nacional de Electricidad.

Para los sistemas de corriente alterna

- fase A – rojo,
- fase B – negro,
- fase C – azul,
- neutro – blanco,
- tierra – amarillo

Para circuitos de corriente continua

- positivo – rojo,
- negativo – negro

Los interruptores termomagnéticos implementados para los circuitos de corriente alterna fueron del tipo caja moldeada, con capacidad de ruptura 25 kA y contactos auxiliares de posición. Para los circuitos de corriente continua, se utilizaron interruptores del tipo riel DIN con capacidad de ruptura 10 kA y contactos auxiliares de posición.

El cableado de los circuitos de control se realizó utilizando cables con un calibre mínimo de 1,5 mm<sup>2</sup>, mientras que los cables de fuerza se usaron con secciones no inferiores a 4 mm<sup>2</sup>. Los conductores utilizados fueron de tipo cubierto con aislamiento de polietileno, resistente al calor y la humedad, no inflamables, libres de halógenos y con un nivel de aislamiento de al menos 1000 V, del tipo NH-80 o equivalente.

Todos los cables fueron debidamente identificados siguiendo el protocolo de codificación de colores estipulado en el Código Nacional de Electricidad, con el fin de facilitar la identificación precisa del circuito al que corresponden.

Para el circuito de calefacción e iluminación interna de los tableros, se implementó una lámpara de alumbrado en corriente alterna de 20 W, que se encienda con el switch de la puerta, y una resistencia de calefacción de 100 W controlada desde un termostato de verificación de temperatura, colocado en la parte inferior del tablero.

### **3.3.2. Transformador de servicios auxiliares**

En la subestación Portillo se implementó 01 transformador de servicios auxiliares de las siguientes características:

- |                    |   |                             |
|--------------------|---|-----------------------------|
| - Tipo             | : | Seco encapsulado en resina. |
| - Uso              | : | Exterior                    |
| - Potencia nominal | : | 300 kVA                     |
| - Número de fases  | : | 3                           |

|                                      |   |                                |
|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| - Frecuencia                         | : | 60 Hz                          |
| - Grupo de conexión                  | : | Dyn5                           |
| - Conexión del neutro                | : | Conectado sólidamente a tierra |
| - Refrigeración                      | : | ANAN                           |
| - Tensión nominal en primario        | : | 22 900 V                       |
| - Tensión nominal en el secundario   | : | 380 – 230 V                    |
| - Cambiador de tomas sin carga       | : | 5 ( $\pm 2 \times 2,5\%$ )     |
| - Nivel de aislamiento en primario   | : | 24 / 50 / 125 kV               |
| - Nivel de aislamiento en secundario | : | 0,6 / 3 kV                     |
| - Impedancia de cortocircuito        | : | 6%                             |
| - Corriente nominal primaria         | : | 7,56 A                         |
| - Corriente nominal secundaria       | : | 433 A                          |
| - Peso de parte activa               | : | 1 366 kg                       |
| - Peso total                         | : | 1 560 kg                       |

El transformador está fabricado con aislamiento en resina epóxica, libre de halógenos, no higroscópico, sobretensión con clasificación 185°C (Clase H), impregnado a presión en vacío (VPI), resistente al fuego y no inflamable según las especificaciones del estándar de prueba ASTM D635.

El núcleo está compuesto por láminas de acero al silicio con cristales orientados, que no presenta fatiga por envejecimiento, tiene bajas pérdidas de histéresis y alta permeabilidad. Esto asegura un alto nivel de calidad, con propiedades magnéticas que evitan el calentamiento y las pérdidas magnéticas.

La inclusión de bobinas de cobre aisladas y con una pantalla electrostática entre el lado primario y secundario permite mitigar tensiones transitorias y ruido en el sistema.. Los terminales primarios y secundarios están ubicados en compartimientos bajo cubiertas de planchas desmontables por la parte lateral del transformador.

La envolvente metálica para alojar el transformador ha sido fabricada con plancha metálica de acero de 2,5mm de espesor, preparadas con tratamientos anticorrosivos previamente arenadas con chorros de alta presión, con grado de protección IP54 (uso exterior) y puertas, frontal y posterior, para acceso a los terminales de media y baja tensión.

Finalmente, el transformador se suministró con los siguientes accesorios:

- Placa de características de acero inoxidable
- Cáncamos de izaje
- Ruedas bidireccionales
- Monitor de temperatura

### **3.3.3. Grupo electrógeno**

El grupo electrógeno, que se implementó en subestación Portillo, ha sido diseñado para operar en régimen de espera (*“stand-by”*), entró en funcionamiento de manera automática. Cuando se produzca una falla en el suministro de energía de la red y capacidad de reposición al suministro normal, la reposición es automática, después de un tiempo programable, cuando se restituya el suministro de energía de la red.

Los componentes principales de este grupo de emergencia son los siguientes:

- Un motor diésel equipado con un sistema de refrigeración a base de una mezcla de agua y anticongelante, con radiador incorporado, arranque eléctrico y control de velocidad regulable tanto de forma mecánica como electrónica.
- Un alternador trifásico con control de tensión automática.
- Bancada (chasis) común motor-generator, equipada con dispositivo de fijación y sistema de amortiguación de vibraciones.
- Una batería para arranque del motor con su alternador para carga
- Tablero de control
- Cubierta metálica de chapa de acero insonorizada

Las características técnicas de operación de los equipos del grupo electrógeno son las siguientes:

**Grupo electrógeno**

- Tipo : Encapsulado (insonoro)
- Potencia (*Stand by*) : 100 kW (125 kVA)
- Potencia (*Prime*) : 90 kW (113 kVA)
- Fases : 3 fases
- Frecuencia : 60 Hz (1800 rpm)
- Sistema de combustible : Diésel
- Tanque combustible : 87,2 galones
- Regulación de tensión :  $\pm 1\%$  entre vacío y plena carga

**Alternador**

- Tipo : Sin escobillas, auto regulado y auto excitado
- Potencia continua : 94 kW
- Eficiencia : 90,4%
- Aislamiento : Clase H
- Regulación de tensión : AVR
- Grado de protección : IP23

**Motor**

- Potencia continua : 143,50 HP
- Potencia emergencia : 158,24 HP
- Sistema de combustión : Inyección directa
- Sistema de refrigeración : Agua
- Sistema de gobernación : Mecánica

El sistema de control del grupo electrógeno está preparado para operar en modo manual y automático, con capacidad de arranque y parada remota desde el controlador del tablero de transferencia automática. Para garantizar una alta confiabilidad, el tablero de control local dispone de todos los sistemas de monitoreo necesarios.

#### **3.3.4. Bancos de baterías**

El banco de baterías implementado en la subestación Portillo es del tipo estacionaria, de plomo-ácido, tipo selladas, libre mantenimiento, con válvula de regulación, electrolito tipo gel, de placas tubulares para uso estacionario.

Cada banco de baterías está compuesto por baterías reguladas por válvula (VRLA) del tipo de recombinación de gases, selladas, con una tensión nominal de 2 Volts por elemento. Estas baterías son libres de mantenimiento a lo largo de su vida útil, y presentan placas tubulares y electrolito gelificado. Las tapas de los elementos se encuentran herméticamente selladas para eliminar la fuga de gases.

Cada batería cuenta con alta densidad de energía y un excelente rendimiento dentro del rango de temperaturas operativas del banco. Las placas positivas son de tipo tubular, fabricadas con dióxido de plomo de alto rendimiento y las placas negativas son de calcio. Ambos tipos de placas poseen una notable resistencia a la corrosión y una mínima pérdida de material activo, además de mantener su forma, consistencia y dimensiones originales a lo largo de toda la vida útil de la batería (garantizada por el fabricante por un período de 20 años).

La separación entre placas positivas y negativas se logra a través de un medio de material polimérico microporoso, que es resistente al calor y al electrolito en gel. Este material aísla y mantiene un adecuado espacio entre las placas, facilitando la difusión del electrolito durante los procesos de carga y descarga.

Los conectores entre celdas cuentan con una adecuada capacidad de corriente y están ajustados con pernos y tuercas, protegiéndose los bornes inicial y final con cubiertas de polietileno, definiendo claramente el polo positivo (+) y el polo negativo (-).

Cada batería está equipada con una válvula de regulación que evita la entrada de aire en su interior y, al mismo tiempo, permite que los gases generados por la recombinación se liberen hacia el exterior del contenedor por encima de cierta presión. Esto se hace con el fin de prevenir deformaciones u otros daños en las celdas o en el contenedor de la batería.

Los contenedores de las celdas, junto con las tapas, están fabricados en plástico moldeado ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) con retardante de fuego, formando una sola pieza de alta resistencia térmica y mecánica. Son altamente resistentes a impactos y a presiones internas, y no se ven afectados por ácidos u oxidantes. La unión entre los recipientes y las tapas asegura la hermeticidad de la batería, evitando posibles fugas de electrolito. Además, todas las baterías cuentan con un sello de garantía que certifica pruebas de hermeticidad realizadas en fábrica.

Las baterías son de construcción robusta y resistente a los golpes, están montadas en soportes adecuadamente dispuestos para contrarrestar los efectos sísmicos. El suministro incluye todos los elementos necesarios para la fijación en el piso del conjunto. Las estructuras soportes están fabricadas con un material resistente al electrolito.

Las características técnicas de los bancos de baterías implementados en la subestación son las siguientes:

|                                      |   |                                     |
|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| - Tipo de electrolito                | : | VRLA – electrolito gelificado (GEL) |
| - Tipo de placas                     | : | Placas tubulares de plomo calcio    |
| - Vida útil en flotación             | : | 20 años                             |
| - Tensión del banco de baterías      | : | 110 Vdc                             |
| - Número total de celdas por banco   | : | 54 celdas                           |
| - Capacidad nominal                  | : | 250 Ah @10 h, 1,8 Vpc, 20°C         |
| - Tensión nominal por bloque         | : | 2 V                                 |
| - Tensión de flotación               | : | 2,25 Vpc                            |
| - Dimensiones (largo x ancho x alto) | : | 124 x 203 x406 mm                   |
| - Peso por celda                     | : | 23,5 kg                             |

- Resistencia interna : 0,76 mΩ
- Corriente de cortocircuito : 2 737 A
- Terminales de conexión : 2 x M10 (macho)
- Tipo de soporte : Rack antisísmico.
- Temperatura de operación : -10°C a 45°C (recomendada)  
-30°C a 55°C (temporal)

### **3.3.5. Cargador rectificador**

El cargador rectificador implementado en el proyecto es del tipo conmutado en baja frecuencia, controlado por tiristores (SCR), con un sistema rectificador de 06 pulsos, sistema de control por microprocesadores y pantalla LCD para visualización de parámetros y cambio de ajustes.

Cada cargador está alimentado por una tensión alterna de entrada 380 Vac / 3F+N / 60 Hz y tensión de salida de 110 Vdc con corriente nominal 120 A. Cada equipo dispone de dos interruptores de salida en corriente continua para alimentar en forma independiente al banco de baterías y al consumo de carga continua de la subestación. La modalidad de servicio de cada cargador es la siguiente:

- Carga de flotación (automática)
- Carga de igualación (automática)
- Carga manual

Los cargadores operan con una curva característica de salida de voltaje-corriente, en conformidad con el estándar de carga estipulado por la norma DIN 41773. El voltaje de salida se mantiene constante siempre que la corriente suministrada por el cargador no exceda el límite máximo establecido (zona 'U' de la curva). Una vez sobrepasada esta corriente máxima, el cargador actúa como una fuente de corriente constante (zona 'I' de la curva), manteniendo un valor estable de la corriente de salida con el objetivo de salvaguardar el equipo y las baterías conectadas al mismo.

En el proceso de carga por flotación y carga por igualación, el cargador cuenta con una característica de corriente y tensión constantes, siguiendo la norma DIN 41773 que describe la característica I-U.

En servicio de carga manual, el cargador deberá tener característica de corriente constante con ajuste manual de tensión, correspondiente a la característica I según la norma DIN 41773.

Respecto al principio de funcionamiento, cada cargador cuenta con dos tipos de operación.

- Carga en flotación. En este modo, las baterías suministrarán energía a las cargas conectadas al sistema mientras se mantienen completamente cargadas aplicando una tensión de flotación de 2,25 V/celda. En caso de interrupción en la alimentación de corriente alterna, el banco de baterías seguirá suministrando energía a las cargas sin interrupciones en el servicio.
- Carga normal automática. Tras la restauración de la alimentación de corriente alterna, el equipo se activará automáticamente en modo de carga normal. Durante este proceso, el cargador se encargará de suministrar la corriente necesaria para cargar el banco de baterías hasta alcanzar una tensión constante de 2,35 V por celda. Una vez que el banco alcance su voltaje nominal, el sistema cambiará automáticamente al modo de carga en flotación.

El cargador de baterías cuenta con un diodo de caída debidamente dimensionado para garantizar que, durante la carga automática estándar, la tensión de suministro no exceda los 121 Vdc. Además, cuenta con un diodo de bloqueo para operación en paralelo y un dispositivo para desconexión por sobretensiones en baja tensión (LVD).

El cargador incluyendo todas sus partes y piezas, ha sido instalado en un gabinete metálico autosoportado con clasificación de protección IP21. Este gabinete cuenta con una puerta frontal y una cubierta posterior removible. La conexión de cables de alimentación y salida es a través de regletas terminales ubicadas en la parte inferior del cargador para

cables de 50 mm<sup>2</sup> de sección. Asimismo, se cuenta con un terminal apropiado en la parte inferior para la conexión a tierra del armario metálico.

El cableado interno es mediante conductores flexibles y todos los componentes están debidamente identificados con etiquetas acorde con los diagramas funcionales.

Las características técnicas de los cargadores rectificadores instalados en la subestación son los siguientes:

|                                              |   |                                    |
|----------------------------------------------|---|------------------------------------|
| - Tipo                                       | : | SCR, conmutado en baja frecuencia. |
| - N° de pulsos                               | : | 6 pulsos                           |
| - Tensión de entrada                         | : | 380 Vac (-15%+10%)                 |
| - Número de fases                            | : | 3F+N                               |
| - Transformador                              | : | Si                                 |
| - Corriente máxima de entrada por fase       | : | 34,2 A                             |
| - Potencia nominal de entrada                | : | 17,2 kVA                           |
| - Factor de potencia                         | : | 0,85                               |
| - Tensión nominal de salida                  | : | 110 Vdc                            |
| - Tensión de salida en flotación             | : | 121,5 Vdc                          |
| - Rango de ajuste de la tensión de salida    | : | (80% - 115%) Vn                    |
| - Tensión de salida en ecualización          | : | 126,9 Vdc                          |
| - Rango de ajuste de tensión de ecualización | : | (80% - 125%) Vn                    |
| - Corriente de salida CC                     | : | 120 A                              |
| - Regulación estática de carga               | : | <1,0%                              |
| - Rizado                                     | : | <1,5%                              |
| - Rendimiento del rectificador               | : | 91%                                |

## **Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados**

Para realizar un adecuado cálculo y selección del equipamiento de los servicios auxiliares de una subestación de potencia, se deben definir previamente los conceptos básicos y los criterios a considerar en el diseño de los equipos que conforman los sistemas de corriente alterna y corriente continua. Por este motivo, es importante abordar los conceptos de confiabilidad, flexibilidad, demanda, niveles de tensión, configuración y dimensionamiento de los componentes principales del sistema; ya que un buen diseño está directamente relacionado con los requisitos que deben ser cumplidos por los equipos y sistemas que constituyen los servicios auxiliares. A partir de estos fundamentos teóricos junto con los criterios de diseño establecidos por la normativa aplicable, se realizaron los cálculos necesarios con la finalidad de obtener como resultado la selección del equipamiento adecuado para asegurar un suministro confiable de energía eléctrica y garantizar la operación segura de la subestación Portillo 60 kV, tanto en condiciones normales como en condiciones de emergencia.

Existen diversos tipos de filosofías y configuraciones para las fuentes de alimentación de los servicios auxiliares de las subestaciones eléctricas. Para los sistemas de corriente alterna se han descrito diferentes configuraciones que incluyen sistemas con suministro desde una red eléctrica externa, suministro desde el terciario de un transformador de potencia y sistemas de respaldo con generadores diésel.

En cuanto a los sistemas de corriente continua, se presentan diferentes configuraciones usando bancos de baterías y cargadores rectificadores. Cada configuración tiene sus propias ventajas y desventajas, así como consideraciones técnicas que deben ser evaluadas tales como la disponibilidad de la red eléctrica, calidad de suministro, confiabilidad del sistema, capacidad de almacenamiento de energía, costos operativos y el mantenimiento requerido. Portillo es una subestación de maniobra (no cuenta con transformador de potencia), ubicada geográficamente dentro de una zona urbana y cuya operación es del tipo desatendida. Por ello, para la configuración de los

servicios auxiliares de corriente alterna se eligió una fuente principal a partir de una red externa en 22.9 kV con un sistema de respaldo mediante un grupo electrógeno diésel para alimentar las cargas esenciales; mientras que, para la configuración en corriente continua, se implementó dos bancos de baterías y dos cargadores rectificadores redundantes que garantizan la más alta confiabilidad para el sistema.

Los esquemas de configuración para el suministro eléctrico de los servicios auxiliares de una subestación no se encuentran normalizados. Esto es, no hay una norma específica (ANSI/IEEE o IEC) que indique cuál es la configuración que se debe adoptar para los servicios auxiliares de una subestación de acuerdo con su nivel de tensión o esquema de configuración de barras. Por ende, su planificación se determina, de acuerdo con el criterio del diseñador del sistema, como resultado de las consideraciones específicas de cada proyecto según el tamaño de la subestación, capacidad instalada, importancia de la subestación en el sistema eléctrico y el grado de confiabilidad requerido. Sin embargo, para el sistema eléctrico peruano, el Procedimiento Técnico N° 20 del COES proporciona criterios técnicos para el diseño y cálculo de los servicios auxiliares de las subestaciones de alta tensión; de tal manera que se pueda garantizar la continuidad del suministro eléctrico y la operación segura del SEIN.

Este procedimiento aplica para todos los sistemas de transmisión en alta tensión cuyas instalaciones eléctricas se extienden hasta el punto de conexión con los usuarios finales y/o las empresas de distribución; debido a que la subestación Portillo es en alta tensión (60 kV) y está tipificada dentro del Sistema de Transmisión Local (STL) del SEIN, el diseño de los servicios auxiliares ha sido realizado siguiendo los criterios establecidos en el Procedimiento N° 20 del COES.

Uno de los aspectos críticos en la selección de la configuración óptima de los servicios auxiliares de una subestación eléctrica es el análisis detallado de la carga y la demanda de todos los equipos conectados al sistema. Esto implica evaluar los requisitos de consumo eléctrico de cada equipo auxiliar, considerando sus características de carga, tiempos de funcionamiento y factores de simultaneidad. Asimismo, como parte del diseño

de los servicios auxiliares, se debe considerar que, en la mayoría de casos, las subestaciones requieren sistemas de climatización (aire acondicionado) y protección contra incendios para los edificios de control, así como para transformadores de gran poder, además de cálculos detallados del sistema de iluminación interior y exterior.

Todos estos sistemas, generalmente, involucran diferentes áreas de conocimiento, por lo que el ingeniero responsable del diseño de los servicios auxiliares debe coordinar, adecuadamente, con los especialistas de cada área involucrada. De tal manera que el cálculo de la demanda de la subestación sea el correcto y se puedan dimensionar, adecuadamente, las fuentes de alimentación del sistema. Un diseño óptimo del sistema de servicios auxiliares para una subestación no solo requiere la selección correcta del equipamiento de las fuentes de alimentación de corriente continua y de corriente alterna, sino también consiste en la distribución adecuada de las cargas en tableros de cargas esenciales y no esenciales, la selección óptima de los cables de alimentación asociados a cada circuito, así como el dimensionamiento de los interruptores automáticos para asegurar la protección de los servicios auxiliares en caso de fallas o eventos anormales.

Para el diseño de los servicios auxiliares de corriente alterna, es factible utilizar *software* de diseño desarrollados, generalmente, por los principales fabricantes de equipamientos en baja tensión u otros *software* de diseño de uso comercial existentes en el mercado, mediante el cual se puede obtener una solución precisa y eficiente en el dimensionamiento del equipamiento y los cables de alimentación de los circuitos de corriente alterna. Mediante un *software* de computadora e ingresando los parámetros de diseño de corriente alterna, se pueden obtener cálculos detallados de flujo de potencia y cortocircuito, selección de dispositivos de protección (interruptores automáticos y fusibles), selección óptima de la sección y tipo de cable para cada alimentador principal y derivado de los tableros de corriente alterna, teniendo en cuenta la carga estimada y las longitudes de cada circuito.

Uno de los mayores beneficios que ofrece el uso de este tipo de *software*, principalmente los desarrollados por fabricantes de equipamiento de BT, es que se puede

realizar de forma más rápida y confiable el análisis de selectividad de protecciones; ya que cuenta con librerías completas de equipos (interruptores, cables, motores, transformadores, etc.) y sus respectivas curvas características de protección, lo que permite realizar un análisis gráfico de la selectividad de protecciones, incluyendo los parámetros de ajuste de protección de los cada uno de los interruptores termomagnéticos del sistema.

Para el cálculo de los servicios auxiliares de corriente alterna de la subestación Portillo 60 kV se utilizó un *software* de diseño por computadora, debido a que uno de los requisitos del proyecto era determinar la selectividad de protecciones de BT para asegurar un dimensionamiento adecuado y una protección confiable del sistema, que optimice el rendimiento y la seguridad de la subestación.

A partir de las memorias de cálculo de servicios auxiliares, se determinan las características principales que deben tener cada uno de los equipos que forman parte de los sistemas de corriente alterna y corriente continua. Con el resultado de estos cálculos, se elaboran los pliegos de especificaciones técnicas detalladas para cada uno de los elementos que forman parte del sistema de servicios auxiliares, donde los aspectos más importantes que se deben indicar son la norma o estándar (ANSI/IEEE o IEC) bajo la cual serán diseñados y fabricados las condiciones climáticas de operación, la altitud sobre el nivel del mar y la clasificación sísmica de la instalación eléctrica; debido a que todos estos factores influyen en la selección de los equipos y en la determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento que debe garantizar cada fabricante.

Para el caso de la subestación Portillo 60 kV se generaron las especificaciones técnicas de suministro del equipamiento principal (tableros de servicios auxiliares AC y DC, transformador, grupo electrógeno, banco de baterías y cargador rectificador), que considera las características de diseño que se obtuvieron a partir de las memorias de cálculo y las características ambientales que se tomaron del documento de Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto. La elaboración correcta de los pliegos de especificaciones

técnicas del proyecto proporciona una base sólida para la adquisición y posterior instalación de los equipos, garantizando la disponibilidad y confiabilidad de la subestación.

## Conclusiones

Se realizó el correcto diseño, dimensionamiento y selección de equipos de servicios auxiliares AC y DC para una subestación eléctrica de alta tensión, que considera una adecuada evaluación de las cargas, tanto en corriente continua como en corriente alterna, asegura la capacidad para alimentar las cargas auxiliares en todas las condiciones de operación. Se tomó como caso práctico de aplicación la subestación Portillo 60 kV, que se puso en servicio en 2023 en la zona este de Lima.

La adecuada definición de los conceptos básicos y los criterios de diseño de acuerdo con recomendaciones establecidas en normativa, nacional e internacional, brindan una base sólida y clara para el dimensionamiento y selección de los servicios auxiliares de una subestación eléctrica. La aplicación correcta de estos conceptos y criterios es indispensable para garantizar un funcionamiento eficiente, confiable y seguro de una subestación eléctrica.

Los diferentes tipos de filosofías y configuraciones de fuentes de alimentación de los servicios auxiliares permiten asegurar el suministro eléctrico a los equipos de corriente alterna y corriente continua.

El cumplimiento de los requisitos técnicos mínimos establecidos por el COES, en el Procedimiento Técnico N°20, para el dimensionamiento de los servicios auxiliares es esencial para garantizar una operación eficiente y segura de las subestaciones de alta tensión, y por consiguiente del SEIN en su conjunto.

Para determinar la configuración óptima de los servicios auxiliares de una subestación eléctrica, es importante realizar un análisis detallado de la carga, especificar la topología de la distribución, los criterios de redundancia y la confiabilidad requerida para el sistema. La evaluación en conjunto de estos criterios permite diseñar un sistema robusto y eficiente que garantiza la continuidad del suministro eléctrico a los equipos auxiliares de la subestación.

El uso de softwares, desarrollados por los fabricantes de equipos en baja tensión, como herramientas complementarias de diseño, da como resultados cálculos más exactos, que evitan el sobredimensionamiento del equipamiento y de los cables de alimentación para los servicios auxiliares de corriente alterna.

La elaboración de las especificaciones técnicas son fundamentales para el proceso de adquisición y suministro de los equipos de servicios auxiliares, además de facilitar una adecuada comparación entre diferentes proveedores de equipos, que permite realizar una evaluación objetiva y seleccionar aquellos que mejor se ajusten a los requisitos establecidos para los sistemas de servicios auxiliares de una subestación.

El diseño de los servicios auxiliares debe ser flexible para adaptarse a futuras expansiones o modificaciones de una subestación eléctrica. El dimensionamiento del sistema debe considerar la capacidad de ampliación y modificación de los equipos, de tal manera que el diseño sea escalable y se pueda adaptar a futuras necesidades.

El diseñador del sistema debe seleccionar la configuración más adecuada para los servicios auxiliares de la subestación, tener en cuenta los criterios de flexibilidad, seguridad y confiabilidad establecidos de forma particular para cada proyecto.

Una ventaja importante del uso de *software* para el diseño de los servicios auxiliares en corriente alterna es que se puede realizar un análisis detallado de la selectividad de protecciones del sistema; ya que cuenta con librerías completas de curvas de características de protección para diferentes equipos en baja tensión. Sin embargo, todos los resultados específicos obtenidos mediante *software* deben ser validados y verificados por profesionales calificados en el campo de la ingeniería eléctrica, siguiendo las normativas y regulaciones vigentes aplicables.

Con el desarrollo del presente informe se pretende mostrar un procedimiento detallado y estructurado para el diseño de los servicios auxiliares de una subestación, basado en la verificación del cumplimiento de normas y estándares aplicables; de tal forma que pueda servir como herramienta de consulta para futuros profesionales del campo eléctrico que abordan este tipo de proyectos en subestaciones eléctricas.

## Referencias bibliográficas

- Aguirre, O. y Bejarano, J. (1991). *Servicios auxiliares de corriente continua para la subestación a escala* [Tesis de titulación, Corporación Universitaria Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/38197818-4200-46e4-b79b-cf663ea72666/content>
- Cadena, J. (1978). *Requerimientos de servicios auxiliares de una Subestación* [Tesis de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5838>
- Calderón, E., Casas, W., López, J., Quiroga, D. (2017). *Subestación Urán. Servicios Auxiliares*. Universidad Industrial de Santander. <https://es.scribd.com/document/381018895/Informe-Servicios-Auxiliares>
- Caterpillar. (2005). *Dimensionamiento de los motores y generadores en aplicación de energía eléctrica. Guía de instalación*. Caterpillar. <https://es.slideshare.net/slideshow/dimensionamiento-de-los-motores-y-generadores-en-aplicaciones-de-energa-elctrica-gua-de-aplicacin-e-instalacin-caterpillar/24321950>
- Correa, G. (2021). *Actualización de herramienta para procesamiento de información y cálculo de servicios auxiliares en corriente alterna* [Trabajo de licenciatura, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18530/10/CorreaGeraldine\\_2021\\_ActualizacionServiciosAuxiliares.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18530/10/CorreaGeraldine_2021_ActualizacionServiciosAuxiliares.pdf)
- García, A. (2010). *Análisis y diseño de un rectificador trifásico elevador PWM* [Trabajo de licenciatura, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://core.ac.uk/download/30043322.pdf>
- González, C. (2015). *Análisis técnico de los diferentes tipos de batería comercialmente disponibles para su integración en el proyecto de una microrred aislada* [Tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

<http://hdl.handle.net/11349/3663>

Gutiérrez, J. (2021). *Estudio de demanda de alimentación de servicios auxiliares de la SET Yarabamba* [Trabajo de licenciatura, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa].

Repositorio UNSA. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13487>

Huamaní, J. (2013). *Dimensionamiento de un grupo electrógeno de emergencia para una subestación de potencia* [Trabajo de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].

Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/8566>

LQA. (2021). *Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del Proyecto “Nueva Subestación Portillo y Enlaces Asociados”*.

[https://elperuano.pe/GespoBoletinFiles/2021/06/16/1963330\\_1.pdf](https://elperuano.pe/GespoBoletinFiles/2021/06/16/1963330_1.pdf)

Mejía Villegas (2003). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*. Mejía Villegas S.A.

<https://es.scribd.com/document/431569457/Mejia-Villegas-Subestaciones-de-Alta-y-Extra-Alta-Tension-PDF-FULL-pdf>

Mera, R. (1994). *Selección de fuentes de alimentación para los servicios auxiliares en Centrales de Generación y Subestaciones* [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional].

Repositorio digital EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5932>

Mercado, R. (2017). *Diseño de una fuente de alimentación segura para los sistemas de protección y mando de las estaciones y subestaciones del Sistema Centro de La Ande*

[Tesis de grado, Universidad Nacional de Caaguazu].

[http://www.fctunca.edu.py/application/files/1415/0526/3729/Anteproyecto\\_2017-](http://www.fctunca.edu.py/application/files/1415/0526/3729/Anteproyecto_2017-ROBERTO_MERCADO_GIMENEZ...pdf)

[ROBERTO\\_MERCADO\\_GIMENEZ...pdf](http://www.fctunca.edu.py/application/files/1415/0526/3729/Anteproyecto_2017-ROBERTO_MERCADO_GIMENEZ...pdf)

Montes, E., y Pineda, Ó. (2019). *Subestación de Servicios Auxiliares* [Tesis de Grado, Instituto Politécnico Nacional].

Pastor, F. (2017). *Simulación y diseño de un puente rectificador para su utilización como cargador de baterías* [Trabajo de Grado, Universidad de Valladolid].

<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/25365>

- Pfeil, R. (1994). *Diseño de Servicios Auxiliares*. CIER.  
<https://es.scribd.com/document/137445124/Libro-Diseno-de-Servicios-Auxiliares-Rodolfo-Pfeil>
- Pinto, G. y Celleri, K. (2015). *Módulo didáctico para rectificación trifásica, controlado y monitoreado con el software Labview* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10416>
- Raúll, J. (1990). *Diseño de Subestaciones Eléctricas*. MCGRAW-HILL.  
<https://es.scribd.com/document/413807828/Diseno-de-Subestaciones-Elctricas-Raul-Martin-2ed>
- Suárez, S. (2022). *Diseño de servicios auxiliares en subestaciones eléctricas de alta tensión* [Trabajo de licenciatura, Universidad de Antioquia].  
<https://hdl.handle.net/10495/31806>

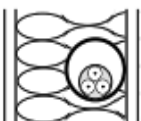
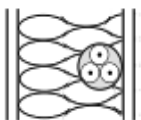
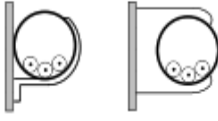
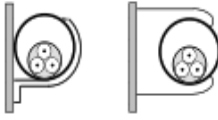
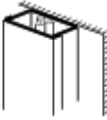
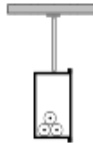
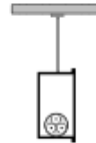
## **Anexos**

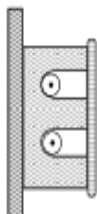
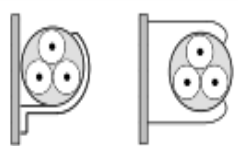
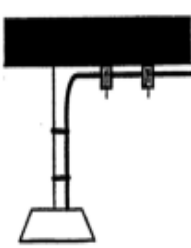
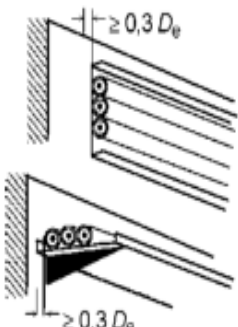
|         |                                                                      |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1 | Tablas de corrientes admisibles para conductores eléctricos.....     | 1  |
| Anexo 2 | Diagramas unifilares de servicios auxiliares del proyecto .....      | 12 |
| Anexo 3 | Cálculo de la demanda de servicios auxiliares AC.....                | 16 |
| Anexo 4 | Cálculo de la demanda de servicios auxiliares DC .....               | 24 |
| Anexo 5 | Memoria de cálculo de capacidad del banco de baterías.....           | 35 |
| Anexo 6 | Memoria de cálculo de conductores AC y DC.....                       | 44 |
| Anexo 7 | Memoria de cálculo de selección de interruptores AC y DC.....        | 55 |
| Anexo 8 | Cálculo de servicios auxiliares AC mediante software de diseño ..... | 62 |

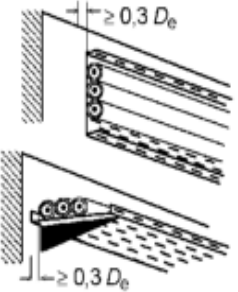
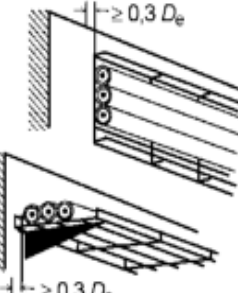
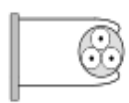
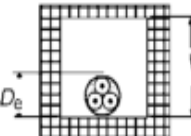
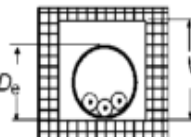
## Anexo 1

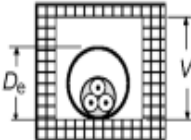
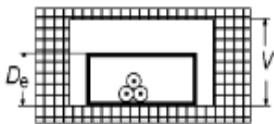
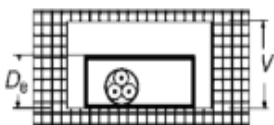
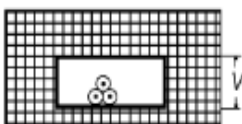
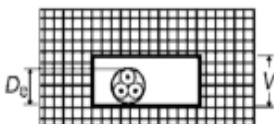
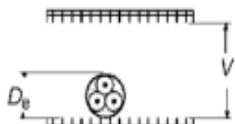
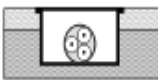
### Tablas de corrientes admisibles para conductores eléctricos

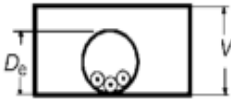
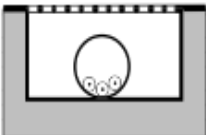
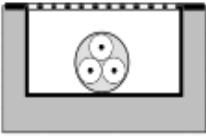
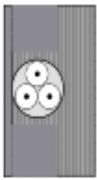
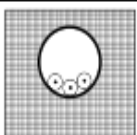
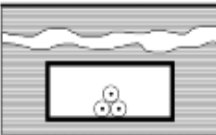
**Tabla A.52.3 – Ejemplos de métodos de instalación proporcionando las indicaciones para determinar las corrientes admisibles**

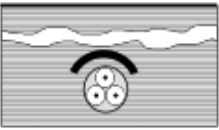
| Elemento n° | Métodos de instalación                                                                   | Descripción                                                                                                                                                                                                                        | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           |  local  | Conductores aislados o cables unipolares en tubo en el interior de una pared térmicamente aislante <sup>a, c</sup>                                                                                                                 | A1                                                                                                         |
| 2           |  local  | Cables multipolares en tubo en el interior de una pared térmicamente aislante <sup>a, c</sup>                                                                                                                                      | A2                                                                                                         |
| 3           |  local | Cable multipolar en el interior de una pared térmicamente aislante <sup>a, c</sup>                                                                                                                                                 | A1                                                                                                         |
| 4           |       | Conductores aislados o cables unipolares en tubo sobre pared de madera o de mampostería, o separado de ella a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo <sup>c</sup>                                                 | B1                                                                                                         |
| 5           |       | Cable multipolar en un tubo sobre pared de madera o de mampostería, o separado de ella a una distancia inferior a 0,3 veces el diámetro del tubo <sup>c</sup>                                                                      | B2                                                                                                         |
| 6           |       | Conductores aislados o cables unipolares en canales (incluyendo canales de múltiples compartimentos) sobre una pared de madera o mampostería:<br>– en recorrido horizontal <sup>b</sup><br>– en recorrido vertical <sup>b, c</sup> | B1                                                                                                         |
| 7           |       |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                            |
| 8           |       | Cable multipolar en canales (incluyendo canales de múltiples compartimentos) sobre una pared de madera o mampostería:<br>– en recorrido horizontal <sup>b</sup><br>– en recorrido vertical <sup>b, c</sup>                         | En estudio <sup>d</sup><br>(El método B2 puede utilizarse)                                                 |
| 9           |       |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                            |
| 10          |       | Conductores aislados o cables unipolares en canales suspendidos <sup>b</sup>                                                                                                                                                       | B1                                                                                                         |
| 11          |       | Cable multipolar en canales suspendidos <sup>b</sup>                                                                                                                                                                               | B2                                                                                                         |

| Elemento n° | Métodos de instalación                                                              | Descripción                                                                                                                                                          | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12          |    | Conductores aislados o cables unipolares en molduras <sup>c, e</sup>                                                                                                 | A1                                                                                                         |
| 15          |    | Conductores aislados en tubo o cables unipolares o multipolares en arquitrabe <sup>c, f</sup>                                                                        | A1                                                                                                         |
| 16          |    | Conductores aislados en tubo o cables unipolares o multipolares en marcos de ventana <sup>c, f</sup>                                                                 | A1                                                                                                         |
| 20          |   | Cables unipolares o multipolares:<br>– fijados sobre una pared de madera o mampostería o separados de la pared menos de 0,3 veces el diámetro del cable <sup>c</sup> | C                                                                                                          |
| 21          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>– fijados directamente bajo un techo de madera o mampostería                                                                    | C, con elemento 3 de la tabla B.52.17                                                                      |
| 22          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>– separados del techo                                                                                                           | En estudio.<br>El método E puede utilizarse.                                                               |
| 23          |  | Instalación fija de un receptor suspendido                                                                                                                           | C, con elemento 3 de la tabla B.52.17                                                                      |
| 30          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>Sobre bandejas no perforadas en recorrido horizontal o vertical <sup>c, h</sup>                                                 | C, con elemento 2 de la tabla B.52.17                                                                      |

| Elemento n° | Métodos de instalación                                                              | Descripción                                                                                                                                                                          | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 31          |    | Cables unipolares o multipolares:<br><br>Sobre bandejas perforadas en recorrido horizontal o vertical <sup>c, h</sup><br><br>NOTA Refiérase al apartado B.52.6.2 para su descripción | E o F                                                                                                      |
| 32          |    | Cables unipolares o multipolares:<br><br>Sobre soportes o rejillas en recorrido horizontal o vertical <sup>c, h</sup>                                                                | E o F                                                                                                      |
| 33          |  | Cables unipolares o multipolares:<br><br>Separados de la pared más de 0,3 veces el diámetro del cable                                                                                | E o F<br>o método G <sup>g</sup>                                                                           |
| 34          |  | Cables unipolares o multipolares:<br><br>Sobre bandejas de escalera <sup>c</sup>                                                                                                     | E o F                                                                                                      |
| 35          |  | Cable unipolar o multipolar suspendido o incorporando un cable fiador o amés                                                                                                         | E o F                                                                                                      |
| 36          |  | Conductores desnudos o aislados sobre aisladores                                                                                                                                     | G                                                                                                          |
| 40          |  | Cables unipolares o multipolares en un hueco de la construcción <sup>c, h, i</sup>                                                                                                   | $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$<br>B2<br>$5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B1                                            |
| 41          |  | Conductores aislados en tubo en un hueco de la construcción <sup>c, i, j, k</sup>                                                                                                    | $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1                                                   |

| Elemento n° | Métodos de instalación                                                              | Descripción                                                                                                                                                                             | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 42          |    | Cables unipolares o multipolares en tubo con un hueco de la construcción <sup>c, k</sup>                                                                                                | En estudio. Pueden usarse los siguientes:<br>$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1      |
| 43          |    | Conductores aislados en conductos cerrados de sección no circular en un hueco de la construcción <sup>c, i, j, k</sup>                                                                  | $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1                                                   |
| 44          |    | Cables unipolares o multipolares en conductos cerrados de sección no circular en un hueco de la construcción <sup>c, k</sup>                                                            | En estudio. Pueden usarse los siguientes:<br>$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1      |
| 45          |   | Conductores aislados en conducto cerrado de sección no circular empotrado en mampostería, de resistividad térmica no superior a $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ <sup>c, h, i</sup>       | $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$<br>B2<br>$5 D_e \leq V < 50 D_e$<br>B1                                            |
| 46          |  | Cables unipolares o multipolares en conducto cerrado de sección no circular empotrado en mampostería, de resistividad térmica no superior a $2 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ <sup>c</sup> | En estudio. Pueden usarse los siguientes:<br>$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1      |
| 47          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>– en hueco en el techo<br>– en suelo suspendido <sup>h, i</sup>                                                                                    | $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$<br>B2<br>$5 D_e \leq V < 50 D_e$<br>B1                                            |
| 50          |  | Conductores aislados o cable unipolar en canales empotrados en el suelo                                                                                                                 | B1                                                                                                         |
| 51          |  | Cable multipolar en canales empotrados en el suelo                                                                                                                                      | B2                                                                                                         |
| 52          |  | Conductores aislados o cable unipolar en canal empotrada <sup>c</sup>                                                                                                                   | B1                                                                                                         |
| 53          |  | Cable multipolar en canal empotrada <sup>c</sup>                                                                                                                                        | B2                                                                                                         |

| Elemento nº | Métodos de instalación                                                              | Descripción                                                                                                                                                                     | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 54          |    | Conductores aislados o cables unipolares en tubo en canal de obra no ventilada, en recorrido horizontal o vertical <sup>c, i, l, n</sup>                                        | $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$<br>B2<br>$V \geq 20 D_e$<br>B1                                                   |
| 55          |    | Conductores aislados en tubo en canal de obra abierta o ventilada en el suelo <sup>m, n</sup>                                                                                   | B1                                                                                                         |
| 56          |    | Cable unipolar o multipolar con cubierta en canal de obra abierta o ventilada en recorrido horizontal o vertical <sup>n</sup>                                                   | B1                                                                                                         |
| 57          |   | Cable unipolar o multipolar empotrado directamente en mampostería, de resistividad térmica no superior a 2 K·m/W<br><br>Sin protección mecánica complementaria <sup>o, p</sup>  | C                                                                                                          |
| 58          |  | Cable unipolar o multipolar empotrados directamente en mampostería, de resistividad térmica no superior a 2 K·m/W<br><br>Con protección mecánica complementaria <sup>o, p</sup> | C                                                                                                          |
| 59          |  | Conductores aislados o cables unipolares en tubo empotrado en mampostería <sup>p</sup>                                                                                          | B1                                                                                                         |
| 60          |  | Cable multipolar en tubos empotrado en mampostería <sup>p</sup>                                                                                                                 | B2                                                                                                         |
| 70          |  | Cable multipolar en tubo o en conducto cerrado de sección no circular en el suelo                                                                                               | D1                                                                                                         |
| 71          |  | Cable unipolar en tubo o en conducto cerrado de sección no circular en el suelo                                                                                                 | D1                                                                                                         |
| 72          |  | Cables unipolares o multipolares con cubierta en el suelo:<br>– sin protección mecánica complementaria <sup>q</sup>                                                             | D2                                                                                                         |

| Elemento n° | Métodos de instalación                                                            | Descripción                                                                                                         | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 73          |  | Cables unipolares o multipolares con cubierta en el suelo:<br>– con protección mecánica complementaria <sup>q</sup> | D2                                                                                                         |

NOTA 1 Las ilustraciones no intentan describir productos o prácticas de instalación reales, pero son indicativos del método descrito.

<sup>a</sup> La capa interior de la pared tiene una conductividad térmica no inferior a 10 W/m<sup>2</sup>·K.

<sup>b</sup> Los valores dados para los métodos B1 y B2 en el anexo B son válidos para un solo circuito. En el caso de varios circuitos en la canal se aplican los factores de reducción por agrupamiento de la tabla B.52-17, independientemente de la presencia de barreras o tabiques internos.

<sup>c</sup> Se debe tener cuidado cuando el cable discurre verticalmente y la ventilación es limitada. La temperatura ambiente en la parte superior de la sección vertical puede aumentar considerablemente. El asunto está bajo consideración.

<sup>d</sup> Se pueden usar los valores para método de referencia B2.

<sup>e</sup> La resistividad térmica de la envolvente se supone que es pobre debido al material de construcción y posibles espacios de aire. Cuando la construcción es térmicamente equivalente a los métodos de instalación 6 o 7, puede usarse el método de referencia B1.

<sup>f</sup> La resistividad térmica de la envolvente se supone que es pobre debido al material de construcción y posibles espacios de aire. Cuando la construcción es térmicamente equivalente a los métodos de instalación 6, 7, 8 o 9, pueden usarse los métodos de referencia B1 o B2.

<sup>g</sup> También se pueden usar los factores de la tabla B.52.17.

<sup>h</sup>  $D_e$  es el diámetro externo de un cable multipolar:

–  $2,2 \times$  el diámetro del cable cuando tres cables unipolares están unidos al tresbolillo; o

–  $3 \times$  el diámetro del cable cuando tres cables unipolares se tienden en disposición plana.

<sup>i</sup>  $V$  es la dimensión más pequeña o el diámetro de un conducto o hueco de mampostería, o la profundidad vertical de un conducto rectangular, un hueco de suelo o techo o una canal de obra. La profundidad de la canal de obra es más importante que la anchura.

<sup>j</sup>  $D_e$  es el diámetro exterior del tubo o la profundidad vertical del conducto cerrado de sección no circular.

<sup>l</sup>  $D_e$  es el diámetro exterior del tubo.

<sup>m</sup> Para el cable multipolar instalado en el método 55, utilícese la corriente admisible para el método de referencia B2.

<sup>n</sup> Se recomienda que estos métodos de instalación sólo se utilicen en zonas donde el acceso está restringido a personas autorizadas para que la reducción en la corriente admisible y el riesgo de incendio debido a la acumulación de residuos pueda evitarse.

<sup>o</sup> Para los cables que tienen conductores no mayores de 16 mm<sup>2</sup>, la corriente admisible puede ser mayor.

<sup>p</sup> La resistividad térmica de la mampostería no es mayor que 2 K·m/W, se toma el término "mampostería" para incluir el ladrillo, hormigón, yeso y similares (con excepción de los materiales térmicamente aislantes).

<sup>q</sup> La inclusión de los cables directamente enterrados en este punto es satisfactoria cuando la resistividad térmica del terreno es del orden de 2,5 K·m/W. Para resistividades del terreno inferiores, la corriente admisible de los cables directamente enterrados es apreciablemente mayor que para los cables en conductos.

**Tabla B.52.14 – Factores de corrección para temperaturas ambiente diferentes de 30 °C  
a aplicar a los valores de las corrientes admisibles para cables en el aire**

| Temperatura ambiente <sup>a</sup><br>°C | Aislamiento |            |                                                   |                                    |
|-----------------------------------------|-------------|------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|
|                                         | PVC         | XLPE y EPR | Mineral <sup>a</sup>                              |                                    |
|                                         |             |            | Cubierta de PVC o cable desnudo y accesible 70 °C | Cable desnudo e inaccesible 105 °C |
| 10                                      | 1,22        | 1,15       | 1,26                                              | 1,14                               |
| 15                                      | 1,17        | 1,12       | 1,20                                              | 1,11                               |
| 20                                      | 1,12        | 1,08       | 1,14                                              | 1,07                               |
| 25                                      | 1,06        | 1,04       | 1,07                                              | 1,04                               |
| 30                                      | 1,00        | 1,00       | 1,00                                              | 1,00                               |
| 35                                      | 0,94        | 0,96       | 0,93                                              | 0,96                               |
| 40                                      | 0,87        | 0,91       | 0,85                                              | 0,92                               |
| 45                                      | 0,79        | 0,87       | 0,78                                              | 0,88                               |
| 50                                      | 0,71        | 0,82       | 0,67                                              | 0,84                               |
| 55                                      | 0,61        | 0,76       | 0,57                                              | 0,80                               |
| 60                                      | 0,50        | 0,71       | 0,45                                              | 0,75                               |
| 65                                      | –           | 0,65       | –                                                 | 0,70                               |
| 70                                      | –           | 0,58       | –                                                 | 0,65                               |
| 75                                      | –           | 0,50       | –                                                 | 0,60                               |
| 80                                      | –           | 0,41       | –                                                 | 0,54                               |
| 85                                      | –           | –          | –                                                 | 0,47                               |
| 90                                      | –           | –          | –                                                 | 0,40                               |
| 95                                      | –           | –          | –                                                 | 0,32                               |

<sup>a</sup> Para temperaturas ambiente más elevadas, consultar al fabricante.

**Tabla B. 52.15 – Factores de corrección para temperaturas ambiente del terreno diferentes de 20 °C a aplicar a los valores de las corrientes admisibles para cables en conductos en el suelo**

| Temperatura del terreno<br>°C | Aislamiento |            |
|-------------------------------|-------------|------------|
|                               | PVC         | XLPE y EPR |
| 10                            | 1,10        | 1,07       |
| 15                            | 1,05        | 1,04       |
| 20                            | 1,00        | 1,00       |
| 25                            | 0,95        | 0,96       |
| 30                            | 0,89        | 0,93       |
| 35                            | 0,84        | 0,89       |
| 40                            | 0,77        | 0,85       |
| 45                            | 0,71        | 0,80       |
| 50                            | 0,63        | 0,76       |
| 55                            | 0,55        | 0,71       |
| 60                            | 0,45        | 0,65       |
| 65                            | –           | 0,60       |
| 70                            | –           | 0,53       |
| 75                            | –           | 0,46       |
| 80                            | –           | 0,38       |

**Tabla B.52.16 – Factores de corrección para cables enterrados directamente en el suelo o en conductos enterrados para terrenos de resistividad diferente de 2,5 K·m/W a aplicar a los valores de las corrientes admisibles para el método de referencia D**

| Resistividad térmica K·m/W                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,5  | 0,7  | 1    | 1,5  | 2    | 2,5 | 3    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|------|
| <b>Factor de corrección para cables en conductos enterrados</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1,28 | 1,20 | 1,18 | 1,1  | 1,05 | 1   | 0,96 |
| <b>Factor de corrección para cables enterrados directamente</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1,88 | 1,62 | 1,5  | 1,28 | 1,12 | 1   | 0,90 |
| <p>NOTA 1 Los factores de corrección dados están promediados para los rangos de dimensiones de conductores y los tipos de instalación de las tablas B.52.2 a B.52.5. La precisión global de los factores de corrección es de <math>\pm 5\%</math>.</p> <p>NOTA 2 Los factores de corrección se aplican a los cables en conductos enterrados; para cables tendidos directamente en el terreno los factores de corrección para resistividades térmicas inferiores a 2,5 K·m/W serán más elevados. Si se necesitan valores más precisos, pueden calcularse por medio de los métodos dados en la Norma IEC 60287.</p> <p>NOTA 3 Los factores de corrección se aplican a los conductos enterrados hasta una profundidad de 0,8 m.</p> <p>NOTA 4 Se asume que las propiedades del terreno son uniformes. No se ha contemplado la posibilidad de la migración de humedad que puede comportar la existencia de una región de alta resistividad térmica alrededor del cable. Si se prevé el secado parcial del terreno, la corriente admisible debería determinarse a partir de los métodos especificados en la Norma IEC 60287.</p> |      |      |      |      |      |     |      |

**Tabla C.52.1 – Corrientes admisibles en amperios – Temperatura ambiente 30 °C en el aire**

| Método de referencia de la tabla B.52.1 | Número de conductores cargados y tipo de aislamiento |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                         |                                                      | 3 PVC | 2 PVC |        | 3 XLPE | 2 XLPE |        |        |        |        |        |        |
| A1                                      |                                                      |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| A2                                      | 3 PVC                                                | 2 PVC |       | 3 XLPE | 2 XLPE |        |        |        |        |        |        |        |
| B1                                      |                                                      |       |       | 3 PVC  | 2 PVC  |        | 3 XLPE |        | 2 XLPE |        |        |        |
| B2                                      |                                                      |       | 3 PVC | 2 PVC  |        | 3 XLPE | 2 XLPE |        |        |        |        |        |
| C                                       |                                                      |       |       |        | 3 PVC  |        | 2 PVC  | 3 XLPE |        | 2 XLPE |        |        |
| E                                       |                                                      |       |       |        |        | 3 PVC  |        | 2 PVC  | 3 XLPE |        | 2 XLPE |        |
| F                                       |                                                      |       |       |        |        |        | 3 PVC  |        | 2 PVC  | 3 XLPE |        | 2 XLPE |
| 1                                       | 2                                                    | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     |
| Tamaño (mm <sup>2</sup> ) Cobre         |                                                      |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 1,5                                     | 13                                                   | 13,5  | 14,5  | 15,5   | 17     | 18,5   | 19,5   | 22     | 23     | 24     | 26     | –      |
| 2,5                                     | 17,5                                                 | 18    | 19,5  | 21     | 23     | 25     | 27     | 30     | 31     | 33     | 36     | –      |
| 4                                       | 23                                                   | 24    | 26    | 28     | 31     | 34     | 36     | 40     | 42     | 45     | 49     | –      |
| 6                                       | 29                                                   | 31    | 34    | 36     | 40     | 43     | 46     | 51     | 54     | 58     | 63     | –      |
| 10                                      | 39                                                   | 42    | 46    | 50     | 54     | 60     | 63     | 70     | 75     | 80     | 86     | –      |
| 16                                      | 52                                                   | 56    | 61    | 68     | 73     | 80     | 85     | 94     | 100    | 107    | 115    | –      |
| 25                                      | 68                                                   | 73    | 80    | 89     | 95     | 101    | 110    | 119    | 127    | 135    | 149    | 161    |
| 35                                      | –                                                    | –     | –     | 110    | 117    | 126    | 137    | 147    | 158    | 169    | 185    | 200    |
| 50                                      | –                                                    | –     | –     | 134    | 141    | 153    | 167    | 179    | 192    | 207    | 225    | 242    |
| 70                                      | –                                                    | –     | –     | 171    | 179    | 196    | 213    | 229    | 246    | 268    | 289    | 310    |
| 95                                      | –                                                    | –     | –     | 207    | 216    | 238    | 258    | 278    | 298    | 328    | 352    | 377    |
| 120                                     | –                                                    | –     | –     | 239    | 249    | 276    | 299    | 322    | 346    | 382    | 410    | 437    |
| 150                                     | –                                                    | –     | –     | –      | 285    | 318    | 344    | 371    | 395    | 441    | 473    | 504    |
| 185                                     | –                                                    | –     | –     | –      | 324    | 362    | 392    | 424    | 450    | 506    | 542    | 575    |
| 240                                     | –                                                    | –     | –     | –      | 380    | 424    | 461    | 500    | 538    | 599    | 641    | 679    |
| Aluminio                                |                                                      |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 2,5                                     | 13,5                                                 | 14    | 15    | 16,5   | 18,5   | 19,5   | 21     | 23     | 24     | 26     | 28     | –      |
| 4                                       | 17,5                                                 | 18,5  | 20    | 22     | 25     | 26     | 28     | 31     | 32     | 35     | 38     | –      |
| 6                                       | 23                                                   | 24    | 26    | 28     | 32     | 33     | 36     | 39     | 42     | 45     | 49     | –      |
| 10                                      | 31                                                   | 32    | 36    | 39     | 44     | 46     | 49     | 54     | 58     | 62     | 67     | –      |
| 16                                      | 41                                                   | 43    | 48    | 53     | 58     | 61     | 66     | 73     | 77     | 84     | 91     | –      |
| 25                                      | 53                                                   | 57    | 63    | 70     | 73     | 78     | 83     | 90     | 97     | 101    | 108    | 121    |
| 35                                      | –                                                    | –     | –     | 86     | 90     | 96     | 103    | 112    | 120    | 126    | 135    | 150    |
| 50                                      | –                                                    | –     | –     | 104    | 110    | 117    | 125    | 136    | 146    | 154    | 164    | 184    |
| 70                                      | –                                                    | –     | –     | 133    | 140    | 150    | 160    | 174    | 187    | 198    | 211    | 237    |
| 95                                      | –                                                    | –     | –     | 161    | 170    | 183    | 195    | 211    | 227    | 241    | 257    | 289    |
| 120                                     | –                                                    | –     | –     | 186    | 197    | 212    | 226    | 245    | 263    | 280    | 300    | 337    |
| 150                                     | –                                                    | –     | –     | –      | 226    | 245    | 261    | 283    | 304    | 324    | 346    | 389    |
| 185                                     | –                                                    | –     | –     | –      | 256    | 280    | 298    | 323    | 347    | 371    | 397    | 447    |
| 240                                     | –                                                    | –     | –     | –      | 300    | 330    | 352    | 382    | 409    | 439    | 470    | 530    |

NOTA Se debería consultar la tabla apropiada de corrientes admisibles dadas en el anexo B con el fin de determinar el rango de tamaños de los conductores para los cuales son aplicables las corrientes admisibles anteriores para cada método de instalación.

**Tabla C.52.1 bis – Corrientes admisibles en amperios – Temperatura ambiente 40 °C en el aire**

| Método de referencia de la tabla B.52.1 | Número de conductores cargados y tipo de aislamiento |      |      |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |        |        |        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|------|------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|--------|--------|--------|
|                                         | A1                                                   | PVC3 | PVC2 |      |        |      | XLPE 3 |      | XLPE 2 |      |        |      |        |      |        |        |        |        |
| A2                                      | PVC3                                                 | PVC2 |      |      | XLPE 3 |      | XLPE 2 |      |        |      |        |      |        |      |        |        |        |        |
| B1                                      |                                                      |      |      | PVC3 |        | PVC2 |        |      |        |      | XLPE 3 |      |        |      | XLPE 2 |        |        |        |
| B2                                      |                                                      |      | PVC3 | PVC2 |        |      |        |      | XLPE 3 |      | XLPE 2 |      |        |      |        |        |        |        |
| C                                       |                                                      |      |      |      |        | PVC3 |        |      |        | PVC2 |        |      | XLPE 3 |      |        | XLPE 2 |        |        |
| E                                       |                                                      |      |      |      |        |      |        | PVC3 |        |      |        | PVC2 |        |      | XLPE 3 |        | XLPE 2 |        |
| F                                       |                                                      |      |      |      |        |      |        |      |        | PVC3 |        |      |        | PVC2 |        | XLPE 3 |        | XLPE 2 |
| 1                                       | 2                                                    | 3    | 4    | 5a   | 5b     | 6a   | 6b     | 7a   | 7b     | 8a   | 8b     | 9a   | 9b     | 10a  | 10b    | 11     | 12     | 13     |
| Sección mm <sup>2</sup> Cobre           |                                                      |      |      |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |        |        |        |
| 1,5                                     | 11                                                   | 11,5 | 12,5 | 13,5 | 14     | 14,5 | 15,5   | 16   | 16,5   | 17   | 17,5   | 19   | 20     | 20   | 20     | 21     | 23     | –      |
| 2,5                                     | 15                                                   | 15,5 | 17   | 18   | 19     | 20   | 20     | 21   | 22     | 23   | 24     | 26   | 27     | 26   | 28     | 30     | 32     | –      |
| 4                                       | 20                                                   | 20   | 22   | 24   | 25     | 26   | 28     | 29   | 30     | 31   | 32     | 34   | 36     | 36   | 38     | 40     | 44     | –      |
| 6                                       | 25                                                   | 26   | 29   | 31   | 32     | 34   | 36     | 37   | 39     | 40   | 41     | 44   | 46     | 46   | 49     | 52     | 57     | –      |
| 10                                      | 33                                                   | 36   | 40   | 43   | 45     | 46   | 49     | 52   | 54     | 54   | 57     | 60   | 63     | 65   | 68     | 72     | 78     | –      |
| 16                                      | 45                                                   | 48   | 53   | 59   | 61     | 63   | 66     | 69   | 72     | 73   | 77     | 81   | 85     | 87   | 91     | 97     | 104    | –      |
| 25                                      | 59                                                   | 63   | 69   | 77   | 80     | 82   | 86     | 87   | 91     | 95   | 100    | 103  | 108    | 110  | 115    | 122    | 135    | 146    |
| 35                                      | –                                                    | –    | –    | 95   | 100    | 101  | 106    | 109  | 114    | 119  | 124    | 127  | 133    | 137  | 143    | 153    | 168    | 182    |
| 50                                      | –                                                    | –    | –    | 116  | 121    | 122  | 128    | 133  | 139    | 145  | 151    | 155  | 162    | 167  | 174    | 188    | 204    | 220    |
| 70                                      | –                                                    | –    | –    | 148  | 155    | 155  | 162    | 170  | 178    | 185  | 193    | 199  | 208    | 214  | 223    | 243    | 262    | 282    |
| 95                                      | –                                                    | –    | –    | 180  | 188    | 187  | 196    | 207  | 216    | 224  | 234    | 241  | 252    | 259  | 271    | 298    | 320    | 343    |
| 120                                     | –                                                    | –    | –    | 207  | 217    | 216  | 226    | 240  | 251    | 260  | 272    | 280  | 293    | 301  | 314    | 350    | 373    | 397    |
| 150                                     | –                                                    | –    | –    | –    | –      | 247  | 259    | 276  | 289    | 299  | 313    | 322  | 337    | 343  | 359    | 401    | 430    | 458    |
| 185                                     | –                                                    | –    | –    | –    | –      | 281  | 294    | 314  | 329    | 341  | 356    | 368  | 385    | 391  | 409    | 460    | 493    | 523    |
| 240                                     | –                                                    | –    | –    | –    | –      | 330  | 345    | 368  | 385    | 401  | 419    | 435  | 455    | 468  | 489    | 545    | 583    | 617    |
| Aluminio                                |                                                      |      |      |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |        |        |        |
| 2,5                                     | 11,5                                                 | 12   | 13   | 14   | 15     | 16   | 16,5   | 17   | 17,5   | 18   | 19     | 20   | 20     | 20   | 21     | 23     | 25     | –      |
| 4                                       | 15                                                   | 16   | 17   | 19   | 20     | 21   | 22     | 22   | 23     | 24   | 25     | 26   | 28     | 27   | 29     | 31     | 34     | –      |
| 6                                       | 20                                                   | 20   | 22   | 24   | 25     | 27   | 29     | 28   | 30     | 31   | 32     | 33   | 35     | 36   | 38     | 40     | 44     | –      |
| 10                                      | 26                                                   | 27   | 31   | 33   | 35     | 38   | 40     | 40   | 41     | 42   | 44     | 46   | 49     | 50   | 52     | 56     | 60     | –      |
| 16                                      | 35                                                   | 37   | 41   | 46   | 48     | 50   | 52     | 53   | 55     | 57   | 60     | 63   | 66     | 66   | 70     | 76     | 82     | –      |
| 25                                      | 46                                                   | 49   | 54   | 60   | 63     | 63   | 66     | 67   | 70     | 72   | 75     | 78   | 81     | 84   | 88     | 91     | 98     | 110    |
| 35                                      | –                                                    | –    | –    | 74   | 78     | 78   | 81     | 83   | 87     | 89   | 93     | 97   | 101    | 104  | 109    | 114    | 122    | 136    |
| 50                                      | –                                                    | –    | –    | 90   | 94     | 95   | 100    | 101  | 106    | 108  | 113    | 118  | 123    | 127  | 132    | 140    | 149    | 167    |
| 70                                      | –                                                    | –    | –    | 115  | 121    | 121  | 127    | 130  | 136    | 139  | 145    | 151  | 158    | 162  | 170    | 180    | 192    | 215    |
| 95                                      | –                                                    | –    | –    | 140  | 146    | 147  | 154    | 159  | 166    | 169  | 177    | 183  | 192    | 197  | 206    | 219    | 233    | 262    |
| 120                                     | –                                                    | –    | –    | 161  | 169    | 171  | 179    | 184  | 192    | 196  | 205    | 213  | 222    | 228  | 239    | 254    | 273    | 306    |
| 150                                     | –                                                    | –    | –    | –    | –      | 196  | 205    | 213  | 222    | 227  | 237    | 246  | 257    | 264  | 276    | 294    | 314    | 353    |
| 185                                     | –                                                    | –    | –    | –    | –      | 222  | 232    | 243  | 254    | 259  | 271    | 281  | 293    | 301  | 315    | 337    | 361    | 406    |
| 240                                     | –                                                    | –    | –    | –    | –      | 261  | 273    | 287  | 300    | 306  | 320    | 332  | 347    | 355  | 372    | 399    | 427    | 482    |

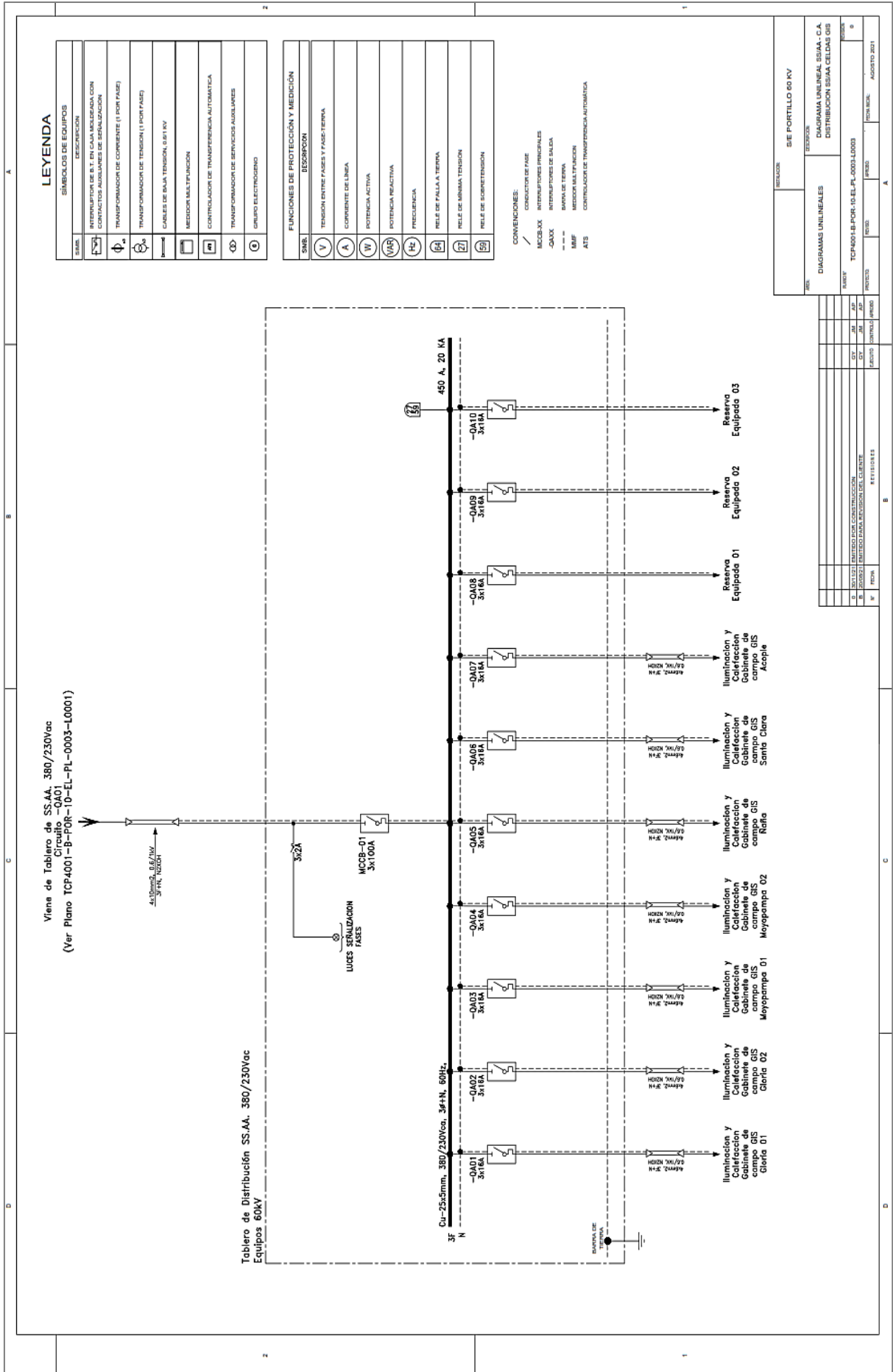
**Tabla C.52.3 – Factores de reducción para grupos de varios circuitos o de varios cables multipolares  
(a utilizar con los valores de corrientes admisibles de la tabla C.52.1)**

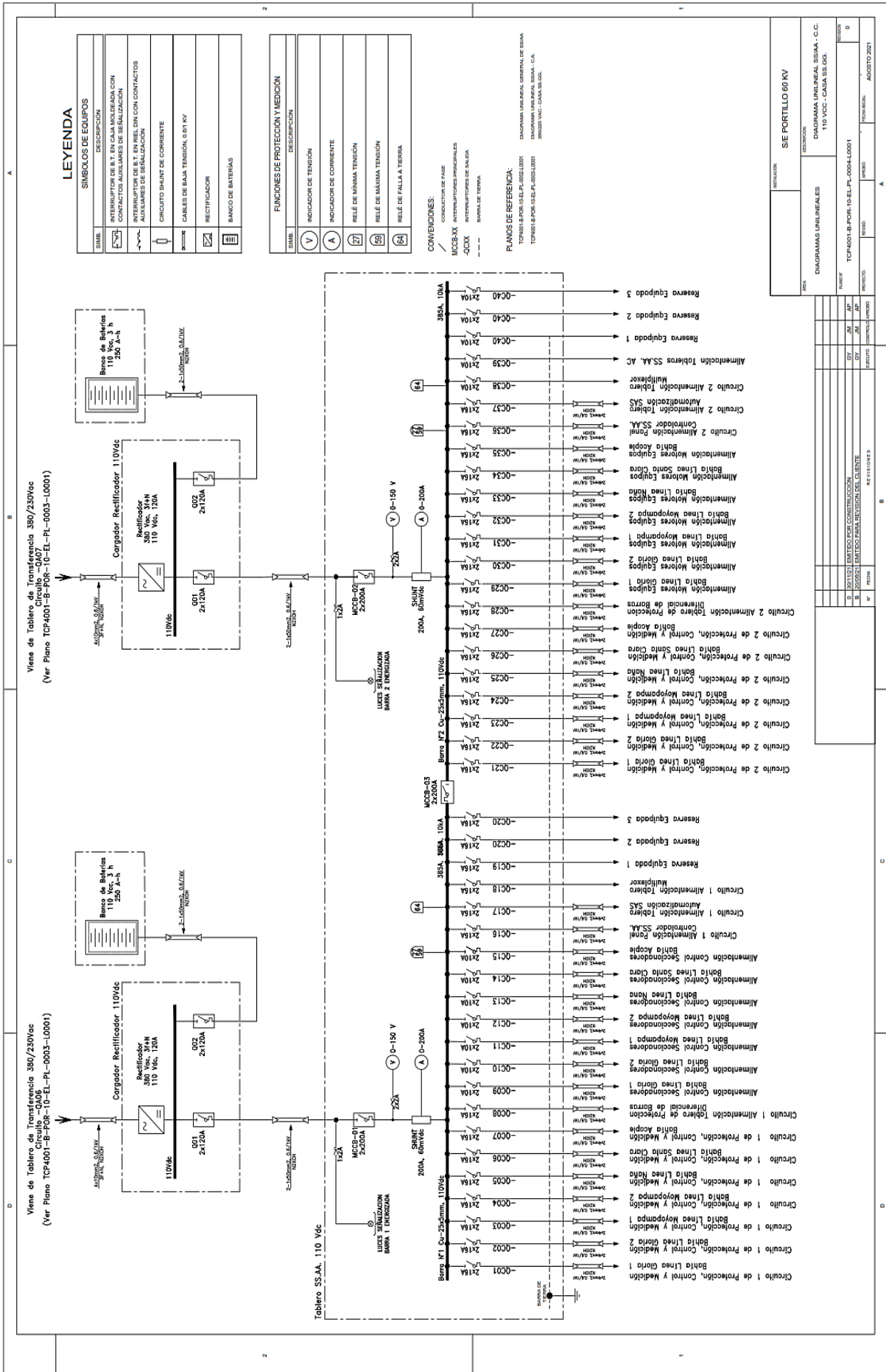
| Punto | Disposición                                                                            | Número de circuitos o de cables multipolares |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |                                                                                        | 1                                            | 2    | 3    | 4    | 6    | 9    | 12   | 16   | 20   |
| 1     | Agrupados en el aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente | 1,00                                         | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,40 |
| 2     | Capa única sobre muros, suelos o bandejas no perforadas                                | 1,00                                         | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | –    | –    | –    |
| 3     | Capa única fijada directamente al techo                                                | 0,95                                         | 0,80 | 0,70 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | –    | –    | –    |
| 4     | Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales                         | 1,00                                         | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | –    | –    | –    |
| 5     | Capa única sobre bandeja de escalera, soportes o bridas de amarre, etc.                | 1,00                                         | 0,85 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | –    | –    | –    |

*Diagramas unifilares de servicios auxiliares del proyecto*









### Anexo 3

#### Cálculo de la demanda de servicios auxiliares AC

#### Cálculo de Demanda – Tablero General de SS.AA. 380/230 Vac

Circuito QG01: Tablero de Distribución 380Vac – Gabinetes de campo GIS

| Descripción                                            | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |                | Máxima Demanda Total (W) |
|--------------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                                                        |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C         |                          |
| Tablero de Distribución 380 Vac Gabinetes de Campo GIS | 1             | 28 060                 | 0,75                       | 7 015                       | 7 015          | 7 015          | 21 045                   |
| Reserva (20%)                                          | 20%           | 5 612                  | 0,75                       | 1 403                       | 1 403          | 1 403          | 4 209                    |
| Pérdidas (2%)                                          | 2%            | 561,2                  | 0,75                       | 140,3                       | 140,3          | 140,3          | 420,9                    |
| <b>Total,</b>                                          |               | <b>34 233,2</b>        |                            | <b>8 558,3</b>              | <b>8 558,3</b> | <b>8 558,3</b> | <b>25 674,9</b>          |

Circuito QG02: Tablero de Distribución Sala de Control (TD1)

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |                | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C         |                          |
| Tablero de Distribución Sala de Control (TD1) | 1             | 33 401                 | 0,51                       | 5 678                       | 5 678          | 5 678          | 17 034                   |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 6 680,2                | 0,51                       | 1 135,6                     | 1 135,6        | 1 135,6        | 3 406,8                  |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 668                    | 0,51                       | 113,6                       | 113,6          | 113,6          | 340,7                    |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>40 749,2</b>        |                            | <b>6 927,2</b>              | <b>6 927,2</b> | <b>6 927,2</b> | <b>20 781,5</b>          |

Circuito QG03: Servicios Auxiliares Grupo Electrónico

| Descripción                            | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |          |          | Máxima Demanda Total (W) |
|----------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|----------|--------------------------|
|                                        |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B   | Fase C   |                          |
| Servicios Auxiliares Grupo Electrónico | 1             | 1 840                  | 0,75                       | 1 380                       | -        | -        | 1 380                    |
| Reserva (20%)                          | 20%           | 368                    | 0,75                       | 276                         | -        | -        | 276                      |
| Pérdidas (2%)                          | 2%            | 36,8                   | 0,75                       | 27,6                        | -        | -        | 27,6                     |
| <b>Total,</b>                          |               | <b>2 244,8</b>         |                            | <b>1 683,6</b>              | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>1 683,6</b>           |

Circuito QG04: Puente Grúa

| Descripción   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |                | Máxima Demanda Total (W) |
|---------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C         |                          |
| Puente Grúa   | 1             | 4 920                  | 1,00                       | 1 640                       | 1 640          | 1 640          | 4 920                    |
| Reserva (20%) | 20%           | 984                    | 1,00                       | 328                         | 328            | 328            | 984                      |
| Pérdidas (2%) | 2%            | 98,4                   | 1,00                       | 32,8                        | 32,8           | 32,8           | 98,4                     |
| <b>Total,</b> |               | <b>6 002,4</b>         |                            | <b>2 000,8</b>              | <b>2 000,8</b> | <b>2 000,8</b> | <b>6 002,4</b>           |

Circuito QG05: Calefacción e Iluminación Gabinetes de Protección y Control

| Descripción                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |        | Máxima Demanda Total (W) |
|-------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------|--------------------------|
|                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C |                          |
| C&P Bahía Gloria 01           | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| C&P Bahía Gloria 02           | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| C&P Bahía Moyopampa 01        | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| C&P Bahía Moyopampa 02        | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| C&P Bahía Ñaña                | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| C&P Bahía Santa Clara         | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| C&P Bahía Acoplamiento        | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| Gabinete de Control de SS.AA. | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| Gabinete de Protección 87B    | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | 543            | -      | 543                      |
| Reserva (20%)                 | 20%           | 1 303,2                | 0,75                       | -                           | 977,4          | -      | 977,4                    |
| Pérdidas (2%)                 | 2%            | 130,3                  | 0,75                       | -                           | 97,8           | -      | 97,8                     |
| <b>Total,</b>                 |               | <b>7 949,5</b>         |                            | -                           | <b>5 962,2</b> | -      | <b>5 962,2</b>           |

Circuito QG06: Calefacción e Iluminación Gabinetes de SS.AA. AC y DC

| Descripción                                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |        |                | Máxima Demanda Total (W) |
|---------------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|----------------|--------------------------|
|                                                         |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B | Fase C         |                          |
| Tablero de Transferencia Automática (Cargas Esenciales) | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | -      | 543            | 543                      |
| Tablero de Distribución 380 Vac Gabinetes de campo GIS  | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | -      | 543            | 543                      |
| Tablero de SS.AA. 110 Vdc                               | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | -      | 543            | 543                      |
| Cargador Rectificador 01                                | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | -      | 543            | 543                      |
| Cargador Rectificador 02                                | 1             | 724                    | 0,75                       | -                           | -      | 543            | 543                      |
| Reserva (20%)                                           | 20%           | 724                    | 0,75                       | -                           | -      | 543            | 543                      |
| Pérdidas (2%)                                           | 2%            | 72,4                   | 0,75                       | -                           | -      | 54,3           | 54,3                     |
| <b>Total,</b>                                           |               | <b>4 416,4</b>         |                            | -                           | -      | <b>3 312,3</b> | <b>3 312,3</b>           |

Circuito QG07: Calefacción e Iluminación Gabinetes de Automatización y Telecom

| Descripción                      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |        |        | Máxima Demanda Total (W) |
|----------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------------------------|
|                                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B | Fase C |                          |
| Gabinete de Automatización (SAS) | 1             | 724                    | 0,75                       | 543                         | -      | -      | 543                      |
| Gabinete de Telecomunicaciones   | 1             | 724                    | 0,75                       | 543                         | -      | -      | 543                      |
| Reserva (20%)                    | 20%           | 289,6                  | 0,75                       | 217,2                       | -      | -      | 217,2                    |
| Pérdidas (2%)                    | 2%            | 28,9                   | 0,75                       | 21,7                        | -      | -      | 21,7                     |
| <b>Total,</b>                    |               | <b>1 766,5</b>         |                            | <b>1 324,9</b>              | -      | -      | <b>1 324,9</b>           |

Circuito QG08: Reserva equipada 01

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Carga proyectada | 1             | 17 000                 | 1,00                       | 5 666,7                     | 5 666,7      | 5 666,7      | 17 000                   |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 340                    | 1,00                       | 113,3                       | 113,3        | 113,3        | 340                      |
| <b>Total,</b>    |               | <b>17 340</b>          |                            | <b>5 780</b>                | <b>5 780</b> | <b>5 780</b> | <b>17 340</b>            |

Circuito QG09: Reserva equipada 02

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Carga proyectada | 1             | 8 000                  | 1,00                       | 2 666,7                     | 2 666,7      | 2 666,7      | 8 000                    |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 160                    | 1,00                       | 53,3                        | 53,3         | 53,3         | 160                      |
| <b>Total,</b>    |               | <b>8 160</b>           |                            | <b>2 720</b>                | <b>2 720</b> | <b>2 720</b> | <b>8 160</b>             |

Circuito QG10: Reserva equipada 03

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Carga proyectada | 1             | 8 000                  | 1,00                       | 2 666,7                     | 2 666,7      | 2 666,7      | 8 000                    |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 160                    | 1,00                       | 53,3                        | 53,3         | 53,3         | 160                      |
| <b>Total,</b>    |               | <b>8 160</b>           |                            | <b>2 720</b>                | <b>2 720</b> | <b>2 720</b> | <b>8 160</b>             |

Circuito QG11: Reserva equipada 04

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Carga proyectada | 1             | 5 000                  | 1,00                       | 1 666,7                     | 1 666,7      | 1 666,7      | 5 000                    |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 100                    | 1,00                       | 53,3                        | 53,3         | 53,3         | 100                      |
| <b>Total,</b>    |               | <b>5 100</b>           |                            | <b>1 700</b>                | <b>1 700</b> | <b>1 700</b> | <b>5 100</b>             |

Circuito QG12: Tablero de Transferencia Automática (Cargas Esenciales)

| Descripción                                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                 |                 | Máxima Demanda Total (W) |
|---------------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
|                                                         |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B          | Fase C          |                          |
| Tablero de Transferencia Automática (Cargas Esenciales) | 1             | 96 107,6               | 0,75                       | 24 026,9                    | 24 026,9        | 24 026,9        | 72 080,7                 |
| Reserva (20%)                                           | 20%           | 19 221,5               | 0,75                       | 4 805,4                     | 4 805,4         | 4 805,4         | 14 416,1                 |
| Pérdidas (2%)                                           | 2%            | 1 922,1                | 0,75                       | 480,5                       | 480,5           | 480,5           | 1 441,6                  |
| <b>Total, por fase</b>                                  |               | <b>117 251,2</b>       |                            | <b>29 312,8</b>             | <b>29 312,8</b> | <b>29 312,8</b> | <b>87 938,4</b>          |

## Cálculo de Demanda – Tablero de Transferencia Automática 380/230 Vac (Cargas Esenciales)

Circuito QE01: Aire Acondicionado Sala de Control

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Sistema de Aire Acondicionado                 | 1             | 1 500                  | 0,75                       | 375                         | 375          | 375          | 1 125                    |
| Unidad de refrigeración de Aire Acondicionado | 1             | 7 100                  | 0,75                       | 1 775                       | 1 775        | 1 775        | 5 325                    |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 1 720                  | 0,75                       | 430                         | 430          | 430          | 1 290                    |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 172                    | 0,75                       | 43                          | 43           | 43           | 129                      |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>10 492</b>          |                            | <b>2 623</b>                | <b>2 623</b> | <b>2 623</b> | <b>7 869</b>             |

Circuito QE02: Extractor de Aire Sala de Baterías

| Descripción       | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |          |          | Máxima Demanda Total (W) |
|-------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|----------|--------------------------|
|                   |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B   | Fase C   |                          |
| Extractor de Aire | 1             | 2 000                  | 0,60                       | 1 200                       | -        | -        | 1 200                    |
| Reserva (20%)     | 20%           | 400                    | 0,60                       | 240                         | -        | -        | 240                      |
| Pérdidas (2%)     | 2%            | 40                     | 0,60                       | 24                          | -        | -        | 24                       |
| <b>Total,</b>     |               | <b>2 440</b>           |                            | <b>1 464</b>                | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>1 464</b>             |

Circuito QE03: Sistema contra incendios Sala de Control

| Descripción                              | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |          | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------|--------------------------|
|                                          |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C   |                          |
| Sistema contra incendios Sala de Control | 1             | 3 500                  | 0,75                       | -                           | 2 625          | -        | 2 625                    |
| Reserva (20%)                            | 20%           | 700                    | 0,75                       | -                           | 525            | -        | 525                      |
| Pérdidas (2%)                            | 2%            | 70                     | 0,75                       | -                           | 52,5           | -        | 52,5                     |
| <b>Total,</b>                            |               | <b>4 270</b>           |                            | <b>-</b>                    | <b>3 202,5</b> | <b>-</b> | <b>3 202,5</b>           |

Circuito QE04: Sistema de Video vigilancia

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |          |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|--------------|--------------------------|
|                             |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B   | Fase C       |                          |
| Sistema de video vigilancia | 12            | 15                     | 1,00                       | -                           | -        | 180          | 180                      |
| DVR de cámaras              | 1             | 50                     | 1,00                       |                             |          | 50           | 50                       |
| Reserva (20%)               | 20%           | 46                     | 1,00                       | -                           | -        | 46           | 46                       |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 4,6                    | 1,00                       | -                           | -        | 4,6          | 4,6                      |
| <b>Total,</b>               |               | <b>280,6</b>           |                            | <b>-</b>                    | <b>-</b> | <b>280,6</b> | <b>280,6</b>             |

Circuito QE05: Cargador Rectificador 01

| Descripción              | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |                | Máxima Demanda Total (W) |
|--------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                          |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C         |                          |
| Cargador Rectificador 01 | 1             | 14 505                 | 0,50                       | 2 417,5                     | 2 417,5        | 2 417,5        | 7 252,5                  |
| Reserva (20%)            | 20%           | 2 901                  | 0,50                       | 483,5                       | 483,5          | 483,5          | 1 450,5                  |
| Pérdidas (2%)            | 2%            | 290,1                  | 0,50                       | 48,4                        | 48,4           | 48,4           | 145,1                    |
| <b>Total,</b>            |               | <b>17 696,1</b>        |                            | <b>2 949,4</b>              | <b>2 949,4</b> | <b>2 949,4</b> | <b>8 848,1</b>           |

Circuito QE06: Cargador Rectificador 02

| Descripción              | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |                |                | Máxima Demanda Total (W) |
|--------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                          |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B         | Fase C         |                          |
| Cargador Rectificador 02 | 1             | 14 505                 | 0,50                       | 2 417,5                     | 2 417,5        | 2 417,5        | 7 252,5                  |
| Reserva (20%)            | 20%           | 2 901                  | 0,50                       | 483,5                       | 483,5          | 483,5          | 1 450,5                  |
| Pérdidas (2%)            | 2%            | 290,1                  | 0,50                       | 48,4                        | 48,4           | 48,4           | 145,1                    |
| <b>Total,</b>            |               | <b>17 696,1</b>        |                            | <b>2 949,4</b>              | <b>2 949,4</b> | <b>2 949,4</b> | <b>8 848,1</b>           |

Circuito QE07: Aire Acondicionado Sala GIS

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Sistema de Aire Acondicionado                 | 1             | 3 000                  | 1,00                       | 1 000                       | 1 000        | 1 000        | 3 000                    |
| Unidad de refrigeración de Aire Acondicionado | 1             | 15 000                 | 1,00                       | 5 000                       | 5 000        | 5 000        | 15 000                   |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 3 600                  | 1,00                       | 1 200                       | 1 200        | 1 200        | 3 600                    |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 360                    | 1,00                       | 120                         | 120          | 120          | 360                      |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>21 960</b>          |                            | <b>7 320</b>                | <b>7 320</b> | <b>7 320</b> | <b>21 960</b>            |

Circuito QE08: Sistema contra incendios Sala GIS

| Descripción                       | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |          |          | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|----------|--------------------------|
|                                   |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B   | Fase C   |                          |
| Sistema contra incendios Sala GIS | 1             | 7 500                  | 0,70                       | 5 250                       | -        | -        | 5 250                    |
| Reserva (20%)                     | 20%           | 1 500                  | 0,70                       | 1 050                       | -        | -        | 1 050                    |
| Pérdidas (2%)                     | 2%            | 150                    | 0,70                       | 105                         | -        | -        | 105                      |
| <b>Total,</b>                     |               | <b>9 150</b>           |                            | <b>6 405</b>                | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>6 405</b>             |

Circuito QE09: Alimentación Tablero de Automatización (SAS)

| Descripción                                  | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |            |          | Máxima Demanda Total (W) |
|----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|----------|--------------------------|
|                                              |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B     | Fase C   |                          |
| Alimentación Tablero de Automatización (SAS) | 1             | 740                    | 0,75                       | -                           | 555        | -        | 555                      |
| Reserva (20%)                                | 20%           | 148                    | 0,75                       | -                           | 111        | -        | 111                      |
| Pérdidas (2%)                                | 2%            | 14,8                   | 0,75                       | -                           | 11         | -        | 11                       |
| <b>Total,</b>                                |               | <b>902,8</b>           |                            | <b>-</b>                    | <b>677</b> | <b>-</b> | <b>677</b>               |

Circuito QE10: Reserva equipada 01

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Carga proyectada | 1             | 5 000                  | 1,00                       | 1 666,7                     | 1 666,7      | 1 666,7      | 5 000                    |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 100                    | 1,00                       | 53,3                        | 53,3         | 53,3         | 100                      |
| <b>Total,</b>    |               | <b>5 100</b>           |                            | <b>1 700</b>                | <b>1 700</b> | <b>1 700</b> | <b>5 100</b>             |

Circuito QE11: Reserva equipada 02

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |        |              | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|--------------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B | Fase C       |                          |
| Carga proyectada | 1             | 4 000                  | 1,00                       | -                           | -      | 4 000        | 4 000                    |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 80                     | 1,00                       | -                           | -      | 80           | 80                       |
| <b>Total,</b>    |               | <b>4 080</b>           |                            | -                           | -      | <b>4 080</b> | <b>4 080</b>             |

Circuito QE12: Reserva equipada 03

| Descripción      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |        |        | Máxima Demanda Total (W) |
|------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------------------------|
|                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B | Fase C |                          |
| Carga proyectada | 1             | 2 000                  | 1,00                       | 2 000                       | -      | -      | 2 000                    |
| Pérdidas (2%)    | 2%            | 40                     | 1,00                       | 40                          | -      | -      | 40                       |
| <b>Total,</b>    |               | <b>2 040</b>           |                            | <b>2 040</b>                | -      | -      | <b>2 040</b>             |

## Cálculo de Demanda – Alimentación SS.AA. Celdas GIS 60 kV

Circuito QA01: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Gloria 01

| Descripción                                      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|--------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Gloria 01 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                    | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                    | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                    |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA02: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Gloria 02

| Descripción                                      | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|--------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                                  |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Gloria 02 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                    | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                    | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                    |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA03: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Moyopampa 01

| Descripción                                         | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                                     |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Moyopampa 01 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                       | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                       | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                       |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA04: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Moyopampa 02

| Descripción                                         | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                                     |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Moyopampa 02 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                       | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                       | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                       |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA05: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Ñaña

| Descripción                                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|---------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                             |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Ñaña | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                               | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                               | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                               |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA06: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Santa Clara

| Descripción                                        | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|----------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                                    |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Santa Clara | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                      | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                      | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                      |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA07: Iluminación y Calefacción – Gabinete GIS Acoplamiento

| Descripción                                         | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                                     |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Gabinete GIS Acoplamiento | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                       | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                       | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                       |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA08: Iluminación y Calefacción – Reserva Equipada 01

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Reserva equipada 01 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA09: Iluminación y Calefacción – Reserva Equipada 02

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Reserva equipada 02 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

Circuito QA10: Iluminación y Calefacción – Reserva Equipada 03

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda por fase (W) |              |              | Máxima Demanda Total (W) |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------------|
|                                               |               |                        |                            | Fase A                      | Fase B       | Fase C       |                          |
| Iluminación y calefacción Reserva equipada 03 | 1             | 2 300                  | 0,75                       | 575                         | 575          | 575          | 1 725                    |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 460                    | 0,75                       | 115                         | 115          | 115          | 345                      |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 46                     | 0,75                       | 11,5                        | 11,5         | 11,5         | 34,5                     |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 806</b>           |                            | <b>701,5</b>                | <b>701,5</b> | <b>701,5</b> | <b>2 104,5</b>           |

## Anexo 4

### Cálculo de la demanda de servicios auxiliares DC

Circuito QD01: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Gloria 1

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentánea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 200          |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,60                       | -                        | 36           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 52           |                            | 315                      | 47,2         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,2          |                            | 31,5                     | 4,7          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>317,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>287,9</b> |

Circuito QD02: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Gloria 2

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentánea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 3             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 150          |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,60                       | -                        | 36           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 42           |                            | 315                      | 37,2         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 4,2          |                            | 31,5                     | 3,7          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>256,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>226,9</b> |

Circuito QD03: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Moyopampa 1

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 200          |
| Relés auxiliares                              | 16            | -                      | 5            | 0,60                       | -                        | 48           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 56           |                            | 315                      | 49,6         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,6          |                            | 31,5                     | 4,9          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>341,6</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>302,5</b> |

Circuito QD04: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Moyopampa 2

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 3             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 150          |
| Relés auxiliares                              | 16            | -                      | 5            | 0,60                       | -                        | 48           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 46           |                            | 315                      | 39,6         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 4,6          |                            | 31,5                     | 3,9          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>280,6</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>241,5</b> |

Circuito QD05: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Ñaña

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 200          |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,60                       | -                        | 36           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 52           |                            | 315                      | 47,2         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,2          |                            | 31,5                     | 4,7          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>317,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>287,9</b> |

Circuito QD06: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Santa Clara

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 200          |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,60                       | -                        | 36           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 52           |                            | 315                      | 47,2         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,2          |                            | 31,5                     | 4,7          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>317,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>287,9</b> |

Circuito QD07: Circuito 01 Protección, Control y Medición Bahía de Acoplamiento

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 2             | -                      | 50         | 1,00                       | -                        | 100          |
| Relés auxiliares                              | 10            | -                      | 5          | 0,60                       | -                        | 30           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -          | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -          | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 30         |                            | 315                      | 26           |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 3          |                            | 31,5                     | 2,6          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>183</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>158,6</b> |

Circuito QD08: Circuito 01 Tablero de Protección Diferencial de Barras 87B

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 4             | -                      | 50         | 1,00                       | -                        | 200          |
| Relés auxiliares                        | 20            | -                      | 5          | 0,60                       | -                        | 60           |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 60         |                            | -                        | 52           |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 6          |                            | -                        | 5,2          |
| <b>Total,</b>                           |               | -                      | <b>366</b> |                            | -                        | <b>317,2</b> |

Circuito QD09: Circuito Control Seccionadores Bahía de Línea Gloria 1

| Descripción                           | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|---------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                       |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Línea Gloria 1 | 4             | -                      | 30           | 0,60                       | -                        | 72          |
| Reserva (20%)                         | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 14,4        |
| Pérdidas (2%)                         | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 1,4         |
| <b>Total,</b>                         |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>87,8</b> |

Circuito QD10: Circuito Control Seccionadores Bahía de Línea Gloria 2

| Descripción                           | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|---------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                       |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Línea Gloria 2 | 4             | -                      | 30           | 0,60                       | -                        | 72          |
| Reserva (20%)                         | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 14,4        |
| Pérdidas (2%)                         | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 1,4         |
| <b>Total,</b>                         |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>87,8</b> |

Circuito QD11: Circuito Control Seccionadores Bahía de Línea Moyopampa 1

| Descripción                              | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                          |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Línea Moyopampa 1 | 4             | -                      | 30           | 0,60                       | -                        | 72          |
| Reserva (20%)                            | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 14,4        |
| Pérdidas (2%)                            | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 1,4         |
| <b>Total,</b>                            |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>87,8</b> |

Circuito QD12: Circuito Control Seccionadores Bahía de Línea Moyopampa 2

| Descripción                              | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                          |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Línea Moyopampa 2 | 4             | -                      | 30           | 0,60                       | -                        | 72          |
| Reserva (20%)                            | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 14,4        |
| Pérdidas (2%)                            | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 1,4         |
| <b>Total,</b>                            |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>87,8</b> |

Circuito QD13: Circuito Control Seccionadores Bahía de Línea Ñaña

| Descripción                       | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|-----------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                   |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Línea Ñaña | 4             | -                      | 30           | 0,60                       | -                        | 72          |
| Reserva (20%)                     | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 14,4        |
| Pérdidas (2%)                     | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 1,4         |
| <b>Total,</b>                     |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>87,8</b> |

Circuito QD14: Circuito Control Seccionadores Bahía de Línea Santa Clara

| Descripción                              | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                          |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Línea Santa Clara | 4             | -                      | 30           | 0,60                       | -                        | 72          |
| Reserva (20%)                            | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 14,4        |
| Pérdidas (2%)                            | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 1,4         |
| <b>Total,</b>                            |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>87,8</b> |

Circuito QD15: Circuito Control Seccionadores Bahía de Acoplamiento

| Descripción                         | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |             | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|-------------------------------------|---------------|------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                     |               | Momentánea             | Continua    |                            | Momentanea               | Continua    |
| Seccionadores Bahía de Acoplamiento | 2             | -                      | 30          | 0,60                       | -                        | 36          |
| Reserva (20%)                       | 20%           | -                      | 12          |                            | -                        | 7,2         |
| Pérdidas (2%)                       | 2%            | -                      | 1,2         |                            | -                        | 0,7         |
| <b>Total,</b>                       |               | -                      | <b>73,2</b> |                            | -                        | <b>43,9</b> |

Circuito QD16: Circuito 01 Alimentación Panel Controlador de SS.AA.

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 2             | -                      | 50         | 1,00                       | -                        | 100        |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 20         |                            | -                        | 20         |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 2          |                            | -                        | 2          |
| <b>Total,</b>                           |               | -                      | <b>122</b> |                            | -                        | <b>122</b> |

Circuito QD17: Circuito 01 Tablero de Automatización (SAS)

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 6             | -                      | 50           | 1,00                       | -                        | 300          |
| RTU                                     | 2             |                        | 120          | 1,00                       |                          | 240          |
| PC HMI TOUCH                            | 1             |                        | 90           | 1,00                       |                          | 90           |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 126          |                            | -                        | 126          |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 12,6         |                            | -                        | 12,6         |
| <b>Total,</b>                           |               | -                      | <b>768,6</b> |                            | -                        | <b>768,6</b> |

Circuito QD18: Circuito 01 Tablero Multiplexor

| Descripción    | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|----------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| Equipo FOX 615 | 2             | -                      | 210          | 1,00                       | -                        | 420          |
| Reserva (20%)  | 20%           | -                      | 84           |                            | -                        | 84           |
| Pérdidas (2%)  | 2%            | -                      | 8,4          |                            | -                        | 8,4          |
| <b>Total,</b>  |               | -                      | <b>512,4</b> |                            | -                        | <b>512,4</b> |

Circuito QD19: Reserva Equipada 01

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                             |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| Carga proyectada momentánea | 5             | 100                    | -          | 1,00                       | 500                      | -          |
| Carga proyectada continua   | 5             | -                      | 100        | 1,00                       | -                        | 500        |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 10                     | 10         |                            | 10                       | 10         |
| <b>Total,</b>               |               | <b>510</b>             | <b>510</b> |                            | <b>510</b>               | <b>510</b> |

Circuito QD20: Reserva Equipada 02

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                             |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| Carga proyectada momentánea | 5             | 20                     | -          | 1,00                       | 100                      | -          |
| Carga proyectada continua   | 5             | -                      | 20         | 1,00                       | -                        | 100        |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 2                      | 2          |                            | 2                        | 2          |
| <b>Total,</b>               |               | <b>102</b>             | <b>102</b> |                            | <b>102</b>               | <b>102</b> |

Circuito QD21: Reserva Equipada 03

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                             |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| Carga proyectada momentánea | 5             | 80                     | -          | 1,00                       | 400                      | -          |
| Carga proyectada continua   | 5             | -                      | 50         | 1,00                       | -                        | 250        |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 8                      | 5          |                            | 8                        | 5          |
| <b>Total,</b>               |               | <b>408</b>             | <b>255</b> |                            | <b>408</b>               | <b>255</b> |

Circuito QD22: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Gloria 1

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua   |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 100        |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,30                       | -                        | 18         |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -          |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -          |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 52           |                            | 315                      | 23,6       |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,2          |                            | 31,5                     | 2,4        |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>317,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>144</b> |

Circuito QD23: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Gloria 2

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 3             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 75           |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,30                       | -                        | 18           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 42           |                            | 315                      | 18,6         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 4,2          |                            | 31,5                     | 1,8          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>256,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>113,4</b> |

Circuito QD24: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Moyopampa 1

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 100          |
| Relés auxiliares                              | 16            | -                      | 5            | 0,30                       | -                        | 24           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 56           |                            | 315                      | 24,8         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,6          |                            | 31,5                     | 2,5          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>341,6</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>151,3</b> |

Circuito QD25: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Moyopampa 2

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 3             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 75           |
| Relés auxiliares                              | 16            | -                      | 5            | 0,30                       | -                        | 24           |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -            |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -            |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 46           |                            | 315                      | 19,8         |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 4,6          |                            | 31,5                     | 1,9          |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>280,6</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>120,7</b> |

Circuito QD26: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Ñaña

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua   |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 100        |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,30                       | -                        | 18         |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -          |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -          |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 52           |                            | 315                      | 23,6       |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,2          |                            | 31,5                     | 2,4        |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>317,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>144</b> |

Circuito QD27: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Línea Santa Clara

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua   |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 4             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 100        |
| Relés auxiliares                              | 12            | -                      | 5            | 0,30                       | -                        | 18         |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 1,00                       | 900                      | -          |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -            | 0,75                       | 675                      | -          |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 52           |                            | 315                      | 23,6       |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 5,2          |                            | 31,5                     | 2,4        |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>317,2</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>144</b> |

Circuito QD28: Circuito 02 Protección, Control y Medición Bahía de Acoplamiento

| Descripción                                   | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |             |
|-----------------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-------------|
|                                               |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua    |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.)       | 2             | -                      | 50         | 0,50                       | -                        | 50          |
| Relés auxiliares                              | 10            | -                      | 5          | 0,30                       | -                        | 15          |
| Circuito de Disparo 1 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -          | 1,00                       | 900                      | -           |
| Circuito de Disparo 2 y Cierre de Interruptor | 3             | 300                    | -          | 0,75                       | 675                      | -           |
| Reserva (20%)                                 | 20%           | 360                    | 30         |                            | 315                      | 13          |
| Pérdidas (2%)                                 | 2%            | 36                     | 3          |                            | 31,5                     | 1,3         |
| <b>Total,</b>                                 |               | <b>2 196</b>           | <b>183</b> |                            | <b>1 921,5</b>           | <b>79,3</b> |

Circuito QD29: Circuito 02 Tablero de Protección Diferencial de Barras 87B

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 4             | -                      | 50         | 0,50                       | -                        | 100          |
| Relés auxiliares                        | 20            | -                      | 5          | 0,30                       | -                        | 30           |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 60         |                            | -                        | 26           |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 6          |                            | -                        | 2,6          |
| <b>Total,</b>                           |               | -                      | <b>366</b> |                            | -                        | <b>158,6</b> |

Circuito QD30: Motores Equipos Bahía de Línea Gloria 1

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | -        |                            | <b>1 049,2</b>           | -        |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD31: Motores Equipos Bahía de Línea Gloria 2

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | -        |                            | <b>1 049,2</b>           | -        |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD32: Motores Equipos Bahía de Línea Moyopampa 1

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | -        |                            | <b>1 049,2</b>           | -        |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD33: Motores Equipos Bahía de Línea Moyopampa 2

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | -        |                            | <b>1 049,2</b>           | -        |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD34: Motores Equipos Bahía de Línea Ñaña

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | -        |                            | <b>1 049,2</b>           | -        |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD35: Motores Equipos Bahía de Línea Santa Clara

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | <b>-</b> |                            | <b>1 049,2</b>           | <b>-</b> |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD36: Motores Equipos Bahía de Acoplamiento

| Descripción                                | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |          | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |          |
|--------------------------------------------|---------------|------------------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------|
|                                            |               | Momentánea             | Continua |                            | Momentanea               | Continua |
| Accionamiento del motor Interruptor (-QA1) | 1             | 860                    | -        | 1,00                       | 860                      | -        |
| Accionamiento del motor de seccionadores   | 4             | 150                    | -        | 1,00                       | 600                      | -        |
| Reserva (20%)                              | 20%           | 292                    | -        |                            | 172                      | -        |
| Pérdidas (2%)                              | 2%            | 29,2                   | -        |                            | 17,2                     | -        |
| <b>Total,</b>                              |               | <b>1 781,2</b>         | <b>-</b> |                            | <b>1 049,2</b>           | <b>-</b> |

Nota: Los circuitos de accionamiento de motores no operan simultáneamente por lo que para el dimensionamiento se considera solamente la de mayor carga. En este caso el motor de mayor carga corresponde al accionamiento del Interruptor.

Circuito QD37: Circuito 02 Alimentación Panel Controlador de SS.AA.

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |           |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua  |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 2             | -                      | 50         | 0,50                       | -                        | 50        |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 20         |                            | -                        | 10        |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 2          |                            | -                        | 1         |
| <b>Total,</b>                           |               | <b>-</b>               | <b>122</b> |                            | <b>-</b>                 | <b>61</b> |

Circuito QD38: Circuito 02 Tablero de Automatización (SAS)

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 6             | -                      | 50           | 0,50                       | -                        | 150          |
| RTU                                     | 2             |                        | 120          | 0,50                       |                          | 120          |
| PC HMI TOUCH                            | 1             |                        | 90           | 0,50                       |                          | 45           |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 126          |                            | -                        | 63           |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 12,6         |                            | -                        | 6,3          |
| <b>Total,</b>                           |               | <b>-</b>               | <b>768,6</b> |                            | <b>-</b>                 | <b>384,3</b> |

Circuito QD39: Circuito 02 Tablero Multiplexor

| Descripción    | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|----------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| Equipo FOX 615 | 2             | -                      | 210          | 0,50                       | -                        | 210          |
| Reserva (20%)  | 20%           | -                      | 84           |                            | -                        | 42           |
| Pérdidas (2%)  | 2%            | -                      | 8,4          |                            | -                        | 4,2          |
| <b>Total,</b>  |               | -                      | <b>512,4</b> |                            | -                        | <b>256,2</b> |

Circuito QD40: Circuito Alimentación Tableros de SS.AA. AC

| Descripción                             | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |              | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |              |
|-----------------------------------------|---------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
|                                         |               | Momentánea             | Continua     |                            | Momentanea               | Continua     |
| IEDs (relés, medidores, switches, etc.) | 4             | -                      | 30           | 1,00                       | -                        | 120          |
| Reserva (20%)                           | 20%           | -                      | 24           |                            | -                        | 24           |
| Pérdidas (2%)                           | 2%            | -                      | 2,4          |                            | -                        | 2,4          |
| <b>Total,</b>                           |               | -                      | <b>146,4</b> |                            | -                        | <b>146,4</b> |

Circuito QD41: Reserva Equipada 04

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                             |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| Carga proyectada momentánea | 5             | 40                     | -          | 1,00                       | 200                      | -          |
| Carga proyectada continua   | 5             | -                      | 50         | 1,00                       | -                        | 250        |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 4                      | 5          |                            | 4                        | 5          |
| <b>Total,</b>               |               | <b>204</b>             | <b>255</b> |                            | <b>204</b>               | <b>255</b> |

Circuito QD42: Reserva Equipada 05

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                             |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| Carga proyectada momentánea | 5             | 20                     | -          | 1,00                       | 100                      | -          |
| Carga proyectada continua   | 5             | -                      | 20         | 1,00                       | -                        | 100        |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 2                      | 2          |                            | 2                        | 2          |
| <b>Total,</b>               |               | <b>102</b>             | <b>102</b> |                            | <b>102</b>               | <b>102</b> |

Circuito QD43: Reserva Equipada 05

| Descripción                 | Cant. Equipos | Potencia Instalada (W) |            | Factor de Utilización (Fu) | Máxima Demanda Total (W) |            |
|-----------------------------|---------------|------------------------|------------|----------------------------|--------------------------|------------|
|                             |               | Momentánea             | Continua   |                            | Momentanea               | Continua   |
| Carga proyectada momentánea | 5             | 20                     | -          | 1,00                       | 100                      | -          |
| Carga proyectada continua   | 5             | -                      | 20         | 1,00                       | -                        | 100        |
| Pérdidas (2%)               | 2%            | 2                      | 2          |                            | 2                        | 2          |
| <b>Total,</b>               |               | <b>102</b>             | <b>102</b> |                            | <b>102</b>               | <b>102</b> |

## **Anexo 5**

### *Memoria de cálculo de capacidad del banco de baterías*

#### **Metodología de Cálculo**

El cálculo de la capacidad de los bancos de baterías de la subestación Portillo se realiza considerando las siguientes premisas:

##### Escenarios de operación:

El esquema propuesto de los servicios auxiliares de corriente continua considera un tablero que está separado en dos barras de corriente continua (Barra N° 1 y Barra N° 2) las cuales están conectadas mediante un interruptor de enlace. En cada barra están conectados un banco de baterías y un cargador rectificador que sirven para alimentar todas las cargas conectadas en esta. En operación normal, cada barra opera de manera independiente con el interruptor de acople en posición normalmente abierto (NA).

A partir del esquema de conexión descrito, se definen los siguientes escenarios de operación para los servicios auxiliares DC de la subestación.

- (a) Escenario N°1: Corresponde al cálculo de la capacidad del banco de baterías conectado a la barra N°1 que deberá soportar todas las cargas conectadas en esta barra.
- (b) Escenario N°2: Corresponde al cálculo de la capacidad del banco de baterías conectado a la barra N°2 que deberá soportar todas las cargas conectadas en esta barra.
- (c) Escenario N°3: Corresponde al cálculo de la capacidad del banco de baterías requerido para soportar toda la carga del Tablero de SS.AA. DC cuando las dos barras están conectadas mediante el interruptor de acople (en posición NC), alimentando todo el sistema.

A partir de los escenarios de operación propuestos, se determinan los ciclos de trabajo y se realiza el cálculo de la capacidad del banco de baterías para un tiempo de respaldo de 5 horas.

### Procedimiento de cálculo

A partir de los ciclos de trabajo establecidos para cada escenario de operación, el proceso del cálculo de la capacidad es como sigue:

- (a) La primera sección a analizar es el primer período el ciclo de trabajo. A partir del factor de capacidad  $K_T$  se procede a calcular la capacidad necesaria para suministrar la corriente requerida durante la duración de dicho período.
- (b) En la segunda sección, la capacidad se determina considerando que la corriente  $A_1$  calculada en el primer período sigue fluyendo en el segundo período; por lo tanto, dicha capacidad se ajusta para tener en cuenta la variación de corriente ( $A_2 - A_1$ ) durante el segundo período.
- (c) De esta manera, se procede a calcular la capacidad para cada sección del ciclo de trabajo. El proceso iterativo se llevará a cabo hasta que se complete la evaluación de todas las secciones designadas. El cálculo de la capacidad del banco, se puede expresar matemática como sigue:

$$Ah = \max \sum_{s=1}^{s=n} \sum_{p=1}^{p=s} K_T (A_{(p)} - A_{(p-1)})$$

Donde:

- s : Sección del ciclo de trabajo analizado. La sección s contiene los primeros s períodos del ciclo de trabajo.
- n : Número de períodos en el ciclo de trabajo.
- p : Período que se está analizando.
- $A_p$  : Amperes requeridos para el período p.
- t : Tiempo en minutos desde el comienzo del ciclo hasta el fin de la sección s.
- $C_T$  : Factor de dimensionamiento de capacidad para un tipo de celda determinado.

### Factores de corrección

De acuerdo con norma IEEE Std 485-2010, se aplicarán los siguientes factores de corrección que se aplican para el dimensionamiento final del banco de baterías.

Factor de corrección por temperatura : 1,048 (temperatura promedio 20,1°C).

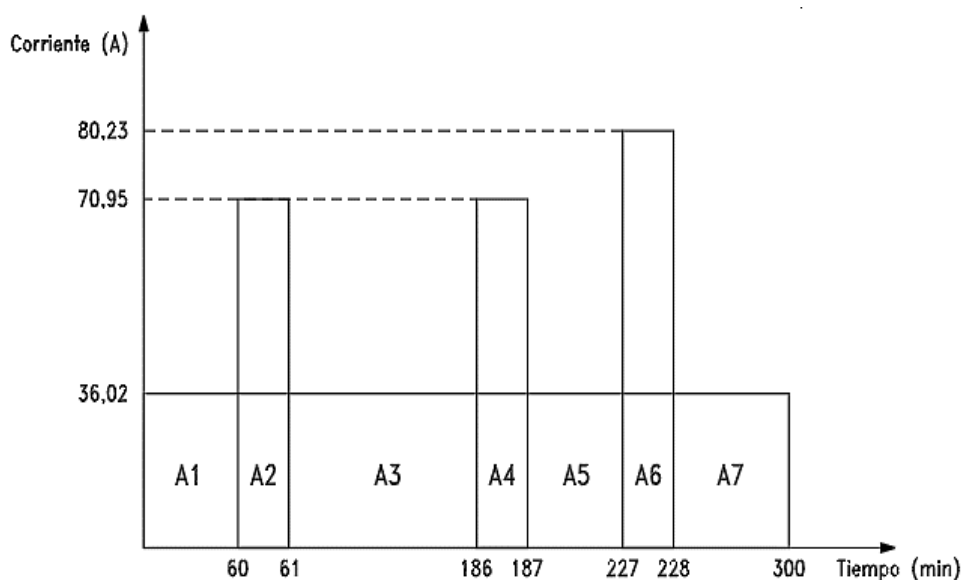
Margen de diseño : 1,10

Facto de corrección por envejecimiento : 1,20

### Capacidad del banco – Escenario de operación N°1

El Ciclo de Trabajo establecido para este escenario de operación es el siguiente:

| Sección | Descripción                                                                                                                                                                                  | Tiempo (min) |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| A1      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 60           |
| A2      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Gloria 1 y Gloria 2     | 1            |
| A3      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 125          |
| A4      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Moyopampa 1 Moyopampa 2 | 1            |
| A5      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 40           |
| A6      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Ñaña y Santa Clara      | 1            |
| A7      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 72           |



| Sección           | Carga (A) | Variación carga (A) | Duración del período (min) |     | Tiempo T (min) |     | Factor K <sub>T</sub> | Valores positivos | Valores negativos |
|-------------------|-----------|---------------------|----------------------------|-----|----------------|-----|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Primer Intervalo  |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 60  | 1,918                 | 69,058            | 0,000             |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 69,058            | 0,000             |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 69,058            |                   |
| Segundo Intervalo |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 61  | 1,936                 | 69,706            | 0,000             |
| A2                | 71,0      | A2-A1               | 35,0                       | M2= | 1              | 1   | 0,896                 | 31,363            | 0,000             |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 101,068           | 0,000             |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 101,068           |                   |
| Tercer Intervalo  |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 186 | 4,008                 | 144,300           | 0,000             |
| A2                | 71,0      | A2-A1               | 35,0                       | M2= | 1              | 126 | 3,047                 | 106,648           | 0,000             |
| A3                | 36,0      | A3-A2               | -35,0                      | M3= | 125            | 125 | 3,031                 | 0,000             | -106,077          |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 250,947           | -106,077          |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 144,871           |                   |
| Cuarto Intervalo  |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 187 | 4,024                 | 144,867           | 0,000             |
| A2                | 71,0      | A2-A1               | 35,0                       | M2= | 1              | 127 | 3,036                 | 107,217           | 0,000             |
| A3                | 36,0      | A3-A2               | -35,0                      | M3= | 125            | 126 | 3,047                 | 0,000             | -106,648          |
| A4                | 71,0      | A4-A3               | 35,0                       | M4= | 1              | 1   | 0,896                 | 31,363            | 0,000             |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 283,447           | -106,648          |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 176,800           |                   |
| Quinto Intervalo  |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 227 | 3,901                 | 140,436           | 0,000             |
| A2                | 71,0      | A2-A1               | 35,0                       | M2= | 1              | 167 | 3,708                 | 129,784           | 0,000             |
| A3                | 36,0      | A3-A2               | -35,0                      | M3= | 125            | 166 | 3,692                 | 0,000             | -129,231          |
| A4                | 71,0      | A4-A3               | 35,0                       | M4= | 1              | 41  | 1,577                 | 55,205            | 0,000             |
| A5                | 36,0      | A5-A4               | -35,0                      | M5= | 40             | 40  | 1,559                 | 0,000             | -54,553           |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 325,425           | -183,784          |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 141,641           |                   |
| Sexto Intervalo   |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 228 | 3,917                 | 141,012           | 0,000             |
| A2                | 71,0      | A2-A1               | 35,0                       | M2= | 1              | 168 | 3,724                 | 130,337           | 0,000             |
| A3                | 36,0      | A3-A2               | -35,0                      | M3= | 125            | 167 | 3,708                 | 0,000             | -129,784          |
| A4                | 71,0      | A4-A3               | 35,0                       | M4= | 1              | 42  | 1,589                 | 55,615            | 0,000             |
| A5                | 36,0      | A5-A4               | -35,0                      | M5= | 40             | 41  | 1,578                 | 0,000             | -55,230           |
| A6                | 80,3      | A6-A5               | 44,3                       | M6= | 1              | 1   | 0,896                 | 39,696            | 0,000             |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 366,670           | -185,014          |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 180,656           |                   |
| Sétimo Intervalo  |           |                     |                            |     |                |     |                       |                   |                   |
| A1                | 36,0      | A1-0                | 36,0                       | M1= | 60             | 300 | 4,237                 | 152,532           | 0,000             |
| A2                | 71,0      | A2-A1               | 35,0                       | M2= | 1              | 240 | 4,049                 | 141,715           | 0,000             |
| A3                | 36,0      | A3-A2               | -35,0                      | M3= | 125            | 239 | 4,038                 | 0,000             | --141,330         |
| A4                | 71,0      | A4-A3               | 35,0                       | M4= | 1              | 114 | 2,850                 | 99,744            | 0,000             |
| A5                | 36,0      | A5-A4               | -35,0                      | M5= | 40             | 113 | 2,833                 | 0,000             | -99,162           |
| A6                | 80,3      | A6-A5               | 44,3                       | M6= | 1              | 73  | 2,149                 | 95,203            | 0,000             |
| A7                | 36,0      | A7-A6               | -44,3                      | M7= | 72             | 72  | 2,131                 | 0,000             | -94,415           |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Subtotal (Ah)         | 489,194           | -334,907          |
|                   |           |                     |                            |     |                |     | Total (Ah)            | 154,287           |                   |

El máximo valor es de 180,656 Ah, se aplican los factores de corrección como siguen:

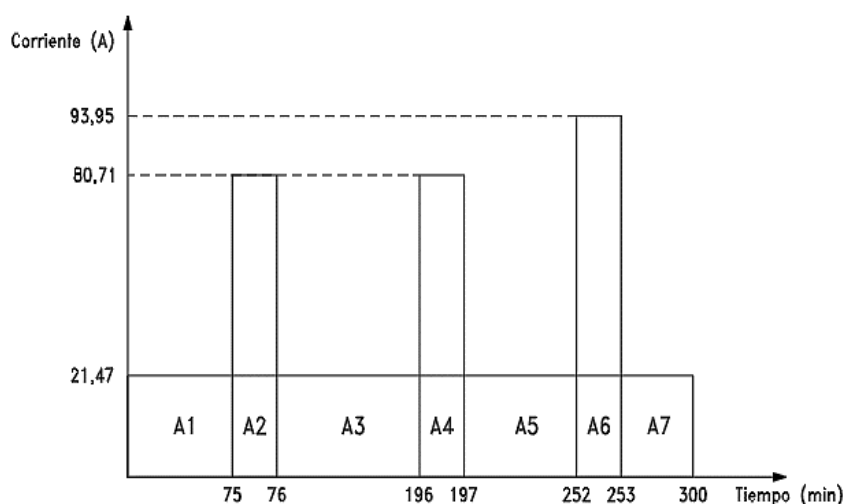
$$180,656 \times (1,048) \times (1,10) \times (1,20) = 249,910 \text{ Ah}$$

Por tanto, seleccionamos un banco de baterías con una capacidad de **250 Ah**.

### Capacidad del banco – Escenario de operación N°2

El Ciclo de Trabajo establecido para este escenario de operación es el siguiente:

| Sección | Descripción                                                                                                                                                                                  | Tiempo (min) |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| A1      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 75           |
| A2      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Gloria 1 y Gloria 2     | 1            |
| A3      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 120          |
| A4      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Moyopampa 1 Moyopampa 2 | 1            |
| A5      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 55           |
| A6      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Ñaña y Santa Clara      | 1            |
| A7      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 47           |



| Sección           | Carga (A) | Variación carga (A) | Duración del período (min) | Tiempo T (min) | Factor K <sub>r</sub> | Valores positivos | Valores negativos |         |          |
|-------------------|-----------|---------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------|----------|
| Primer Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 75                | 2,184             | 46,965  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 46,965  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 46,965  |          |
| Segundo Intervalo |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 76                | 2,202             | 47,344  | 0,000    |
| A2                | 80,7      | A2-A1               | 59,2                       | M2=            | 1                     | 1                 | 0,896             | 52,510  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 99,854  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 99,854  |          |
| Tercer Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 196               | 4,165             | 89,550  | 0,000    |
| A2                | 80,7      | A2-A1               | 59,2                       | M2=            | 1                     | 121               | 2,965             | 173,767 | 0,000    |
| A3                | 21,5      | A3-A2               | -59,2                      | M3=            | 120                   | 120               | 2,949             | 0,000   | -172,805 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 263,318 | -172,805 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 90,513  |          |
| Cuarto Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 197               | 4,181             | 89,893  | 0,000    |
| A2                | 80,7      | A2-A1               | 59,2                       | M2=            | 1                     | 122               | 2,982             | 174,728 | 0,000    |
| A3                | 21,5      | A3-A2               | -59,2                      | M3=            | 120                   | 121               | 2,965             | 0,000   | -173,767 |
| A4                | 80,7      | A4-A3               | 59,2                       | M4=            | 1                     | 1                 | 0,896             | 52,510  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 317,132 | -173,767 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 143,364 |          |
| Quinto Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 252               | 5,032             | 108,195 | 0,000    |
| A2                | 80,7      | A2-A1               | 59,2                       | M2=            | 1                     | 177               | 3,866             | 226,537 | 0,000    |
| A3                | 21,5      | A3-A2               | -59,2                      | M3=            | 120                   | 176               | 3,850             | 0,000   | -225,604 |
| A4                | 80,7      | A4-A3               | 59,2                       | M4=            | 1                     | 56                | 1,845             | 108,144 | 0,000    |
| A5                | 21,5      | A5-A4               | -59,2                      | M5=            | 55                    | 55                | 1,827             | 0,000   | -107,064 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 442,875 | -332,668 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 110,207 |          |
| Sexto Intervalo   |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 253               | 5,048             | 108,521 | 0,000    |
| A2                | 80,7      | A2-A1               | 59,2                       | M2=            | 1                     | 178               | 3,882             | 227,469 | 0,000    |
| A3                | 21,5      | A3-A2               | -59,2                      | M3=            | 120                   | 177               | 3,866             | 0,000   | -226,537 |
| A4                | 80,7      | A4-A3               | 59,2                       | M4=            | 1                     | 57                | 1,864             | 109,218 | 0,000    |
| A5                | 21,5      | A5-A4               | -59,2                      | M5=            | 55                    | 56                | 1,845             | 0,000   | -108,144 |
| A6                | 93,9      | A6-A5               | 72,4                       | M6=            | 1                     | 1                 | 0,896             | 64,966  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 510,174 | -334,681 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 175,493 |          |
| Sétimo Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 21,5      | A1-0                | 21,5                       | M1=            | 75                    | 300               | 5,753             | 123,683 | 0,000    |
| A2                | 80,7      | A2-A1               | 59,2                       | M2=            | 1                     | 225               | 4,619             | 270,695 | 0,000    |
| A3                | 21,5      | A3-A2               | -59,2                      | M3=            | 120                   | 224               | 4,604             | 0,000   | -269,793 |
| A4                | 80,7      | A4-A3               | 59,2                       | M4=            | 1                     | 104               | 2,682             | 157,176 | 0,000    |
| A5                | 21,5      | A5-A4               | -59,2                      | M5=            | 55                    | 103               | 2,665             | 0,000   | -156,184 |
| A6                | 93,9      | A6-A5               | 72,4                       | M6=            | 1                     | 48                | 1,704             | 123,538 | 0,000    |
| A7                | 21,5      | A7-A6               | -72,4                      | M7=            | 47                    | 47                | 1,686             | 0,000   | -122,262 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 675,092 | -548,239 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 126,852 |          |

El máximo valor es de 175,493 Ah, se aplican los factores de corrección como siguen:

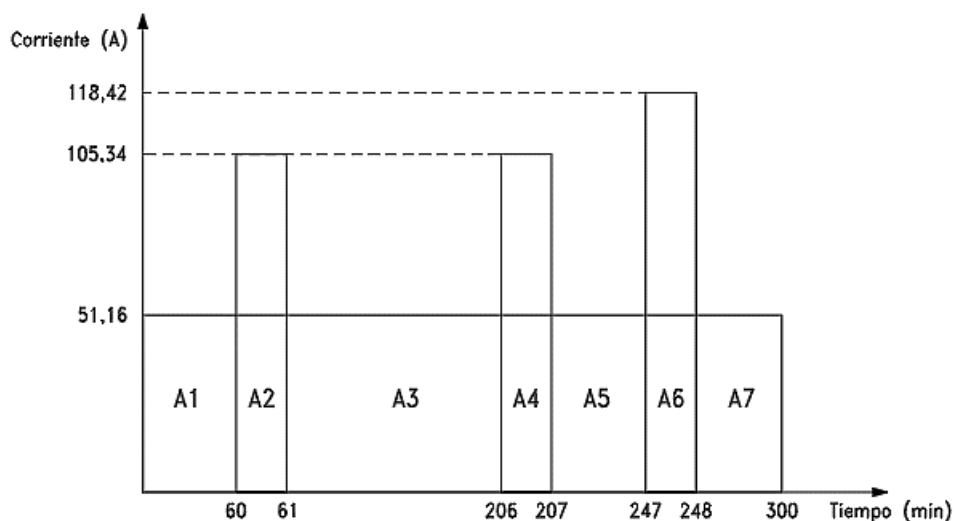
$$175,493 \times (1,048) \times (1,10) \times (1,20) = 242,769 \text{ Ah}$$

Por tanto, seleccionamos un banco de baterías con una capacidad de **250 Ah**.

### Capacidad del banco – Escenario de operación N°3

El Ciclo de Trabajo establecido para este escenario de operación es el siguiente:

| Sección | Descripción                                                                                                                                                                                  | Tiempo (min) |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| A1      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 60           |
| A2      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Gloria 1 y Gloria 2     | 1            |
| A3      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 145          |
| A4      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Moyopampa 1 Moyopampa 2 | 1            |
| A5      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 40           |
| A6      | Consumo de cargas continuas más consumo de cargas momentáneas correspondientes a un ciclo de operación de los interruptores asociados a las Líneas de Transmisión de Ñaña y Santa Clara      | 1            |
| A7      | Consumo de cargas continuas del sistema                                                                                                                                                      | 52           |



| Sección           | Carga (A) | Variación carga (A) | Duración del período (min) | Tiempo T (min) | Factor K <sub>T</sub> | Valores positivos | Valores negativos |         |          |
|-------------------|-----------|---------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------|----------|
| Primer Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 60                | 1,918             | 98,024  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 98,024  |          |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        |         |          |
| Segundo Intervalo |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 61                | 1,936             | 98,943  | 0,000    |
| A2                | 105,3     | A2-A1               | 54,2                       | M2=            | 1                     | 1                 | 0,896             | 48,567  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 147,511 |          |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 147,511 |          |
| Tercer Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 206               | 4,324             | 220,939 | 0,000    |
| A2                | 105,3     | A2-A1               | 54,2                       | M2=            | 1                     | 146               | 3,372             | 182,749 | 0,000    |
| A3                | 51,1      | A3-A2               | -54,2                      | M3=            | 145                   | 145               | 3,355             | 0,000   | -181,867 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 403,688 | -181,867 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 221,820 |          |
| Cuarto Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 207               | 4,339             | 221,743 | 0,000    |
| A2                | 105,3     | A2-A1               | 54,2                       | M2=            | 1                     | 147               | 3,388             | 183,630 | 0,000    |
| A3                | 51,1      | A3-A2               | -54,2                      | M3=            | 145                   | 146               | 3,372             | 0,000   | -182,749 |
| A4                | 105,3     | A4-A3               | 54,2                       | M4=            | 1                     | 1                 | 0,896             | 48,567  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 453,940 | -182,749 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 271,191 |          |
| Quinto Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 247               | 4,956             | 253,262 | 0,000    |
| A2                | 105,3     | A2-A1               | 54,2                       | M2=            | 1                     | 187               | 4,024             | 218,105 | 0,000    |
| A3                | 51,1      | A3-A2               | -54,2                      | M3=            | 145                   | 186               | 4,008             | 0,000   | -217,252 |
| A4                | 105,3     | A4-A3               | 54,2                       | M4=            | 1                     | 41                | 1,577             | 85,489  | 0,000    |
| A5                | 51,1      | A5-A4               | -54,2                      | M5=            | 40                    | 40                | 1,559             | 0,000   | -84,479  |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 556,856 | -301,730 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 255,126 |          |
| Sexto Intervalo   |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 248               | 4,971             | 254,040 | 0,000    |
| A2                | 105,3     | A2-A1               | 54,2                       | M2=            | 1                     | 188               | 4,040             | 218,958 | 0,000    |
| A3                | 51,1      | A3-A2               | -54,2                      | M3=            | 145                   | 187               | 4,024             | 0,000   | -218,105 |
| A4                | 105,3     | A4-A3               | 54,2                       | M4=            | 1                     | 42                | 1,596             | 86,496  | 0,000    |
| A5                | 51,1      | A5-A4               | -54,2                      | M5=            | 40                    | 41                | 1,577             | 0,000   | -85,489  |
| A6                | 118,4     | A6-A5               | 67,3                       | M6=            | 1                     | 1                 | 0,896             | 60,306  | 0,000    |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 619,801 | -303,594 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 316,206 |          |
| Sétimo Intervalo  |           |                     |                            |                |                       |                   |                   |         |          |
| A1                | 51,1      | A1-0                | 51,1                       | M1=            | 60                    | 300               | 5,753             | 293,962 | 0,000    |
| A2                | 105,3     | A2-A1               | 54,2                       | M2=            | 1                     | 240               | 4,849             | 262,828 | 0,000    |
| A3                | 51,1      | A3-A2               | -54,2                      | M3=            | 145                   | 239               | 4,834             | 0,000   | -261,998 |
| A4                | 105,3     | A4-A3               | 54,2                       | M4=            | 1                     | 94                | 2,512             | 136,125 | 0,000    |
| A5                | 51,1      | A5-A4               | -54,2                      | M5=            | 40                    | 93                | 2,494             | 0,000   | -135,199 |
| A6                | 118,4     | A6-A5               | 67,3                       | M6=            | 1                     | 53                | 1,791             | 120,540 | 0,000    |
| A7                | 51,1      | A7-A6               | -67,3                      | M7=            | 52                    | 52                | 1,774             | 0,000   | -119,375 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Subtotal (Ah)     | 813,455 | -516,571 |
|                   |           |                     |                            |                |                       |                   | Total (Ah)        | 296,884 |          |

El máximo valor es de 316,206 Ah, se aplican los factores de corrección como siguen:

$$316,206 \times (1,048) \times (1,10) \times (1,20) = 437,426 \text{ Ah}$$

Por tanto, para el escenario de operación N°3 se requiere una capacidad de 450 Ah. Considerando que ambos bancos de baterías son de 250 Ah cada uno y que cuando operan en paralelo la capacidad total es la suma de la capacidad de cada uno, se tiene que, trabajando en paralelo se puede soportar una carga de hasta 500 Ah, por lo que se garantiza que el sistema operará adecuadamente.

Finalmente se tiene que:

La capacidad del **Banco de Baterías N° 1** será de **250 Ah**.

La capacidad del **Banco de Baterías N° 2** será de **250 Ah**.

## **Anexo 6**

### *Memoria de cálculo de conductores AC y DC*

#### **Metodología de Cálculo**

El cálculo de la sección de los conductores de baja tensión se realiza cumpliendo dos criterios:

##### Ampacidad:

Determinación de la corriente a plena carga que portará el conductor, considerando su longitud e incluyendo un factor de diseño de 1.25.

##### Caída de Tensión:

De acuerdo con la regla 050.012 del Código Nacional de Electricidad, los conductores de los alimentadores y circuitos derivados deben ser dimensionados para,

- (a) La caída de tensión no supere el 2.5%, y
- (b) La caída de tensión total máxima en el alimentador y los circuitos derivados hasta la salida o punto de utilización más alejado no supere el 4%.

Los cables en Baja Tensión seleccionados para el Proyecto serán fabricados con cobre suave y estarán aislados con polietileno reticulado (XLPE). Además, contarán con una cubierta de poliolefina termoplástica libre de halógenos, la cual ofrece excelentes propiedades de resistencia al fuego.

#### **Cálculo de conductores AC**

Para efectos aplicativos dimensionaremos el conductor del alimentador principal del Tablero General de SS.AA. 380/230 Vac.

##### **Cálculo del conductor del alimentador principal**

###### *1. Cálculo de intensidad admisible*

Del cálculo de la demanda del sistema se tiene que la máxima demanda coincidente del Tablero es 153,52 kW. A partir de esto determinamos la corriente a plena carga y la corriente de diseño como sigue:

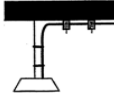
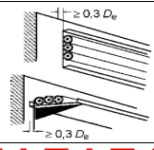
Corriente a plena carga:

$$I_{FLA} = \frac{P}{\sqrt{3}V_N \cos \varphi} = \frac{153,52}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,85} = 274,42 \text{ A}$$

Corriente de diseño:

$$I_D = 1,25I_{FLA} = 1,25 * 274,42 = 343,01 \text{ A}$$

En la subestación Portillo, todos los cables van dentro de canaletas eléctricas que recorren por el suelo de la subestación, todos los cables van sujetos sobre bandejas portacables instalados al interior de las canaletas. A partir de la Norma IEC 60364-5-52 se tiene que este tipo de instalación es la número 30 según la Tabla A52.1. A este elemento le corresponde el método de instalación tipo C.

| Elemento n° | Métodos de instalación                                                              | Descripción                                                                                                                                                          | Método de instalación de referencia a utilizar para obtener las intensidades admisibles (véase el anexo B) |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12          |   | Conductores aislados o cables unipolares en molduras <sup>c, e</sup>                                                                                                 | A1                                                                                                         |
| 15          |  | Conductores aislados en tubo o cables unipolares o multipolares en arquitrabe <sup>c, f</sup>                                                                        | A1                                                                                                         |
| 16          |  | Conductores aislados en tubo o cables unipolares o multipolares en marcos de ventana <sup>c, f</sup>                                                                 | A1                                                                                                         |
| 20          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>— fijados sobre una pared de madera o mampostería o separados de la pared menos de 0,3 veces el diámetro del cable <sup>e</sup> | C                                                                                                          |
| 21          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>— fijados directamente bajo un techo de madera o mampostería                                                                    | C, con elemento 3 de la tabla B.52.17                                                                      |
| 22          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>— separados del techo                                                                                                           | En estudio.<br>El método E puede utilizarse.                                                               |
| 23          |  | Instalación fija de un receptor suspendido                                                                                                                           | C, con elemento 3 de la tabla B.52.17                                                                      |
| 30          |  | Cables unipolares o multipolares:<br>Sobre bandejas no perforadas en recorrido horizontal o vertical <sup>c, h</sup>                                                 | C, con elemento 2 de la tabla B.52.17                                                                      |

**Tabla A52.3. Norma IEC 60364-5-52**

Luego de haber seleccionado el método de instalación de los cables, se debe determinar la corriente admisible a partir de la Tabla C52.1 de la Norma IEC 60364-5-52, considerando que el sistema es con cable XLPE y tres conductores cargados (3 XLPE).

| Método de referencia de la tabla B.52.1 | Número de conductores cargados y tipo de aislamiento |       |       |       |        |        |        |        |        |        |     |     |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
|                                         | A1                                                   | A2    | B1    | C     | F      | I      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6   | 7   |
| A1                                      |                                                      | 3 PVC | 2 PVC |       | 3 XLPE | 2 XLPE |        |        |        |        |     |     |
| A2                                      |                                                      |       |       | 3 PVC | 2 PVC  |        |        |        |        |        |     |     |
| B1                                      |                                                      |       |       |       |        | 3 XLPE | 2 XLPE |        |        |        |     |     |
| C                                       |                                                      |       |       |       | 3 PVC  | 2 PVC  | 3 XLPE | 2 XLPE |        |        |     |     |
| F                                       |                                                      |       |       |       |        | 3 PVC  | 2 PVC  | 3 XLPE | 2 XLPE |        |     |     |
| I                                       |                                                      |       |       |       |        |        | 3 PVC  | 2 PVC  | 3 XLPE | 2 XLPE |     |     |
| Tamaño (mm²) Cobre                      |                                                      |       |       |       |        |        |        |        |        |        |     |     |
| 1,5                                     | 13                                                   | 13,5  | 14,5  | 15,5  | 17     | 18,5   | 19,5   | 22     | 23     | 24     | 26  | —   |
| 2,5                                     | 17,5                                                 | 18    | 19,5  | 21    | 23     | 25     | 27     | 30     | 31     | 33     | 36  | —   |
| 4                                       | 23                                                   | 24    | 26    | 28    | 31     | 34     | 36     | 40     | 42     | 45     | 49  | —   |
| 6                                       | 29                                                   | 31    | 34    | 36    | 40     | 43     | 46     | 51     | 54     | 58     | 63  | —   |
| 10                                      | 39                                                   | 42    | 46    | 50    | 54     | 60     | 63     | 70     | 75     | 80     | 86  | —   |
| 16                                      | 52                                                   | 56    | 61    | 68    | 73     | 80     | 85     | 94     | 100    | 107    | 115 | —   |
| 25                                      | 68                                                   | 73    | 80    | 89    | 95     | 101    | 110    | 119    | 127    | 135    | 149 | 161 |
| 35                                      | —                                                    | —     | —     | 110   | 117    | 126    | 137    | 147    | 158    | 169    | 185 | 200 |
| 50                                      | —                                                    | —     | —     | 134   | 141    | 153    | 167    | 179    | 192    | 207    | 225 | 242 |
| 70                                      | —                                                    | —     | —     | 171   | 179    | 196    | 213    | 229    | 246    | 268    | 289 | 310 |
| 95                                      | —                                                    | —     | —     | 207   | 216    | 238    | 258    | 278    | 298    | 328    | 352 | 377 |
| 120                                     | —                                                    | —     | —     | 239   | 249    | 276    | 299    | 322    | 346    | 382    | 410 | 437 |
| 150                                     | —                                                    | —     | —     | —     | 285    | 318    | 344    | 371    | 395    | 441    | 473 | 504 |
| 185                                     | —                                                    | —     | —     | —     | 324    | 362    | 392    | 424    | 450    | 506    | 542 | 575 |
| 240                                     | —                                                    | —     | —     | —     | 380    | 424    | 461    | 500    | 538    | 599    | 641 | 679 |

Tabla C52.1. Norma IEC 60364-5-52

Los valores mostrados en la Tabla anterior deben ser afectados por los factores de corrección por temperatura (Tabla B52.15 de la Norma IEC 60634-5-52) y factores reducción por agrupamiento (Tabla C52.3 de la Norma IEC 60364-5-52).

| Temperatura del terreno °C | Aislamiento |            |
|----------------------------|-------------|------------|
|                            | PVC         | XLPE y EPR |
| 10                         | 1,10        | 1,07       |
| 15                         | 1,05        | 1,04       |
| 20                         | 1,00        | 1,00       |
| 25                         | 0,95        | 0,96       |
| 30                         | 0,89        | 0,93       |
| 35                         | 0,84        | 0,89       |
| 40                         | 0,77        | 0,85       |
| 45                         | 0,71        | 0,80       |
| 50                         | 0,63        | 0,76       |
| 55                         | 0,55        | 0,71       |
| 60                         | 0,45        | 0,65       |
| 65                         | —           | 0,60       |
| 70                         | —           | 0,53       |
| 75                         | —           | 0,46       |
| 80                         | —           | 0,38       |

Tabla B52.15. Norma IEC 60364-5-52

Se considera que los cables de fuerza unipolares van montados sobre una bandeja portacables exclusiva. Por tanto, el factor de reducción por agrupamiento debe considerar dos circuitos agrupados (del transformador de SS.AA. y del Grupo Electrónico).

| Punto | Disposición                                                                            | Número de circuitos o de cables multipolares |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |                                                                                        | 1                                            | 2    | 3    | 4    | 6    | 9    | 12   | 16   | 20   |
| 1     | Agrupados en el aire, en una superficie, empotrados o en el interior de una envolvente | 1,00                                         | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,40 |
| 2     | Capa única sobre muros, suelos o bandejas no perforadas                                | 1,00                                         | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | —    | —    | —    |
| 3     | Capa única fijada directamente al techo                                                | 0,95                                         | 0,80 | 0,70 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | —    | —    | —    |
| 4     | Capa única sobre bandejas perforadas horizontales o verticales                         | 1,00                                         | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | —    | —    | —    |
| 5     | Capa única sobre bandeja de escalera, soportes o bridas de amarre, etc.                | 1,00                                         | 0,85 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | —    | —    | —    |

Tabla C52.3. Norma IEC 60364-5-52

Multiplicamos los factores de corrección por las intensidades de corriente de la Tabla C52.1 para determinar la intensidad admisible para cada sección.

| Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | Corriente admisible (A) | Corriente calculada con factor de corrección (A) |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| 120                                      | 322                     | *0,85*0,93 = 239,57 A                            |
| 150                                      | 371                     | *0,85*0,93 = 276,02 A                            |
| 185                                      | 424                     | *0,85*0,93 = 315,45 A                            |
| 240                                      | 500                     | *0,85*0,93 = <b>395,25 A</b>                     |

Se selecciona la sección de conductor del primer valor que supera la intensidad admisible del circuito. Para este caso le corresponde el conductor de 240mm<sup>2</sup>.

**Por tanto, de acuerdo con el método de Intensidad Admisible corresponde un conductor por fase N2XOH 240mm<sup>2</sup> para el circuito.**

## 2. Cálculo por caída de tensión

El cálculo de la caída de tensión se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta V = \sqrt{3}IL(R \cos \phi + X \sin \phi)$$

Donde:

I : corriente a transportar (A)

L : Longitud del cable

CosΦ : 0,85

SenΦ : 0,527

R : Resistencia en corriente alterna a la temperatura de operación

X : reactancia a la temperatura de operación (típicamente 0,09 Ω/km).

Para determinar la resistencia del conductor, es necesario calcular la temperatura de operación del conductor y la resistencia de corriente continua a la temperatura calculada. Los cálculos son como siguen:

$$T = T_0 + (T_{MAX} - T_0) \left( \frac{I}{I_{MAX}} \right)^2 = 25 + (90 - 25) \left( \frac{343,01}{395,25} \right)^2 = 73,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{CCT} = R_{CC20} [1 + 0,00393(T - 20)] = 0,0754 [1 + 0,00393(73,95 - 20)] = 0,0914$$

En corriente alterna se producen efectos piel (skin) y proximidad que afectan al valor calculado en corriente continua. Sin embargo, esos efectos son más pronunciados en conductores de gran sección y para altas frecuencias. De forma aproximada para instalaciones en baja tensión la resistencia en corriente alterna es aproximadamente igual

a la resistencia en corriente continua calculada a la temperatura de operación del conductor. Por tanto, la resistencia del conductor será de 0,0914  $\Omega/\text{km}$ .

Reemplazando los valores en la ecuación de la caída de tensión:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 343,01 * 0,05(0,0914 * 0,85 + 0,09 * 0,527) = 3,54 \text{ V}$$

Expresando el valor obtenido en porcentaje, tenemos:

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} * 100 = \frac{3,54}{380} * 100 = 0,93\%$$

Por tanto, se concluye que el conductor seleccionado de 240mm<sup>2</sup> cumple con el criterio de caída de tensión establecido en el CNE. En caso no se cumpla con el requisito de caída de tensión <2,5% se tendrá que pasar al calibre inmediato superior hasta que se cumpla este requerimiento.

El cálculo para los circuitos principales y los circuitos alimentadores es similar al del ejemplo de aplicación. En las siguientes Tablas se muestra el resumen del cálculo de conductores para cada circuito en corriente alterna del Proyecto.

| N°   | Descripción                                           | Potencia (KW) | Sistema Trifásico (T)<br>Monofásico (M) | Tensión 380 V, 220 V | Longitud del circuito (m) | Corriente de diseño (I <sub>b</sub> ) en A | Número de circuitos agrupados | Cálculo por corriente admisible (A)      |                                    | Cálculo por caída de tensión             |                  | Tipo de conductor seleccionado            |
|------|-------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|
|      |                                                       |               |                                         |                      |                           |                                            |                               | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | I <sub>MAX</sub> del conductor (A) | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | ΔV (%) acumulada |                                           |
| 1    | Alimentadores principales                             |               |                                         |                      |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                           |
| 1.1  | Tablero General de SS.AA. Conexión al trafo SS.AA.    | 153,52        | T                                       | 380                  | 50                        | 343,01                                     | 2                             | 240                                      | 395,25                             | 240                                      | 0,93             | N2XOH<br>3-1x240mm2 (F) +<br>1x120mm2 (N) |
| 1.2. | Tablero de Transferencia Automática. Conexión al G.E. | 87,94         | T                                       | 380                  | 50                        | 196,48                                     | 2                             | 95                                       | 219,75                             | 120                                      | 0,46             | N2XOH<br>3-1x120mm2 (F) +<br>1x70mm2 (N)  |
| 2    | Tablero General de SS.AA. 380/230 Vac                 |               |                                         |                      |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                           |
| 2.1  | Tablero de Distribución Celdas GIS                    | 25,67         | T                                       | 380                  | 10                        | 57,35                                      | 6                             | 25                                       | 70,30                              | 25                                       | 1,14             | N2XOH<br>1-4x25mm2                        |
| 2.2  | Tablero Sala de Control (TD1)                         | 20,78         | T                                       | 380                  | 25                        | 46,43                                      | 6                             | 16                                       | 55,34                              | 16                                       | 1,58             | N2XOH<br>1-4x16mm2                        |
| 2.3  | SS.AA. del G.E.                                       | 1,68          | M                                       | 220                  | 50                        | 11,23                                      | 6                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 2,42             | N2XOH<br>1-2x4mm2                         |
| 2.4  | Puente Grúa                                           | 6,02          | T                                       | 380                  | 25                        | 13,45                                      | 6                             | 6                                        | 33,20                              | 6                                        | 1,38             | N2XOH<br>1-4x6mm2                         |
| 2.5  | Calefacción e Iluminación Tableros C&P                | 5,96          | M                                       | 220                  | 25                        | 39,84                                      | 6                             | 10                                       | 45,57                              | 10                                       | 2,72             | N2XOH<br>1-2x10mm2                        |

| N°       | Descripción                                                      | Potencia (KW) | Sistema Trifásico (T)<br>Monofásico (M) | Tensión 380 V, 220 V | Longitud del circuito (m) | Corriente de diseño (I <sub>b</sub> ) en A | Número de circuitos agrupados | Cálculo por corriente admisible (A)      |                                    | Cálculo por caída de tensión             |                  | Tipo de conductor seleccionado                                   |
|----------|------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                  |               |                                         |                      |                           |                                            |                               | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | I <sub>MAX</sub> del conductor (A) | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | ΔV (%) acumulada |                                                                  |
| 2.6      | Calefacción e Iluminación Tableros SS.AA.                        | 3,31          | M                                       | 220                  | 25                        | 22,12                                      | 6                             | 6                                        | 33,20                              | 6                                        | 2,47             | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>                                    |
| 2.7      | Calefacción e Iluminación Tableros SAS                           | 1,32          | M                                       | 220                  | 25                        | 8,82                                       | 6                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,78             | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 2.8      | Tablero de Transferencia Automática                              | 87,94         | T                                       | 380                  | 10                        | 196,48                                     | 3                             | 95                                       | 219,75                             | 120                                      | 1,16             | N2XOH<br>3-1x120mm <sup>2</sup> (F) +<br>1x70mm <sup>2</sup> (N) |
| <b>3</b> | <b>Tablero de Transferencia Automática 380/230 Vac</b>           |               |                                         |                      |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                                                  |
| 3.1      | Aire acondicionado Sala de Control                               | 7,86          | T                                       | 380                  | 25                        | 17,56                                      | 9                             | 6                                        | 33,20                              | 6                                        | 1,75             | N2XOH<br>1-4x6mm <sup>2</sup>                                    |
| 3.2      | Extractor de aire Sala de Baterías                               | 1,46          | M                                       | 220                  | 25                        | 9,76                                       | 9                             | 4                                        | 23,43                              | 4                                        | 2,11             | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 3.3      | Sistema contra incendios Sala de Control                         | 3,20          | M                                       | 220                  | 25                        | 21,39                                      | 9                             | 6                                        | 33,20                              | 6                                        | 2,64             | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>                                    |
| 3.4      | Sistema de video vigilancia                                      | 0,28          | M                                       | 220                  | 90                        | 1,87                                       | 9                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,79             | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 3.5      | Cargador Rectificador 01                                         | 17,68         | T                                       | 380                  | 15                        | 32,39                                      | 9                             | 10                                       | 46,57                              | 16                                       | 1,57             | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup>                                   |
| 3.6      | Cargador Rectificador 02                                         | 17,68         | T                                       | 380                  | 15                        | 32,39                                      | 9                             | 10                                       | 46,57                              | 16                                       | 1,57             | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup>                                   |
| 3.7      | Aire acondicionado Sala GIS                                      | 21,96         | T                                       | 380                  | 25                        | 49,06                                      | 9                             | 16                                       | 61,19                              | 16                                       | 1,85             | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup>                                   |
| 3.8      | Sistema contra incendios Sala GIS                                | 6,40          | M                                       | 220                  | 25                        | 42,78                                      | 9                             | 10                                       | 46,57                              | 16                                       | 2,31             | N2XOH<br>1-2x16mm <sup>2</sup>                                   |
| 3.9      | Tablero de Automatización SAS                                    | 0,67          | M                                       | 220                  | 25                        | 4,47                                       | 9                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,58             | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>                                    |
| <b>4</b> | <b>Tablero de Distribución 380 Vac – Alimentación Celdas GIS</b> |               |                                         |                      |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                                                  |
| 4.1      | Gabinete GIS Gloria 1                                            | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 4.2      | Gabinete GIS Gloria 2                                            | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 4.3      | Gabinete GIS Moyopampa 1                                         | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 4.4      | Gabinete GIS Moyopampa 2                                         | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 4.5      | Gabinete GIS Ñaña                                                | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 4.6      | Gabinete GIS Santa Clara                                         | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |
| 4.7      | Gabinete GIS Celda Acoplamiento                                  | 2,10          | T                                       | 380                  | 25                        | 4,69                                       | 7                             | 4                                        | 26,04                              | 4                                        | 1,36             | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>                                    |

## Cálculo de conductores DC

Para efectos aplicativos dimensionaremos el conductor del alimentador de la Barra N°1 del Tablero de SS.AA. 110 Vdc.

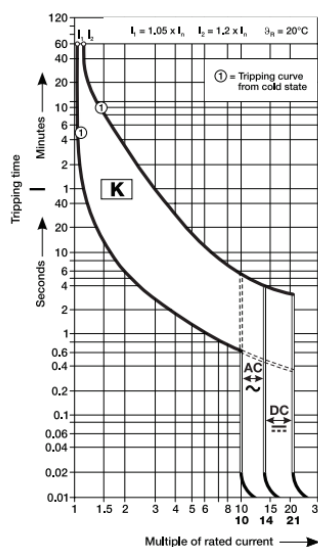
### Cálculo del conductor del alimentador 110 Vdc Barra N°1

#### 1. Cálculo de intensidad admisible

Se parte de la premisa que uno de los escenarios de operación del sistema de servicios auxiliares DC es cuando un solo cargador rectificador alimenta todas las cargas del tablero. Por tanto, los dos alimentadores principales estarán dimensionados para soportar toda la demanda.

Del cálculo de la demanda del sistema se tiene que la máxima demanda coincidente momentánea del Tablero es del Tablero es 21,40 kW mientras que la máxima demanda coincidente continua es de 4,38 kW.

Se debe tener en cuenta que la carga momentánea para los circuitos de corriente continua tiene una duración de algunos segundos (por ser transitoria), estimamos un tiempo de operación de 2 segundos para esta tipo de cargas (según recomendaciones de diseño). Por lo que la corriente de diseño se calcula de tal forma que el interruptor que protege al cable debe garantizar la circulación de corriente durante este tiempo estimado. Considerando que una curva típica del interruptor es la siguiente:



A partir de esto determinamos la corriente a plena carga y la corriente de diseño como sigue:

Corriente de diseño:

$$I_D = 1,25 \left( \frac{P_m}{4V_N} + \frac{P_c}{V_N} \right) = 1,25 \left( \frac{21,40}{4 * 0,11} + \frac{4,38}{0,11} \right) = 110,64 \text{ A}$$

Por otro lado, el método de instalación de estos cables es el mismo que se consideró para los cables de corriente alterna (AC) ya que van dentro de las mismas canaletas en la subestación. El factor de corrección por temperatura es el mismo (0,93) mientras que el factor de agrupamiento será 0,70 debido a que van hasta 6 cables multiconductor agrupados para alimentar los SS.AA. DC.

Multiplicamos los factores de corrección por las intensidades de corriente de la Tabla C52.1 para determinar la intensidad admisible para cada sección.

| Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | Corriente admisible (A) | Corriente calculada con factor de corrección (A) |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| 35                                       | 169                     | *0,93*0,70 = 110,02 A                            |
| 50                                       | 207                     | *0,93*0,70 = <b>134,76 A</b>                     |
| 70                                       | 268                     | *0,93*0,70 = 174,47 A                            |
| 95                                       | 328                     | *0,93*0,70 = 213,53 A                            |

Se selecciona la sección de conductor del primer valor que supera la intensidad admisible del circuito. Para este caso le corresponde el conductor de 50mm<sup>2</sup>.

## 2. Cálculo por caída de tensión

El cálculo de la caída de tensión se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta V = 2ILR$$

Donde:

I : corriente a transportar (A)

L : Longitud del cable

R : Resistencia en corriente continua a la temperatura de operación

Para determinar la resistencia del conductor, es necesario calcular la temperatura de operación del conductor y la resistencia de corriente continua a la temperatura calculada. Los cálculos son como siguen:

$$T = T_0 + (T_{MAX} - T_0) \left( \frac{I}{I_{MAX}} \right)^2 = 25 + (90 - 25) \left( \frac{110,64}{134,76} \right)^2 = 68,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{CCT} = R_{CC20} [1 + 0,00393(T - 20)] = 0,387 [1 + 0,00393(68,75 - 20)] = 0,461$$

Reemplazando los valores en la ecuación de la caída de tensión:

$$\Delta V = 2 * 110,64 * 0,015 * 0,461 = 1,54 \text{ V}$$

Expresando el valor obtenido en porcentaje, tenemos:

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V} * 100 = \frac{1,54}{110} * 100 = 1,40\%$$

Por tanto, se concluye que el conductor seleccionado de 50mm<sup>2</sup> cumple con el criterio de caída de tensión establecido en el CNE. En caso no se cumpla con el requisito de caída de tensión <2,5% se tendrá que pasar al calibre inmediato superior hasta que se cumpla este requerimiento.

El cálculo para los circuitos principales y los circuitos alimentadores es similar al del ejemplo de aplicación. En la siguiente Tabla se muestra el resumen del cálculo de conductores para cada circuito en corriente continua del Proyecto.

| N°   | Descripción                      | Potencia momentánea (kW) | Potencia continua (kW) | Longitud del circuito (m) | Corriente de diseño (I <sub>0</sub> ) en A | Número de circuitos agrupados | Cálculo por corriente admisible (A)      |                                    | Cálculo por caída de tensión             |                  | Tipo de conductor seleccionado |
|------|----------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------|--------------------------------|
|      |                                  |                          |                        |                           |                                            |                               | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | I <sub>MAX</sub> del conductor (A) | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | ΔV (%) acumulado |                                |
| 1    | Alimentadores principales        |                          |                        |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                |
| 1.1  | Conexión a la Barra N°1          | 21,40                    | 4,38                   | 15                        | 110,64                                     | 4                             | 50                                       | 134,76                             | 50                                       | 1,40             | N2XOH<br>2-1x50mm2             |
| 1.2. | Conexión a la Barra N°2          | 21,40                    | 4,38                   | 15                        | 110,64                                     | 4                             | 50                                       | 134,76                             | 50                                       | 1,40             | N2XOH<br>2-1x50mm2             |
| 2    | Cargas conectadas a la Barra N°1 |                          |                        |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                |
| 2.1  | Gab. C&P Línea Gloria 1 (C01)    | 1,92                     | 0,29                   | 25                        | 8,75                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,31             | N2XOH<br>2-1x4mm2              |
| 2.2  | Gab. C&P Línea Gloria 2 (C01)    | 1,92                     | 0,23                   | 25                        | 8.07                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,15             | N2XOH<br>2-1x4mm2              |
| 2.3  | Gab. C&P Línea Moyopampa 1 (C01) | 1,92                     | 0,30                   | 25                        | 8,86                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,30             | N2XOH<br>2-1x4mm2              |
| 2.4  | Gab. C&P Línea Moyopampa 2 (C01) | 1,92                     | 0,24                   | 25                        | 8,18                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,18             | N2XOH<br>2-1x4mm2              |
| 2.5  | Gab. C&P Línea Ñaña (C01)        | 1,92                     | 0,29                   | 25                        | 8,75                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,31             | N2XOH<br>2-1x4mm2              |

| N°       | Descripción                             | Potencia momentánea (kW) | Potencia continua (kW) | Longitud del circuito (m) | Corriente de diseño (I <sub>0</sub> ) en A | Número de circuitos agrupados | Cálculo por corriente admisible (A)      |                                    | Cálculo por caída de tensión             |                  | Tipo de conductor seleccionado |
|----------|-----------------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------|--------------------------------|
|          |                                         |                          |                        |                           |                                            |                               | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | I <sub>max</sub> del conductor (A) | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | ΔV (%) acumulado |                                |
| 2.6      | Gab. C&P Línea Santa Clara (C01)        | 1,92                     | 0,29                   | 25                        | 8,75                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,31             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.7      | Gab. C&P Bahía Acoplamiento (C01)       | 1,92                     | 0,16                   | 25                        | 7,27                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,97             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.8      | Gab. Protección de Barras 87B (C01)     | -                        | 0,31                   | 25                        | 3,53                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,15             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.9      | Ctrl. Seccionadores Gloria 1            | -                        | 0,087                  | 25                        | 0,98                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,61             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.10     | Ctrl. Seccionadores Gloria 2            | -                        | 0,087                  | 25                        | 0,98                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,61             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.11     | Ctrl. Seccionadores Moyopampa 1         | -                        | 0,087                  | 25                        | 0,98                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,61             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.12     | Ctrl. Seccionadores Moyopampa 2         | -                        | 0,087                  | 25                        | 0,98                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,61             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.13     | Ctrl. Seccionadores Ñaña                | -                        | 0,087                  | 25                        | 0,98                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,61             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.14     | Ctrl. Seccionadores Santa Clara         | -                        | 0,087                  | 25                        | 0,98                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,61             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.15     | Ctrl. Seccionadores Bahía acople        | -                        | 0,044                  | 25                        | 0,5                                        | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,51             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.16     | Gab. Controlador de SS.AA. (C01)        | -                        | 0,12                   | 25                        | 1,36                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,69             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.17     | Gab. Automatización (C01)               | -                        | 0,77                   | 25                        | 8,75                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 3,31             | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  |
| 2.18     | Gab. Multiplexor (C01)                  | -                        | 0,51                   | 25                        | 5,79                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,65             | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  |
| <b>3</b> | <b>Cargas conectadas a la Barra N°2</b> |                          |                        |                           |                                            |                               |                                          |                                    |                                          |                  |                                |
| 3.1      | Gab. C&P Línea Gloria 1 (C02)           | 1,92                     | 0,14                   | 25                        | 7,04                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,92             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.2      | Gab. C&P Línea Gloria 2 (C02)           | 1,92                     | 0,11                   | 25                        | 6,70                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,85             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.3      | Gab. C&P Línea Moyopampa 1 (C02)        | 1,92                     | 0,15                   | 25                        | 7,16                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,95             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.4      | Gab. C&P Línea Moyopampa 2 (C02)        | 1,92                     | 0,12                   | 25                        | 6,82                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,87             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.5      | Gab. C&P Línea Ñaña (C02)               | 1,92                     | 0,14                   | 25                        | 7,04                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,92             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.6      | Gab. C&P Línea Santa Clara (C02)        | 1,92                     | 0,14                   | 25                        | 7,04                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,92             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.7      | Gab. C&P Bahía Acoplamiento (C02)       | 1,92                     | 0,079                  | 25                        | 6,35                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 2,77             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.8      | Gab. Protección de Barras 87B (C02)     | -                        | 0,16                   | 25                        | 1,81                                       | >9                            | 4                                        | 29,30                              | 4                                        | 1,79             | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.9      | Motores equipos Gloria 1                | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                                       | >9                            | 6                                        | 37,76                              | 6                                        | 1,82             | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |
| 3.10     | Motores equipos Gloria 2                | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                                       | >9                            | 6                                        | 37,76                              | 6                                        | 1,82             | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |
| 3.11     | Motores equipos Moyopampa 1             | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                                       | >9                            | 6                                        | 37,76                              | 6                                        | 1,82             | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |

| N°   | Descripción                      | Potencia momentánea (kW) | Potencia continua (kW) | Longitud del circuito (m) | Corriente de diseño ( $I_0$ ) en A | Número de circuitos agrupados | Cálculo por corriente admisible (A)      |                             | Cálculo por caída de tensión             |                          | Tipo de conductor seleccionado |
|------|----------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|      |                                  |                          |                        |                           |                                    |                               | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | $I_{MAX}$ del conductor (A) | Sección del conductor (mm <sup>2</sup> ) | $\Delta V$ (%) acumulado |                                |
| 3.12 | Motores equipos Moyopampa 2      | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                               | >9                            | 6                                        | 37,76                       | 6                                        | 1,82                     | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |
| 3.13 | Motores equipos Ñaña             | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                               | >9                            | 6                                        | 37,76                       | 6                                        | 1,82                     | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |
| 3.14 | Motores equipos Santa Clara      | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                               | >9                            | 6                                        | 37,76                       | 6                                        | 1,82                     | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |
| 3.15 | Motores equipos Bahía Acople     | 1,05                     | -                      | 25                        | 2,98                               | >9                            | 6                                        | 37,76                       | 6                                        | 1,82                     | N2XOH<br>2-1x6mm <sup>2</sup>  |
| 3.16 | Gab. Controlador de SS.AA. (C02) | -                        | 0,06                   | 25                        | 0,69                               | >9                            | 4                                        | 29,30                       | 4                                        | 1,49                     | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.17 | Gab. Automatización (C02)        | -                        | 0,38                   | 25                        | 4,31                               | >9                            | 4                                        | 29,30                       | 4                                        | 2,01                     | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.18 | Gab. Multiplexor (C02)           | -                        | 0,26                   | 25                        | 2,95                               | >9                            | 4                                        | 29,30                       | 4                                        | 1,82                     | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |
| 3.19 | Alimentación Gab. SS.AA. AC      | -                        | 0,14                   | 25                        | 1,59                               | >9                            | 4                                        | 29,30                       | 4                                        | 1,62                     | N2XOH<br>2-1x4mm <sup>2</sup>  |

## **Anexo 7**

### *Memoria de cálculo de selección de interruptores AC y DC*

#### **Metodología de Cálculo**

El cálculo de la selección de los interruptores para los circuitos de baja tensión se realiza cumpliendo dos criterios:

##### Protección contra sobrecargas:

La selección del interruptor para proteger al circuito contra sobrecargas debe ser tal que no genere desconexiones indeseadas cuando los equipos que alimentan trabajan a plena carga pero que también proteja al conductor de alimentación evitando la circulación de una corriente superior al valor máximo admisible. Por tanto, se debe satisfacer la condición siguiente:

$$I_D < I_N < I_Z$$

Donde:

- $I_D$  : Corriente de diseño (A).
- $I_N$  : Corriente asignada del interruptor (A).
- $I_Z$  : Corriente admisible permanente del conductor (A)

En la subestación Portillo, para los circuitos alimentadores principales se utilizaron cables de fuerza unipolares, mientras que para los circuitos derivados se utilizaron cables multiconductores de 3 o 4 conductores según requerimiento. Se instaló el cable N2XOH, cuyas características de corriente admisible ( $I_Z$ ) están indicadas en las fichas técnicas que se muestran a continuación.

| Sección [mm²] | Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km] | Capac. Corriente enterrado 20°C [A] | Capac. Corriente aire 30°C - formac. plana [A] | Capac. Corriente aire 30°C - formac. triang. [A] | Capacitancia Nominal [pF/m] |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1,5           | 12,1                                | 23                                  | 22                                             | 21                                               | 200,0                       |
| 2,5           | 7,41                                | 30                                  | 30                                             | 29                                               | 239,0                       |
| 4             | 4,61                                | 39                                  | 42                                             | 40                                               | 286,0                       |
| 6             | 3,08                                | 49                                  | 55                                             | 53                                               | 363,0                       |
| 10            | 1,83                                | 65                                  | 77                                             | 74                                               | 408,0                       |
| 16            | 1,15                                | 84                                  | 105                                            | 101                                              | 492,0                       |
| 25            | 0,727                               | 107                                 | 141                                            | 135                                              | 490,0                       |
| 35            | 0,524                               | 129                                 | 176                                            | 169                                              | 564,0                       |
| 50            | 0,387                               | 153                                 | 216                                            | 207                                              | 589,0                       |
| 70            | 0,268                               | 188                                 | 279                                            | 268                                              | 641,0                       |
| 95            | 0,193                               | 226                                 | 342                                            | 328                                              | 744,0                       |
| 120           | 0,153                               | 257                                 | 400                                            | 383                                              | 778,0                       |
| 150           | 0,124                               | 287                                 | 464                                            | 444                                              | 747,0                       |
| 185           | 0,0991                              | 324                                 | 533                                            | 510                                              | 713,0                       |
| 240           | 0,0754                              | 375                                 | 634                                            | 607                                              | 762,0                       |
| 300           | 0,0601                              | 419                                 | 736                                            | 703                                              | 802,0                       |
| 400           | 0,047                               | 491                                 | 868                                            | 823                                              | 838,0                       |
| 500           | 0,0366                              | 554                                 | 998                                            | 946                                              | 859,0                       |
| 630           | 0,0283                              | 627                                 | 1151                                           | 1088                                             | 901,0                       |

**Cable N2XOH Unipolar 0,6/1 kV**



| Nro.Fases | Sección [mm²] | Sección cond. Tierra [mm²] | Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km] | Capac. Corriente enterrado 20°C [A] | Capac. Corriente aire 30°C [A] | Capac. Corriente ducto a 20°C [A] | Capacitancia Nominal [pF/m] |
|-----------|---------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 2         | 4             | 4                          | 4,95                                | 46                                  | 49                             | 43                                | 296,0                       |
| 2         | 6             | 4                          | 3,3                                 | 58                                  | 63                             | 53                                | 343,0                       |
| 2         | 16            | 16                         | 1,21                                | 100                                 | 115                            | 91                                | 557,0                       |
| 3         | 4             | 4                          | 4,95                                | 39                                  | 42                             | 36                                | 296,0                       |
| 3         | 6             | 6                          | 3,3                                 | 49                                  | 54                             | 44                                | 343,0                       |
| 3         | 10            | 10                         | 1,91                                | 65                                  | 75                             | 58                                | 464,0                       |
| 3         | 16            | 16                         | 1,21                                | 84                                  | 100                            | 75                                | 557,0                       |
| 3         | 25            | 25                         | 0,78                                | 107                                 | 127                            | 96                                | 549,0                       |
| 3         | 35            | 35                         | 0,554                               | 129                                 | 158                            | 115                               | 644,0                       |
| 3         | 70            | 35                         | 0,272                               | 188                                 | 246                            | 167                               | 750,0                       |
| 3         | 70            | 70                         | 0,272                               | 188                                 | 246                            | 167                               | 750,0                       |
| 3         | 95            | 50                         | 0,206                               | 226                                 | 298                            | 197                               | 859,0                       |
| 3         | 120           | 70                         | 0,161                               | 257                                 | 346                            | 223                               | 884,0                       |
| 3         | 120           | 120                        | 0,161                               | 257                                 | 346                            | 223                               | 884,0                       |
| 3         | 150           | 70                         | 0,129                               | 287                                 | 399                            | 251                               | 858,0                       |
| 3         | 150           | 150                        | 0,129                               | 287                                 | 399                            | 251                               | 858,0                       |
| 3         | 185           | 95                         | 0,106                               | 324                                 | 456                            | 281                               | 807,0                       |
| 3         | 185           | 120                        | 0,161                               | 456                                 | 324                            | 281                               | 807,0                       |
| 3         | 240           | 120                        | 0,0801                              | 375                                 | 538                            | 324                               | 874,0                       |
| 3         | 300           | 150                        | 0,0641                              | 419                                 | 621                            | 365                               | 919,0                       |
| 4         | 6             | 6                          | 3,3                                 | 49                                  | 54                             | 44                                | 343,0                       |
| 4         | 10            | 10                         | 1,91                                | 65                                  | 75                             | 58                                | 464,0                       |
| 4         | 16            | 16                         | 1,21                                | 84                                  | 100                            | 75                                | 557,0                       |

**Cable N2XOH Multiconductor 0,6/1 kV**



### Protección contra cortocircuitos

Para la protección contra cortocircuitos, se debe garantizar que el interruptor seleccionado cumpla las siguientes premisas:

- El poder de corte debe ser como mínimo igual a la corriente de cortocircuito calculada en el punto donde está instalado el equipo.
- El tiempo de corte de toda corriente que resulte de un cortocircuito no debe ser superior al tiempo que demora en alcanzar la temperatura de los conductores el límite

admisible (que debe estar entre 0,1s a 5s). Para los cables de cobre XLPE, el tiempo máximo se calcula como sigue:

$$\sqrt{t} = \frac{143,1S}{I_{CC}}$$

Donde:

t : Tiempo de duración del cortocircuito en segundos (0,1 a 5 s).

S : Sección de los conductores en mm<sup>2</sup>

I<sub>CC</sub> : Corriente de cortocircuito efectiva (valor eficaz) del sistema (A)

### Selección de interruptores en corriente alterna AC

La corriente de corto circuito calculada en barraje 380 Vac es de 11,40 kA. Este será el máximo valor posible de corriente de cortocircuito que los Tableros de Servicios Auxiliares AC deben poder soportar sin sufrir daños. A partir del valor calculado, se selecciona como valor normalizado una corriente de cortocircuito de 20 kA para el sistema AC.

Para cumplir este requerimiento de diseño, se seleccionaron interruptores del tipo caja moldeada con corriente de cortocircuito 25 kA a 380 Vac. Los interruptores deben contar con umbral térmico regulable y umbral magnético (para las cabeceras) a fin de garantizar la selectividad de protecciones del sistema.

A continuación, se muestra el cuadro resumen de la capacidad de corriente nominal seleccionada para los interruptores de los Tableros de SS.AA. AC.

| N°  | Descripción                           | Corriente de diseño (I <sub>b</sub> ) en A | Corriente de cortocircuito (I <sub>cc</sub> ) en kA | Datos del cable alimentador    |                                            |                                   | Interruptor requerido                     |                 |
|-----|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
|     |                                       |                                            |                                                     | Tipo y sección del conductor   | Corriente admisible (I <sub>z</sub> ) en A | Tiempo de duración de cc (t) en s | Corriente Nominal (I <sub>in</sub> ) en A | Número de Polos |
| 1   | Tablero General de SS.AA. 380/220 Vac | 343,01                                     | 11,40                                               | -                              | -                                          | -                                 | 400                                       | 3               |
| 1.1 | Tablero de Distribución Celdas GIS    | 57,35                                      | 11,40                                               | N2XOH<br>1-4x25mm <sup>2</sup> | 96                                         | 0,09                              | 63                                        | 3               |
| 1.2 | Tablero Sala de Control (TD1)         | 46,43                                      | 11,40                                               | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup> | 75                                         | 0,04                              | 50                                        | 3               |
| 1.3 | SS.AA. del G.E.                       | 11,23                                      | 11,40                                               | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 53                                         | 0,005                             | 16                                        | 2               |
| 1.4 | Puente Grúa                           | 13,45                                      | 11,40                                               | N2XOH<br>1-4x6mm <sup>2</sup>  | 44                                         | 0,005                             | 25                                        | 3               |

| N°       | Descripción                                                   | Corriente de diseño ( $I_b$ ) en A | Corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) en kA | Datos del cable alimentador     |                                    |                                   | Interruptor requerido            |                 |
|----------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
|          |                                                               |                                    |                                               | Tipo y sección del conductor    | Corriente admisible ( $I_z$ ) en A | Tiempo de duración de cc (t) en s | Corriente Nominal ( $I_n$ ) en A | Número de Polos |
| 1.5      | Calefacción e Iluminación Tableros C&P                        | 39,84                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x10mm <sup>2</sup>  | 58                                 | 0,015                             | 40                               | 2               |
| 1.6      | Calefacción e Iluminación Tableros SS.AA.                     | 22,12                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>   | 53                                 | 0,005                             | 25                               | 2               |
| 1.7      | Calefacción e Iluminación Tableros SAS                        | 8,82                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 2               |
| 1.8      | Reserva equipada 01                                           | 38,76                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 40                               | 3               |
| 1.9      | Reserva equipada 02                                           | 18,23                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 25                               | 3               |
| 1.10     | Reserva equipada 03                                           | 18,23                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 20                               | 3               |
| 1.11     | Reserva equipada 04                                           | 11,39                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 16                               | 3               |
| 1.12     | Tablero de Transferencia Automática                           | 196,48                             | 11,40                                         | N2XOH<br>3-1x120mm <sup>2</sup> | 226                                | 1,42                              | 200                              | 3               |
| <b>2</b> | <b>Tablero de Transferencia Automática 380/220 Vac</b>        | <b>196,48</b>                      | <b>11,40</b>                                  | -                               | -                                  | -                                 | <b>200</b>                       | <b>3</b>        |
| 2.1      | Aire acondicionado Sala de Control                            | 17,56                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x6mm <sup>2</sup>   | 44                                 | 0,005                             | 25                               | 3               |
| 2.2      | Extractor de aire Sala de Baterías                            | 9,76                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 2               |
| 2.3      | Sistema contra incendios Sala de Control                      | 21,39                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>   | 53                                 | 0,005                             | 25                               | 2               |
| 2.4      | Sistema de video vigilancia                                   | 1,87                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 2               |
| 2.5      | Cargador Rectificador 01                                      | 32,39                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup>  | 58                                 | 0,015                             | 50                               | 3               |
| 2.6      | Cargador Rectificador 02                                      | 32,39                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup>  | 58                                 | 0,015                             | 50                               | 3               |
| 2.7      | Aire acondicionado Sala GIS                                   | 49,06                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup>  | 75                                 | 0,04                              | 50                               | 3               |
| 2.8      | Sistema contra incendios Sala GIS                             | 42,78                              | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x16mm <sup>2</sup>  | 91                                 | 0,04                              | 50                               | 2               |
| 2.9      | Tablero de Automatización SAS                                 | 4,47                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 2               |
| 2.10     | Reserva equipada 01                                           | 11,39                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 16                               | 3               |
| 2.11     | Reserva equipada 02                                           | 27,27                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 32                               | 2               |
| 2.12     | Reserva equipada 03                                           | 13,63                              | 11,40                                         | -                               | -                                  | -                                 | 16                               | 2               |
| <b>3</b> | <b>Tablero de Distribución 380Vac Alimentación Celdas GIS</b> | <b>37,60</b>                       | <b>11,40</b>                                  | -                               | -                                  | -                                 | <b>50</b>                        | <b>3</b>        |
| 3.1      | Gabinete GIS Gloria 1                                         | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |
| 3.2      | Gabinete GIS Gloria 2                                         | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |
| 3.3      | Gabinete GIS Moyopampa 1                                      | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |
| 3.4      | Gabinete GIS Moyopampa 2                                      | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup>   | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |

| N°   | Descripción                     | Corriente de diseño ( $I_b$ ) en A | Corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) en kA | Datos del cable alimentador   |                                    |                                   | Interruptor requerido            |                 |
|------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
|      |                                 |                                    |                                               | Tipo y sección del conductor  | Corriente admisible ( $I_z$ ) en A | Tiempo de duración de cc (t) en s | Corriente Nominal ( $I_n$ ) en A | Número de Polos |
| 3.5  | Gabinete GIS Ñaña               | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |
| 3.6  | Gabinete GIS Santa Clara        | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |
| 3.7  | Gabinete GIS Celda Acoplamiento | 4,69                               | 11,40                                         | N2XOH<br>1-4x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 3               |
| 3.8  | Reserva equipada 01             | 4,69                               | 11,40                                         | -                             | -                                  | -                                 | 16                               | 3               |
| 3.9  | Reserva equipada 02             | 4,69                               | 11,40                                         | -                             | -                                  | -                                 | 16                               | 3               |
| 3.10 | Reserva equipada 03             | 4,69                               | 11,40                                         | -                             | -                                  | -                                 | 16                               | 3               |

### Selección de interruptores en corriente continua DC

La corriente de corto circuito calculada en barraje 110 Vdc es de 6,43 kA. Este será el máximo valor posible de corriente de cortocircuito que los Tableros de Servicios Auxiliares DC deben poder soportar sin sufrir daños. A partir del valor calculado, se selecciona como valor normalizado una corriente de cortocircuito de 10 kA para el sistema AC.

Para cumplir este requerimiento de diseño, para las cabeceras del tablero se seleccionaron interruptores del tipo caja moldeada con corriente de cortocircuito 18 kA a 250 Vdc. Estos interruptores deben contar con umbral térmico regulable a fin de garantizar la selectividad de protecciones del sistema con los interruptores aguas abajo. Para los circuitos alimentadores, se seleccionaron interruptores de salida en tipo Riel DIN con corriente de cortocircuito 10 kA.

A continuación, se muestra el cuadro resumen de la capacidad de corriente nominal seleccionada para los interruptores de los Tableros de SS.AA. AC.

| N°       | Descripción                                 | Corriente de diseño ( $I_b$ ) en A | Corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) en kA | Datos del cable alimentador   |                                    |                                   | Interruptor requerido            |                 |
|----------|---------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
|          |                                             |                                    |                                               | Tipo y sección del conductor  | Corriente admisible ( $I_z$ ) en A | Tiempo de duración de cc (t) en s | Corriente Nominal ( $I_n$ ) en A | Número de Polos |
| <b>1</b> | <b>Barra Colectora N°1</b>                  | <b>110,64</b>                      | <b>6,43</b>                                   | -                             |                                    |                                   | <b>25</b>                        |                 |
| 1.1      | Gab. C&P Línea Gloria 1 (C01)               | 8,75                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.2      | Gab. C&P Línea Gloria 2 (C01)               | 8,07                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.3      | Gab. C&P Línea Moyopampa 1 (C01)            | 8,86                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.4      | Gab. C&P Línea Moyopampa 2 (C01)            | 8,18                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.5      | Gab. C&P Línea Ñaña (C01)                   | 8,75                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.6      | Gab. C&P Línea Santa Clara (C01)            | 8,75                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.7      | Gab. C&P Bahía Acoplamiento (C01)           | 7,27                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.8      | Gab. Protección de Barras 87B (C01)         | 3,53                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.9      | Control de Seccionadores Línea Gloria 1     | 0,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.10     | Control de Seccionadores Línea Gloria 2     | 0,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.11     | Control de Seccionadores Línea Moyopampa 1  | 0,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.12     | Control de Seccionadores Línea Moyopampa 2  | 0,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.13     | Control de Seccionadores Línea Ñaña         | 0,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.14     | Control de Seccionadores Línea Santa Clara  | 0,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.15     | Control de Seccionadores Bahía Acoplamiento | 0,50                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.16     | Gab. Controlador de SS.AA. (C01)            | 1,36                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.17     | Gab. De Automatización (C01)                | 8,75                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 1.18     | Gab. Multiplexor (C01)                      | 5,79                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 10                               | 2               |
| 1.19     | Reserva equipada 01                         | 7,25                               | 6,43                                          | -                             | -                                  | -                                 | 16                               | 2               |
| 1.20     | Reserva equipada 02                         | 1,42                               | 6,43                                          | -                             | -                                  | -                                 | 10                               | 2               |
| 1.21     | Reserva equipada 03                         | 3,97                               | 6,43                                          | -                             | -                                  | -                                 | 10                               | 2               |
| <b>2</b> | <b>Barra Colectora N°2</b>                  | <b>110,64</b>                      | <b>6,43</b>                                   | -                             | -                                  | -                                 | <b>125</b>                       | <b>2</b>        |
| 2.1      | Gab. C&P Línea Gloria 1 (C02)               | 7,04                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.2      | Gab. C&P Línea Gloria 2 (C02)               | 6,70                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |

| N°   | Descripción                                     | Corriente de diseño ( $I_D$ ) en A | Corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) en kA | Datos del cable alimentador    |                                    |                                   | Interruptor requerido            |                 |
|------|-------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|
|      |                                                 |                                    |                                               | Tipo y sección del conductor   | Corriente admisible ( $I_z$ ) en A | Tiempo de duración de cc (t) en s | Corriente Nominal ( $I_N$ ) en A | Número de Polos |
| 2.3  | Gab. C&P Línea Moyopampa 1 (C02)                | 7,16                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.4  | Gab. C&P Línea Moyopampa 2 (C02)                | 6,82                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.5  | Gab. C&P Línea Ñaña (C02)                       | 7,04                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.6  | Gab. C&P Línea Santa Clara (C02)                | 7,04                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.7  | Gab. C&P Bahía Acoplamiento (C02)               | 6,35                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-4x16mm <sup>2</sup> | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.8  | Gab. Protección de Barras 87B (C02)             | 1,81                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,008                             | 16                               | 2               |
| 2.9  | Alimentación Motores equipos Línea Gloria 1     | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 2               |
| 2.10 | Alimentación Motores equipos Línea Gloria 2     | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 53                                 | 0,02                              | 16                               | 2               |
| 2.11 | Alimentación Motores equipos Línea Moyopampa 1  | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 53                                 | 0,02                              | 16                               | 2               |
| 2.12 | Alimentación Motores equipos Línea Moyopampa 2  | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 53                                 | 0,02                              | 16                               | 2               |
| 2.13 | Alimentación Motores equipos Línea Ñaña         | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 53                                 | 0,02                              | 16                               | 2               |
| 2.14 | Alimentación Motores equipos Línea Santa Clara  | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 53                                 | 0,02                              | 16                               | 2               |
| 2.15 | Alimentación Motores equipos Bahía Acoplamiento | 2,98                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x6mm <sup>2</sup>  | 53                                 | 0,02                              | 16                               | 2               |
| 2.16 | Gab. Controlador de SS.AA. (C02)                | 0,69                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,002                             | 10                               | 2               |
| 2.17 | Gab. De Automatización (C02)                    | 4,31                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,002                             | 16                               | 2               |
| 2.18 | Gab. Multiplexor (C02)                          | 2,95                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,002                             | 10                               | 2               |
| 2.19 | Alimentación Gabinetes SS.AA. AC                | 1,59                               | 6,43                                          | N2XOH<br>1-2x4mm <sup>2</sup>  | 43                                 | 0,002                             | 10                               | 2               |
| 2.20 | Reserva equipada 04                             | 3,41                               | 6,43                                          | -                              | -                                  | -                                 | 10                               | 2               |
| 2.21 | Reserva equipada 05                             | 1,42                               | 6,43                                          | -                              | -                                  | -                                 | 10                               | 2               |
| 2.22 | Reserva equipada 06                             | 1,42                               | 6,43                                          | -                              | -                                  | -                                 | 10                               | 2               |

## Anexo 8

### Cálculo de servicios auxiliares AC mediante software de diseño

[illegible]

|                                         |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
|-----------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--|-------------|--|-------------------------|--|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Criterios de cálculo y dimensionamiento |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Método-Estándar de Cálculo              |  | IEC 60909-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Standard for cable dimensioning         |  | IEC 60364                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Overload                                |  | Overload verifications are made according the following relations: $I_B \leq I_n \leq I_z$ and $I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
|                                         |  | Legenda:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
|                                         |  | $I_B$ = the current for which the circuit is designed                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
|                                         |  | $I_n$ = nominal current of the protective device (For adjustable protective devices, the nominal current $I_n$ is the current setting selected)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
|                                         |  | $I_2$ = current ensuring effective operation in the conventional time of the protective device                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
|                                         |  | $I_z$ = capacidad de conducción del cable acorde al estándar elegido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Cortocircuito                           |  | <p>Interruptores automáticos y fusibles son dimensions con la capacidad de ruptura mayor a la máxima corriente de cortocircuito en el punto de instalación.</p> <p>Circuit breakers dimensioned according to IEC 60497-2 are also chosen with the making capacity <math>I_{cm}</math> higher than the maximum peak current</p> <p>La protección por cortocircuito debe satisfacer la siguiente regla <math>I_{ct} \leq K I_{sc}</math></p> <p>Legenda:</p> <p><math>I_{ct}</math> = energía pasante a la corriente máxima de cortocircuito (definida por el fabricante)</p> <p><math>S</math> = sección de los conductores</p> <p><math>K</math> = factor definido en IEC60364-4-43 tabla 43A y IEC60364-5-54 tablas A.54.2, A.54.4 y A-54.5</p> |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Contacto indirecto                      |  | <p>Sistemas TT: la verificación es <math>I_{dn} \cdot R_t \leq V_o</math>, o <math>I_m \leq I_b \min</math></p> <p>Sistemas TN: la verificación es <math>I_m \leq I_b \min</math></p> <p>Legenda:</p> <p><math>I_{dn}</math> = sensibilidad del interruptor diferencial</p> <p><math>R_a</math> = resistencia a tierra</p> <p><math>V_o</math> = max admitted contact voltage</p> <p><math>I_m</math> = valor de tripeo del dispositivo de protección al tiempo límite</p> <p><math>I_b \min</math> = mínima corriente de cortocircuito al final de la línea</p>                                                                                                                                                                                 |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Selectividad y Back-up                  |  | <p>Los valores de selectividad y back-up son determinados por tests de laboratorio del fabricante</p> <p>Discrimination required in the installation (see indications on the single-line and the Discrimination report</p> <p>Backup not required in the installation</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Rev. n1                                 |  | Fecha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |       |  | Descripción |  | Servicios Auxiliares AC |  | Fuente:<br>Proyecto:<br>Activos:<br>Date: | Número de Diagrama:<br>SET PORTILLO 000V<br>Págs: 1<br>Siguiente página:<br>Págs: 1 |
| Rev. n2                                 |  | Disenador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| Rev. n3                                 |  | Revisador                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |
| REVISIONES                              |  | Fecha                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Firma |  |             |  |                         |  |                                           |                                                                                     |



