



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE  
DISEÑO PARA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN  
BELLAVISTA, EN 60/10 KV– PUNO, CON CELDAS TIPO GIS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ALEXANDER DAVID FLORES IBEROS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN BELLAVISTA, EN 6**

AUTOR

**ALEXANDER DAVID FLORES IBEROS**

RECuento DE PALABRAS

**12542 Words**

RECuento DE CARACTERES

**75368 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**118 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**20.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jan 27, 2024 10:36 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jan 27, 2024 10:38 AM GMT-5**


● **15% de similitud general**

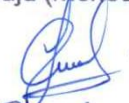
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

  
M. Sc. OMAR LUIS WEIRA CUTIPA  
ASESOR

  
Vº Bº Sob Dirección de Investigación  
Msc. Felipe Condori Chambilla

Resumen



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mis padres y a mi hermana por que fueron mi guía y apoyo para culminar mis estudios.*

*Alexander David Flores Iberos*



## AGRADECIMIENTOS

*El más sincero agradecimiento a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por darme la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa institución, como también a todos los docentes que obran con valor para el buen desarrollo de buenos profesionales y a todos mis compañeros con los que pasamos grandes momentos.*

***Alexander David Flores Iberos***



# ÍNDICE GENERAL

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| <b>DEDICATORIA</b>                              |           |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>                          |           |
| <b>ÍNDICE GENERAL</b>                           |           |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>                        |           |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>                         |           |
| <b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>                         |           |
| <b>ACRÓNIMOS</b>                                |           |
| <b>RESUMEN .....</b>                            | <b>15</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                            | <b>16</b> |
| <b>CAPÍTULO I</b>                               |           |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                             |           |
| <b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>     | <b>17</b> |
| 1.1.1. Descripción del problema .....           | 17        |
| 1.1.2. Formulación del problema .....           | 18        |
| 1.1.3. Problema general .....                   | 18        |
| <b>1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>     | <b>18</b> |
| 1.1.4. Justificación técnica .....              | 19        |
| <b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b> | <b>19</b> |
| 1.3.1. Objetivo general.....                    | 19        |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....              | 19        |



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>2.1.</b> | <b>ANTECEDENTES .....</b>  | <b>20</b> |
| 2.1.1.      | Antecedentes internacionales.....  | 20        |
| 2.1.2.      | Antecedentes Nacionales .....  | 22        |
| <b>2.2.</b> | <b>CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....</b>                                  | <b>23</b> |
| 2.2.1       | Condiciones climatológicas .....   | 23        |
| 2.2.2       | Nivel Ceraunico .....  | 24        |
| <b>2.3</b>  | <b>MARCO TEÓRICO .....</b>   | <b>25</b> |
| 2.3.1       | División y Características del Sector Eléctrico Peruano .....                          | 25        |
| 2.3.2       | Distribución Eléctrica en el Mercado Peruano .....                                     | 27        |
| <b>2.4.</b> | <b>DEFINICIÓN, DE LOS TIPOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS....</b>                        | <b>28</b> |
| 2.4.1       | Subestaciones eléctricas de potencia .....   | 28        |
| 2.4.2       | Tipos de subestaciones.....  | 29        |
| 2.4.3       | Tipos de subestaciones de potencia según su aislamiento.....                           | 30        |
| <b>2.5.</b> | <b>DEFINICIÓN, DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA<br/>SUBESTACIÓN TIPO AIS.....</b> | <b>33</b> |
| 2.5.1.      | DEFINICIÓN, DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES AIS.....                                    | 33        |
| 2.5.1.1.    | Interruptores de Circuito .....  | 33        |
| 2.5.1.2.    | Transformadores de Potencia.....   | 34        |
| 2.5.1.3.    | Seccionadores.....   | 34        |
| 2.5.1.4.    | Conductores y barras colectoras .....  | 35        |
| 2.5.1.5.    | Transformadores de Corriente y de Voltaje.....   | 35        |
| 2.5.1.6.    | Medidores y Equipos de Control .....   | 37        |
| 2.6.1       | Definición, descripción de los componentes GIS .....                                   | 37        |



|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 2.6.2       | Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> ) .....                         | 39        |
| 2.6.2.1     | Propiedades Eléctricas del SF <sub>6</sub> .....                        | 40        |
| 2.6.3       | Bus Bar .....   | 40        |
| 2.6.4       | Interconexión GIS .....   | 42        |
| 2.6.5       | Circuit Breakers (Interruptores Automáticos).....                       | 43        |
| 2.6.6       | Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra .....                  | 45        |
| 2.6.7       | Modulo de terminales de cables y terminales SF <sub>6</sub> – Aire..... | 46        |
| 2.6.7.1     | Terminal de cables .....  | 46        |
| 2.6.7.2     | Terminal de cables .....  | 47        |
| 2.6.8       | Modulo de terminales de cables y terminales SF <sub>6</sub> – Aire..... | 48        |
| 2.6.8.1     | Transformador de corriente.....   | 48        |
| 2.6.8.2     | Transformador de Tensión .....  | 49        |
| 2.6.9       | Módulos Adicionales .....   | 50        |
| 2.6.10      | Control y Supervisión .....   | 50        |
| 2.6.10.1    | Armario de control convencional.....                                    | 50        |
| <b>2.7.</b> | <b>ARREGLOS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA TIPO GIS .....</b>             | <b>51</b> |

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>3.1.</b> | <b>MATERIALES.....</b>                        | <b>57</b> |
| <b>3.2.</b> | <b>CLASIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b> | <b>57</b> |
| <b>3.3.</b> | <b>VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>    | <b>57</b> |
| 3.3.1       | Definición de las variables .....             | 57        |
| <b>3.4.</b> | <b>POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>              | <b>58</b> |
| 3.4.1.      | Población.....                                | 58        |
| 3.4.2.      | Muestra.....                                  | 58        |



|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>3.5.</b> | <b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>                        | <b>58</b> |
| <b>3.6.</b> | <b>METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN.....</b>           | <b>58</b> |
| 3.6.1.      | Preprocesamiento de datos .....                                     | 59        |
| 3.6.2.      | Por qué utilizar GIS en la ampliación de la subestación .....       | 63        |
| 3.6.3.      | Características del Sistema.....                                    | 64        |
| 3.6.4.      | Determinación de parámetros para diseño de una Subestación tipo GIS | 65        |
| 3.6.4.1.    | Determinación de las Corrientes de Cortocircuito .....              | 66        |
| 3.6.4.2     | Coordinación de asilamiento .....                                   | 67        |
| 3.6.5.      | Criterios para selección de Pararrayos .....                        | 71        |
| 3.6.6.      | Filosofía de control, mando, protección y medición.....             | 72        |
| 3.6.7.      | Conceptos de diseño para la malla a tierra.....                     | 72        |
| 3.6.8.      | Comparación técnica de alternativas.....                            | 73        |
| 3.6.9.      | Ventajas en confiabilidad.....                                      | 73        |

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>4.1.</b> | <b>DATOS ANALIZADOS .....</b>  | <b>75</b> |
| <b>4.2.</b> | <b>VENTAJAS PARA EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN TIPO GIS.....</b>  | <b>76</b> |
| <b>4.3.</b> | <b>VENTAJAS EN SEGURIDAD .....</b>   | <b>77</b> |
| <b>4.4.</b> | <b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>  | <b>77</b> |
| <b>4.5.</b> | <b>DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y DIAGRAMA DE FLUJO PARA<br/>EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN TIPO GIS.....</b> | <b>79</b> |
| <b>4.6.</b> | <b>DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE LA ALTERNATIVA GIS ...</b>   | <b>81</b> |
| <b>4.7.</b> | <b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>   | <b>82</b> |
| <b>V.</b>   | <b>CONCLUSIONES.....</b>   | <b>84</b> |
| <b>VI.</b>  | <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>85</b> |





|   |           |
|---|-----------|
| <b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b> | <b>86</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                          | <b>89</b> |

Área: Ingeniería Eléctrica

Tema: Subestaciones de potencia

FECHA DE SUSTENTACION: 31 de enero de 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1 Tipos de subestaciones .....  | 29          |
| Tabla 2 Operacionalización de variables .....   | 57          |
| Tabla 3 Características del sistema .....   | 65          |
| Tabla 4 Características del sistema .....   | 73          |
| Tabla 5 Ventajas y desventajas comparativas de las subestaciones eléctricas<br>encapsuladas. .... | 75          |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|           | <b>Pág.</b>  |
|-----------|--|
| Figura 1  | Clima de puno ..... 24   |
| Figura 2  | Mapa Ceraunico ..... 25  |
| Figura 3  | Cadena de Valor de la Electricidad..... 26   |
| Figura 4  | Empresas de Ditríbución Eléctrica..... 28  |
| Figura 5  | Subestación aislada en aire (ais) ..... 30   |
| Figura 6  | Subestación tipo gis 60kv LAP..... 31  |
| Figura 7  | Subestación hibrida compacta..... 32   |
| Figura 8  | Interruptores de Potencia ..... 33   |
| Figura 9  | Transformador de Potencia ..... 34   |
| Figura 10 | Seccionador de Chuchillas Giratorias ..... 35  |
| Figura 11 | Transformador de Voltaje ..... 36  |
| Figura 12 | Transformador de Corriente..... 36   |
| Figura 13 | Equipo eléctrico dentro de una subestación tipo GIS ..... 38   |
| Figura 14 | Caja Metá lica para Bus Bar (Barra Colectora) ..... 41   |
| Figura 15 | SIEMENS TYPE 8DQ1 circuit breaker interrupter module..... 44 <u>1</u>                                      |
| Figura 16 | 1 – Conductor de barra; 2 – Seccionador/Seccionador de puesta a tierra –<br>Accionamiento abierto ..... 45 |
| Figura 17 | Modulo de conexión de cables para terminales enchufables ..... 46  |
| Figura 18 | Terminal SF6 para conexión a linea aérea ..... 47  |
| Figura 19 | Partes del transformador de Potencial y Corriente ..... 49   |
| Figura 20 | Configuración de doble barra con armario de control integrado ..... 51                                     |
| Figura 21 | Esquema de gas y diagrama unifilar para disposición de doble barra ..... 52                                |



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 22 | Representación isométrica de una disposición de doble barra con armarios de control integrado .....                        | 52 |
| Figura 23 | Esquema de gas y diagrama unifilar para la disposición de barra simple....   | 53 |
| Figura 24 | Representación isométrica de una disposición de interruptor y medio con armarios de control integrados .....               | 54 |
| Figura 25 | Esquema de gas y diagrama unifilar para la disposición de barra en anillo  | 55 |
| Figura 26 | representación isométrica de una disposición de barra en anillo con armarios de control integrados .....                   | 55 |
| Figura 27 | Esquema de gas y diagrama unifilar para la disposición de conexión en “H” .....  | 56 |
| Figura 28 | Representación isométrica de una disposición de conexión en “H” .....  | 56 |
| Figura 29 | Procedimiento para el diseño de subestaciones .....  | 59 |
| Figura 30 | Localización de la subestación Bellavista.....   | 61 |
| Figura 31 | Espacio disponible para la ampliación.....   | 62 |
| Figura 32 | Tabla N°02 de la noram IEC-60071-1 .....   | 70 |
| Figura 33 | Seccion transversal de una subestación GIS y el equipo usado en ella comprado con el de una subestación convencional ..... | 74 |
| Figura 34 | Diagrama de flujo para el diseño de una subestación tipo GIS .....   | 80 |
| Figura 35 | Bahia compacta 72.5KV, de barra simple .....   | 82 |



## ÍNDICE DE ANEXOS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>ANEXO 1:</b> Disposición de equipos actual de la set bellavista. ....                     | 89          |
| <b>ANEXO 2:</b> Diagrama unifilar actual.....  | 90          |
| <b>ANEXO 3:</b> Diagrama unifilar propuesto .....  | 91          |
| <b>ANEXO 4:</b> Resultados modelamiento malla a tierra en ETAP .....                         | 92          |
| <b>ANEXO 5:</b> Catálogo de productos GENERAL ELECTRIC .....                                 | 93          |
| <b>ANEXO 6:</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis. ....                            | 117         |
| <b>ANEXO 7:</b> Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional ..... | 118         |



## ACRÓNIMOS

|        |   |
|--------|---|
| GIS:   | Gas Insulated Switchgear                          |
| AIS:   | Air Insulated Switchgear                          |
| ELPU:  | Electro Puno S.A.A.                               |
| IEC:   | International Electrotechnical Commission         |
| IEEE:  | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| MINEM: | Ministerio de Energía y Minas                     |



## RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo realizar evaluación y optimizar los parámetros para el diseño de una subestación eléctrica de potencia, evaluando la implementación de una subestación y celdas del tipo GIS (gas insulated switchgear), basada en el gas SF<sub>6</sub>, para una implementación en la SET Bellavista, se analizó de acuerdo a valores eléctricos de operación: corriente de cortocircuito, corriente de barras y corriente nominal, también se tomó aspectos como las dimensiones y área ocupada, requerimiento de mantenimiento, costos de adquisición y montaje conforman la base del análisis del presente proyecto. En base al análisis entre los tipos de subestaciones AIS y/o GIS, se determinó que para nuestro caso práctico es mejor realizar una implementación con una subestación tipo GIS, esto debido una GIS no requerirá realizar de maniobras dentro de la subestación para su instalación, esta requiere poco espacio además nos genera fiabilidad, seguridad y operatividad adecuada para una subestación que se encuentra en un entorno urbano. En cuanto al tipo de investigación de acuerdo a la planteado en la presente se determinó como enfoque de investigación cuantitativo y tipo descriptivo según los objetivos planteados. El presente estudio se realizó para un caso particular la SET Bellavista que se encuentra en el barrio del mismo nombre en la ciudad de Puno, la cual esta alimentada en 60Kv.

**Palabras Clave:** Evaluación de Parámetros, Diseño, Subestación, Celdas GIS.



## ABSTRACT

This thesis project aims to evaluate and optimize the parameters for the design of an electrical power substation, evaluating the implementation of a substation and cells of the GIS type (gas insulated switchgear), based on SF<sub>6</sub> gas, for an implementation at SET Bellavista, was analyzed according to electrical operating values: short circuit current, busbar current and rated current, also took aspects such as the dimensions and occupied area, maintenance requirements, acquisition and assembly costs form the basis of the analysis of this project. Based on the analysis between the types of AIS and/or GIS substations, it was determined that for our practical case it is better to implement a GIS type substation, because a GIS will not require maneuvers inside the substation for its installation, it requires little space and it also generates reliability, safety and adequate operation for a substation located in an urban environment. As for the type of research according to the present proposal, it was determined as a quantitative research approach and descriptive type according to the proposed objectives. The present study was carried out for a particular case, the Bellavista substation located in the neighborhood of the same name in the city of Puno, which is fed at 60Kv.

**Key words:** Parameter Evaluation, Design, Substation, GIS Cells.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la SET Bellavista cuenta con una demanda pico de 13.2MW en hora punta, lo cual con el pasar del tiempo no tendrá la potencia suficiente para suministrar de energía eléctrica completamente a la ciudad de puno.

Para lo cual es necesario ampliar la capacidad de la SET Bellavista mediante la instalación de un nuevo transformador de potencia, y nuevas celdas, por lo cual se está proponiendo una alternativa diferente a la tradicional la cual es implementar una subestación del tipo GIS la cual es una alternativa técnicamente viable debido al limitado espacio que posee las instalaciones de la SET Bellavista a su vez se tiene en cuenta que el mantenimiento es el mínimo necesario.

Para su diseño se incluyen los cálculos eléctricos necesarios, características técnicas de los equipos, los planos, simulación de la instalación y una comparativa de resultados.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1.1. Descripción del problema

Actualmente el sistema eléctrico de la ciudad de Puno, operado por la empresa concesionaria de distribución eléctrica, Electro Puno S.A.A., presenta sobrecargas en la subestación Bellavista en sus 2 transformadores de potencia, subestación la cual es operada por la misma empresa, estas sobrecargas se dan en horas de alta demanda (desde las 18:00 a 24:00 horas), según informes técnicos de Osinerming.



Dichos hechos están causando un deterioro del tiempo de vida del transformador de la SET y la alta probabilidad de fallas por sobrecarga.

Debido a esto la empresa concesionaria tenía previsto dentro de su plan de inversión 2017-2021 la instalación de un transformador tipo AIS de 25MVA, el cual fue ratificado en el informe de aprobación del plan operativo y presupuesto del año 2022, dicha ampliación no fue ejecutada hasta la actualidad.

Adicionalmente se presenta un problema de limitación de espacio, lo cual limita las posibilidades de ampliación.

### **1.1.2. Formulación del problema**

La presente investigación tiene como objetivo presentar una propuesta para la ampliación de potencia de la subestación bellavista con el uso de tecnología GIS en el estudio de los parámetros electromecánicos para el diseño de la ampliación subestación bellavista.

### **1.1.3. Problema general**

¿Cuáles son los parámetros electromecánicos a analizar durante el diseño de la ampliación de la SET Bellavista utilizando tecnología GIS?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El desarrollo en la sociedad viene de la mano con el desarrollo del sector energético, el cual a su vez en los últimos años ha tenido un crecimiento significativo, con lo cual se está generando una sobrecarga en horas punta de uno de los transformadores de la SET Bellavista, por lo tanto, es necesario garantizar la correcta operación de la SET



Bellavista, esto ayudara a asegurar el suministro de energía eléctrica de calidad e ininterrumpida de la ciudad de Puno.

El presente proyecto pretende analizar los diferentes parámetros a ser tomados en cuenta durante el diseño de una ampliación de la SET Bellavista, implementado tecnología GIS, la cual garantizara la correcta operación y abastecimiento de energía eléctrica a la ciudad de Puno.

#### **1.1.4. Justificación técnica**

La ampliación servirá para garantizar el abastecimiento de energía eléctrica de la ciudad de Puno, a su vez facilitará el proceso de mantenimiento de la SET, debido a que la tecnología GIS requiere un manteamiento mínimo.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar los parámetros electromecánicos para la ampliación de una subestación de potencia, para lo cual se propondrá el uso de tecnología GIS.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar una comparación del uso de tecnología AIS y GIS.
- Costo de implementar tecnología GIS.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Bucar Roger, Sergi (2015) en su tesis “Proyecto de una subestación tipo GIS para suministro a la red ferroviaria” Realiza el diseño de una subestación tipo GIS en 110 - 27.5 KV con el objetivo de suministrar energía a una red ferroviaria. En el diseño se ha escogido el uso interruptores y seccionadores compartos del tipo SF<sub>6</sub> debido a que el área de influencia del proyecto se encuentra en una zona rural cercana a una zona urbana, gracias a esto se ha reducido el espacio ocupado. A su vez en el diseño se consideró la alimentación mediante dos transformadores ambos independientes de la misma potencia, esto permitirá que el mantenimiento e inspección no afecte la prestación del servicio.

López Sotomayor, Javier (2018), en su tesis “Diseño técnico-económico de una subestación eléctrica GIS en entorno urbano” Realiza, describe y justifica mediante calculo los equipos más importantes que conformar una subestación de tecnología GIS dentro de un entorno urbano de espacio reducido (subterránea), mediante la realización de todos los planos se describe todo el esquema eléctrico de la subestación.

Flores Ramirez, Alejandro Tomas (2010), en su tesis “Reemplazo de subestaciones convencionales aisladas en aire por tecnología GIS (SF<sub>6</sub>)” Analiza los aspectos más relevantes relacionados con el reemplazo de subestaciones AIS por GIS, para realizar este análisis se toma en cuenta la ampliación de la SET O’Higgins debido a que esta se encuentra en un centro industrial y que debido a



la creciente demanda de energía de los últimos años en centros urbanos e industriales se presenta una reducida disponibilidad de espacio para la ubicación de subestaciones por lo cual se realiza el análisis de una ampliación utilizando tecnología GIS, a esto se adiciona que el uso de tecnología GIS garantiza robustez de operación y un mínimo mantenimiento esto otorgara una enorme flexibilidad en la operación.

Zimmermann, Werner; Osterholt, André; Backes, Jürgen (1999), en la revista “ABB Calor Emag Schaltanlagen AG” Mediante los estudios realizados por ABB se demuestra que la tecnología GIS nos permite situar las subestaciones de transformación de alta tensión en centro urbanos esto debido a que el uso de tecnología AIS rara vez dispone de espacio suficiente, pero no solo el menor espacio ocupado por las subestaciones GIS la convierten en la mejor opción, si no que se trata de la opción más viable cuando se trata de ampliar la capacidad de una subestación o de sustituir una subestación que por el tiempo de uso ya se encuentra deteriorada.

Rodríguez García, Alejandro (2017), en su trabajo de maestría “Diseño y simulación de una subestación transformadora gis enterrada 200/20kV 50MVA” El proyecto consiste en la renovación de la antigua subestación eléctrica, como parte del proyecto de renovación eléctrica de Valencia para la realización del proyecto recurre a una comparación de los componentes de una subestación tipo AIS y los componentes de una subestación GIS, analizando que las subestaciones del tipo GIS tienen el mismo principio de funcionamiento que las AIS pero con diferente diseño, esto debido a que la subestación GIS esta ensamblada e integrada dentro de una capsula de aluminio con SF<sub>6</sub> (sulfur hexafluoride gas). Asu vez el proyecto se encuentra dentro de un centro urbano por lo cual se requiere que el



diseño sea considerado ambientalmente amigable por lo cual se opta por subestación tipo subterránea la cual lograra ocultar el 95% de el volumen comparado con una subestación del tipo AIS, esto debido a la mínima distancia entre el equipamiento de la subestación, debido a estos factores es que se opta por realizar el diseño con una subestación basada en GIS de 200/20 kV con dos transformadores de potencia de 25 MVA cada uno.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Florez Lima, Edemir (2017) en su tesis “DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y PROPUESTAS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ENCAPSULADA EN GAS (SF<sub>6</sub>), PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN MIGUEL-INTIHUATANA-URUBAMBA-CUSCO”, Realiza el diseño de una subestación GIS para una central hidroeléctrica ubicada en la localidad de SAN MIGUEL en la región CUSCO, con el objetivo principal de realizar la distribución e implementación de la subestación (GIS), esto con la intención de utilizar adecuadamente el poco espacio que se dispone. Para la realización de este estudio se utilizó, manuales, catálogos de fabricante. Finalmente desarrolla la propuesta para el montaje de la GIS y propuesta de implementación de la subestación, transporte, requisitos constructivos para su instalación.

Rojas Huaman, John (2009), en su tesis “Diseño de una microcentral y su subestación bajo el sistema GIS (Sistema encapsulado SF<sub>6</sub>)” El proyecto plantea el diseño de una nueva microcentral y su correspondiente subestación para lo cual se selecciona del tipo GIS esto debido a que no ocupa mucho espacio para la instalación eléctrica, como las subestaciones convencionales, a su vez se realiza



el análisis de rigidez eléctrica entre una subestación convencional y una tipo GIS dando como resultado que la rigidez dieléctrica del SF<sub>6</sub> es superior a la del aire (más del doble), a su vez se resalta que la tecnología GIS requiere un mínimo de mantenimiento debido a su envolvente hermética, sumado a que el gas SF<sub>6</sub> es una gas inerte sin envejecimiento.

(Manuel López Díaz, 2015), se informa que las empresas mineras y eléctricas del Perú enfrentan actualmente el problema de la disponibilidad de espacio para la ampliación de las subestaciones existentes, así como la falta de terrenos para construir nuevas subestaciones y el alto costo de la ampliación de las subestaciones existentes. La tecnología compacta (aislamiento de gas SF<sub>6</sub>-GIS) es la solución a la topografía, que obliga a buscar alternativas a las soluciones tradicionales.

## **2.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

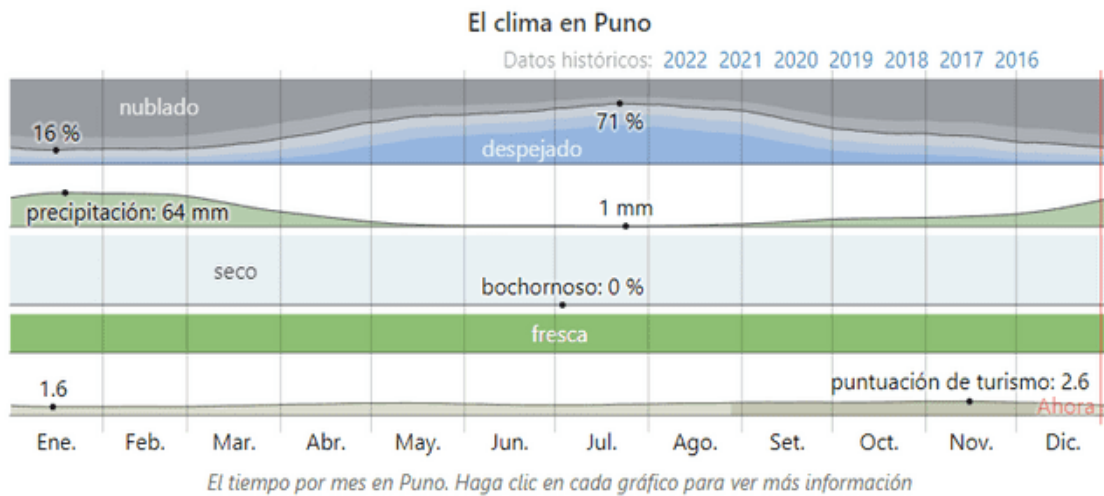
La zona del proyecto se encuentra ubicada en el distrito de Puno, provincia de Puno en la subestación Bellavista, barrio del mismo nombre.

### **2.2.1 Condiciones climatológicas**

En Puno, los veranos son cortos, frescos y nublados; los inviernos son cortos, muy frío y mayormente despejados y está seco durante todo el año. Durante el año la temperatura suele oscilar entre los -4 °C y los 17 °C y rara vez desciende de -6 °C o sube por encima de 19 °C.

## Figura 1

### Clima en Puno



Nota: <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Puno-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-Summary>

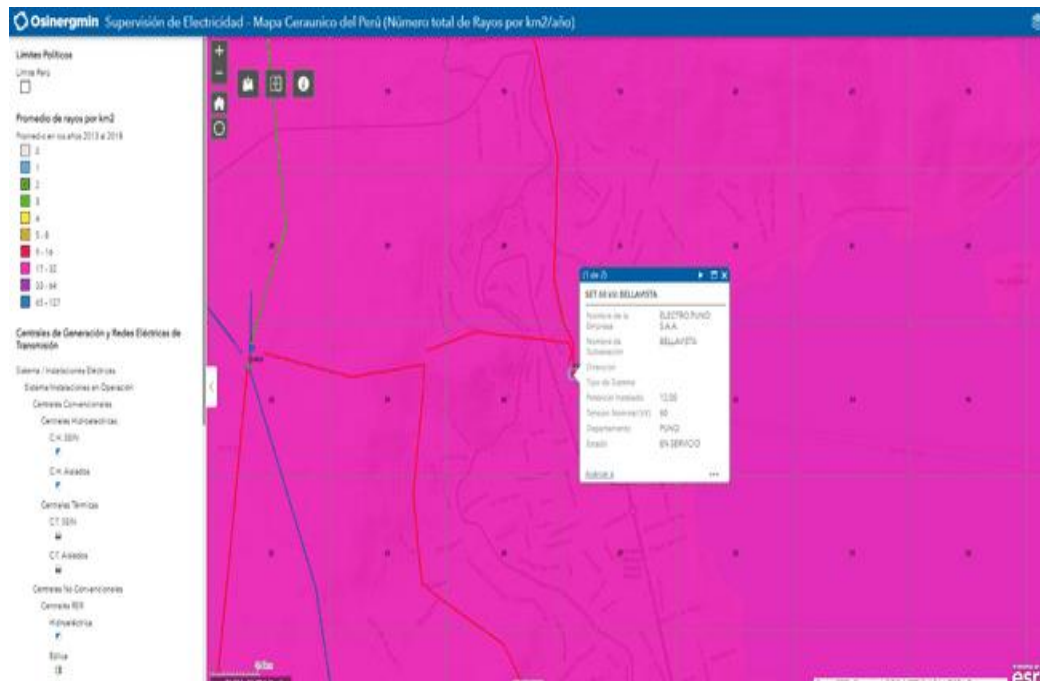
### 2.2.2 Nivel Ceraunico

Según el mapa interactivo de OSINERMING, correspondiente al promedio de los años 2013 al 2018, el nivel ceraunico en el área de influencias del proyecto es de 21 descargas atmosféricas por km<sup>2</sup>.



**Figura 2**

*Mapa Ceraunico*



Nota: [https://gisem.osinergmin.gob.pe/Descargas\\_Atmosfericas/](https://gisem.osinergmin.gob.pe/Descargas_Atmosfericas/)

## 2.3 MARCO TEÓRICO

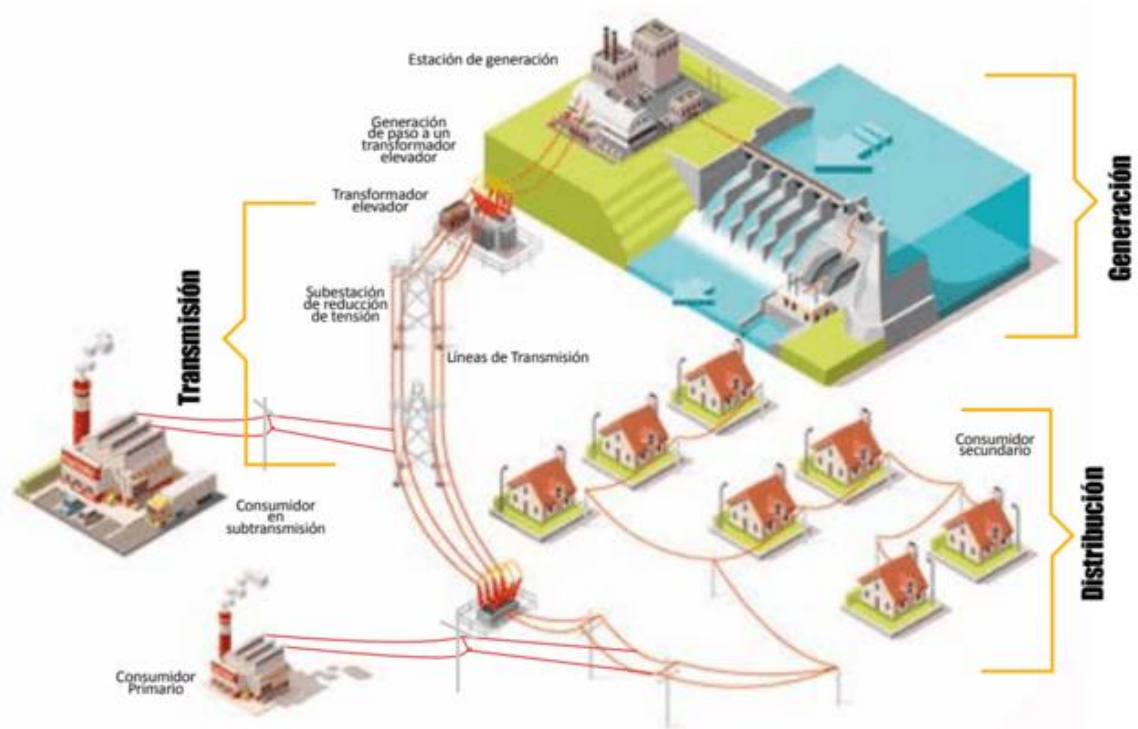
### 2.3.1 División y Características del Sector Eléctrico Peruano

Según (MINEM, 2016), la estructura del mercado eléctrico incluye los tres tipos de operaciones principales para entregar electricidad a los clientes los cuales son:

- Generación
- Transmisión
- Distribución

**Figura 3**

*Cadena de valor de la electricidad*



*Nota: GPAE Osinergmin*

- **Generación:** Las empresas que realizan esta actividad son inversionistas privados y públicos, la principal fuente de generación eléctrica utiliza recursos hidráulicos y térmicos, estos organismos se encargan de planificar y generar la energía suficiente para satisfacer las necesidades. Este sector se considera parte de un mercado libre competitivo porque los participantes se guían únicamente por el alto nivel de inversión en la construcción y puesta en funcionamiento de las centrales. (MINEM, M. D., 2016)
- **Transmisión:** Esta actividad incluye la transmisión de energía en muy alta, alta y media tensión desde las centrales eléctricas a los centros de subestaciones a través de redes y líneas primarias, subestaciones, equipos de compensación de potencia reactiva y dispositivos de protección (disyuntores, transferencia automática, etc.). Esta actividad es considerada un monopolio natural, por lo que los costos de operación y mantenimiento de la red se recaudan a través de tarifas reguladas por Osinergmin. (MINEM, M. D., 2016)



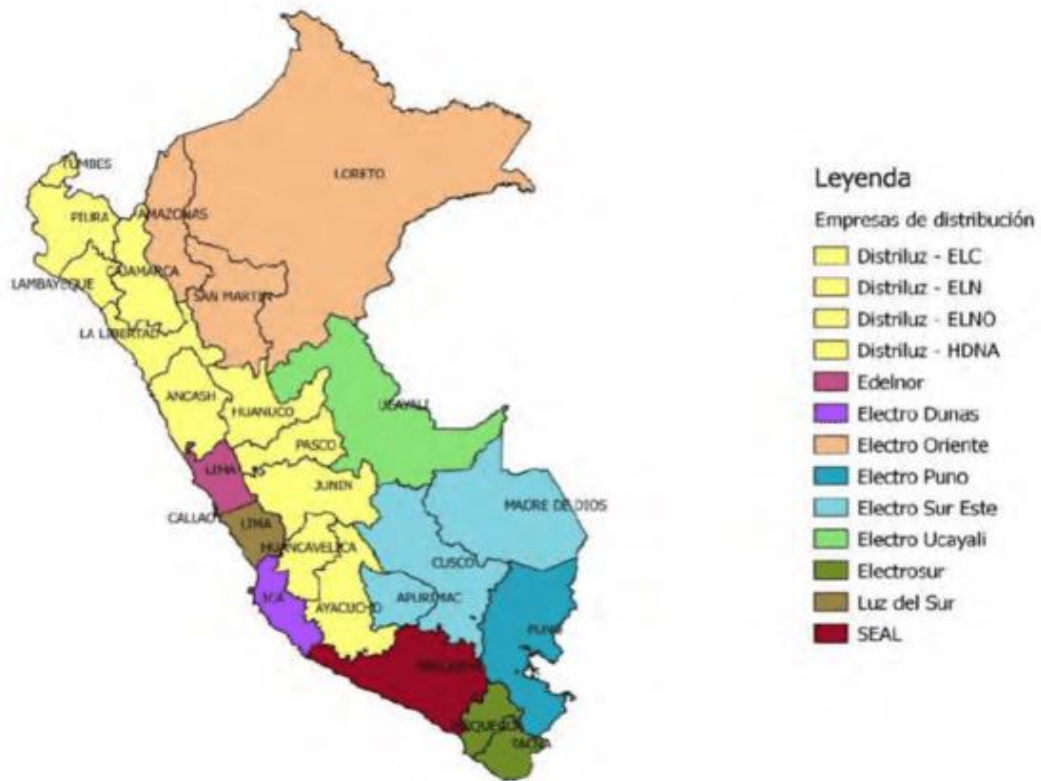
- Todas las actividades son coordinadas mediante el Comité de operación Económico del Sistema Interconectado Nacional (COES), a través del plan de transmisión, planifica actividades que incluyen las inversiones más adecuadas, mientras que el plan de transmisión parcial involucra agentes que proponen propuestas de expansión, se subastarán y concesionarán nuevos proyectos, todas las empresas ejecutoras cuenta con gran experiencia en la construcción, operación y mantenimiento de redes. Actualmente hay 16 empresas operando en el Perú. (MINEM, M. D., 2016)
- **Distribución:** Esta actividad comprende en su mayoría la operación y mantenimiento de las redes de media y baja tensión, las empresas distribuidoras son las encargadas de suministrar la energía a los usuarios finales (estos pueden ser consumidores industriales, comerciales o residenciales), esta división de los usuarios finales se define por la potencia consumida de esta manera tenemos: clientes regulados y clientes libres. (MINEM, M. D., 2016)

### 2.3.2 Distribución Eléctrica en el Mercado Peruano

Según el (MINEM, M. D., 2016), Aunque la empresa concesionaria tiene exclusividad en suministrar electricidad dentro del área geográfica otorgada como título de concesión por el MINEM, esto se atribuye a un monopolio. Actualmente, el Perú cuenta con 23 empresas concesionarias que ofrecen el servicio de distribución eléctrica, siendo las principales.

**Figura 4**

*Empresas de Distribución Eléctrica en el Perú*



Nota: GE Digital Energy (Jorge Quiroz, 2015)

## 2.4. DEFINICIÓN, DE LOS TIPOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

### 2.4.1 Subestaciones eléctricas de potencia

Según (Trashorras Montecelos Jesús, 2015), las subestaciones eléctricas son las instalaciones encargadas de realizar transformaciones de tensión, frecuencia, número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexiones de dos o más circuitos, estas se ubican cerca de los de las centrales generadoras, en la periferia de los grandes centros de consumo, en el interior o exterior de edificios comerciales, podemos clasificar las subestaciones en dos tipos, subestaciones de maniobra o subestaciones de transformación.

- **Subestaciones de maniobra:** Estas conectan dos o más circuitos y realizan maniobras. En este tipo de subestaciones
- **Subestaciones de transformación:** Transforman la tensión de la energía eléctrica mediante uno o más transformadores. Pueden ser elevadoras o reductoras de tensión.

#### 2.4.2 Tipos de subestaciones

Pueden ser elevadoras o reductoras de tensión. Las subestaciones pueden ser de distintos tipos según como se analicen:

**Tabla 1**

*Tipos de Subestaciones*

| <b>Tipos de subestaciones</b>    | <b>Concepto</b>   |
|----------------------------------|---|
| <b>Según la función</b>          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Maniobra</li><li>• Transformación</li><li>• Rectificación</li><li>• Transformación/Maniobra</li><li>• Dependiente</li></ul> |
| <b>Según el emplazamiento</b>    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Intemperie</li><li>• Interior</li></ul>   |
| <b>Según movilidad</b>           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fija</li><li>• Móvil</li></ul>  |
| <b>Según aislamiento</b>         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aisladas en aire (AIS)</li><li>• Aisladas en gas (GIS)</li><li>• Híbridas (HIS)</li></ul>                                   |
| <b>Según su ubicación</b>        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Urbanas</li><li>• Rurales</li><li>• Industriales</li></ul>  |
| <b>Según su nivel de tensión</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Muy alta tensión (500kV y 220kV)</li><li>• Alta tensión (138kV y 60kV)</li><li>• Media tensión (22.9kV y 10kV)</li></ul>    |

Nota: (Trashorras Montecelos Jesús, 2015)

Las subestaciones pueden ser de distintos tipos según como se analicen:

### 2.4.3 Tipos de subestaciones de potencia según su aislamiento

**Subestación convencionales o aisladas en aire AIS (Air Insulated Switchgear):** Las subestaciones aisladas en aire, también conocidas como AIS (por sus siglas en inglés, Air-Insulated Substations), son instalaciones eléctricas utilizadas en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica. La característica principal de estas subestaciones es que los equipos y componentes están expuestos al aire ambiente y no están encapsulados en aislamiento gaseoso como en el caso de las subestaciones aisladas en gas (GIS).

#### Figura 5

*Subestación Aislada en aire (AIS)*



Nota: <https://electrical-engineering-portal.com/choosing-ais-gis-substation-design-factors#contents>

### **Subestaciones encapsuladas o subestaciones aisladas en gas (GIS):**

Este tipo de sistemas cerrados o aislados en gas SF<sub>6</sub>-GIS son sistemas pequeños que minimizan significativamente el espacio que necesitan los equipos eléctricos, este tipo de subestación eléctrica que utiliza aislamiento en gas para proteger y aislar los componentes eléctricos. A diferencia de las subestaciones convencionales, que utilizan aire como medio aislante, las subestaciones GIS emplean gas sulfurado de hexafluoruro (SF<sub>6</sub>) debido a sus propiedades dieléctricas superiores, estas son ampliamente utilizadas en áreas urbanas y en

lugares donde el espacio es limitado y costoso. Además, su uso se ha expandido a diversas áreas eléctricas debido a las ventajas mencionadas anteriormente.

### **Figura 6**

*Subestación tipo GIS 60KV LAP*



Nota: [www.linkedin.com/pulse/incremento-de-instalaciones-gis-en-el-peru-cabrera-zavala-pmp-](http://www.linkedin.com/pulse/incremento-de-instalaciones-gis-en-el-peru-cabrera-zavala-pmp-)

[/?originalSubdomain=es](#)

**Subestaciones Híbridas HIS:** Los beneficios de las subestaciones aisladas en aire y las subestaciones GIS se aprovechan en las subestaciones híbridas compactas; los beneficios de las subestaciones híbridas se reseñan brevemente a continuación.

- Todas las funciones se combinan en un único módulo.
- Las funciones de trabajo y seccionamiento están integradas en una carcasa rellena de SF<sub>6</sub>.
- El producto es portátil.
- Es fácil de instalar.
- Extremadamente versátil a la hora de proponer soluciones y montar subestaciones
- Reduzca el campo de ingeniería a un solo módulo
- Disminuir la obra civil.
- Aumenta la seguridad del operario.

### **Figura 7**

*Subestación híbrida compacta*



Nota: General Electric



## 2.5. DEFINICIÓN, DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN TIPO AIS

### 2.5.1. DEFINICIÓN, DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES AIS

Los equipos principales en una subestación AIS (Subestación Aislada en Aire o Air Insulated Substation) son componentes esenciales que se utilizan para la transmisión y distribución de energía eléctrica en sistemas de alta tensión. Algunos de los equipos principales incluyen:

#### 2.5.1.1. Interruptores de Circuito

Los interruptores de circuito se utilizan para controlar y proteger las líneas eléctricas y los equipos en una subestación. Pueden abrir y cerrar circuitos bajo condiciones normales y de emergencia. (Trashorras Montecelos Jesús, 2015).

#### Figura 8

*Interruptores de potencia*



Nota: <https://www.todoluzygases.es/luz/diccionario/s/subestacion-electrica>

### 2.5.1.2 Transformadores de Potencia

Los transformadores de potencia se utilizan para cambiar los niveles de voltaje en el sistema eléctrico. Pueden elevar o reducir la tensión para facilitar la transmisión eficiente de la energía eléctrica. (Naranjo Yopez Aurelio Andres, Feraud Lopez Miguel Alfonso, Villacrez Salazar & Raul Javier, 2015).

#### *Figura 9*

#### *Transformador de Potencia*



Nota: ABB

### 2.5.1.3 Seccionadores

Los seccionadores son dispositivos de desconexión que se utilizan para aislar secciones específicas de una subestación para mantenimiento o reparación.

No están diseñados para operar bajo carga, a diferencia de los interruptores.

(Enrique Harper, 2002).

### **Figura 10**

*Seccionador de cuchillas giratorias*



Nota: HEAG

#### **2.5.1.4 Conductores y barras colectoras**

Los conductores eléctricos y las barras colectoras son elementos esenciales para transportar la energía eléctrica dentro de la subestación y conectar los diferentes equipos. (Enrique Harper, 2002).

#### **2.5.1.5 Transformadores de Corriente y de Voltaje**

Estos transformadores se utilizan para medir las corrientes y voltajes en la subestación, proporcionando información precisa para la protección y el monitoreo del sistema.

**Figura 11**

*Transformador de voltaje*



Nota: RHONA

**Figura 12**

*Transformador de corriente*



Nota: RHONA



### **2.5.1.6 Medidores y Equipos de Control**

Incluyen medidores para medir la energía eléctrica, relés de protección para detectar y responder a condiciones anormales, y sistemas de control para monitorear y operar la subestación de manera eficiente. (Javier Diaz Pampín, 2009).

## **2.6. DEFINICIÓN, DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA SUBESTACIÓN TIPO GIS**

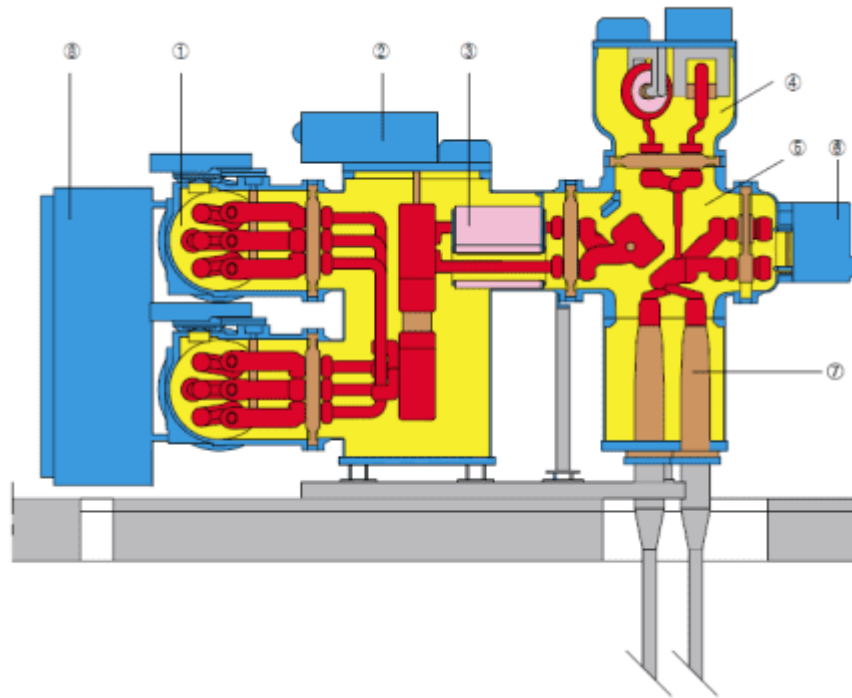
### **2.6.1 Definición, descripción de los componentes GIS**

Las subestaciones encapsuladas en SF6 están integradas por los mismos elementos que constituyen una subestación convencional o AIS (salvo elemento de potencia y los seccionadores de barra) (Jain, 2007)

A continuación, se describirán los componentes principales GIS, los cuales son SF6, transformador de corriente, transformador de voltaje, interruptor automático, bus bar, pararrayos, seccionadores, y conectores de puesta a tierra.

**Figura 13**

*Equipos eléctricos dentro de una subestación tipo GIS*



Nota: ABB

1. Barra con seccionador y seccionador de puesta a tierra combinados.
2. Interruptor de potencia.
3. Transformador de corriente.
4. Transformador de tensión.
5. Seccionador y seccionador de puesta a tierra combinados.
6. Seccionador de puesta a tierra rápido.
7. Módulo de conexión de cable.
8. Armario de control.

De acuerdo a los colores de la figura 13 tenemos lo siguiente:

- |                   |   |                                    |
|-------------------|---|------------------------------------|
| 1. Color ROJO     | : | Componente activos en alta tensión |
| 2. Color AZUL     | : | Envoltente                         |
| 3. Color AMARILLO | : | Gas SF6                            |



4. Color CAFÉ : Material de aislamiento
5. Color GRIS : Componente Metálicos, estructuras
6. Color ROSA : Componente de baja tensión

Todas las partes vivas son protegidas por el encapsulado de aluminio. El gas presurizado para proveer aislamiento con respecto al encapsulado.

Para el montaje se puede realizar en una estructura sencilla de acero galvanizado fijado al suelo. Seguidamente describiremos los componentes internos y externos principales de la subestación eléctrica encapsulada en gas SF<sub>6</sub>.

### **2.6.2 Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)**

La introducción del gas SF<sub>6</sub> revolucionó no solo la tecnología de los disyuntores sino también del diseño de las subestaciones. El gas SF<sub>6</sub> están combinadas 01 por el átomo de azufre y 06 de flúor, Este gas se desarrolló por primera vez en el año 1900, posteriormente se comercializó en 1947. Desde 1960, el SF<sub>6</sub> ha sido utilizado como medio aislante y extintor de arco para sistemas de conmutación de alta y media tensión (IEC 60480:2004, 2004)

Las características electrotécnicas, químicas y físicas del gas han influido considerablemente en el desarrollo de la tecnología de aparamenta. Esto debido a que el SF<sub>6</sub> es una alternativa a otros medios de aislantes y de enfriamiento convencionales, por ejemplo, el aceite y el aire. El uso de gas SF<sub>6</sub> se ha incrementado considerablemente en algunas aplicaciones con respecto a los recursos en la transmisión, y distribución de energía. Al mismo tiempo, el SF<sub>6</sub> reduce los peligros con respecto al uso de aceite como refrigerante (p. ej. Incendio, explosión) tanto para el personal y el medio ambiente. Una evaluación global que considera todos los aspectos ecológicos económicos, de seguridad y tecnológicos



ha demostrado que el SF<sub>6</sub> es una excelente opción a considerar como medio aislante. (IEC 60480:2004, 2004)

### **2.6.2.1 Propiedades Eléctricas del SF<sub>6</sub>**

El gas SF<sub>6</sub> es altamente electronegativo, debido a la alta electronegatividad, absorbe electrones libres que se producen debido a la formación entre los contactos del disyuntor. La combinación de electrones libres con moléculas produce iones grandes y pesados, que tienen muy baja movilidad. Debido a la absorción de electrones libres y la baja movilidad de iones, el SF<sub>6</sub> tiene propiedades dieléctricas excepcionales. (IEC 60480:2004, 2004)

En SF<sub>6</sub> en su estado normal es térmicamente estable, no inflamable, no explosivo y no tóxico. Debido a su relativa inercia y características no tóxicas, generalmente se supone que es un material ambientalmente seguro y aceptable en el sentido de que no interactúa desfavorablemente con la biomasa. La utilidad del gas SF<sub>6</sub> se debe principalmente a su alta capacidad única de extinción del arco y su buena estabilidad térmica y conductividad. A su vez el gas SF<sub>6</sub> tiene buenas propiedades aislantes y de transferencia de calor. En GIS, los conductores de alta tensión, disyuntores, interruptores, transformadores de corriente y de tensión están en gas SF<sub>6</sub> dentro de recintos metálicos. (IEC 60480:2004, 2004)

### **2.6.3 Bus Bar**

Los Bus bar o barra colectora es un conductor de baja impedancia al que se pueden conectar por separado varios circuitos eléctricos. En las subestaciones de energía eléctrica, las barras colectoras conectan una serie de conexiones de circuitos entrantes con varias conexiones de circuitos salientes. (Jain, 2007)



La barra colectora es uno de los componentes más importantes del sistema GIS. Las barras colectoras coaxiales son comunes en GIS de fase aislada, ya que esta configuración da como resultado una distribución óptima de la tensión, en GIS se utilizan barras colectoras de diferentes longitudes para satisfacer los requisitos del circuito o la formación de la bahía. El conductor de alta tensión (cobre/aluminio) está colocado centralmente en una carcasa metálica tubular. (Jain, 2007)

#### **Figura 14**

*Caja metálica para Bus Bar (Barra colectora)*



Nota: (Jain, 2007)

La energía se puede transferir mediante interacciones entre un sistema y su entorno, como es el caso del sistema de barras colectoras, la energía eléctrica ingresa al sistema, sin embargo, no toda la energía eléctrica sale del sistema debido a la resistencia de los conductores de la barra y la Ley de Ohm., El resto de la energía se disipa en forma de calor desde las barras colectoras hacia el entorno. (Larry Kirkpatrick, 1989)



En cualquier circuito eléctrico, parte de la energía eléctrica se pierde en forma de calor, si no se mantiene dentro de límites seguros, puede perjudicar el rendimiento a largo plazo o la seguridad del sistema. Para los sistemas de barras colectoras, la corriente máxima de trabajo está determinada principalmente por la temperatura de trabajo máxima tolerable, que, a su vez, está determinada por consideraciones tales como la seguridad, la retención de las propiedades mecánicas del conductor, la compatibilidad con las estructuras de montaje y las conexiones de cables. Una temperatura de trabajo más alta significa que se desperdicia energía. El diseño para una menor pérdida de energía requiere el uso de más material conductor, pero da como resultado un funcionamiento más confiable debido a la menor temperatura de trabajo y, debido a que el costo de las pérdidas de energía durante la vida útil es mucho mayor que el costo de la primera instalación, menores costos de vida útil. Debido a las grandes corrientes involucradas, la protección contra cortocircuitos de los sistemas de barras colectoras necesita una consideración cuidadosa. (Larry Kirkpatrick, 1989)

#### **2.6.4 Interconexión GIS**

Para conectar módulos GIS que no están conectados directamente entre si se utiliza un bus bar SF6 compuesto por un conductor interior y una carcasa exterior. Los aisladores de soporte, los contactos eléctricos deslizantes y las juntas embridabas del gabinete suelen ser los mismos que para los módulos GIS, y la longitud de una sección de bus bar normalmente está limitada por el espacio permitido entre los contactos del conductor y los aisladores de soporte aproximadamente 6m. (John D. McDonald, 2012)



### 2.6.5 Circuit Breakers (Interruptores Automáticos)

Los interruptores automáticos de gas SF<sub>6</sub> fueron desarrollados a principios de la década de 1950, debido a las excelentes propiedades aislantes y de extinción del arco del gas SF<sub>6</sub>. Actualmente el SF<sub>6</sub> sigue siendo el medio aislante y de extinción de arco dominante en altos voltajes (Johnson et al., 2018)

El interruptor automático se utiliza para el control y protección del sistema, cuando fluye una gran cantidad de corriente en el circuito, se producirá el arco entre los interruptores, por lo tanto, el circuito apaga este arco de manera segura con la ayuda del gas SF<sub>6</sub>.

Este interruptor es la parte más crítica de un sistema de subestación con aislamiento en gas este revestido de metal y utiliza gas SF<sub>6</sub>, tanto para el aislamiento como para la interrupción de fallas. La presión del gas SF<sub>6</sub> en un interruptor es de aproximadamente 0,65 MPa. El interruptor está conectado directamente a los transformadores de corriente o a los aisladores de gas. (Jain, 2007)

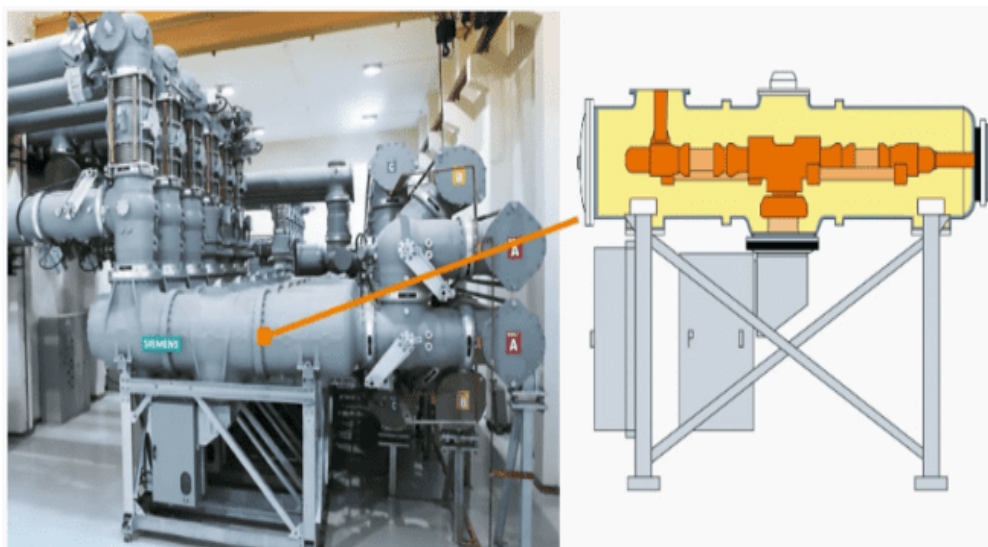
Los interruptores SF<sub>6</sub> se utilizan comúnmente para lograr la interrupción de la corriente de falla en sistemas de subestaciones con aislamiento de gas. En los módulos comunes trifásicos de interruptores, se verifica la mezcla de gas caliente para evitar un cortocircuito entre fases debido a la conducción eléctrica del gas caliente. Los accionamientos de resorte, hidráulicos de resorte e hidráulicos puros son los accionamientos preferidos para los interruptores de subestaciones aisladas por gas. Los accionamientos hidráulicos son fiables, robustos y compactos en comparación con sus homólogos de resorte. Los accionamientos hidráulicos se pueden conectar directamente al interruptor sin

ningún sello ni varillaje de movimiento intermedio. Los accionamientos de resorte son relativamente más baratos y sólo se pueden utilizar con los disyuntores híbridos o automáticos de última generación. Velocidades de apertura en el rango de 6,0 a 8,0 m/s y energías de funcionamiento en el rango de 4500 a 8500 Nm son comunes para operar los interruptores GIS. (Jain, 2007)

Como dispositivo de seguridad, la carcasa del interruptor automático cuenta con un diafragma de ruptura o una válvula de placa accionada por resorte. Esta disposición ventila gas a alta presión, si está por encima de la presión de prueba, durante la formación de arcos extensos o la acumulación de presión por algún motivo en el gabinete del interruptor automático. La caja del interruptor automático también sirve como elemento de soporte principal para la bahía GIS individual. Los interruptores GIS están orientados tanto en configuración horizontal como vertical, según los requisitos del sistema y la facilidad de instalación. (Jain, 2007)

### Figura 15

*SIEMENS TYPE 8DQ1 circuit breaker interrupter module*



Nota: <https://electrical-engineering-portal.com/gis-gas-insulated-switchgear-components#busbar>

### 2.6.6 Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra

El interruptor automático se utiliza para el control y protección del sistema, cuando fluye una gran cantidad de corriente en el circuito, se producirá el arco entre los interruptores, por lo tanto, el circuito apaga este arco de manera segura con la ayuda del gas SF<sub>6</sub>. (Johnson et al., 2018)

**Figura 16**

*1 - Conductor de barra; 2 - Seccionador/seccionador de puesta a tierra; 3 -*

*Accionamiento abierto*



Nota: ABB

## 2.6.7 Módulo de terminales de cables y terminales SF6 – Aire

### 2.6.7.1 Terminal de cables

Los módulos de conexión de cables permiten la conexión de cualquier tipo de cable, se dispone de módulos de conexión adecuados para conexión de cables con o sin aislamiento.

Para garantizar compatibilidad con las terminales de cables, se debe de cumplir con la norma IEC 62271-209. Esta compatibilidad se debe cumplir independientemente de cuál sea el fabricante.

#### Figura 17

*Módulo de conexión de cables para terminales enchufables*



Nota: ABB

La conexión de los cables de alta tensión a la subestación GIS se realiza por terminales de alta tensión con sus elementos de control de campo eléctricos las tomas de alta tensión generalmente fabricadas en resina forman parte del equipo de la subestación y de las terminales de forma independiente lo cual significa una gran ventaja para la planificación del montaje. (Jain, 2007)

### 2.6.7.2 Terminal de cables

#### Figura 18

*Terminal SF6 para conexión a línea aérea.*



Nota: ABB

Estos terminales permiten la conexión de la subestación GIS a las líneas o transformadores de potencia. Para la conexión SF6 – Aire se pueden realizar de dos



formas, una con aisladores de material sintético los cuales serán fabricados con un tubo de fibras reforzadas en resina epóxica y recubierto en una funda con aletas de silicón, las cuales son irrompibles, no explosivas, fáciles de manejar y gracias al material, representan un comportamiento muy estable ante agentes externos, otra de las formas de realiza la conexión es con aisladores.(Johnson et al., 2018)

## **2.6.8 Modulo de terminales de cables y terminales SF6 – Aire**

### **2.6.8.1 Transformador de corriente**

(Aragon Quezada Gabriel; Leyva Paz Ezequiel; Vigil Sanchez David, 2015), nos dice que un transformador de corriente, también conocido como transformador de intensidad o transformador de corriente (CT por sus siglas en inglés, Current Transformer), es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos para medir y transformar corrientes de alta intensidad en corrientes más bajas y manejables. Su función principal es proporcionar una corriente reducida y aislada que pueda ser utilizada para mediciones, monitoreo y protección en el sistema eléctrico. Aquí se describen algunas de las funciones principales de un transformador de corriente:

- Medición de corriente.
- Protección.
- Monitoreo y control.
- Aislamiento.
- Medición de energía.
- Pruebas y diagnóstico.



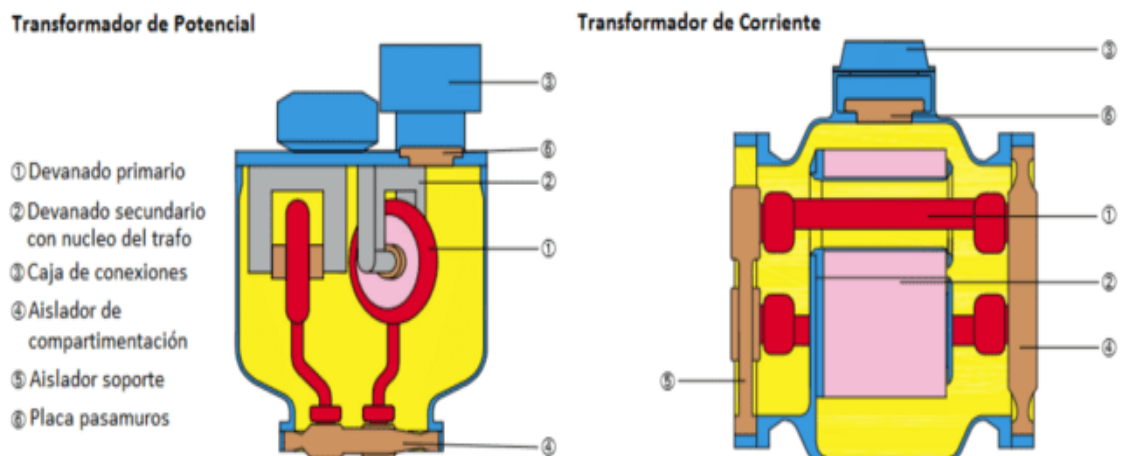
### 2.6.8.2 Transformador de Tensión

(Aragon Quezada Gabriel; Leyva Paz Ezequiel; Vigil Sanchez David, 2015), nos dice que un transformador de tensión, también conocido como transformador de potencial, es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos para medir o controlar niveles de voltaje. Su función principal es proporcionar una versión reducida y aislada del voltaje original, lo que facilita la medición precisa y segura en sistemas de alta tensión. Aquí se describen las funciones principales de un transformador de tensión:

- Medición de voltaje.
- Protección y control.
- Aislamiento.
- Transmisión de señales.
- Calibración y pruebas.

**Figura 19**

*Partes del transformador de potencial y corriente*



Nota: ABB



### **2.6.9 Módulos Adicionales**

(Johnson et al., 2018), En la configuración de una subestación GIS pueden ser necesarios módulos adicionales para la combinación con módulos principales estos módulos suelen ser:

- a) Adaptadores: Estos son necesario, para subestación GIS que ya no son fabricadas.
- b) Conductos: Son utilizados sobre todo en la conexión a terminales SF6 – Aires o para conexiones directas a transformadores de potencia, estos tubos pueden ser hasta de 6m.
- c) Módulos de interconexión en “X” o en “T”: Estos módulos son utilizados para la ramificación de circuitos primarios.
- d) Conexiones directas a transformadores: Los módulos de conexión directa a transformadores de potencia esta se da en lugar de una conexión a través de terminales.

### **2.6.10 Control y Supervisión**

#### **2.6.10.1 Armario de control convencional**

En los armarios de control se encuentran los dispositivos auxiliares eléctricos necesario para el control de mando, notificación de eventos, enclavamientos etc.

**Figura 20**

*Configuración de doble barra con armario de control integrados*



Nota: ABB

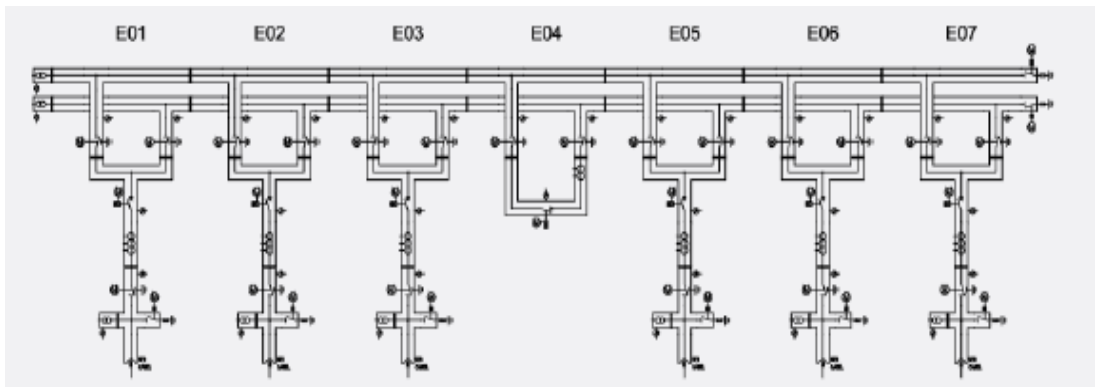
## 2.7. ARREGLOS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA TIPO GIS

Se debe de realizar un análisis de la disposición técnica y económica más conveniente para obtener las configuraciones usuales en subestaciones de alta tensión, las principales se mencionarán a continuación:

- a) **Doble barra:** Una doble barra generalmente se refiere a una configuración de subestación o de red de transmisión y distribución eléctrica donde hay dos barras colectoras principales. Esta disposición es común en subestaciones eléctricas para mejorar la confiabilidad y flexibilidad del sistema. La elección de implementar una configuración de doble barra dependerá de varios factores, como la criticidad del suministro eléctrico, la complejidad del sistema, la necesidad de mantenimiento sin interrupciones, entre otros. (ABB, 2010)

**Figura 21**

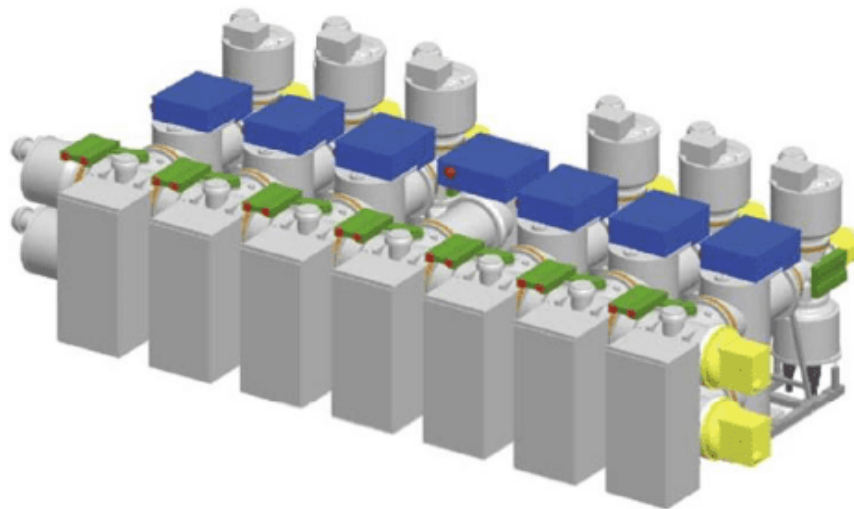
*Esquema de gas y diagrama unifilar para disposición de doble barra*



Nota: ABB

**Figura 22**

*Representación isométrica de una disposición de doble barra con armarios de control integrados*



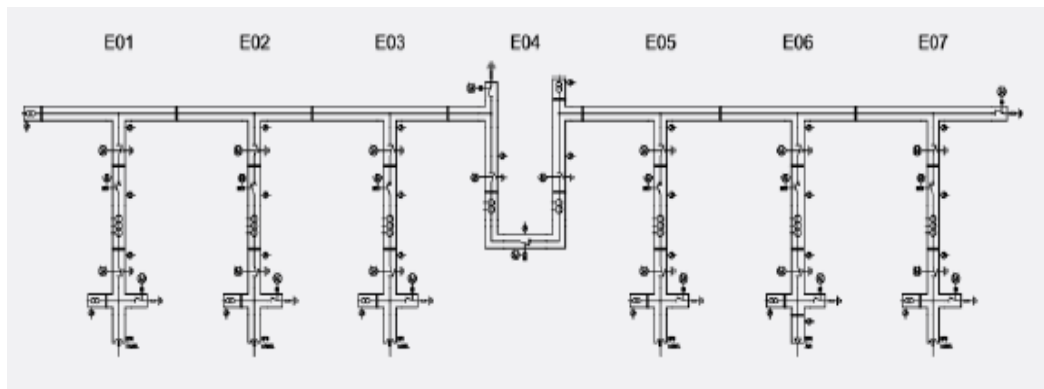
Nota: ABB

- b) **Barra Simple:** se refiere a una configuración de subestación o red de transmisión y distribución que tiene una única barra colectora principal. La barra principal, también conocida como bus principal o simplemente "barra", es el punto central de conexión en una subestación eléctrica donde se

interconectan los diversos elementos del sistema, como líneas de transmisión, transformadores y equipos de conmutación. La elección entre una configuración de barra simple y otras configuraciones más complejas dependerá de varios factores, como la carga del sistema, la necesidad de redundancia, la criticidad del suministro eléctrico y la flexibilidad operativa requerida. Subestaciones más pequeñas o sistemas eléctricos menos complejos pueden beneficiarse de una configuración de barra simple, mientras que sistemas más grandes y críticos pueden optar por configuraciones más avanzadas para mejorar la confiabilidad y la flexibilidad operativa. (ABB, 2010)

**Figura 23**

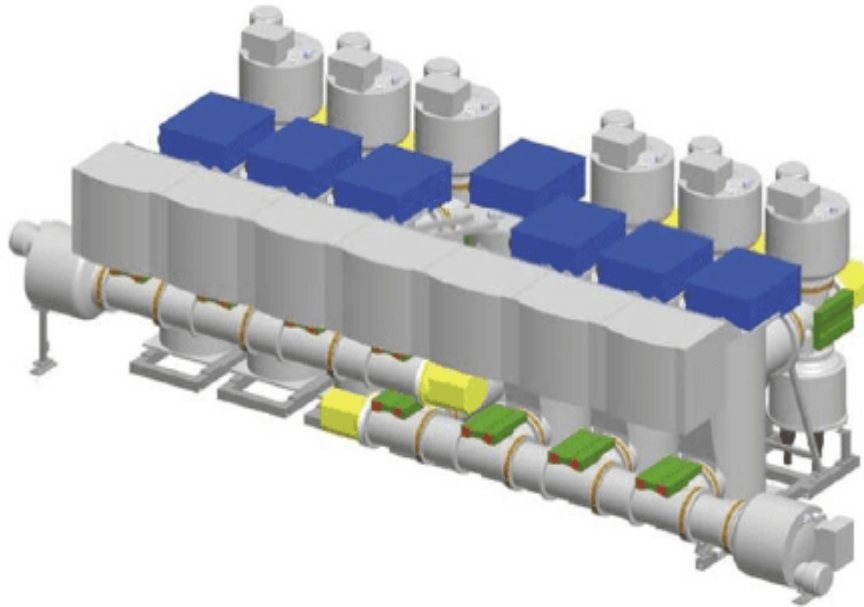
*Esquema de gas y diagrama unifilar para la disposición de barra simple*



Nota: ABB

## Figura 24

*Representación isométrica de una disposición de interruptor y medio con armarios de control integrados*

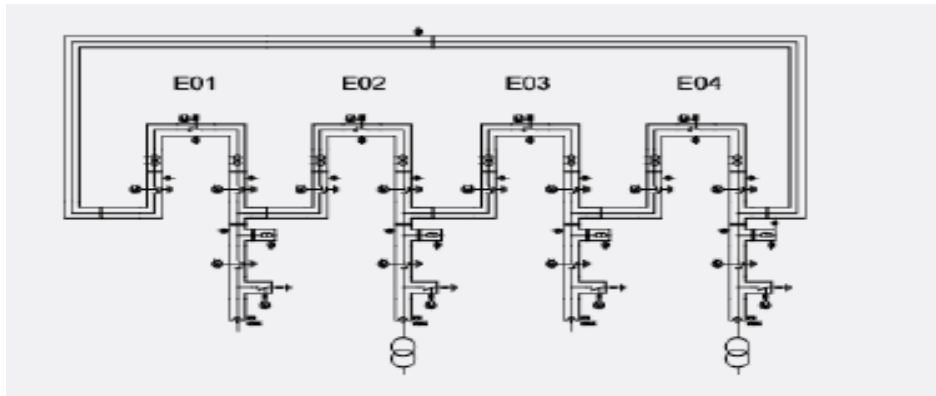


Nota: ABB

- c) Barra en anillo: En este diseño, las barras principales están conectadas en un circuito cerrado, formando un anillo. Cada barra está conectada a la siguiente en secuencia, creando un bucle cerrado. La elección de una configuración de barra en anillo dependerá de varios factores, como la carga del sistema, la topología de la red, la necesidad de confiabilidad y la facilidad de mantenimiento. Esta configuración es común en sistemas de transmisión de alta tensión y puede proporcionar beneficios significativos en términos de confiabilidad y flexibilidad operativa.(ABB, 2010)

**Figura 25**

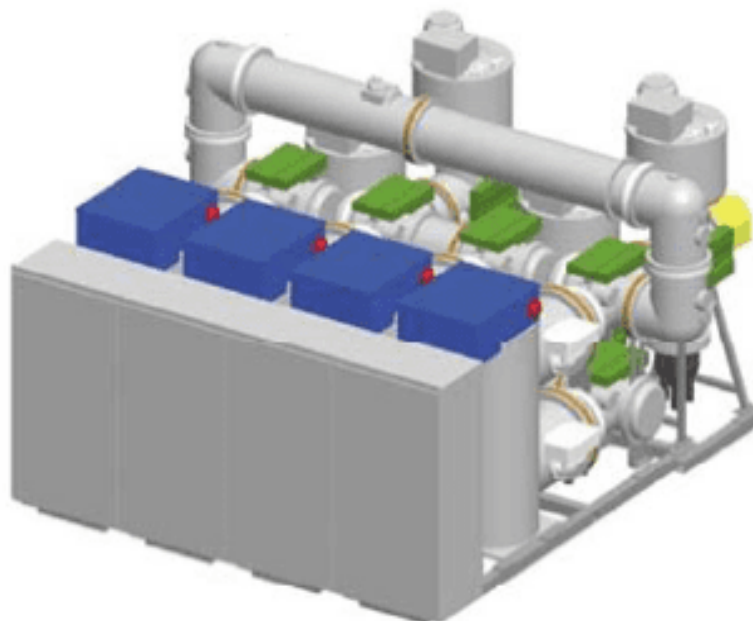
*Esquema de ganas y diagrama unifilar para disposición de barra en anillo*



Nota: ABB

**Figura 26**

*Representación isométrica de una disposición de barra en anillo con armarios de control integrados*



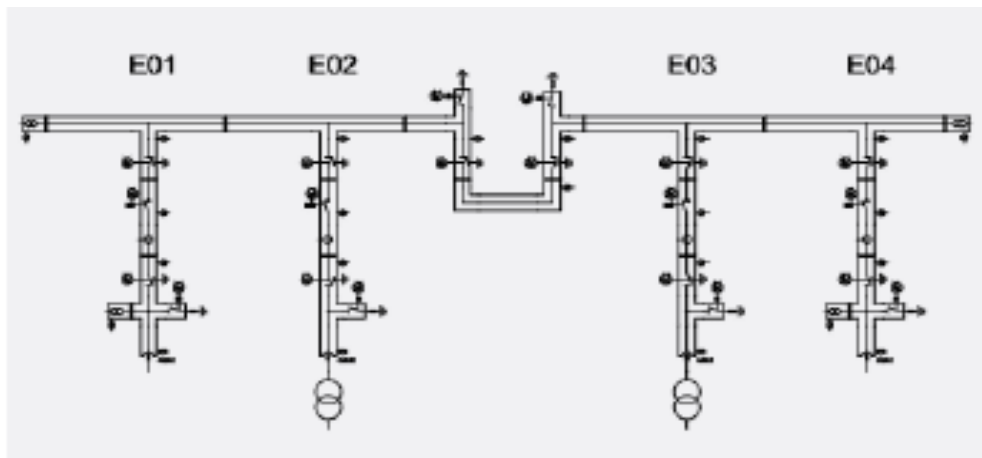
Nota: ABB

- d) Conexión en “H”: En esta configuración, dos transformadores se conectan en paralelo en el lado de alta tensión y en serie en el lado de baja tensión, formando la letra "H". También se le conoce como conexión de transformador

en "H" o conexión de transformador en paralelo. Es importante tener en cuenta que la elección de la conexión de transformadores dependerá de varios factores, incluidos los requisitos de capacidad, la confiabilidad del sistema y las características específicas de la red eléctrica.

**Figura 27**

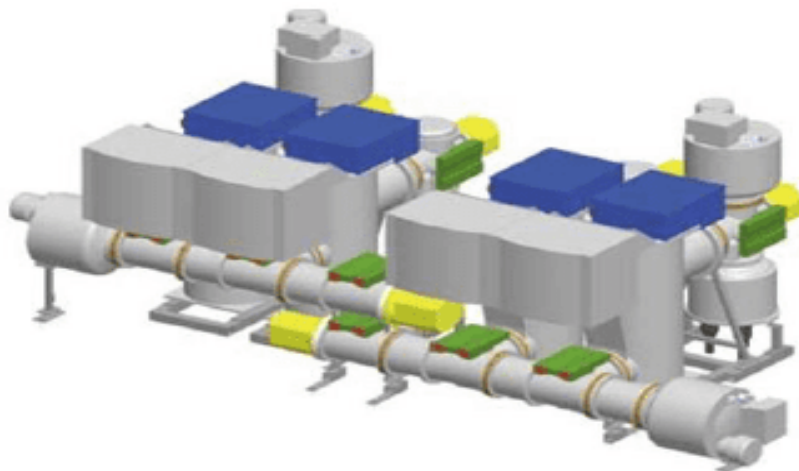
*Esquema de gas y diagrama unifilar para la disposición de conexión en "H"*



Nota: ABB

**Figura 28**

*Representación isométrica de una disposición de conexión en "H"*



Nota: ABB





## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

- Laptop para el preprocesamiento de datos y elaboración de una propuesta de diseño de una subestación tipo GIS
- Software AutoCAD, ETAP.

#### 3.2. CLASIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación corresponde a la metodología cuantitativa, el diseño de la investigación es del tipo no experimental, el tipo de investigación es predictiva ya que tiene como propósito prever el uso de una tecnología. (Sampieri R. H., 2014) , para nuestro caso práctico, el diseño de una subestación GIS y AIS. El objetivo principal será identificar similitudes, diferencias, ventajas y desventajas entre los dos tipos de subestaciones en términos de eficiencia, costo, mantenimiento, impacto ambiental, entre otros aspectos, esto nos facilitará la posibilidad de elegir el tipo de diseño que se pueda optar para nuestro caso en particular ya que la subestación Bellavista actualmente se encuentra actualmente en operación.

#### 3.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.3.1 Definición de las variables

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables*

| Variable              | Ítem 1                          | Ítem 2                              |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Espacio y Dimensiones | Requerimiento de espacio físico | Tamaño y dimensiones de los equipos |



| <b>Costos</b>                     | <b>Costos de construcción y mantenimiento</b> | <b>Costos operativos a lo largo del tiempo</b> |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Fiabilidad y Mantenimiento</b> | Tasa de fallos o interrupciones               | Costos y frecuencia de mantenimiento           |
| <b>Durabilidad y Vida Útil</b>    | Vida útil estimada de los equipos             | Resistencia a condiciones ambientales adversas |

Elaboración propia

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1. Población**

Subestación de potencia perteneciente a ELECTRO PUNO S.A.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra que se utilizara para llevar a cabo el presente trabajo de investigación está conformada por la ampliación de la Subestación Bellavista 60/10kV (Ver anexo 01 donde se muestra la distribución actual de equipos en la subestación bellavista)

### **3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

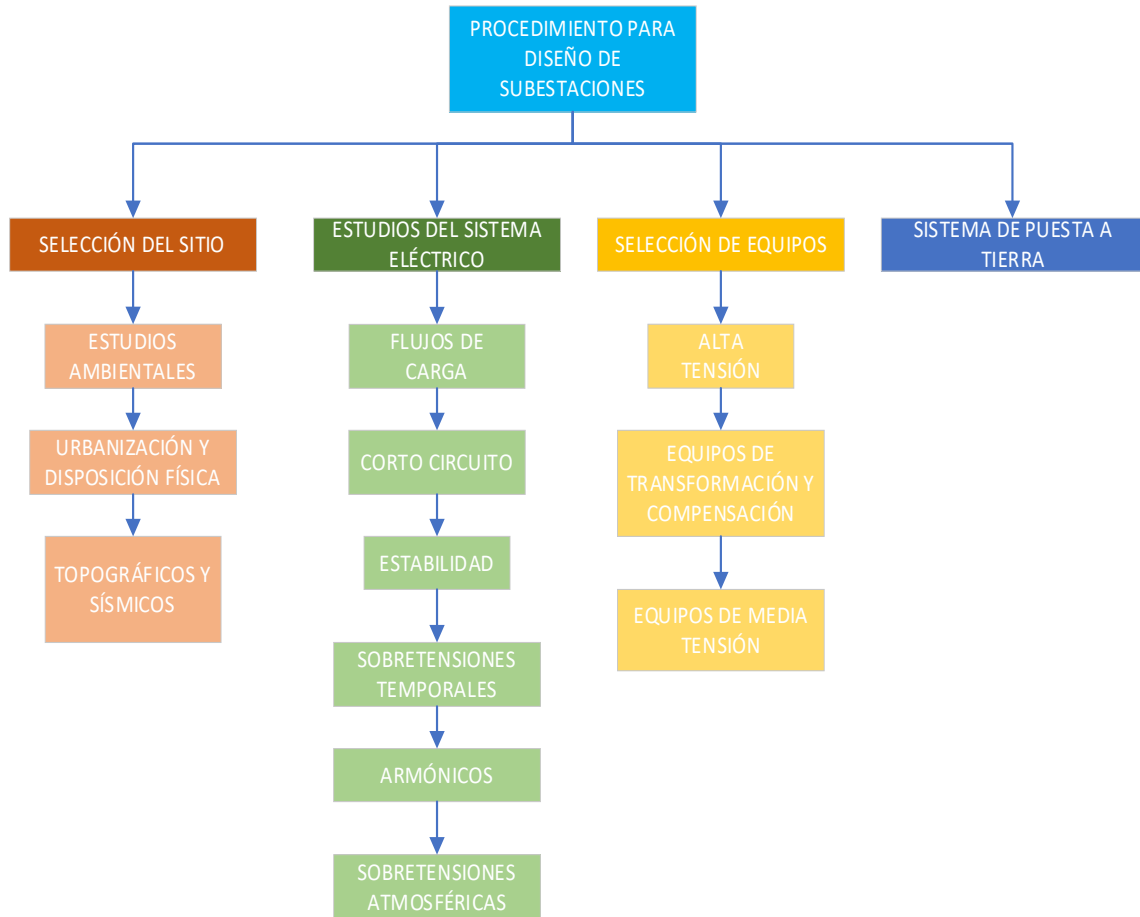
Para la recolección de datos que se usaran en el presente trabajo de investigación usaremos archivos correspondientes a la subestación bellavista.

### **3.6. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN.**

La metodología utilizada para este trabajo se puede resumir en la siguiente figura.

**Figura 29**

*Procedimiento para el diseño de subestaciones*



Elaboración propia

### 3.6.1. Preprocesamiento de datos

Consiste en realizar el análisis de la data de la subestación tales como:

- Localización
- Área disponible para la ampliación.
- Instalaciones existentes de la subestación bellavista
- Configuración de conexión de la barra 60kV



## **Análisis de los datos**

Debido a que la subestación bellavista actualmente se encuentra en operación y de esta depende gran parte del suministro eléctrico de la ciudad de Puno, se tiene que analizar la forma en que se pueda realizar la ampliación sin la necesidad de interrumpir el servicio eléctrico en varias oportunidades.

## **Localización**

El área donde está ubicado la Subestación Bellavista se encuentra ubicado en el distrito de Puno, provincia de Puno, Región Puno. Está situado a una altura aproximada de 3 840 msnm, con coordenadas UTM X: 390059, UTM Y: 8249331.

A continuación, se muestra una foto satelital del perímetro donde está ubicada la Subestación Bellavista

### Figura 30

#### *Localización de la subestación bellavista*



Nota: Google Earth

#### **Área disponible para la ampliación**

Se cuenta con aproximadamente 335m<sup>2</sup> aproximadamente para la ampliación de la subestación

### **Figura 31**

*Espacio Disponible para la ampliación*



Nota: Google Earth

### **Instalaciones existentes de la subestación bellavista**

La Subestación Bellavista cuenta con dos Transformadores de Potencia de Potencia de 60/10kV, uno de 7/9MVA (ONAN/ONAF) y otro de 5.5MVA, ambos conectados en paralelo para atender la demanda en 10 kV de la ciudad de Puno, que corresponde a una demanda pico de 13.2MW. (MINEM, M. D., 2016)

En el Nivel de 10kV, actualmente la Subestación Bellavista cuenta con seis celdas de salida compactas distribuidas en la sala de control con sus



respectivos tableros y telecomunicaciones, que unen los enlaces para los alimentadores distribuidos en la ciudad de Puno. Ver anexo 01

### **Configuración de conexión de la barra 60KV**

El sistema de barras en 60 kV es de una configuración en “simple barra” con dos bahías completa para conexión de dos transformadores de potencia y dos bahías de llegada que vienen desde la SE Totorani y SE Caracoto; esta última se encuentra desactivada. Ver anexo 02

#### **3.6.2. Por qué utilizar GIS en la ampliación de la subestación**

Como se vio en la etapa de análisis de datos, la elección de utilizar una subestación GIS (Subestación Aislada en Gas) en la ampliación de la subestación Bellavista que actualmente se encuentra en operación está motivada por diversas razones, y la decisión dependió de factores específicos del proyecto y de las necesidades del sistema eléctrico. Aquí hay algunas razones para considerar el uso de GIS en la ampliación de la subestación:

- a) **Limitación de Espacio:** Las subestaciones GIS son conocidas por su diseño compacto debido al uso de aislamiento en gas (SF<sub>6</sub>). La subestación Bellavista tiene una restricción de espacio aproximadamente 335m<sup>2</sup>, y debido a que se requiere una expansión en un área limitada, un diseño GIS será el más adecuado
- b) **Eficiencia en el uso del Espacio:** La alta densidad de potencia y la capacidad de apilar equipos en una configuración compacta permiten una eficiencia significativa en el uso del espacio. Esto es crucial en ubicaciones donde la disponibilidad de terreno es limitada tal cual es el caso del estudio.



- c) **Facilidad de Integración:** Los equipos GIS son modulares y son más fáciles de integrar en una subestación existente. Esto facilitara la expansión sin la necesidad de realizar modificaciones significativas en la infraestructura existente, esto será de gran importancia debido a que no se puede cortar el suministro en caso de que se realice una ampliación en subestación tipo AIS ya que esta requiere de obras civiles de importancia.
- d) **Menor impacto ambiental:** Aunque el SF<sub>6</sub> utilizado en GIS es un gas de efecto invernadero, las subestaciones GIS tienen un sellado hermético, lo que ayuda a reducir las emisiones. Además, la menor necesidad de espacio puede minimizar el impacto ambiental general en comparación con una expansión AIS.
- e) **Mayor confiabilidad y Fiabilidad:** Las subestaciones GIS ofrecen una mayor confiabilidad debido a su diseño hermético y a la protección contra condiciones ambientales adversas. Esto es especialmente valioso en el área de ampliación.
- f) **Requisitos de Mantenimiento Reducidos:** Las subestaciones GIS tienden a requerir menos mantenimiento en comparación con las subestaciones AIS. Esto puede reducir el tiempo de inactividad y los costos asociados con las operaciones de mantenimiento.

### 3.6.3. Características del Sistema

La subestación bellavista 60/10kV presenta las siguientes características del sistema eléctrico:



**Tabla 3***Características del sistema*

|   |           |                                     |
|---|-----------|-------------------------------------|
| <b>Tensión Nominal, kV</b>  | <b>60</b> | <b>10</b>                           |
| <b>Tensión máxima del sistema, kV</b>   | 72.5      | 12                                  |
| <b>Frecuencia nomina, kV</b>  | 60        | 60                                  |
| <b>Nivel básico de aislamiento al impulso tipo rayo (BIL), kV pico</b>                        | 550       | BIL Externo: 125<br>BIL Interno: 95 |
| <b>Tensión máxima para el equipo, kV</b>  | 123       | GIS: 12<br>AIS: 24                  |
| <b>Nivel básico de aislamiento de corta duración a frecuencia industrial (BIL), kV eficaz</b> | 185       | 38                                  |
| <b>Distancia de fuga mínima, mm</b>   | 3140      | 520                                 |
| <b>Nivel de Corriente de Corto Circuito - kA</b>  | 25        | 25                                  |
| <b>Puesta a tierra del sistema</b>  | Aterrado  | Aterrado                            |
| <b>Identificación de fases</b>  | R, S, T   | R, S, T                             |

Elaboración propia

### 3.6.4. Determinación de parámetros para diseño de una Subestación tipo GIS

Durante el desarrollo de la subestación, el diseño y preparación de los planos y documentos de la ingeniería debe cumplir, de acuerdo con las regulaciones nacionales o internacionales en vigor.

Después, se explicarán las regulaciones fundamentales que se deben considerar al diseñar una subestación: de la subestación.

- CNE – Código Nacional de Electricidad, Suministro 2011
- CNU- Código Nacional de utilización -2003.
- DGE - Dirección General de Electricidad MINEM.
- Ley de Concesiones Eléctricas decreto Ley 25844.
- Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.



- IEC - The International Electrotechnical Comisión.
- ANSI - American National Standards Institute.
- IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- UNE - Norma Europea.
- RUS Bulletin 1724E-300 - Design Guide for Rural Substations.
- NESC - National Electrical Safety Code.
- OSHA - Occupational Safety and Health Administration.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).
- Ley general de Residuos Sólidos N° 27314.
- ASTM -American Society for Testing and Materials.
- AISI - American Iron and Steel Institute.
- SSPC: Steel Structure Painting Council.
- AWS: American Welding Society.
- ASCE: American Society of Civil Engineers.
- AISC: American Institute of Steel Construction.

#### **3.6.4.1. Determinación de las Corrientes de Cortocircuito**

Los equipos tendrán corrientes de diseño suministradas de acuerdo con el siguiente desagregado.:

- De acuerdo con las siguientes premisas, se ha calculado la corriente de cortocircuito para el diseño de Pórticos y estructuras en el diseño electromecánico de la subestación, en particular for la malla de tierra profunda.
- The Digsilent COES 2018-2019 archive will be used, which contains the new installations and the 2019 plan for the National Interconnected System (SEIN).



- En los próximos 20 años, se debe garantizar y proveer el crecimiento del nivel de cortocircuito.

Teniendo en cuenta que la nueva subestación Bellavista estará conectada al Sistema Interconectado Nacional, se han considerado los siguientes niveles de circuitería en un esfuerzo por estandarizar los equipos:

- Nivel de 60kV : 25kA
- Nivel de 10kV : 25kA

#### **3.6.4.2 Coordinación de asilamiento**

Para la coordinación del sombreado en el subsuelo se tendrán en cuenta las recomendaciones de la norma IEC 60071 "Coordinación del aislamiento". Estas incluyen la altura sobre el nivel del mar de las instalaciones, el nivel de protección de los pararrayos, el grado de put-to-terra del sistema eléctrico, el nivel del cerámico circundante y el grado de sombreado de los equipos existentes.

El grado de protección de los equipos contra los efectos de la sobrepresión artificial y atmosférica depende de la colocación de los descargadores de sobretensión que se instalarán adosados en la estructura del transformador de potencia.

Los criterios generales que se han tenido en cuenta a la hora de elegir el nivel de protección de las subestaciones protegidas por pararrayos son los siguientes:

- Preservar un adecuado grado de protección de los equipos contra las sobretensiones de onda de impulso a través de maniobras (sobretensiones de frente lento) y descargas atmosféricas (sobretensiones de frente rápido), a las

que se enfrentarán, manteniendo las tensiones nominales y de descarga de los pararrayos a niveles mágnim posibles.

- Preservar un margen de seguridad suficiente de los pararrayos frente a las sobretensiones temporales que pudieran surgir en el sistema y provocar su colapso (sobretensiones debidas a fallos del circuito, rechazo de cargas, ferro resonancia, etc.); esto implica mantener las tensiones nominales y de descarga de los pararrayos a niveles adecuados.

Para determinar las corrientes de cortocircuito las podemos dividir en cuatro etapas:

1. Determinar las sobretensiones representativas ( $U_{rp}$ )
2. Determinar las tensiones soportadas de coordinación ( $U_{cw}$ )
3. Determinar las tensiones soportadas especificas ( $U_{rw}$ )
4. Determinar las tensiones soportadas ( $U_w$ )

En conclusión, para cada equipo de la bahía en 60kV se deberá de realizar un estudio de coordinación de aislamiento, así se determinará el nivel de aislamiento del equipamiento.

### **Ecuación de Aislamiento necesario por sobretensión**

$$V_{fi} = \frac{f_{sg} * f_s * V_{max} * H}{\sqrt{3} * (1 - N * \sigma) * n * \delta * f_l}$$

Donde:

$f_s$ : Factor de sobretensión a frecuencia.

$f_{sg}$ : Factor de seguridad.

$V_{max}$ : Tensión máxima.

$H$  : Factor por Humedad.

$N$  : Numero de desviaciones estándar alrededor de la media.



$\sigma$  : Desviación estándar.

$n$  : Factor que depende de la brecha de aire del aislador.

$\delta$  : Densidad relativa del aire a la altura de la instalación msnm.

$f_l$ : Factor por lluvia.

### **Ecuación de Aislamiento por sobretensiones atmosféricas**

$$V_{ii} = \frac{LIWL}{(1 - N * \sigma) * \delta}$$

LIWL: Nivel Básico de Aislamiento

$N$  : Numero de desviaciones estándar alrededor de la media.

$\sigma$  : Desviación estándar

$\delta$  : Densidad relativa del aire a la altura de la instalación msnm.

Los niveles de aislamiento se asocian a la tensión más elevada según lo establece la tabla N° 02 de la norma IEC-60071-1:

**Figura 32**

*Tabla N° 02 de la norma IEC-60071-1*

**Tabla 2**  
**Niveles de aislamiento normalizados para la gama I**  
**(1 kV < U<sub>m</sub> ≤ 245 kV)**

| Tensión más elevada para el material<br>U <sub>m</sub><br>kV<br>(valor eficaz) | Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial<br>kV<br>(valor eficaz) | Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo<br>kV<br>(valor de cresta) |
|--|---|---|
| 3,6  | 10  | 20  |
|  |   | 40  |
| 7,2  | 20  | 40  |
|  |   | 60  |
| 12   | 28  | 60  |
|  |   | 75  |
|  |   | 95  |
| 17,5   | 38  | 75  |
|  |   | 95  |
| 24   | 50  | 95  |
|  |   | 125   |
|  |   | 145   |
| 36   | 70  | 145   |
|  |   | 170   |
| 52   | 95  | 250   |
| 72,5   | 140   | 325   |
| 123  | (185)   | 450   |
|  | 230   | 550   |
| 145  | (185)   | (450)   |
|  | 230   | 550   |
|  | 275   | 650   |
| 170  | (230)   | (550)   |
|  | 275   | 650   |
|  | 325   | 750   |
| 245  | (275)   | (650)   |
|  | (325)   | (750)   |
|  | 360   | 850   |
|  | 395   | 950   |
|  | 460   | 1 050   |

NOTA – Si los valores entre paréntesis son insuficientes para probar que las tensiones soportadas especificadas entre fases se cumplen, se requieren ensayos complementarios de tensiones soportadas entre fases.

Nota: IEC-60071-1



Por lo tanto, los niveles de aislamiento de los equipos según el nivel de tensión, considerando una altitud de 3850 msnm y teniendo en consideración el grado de contaminación de la zona serán los siguientes:

- Nivel 60 kV
  - Tensión de la red: 60 kV
  - Tensión máxima de servicio: 72,5 kV
  - Tensión máxima del equipo: 123 kV
  - Tensión soportada normalizada al impulso tipo rayo: 550 kVp
  - Tensión soportada a la frecuencia industrial: 185 kV
- Nivel 10 kV
  - Tensión de la red: 10 kV
  - Tensión máxima de servicio: 12 kV
  - Tensión máxima del equipo: 24 kV
  - Tensión soportada normalizada al impulso tipo rayo: 125 kVp
  - Tensión soportada a la frecuencia industrial: 38 kV

### **3.6.5. Criterios para selección de Pararrayos**

Las características que deben de cumplir los pararrayos para proteger un conjunto de equipos en un punto de la subestación son: Selección de la corriente nominal y clase de descarga de línea.

- Selección de la tensión de funcionamiento.
- Selección de la sobretensión temporal (TOV).
- Selección de la longitud de fuga.
- Determinación del margen de protección a impulsos tipo rayo.
- Determinación del margen de protección a impulsos tipo maniobra.



### 3.6.6. Filosofía de control, mando, protección y medición

Establecido en equipos digitales inteligentes de última generación (IEDs), el sistema de control, mando, protección y medición incluye funciones de alarmas, control, mando, comunicación, automatismos y gestión remota.

El sistema de control será del tipo nivel-jerarquizado. Los niveles que deben implementarse en el mismo son los siguientes:

- **Nivel 0:** Para equipos de 60 kV, en el patio de las hojas; para equipos de 10 kV, en la superficie de la célula a media tensión.
- **Nivel 1:** Desde los relés o dispositivos digitales inteligentes.
- **Nivel 2:** Desde la sala de control de la subestación.
- **Nivel 3:** Remotamente desde el centro de control de Electro Puno. Esta filosofía posibilita la automatización del sistema de control y mando de toda la subestación.

Esta filosofía facilita que el sistema de control y mando de toda la subestación sea automatizado

### 3.6.7. Conceptos de diseño para la malla a tierra

Para el diseño de la malla a tierra será desarrollado mediante el uso de los criterios de la norma IEEE Std 80 “Guide for safety in AC Substations Grounding” y que calcula la resistencia de puesta a tierra, y las tensiones de toque y tensiones de paso, posteriormente deberá de ser modelada en el software ETAP para obtener mejores resultados. Ver anexo 4



### 3.6.8. Comparación técnica de alternativas

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre las dos alternativas para el diseño de la subestación:

**Tabla 4**

*Características del sistema*

| <b>Alternativa GIS</b>   | <b>Alternativa AIS</b>  |
|--|---|
| <b>Tecnología compacta<br/>Subestaciones Aisladas en Gas –<br/>Gis</b>                                 | <b>Tecnología convencional<br/>Subestaciones Aisladas en<br/>Aire – AIS</b> |
| Todas las funciones de una Bahía<br>(Seccionadores, interruptores, TT,<br>TC) en un solo modulo en SF6 | Funciones independientes  |
| Reducción de la posibilidad de fallas<br>(disponibilidad)  | Mayor probabilidad de<br>fallas   |
| Reducción de costos de<br>mantenimiento  | Mayores costos de<br>mantenimiento  |
| Ingeniería de detalle más sencilla<br>Manos cantidad de conectores<br>(puntos calientes)               | Ingeniería de detalle difícil<br>Muchos conectores (puntos<br>calientes)    |
| Identificación de fases  | R, S, T   |

Elaboración propia

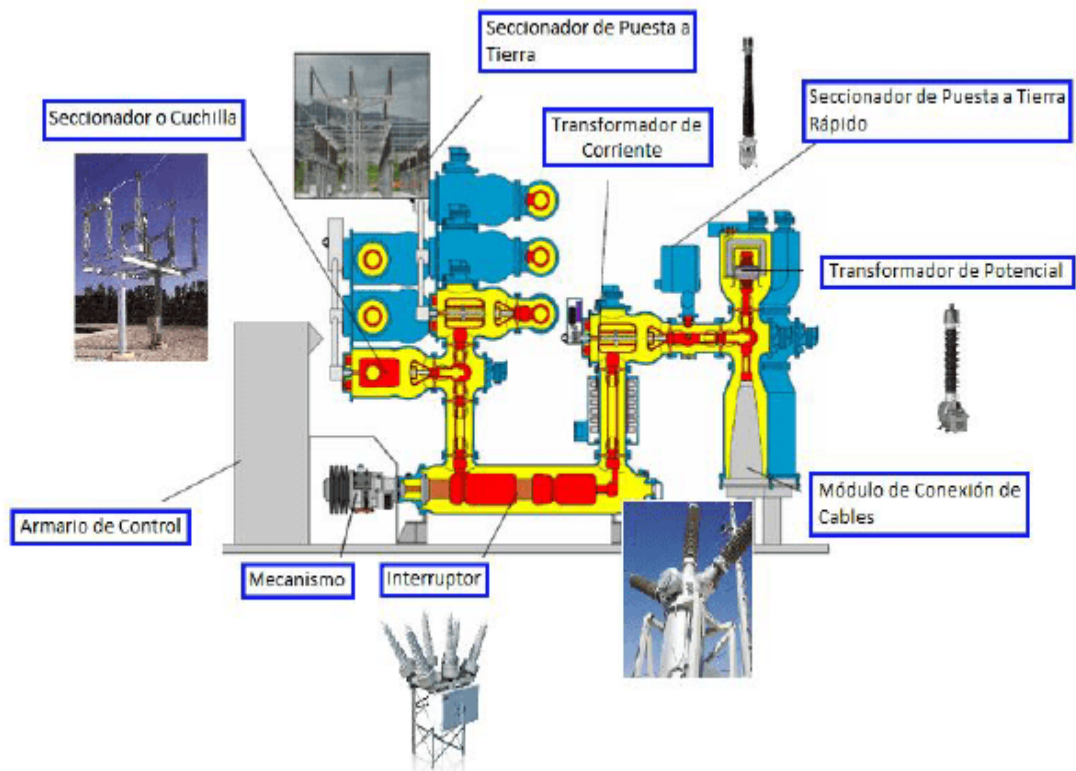
Desde que la tecnología compacta (GIS) encapsula los equipos de alto voltaje en su interior, se puede observar en el cuadro comparativo que las subestaciones GIS minimizan significativamente el área requerida por los equipos eléctricos y también tienden a mejorar estéticamente las instalaciones.

### 3.6.9. Ventajas en confiabilidad

Al estar todas las partes encapsuladas protege contra cualquier deterioro del sistema de aislamiento

**Figura 33**

*Sección transversal de una subestación GIS y el equipo usado en ella comparado con el de una subestación convencional*



Nota: ABB

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo está destinado a analizar los resultados obtenidos a partir del análisis para el diseño de la ampliación de la subestación Bellavista.

#### 4.1. DATOS ANALIZADOS

Primero se tuvieron dos planteamientos, para realizar un diseño para la ampliación de la subestación Bellavista, los cuales eran una subestación tipo AIS y/o GIS, al momento de analizar los datos que se tienen de la actual configuración de la subestación bellavista, en los cuales el principal inconveniente para realizar un diseño tipo AIS es el factor disponibilidad de espacio, es que se opta por analizar los parámetros para realizar un diseño del tipo GIS, adicional a eso se realizó la comparación entre los dos sistemas, obteniendo la siguiente tabla de las ventajas y desventajas entre ambas opciones.

**Tabla 5**

*Ventajas y desventajas comparativas de las subestaciones eléctricas encapsuladas.*

| <b>Subestación Convencional</b> | <b>Subestación encapsulada en gas</b>  |
|---------------------------------|--|
| Diseño estructural y espacial   | Diseño modular y compacto  |
| Instalación exterior            | Instalación interior y exterior  |
| Mayor espacio                   | Menor espacio  |
| Exposición a la intemperie      | Aislamiento a la intemperie  |
| Mayor tiempo de implementación  | Menos tiempo de implementación debido al despacio de unidades preensambladas y probadas en fabrica |
| Menor seguridad                 | Mayor seguridad  |
| Menor confiabilidad             | Mayor confiabilidad  |

|  |  |
|--|--|
| Menor costos de equipos                                | Mayor costo del encapsulado                    |
| Mantenimiento periódico                                | Libre de mantenimiento mínimo 20 años          |
| Menor vida útil  | Mayor vida útil                                |
| Expuesto a condiciones climáticas agresivas y extremas | Inmune contra condiciones climáticas agresivas |
| Mayores tiempos de entrega                             | Tiempos de entrega reducidos                   |

Elaboración propia

#### 4.2. VENTAJAS PARA EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN TIPO GIS

La comparación entre las ventajas de los equipos compactos y las soluciones convencionales se mencionará a continuación.

- Diseño modular de gran flexibilidad y fácil ampliación.
- Vasta variedad de opciones para ampliar y alterar
- Elevada adaptabilidad de diseño en todas las configuraciones. Los equipos de conmutación modernos son modulares y flexibles, esto que posibilita el diseño de subestaciones altamente optimizadas con un número mínimo de elementos de unión reducido.
- Debido a su diminuto diseño, ahorran espacio, requiriendo menos del necesario para un equipo AIS convencional. Su instalación se ve facilitada por sus reducidas dimensiones, especialmente en altura. Pueden instalarse bajo la superficie de un edificio y su fachada armoniza con el paisaje arquitectónico circundante. Encuentran equipos compactos con requisitos de espacio mínimos, gracias a la alta resistencia dieléctrica del gas. Debido a que todos los equipos están contenidos en compartimientos cerrados, llenos de gas SF<sub>6</sub> a presión. Los equipos en el interior no son afectados por las condiciones climáticas del medio ambiente y debido a esto, la disponibilidad de la subestación es mayor. La instalación no está sujeta a las contaminaciones



ambientales tales como: depósitos de sal en las regiones costeras, tormentas de arena, humedad en la atmósfera, contaminaciones industriales, etc.

- La estética de las GIS es mucho mejor que de una subestación AIS convencional debido a su tamaño reducido y su forma compacta, lo que disminuye el impacto visual en el área de instalación.

#### **4.3. VENTAJAS EN SEGURIDAD**

- Seguridad para el operador Esto se debe a que todo el componente vivo está encerrado en carcasas metálicas conectadas al sistema de tierra, lo que proporciona protección contra los estrangulamientos eléctricos y reduce el riesgo de accidente, al tiempo que mejora la seguridad del operador.
- Al mismo tiempo, el diseño evita acceder a las partes tensivas al realizar operaciones o mantenimiento.
- El gas SF<sub>6</sub> se utiliza como medio para eliminar el arco abrasivo, ya que es inerte, no inflamable, no tóxico e inoloro, por lo que su manipulación es segura para el personal y no presenta riesgo de incendio.

#### **4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Se determinaron los siguientes aspectos económicos.

- Coste del terreno: En comparación con una subestación AIS convencional, hay un ahorro en el coste del terreno porque ocupan una superficie menor.
- Preparación del terreno: Como la superficie ocupada es menor, hay que preparar una menor cantidad de terreno.
- Aplicando esquemas simples: Los modelos se simplifican ya que los equipos GIS pueden albergar todos los equipos manipuladores.



- Menos Desarrollo de Ingeniería: Menos ingeniería es el menos equipo.
- Esquema de protección simplificado: El esquema de protección simplificado consta de un solo módulo.
- Rapidez en la Ejecución del proyecto: Al haber menos equipos, el proyecto se ejecuta con mayor rapidez.
- Menor tiempo de construcción obras civiles: Menos equipos, menos espacio, menos canaletas, menos bases de equipos, menos pórticos y menos mallas a tierra.
- Menor tiempo de montaje: Al haber menos unidades, el tiempo de instalación es menor.
- Menor tiempo de ensayos y puesta en servicio: Al haber menos equipos, el plazo de entrega para las pruebas y el mantenimiento es menor.
- Menos barras y estructuras soporten: Menos equipos, menos espacio, menos barreras y menos estructuras de soporte para los equipos.
- Menos fundaciones: A menos número de equipos, menor cantidad de fundaciones para los soportes de los equipos y pórticos para las barras.
- Menos malla de puesta a tierra: Reducido número de equipos, área de red profunda reducida y cantidad de conductores para la red superficial de tierra.
- Menos cables primarios: Menos cables de energía, conductores para las barreras y bajantes para los equipos.
- Menos cables secundarios: Porque hay menos equipos y menos cables de control, protección y medida.

Por lo anteriormente escrito, se deduce que las tecnologías compactas resultan económicas en el tiempo y, por lo tanto, son una buena alternativa.

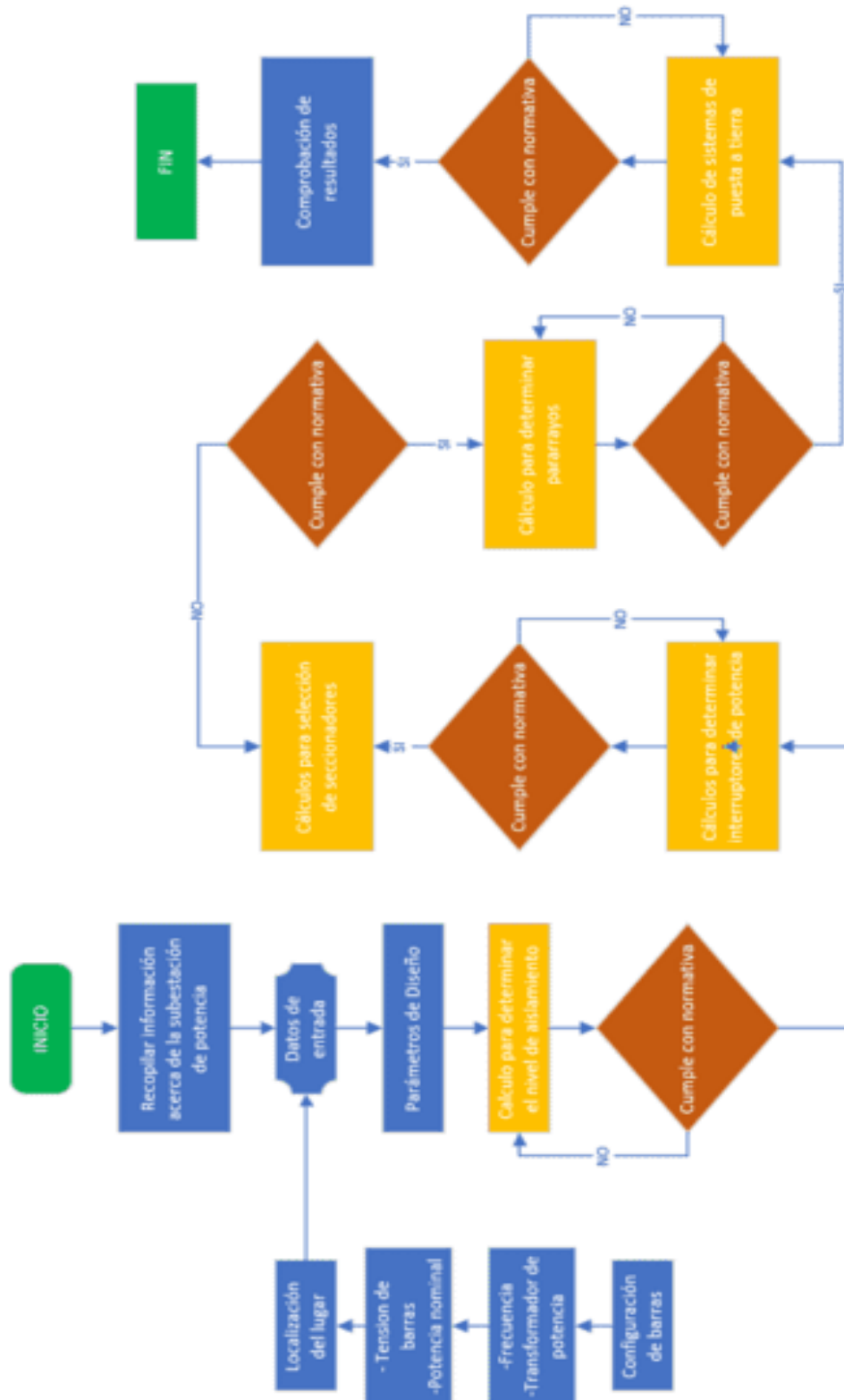


#### **4.5. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS Y DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN TIPO GIS**

Se determinaron los parámetros para el diseño de una subestación GIS, posterior a ello se elaboró un diagrama de flujo.

**Figura 34**

*Diagrama de flujo para el diseño de una subestación tipo GIS*



Nota: Elaboración propia





#### 4.6. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE LA ALTERNATIVA GIS

- Una Bahía compacta 60 kV, 450 kV-BIL, con dos juegos de pararrayos 60kV.
- Transformador de Potencia  $60\pm 10\%$ /10 kV de 25/30 MVA (ONAN/ONAF) a una altura de operación de 3900 msnm.
- AT. 63 kV máx., 325/450 kV-BIL interno/externo, 1900 mm línea-fuga, CT Bushing 150-75/5/5/5A, 2X15 VA 5p20, 1x15 VA CI 0.2.
- Dos (02) celdas tipo gis de llegada de los transformadores de potencia en 17.5 kV, 150 kV-BIL equipada con un interruptor, seccionadores, transformadores de medida, pararrayos.
- Seis (06) celdas tipo GIS para salidas en 17.5 kV, 150 kV-BIL equipada con un interruptor, seccionadores, transformadores de medida, pararrayos.
- Una (01) celda tipo GIS de salida de 17.5KV, 150 KV-BIL para alimentación del transformador de SS.AA., equipadas con seccionadores fusibles tipo cutout, pararrayos.
- Transformador de servicios auxiliares 22.9/0.4-0.23 kV, 50 kVA.
- Tableros de control, mando, protección y medición para la línea de 60 kV y para el transformador de potencia 60 KV con salidas en 10 kV.
- Banco de baterías 110 Vcc, 100 Ah; cargador rectificador, tablero de servicios auxiliares 220 Vac /110 Vcc
- Tablero de fibra óptica.
- Edificio de celdas existente en el cual se ubicarán los equipos de control, mando, medición, comunicaciones, cargador rectificador y servicios auxiliares.

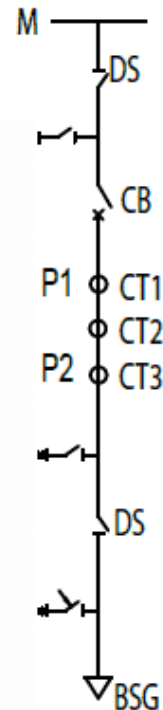
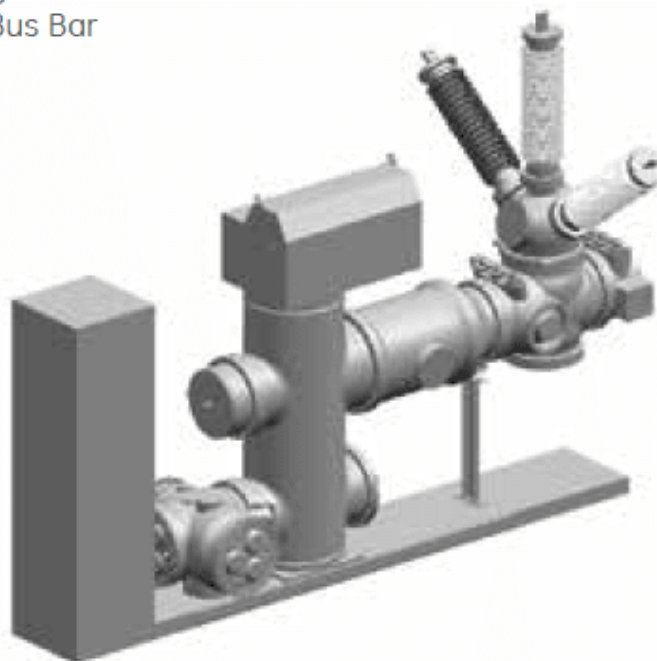
- Sala de servicios auxiliares (Sala de archivadores existente) en el cual se ubicarán el transformador de SS.AA. y banco de baterías.

### Figura 35

*Bahia GIS compacta 72.5, de barra simple ver ANEXO 5*

## Applications & Bay Configurations

Bushing Feeder  
Single Bus Bar



Nota: Catalogo General Electric

El nuevo diagrama unifilar con la propuesta de subestación GIS se puede observar en el anexo 3

#### 4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Habiendo analizado los sistemas AIS y Gis, se pudo observar que para nuestro caso en concreto es conveniente realizar un diseño para ampliación de la subestación bellavista con un sistema GIS, esto debido principalmente a los siguiente aspectos, eficiencia del espacio dado que las subestaciones GIS nos permite una mayor eficiencia



con respecto al uso del espacio en comparación con una subestación AIS, esta función principalmente destacada debido al poco espacio que posee la subestación Bellavista para su ampliación, otro de los aspectos a destacar es la confiabilidad ya que las subestación GIS mejoran la confiabilidad de un sistema eléctrico, reduce los requisitos de mantenimiento en comparación con AIS, destacando que esto garantizaría un suministros eléctrico continuo, en el tema de seguridad las subestación GIS al estar completamente aisladas reducen la probabilidad de accidente, en cuando a lo económico se debe de considerar que el desarrollo de la ingeniera de una GIS es mucho menor que una AIS.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Tras analizar el estado actual de la subestación de Bellavista, se determina que la mejor actuación para ampliarla es utilizar una subestación encapsulada GIS. Para lo cual se realizó un diagrama de flujo estableciendo parámetros para el diseño de subestaciones GIS, adicionalmente se establecieron los parámetros electromecánicos para el diseño de la subestación GIS.

**SEGUNDA:** Se concluye que las subestaciones eléctricas GIS comparten los mismos equipos eléctricos que las subestaciones convencionales; sin embargo, como las subestaciones encerradas se encuentran en compartimentos metálicos aislados del SF<sub>6</sub>, la fiabilidad, seguridad y operatividad de los equipos son significativamente mayores, se realizó un análisis técnico del uso de tecnología GIS y AIS en el caso particular para la ampliación de la subestación bellavista, lo cual evidencio que para el caso en específico sería más viable una ampliación vía tecnología GIS.

**TERCERA:** Tras realizar un análisis económico, se comprobó que la inversión inicial para un proyecto de subestación GIS es significativamente mayor, debido principalmente al equipamiento electromecánico. Por otro lado, las ventajas que ofrece son mayores en subestaciones urbanas, como la subestación de Bellavista, ya que el espacio es una limitación y su diseño modular permite una amplia gama de configuraciones.



## VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERO:** Se recomienda aplicar en mayores casos esta tecnología, ya que es beneficiosa en las subestaciones que no cuentan con mucho espacio para realizar ampliaciones.
- SEGUNDO:** En este estudio se da a conocer los beneficios de la tecnología GIS, lo cual permitirá tomar mejores decisiones al momento de realizar diseño de subestaciones.
- TERCERO:** Realizar un estudio de factibilidad de implementación de equipos de patio AIS con respecto a los equipos encapsulados GIS, esto debido a que, si bien los equipos GIS son más fiables y seguros, también se debe de destacar que son más caros, es por eso que a pesar que su implementación es ideal, se debe de tomar en cuenta otros aspectos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bucar Roger, S. (2015). *Proyecto de una subestación tipo GIS para suministro a la red ferroviaria*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.  
doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i3.2502](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2502)
- Flores Ramirez, Alejandro Tomas. (2010). *Reemplazo de subestaciones convencionales aisladas en aire por tecnología GIS (SF6)*. Universidad Nacional de Loja , Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables. Santiago: Universidad de Chile.
- López Sotomayor, J. (2018). *Diseño técnico-económico de una subestación eléctrica GIS en entorno urbano*. Universidad Técnica del Norte, Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas, Carrera De Ingeniería Industrial. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Rodríguez García, A. (2017). *Diseño y simulación de una subestación transformadora GIS enterrada 200/20kV 50MVA*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- ABB. (2010). Subestación aislada en gas tipo ELK-04 Sistema modular hasta 170 kV, 4000 A, 63 kA. ABB, 17.
- Aragon Quezada Gabriel; Leyva Paz Ezequiel; Vigil Sanchez David. (2015). *Análisis comparativo entre subestaciones eléctricas encapsuladas en SF6 y subestaciones convecionales*. Instituto Politecnico Nacional.
- Enrique Harper. (2002). *Elementos de diseño en subestaciones electricas 2° edición*.



- IEC 60480:2004. (2004). *Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) taken from electrical equipment and specification for its re-use.*  
<https://webstore.iec.ch/publication/2227>
- Jain, H. S. (2007). GAS INSULATED SUB-STATION/SWITCHGEAR (GIS). En Bharat Heavy Electricals Limited (Ed.), *Handbook of Switchgears* (1st Edition). McGraw-Hill Education.  
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071476966/chapter/chapter6>
- Javier Diaz Pampín. (2009). *Subestaciones eléctricas.*
- John D. McDonald. (2012). *ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING (THIRD EDITION)*. CRC Press.
- Johnson, D. S., Nelson, J. H., Olsen, T. W., Wactor, M. W., Long, K., Sharifnia, H. R., & McVey, M. (2018). CIRCUIT BREAKERS. En S. Santoso & H. W. Beaty (Eds.), *Standard Handbook for Electrical Engineers* (17th Edition). McGraw-Hill Education.  
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259642586/toc-chapter/chapter12/section/section2>
- Larry Kirkpatrick. (1989). *Aluminum Electrical Conductor Handbook* (Tercera Edición).
- Manuel López Díaz. (2015). *SUBESTACIONES DE POTENCIA.*
- MINEM, M. D. (2016). *ANUARIO EJECTIVO DE ELECTRICIDAD.* MINEM.
- Naranjo Yopez Aurelio Andres, Feraud Lopez Miguel Alfonso, Villacrez Salazar & Raul Javier. (2015). *Diseño y construccion de un modulo para proteccion diferencial*



*de transformadores. Carrera de Ingeniería Eléctrica. Universidad Politécnica Salasiana.*

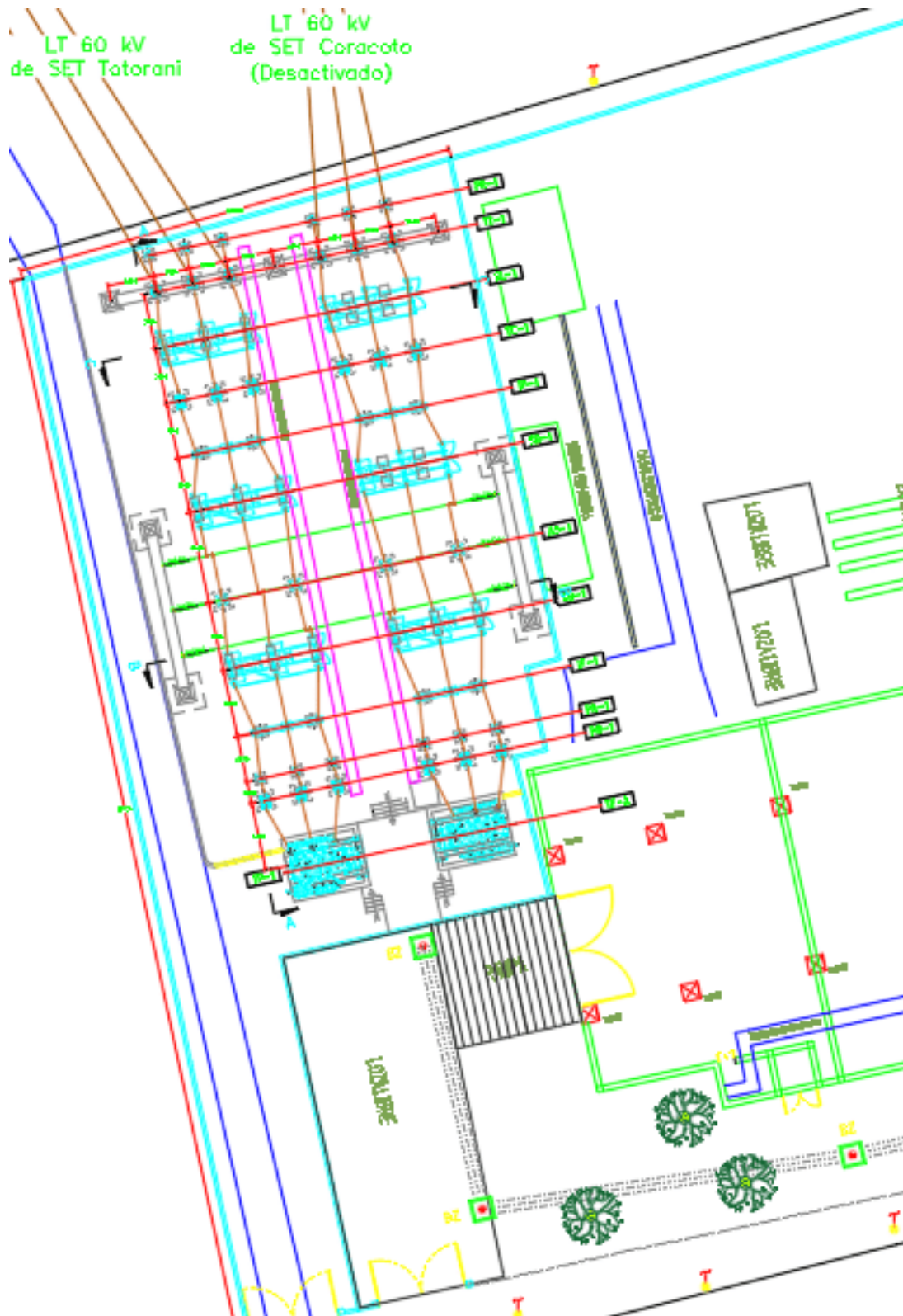
Trashorras Montecelos Jesús. (2015). *Subestaciones eléctricas* (Vol. 1). Paraninfo.

(Edemir Lima Florez 2017), Diseño de la distribución de equipos y propuesta de implementación de la subestación encapsulada en gas (SF<sub>6</sub>), para la central hidroeléctrica SAN MIGUEL-INTIHUATANA-URUBAMBA-CUSCO

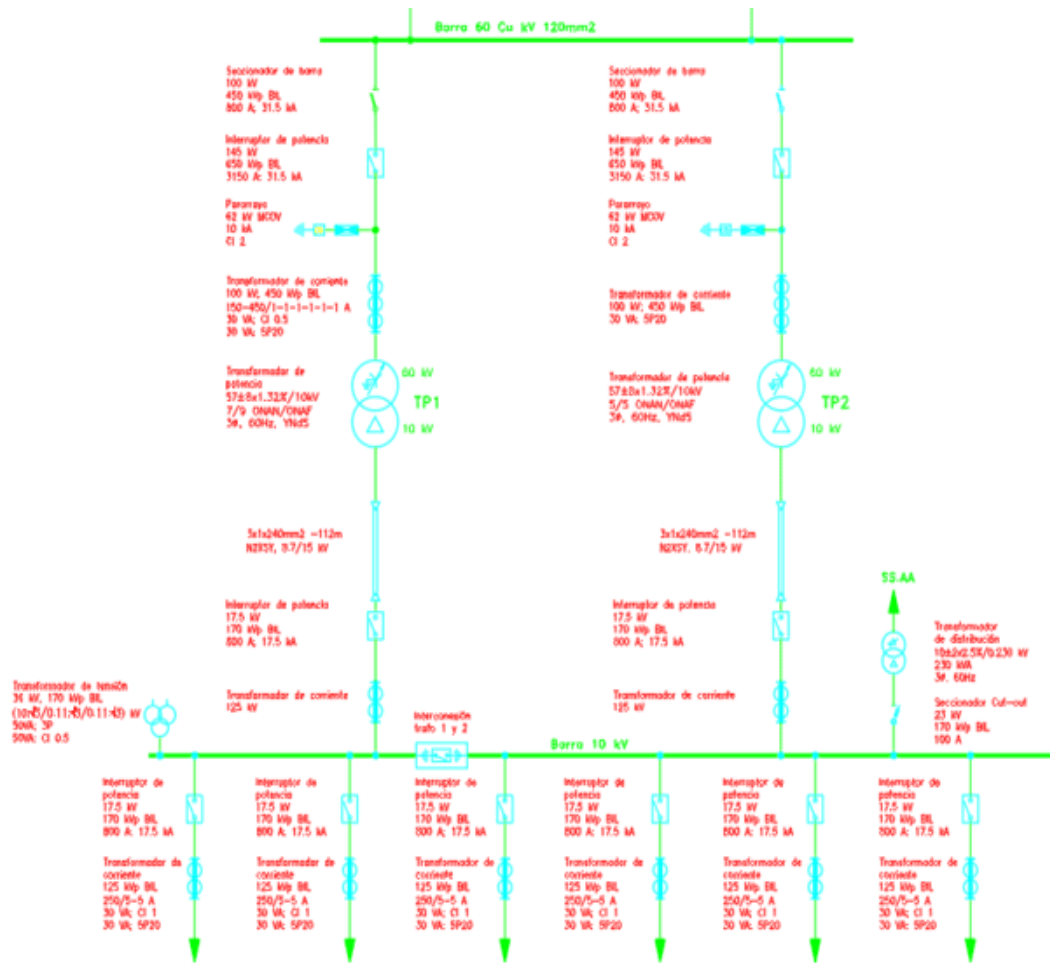


## ANEXOS

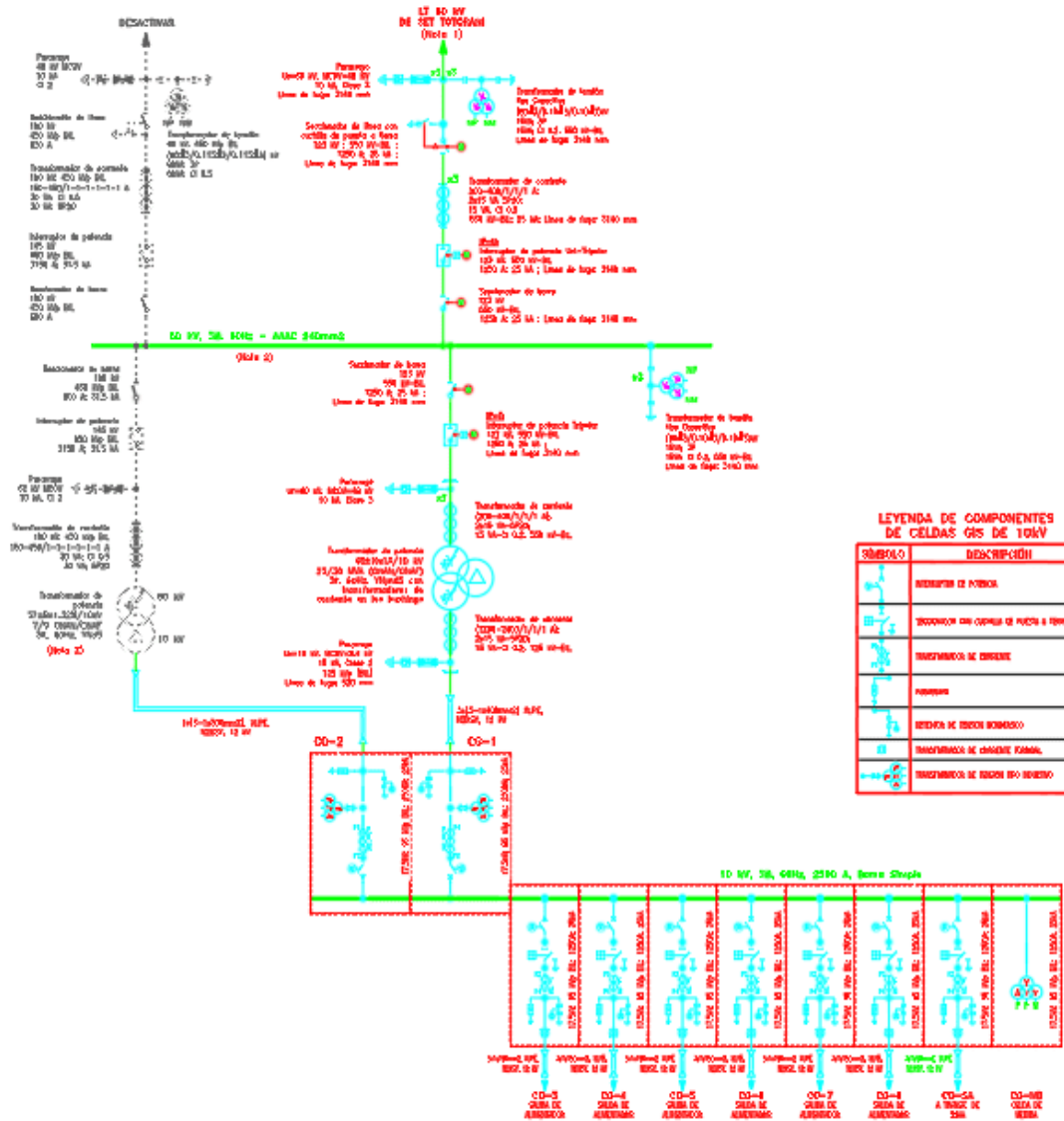
**ANEXO 1:** Disposición de equipos actual de la set bellavista.



## ANEXO 2: Diagrama unifilar actual



### ANEXO 3: Diagrama unifilar propuesto





#### ANEXO 4: Resultados modelamiento malla a tierra en ETAP

| Result Summary |                     |                    |          |          |
|----------------|---------------------|--------------------|----------|----------|
|                | Calculated<br>Volts | Tolerable<br>Volts | Location |          |
|                |                     |                    | X        | Y        |
| Touch          | 1285                | 1789.8             | 70.1     | 5.55 m   |
| Step           | 614.2               | 6667               | 5        | 18 m     |
| GPR            | 3890                | Volts              | Rg       | 1.94 Ohm |



## ANEXO 5: Catálogo de productos GENERAL ELECTRIC



# Gas Insulated Switchgear

72.5 - 800kV - Advanced Technology in a Modular, Flexible, and Compact Design



### with Primary Plus™

Pre-engineered solution set that digitizes XD/GE primary equipment and provides factory installed and configured protection, monitoring, diagnostics and communications.



GE  
Digital Energy



## One of the Largest GIS Vendors in the World

For over a century, utilities around the world have relied on GE to deliver products and services to increase power system, and improve grid resiliency and responsiveness. As a global leader in providing grid infrastructure products and services, GE supports a broad set of utility applications ranging from transmission and substation automation to distribution networks and smart metering, enabling greater safety, connectivity and increased security.

Through an alliance with XD Electric®, GE has extended its portfolio to include all high, extra-high, and ultra high-voltage power equipment supporting the highest transmission voltage levels in the world. XD Electric is one of China's largest primary equipment manufacturers dedicated to the research, application and development of high and ultra high-voltage power transmission solutions. XD Electric has a broad range of products to transform and direct the flow of power for industrial, commercial and residential users.

The XD|GE alliance provides end-to-end transmission solutions to meet the global growing demand for electricity. The combined portfolios of GE and XD provide a comprehensive range of technology solutions designed to address the unique challenges faced by the utility sector and energy intensive industries.

### Performance Quality in a Compact, Flexible Design

XD|GE provides Gas Insulated Switchgear (GIS) solutions for high to ultra high-voltage power transmission and distribution networks.

We offer a highly reliable, compact GIS that lowers installation space and reduces maintenance requirements. Designed with light-weight, durable aluminum enclosures, total load on the foundation and building floors is significantly reduced. The XD|GE GIS requires a low level of maintenance throughout the life of the product. The main components, including circuit breakers, disconnectors, earthing switches, and operating mechanisms, are designed for a normal operation of more than 30 years.



XD|GE has delivered more than 20,000 bays including 631 bays of 363kV and above and 24 bays of 800kV and above.

**XD|GE is one of the most reliable Gas Insulated Switchgear suppliers with one of the lowest average fault rates in the world according to a SGCC Service Report.**

The quality of our gas insulated switchgear is the result of a rigorous standard quality management system, which has been certified in accordance with ISO® 9001.

With experience in development, engineering, manufacturing and project delivery of gas insulated switchgear, XD|GE has the proven experience to successfully implement these critical assets, even in the most challenging environments and applications around the world.

## Gas Insulated Switchgear – 72.5–800kV

### Key Features & Benefits

#### Designed for Reliability and Safety

Our design features a minimum number of moving parts and live parts have been enclosed to protect the insulation system against the external environment.

#### Durability

To ensure durability, we employ the latest digital machinery technology including the cold flanging and welding of high-strength aluminum enclosures, epoxy resin casting of insulators, and high-strength aluminum alloy casting.

#### Lower Cost of Ownership

High-grade materials and components provide a maximum life cycle of greater than 30 years and reduced maintenance over the life of the product. Our designs utilize light-weight aluminum which reduces the costs of civil work and foundation preparation, and provides easy bay access resulting in less scheduled downtime for maintenance and repair.

#### Compact and Flexible

Our design optimizes the space available for installation and allows for customizable electrical setups that permit new adaptations and upgrades at any time.

### Primary Plus



XD|GE offers Primary Plus on all its primary equipment. Primary Plus is a pre-engineered solution set that provides utilities with a means to reduce the time and labor associated with substation construction and expansion, while at the same time utilizing technologies and methodologies familiar to existing resources.

XD|GE's factory installed and configured solutions include:

- Digitizing primary equipment by replacing labor-intensive, individually terminated copper wires with standardized physical interfaces and open digital communications
- Electrical protection systems optimized for the equipment and application to monitor and react to fault conditions
- Monitoring and diagnostics of critical primary assets to predict problems and proactively manage performance
- Highly secure and ruggedized communication network equipment including industrial strength wireless, fiber optic multiplexers and Ethernet switches

Gas Insulated Switchgear – 72.5–800kV

Product Portfolio

The XDIGE portfolio for gas insulated high-voltage switchgear includes several flexible and modular models from 72kV to 800kV.

|  | Unit | ZF7-72.5 | ZF7A-126 | ZF7A-145 | ZF9-252 | ZF9-363 | ZF9-420 | ZF8-550            | ZF8-800 |
|--|------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|--------------------|---------|
| Rated voltage                                      | kV   | 72.5     | 126      | 145      | 252     | 363     | 420     | 550                | 800     |
| Rated current                                      | A    | 3150     | 3150     | 3150     | 4000    | 4000    | 4000    | 4000/5000<br>/6000 | 5000    |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50/60    | 50/60    | 50/60    | 50/60   | 50/60   | 50      | 50/60              | 50      |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (*) | kV   | 160      | 230      | 275      | 460     | 520     | 650     | 740                | 960     |
| Rated lightning impulse withstand voltage (*)      | kV   | 350      | 550      | 650      | 1050    | 1175    | 1425    | 1675               | 2100    |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 40       | 40       | 40       | 50/63   | 50/63   | 50/63   | 50/63              | 50      |

(\*) Phase to earth

GIS with Voltage up to 72.5kV

Overview

Model Numbers: ZF7-72.5/T3150-40

The 72.5kV/3150A/40kA spring operated GIS has been fully type tested with certification from both KEMA® of Holland and CESI® of Italy. The product is characterized by a three phase common design, spring/spring operated mechanism, superior insulating and breaking capabilities delivering highly reliable and flexible GIS solutions for transmission and distribution.

Key Features

- 3 Phase common single and double bus bar arrangements
- Compact design with following outline dimensions:  
L x W x H: 4150mm x 780mm x 2400mm
- Circuit breaker with spring operating mechanism, type CT20
- 3 position Disconnect and Earthing switch (DES) equipped with motor mechanism
- Fast Earthing Switch (FES) is equipped with a spring mechanism
- 20 year maintenance cycle time
- Built-in grounding switches
- Exclusive sealing technology (less than 0.5% leakage rate per year)
- Suitable for indoor and outdoor substations up to 72.5kV, 40kA, 3150A
- Complete, assembled bay fits within one standard shipping container

Benefits

**Large insulating margin:** Electrical field intensity of the surfaces of insulating parts and conductors are designed to be kept at a low, reliable level, through the optimization of electrode profiles, materials used and manufacturing techniques.

**Excellent interrupting property:** The interrupter adopts the advanced arc extinguishing technology by utilizing both the arc energy and spring mechanism energy. This delivers reliable breaking of fault current and load current at all levels up to its rated values.

**Excellent seismic-withstand capability:** The overall design features a simple structure that is light weight and has a low center of gravity which provide the necessary strength to withstand large seismic events.



72.5kV Gas Insulated Switchgear



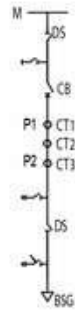
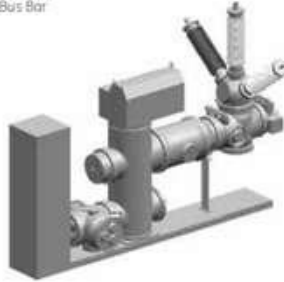
Gas Insulated Switchgear Factory in Xi'an



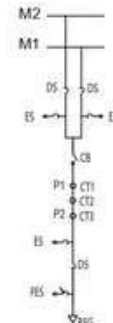
## GIS with Voltage up to 72.5kV

### Applications & Bay Configurations

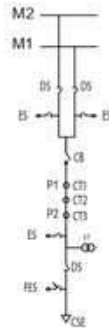
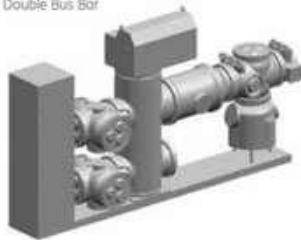
Bushing Feeder  
Single Bus Bar



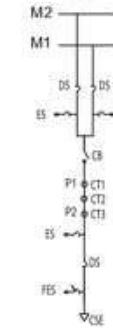
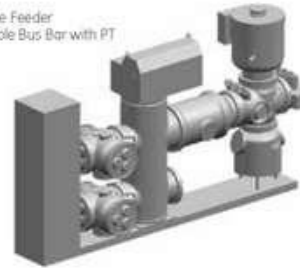
Bushing Feeder  
Double Bus Bar



Cable Feeder  
Double Bus Bar



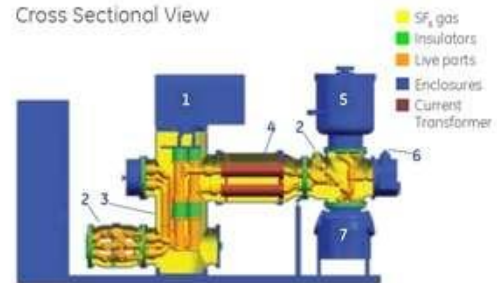
Cable Feeder  
Double Bus Bar with PT



### Specifications of 72.5kV GIS

|  | Unit | ZF7-72.5 |
|--|------|----------|
| Rated voltage                                      | kV   | 72.5     |
| Rated current                                      | A    | 3150     |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50/60    |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (*) | kV   | 160      |
| Rated lightning impulse withstand voltage (*)      | kV   | 350      |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 40       |
| Breaker mechanism type                             |      | Spring   |

### Cross Sectional View



1. Spring operating mechanism
2. Disconnectors and earthing switchgear
3. Circuit breaker
4. Current transformer
5. Voltage transformer
6. Fast Earthing Switch
7. Cable-sealing-end chamber

## GIS with Voltage up to 126kV & 145kV

### Overview

#### Model Numbers: ZF7A-126 / ZF7A-145/T3150-40

This 145kV/3150A/40kA spring operated GIS is very similar to the 72.5kV design. It was also type tested by both KEMA of Holland and CESI of Italy. The product is characterized by a three phase common design, spring/spring operated mechanism, superior insulating and breaking capabilities. For this design type, over 14,000 bays of GIS have been put into service in power stations and transmission networks worldwide.

### Key Features

- 3 Phase common single and double bus bar arrangements
- Compact GIS with reduced dimensions:  
L x W x H: 6600mm x 800mm x 3150mm
- Circuit breaker with spring operating mechanism, type CT20
- 3 position Disconnecter and Earthing Switch (DES)
- DES is equipped with a motor mechanism
- Fast Earthing Switch (FES) is equipped with a spring mechanism
- 20 year maintenance cycle time
- Built-in grounding switches
- Exclusive sealing technology (less than 0.5% leakage rate per year)
- Suitable for indoor substations up to 145kV, 40kA, 3150A
- Complete, assembled bay fits within one standard shipping container
- Built-in grounding switches

### Benefits

**Large insulating margin:** Electrical field intensity of the surfaces of insulating parts and conductors is designed to be kept at a low, reliable level through optimization of electrode profiles, material used and manufacturing techniques.

**Excellent interrupting property:** The interrupter adopts the advanced arc extinguishing technology by utilizing both the arc energy and spring mechanism energy, so that it can reliably break fault current and load current at all levels up to its rated values.

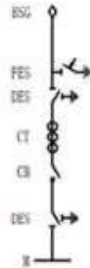
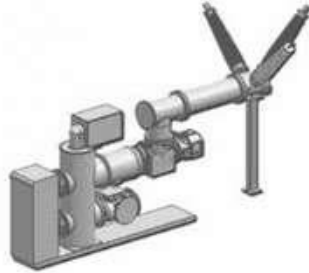
**Excellent seismic-withstand capability:** The overall design has the features of simple structure, light-weight, low gravity, which provide excellent seismic withstand capability.



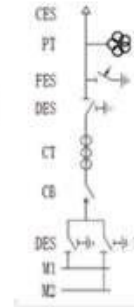
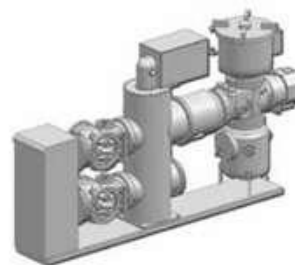
## GIS with Voltage up to 126kV & 145kV

### Applications & Bay Configurations

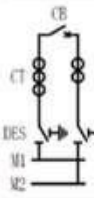
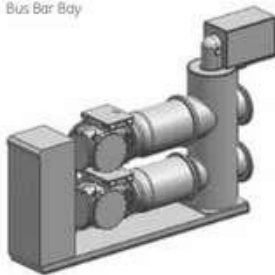
#### Single Bus Bar



#### Double Bus Bar



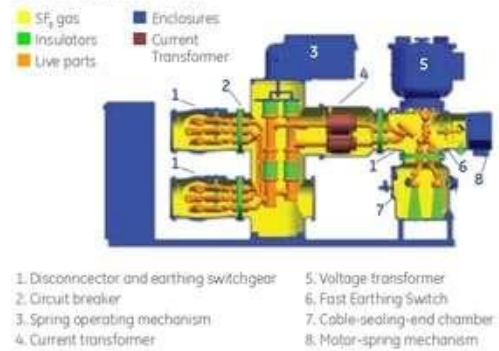
#### Bus Bar Bay



### Specifications of 126kV and 145kV GIS

|  | Unit | ZF7A-126 | ZF7A-145 |
|--|------|----------|----------|
| Rated voltage                                      | kV   | 126      | 145      |
| Rated current                                      | A    | 3150     | 3150     |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50/60    | 50/60    |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (%) | kV   | 230      | 275      |
| Rated lightning impulse withstand voltage (%)      | kV   | 550      | 650      |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 40       | 40       |
| Breaker mechanism type                             |      | Spring   | Spring   |

### Cross Sectional View



## GIS with Voltage up to 252kV

### Overview

#### Model Numbers: ZF9-252/T4000-50 and ZF9-252/Y4000-63

For over 10 years XD Electric has been supplying 252kV class, indoor GIS solutions within substations around the world. Since its introduction, over 4,500 bays have been installed and are in service today.

Purposefully designed with operating components contained within a sealed metal container that is filled with insulating gas, this GIS class reduces installation space requirements, is more resistant to weather impacts, and is easier to maintain.

With future expansion in mind, the 252kV GIS is able to grow with your system and still adhere to wiring requirements and standards. For greater application flexibility, the 252kV GIS can be constructed as individual phase or three phase common busbar.

### Key Features

- Innovative design that offers a three phase common busbar and single phase circuit breaker enclosure
- Compact GIS with reduced dimensions:  
L x W x H: 6600mm x 1800mm x 3150mm
- Circuit breaker operating mechanism with either spring (50kA) or hydro-mechanical (63kA) device
- For horizontal circuit breaker configurations, an electrical control bay operates all three phases at the same time
- Built-in grounding switches
- 3 position Disconnect and Earthing Switch (DES)
- Exclusive sealing technology (less than 0.5% leakage rate per year)
- 20 year maintenance cycle time

### Benefits

**Smaller footprint:** With a bay designed to fit on a standard transport vehicle transportation and installation costs are reduced and the need for specialized transportation equipment is eliminated.

**Ease of installation:** The integration of the local control panel and GIS results in a compact design coupled with secondary wiring arrangements completed in the factory, on-site installation and commissioning work is reduced, saving project time and money.

**High reliability:** For the Disconnect Switch, Earthing Switch, and Fast Earthing Switch components, the mechanisms for all three phases are directly connected, delivering a compact structure with greater reliability.

**Ease of transportation:** As the mechanical assemblies are a compact three phase common enclosure that contains just a few moving parts, adjustments between phases is reduced. The equipment's compact design also considerably reduces transportation costs and on-site installation time.



252kV Gas Insulated Switchgear



252kV Gas Insulated Switchgear

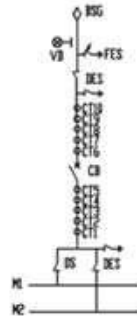
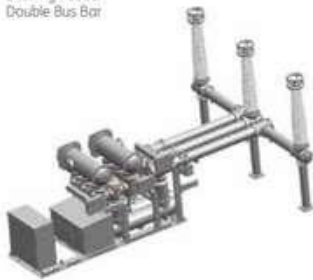


252kV Gas Insulated Switchgear

## GIS with Voltage up to 252kV

### Applications & Bay Configurations

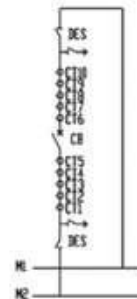
Bushing Feeder  
Double Bus Bar



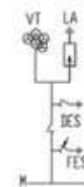
Cable Feeder  
Double Bus Bar



Bus Bar  
Coupling Bay



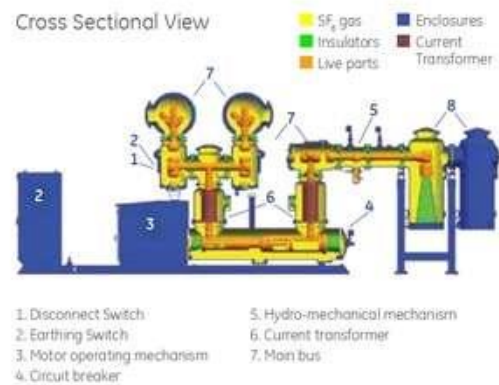
Measurement &  
Protection Bay



### Specifications of 252kV GIS

|  | Unit | ZF9-252                 |
|--|------|-------------------------|
| Rated voltage                                      | kV   | 252                     |
| Rated current                                      | A    | 4000                    |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50/60                   |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (%) | kV   | 460                     |
| Rated lightning impulse withstand voltage (%)      | kV   | 1050                    |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 50                      |
| Breaker mechanism type                             |      | Spring Hydro-mechanical |

### Cross Sectional View



## GIS with Voltage up to 363kV

### Overview

**Model Numbers:** ZF9-363/Y4000-50 & ZF9-363/Y4000-63

XDJGE is one of the first manufacturers of 363kV Gas Insulated Switchgear in China, and continues to be an industry leader when it comes to the design, manufacturing, management, and testing of this high voltage primary equipment. With more than 550 bays installed and in operation, the ZF9-363 family of GIS is designed to both IEC<sup>®</sup> and ANSI<sup>®</sup>/IEEE<sup>®</sup> standards. Utility customers have come to rely on XDJGE to provide advanced parameters, reliable function, simplified operation, and reduced maintenance.

### Key Features

- Single or three phase enclosure design
- Dimensions:  
L x W x H: 7190mmx2700mmx7285mm (bushing height)
- Vertical and single break circuit breaker design
- Circuit breaker with hydro-mechanical operating mechanism
- Disconnect and Earthing switches with motor operating mechanism
- Fast Earthing Switch with motor driven spring mechanism
- Exclusive sealing technology (less than 0.5% leakage rate per year)
- Built-in grounding switches

### Benefits

**Ease of installation:** The integration of the local control panel and GIS results in a compact design coupled with secondary wiring arrangements completed in the factory, on-site installation and commissioning work is reduced, saving project time and money.

**Standardized modular design:** XDJGE's standardized and modular design serves as the basis for various configurations allowing for maximum application flexibility with the fewest number of components.

**Online monitoring:** XDJGE meets all the requirements of an intelligent power station. With integrated electronic current transformers (ECT) and electronic voltage measurement, utilities are provided with the ability to monitor SF<sub>6</sub> gas, partial discharge, and mechanical behaviors online.



363kV Gas Insulated Switchgear at Golmud Substation



363kV Gas Insulated Switchgear

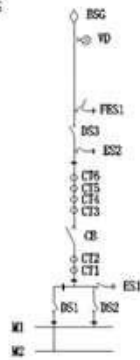


363kV Gas Insulated Switchgear in Weenan, Shaanxi

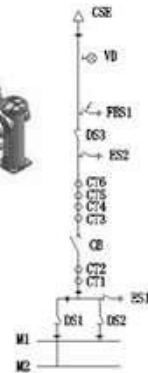
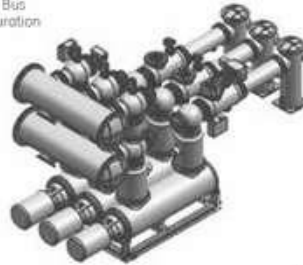
## GIS with Voltage up to 363kV

### Applications & Bay Configurations

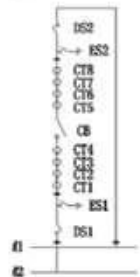
Bushing Feeder  
Double Bus  
Configuration



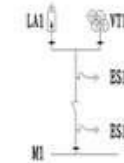
Cable Feeder  
Double Bus  
Configuration



Bus Coupling Bay  
Configuration



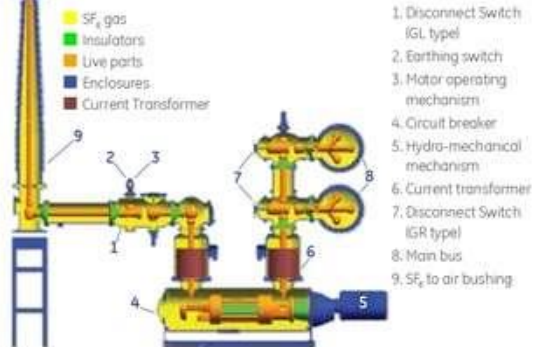
Measurement and  
Protection Bay



### Specifications of 363kV GIS

|  | Unit | ZF9-363          |
|--|------|------------------|
| Rated voltage                                      | kV   | 363              |
| Rated current                                      | A    | 4000             |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50/60            |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (%) | kV   | 520              |
| Rated lightning impulse withstand voltage (%)      | kV   | 1175             |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 63               |
| Breaker mechanism type                             |      | Hydro-mechanical |

### Cross Sectional View



## GIS with Voltage up to 420kV

### Overview

#### Model Numbers: ZF9-420LJ/Y4000-50

GE's ZF9-420LJ family of 4000A 50kA hydro-mechanical GIS features a compact structure with flexible arrangement options to meet the unique needs of most high voltage transmission systems. The ZF9-420 has been designed, tested, and certified to meet type test requirement per IEC standards. With standard and modular design options that save on the number of required components, substation arrangement is made easier ensuring reduced design time and substation complexity.

The ZF9-420 delivers advanced GIS technologies, reliability, easy operation and reduced maintenance efforts in one compact package.

### Key Features

- Single phase enclosure in a modular, flexible and compact design
- Long time constant (120ms) fault current interrupting capability
- Strong light-weight aluminum enclosure
- Dimensions:  
L x W x H: 5514mm x 3024mm x 6284mm
- Horizontal circuit breaker with spring hydro-mechanical operating mechanism
- 50kA rated short circuit current with peak withstand capability of 125kA
- Disconnect and Earthing Switches with motor operating mechanism or optional IPO or gang operated
- Fast Earthing Switch (FES) with motor-spring mechanism
- Exclusive sealing technology (0.5% leakage rate per year)
- Built-in grounding switches
- Pre-assembled and factory tested bays

### Benefits

**Optimized & compact design:** With a design that utilizes both standard and modular design components, pre-assembled bays, and arrangement flexibility, the ZF9-420 reduces site civil work, installation time and commissioning effort.

**Enhanced control & monitoring:** To ensure ease of integration into new or existing substation control networks and connectivity to the control center, the ZF9-420 is equipped with an Ethernet fiber optic connection.

**Excellent interrupting property:** The interrupter adopts the advanced arc extinguishing by utilizing both arc and mechanism energy, to reliably break fault and load currents up to rated 50kA short circuit current with a peak short circuit withstand capability of 125kA.

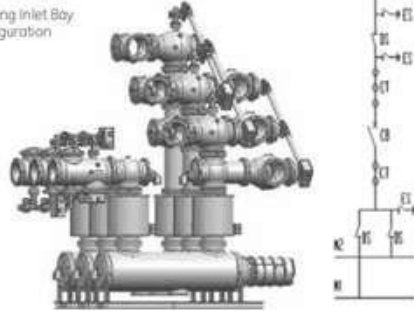




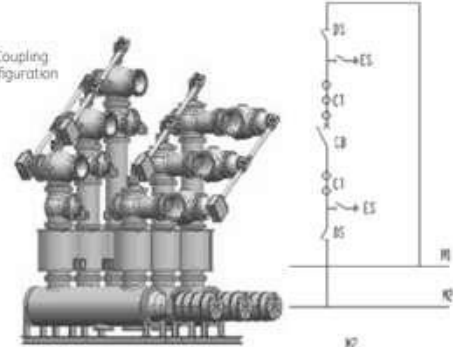
## GIS with Voltage up to 420kV

### Applications & Bay Configurations

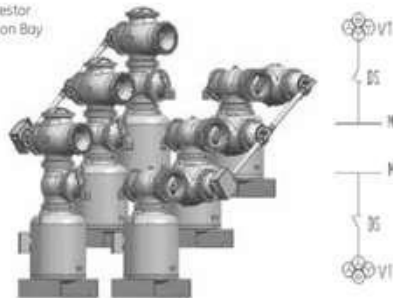
Bushing Inlet Bay Configuration



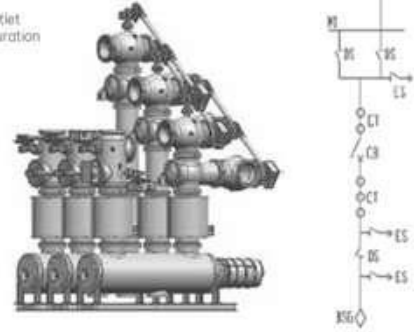
Busbar Coupling Bay Configuration



3VT/Arrestor Protection Bay



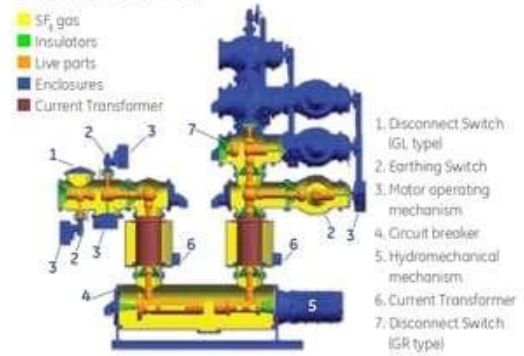
Bushing Outlet Bay Configuration



### Specifications of 420kV GIS

|  | Unit | ZF9-420          |
|--|------|------------------|
| Rated voltage                                      | kV   | 420              |
| Rated current                                      | A    | 4000             |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50               |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (*) | kV   | 650              |
| Rated lightning impulse withstand voltage (*)      | kV   | -1425            |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 50               |
| Breaker mechanism type                             |      | Hydro-mechanical |

### Cross Sectional View



## GIS with Voltage up to 550kV

### Overview

#### Model Numbers: ZF8-550/Y5000-63

The ZF8-550 GIS offers a flexible, modular, and compact approach to gas insulated switchgear. With a single phase encapsulated structure and strong seismic-resistance, the ZF8-550 is suitable for both indoor or outdoor applications.

With layout flexibility, the ZF8-550 GIS consists of a circuit breaker, disconnect, earthing switch, current transformer, voltage transformer, surge arrester, busbar and bushings, and can be configured to meet the needs of every unique customer configuration.

### Key Features

- Single Phase enclosure design
- Dimensions:  
L x W x H: 5200mm x 4500mm x 3000mm
- Bay depth: 4500mm
- Horizontal circuit breaker with spring hydro-mechanical driven operating mechanism
- Capable of interrupting fault currents with a long time constant (120ms)
- 63kA rated short circuit current with peak withstand capability of 171kA
- Disconnect and Earthing Switches with motor driven mechanisms
- Fast Earth Switch (FES) with motor-spring operating mechanism
- Exclusive sealing technology (0.5% leakage rate per year)
- Built-in grounding switches
- Pre-assembled and factory tested bays

### Benefits

**Reliable and superior interrupting performance:** The ZF8-550 offers one of the industry's best short circuit performance ratings, to a maximum breaking capability of 70kA. Focused on reliability, the ZF8-550 features a unique interrupter design that utilizes a minimum number of components, resulting in a high performance and highly reliable GIS solution.

**Reduced on-site commissioning time & effort:** Assembled in large-scale assembly workshops and packed individually as complete functional elements, transportation and on-site commissioning is greatly simplified.

**Built for life:** The ZF8-550 offers an advanced and unique gas sealing structure that delivers industry leading performance and reliability. With an average annual gas leakage rate less than 0.5%, XD/GE GIS are built to operate more than 30 years before requiring gas refill.

**Excellent interrupting property:** The interrupter adopts the advanced arc and mechanism energy, to reliably break fault and load currents up to a rated 63kA short circuit current with a peak short circuit withstand capability of 171kA.



550kV Gas Insulated Switchgear



550kV Hybrid Gas Insulated Switchgear

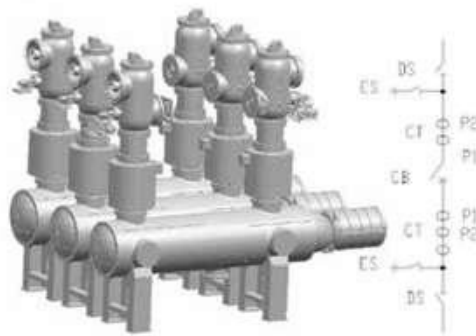


550kV Hybrid Gas Insulated Switchgear

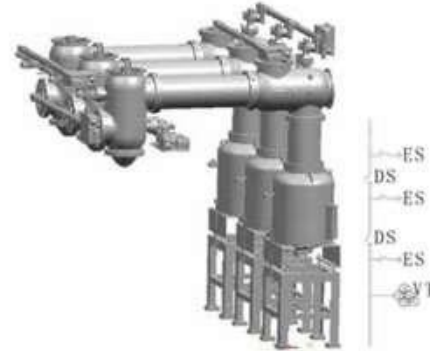
## GIS with Voltage up to 550kV

### Applications & Bay Configurations

Incoming & Outgoing  
Bay Configuration



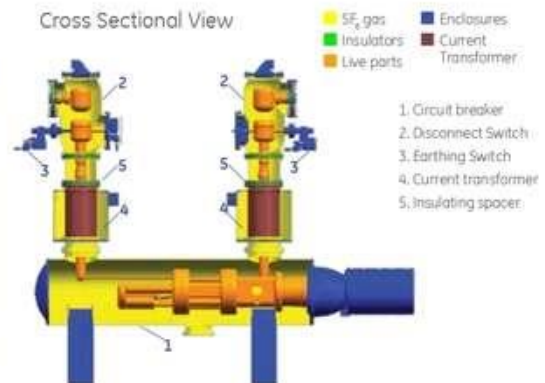
Protection Bay  
Configuration



### Specifications of 550kV GIS

|   | Unit | ZFB-550            |
|---|------|--------------------|
| Rated voltage:  | kV   | 550                |
| Rated current   | A    | 4000/5000<br>/6000 |
| Rated frequency                                       | Hz   | 50/60              |
| Rated power frequency<br>withstand voltage, 1 min (*) | kV   | 740                |
| Rated lightning impulse<br>withstand voltage (*)      | kV   | 1675               |
| Rated short circuit<br>breaking current               | kA   | 50/63              |
| Breaker mechanism type                                |      | Hydro-mechanical   |

### Cross Sectional View



## GIS with Voltage up to 800kV

### Overview

#### Model Numbers: ZF8-800/Y5000-63

XDGE's ZF8-800 GIS uses proven technologies found in series oriented double 420kV breaks for increased operating performance. Key components of the ZF8-800 have been designed, engineered, manufactured, and tested to meet the requirements of 1100kV GIS, ensuring increased operational reliability.

With a modular construction, stable operation features, advanced sealing technology, and spring disks for energy storage, physical space requirements are reduced and safety is improved.

Disconnect and Earthing Switches are shipped as pre-assembled and tested units. Shipping, installation, commissioning is simplified reducing project time and costs.

### Key Features

- Modular design with the following outline dimensions:  
L x W x H: 6000mm x 2000mm x 5300mm
- 50kA rated short circuit current withstand
- Closing resistor used for disconnect switches
- Horizontal circuit breaker with spring hydro-mechanical driven operating mechanism
- Disconnect and Earthing Switches with motor driven mechanism
- Fast Earthing Switch (FESI) with motor-spring operating mechanism
- Exclusive sealing Technology (less than 0.5% leakage rate per year)
- Built-in grounding switches
- Pre-assembled and factory tested bays

### Benefits

**High operation reliability & superior interrupting:** The ZF8-800 offers one of the industry's best performance ratings. Designed, manufactured, and tested based on a 1100kV specification, the ZF8-800 delivers the reliability required for challenging and complex transmission applications. Further, the ZF8-800 meets a 50kA rated short circuit current withstand and features a unique interrupter design that minimizes the number of required components.

**Reduced on-site commissioning time & effort:** Assembled in large-scale assembly workshops and packed individually as complete functional elements, transportation and on-site commissioning is greatly simplified.

**Built for life:** The ZF8-800 offers an advanced and unique gas sealing structure that delivers industry leading performance and reliability. With an average annual gas leakage rate of less than 0.5% per year, XDGE GIS is built to operate more than 30 years.



800kV Gas Insulated Switchgear at Lan Zhou Substation



800kV Gas Insulated Switchgear

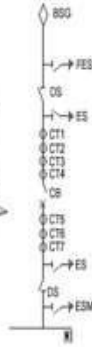
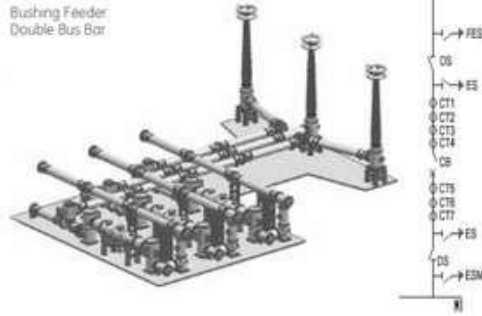


800kV Epoxy Resin Casting

## GIS with Voltage up to 800kV

### Applications & Bay Configurations

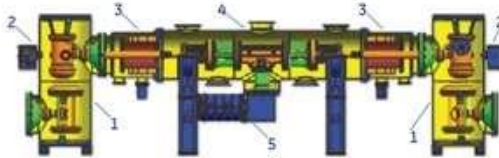
Bushing Feeder  
Double Bus Bar



### Cross Sectional View

- SF<sub>6</sub> gas
- Insulators
- Live parts
- Enclosures
- Current Transformer

1. Disconnect Switch
2. Earthing switchgear
3. Current transformer
4. Circuit breaker
5. Hydro-mechanical mechanism



### Specifications of 800kV GIS

|  | Unit | ZFB-800          |
|--|------|------------------|
| Rated voltage                                      | kV   | 800              |
| Rated current                                      | A    | 5000             |
| Rated frequency                                    | Hz   | 50               |
| Rated power frequency withstand voltage, 1 min (*) | kV   | 960              |
| Rated lightning impulse withstand voltage (*)      | kV   | ≥100             |
| Rated short circuit breaking current               | kA   | 50               |
| Breaker mechanism type                             |      | Hydro-mechanical |



800kV Gas Insulated Switchgear at Bin Chang Substation

## Technology

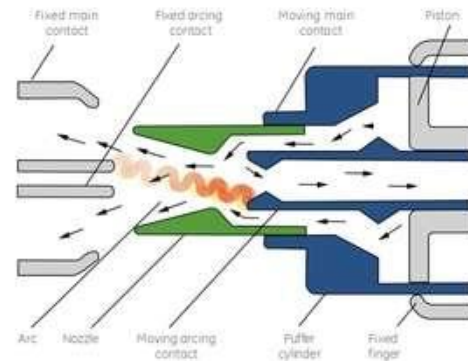
For voltage ratings below 420kV, the circuit breaker is in a single break arrangement. Above 420kV, the circuit breaker is a double-break in the horizontal arrangement, with parallel capacitors. Adopting SF<sub>6</sub> gas as an arc extinguishing medium, the interrupter is designed as a puffer type. The contact nozzle structure allows for a short circuit current rating of 67kA and meets all required breaking abilities, including out of phase and short line fault.

### Interrupter

The figure to the right shows the principle construction of the interrupter. The pressure of the gas in the puffer cylinder goes up when the gas is heated by the arc and then compressed by the opening movement of the puffer cylinder.

The pressurized and compressed gas then goes to the arc between the stationary contact and the moving contact. The nozzle concentrates the gas flow to the arc for efficient cooling.

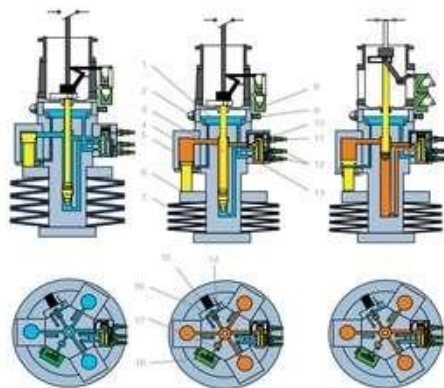
### Construction and Key Components of the GIS Interrupter Module



### Hydromechanical Operating Mechanism

The hydromechanical mechanism has a modular design that allows for easy maintenance. Disc springs are used to store the energy for operating the breaker. The mechanism has two independent control valves for opening to ensure reliable operation. The direct connection to the interrupter provides

a one to one travel distance between the interrupter and the mechanism. This mechanism can be operated either in single phase or in three phase electrically, and can be gang-operated in three phase mechanically.



(a) Uncharged, open position (b) Charged, open position (c) Charged, closed position

1. Low pressure oil tank
2. Oil level indicator
3. Operating piston rod
4. High pressure oil tank
5. Piston for charge
6. Support ring
7. Disk spring
8. Auxiliary switch
9. Oil-filling hole
10. Throttle of close
11. Electro-magnetic valve for close
12. Electro-magnetic valve for open
13. Throttle of open
14. Oil drainage valve
15. Energy-store motor
16. Oil pump
17. Pressure release valve
18. Spring position switch



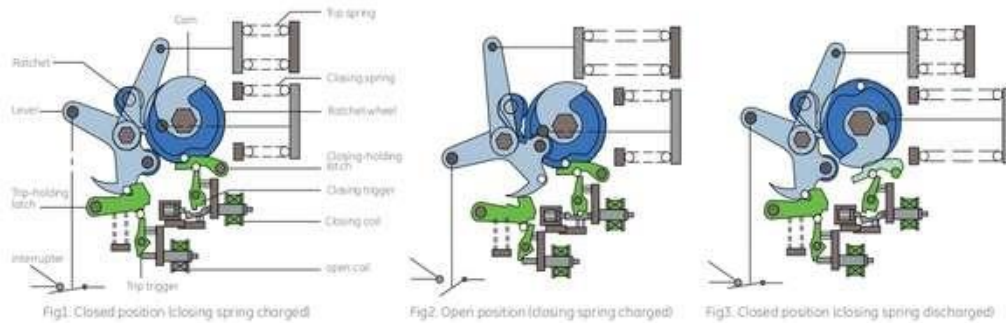
### Spring Operating Mechanism

The design of the spring operated mechanism provides the high performance required for reliable operation. The lever engaged with the locking device, which is released when the trip coil is energized, is rotated counterclockwise by the trip spring (Fig.1).

The cam and the ratchet wheel engaged with the locking device, which is released when the closing coil is energized, are rotated counterclockwise by

the closing spring. The lever is rotated clockwise, compressing the trip spring by torque from the cam (Fig.2).

As soon as the closing sequence is completed, the closing spring is charged by the ratchet linked to the motor (Fig.3).



### Current Transformer

The current transformer is an epoxy resin coated casting. The bus conductor functions as the primary coil and the secondary coil is a fixed ring core. The measurement and protection coil of the CT are at earth potential, with high precision 0.2 class. Special accuracy ratings are available upon request.

### Main Busbar and Branch Busbar

Depending on voltage level and configuration, the main busbar and branch are either single phase or three phase encapsulated. The enclosure material is aluminum tube or casting, which eliminates eddy current heating.

### Disconnecter

There are two types of disconnectors in the GIS: types GR and GL. For GR, the configuration is at 90 degrees and GL is configured in-line. One or two earthing switches may be installed in each of these two disconnector types, making a more compact and flexible structure. Based on application and customer requirements, the disconnectors may be used to switch small capacitive, inductive current and/or busbar transfer currents.

### Surge Arrestor, Voltage Transformer and SF<sub>6</sub> Bushing

The surge arrestors and voltage transformers are all enclosure type structures, using SF<sub>6</sub> gas as the insulation medium in the vertical arrangement. SF<sub>6</sub> entrance bushings have pollution withstand capability up to class 5 with an advanced inner shield design. The bushings are small in diameter and light in weight with high earthquake resistance. Both composite and porcelain bushing can be provided.

### Earthing Switch (ES) and Fault Earthing Switch (FES)

Earthing and fault earthing switches are installed on each disconnector. One or two ES/FES can be installed on each. Insulation spacers are included between the enclosure of the earthing switch and breaker compartments. After disassembly of the earthing bar, measurement of the main circuit resistance and inspection of the mechanical characteristics of the circuit breaker may be carried out. FES has the capability of making short circuit current and switching inductive currents. The ES/FES can be provided with either motor/spring or pneumatic mechanisms.

## Innovative Facilities and Rigorous Quality Processes

XDJGE's technology portfolio is built in advanced manufacturing and testing facilities that follow robust quality processes, to provide customers with products that meet the critical and demanding reliability and environmental requirements of power transmission and distribution applications.

### Manufacturing Excellence

XDJGE designs a broad range of switchgear in five vertically integrated and specialized production facilities including machining, surface treatment, insulating, housing and casting.

Additionally, there are two specialized facilities that produce both the spring and hydromechanical operating mechanisms.

Final production is completed in three workshop assembly lines that total more than 50,000 square meters. Components such as aluminum enclosures, cast resin insulators, current and voltage transformers, and operating mechanisms are manufactured by XDJGE through this completely integrated manufacturing model.

The switchgear facilities are ISO 9001 certified, ISO 14001 certified for environmental management systems, as well as OSHA® 18001 certified for health and safety management systems.

### Exceptional Quality

Delivering high quality, reliable products and solutions is a primary directive for XDJGE and that is evident throughout the manufacturing facilities. The quality process begins with an incoming inspection of all materials to ensure the best possible inputs before manufacturing begins.

Throughout the production and assembly process, there are multiple checkpoints in the documented test plan, including both visual and "stop flow" inspections. The production facilities follow strict non-conforming procedures to identify, control and avoid the use and delivery of non-conforming products. Each production facility has developed strict environmental standards, including controls of cleanliness, temperature and humidity, and has controls in place to monitor and manage to established standards.

In addition, XDJGE has a dedicated measuring and inspection department with certified, full-time inspectors in each of its manufacturing sites. The measurement and inspection department provides a secondary cross-inspection for all work in process, as well as finished products, ensuring a high level of quality is achieved throughout the manufacturing process. First Pass Yield and Cost of Quality data is maintained and analyzed, per product family, in order to drive continual product and process improvements and higher product reliability.

From raw materials acquisition and inspection to finished product, XDJGE's GIS is designed to meet rigid quality processes so the installed product provides the highest level of reliability while focusing on lowering the total cost of ownership.

### Advanced Test Facilities

XIHARI®, the Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, is an integral part of the XDJGE alliance. XIHARI has extensive testing capabilities at its facilities, which include a High Power Laboratory, High Voltage Laboratory, Artificial Climate Laboratory, EMC Laboratory and an Operational Test Circuit for HVDC Thyristor Valves. At the switchgear facilities, once final assembly is completed, the switchgear modules/bays are tested at the High Voltage Laboratory. The testing facility allows for the testing of a single breaker module, a single bay or a complete substation according to the international standards.

The testing hall meets all of the requirements of ISO/IEC 17025 and houses some of the largest test equipment in the world, providing the capacity to test primary equipment as large as 1,100kV AC. The High Voltage Apparatus Laboratory in XIHARI is a government authorized national high-voltage apparatus quality supervision and inspection test center. It is an independent third-party laboratory for type tests, routine tests, performance tests and certificate tests for high-voltage apparatus. The testing facilities at XIHARI also include an extension environmental laboratory. Testing capabilities here include high altitude testing, high humidity testing, and temperature testing from -70° C up to +150° C.





## Support and Service

### Global Project Engineering Services

XDJGE is dedicated to helping its customers reach their system objectives and provides a suite of professional services to assist the successful deployment and maintenance of XDJGE products and solutions globally. From design and implementation to post-sales support, a team of highly skilled technical and business experts are available to help customers effectively use the capabilities and product domain knowledge that are available from XDJGE.

This support infrastructure covers the entire life cycle of the product. From the coordination of transportation logistics to the completion of site acceptance testing and warranty service, the highly qualified XDJGE team is available throughout the implementation.

To ensure a high quality of service to meet the needs of each unique application, XDJGE has a global field service team of highly experienced and dedicated individuals. Coupled with a vast network of high voltage power equipment domain experts, XDJGE is able to support a broad range of applications in various environments.

Finally, XDJGE offers a 24x7 global support service to address and direct any customer application and field questions.

### Specialized Installation and Commissioning

- Logistics and project management including coordination of ocean and inland transportation
- Installation services include receiving, rigging, unloading and labor (mechanical and electrical)
- Test commissioning
- Site acceptance testing

### Post-Sales and Installation Support

- 24x7 global customer service
- Emergency response hotline
- Several customer support access points available to ensure timely support (telephone, e-mail, fax, or web)
- Global spare parts reserve
- A global network of maintenance and repair facilities



4800kV/720 kJ Impulse Voltage Generator &  
=2000kV 30mA DC Voltage Generator

Gas Insulated Switchgear – 72.5–800kV

## Primary Plus



### Pre-Engineering Secondary Equipment

Primary Plus, XQ|GE's supplemental offering to its primary equipment, is a pre-engineered, factory installed solution set that allows utilities to reduce the time and labor associated with substation construction and expansion. Primary Plus uses technologies and methodologies familiar to existing resources and skill sets.

- Digitized primary equipment for replacing labor-intensive, individually terminated copper wires
- Electrical protection to monitor and react to fault conditions
- Advanced monitoring and diagnostics capabilities to predict problems and proactively manage asset performance
- Secure and ruggedized wireless devices, fiber optic multiplexers and Ethernet switches provide reliable communications infrastructure



### Digitized Substation

#### Multilin™ HardFiber System

- Using the Multilin HardFiber system, XQ|GE primary equipment can deliver primary equipment with digital communications. The Multilin HardFiber system provides a reduction in total life costs of protection and control through labor and resource optimization.
- This factory-installed solution reduces the amount of labor-intensive, individually terminated copper wire connections with pre-terminated copper and fiber optic cables that have standard physical interfaces and support open digital communications IEC 61850 Communications standard.

#### Key Benefits

- Reduces up to 50% of labor costs for protection and control
- Replaces extensive copper wiring with pre-terminated copper and fiber cables
- Reduces specialized on-site labor by shifting spending to readily available materials
- Improves employee safety by leaving potentially dangerous high-energy signals in the switchyard
- Reduces the chances for operational mistakes made during isolation and restoration during routine maintenance
- Built on the Multilin Universal Relay (UR) family, allowing for fast transition into most protection and control applications
- Eliminates up to 90% of control building terminations



### Electrical Protection & Control

#### Advanced Relay's for Substation Equipment

Primary Plus uses Multilin protection & control relays to provide primary protection of this critical primary equipment. Depending on the type of power asset connected to the GIS and the specific application requirements, the most appropriate protective device can be deployed (i.e., Feeder Protection, Transformer Protection, Line Differential Protection). Advanced protection algorithms, expandable I/O, extensive programming capabilities and automation, high accuracy metering, and the latest in communications technologies provide optimal primary asset management and maximum system availability.

#### Key Benefits

- Common, modular platform to meet unique application design requirements
- Advanced automation, I/O expandability, and programming logic for customized protection and control solutions
- High accuracy fault and disturbance recording for improved post event analysis
- High speed communications and inter-relay connectivity, including support for IEEE 1588 for reduced wiring and installation costs
- CyberSentry™ provides high-end cyber security (NERC® CIP, AAA, Radius, RBAC, Syslog)
- Integrated monitoring and metering for reliable asset management and maintenance optimization
- Embedded IEC 61850 protocol support, eliminating the need for external communications hardware
- Multi-language support to meet local application needs and requirement





Gas Insulated Switchgear Factory in Xi'an



GEDigitalEnergy.com



**Digital Energy**

Toll Free: +1 877-605-6777  
Direct: +1 678-844-6777  
gedigitalenergy@ge.com

GE, the GE monogram, Primary Plus, Multilin and CyberGentry are trademarks of General Electric Company. IEC Electric is a registered trademark of China IEC Electric Group. ISO is a registered trademark of the International Organization for Standardization. IEC is a registered trademark of Commission Electrotechnique Internationale. IEEE is a registered trademark of the Institute of Electrical Electronics Engineers, Inc. ANSI is a registered trademark of American National Standards Institute, Incorporated. KEMA is a registered service mark of N.V. Kema. OSHA is a registered service mark of the Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor. XIHARI is a registered trademark of the Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co., Ltd. NERC is a registered trademark of North American Electric Reliability Council. CEI is a registered trademark and service mark of CEI S.P.A.

GE Digital Energy reserves the right to make changes to specifications of products described at any time without notice and without obligation to notify any person of such changes.

Copyright 2014, General Electric Company.

99A-1170200  
English  
2/1/16





## ANEXO 6: Declaración jurada de autenticidad de tesis.



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



VRI  
Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Alexander David Flores Iberos, identificado con DNI 72905423 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

**“EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN BELLAVISTA, EN 60/10 KV- PUNO, CON CELDAS TIPO GIS”**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 26 de enero del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 7: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Alexander David Flores Iberos, identificado con DNI 72905423 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

**“EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO PARA AMPLIACIÓN DE LA SUBESTACIÓN BELLAVISTA, EN 60/10 KV- PUNO, CON CELDAS TIPO GIS”**

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento

Puno 26 de enero del 2024

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA (obligatoria)

  
Huella