



Elaboración de procedimientos, protocolos, guías e instructivos para la subestación Jouktai.

Alejandro Duque Ciro

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Asesor

Walter Mauricio Villa Acevedo, Especialista (Esp) en Ingeniería Eléctrica

Cesar Augusto Mesa López, Ingeniero Electricista

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Duque Ciro [1]
Referencia	[1] A. Duque Ciro, “Elaboración de procedimientos, protocolos, guías e instructivos para la subestación Jouktai”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.

Estilo IEEE (2020)



Centro de documentación de ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Noe Alejandro Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS.....	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos.....	14
MARCO TEÓRICO	15
A. Subestaciones eléctricas	15
B. Clasificación de las subestaciones eléctricas	15
• Subestación de maniobra:.....	15
• Subestación de transformación pura:.....	15
• Subestación de transformación/maniobra:.....	16
• Subestación de transformación/cambio de número de fases:	16
• Subestación de rectificación:	16
• Subestación de central	16
C. Subestaciones eléctricas tipo AIS (Aisladas en aire)	16
D. Subestación eléctrica tipo GIS (Aislada en gas)	16

Ventajas:	17
Desventajas:	18
E. Subestación eléctrica HIS (Híbrida aislada en aire y gas)	18
IV. METODOLOGÍA	19
A. Revisión de las memorias de cálculo con los que se realizó el diseño de la subestación Jouktai.	19
B. Análisis de los planos electromecánicos de la subestación Jouktai	19
C. Revisión de los documentos técnicos de los elementos que conforman la subestación y que fueron entregados por los fabricantes.....	19
D. Realización de visitas técnicas a la subestación Jouktai	19
E. Participación en la capacitación proporcionada por la empresa Elecnor y Siemens.	19
F. Elaboración de los formatos de rondas operativas, de bloqueo y guías de funcionamiento, necesarios para la correcta operación de la subestación Jouktai	20
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	20
Guía de funcionamiento de la subestación	20
Servicios auxiliares AC.....	35
Servicios auxiliares DC.....	37
Instructivo de seguridad	39
Requisitos generales que deben cumplir las subestaciones eléctricas	39
Importancia de la seguridad	40
Efectos del paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano	40
Factores de riesgo más comunes	42
Distancias de seguridad.....	44
Espacios de trabajo alrededor de los equipos	46
Ingresos al espacio de trabajo	48
Altura libre	48

Señales de seguridad	49
Clasificación de las señales de seguridad	49
Campos electromagnéticos	51
Rutina de operación	52
Equipos de protección	52
Las 5 reglas de oro	52
Deberes del operador de la subestación	53
Deberes del supervisor	53
Formatos de rondas operativas	53
Instructivos de bloqueo y etiquetado	58
Indicaciones generales	58
Dispositivos de bloqueo	59
Elementos para realizar el bloqueo y etiquetado	60
Procedimiento para la realización de trabajo seguro con energías peligrosas	62
Tareas previas [15]:	62
Pasos para el procedimiento de bloqueo	62
Preparación para apagar el equipo:	62
VII. CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS	68

LISTA DE TABLAS

TABLA I FACTORES DE RIESGOS MÁS COMUNES [2].	42
TABLA II DISTANCIA MÍNIMA PARA TRABAJOS EN O CERCA DE PARTES ENERGIZADAS EN CORRIENTE ALTERNA [11].	44
TABLA III DISTANCIA MÍNIMA PARA TRABAJOS EN O CERCA DE PARTES ENERGIZADAS EN CORRIENTE CONTINUA [11].	45
TABLA IV PROFUNDIDAD MÍNIMA DEL ESPACIO DE TRABAJO EN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA [11].	46
TABLA V ALTURAS DE LAS PARTES ENERGIZADAS SIN PROTEGER SOBRE EL ESPACIO DE TRABAJO [11].	49
TABLA VI CLASIFICACIÓN Y COLORES PARA LAS SEÑALES DE SEGURIDAD [2].	49
TABLA VII PRINCIPALES SEÑALES DE SEGURIDAD [2].	50
TABLA VIII VALORES LÍMITES DE EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS [2].	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Subestación aislada en aire. Fuente: Universidad Pontificia Comillas.....	16
Figura 2.Configuración típica de una subestación GIS. Fuente: AREVA.....	17
Figura. 3.Modulo aislado en GIS de la subestación HIS. Fuente: Autor.....	18
Figura. 4.Equipos aislados en aire de la subestación HIS. Fuente: Autor.....	18
Figura. 5.Diagrama unifilar general de la subestación elevadora 34,5/ 110 kV.	21
Figura 6. Diagrama unifilar de las bahías conectadas a la barra de 110 kV.	22
Figura 7. Diagrama unifilar GIS de la barra de 110 kV.....	23
Figura 8. Modulo GIS de la barra de 110 kV.....	24
Figura 9.Modulo del Seccionador de tres posiciones (Tierra, abierto, cerrado).	24
Fig. 10.Seccionador de barra.....	25
Figura 11.Módulo del transformador de tensión.....	25
Figura 12.Transformador de tensión.....	26
Figura 13.Módulo del transformador de corriente.....	26
Figura 14.Transformador de corriente.....	27
Figura 15.Interruptor de potencia en la bahía.....	27
Figura 16. Partes del Interruptor de potencia.....	28
Figura 17. Seccionador de línea de tres posiciones (Tierra, abierto, cerrado).	28
Figura 18. Seccionador de puesta a tierra.....	29
Figura 19. Seccionador Bypass.....	29
Figura 20.Transformador de tensión tipo capacitivo.....	30
Figura 21. Transformador de tensión tipo capacitivo con trampa de onda.....	31
Figura 22. Descargador de sobretensiones o DPS.....	31
Figura 23. Interfaz aire - gas SF6.....	32

Figura. 24. Transformador de potencia de la subestación.....	32
Figura 25. Diagrama unifilar de las celdas conectadas a la barra de 34,5 kV.....	33
Fig. 26. Banco de compensación de reactivos 34,5 kV.....	34
Figura 27. Transformador de servicios auxiliares tipo seco de 150 kVA.	34
Figura 28. Transformador de servicios auxiliares tipo seco de 150 kVA.	34
Figura 29. Aerogenerador del parque eólico Guajira 1.	35
Figura 30. Diagrama Unifilar SSAA de corriente alterna.....	36
Figura 31. Grupo electrógeno vista general.	36
Figura 32. Grupo electrógeno, panel de control local.	37
Figura 33. Diagrama Unifilar SSAA de corriente directa.	38
Figura 34. Rectificadores / Cargadores.	38
Fig. 35. Banco de baterías.	39
Figura 36. Zonas de tiempo/corriente con los efectos de las corrientes alternas de 15 Hz a 100 Hz en el cuerpo humano.	41
Figura 37. Impedancia del cuerpo humano.	42
Figura 38. Límites de aproximación en instalaciones eléctricas.	46
Figura 39. Espacio de trabajo para el caso 1 [12].	47
Figura 40. Espacio de trabajo para el caso 2 [12].	47
Figura. 41. Espacio de trabajo del caso 3 [12].	48
Figura 42. Formato de rondas operativas diarias. Fuente: Autor.	55
Figura 43. Gráficas de las variables de las rondas operativas diarias. Fuente: Autor.	56
Fig. 44. Formato de rondas operativas semanales. Fuente: Autor.	57
Figura 45. Formato de rondas operativas mensuales. Fuente: Autor.	58
Figura 46. Elementos de un tablero de bloqueo [15].	60
Figura 47. Candado amarillo [14].	60
Figura 48. Tarjetas de bloqueo (autor).	61
Figura 49. Barra de bloqueo [14].	61
Figura 50. Bloqueo de interruptor [14].	61
Figura 51. Bloqueo de interruptor [15].	62
Figura 52. Formato de bloqueo y etiquetado.....	66

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
GIS	Subestación Aislada en Gas (Gas Insulation Subestation, por sus siglas en inglés)
AIS	Subestación Aislada en Aire (Air Insulation Subestation, por sus siglas en inglés)
HIS	Subestación Aislada tipo Híbrida (Hybrid Insulation Subestation, por sus siglas en inglés)
AC	Corriente Alterna (Alternate Current, por sus siglas en inglés)
DC	Corriente Directa (Direct Current, por sus siglas en inglés)
SF6	Hexafluoruro de Azufre
SSAA	Sistema de Servicios Auxiliares
SIC	Superintendencia de Industria y Comercio
DPS	Dispositivo de Protección de Sobretensión
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés)

RESUMEN

En este documento se describe el desarrollo de los pasos necesarios que se utilizaron para la elaboración de los diferentes procedimientos, protocolos, guías e instructivos necesarios para la correcta operación de la subestación Jouktai. Primero, fue necesario comprender la disposición, configuración y funcionamiento de la subestación. Además, fue importante conocer y aplicar las disposiciones de seguridad que sirven para evitar la ocurrencia de eventos de alto riesgo al momento de realizar las diferentes tareas de mantenimiento. Segundo, se procede a realizar los formatos de rondas operativas, el formato de bloque para los equipos y las guías que describen el funcionamiento de los equipos que conforman la subestación Jouktai y que corresponden a los resultados obtenidos durante las prácticas académicas en la empresa ISAGEN.

Al momento de analizar los diferentes documentos elaborados se identifica la importancia de realizar seguimientos a las variables medidas y a el estado de los equipos, para lograr así evitar la salida de servicio de la subestación por un funcionamiento anómalo que no se hubiera sido detectado. Además, también se destaca la importancia que tiene tanto para la normatividad colombiana (RETIE) como para la empresa ISAGEN la seguridad de las personas, en donde la política de seguridad es tener cero eventos de alto riesgo de origen eléctrico a lo largo de todo el año.

***Palabras clave* — Subestación, gas SF6, rondas operativas, formatos de seguridad.**

ABSTRACT

This document describes the development of the necessary steps used for the elaboration of the different procedures, protocols, guides and instructions necessary for the correct operation of the Jouktai substation. First, it was necessary to understand the layout, configuration and operation of the substation. In addition, it was important to know and apply the safety provisions that serve to avoid the occurrence of high-risk events when performing the different maintenance tasks. Then, we proceeded to create the operational rounds forms, the block form for the equipment and the guides describing the operation of the equipment that make up the Jouktai substation, which correspond to the results obtained during the academic practices at ISAGEN.

At the time of analyzing the different documents prepared, it was possible to identify the importance of monitoring the variables measured and the state of the equipment, in order to avoid the substation going out of service due to an anomalous operation that had not been detected. In addition, the importance of people's safety was also highlighted, both for the Colombian regulations (RETIE) and for ISAGEN, where the safety policy is to have zero high-risk events throughout the year.

Key words - Substation, SF6 gas, operational rounds, safety formats.

INTRODUCCIÓN

Las subestaciones eléctricas son muy importantes para el funcionamiento del sistema eléctrico y esto se evidencia con mayor fuerza cuando se presenta una falla o salida de servicio que puede llevar a un apagón total de una empresa o una región que se encuentre conectada a esta. Por este motivo es primordial crear medidas que permitan la mitigación o la disminución de la probabilidad de ocurrencia de alguna falla. Por lo tanto, es necesario realizar un correcto entrenamiento del personal técnico de la subestación por medio de la elaboración de guías, protocolos, procedimientos e instructivos que permitan el correcto funcionamiento de los equipos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y del operador de red [1].

Es primordial tener en cuenta que las subestaciones eléctricas representan un riesgo eléctrico importante y por este motivo se deben tomar medidas que ayuden a prevenir estos riesgos, que pueden darse tanto al interior como al exterior de la subestación poniendo en peligro a las personas, animales, bienes materiales y al medio ambiente. Por lo tanto, se deben cumplir con las exigencias de seguridad especificadas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIIE) y en la normatividad vigente [2].

La subestación elevadora Jouktai de 34,5/110 kV de 25 MVA se encuentra ubicada en la península de la Guajira al norte de Colombia. Esta subestación posee un campo de llegada de 34,5 kV del parque eólico “Guajira 1” a un conjunto de celdas de media tensión aislado en GIS (Gas Insulated Substation) de barra sencilla, de este barraje se alimenta un transformador elevador de 34,5/110 kV, un banco de compensación y un transformador de servicios auxiliares. También, en el lado de 110 kV del transformador elevador se alimenta la subestación tipo GIS en configuración de barra sencilla, que tiene dos campos de líneas que van hacia la subestación Jepirachi de 110 kV y cuestecitas de 110 kV hacia donde se transmite la energía generada en el parque eólico [3]. Por lo tanto, se propone la elaboración de los procedimientos, protocolos, guías e instructivos necesarios para la correcta operación de la subestación Jouktai, cumpliendo con los requisitos técnicos y de seguridad que estos documentos requieren.

En la presente practica industrial se realizará la elaboración de los diferentes protocolos y guías de operación bajo el acompañamiento de la empresa ISAGEN S.A.E.S.P, teniendo en cuenta los diseños electromecánicos con los que se construyó la subestación, la documentación proporcionada por los fabricantes y por último, las capacitaciones dadas por la empresa Elecnor y

Siemens. La propuesta de diseño de estos instructivos busca suministrar una guía completa y fácil de entender que permita mantener la seguridad y la confiabilidad de la subestación Jouktai.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar formatos de rondas operativas, bloqueo, guías de funcionamiento e instructivos de operación para una subestación eléctrica tipo GIS, utilizando como base los diseños electromecánicos, la documentación y las capacitaciones proporcionadas por los fabricantes Elecnor y Siemens, con lo cual se busca cumplir con los requerimientos técnicos, operativos y de seguridad para la correcta operación de la subestación GIS Jouktai.

Objetivos específicos

Para el cumplimiento del objetivo general se proponen los siguientes objetivos:

- Comprender la disposición, configuración y funcionamiento de la subestación Jouktai por medio de la revisión detallada de los planos electromecánicos y las memorias de cálculo utilizadas en el diseño de la subestación, para luego proceder a realizar los formatos de rondas operativas, de bloqueo y guías de funcionamiento.
- Conocer y aplicar las disposiciones de seguridad que se deben tener en las subestaciones eléctricas para evitar la ocurrencia de eventos de alto riesgo, por medio de la elaboración de un formato de seguridad que se debe revisar periódicamente o cuando se vaya a realizar una operación y mantenimiento en la subestación.
- Crear formato de rondas operativas diarias, semanales y mensuales en donde se indique las revisiones que debe realizar el personal encargado de la operación de la subestación.
- Crear formato de bloqueo para los equipos de la subestación en donde se indique de manera detallada el procedimiento que se debe seguir para realizar de manera segura las tareas de mantenimiento cumpliendo con las 5 reglas de oro.
- Crear guías de funcionamiento que sirvan para la correcta operación de la subestación Jouktai, en donde se explique y se resuma de manera detallada cada uno de los subsistemas que componen la subestación como: servicios auxiliares, sistema de control, elementos de maniobra y protección.

MARCO TEÓRICO

A continuación, se procede a definir los conceptos teóricos que permite tener una mejor comprensión del presente trabajo:

A. *Subestaciones eléctricas*

Una subestación eléctrica es la composición de un conjunto de elementos o dispositivos que permiten cambiar o conservar las características de la energía eléctrica (tensión, corriente, tipo AC o DC, etc). Por lo general, las tensiones eléctricas de generación en las centrales son bajas en comparación con las tensiones que se utilizan en la transmisión, por lo que se utilizan subestaciones para elevar la tensión y así poder transportar la energía eléctrica a grandes distancias disminuyendo las pérdidas de energía eléctrica. Luego, es necesario realizar el proceso inverso y utilizar una subestación para realizar la disminución de la tensión para poder utilizar la energía eléctrica para el consumo del usuario final [4].

B. *Clasificación de las subestaciones eléctricas*

Debido al uso de nuevos materiales dieléctricos con los que son construidos los diferentes elementos que componen las subestaciones eléctricas se ha logrado la reducción de las distancias necesarias para una operación segura y con esto se ha podido realizar una mayor compactación y una menor utilización de área. Además, las subestaciones eléctricas se pueden clasificar principalmente en: Subestaciones convencionales aisladas en aire; que basan su distancia en el valor resultante de la rigidez dieléctrica del aire más las distancias de seguridad exigidas por la norma, y las subestaciones tipo GIS las cuales se encuentran aisladas en hexafluoruro de azufre (SF₆) que es un gas estable, no inflamable y con alta capacidad dieléctrica. También, se clasifican en subestación tipo intemperie si no existe un recinto que la contenga o en subestación tipo interior si se ubica dentro de un lugar cerrado [5]. Por último, se les suele clasificar según sea la función que realizan como:

- *Subestación de maniobra:* Es utilizada para conectar diferentes circuitos permitiendo la formación de nodos y aumentando la confiabilidad del sistema.
- *Subestación de transformación pura:* Es utilizada para realizar la elevación o disminución de la tensión y para ello es necesario la utilización de uno o varios transformadores.

- *Subestación de transformación/maniobra:* Es utilizado tanto para realizar la elevación o disminución del nivel de tensión y para la conexión y maniobra de diferentes circuitos del mismo nivel de tensión.
- *Subestación de transformación/cambio de número de fases:* Es utilizada para alimentar redes con distintos números de fase como: Trifásica- hexafásica o trifásica- monofásica.
- *Subestación de rectificación:* Es utilizada para alimentar redes de corriente continua y para ello es necesario tomar la corriente alterna de la red y luego realizar la rectificación para convertirla en corriente continua.
- *Subestación de central:* Esta destina a realizar la elevación de la tensión que proviene desde un nivel inferior desde el generador, hasta un nivel de tensión mayor para ser transportada de manera más eficiente por la red de transmisión.

C. *Subestaciones eléctricas tipo AIS (Aisladas en aire)*

Estas subestaciones operan en grandes extensiones de terreno en donde el medio aislante entre los conductores es el aire, ver Figura 1. Además, las dimensiones de estas subestaciones están determinadas por el nivel de tensión en el cual van a operar, debido a que a mayor tensión mayor será la distancia de separación entre los conductores necesaria para evitar arcos eléctricos y se necesitará equipos más grandes y robustos.



Figura 1. Subestación aislada en aire. Fuente: Universidad Pontificia Comillas.

D. *Subestación eléctrica tipo GIS (Aislada en gas)*

La principal característica de estas subestaciones es que sus componentes se encuentran aislados por un gas llamado hexafluoruro de azufre (SF₆). Este gas permite que las distancias de

separación entre los conductores sean menores ya que tiene una rigidez dieléctrica mayor que la que posee el aire. Por lo tanto, estas subestaciones utilizan una extensión de terreno menor y por lo general se encuentran en el interior de edificios.

Las subestaciones aisladas en GIS están formadas por los siguientes equipos principales: interruptor, seccionadores, seccionadores de puesta a tierra, transformadores de tensión, transformadores de corriente y barraje se encuentran de manera compacta en un solo módulo como se muestra en la Figura 2. Además, se debe tener en cuenta los transformadores de potencia, descargadores de sobretensión, pararrayos, aisladores y otros elementos que componen la subestación y que por lo general están aislados en aire fuera del módulo [6].

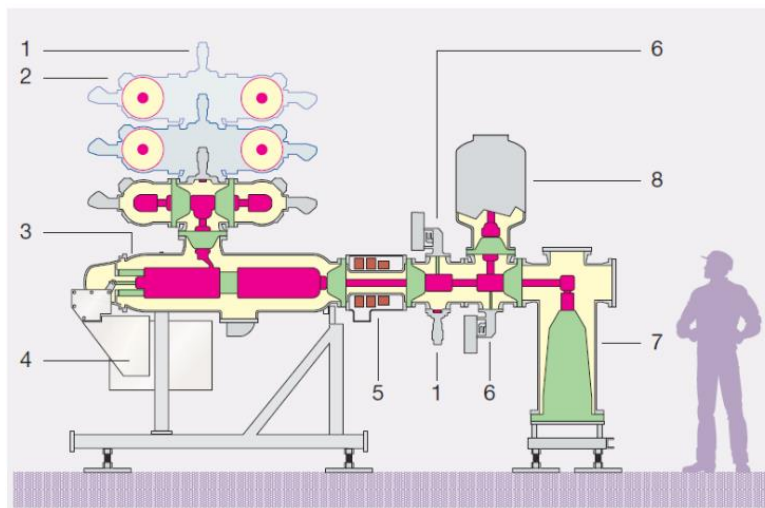


Figura 2. Configuración típica de una subestación GIS. Fuente: AREVA.

Ventajas:

- Menor espacio utilizado y por lo tanto menor coste en la adquisición de terrenos.
- Diseños adaptados al cliente gracias al diseño modular.
- Menor tiempo de implementación y construcción gracias al despacho de unidades preensambladas.
- Libre de mantenimiento por mínimo 20 años.
- Mayor confiabilidad.
- Menor impacto visual.
- Ideal para condiciones climáticas agresivas como polvo, arena, viento, entre otros.
- Mejor respuesta ante sismos gracias al centro de gravedad más bajo.
- Mayor seguridad para el personal de operación.

Desventajas:

- Mayor costo
- Mayor dependencia del fabricante.
- Mayor tiempo fuera de operación en caso de falla.
- Posee un gas contaminante, el hexafluoruro de azufre (SF₆).

E. Subestación eléctrica HIS (Híbrida aislada en aire y gas)

Este tipo de subestaciones combinan las tecnologías de las subestaciones tipo AIS y del tipo GIS, ver Figura 3 y Figura 4. Se compacta parte de la subestación en un módulo en el cual se encuentra el interruptor, los seccionadores, los transformadores de tensión y de corriente. Por lo tanto, se disminuye el área necesaria para su construcción y se mantiene las ventajas de los dos tipos de subestaciones.



Figura. 3. Módulo aislado en GIS de la subestación HIS. Fuente: Autor.



Figura. 4. Equipos aislados en aire de la subestación HIS. Fuente: Autor

IV. METODOLOGÍA

Para la realización del presente proyecto se plantearon los siguientes pasos que se presentan a continuación:

A. Revisión de las memorias de cálculo con los que se realizó el diseño de la subestación Jouktai.

El primer paso consistió en la revisión de las memorias de cálculo utilizados por la empresa Elecnor, en los cuales se presenta la configuración de la subestación, las cargas que tendrá y los equipos que se instalaron en la subestación. Esta revisión se hizo con el objetivo de entender los criterios que se utilizaron en el diseño y tener una visión general de cómo funciona la subestación.

B. Análisis de los planos electromecánicos de la subestación Jouktai

Se realiza el análisis de los planos electromecánicos en los cuales se presenta a detalle cada uno de los componentes que conforman la subestación y la manera en la cual se encuentran conectados, esto se hace con el objetivo de conocer la disposición física de los equipos y de las estructuras que conforman la subestación.

C. Revisión de los documentos técnicos de los elementos que conforman la subestación y que fueron entregados por los fabricantes.

Se revisan los documentos en los que se indica las características técnicas de los equipos en donde se indica el nivel de tensión, corriente, frecuencia y otros parámetros que permiten conocer a fondo el funcionamiento de cada equipo y permite comprender como funciona cada uno de ellos.

D. Realización de visitas técnicas a la subestación Jouktai

Con el fin de tener un mayor contexto se programó una visita técnica a la subestación Jouktai en la cual se realizó un recorrido por las instalaciones de la subestación, se reconoció los equipos instalados y se realizó un registro fotográfico con el objetivo de verificar que la configuración y los equipos instalados si corresponden a los que se encuentran en los planos y memorias de cálculo.

E. Participación en la capacitación proporcionada por la empresa Elecnor y Siemens.

Se participo en una capacitación técnica realizada por la empresa Elecnor encargada del diseño y por Siemens encargada de la instalación y fabricación de los equipos. En esta capacitación se dio una explicación detallada de la configuración y funcionamiento de la subestación.

F. Elaboración de los formatos de rondas operativas, de bloqueo y guías de funcionamiento, necesarios para la correcta operación de la subestación Jouktai

Por último, luego de realizado los pasos anteriores y de tener el conocimiento del funcionamiento de la subestación, se procedió a realizar los diferentes documentos planteados dentro de los objetivos específicos del presente trabajo.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Guía de funcionamiento de la subestación

A continuación, se muestran los elementos presentados en el documento GUIA DE FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA SUBESTACIÓN JOUKTAI en donde se busca explicar de manera detalla la configuración y el funcionamiento de los equipos más importantes de la subestación. Este documento puede de ser de gran utilidad para las personas encargadas de la operación y para las personas que sin ir a sitio pueden tener una visión general del funcionamiento de la subestación.

La subestación Jouktai tiene una configuración de barra sencilla la cual posee cuatro bahías conectadas a la barra de 110 kV, las cuales constan de dos bahías de salida, una hacia la subestación Jepirachi y otra hacia la subestación Cuestecitas. Además, se tiene dos bahías de transformación; una alimentada por el parque eólico Guajira 1 con una potencia instalada de 20 MW y la otra alimentada por el parque eólico Wesp con una potencia instalada de 12 MW. También, se tiene un Bypass que se encarga de conectar directamente a las subestaciones Jepirachi y Cuestecitas en caso de que la subestación Jouktai tenga que ser sacada de servicio. Esto se puede ver en la Figura 5.

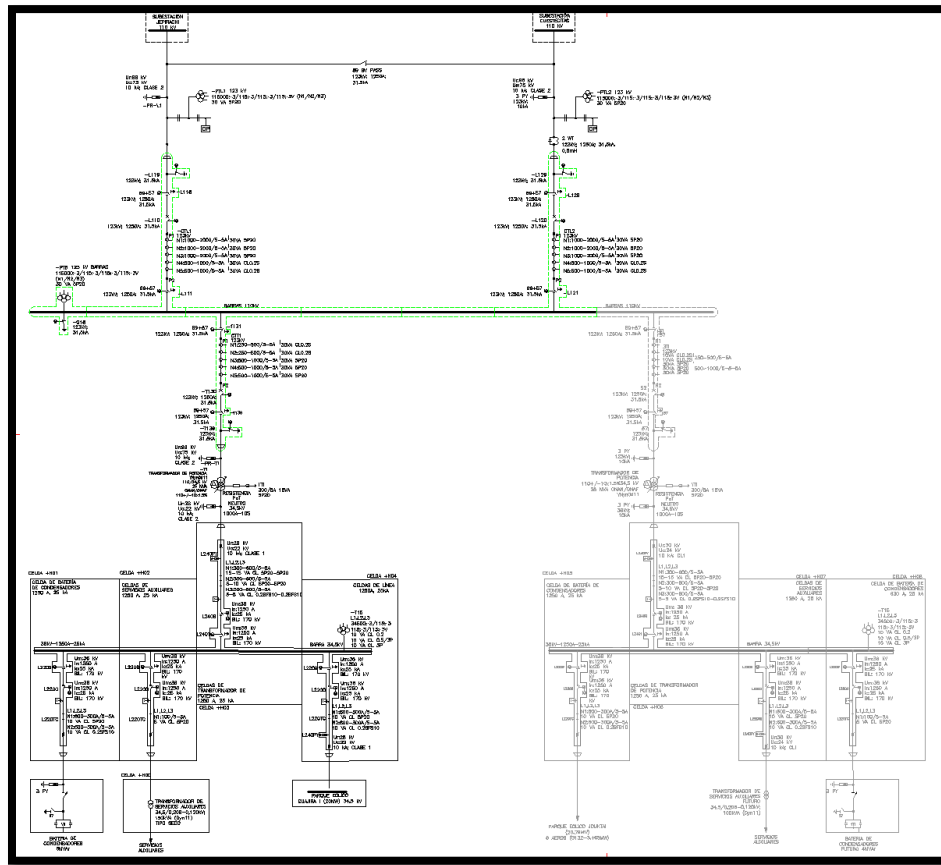


Figura. 5. Diagrama unifilar general de la subestación elevadora 34,5/ 110 kV.

En la Figura 6 se presenta de manera más detallada las cuatro bahías conectadas a la barra de 110 kV. En esta se pueden observar cada uno de los equipos que están conectados a esta barra los cuales son: Descargador de sobretensiones, transformador de tensión tipo inductivo, seccionador Bypass, trampa de onda utilizada para la comunicación entre las protecciones de línea de la subestación Jouktai y Cuestecitas, seccionador de puesta a tierra, seccionador de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra, transformador de corriente, interruptor y transformador de potencia. Además, se puede observar señalados con una línea verde punteada los compartimentos de gas SF6 en los que se encuentran los siguientes componentes: Transformador de tensión capacitivo conectado a la barra 110 kV, seccionador de puesta a tierra, seccionador de tres posiciones, transformador de corriente e interruptor.

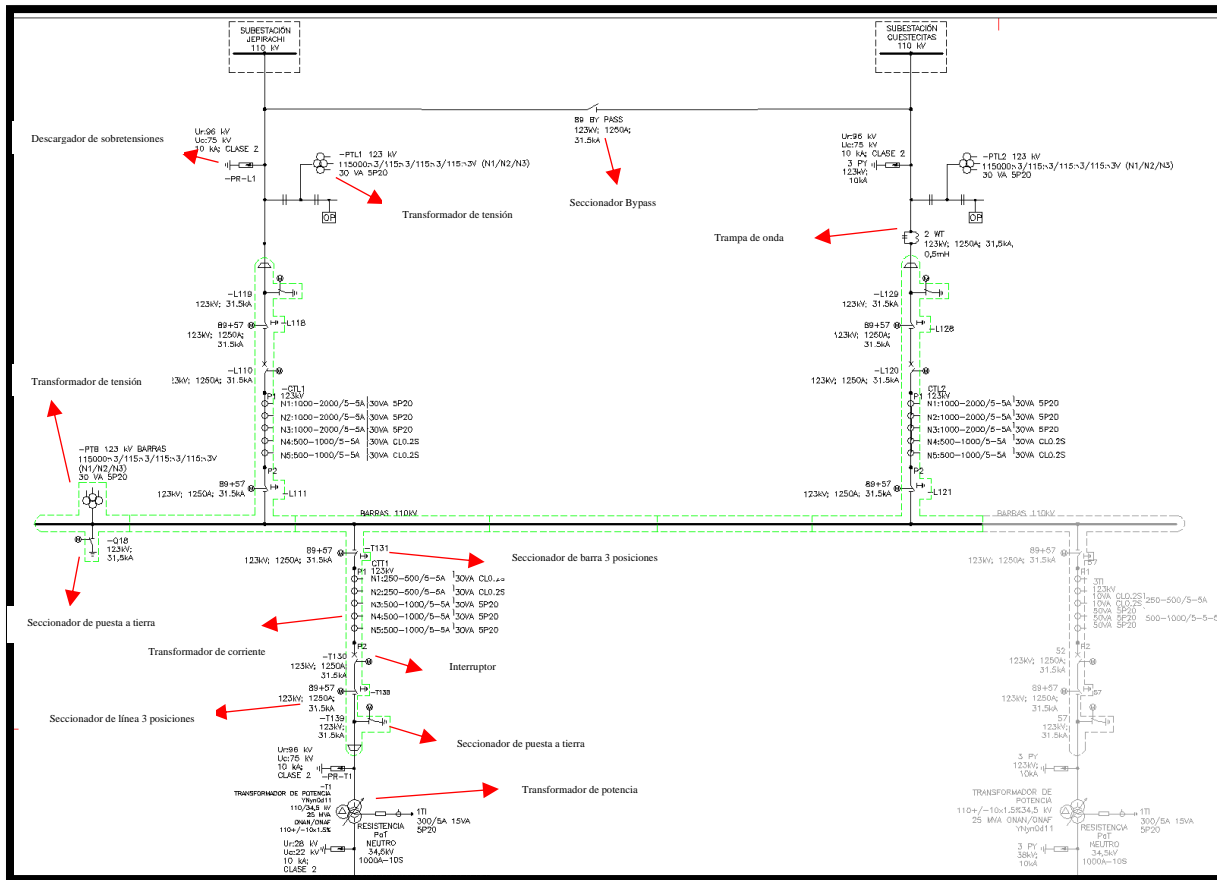


Figura 6. Diagrama unifilar de las bahías conectadas a la barra de 110 kV.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de gas SF6 el cual se usa para visualizar el estado de la presión del gas desde la IHM (Interfaz Hombre Maquina) y realizar el monitoreo de las presiones en los compartimentos. Además, se muestra como están distribuidos los compartimentos de gas SF6 en cada una de las bahías, a continuación, se describen cada una:

Para la bahía de salida que va hacia Jepirachi se tiene el módulo G02 en el cual se encuentra encapsulado el *seccionador de línea de tres posiciones* y el *seccionador de puesta a tierra*, luego se tiene el módulo G00 en el que se encuentra el *interruptor* y por último, se tiene el módulo G01 en el cual se tiene el *seccionador de barra de tres posiciones* y una sección de la *barra 110 kV*.

Para la bahía de salida que va hacia Cuestecitas se tiene el módulo G02 en el cual se encuentra encapsulado el *seccionador de línea de tres posiciones* y el *seccionador de puesta a tierra*, luego se tiene el módulo G00 en el que se encuentra el *interruptor* y por último, se tiene el módulo G01 en el cual se tiene el *seccionador de barra de tres posiciones* y una sección de la *barra*

de 110 kV. Adicional a los anteriores tiene un módulo *G03* el cual es utilizado como extensión o prolongación.

Para la bahía de transformación que va hacia *el transformador T1* se tiene el módulo *G02* en el cual se encuentra encapsulado el *seccionador de línea de tres posiciones* y el *seccionador de puesta a tierra*, luego se tiene el módulo *G00* en el que se encuentra el *interruptor* y por último, se tiene el módulo *G01* en el cual se tiene el *seccionador de barra de tres posiciones* y una sección de la *barra* de 110 kV. Adicional a los anteriores tiene un módulo *G04* el cual es utilizado como extensión o prolongación.

Por último, se tiene un módulo *G03* conectado a la barra en el cual se encuentra el transformador de tensión ubicado en la barra de 110 kV.

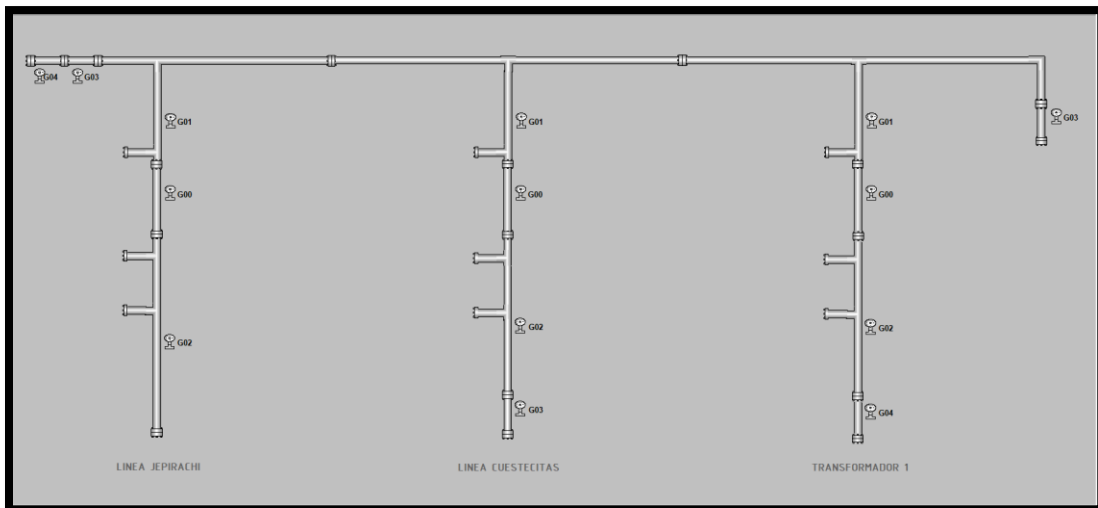


Figura 7. Diagrama unifilar GIS de la barra de 110 kV.

Como se mencionó anteriormente, cada bahía se encuentra conformada por los siguientes elementos: Seccionador de barra de tres posiciones, transformador de corriente, interruptor, seccionador de línea de tres posiciones y seccionador de puesta a tierra.

En la Figura 8 se presenta una vista general de los módulos GIS 110 kV de la subestación Jouktai que conforman las bahías de salida y transformación.



Figura 8. Modulo GIS de la barra de 110 kV.

En la Figura 9 se presenta el módulo del seccionador de barras de tres posiciones, el cual realiza sus movimientos por medio de un motor que lo ubica en las tres posiciones posibles: abierto, cerrado y puesto a tierra. Este seccionador fue diseñado para una tensión asignada de 123 kV y una corriente de cortocircuito de 31,5 kA.



Figura 9. Modulo del Seccionador de tres posiciones (Tierra, abierto, cerrado).

En la Figura 10 se presenta un diagrama en el que se puede observar con mejor detalle cómo funcionan los seccionadores de tres posiciones. Aquí se puede ver que cuando se encuentran abiertos, se asegura un espacio dieléctrico entre los dos contactos, con lo cual se garantiza el aislamiento cuando se presenta una diferencia de potencial entre las terminales. Estos elementos poseen aisladores pasantes de resina colada que son los encargados de mantener en su sitio los componentes activos y separados de la carcasa de metal. Además, se tiene un seccionador de puesta a tierra que permite descargar la energía que pudiera quedar almacenada y generar así unas condiciones de seguridad al momento de intervenir al interruptor [7].

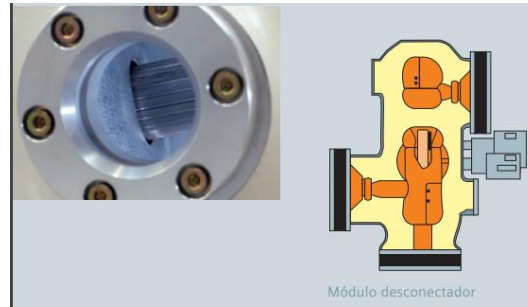


Fig. 10. Seccionador de barra [7].

En la Figura 11 se muestra el módulo del transformador de tensión que se encarga de medir la tensión de la barra de 110 kV el cual tiene una tensión asignada de 123 kV con una potencia en el burden de 30 VA y es utilizado como protección con una clase de 5P20. Este transformador es de tipo inductivo Figura 12 y está conformado por: Un arrollamiento primario y tres arrollamientos secundarios en un soporte con núcleo de hierro. La conexión a la tensión de 110 kV se realiza por medio del conductor primario que esta soportado por un aislador pasante hermético de gas y las conexiones secundarias se llevan a una placa con aislador pasante hermético al gas hasta la caja de bornes [7].



Figura 11. Módulo del transformador de tensión.

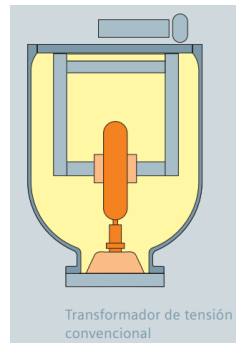


Figura 12. Transformador de tensión [7].

En la Figura 13 se muestra el módulo del transformador de corriente, el cual es el encargado de medir las corrientes que circulan por las bahías y transformarlas a unos valores de corrientes menores (5 A) para que los instrumentos de medida puedan leerlas correctamente sin dañarse. Estos transformadores tienen una tensión asignada de 123 kV con cuatro arrollamientos secundarios para realizar las medidas utilizadas por el equipo de protección con una clase de 5P20 y medidores de energía con una clase de 0.2S.



Figura 13. Módulo del transformador de corriente.

En la Figura 14 se presenta como está conformado el módulo de corriente, en el cual el conductor de alta tensión hace las veces de primario y los núcleos con los arrollamientos corresponde a los devanados secundarios. Además, las relaciones de transformación pueden cambiarse a través de las conexiones que se encuentran en la caja de bornes. El gas SF₆ presurizado permite el aislamiento y los núcleos metálicos poseen una alta compatibilidad electromagnética [7].

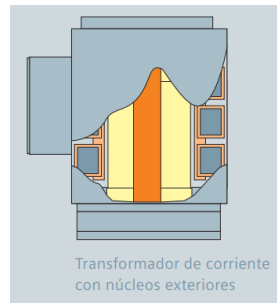


Figura 14. Transformador de corriente [7].

En la Figura 15 se presenta el interruptor de potencia de la bahía, el cual es uno de los elementos más importantes de la subestación ya que es el encargado de realizar la apertura en caso de corto circuito o de abrir el circuito en caso de maniobra. Estos tienen una tensión asignada de 123 kV, una corriente nominal de 1250 A y una corriente de cortocircuito de 31,5 kA.



Figura 15. Interruptor de potencia en la bahía.

En la Figura 16 se muestra que está constituido de dos partes: una unidad de ruptura y un sistema de accionamiento. El accionamiento se da por medio de resortes de apertura y cierre, que almacenan energía para luego liberarla rápidamente.

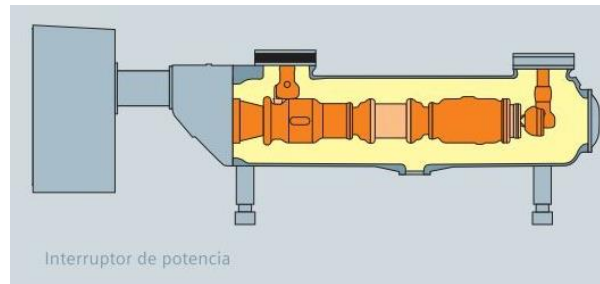


Figura 16. Partes del Interruptor de potencia [7].

En la Figura 17 se presenta el módulo en el cual se encuentra el seccionador de línea de tres posiciones, el cual es motorizado permitiendo realizar el estado de cierre y la apertura para hacer la conexión a las líneas de 110 kV. Además, en este caso se instaló un seccionador de puesta a tierra que permite descargar la energía que pudiera quedar almacenada y generar así unas condiciones de inseguridad al momento de intervenir al interruptor en las actividades en las que se le realice mantenimientos. Este seccionador tiene una tensión asignada de 123 kV, una corriente nominal de 1250 A y una corriente de cortocircuito de 31,5 kA.



Figura 17. Seccionador de línea de tres posiciones (Tierra, abierto, cerrado).

En la Figura 18 se tiene un seccionador de puesta a tierra, el cual se usa para conectar la línea de 110 kV a tierra cuando esta se encuentra desenergizada, con el fin de liberar la energía que pudiera quedar almacenada en la línea a causa de los efectos capacitivos y que representa un alto riesgo para el personal encargado de los mantenimientos. Tiene una tensión asignada de 123 kV y una corriente de cortocircuito de 31,5 kA.



Figura 18. Seccionador de puesta a tierra [7].

En la Figura 19 se presenta el seccionador Bypass el cual como se mencionó anteriormente es el encargado de realizar la conexión directa entre la subestación Jeparachi y Cuestecitas en caso de que la subestación Jouktai tenga que ser sacada de servicio. Tiene una tensión asignada de 123 kV, una corriente nominal de 1250 A y una corriente de cortocircuito de 31,5 kA.

Este seccionador debe ser operado manualmente dado el grado de cuidado que se debe tener para realizar esta maniobra ya que si no se realiza correctamente puede llegar a generar un corto circuito. Para realizar esta maniobra debe estar sin tensión las terminales de este seccionador. Este tipo de seccionadores están disponibles hasta tensiones de 420 kV y tienen un diseño de baja fricción con una resistencia de contacto mínima. Además, poseen un enclavamiento para el punto muerto para mantenerlo en esa posición incluso en condiciones extremas. Es utilizado en subestaciones con espacio de fase limitado e instalaciones con poca distancia vertical [8].



Figura 19. Seccionador Bypass.

En la Figura 20 se presenta un transformador de tensión de tipo capacitivo aislado en aire el cual es utilizado para realizar las medidas de tensión para la protección de la línea de salida de Jepirachi. Tienen una tensión asignada de 123 kV, cuenta con tres núcleos de protección de clase 5P20 y un burden de 30 VA.



Figura 20. Transformador de tensión tipo capacitivo.

En la Figura 21 se presenta un transformador de tensión de tipo capacitivo aislado en aire el cual es utilizado para realizar las medidas de tensión para la protección de la línea de salida de Cuestecitas. Tienen una tensión asignada de 123 kV, cuenta con tres núcleos de protección de clase 5P20 y un burden de 30 VA. Además, utiliza una trampa de onda para captar la información de coordinación entre las protecciones de línea que viaja a través de la onda portadora. Esta trampa de onda tiene una tensión asignada de 123 kV, una corriente nominal de 1250 A, una corriente de corto circuito de 31,5 kA y un valor de inductancia de 0,5 mH.

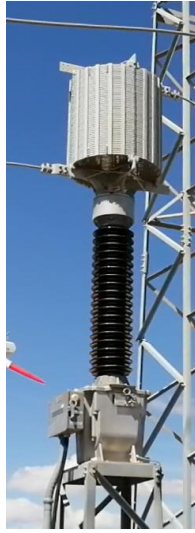


Figura 21. Transformador de tensión tipo capacitivo con trampa de onda.

En la Figura 22 se presenta el descargador de sobretensiones, el cual es el encargado de proteger los equipos ante una descarga atmosférica que pueda llegar a causar un aumento brusco de la tensión que pueda sobrepasar el nivel de aislamiento de los equipos y provocando un daño en estos. Este descargador de sobretensiones tiene una tensión asignada (U_r) de 96 kV, una tensión máxima de servicio continuo (U_c) de 75 kV, una corriente de 10 kA y es de clase 2.



Figura 22. Descargador de sobretensiones o DPS.

En la Figura 23 se presenta un aislador que permite generar la interfaz necesaria entre el aislante tipo aire y los módulos de las bahías que están aisladas en gas SF₆. Con estos equipos se

logra mantener la continuidad y conectar los equipos que se encuentran aislados en aire en la parte externa con los equipos que se encuentran encapsulados.



Figura 23. Interfaz aire - gas SF6.

En la Figura 24 se presenta un transformador de potencia el cual es el encargado de elevar la tensión de la barra de 34,5 kV en donde se encuentra conectado el parque eólico hacia un valor de tensión de 110 kV para poder transportar la energía generada de una manera más eficiente a través de las bahías de salida. Este es un transformador tridevanado que tiene una conexión del tipo YNyn0d11, con un sistema de enfriamiento del tipo ONAN/ONAF, con una variación de tensión del $110 \pm 10 \times 1,5\%$ en el lado de alta con el objetivo de mantener una tensión de 34,5 kV en el lado de baja tensión. Además, es un transformador que tiene una potencia nominal de 25 MVA y posee una resistencia de puesta a tierra que permite limitar la corriente de falla que se puede llegar a presentar.

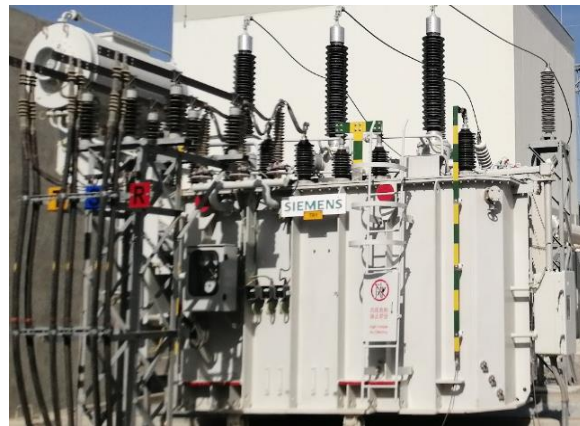


Figura. 24. Transformador de potencia de la subestación.

En la Figura 25 se presenta el diagrama unifilar de los barrajes de 34,5 kV, uno para la generación que proviene del parque eólico Guajira 1 y otra con la misma configuración para el parque eólico Wesp. Los dos barrajes tienen una configuración de barra sencilla y cada uno posee cuatro celdas. Estas celdas consisten de: Una celda para el banco de condensadores que se encargan de realizar la compensación de los reactivos, una celda que se conecta con el transformador de servicios auxiliares que permite realizar la alimentación de los dispositivos que controlan y protegen los equipos principales de la subestación, una celda que conecta la generación del parque eólico y por último, una celda de salida que conecta con el transformador elevador de 34,5 a 110 kV para salir a alimentar al sistema interconectada nacional (SIN).

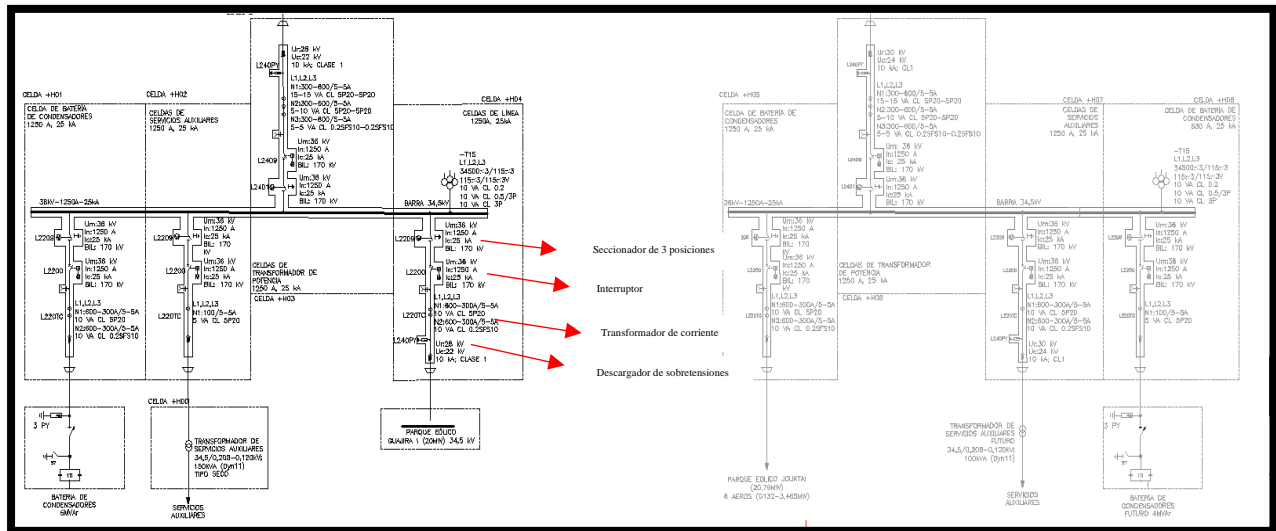


Figura 25. Diagrama unifilar de las celdas conectadas a la barra de 34,5 kV.

En la Figura 26 se presenta el banco de compensación de reactivos, el cual se encuentra conectado a la barra de 34,5 kV y es el encargado de regular los valores de potencia reactiva en la subestación. Este banco tiene una capacidad de 6 MVar y existen dos de estos, uno para cada barra de 34,5 kV en donde se encuentran conectados los dos parques eólicos.



Fig. 26. Banco de compensación de reactivos 34,5 kV.

En las **Figuras 27 y 28** se presenta el transformador de servicios auxiliares, el cual es el encargado de disminuir la tensión de 34,5 kV a un valor de 208/120 V para luego ser utilizado en la alimentación de los servicios auxiliares y para el consumo de energía de la subestación. Este transformador es de tipo seco y posee una capacidad de 150 kVA.



Figura 27. Transformador de servicios auxiliares tipo seco de 150 kVA.

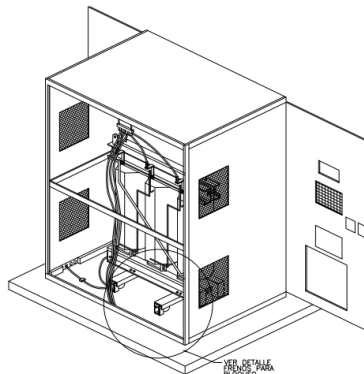


Figura 28. Transformador de servicios auxiliares tipo seco de 150 kVA.

En la Figura 29 se presenta uno de los generadores pertenecientes al parque eólico Guajira 1, el cual tiene una capacidad de producción nominal de 2 MVA. Los aerogeneradores que se encuentran conectados a la subestación Jouktai fueron construidos y son operados por la empresa VESTAS la cual es la responsable por su correcto funcionamiento.



Figura 29. Aerogenerador del parque eólico Guajira 1.

Servicios auxiliares AC

Es un sistema trifásico de cuatro hilos sólidamente aterrizado de 120/208 V con una frecuencia de funcionamiento de 60 Hz, el cual tiene un margen de tensión de operación entre el 85% y el 110% de la tensión nominal.

Tiene una configuración radial simple con dos alimentadores en media tensión (MT) que provienen de los dos barrajes de las celdas de 34,5 kV aisladas en gas SF6 que llegan de los transformadores de servicios auxiliares de 34,5/ 0,208-0,120 kV tipo seco en resina y en configuración Dyn 11 con una potencia de 150 kVA, como se muestra en la Figura 30. Además, se tiene el interruptor -Q02 que alimenta el barraje de cargas esenciales por medio del grupo electrógeno cuando se produce una falla de alimentación desde el transformador de servicios auxiliares, normalmente se encuentra abierto mientras que -Q01 esté cerrado. El interruptor -Q03 se usa para seccionar la barra de cargas de servicios auxiliares AC en dos: cargas esenciales y no esenciales.

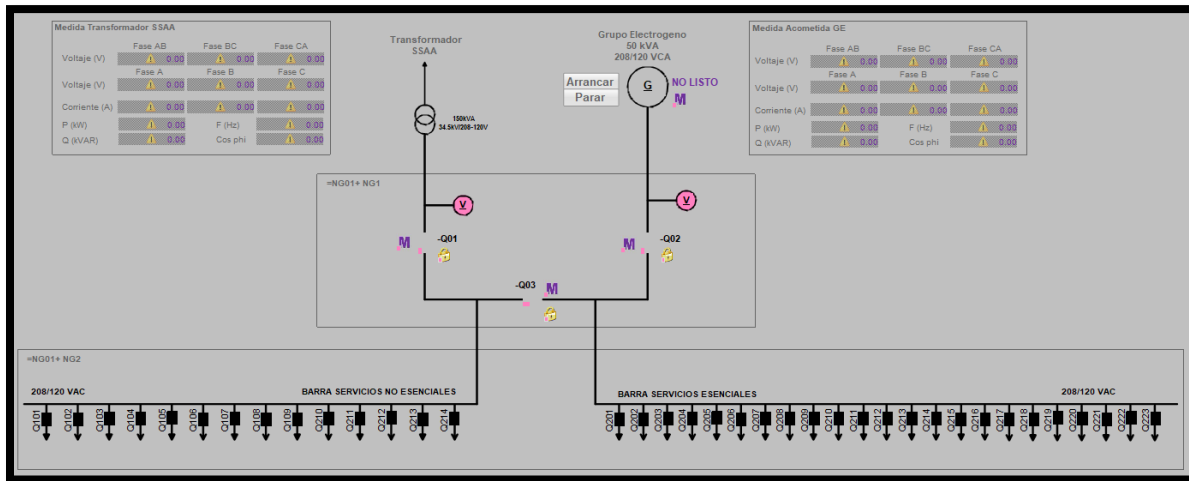


Figura 30. Diagrama Unifilar SSAA de corriente alterna

Este seccionamiento se da cuando no están funcionando los transformadores 1 y 2, entonces entra en operación el sistema de respaldo el cual consta de un grupo electrógeno de 120/208 V con una potencia de 100 kVA que se utiliza para alimentar las cargas esenciales de la subestación, ver Figura 31 y 32.



Figura 31. Grupo electrógeno vista general.



Figura 32. Grupo electrógeno, panel de control local.

Para un mayor detalle de cómo funciona el sistema de servicios auxiliares AC y la forma en la que están distribuidas sus cargas, diríjase al documento INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES 208-120 V que se encuentra como anexo.

Servicios auxiliares DC

Es un sistema que convierte la corriente alterna proveniente de los transformadores de servicios auxiliares 1 y 2 con una tensión de entrada de 34,5/ 0,208-0,120 kV tipo seco en resina y en configuración Dyn 11 con una potencia de 150 kVA (ver Figura 27 y 28), en corriente directa a 125 VDC (Positivo (+) y (-)) con una corriente nominal de 64 A en la salida. Esta conversión se hace por medio de los rectificadores 1 y 2, los cuales tienen un margen de tensión de operación entre el 85% y el 110% de la tensión nominal, ver Figura 34.

Luego, los rectificadores se encargan de alimentar las cargas de corriente continua por medio de los totalizadores *Q100* y *Q200* como se muestra en la Figura 33. También, se realiza la carga del banco de baterías desde las barras 1 y 2, el cual funcionara como fuente de respaldo en caso de falla de la alimentación principal.

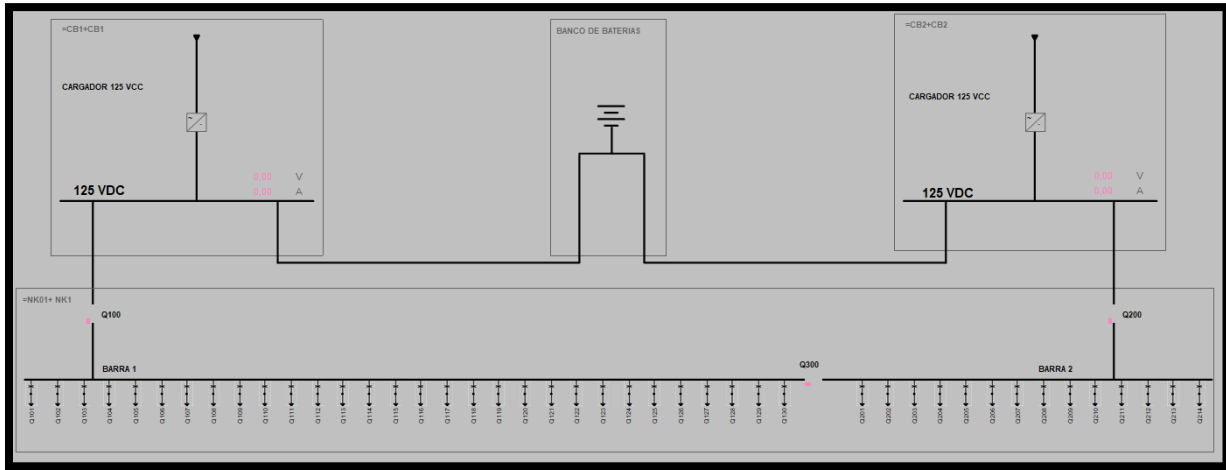


Figura 33. Diagrama Unifilar SSAA de corriente directa.

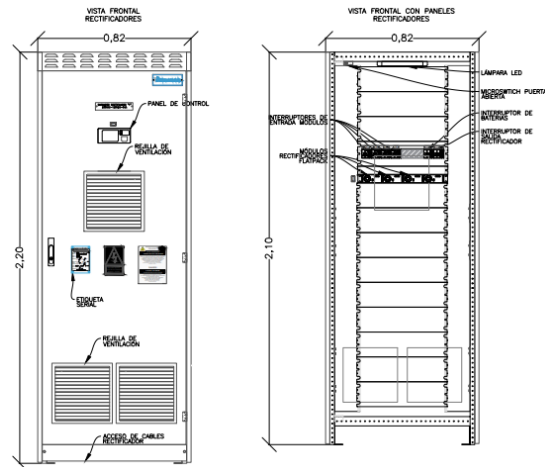


Figura 34. Rectificadores / Cargadores.

Las baterías fueron dimensionadas con la capacidad de soportar las cargas permanentes, las no permanentes y las momentáneas durante 24 horas. Para lograr esto se tiene un banco de baterías con 60 celdas, con la capacidad de entregar un voltaje de 125 VDC y una corriente de 250 A-hm ver Figura 35.

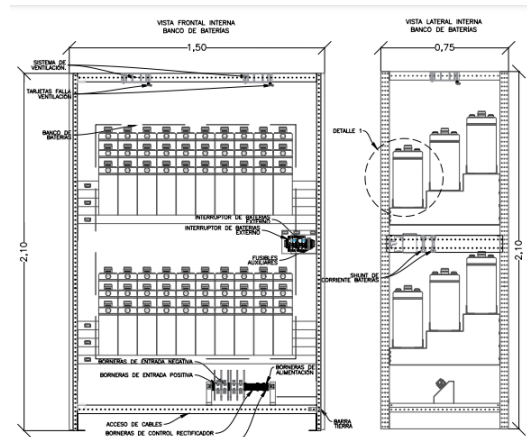


Fig. 35. Banco de baterías.

Para un mayor detalle de cómo funciona el sistema de servicios auxiliares DC y la forma en la que están distribuidas sus cargas, diríjase al documento INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES 125 VDC que se encuentra como anexo.

Instructivo de seguridad

A continuación, se presenta los diferentes temas expresados en el formato INSTRUCTIVO DE SEGURIDAD ELÉCTRICA PARA LA SUBESTACIÓN JOUKTAI, en este se indica y se busca concientizar sobre los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano, los factores de riesgos más comunes, las posibles causas y las medidas que se pueden utilizar para mitigarlos.

Además, se resalta la importancia de las distancias de seguridad y se indican los valores que se deben mantener para evitar accidentes a la hora de realizar labores de mantenimiento y de operación.

Requisitos generales que deben cumplir las subestaciones eléctricas

Las subestaciones eléctricas deben cumplir con lo establecido por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y por este motivo deben poseer un *certificado de conformidad* de instalaciones eléctricas que sea expedido por un organismo acreditado por la Superintendencia de industria y comercio (SIC). También, los productos o equipos que hacen parte de las subestación eléctricas y que son objeto y campo de aplicación del RETIE deben poseer un *certificado de producto* que sea expedido por un organismo de certificación acreditado [2].

Importancia de la seguridad

Tener unas buenas prácticas de seguridad aumenta y mantiene la confianza de los trabajadores y hace que la eficiencia en las labores realizadas se vea aumentada. Además, se disminuye los gastos asociados a los accidentes, se disminuyen las paradas y como consecuencia se aumenta la producción. Por lo tanto, el tiempo y el dinero invertido en tratar de prevenir la ocurrencia de accidentes de origen eléctrico se deben ver como una inversión a largo plazo que beneficiará en un futuro a la Empresa. Por este motivo, se debe de priorizar las buenas prácticas de seguridad a la hora de ejecutar trabajos de mantenimiento y operación en las subestaciones eléctricas [9].

ISAGEN está comprometida con la seguridad y salud en el trabajo de todas las personas que desarrollan actividades para la Empresa, creando condiciones seguras, saludables y confortables que mitiguen la posibilidad de ocurrencia de eventos de alto riesgo [10].

Efectos del paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano

Por lo general los trabajadores del sector eléctrico se ven expuesto al paso de la corriente eléctrica por su cuerpo, la cual puede atravesar órganos vitales y producir graves lesiones. Los accidentes de origen eléctrico pueden ser producidos por contacto directo, contacto indirecto, impactos de rayos, explosión, incendio, sobre corriente y sobretensiones. Además, la corriente eléctrica expone a las personas a un peligro de muerte o quemaduras y la gravedad de estas depende de:

- Intensidad de la corriente eléctrica.
- Resistencia eléctrica del cuerpo humano.
- Tiempo de contacto.
- Camino que toma la corriente eléctrica a través del cuerpo humano.

A continuación, se presenta la Figura 36 tomada de la NTC 4120 con referencia IEC 60479-2, en donde se muestra con mayor detalle los efectos de la corriente alterna con frecuencias entre los 15 Hz y los 100 Hz. En esta figura se puede observar que entre mayor sea la corriente a la que se expone la persona, menor debe ser el tiempo al que puede ser sometido antes de que se presenten daños irreparables en la salud. Además, en la Figura 36, se observa la existencia de seis zonas en donde se indica los diferentes efectos que produce la corriente en el cuerpo humano con el paso del tiempo:

Zona 1: Habitualmente no se tiene ninguna reacción en los rangos de corriente entre los 0,1 y 0,3 mA.

Zona 2: Habitualmente ningún efecto fisiopatológico peligroso en los rangos de corriente entre los 0,3 y los 200 mA.

Zona 3: Habitualmente ningún riesgo de fibrilación en los rangos de corriente entre los 200 y los 500 mA.

Zona 4: Riesgo de fibrilación con una probabilidad del 5% de ocurrir en los rangos de corriente entre los 500 y los 1000 mA.

Zona 5: Riesgo de fibrilación con una probabilidad del 50% de ocurrir en los rangos de corriente entre los 1000 y los 2000 mA.

Zona 6: Paro cardiaco, paro respiratorio y quemaduras severas, además de riesgo de fibrilación con una probabilidad por encima del 50 % de ocurrir a partir de los 2000 mA de corriente.

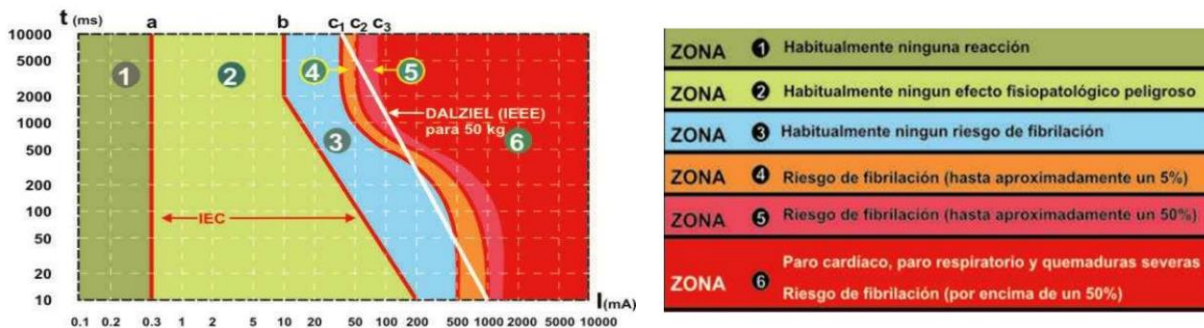


Figura 36. Zonas de tiempo/corriente con los efectos de las corrientes alternas de 15 Hz a 100 Hz en el cuerpo humano [2].

Es importante indicar que la resistencia del cuerpo humano es variable y depende de su estado de ánimo, contextura física, sequedad de la piel, nivel de aislamiento, entre otras variables y esto puede provocar que circule más o menos corriente dependiendo de las condiciones en las cuales se encuentre la piel. En la Figura 37 se presenta como varia la impedancia del cuerpo humano.

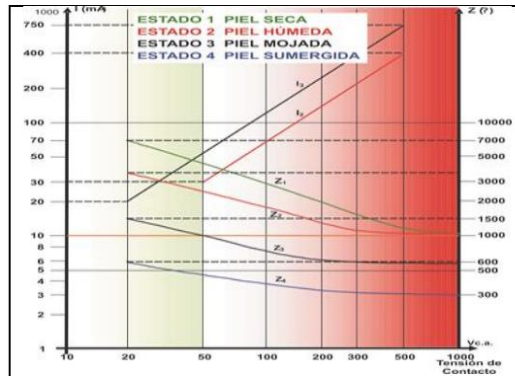



Figura 37. Impedancia del cuerpo humano [2].

Factores de riesgo más comunes

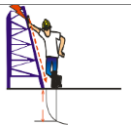

Por lo general todas las instalaciones eléctricas tienen un riesgo implícito y debido a que no siempre es posible controlarlos, en el RETIE se presentan algunos de los factores más frecuentes que ocasionan la mayor cantidad de accidentes de origen eléctrico. Por lo tanto, es importante saber identificar y valorar estos riesgos antes de que ocurra un accidente.

Conocer el concepto de riesgo, analizar los factores que los producen e indicar medidas que ayuden a mitigar la posibilidad de ocurrencia de estos, son algunos de los objetivos que busca el RETIE al presentar los factores de riesgo eléctrico dados en la Tabla I.

Tabla I. Factores de riesgos más comunes [2].

Categoría	Definiciones
<p>ARCOS ELÉCTRICOS.</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores con carga, apertura de transformadores de corriente, apertura de transformadores de potencia con carga sin utilizar equipo extintor de arco, apertura de transformadores de corriente en secundarios con carga, manipulación indebida de equipos de medida, materiales o herramientas olvidadas en gabinetes, acumulación de óxido o partículas conductoras, descuidos en los trabajos de mantenimiento.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de seguridad, usar prendas acordes con el riesgo y gafas de protección contra rayos ultravioleta</p>
CONTACTO DIRECTO	<p>POSIBLES CAUSAS: Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos, violación de las distancias mínimas de seguridad.</p>

	<p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra, probar ausencia de tensión, doble aislamiento.</p>
<p>CONTACTO DIRECTO</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, mal mantenimiento, falta de conductor de puesta a tierra.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.</p>
<p>CORTOCIRCUITO</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades, equipos defectuosos.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.</p>
<p>ELECTRICIDAD ESTÁTICA</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.</p>
<p>EQUIPO DEFECTUOSO</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte inadecuado.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.</p>
<p>RAYOS</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados. Además, suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.</p>
<p>SOBRECARGA</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos, no controlar el factor de potencia.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Uso de Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de</p>

	conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.
<p>TENSIÓN DE CONTACTO</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad.</p> <p>MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>
<p>TENSIÓN DE PASO</p> 	<p>POSIBLES CAUSAS: Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla, MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.</p>

Distancias de seguridad

La mejor manera de hacer frente al riesgo eléctrico es mantener una distancia de seguridad con respecto a las partes energizadas de los equipos ya que el aire es un buen aislante eléctrico. Por este motivo, las distancias de seguridad deben ser suficientes para evitar accidentes a personas, animales o que se generen descargas entre elementos energizados. Además, se debe tener en cuenta que todas las distancias de seguridad deben ser medidas de centro a centro y los espacios de seguridad de superficie a superficie.

En las subestaciones con nivel de tensión de 34,5 kV y 110 kV se debe asegurar que se cumplan las distancias mínimas de aproximación a equipos que se presentan en las Tablas II, III y la Figura 38. Estas distancias buscan prevenir lesiones de origen eléctrico a todo el personal y son los límites básicos que se deben cumplir.

Para los niveles de tensión de 34,5 kV se debe cumplir las distancias que se presentan en los rangos que van de los 15,1 kV a 36 kV y para el nivel de tensión de 110 kV se debe cumplir los del rango de 72,6 kV a 121 kV de tensión fase - fase. Además, para los servicios auxiliares que funcionan a un nivel de tensión de 120/208 Vac se debe cumplir con las distancias de los rangos de 50 V a 300 V.

Tabla II. Distancia mínima para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna [11]

Tensión nominal del sistema (F-F)	Límite de aproximación seguro(m)		Límite de aproximación restringida (m)	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		

**ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS, PROTOCOLOS, GUÍAS E INSTRUCTIVOS PARA LA
SUBESTACIÓN JOUKTAI.**

50 V - 300 V	3	1	Evitar contacto	Evitar contacto
15,1 kV- 36 kV	3	1,8	0,8	0,2
72,6 kV- 121 kV	3,3	2,5	1	0,8

Para los servicios auxiliares de corriente continua que funcionan a 125 Vdc se deben de cumplir las distancias correspondientes a los rangos de 100 V a 300 V que se presenta en la Tabla III.

Tabla III. Distancia mínima para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente continua [11]

Tensión nominal	Límite de aproximación seguro (m)		Límite de aproximación restringida (m) incluye movimientos involuntarios	Límite de aproximación técnica (m)
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta		
100 V -300 V	3	1	Evitar contacto	Evitar contacto

Como se puede ver en la Figura 38 las personas no calificadas que se encuentran acompañadas por personal calificado deben cumplir con el límite de aproximación seguro. El límite de aproximación restringida solo está permitido para el personal calificado y debe ser señalizado correctamente con una franja visible hecha con pintura reflectiva de color amarillo con el objetivo de indicar a las personas el acercamiento máximo permitido. Por último, para la realización de trabajos en tensión el personal calificado debe cumplir con el límite de aproximación técnico y para ello debe contar con todos los implementos personales de seguridad.

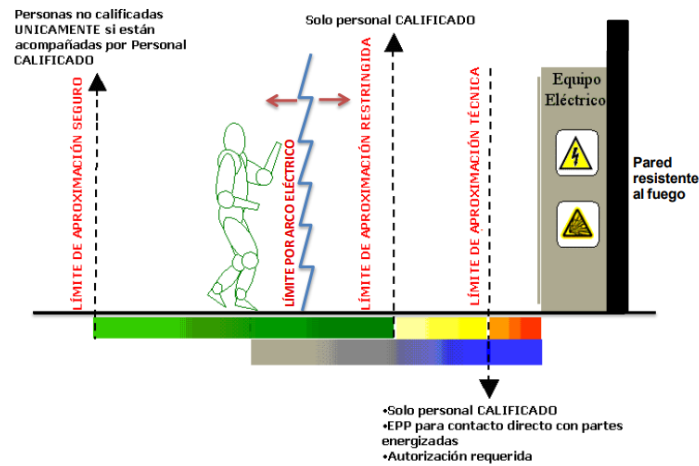


Figura 38. Límites de aproximación en instalaciones eléctricas [2].

Espacios de trabajo alrededor de los equipos

Cuando se tienen partes energizadas que se encuentran expuestas, según la NTC 2050 el espacio de trabajo mínimo no debe ser inferior a 1,90 m de altura medidos verticalmente desde el nivel de piso, ni inferior a 0,9 m de ancho medidos paralelamente al equipo. Además, las dimensiones de profundidad del espacio de trabajo deben ser la que se requiere en la Tabla IV para los niveles de tensión de 34,5 kV con un nivel de tensión fase - tierra de 19,9 kV que corresponde a los valores del rango de 9001 a 25000 V y para el nivel de tensión de 110 kV con un valor de tensión fase - tierra de 63,5 kV que corresponde al rango de 25001 a 75000 V.

En todos los casos el espacio de trabajo debe ser suficiente para permitir como mínimo una abertura a 90° de las puertas o paneles abisagrados.

Las distancias deben medirse desde las partes energizadas si se encuentran descubiertas o desde el frente de la cubierta o aberturas de acceso, cuando se encuentren cerradas [11].

Tabla IV. Profundidad mínima del espacio de trabajo en una instalación eléctrica [11].

Tensión nominal a tierra (V)	Distancia mínima en (m) según la condición		
	1	2	3
9001 - 25000	1,5	1,8	2,7
25001 - 75000	1,8	2,4	3

En la Tabla IV se presentan 3 distancias para diferentes casos, los cuales se describen a continuación:

Caso 1: Partes energizadas expuestas en un lado y partes no energizadas o puestas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo; o partes energizadas en ambos lados, pero aislados correctamente como se muestra en la Figura 39.

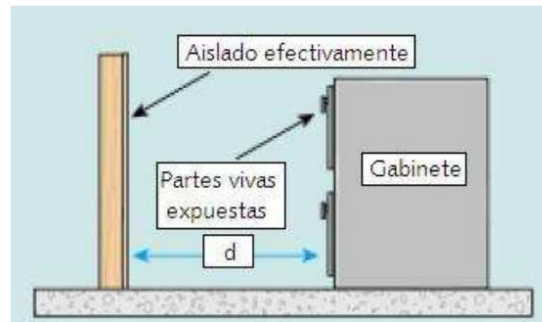


Figura 39. Espacio de trabajo para el caso 1 [12].

Las barras o conductores que se encuentran debidamente aisladas y que trabajan a no más de 300 V no se consideran como partes vivas o energizadas.

Caso 2: Partes energizadas expuestas a un lado del espacio de trabajo y puestas a tierra (concreto, ladrillo, azulejo o paredes son considerados como tierra) al otro lado como se indica en la Figura 40.

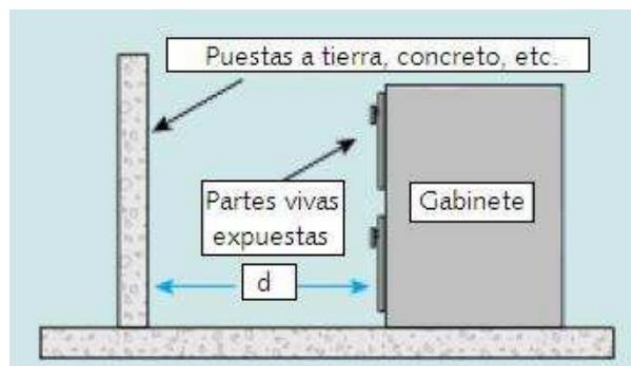


Figura 40. Espacio de trabajo para el caso 2 [12].

Caso 3: Partes energizadas a ambos lados del espacio de trabajo, con el personal de operación en medio como se muestra en la Figura 41.

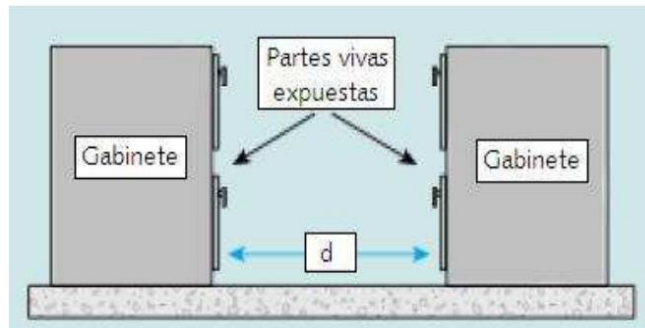


Figura. 41. Espacio de trabajo del caso 3 [12].

Si se tienen gabinetes o celdas de los equipos eléctricos que requieran tener acceso por el lado posterior para la realización de conexiones de partes energizadas, para cambiar o ajustar elementos como fusibles o suiches, se debe dejar las distancias mínimas de trabajo que se mencionaron anteriormente.

Si se necesita acceso al lado posterior de los equipos para trabajar en partes des energizadas, se debe dejar un espacio de trabajo horizontal mínimo de 75 cm.

Cuando no sea necesario la manipulación de partes energizadas o no energizadas en la parte posterior de los equipos y todas las conexiones sean accesibles desde otros lugares, no se exigen espacio de trabajo detrás de los equipos.

Ingresos al espacio de trabajo

Para el ingreso al espacio de trabajo a la zona donde se encuentran los equipos eléctricos debe de haber por lo menos una entrada no inferior a 0,6 m de ancho y 1,90 m de alto. Además, en los cuadros de distribución y paneles de control debe de haber 1,80 m de ancho y una entrada a cada extremo de estos tableros a menos que su ubicación permita una vía de salida continua y sin obstáculos.

Altura libre

Las partes energizadas sin proteger por encima del espacio de trabajo deben estar a una altura no inferior a la presentada en la Tabla V.

Tabla V. Alturas de las partes energizadas sin proteger sobre el espacio de trabajo [11].

Tensión nominal entre fases (V)	Altura (m)
7501 - 35000	2,8
Más de 35000	2,8 + 0,01 m por cada kV por encima de 35 kV

Señales de seguridad

En las subestaciones es necesario contar con una correcta señalización que permitan transmitir mensajes de prevención, prohibición o información de manera clara, precisa y de fácil entendimiento, para utilizarlas en las zonas donde se ejecutan trabajos de operación o mantenimiento y que representan un peligro potencial.

Las señales de seguridad no eliminan el peligro, pero si dan advertencias o indicaciones que permiten tomar medidas que ayuden a prevenir los accidentes.

Clasificación de las señales de seguridad












Las señales de seguridad se clasifican en: de advertencia o precaución, de prohibición, de obligación, de información y de salvamento o socorro. Además, estas señales deben tener las formas geométricas y los colores dispuestos en la Tabla VI según el RETIE.

Tabla VI. Clasificación y colores para las señales de seguridad [2]

Tipo de señal de seguridad	Forma geométrica	Color			
		Pictograma	Fondo	Borde	Banda
Advertencia o precaución	Triangular	Negro	Amarillo	Negro	-
Prohibición	Redonda	Negro	Blanco	Rojo	Rojo
Obligación	Redonda	Blanco	Azul	Blanco o	-
				Azul	-
Información contra incendios	Rectangular cuadrada	o Blanco	Rojo	-	-
Salvamento o socorro	Rectangular cuadrada	o Blanco	Verde	Blanco o	-
				verde	-

A continuación, se presentan las principales señales de seguridad en donde se indica el uso de cada una, la descripción del tipo de figura utilizada y por último una imagen gráfica que permite identificarla con mayor facilidad, en la Tabla VII se presentan muestran estos elementos.

Tabla VII. Principales señales de seguridad [2].

Uso	Descripción del pictograma	Señal
Equipo de primeros auxilios	Cruz Griega	
Materiales inflamables o altas temperaturas.	Llama	
Materiales tóxicos	Calavera con tibias cruzadas	
Materiales corrosivos	Mano carcomida	
Materiales radiactivos	Un trébol convencional	
Riesgo eléctrico	Un rayo o arco	
Uso obligatorio de protección de los pies.	Botas con símbolo de riesgo eléctrico	
Prohibido el paso	Peatón caminando con línea transversal sobrepuesta	
Uso obligatorio de protección para la cabeza	Cabeza de persona con casco	
Uso obligatorio de protección para los ojos	Cabeza de persona con gafas	
Uso obligatorio de protección para los oídos	Cabeza de persona con auriculares	

Uso obligatorio de protección para las manos Guante



Campos electromagnéticos

Los campos electromagnéticos son producidos por las cargas eléctricas que se encuentran en movimiento; es decir la corriente continua y alterna que fluye por los conductores, y dado que tienen la misma frecuencia de la corriente eléctrica que los produce, la frecuencia de estos campos será de 60 Hz. Además, al ser campos producidos a una misma frecuencia, se pueden medir de manera independiente el campo eléctrico y el campo magnético al aplicarles la teoría cuasi estacionaria; es decir, se considera que el campo magnético no se encuentra acoplado al campo eléctrico.

Dado que los campos electromagnéticos producen radiaciones no ionizantes que pueden tener efectos adversos para la salud de las personas y el medio ambiente, el RETIE define unos valores límites de exposición a estos campos y los valores se muestran en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos [2]

Tipo de exposición	Intensidad de campo eléctrico (kV/m)	Densidad de flujo magnético (μT)
Exposición ocupacional en un día de trabajo de 8 horas	8,3	1000
Exposición del público en general hasta 8 horas continuas	4,16	200

En la subestación, se debe evaluar los valores del campo eléctrico a la mayor tensión, en este caso sería a los 110 kV y la densidad del flujo magnético a la mayor corriente de operación. Por último, los valores de los campos electromagnéticos para el público en general se deben medir a partir de las distancias de seguridad o donde las personas tengan mayor probabilidad de permanencia prolongada. Según el RETIE el equipo con el que se realicen las mediciones debe tener un certificado de calibración vigente y estar sometido a un control metrológico. El procedimiento que se debe seguir para realizar estas mediciones son los establecidos en las normas IEEE 644 o en la IEEE 1243 y deben ser realizados por personal calificado al momento de que se

vaya a realizar las verificaciones, ya que en este documento solo se indican los valores máximos de exposición permitidos por el RETIE.

Rutina de operación

Antes realizar cualquier trabajo de mantenimiento y operación, el personal encargado de ejecutar dicha tarea debe considerar lo siguiente:

Equipos de protección

1. Solo debe tener acceso a los equipos energizados el personal autorizado.
2. Los planos y diagramas de funcionamiento de la subestación deben estar en un lugar accesible para el personal autorizado.
3. El personal debe ser capacitado en el funcionamiento y configuración de los equipos de la subestación antes de realizar cualquier tipo de tarea de mantenimiento u operación.

A continuación, se indican los principales equipos y elementos de protección que deben estar presentes en la subestación y deben ser inspeccionados periódicamente para garantizar su correcto funcionamiento:

- Equipos y materiales de primeros auxilios ubicados en un lugar accesible a los trabajadores.
- Elementos aislantes como guantes de caucho, mangas, casco, plataformas y alfombras aislantes.
- Herramientas aislantes que permitan la manipulación de equipos energizados.
- Avisos de “Hombres trabajando” y señales de peligro.
- Elementos de extinción de fuego, los cuales deben estar permanentemente en la subestación y debidamente certificados.
- Equipos de puesta a tierra portátiles.
- Equipos portátiles de iluminación.
- Revisión de las baterías de los equipos de medición.

Además, es importante que los trabajadores se familiaricen con métodos de primeros auxilios, técnicas de salvamento y extinción de incendio.

Las 5 reglas de oro

1. Realizar el corte visible de todas las fuentes de tensión, por medio de los interruptores y seccionadores, con el objetivo de que se asegure la imposibilidad de un cierre accidental. Además, en los equipos en donde el corte no pueda ser visibles, debe existir un dispositivo que garantice que el corte sea efectivo.

2. Siempre que sea posible se debe realizar el bloqueo y etiquetado de los equipos de corte, con el objetivo de indicar que no se debe energizar y que está prohibido maniobrar el equipo mientras se ejecuta la tarea de operación o mantenimiento.
3. Se debe verificar la ausencia de tensión en cada una de las fases del equipo intervenido con la ayuda de un medidor de tensión, el cual debe ser verificado antes y después de cada utilización.
4. Poner a tierra y en cortocircuito todos aquellos equipos y elementos que pudieran tener energía almacenada y que podrían generar una descarga accidental.
5. Señalizar y delimitar la zona de trabajo, con el objetivo de informar al personal presente en la subestación sobre la tarea que se está realizando y así disminuir los riesgos de accidentes [13].

Deberes del operador de la subestación

A continuación, se presenta algunos de los deberes que debe cumplir el personal encargado de la operación de la subestación:

- Mantener informado de todas las condiciones que podrían afectar la operación de la subestación, al jefe de operación, de mantenimiento y al Centro de Operación Integrado.
- Tener los planos y diagramas de funcionamiento de la subestación en un lugar accesible.

Deberes del supervisor

- Tomar las precauciones necesarias para prevenir la ocurrencia de accidentes y vigilar que las normas de seguridad sean cumplidas por el personal que se encuentra en la subestación.
- Realizar los registros y reportes necesarios para llevar el correcto seguimiento a la operación de la subestación.
- No permitir el ingreso de personas no autorizadas a los lugares donde se realizan trabajos o zonas peligrosas.
- Asegurarse que las instrucciones impartidas han sido comprendidas, antes de proceder a ejecutarlas.

Aquí se presentaron los aspectos más importantes de seguridad que se deben de tener en cuenta para evitar la ocurrencia de eventos de alto riesgo a la hora de realizar labores de mantenimiento u operación.

Formatos de rondas operativas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la elaboración de los diferentes formatos de rondas operativas y que se encuentran en el *FORMATO DE RONDAS OPERATIVAS DE LA SUBESTACION JOUKTAI.*

Luego de haber participado en las capacitaciones dictadas por la empresa Siemens y conocer a profundidad el funcionamiento y la configuración de la subestación, se procedió a crear el listado de los parámetros y equipos a los cuales es necesario llevarle un monitoreo constante ya sea de manera diario, semanal o mensual.

En la Figura 42 se puede observar algunos de los parámetros más importantes: las tensiones de línea, de fase, corrientes de línea, frecuencia, potencia generada, entre otros parámetros los cuales nos indican el buen funcionamiento de los equipos y la correcta transmisión de la energía generada.

ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS, PROTOCOLOS, GUÍAS E INSTRUCTIVOS PARA LA SUBESTACIÓN JOUKTAI.

ISAGEN SUBESTACION JOUKTAI												
RONDAS OPERATIVAS DIARIAS												Gráficas
FECHA: octubre/2022												
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HORA			9:28	8:50						11:50	9:31	8:27
VARIABLES	UN											
BARRAJE 110 Kv												
Tensión PTB AB	kV		110,9	113,1						0	114,8	113,6
Tensión PTB BC	kV		111,1	112,3						0	114,1	113,2
Tensión PTB CA	kV		110,2	111,8						0	113,3	112,9
Tensión PTB A	kV		53,9	65						0	66,1	65,6
Tensión PTB B	kV		64	65,2						0	66,2	65,7
Tensión PTB C	kV		63,6	64,6						0	65,8	65
Alarmas presentes	Ninguna		no	no						no	no	no
BAHIA TRANSFORMADOR T1												
Tensión TP 14 Alta AB	kV		110,8	113						0	114,4	113,6
Tensión TP 14 Alta BC	kV		111,1	112,6						0	114,5	113,2
Tensión TP 14 Alta CA	kV		110	111,9						0	113,5	112,4
Tensión TP 14 Alta A	kV		63,3	64,9						0	66,3	65,4
Tensión TP 14 Alta B	kV		62,4	65,1						0	66,1	65,7
Tensión TP 14 Alta C	kV		63,7	64,7						0	65,5	65,1
Corriente CTT1 A	A		37,44	76,28						0	41,1	76,76
Corriente CTT1 B	A		37,08	79,95						0	41,97	76,92
Corriente CTT1 C	A		40,39	78,35						0	42,47	80,2
Potencia Activa (P)	kW		-7,3	-15						0	-7,2	-14,5
Potencia reactiva (Q)	kVAR		0,9	2,8						0	3,4	3,8
Potencia aparente (S)	kVA		7,1	15,8						0	7,3	15,2
Factor de potencia (Cos phi)			-1	-0,88						0	-0,87	-0,86
Frecuencia	Hz		60	60						0	60	60
Alarmas presentes	Ninguna		no	no						no	no	no
BAHIA TRANSFORMADOR T2												
Tensión TP Alta AB	kV		110,5	112,8						0	114,3	113,5
Tensión TP Alta BC	kV		110,9	112,2						0	113,9	112,9
Tensión TP Alta CA	kV		109,8	111,6						0	113,3	112
Tensión TP Alta A	kV		63,3	64,8						0	65,6	65,2
Tensión TP Alta B	kV		63,9	65						0	65,5	65,4
Tensión TP Alta C	kV		64	64,5						0	65,1	64,9
Corriente 3T1 A	A		1,9	1,43						0	1,96	1,71
Corriente 3T1 B	A		2,28	2,37						0	2,28	2,49
Corriente 3T1 C	A		1,87	2,07						0	1,97	2,11
Potencia Activa (P)	kW		0	0						0	0	0,1
Potencia reactiva (Q)	kVAR		-0,4	-0,4						0	-0,4	-0,4
Potencia aparente (S)	VA		0,4	0,4						0	0,4	0,4
Factor de potencia (Cos phi)			0,07	0,14						0	0,14	0,2
Frecuencia	Hz		60	60						0	59,88	59,88
Alarmas presentes	Ninguna		comunicación	comunicación						comunicación	comunicación	comunicación
BAHIA LINEA JEPIRACHI												
Tensión PT13 AB	kV		111,2	112,8						1,6	114,4	114,7
Tensión PT13 BC	kV		110,4	112,4						1,4	114,1	113,2
Tensión PT13 CA	kV		110,3	111,7						2	113,5	113,6
Tensión PT13 A	kV		63,9	64,9						1,6	65,8	65,3
Tensión PT13 B	kV		64,5	65,1						0,5	65,8	66
Tensión PT13 C	kV		64	64,5						1,2	65,7	65,1
Corriente CTL1 A	A		25,18	23,81						0	26,05	15,55
Corriente CTL1 B	A		26,11	27,3						0	31,56	17,61
Corriente CTL1 C	A		24,45	25,49						0	30,37	16,13
Potencia Activa (P)	kW		4,4	-2,9						0	-4,5	-1,6
Potencia reactiva (Q)	kVAR		2,2	4,2						0	3,6	3,2
Potencia aparente (S)	VA		5	5,1						0	5,3	3,6
Factor de potencia (Cos phi)			0,89	-0,59						0	-0,78	-0,53
Frecuencia	Hz		59,95	60						0	60	60
Alarmas presentes	Ninguna		79	79						0	60	60
BAHIA LINEA CUESTECITAS												
Tensión PT12 AB	kV		110	112,9						0	113,3	114,7
Tensión PT12 BC	kV		111,3	112,1						0	112,8	113,2
Tensión PT12 CA	kV		109,3	111,8						0	112,3	112,5
Tensión PT12 A	kV		63,9	64,8						0	65,7	65,6
Tensión PT12 B	kV		64,5	65,1						0	66,2	66
Tensión PT12 C	kV		64,7	64,6						0	65,3	65,2
Corriente CTL2 A	A		17,9	50,72						0	57,11	61,61
Corriente CTL2 B	A		20,61	57,44						0	56,87	58,47
Corriente CTL2 C	A		22,95	56,04						0	57,74	55,04
Potencia Activa (P)	kW		2	17						0	9,3	14,4
Potencia reactiva (Q)	kVAR		-2,1	-4,4						0	-4,6	-7,1
Potencia aparente (S)	VA		3	19						0	10,8	18,3
Factor de potencia (Cos phi)			0,5	0,93						0	0,88	0,9
Frecuencia	Hz		60	60						0	59,99	59,88
Alarmas presentes	Ninguna		no	no						P3	no	no
BARRAJE 34,5 Kv												
Tensión T15 A	kV		34,7	34,6						0	32,9	34,2
Tensión T15 B	kV		34,7	34,5						0	32,6	34,1
Tensión T15 C	kV		34,6	34,4						0	32,8	34
Alarmas presentes	Nombre		no	no						no	no	no
CELDA #H01 - BANCO DE CONDENSADORES												
Corriente L220 TC A	A		0	0						0	0	0
Corriente L220 TC B	A		0	0						0	0	0
Corriente L220 TC C	A		0	0						0	0	0
Indicador de energización	Encendido- apagado		encendido	encendido						encendido	encendido	encendido
CELDA #H02 - SERVICIOS AUXILIARES												
Corriente L220 TC A	A		0	0						0	0	0
Corriente L220 TC B	A		0	0						0	0	0
Corriente L220 TC C	A		0	0						0	0	0
Indicador de energización	Encendido- apagado		encendido	encendido						encendido	encendido	encendido

Figura 42. Formato de rondas operativas diarias. Fuente: Autor.

En la Figura 43 se pueden observar algunos de los datos de los parámetros que serán representados gráficamente con el fin de tener una visión más general y poder notar cambios a lo largo del tiempo para lograr identificar anomalías que se pudieran presentar.

La representación gráfica nos permite notar como variables como la tensión de las barras se encuentra estable a lo largo de los diferentes días y las posibles anomalías se pueden deber a un error de digitación de los datos, lo cual nos ayuda a ser más cuidadosos a la hora de registrar las

medidas. También, con el registro de estos datos se pueden realizar análisis más profundos del funcionamiento de la subestación y mantener monitoreados valores como las corrientes con los cuales podemos conocer qué tanto aumenta o disminuye la demanda de energía a lo largo de los días. Además, en el formato anexo se muestra en mayor detalle cada una de las variables a los que se le debe realizar un monitoreo diario.

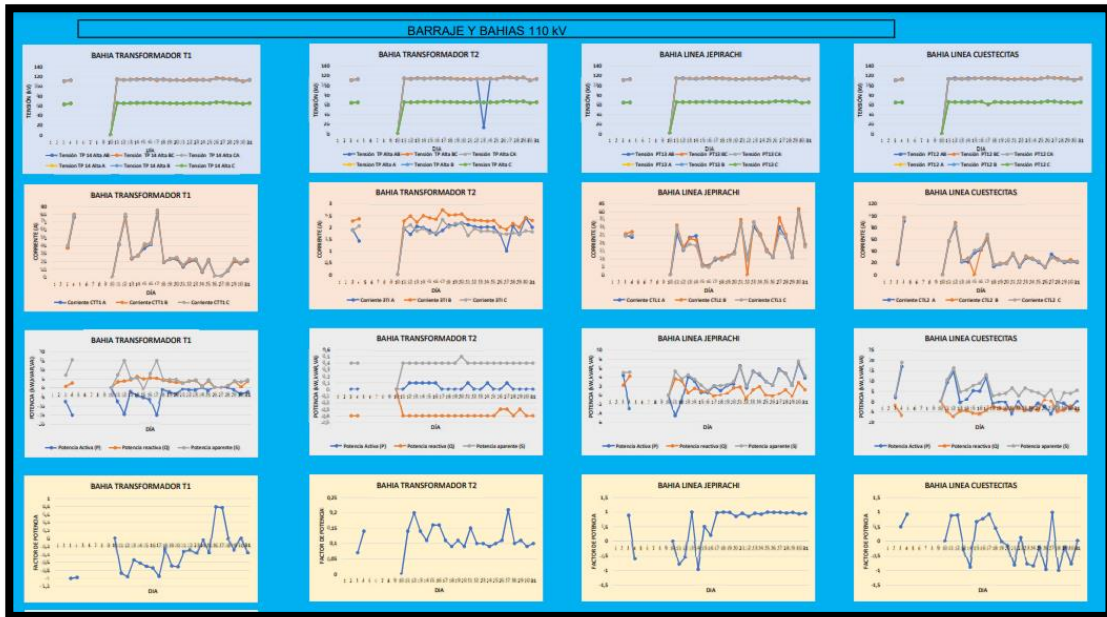


Figura 43. Graficas de las variables de las rondas operativas diarias. Fuente: Autor.

En la Figura 44 se puede observar el formato correspondiente a las rondas operativas semanales y en donde se puede realizar el monitoreo de las posiciones en las cuales se encuentran los equipos, las presiones del gas SF6 en los compartimentos, el estado de los equipos de emergencia como el grupo electrógeno y las condiciones de las baterías. Además, en el formato anexo se muestra en mayor detalle cada uno de los equipos a los que se le debe realizar una inspección semanal.

**ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS, PROTOCOLOS, GUÍAS E INSTRUCTIVOS PARA LA
SUBESTACIÓN JOUKTAI.**

ISAGEN		SUBESTACION JOUKTAI			
RONDAS OPERATIVAS SEMANALES		FECHA:			28/09/2022
SEMANA		1	2	3	4
HORA					10:41
VARIABLES	UN				
BARRAJE Y BAHÍAS GIS 110 KV					
BARRAJE 110 Kv					
Posición seccionador S119		Abierto,cerrado (A/C)			A
Presión gas SF6 compartimento PTB		Bar			5,7
Protección barras 871					
Posición selector de operación		Local-remoto (L/R)			L
Posición del selector de liberación de enclavamiento		Con enclavamiento-sin enclavamiento (C/S)			S
Alarmas presentes		Ninguna			NO
BAHIA TRANSFORMADOR T1 (WR01)					
ICC					
Posición selector de operación		Local-remoto (L/R)			R
Posición seccionador de barra T 111		Abierto-cerrado (A/C)			C
Posición seccionador de tierra T1119		Abierto-cerrado			A
Posición interruptor T110		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de barra T1179		Abierto-cerrado			A
Posición seccionador de línea T 117		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de tierra T119		Abierto-cerrado			A
Posición selector Reset of motor control		Abierto-cerrado			A
Posición selector Release of earth switche		Abierto-cerrado			A
Posición del selector de liberación de enclavamiento		Con enclavamiento-sin enclavamiento			S
Contador de operaciones del interruptor		Número de operaciones			91
COMPARTIMENTO GAS SF6					
Presión gas SF6 compartimento salida (G04)		Bar			4,6
Presión gas SF6 compartimento (G02)		Bar			4,6
Presión gas SF6 compartimento (G00)		Bar			5,7
Presión gas SF6 compartimento (G01)		Bar			4,6
CONTROLADOR DE BAHIA DEL TRANSFORMADOR T1					
Posición selector de operación		Local-remoto			R
Posición del selector de liberación de enclavamiento		Con enclavamiento-sin enclavamiento			S
Alarmas presentes		Ninguna			NO
BAHIA TRANSFORMADOR T2 (WR04)					
ICC					
Posición selector de operación		Local-remoto (L/R)			R
Posición seccionador de barra T 141		Abierto-cerrado (A/C)			C
Posición seccionador de tierra T1419		Abierto-cerrado			A
Posición interruptor T140		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de tierra T1479		Abierto-cerrado			A
Posición seccionador de línea T 147		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de tierra T149		Abierto-cerrado			A
Posición selector Reset of motor control		Abierto-cerrado			C
Posición selector Release of earth switche		Abierto-cerrado			C
Posición del selector de liberación de enclavamiento		Con enclavamiento-sin enclavamiento			S
Contador de operaciones del interruptor		Número de operaciones			10
COMPARTIMENTO GAS SF6					
Presión gas SF6 compartimento salida (G04)		Bar			4,6
Presión gas SF6 compartimento (G02)		Bar			4,5
Presión gas SF6 compartimento (G00)		Bar			5,7
Presión gas SF6 compartimento (G01)		Bar			4,6
CONTROLADOR DE BAHIA DEL TRANSFORMADOR T2					
Posición selector de operación		Local-remoto			R
Posición del selector de liberación de enclavamiento		Con enclavamiento-sin enclavamiento			S
Alarmas presentes		Ninguna			NO
BAHIA LINEA JEPHACHU (WR03)					
ICC					
Posición selector de operación		Local-remoto			L
Posición seccionador de barra L 131		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de tierra L 1319		Abierto-cerrado			A
Posición interruptor L 130		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de tierra L 1379		Abierto-cerrado			A
Posición seccionador de línea T 137		Abierto-cerrado			C
Posición seccionador de tierra L 139		Abierto-cerrado			A
Posición selector Reset of motor control		Abierto-cerrado			A
Posición selector Release of earth switche		Abierto-cerrado			A
Posición del selector de liberación de enclavamiento		Con enclavamiento-sin enclavamiento			S
Contador de operaciones del interruptor		Número de operaciones			10
Alarmas presentes		Ninguna			NO

Fig. 44. Formato de rondas operativas semanales. Fuente: Autor.

En la Figura 45 se puede ver el formato general de inspección de los equipos, en especial los equipos de patio y en donde se busca identificar posibles desgastes ocasionados por el paso del tiempo como oxidaciones, crecimiento de plantas, fisuras y aflojamiento de las partes metálicas. Además, en el formato anexo se muestra en mayor detalle cada uno de los equipos a los que se le debe realizar una inspección mensual.

ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS, PROTOCOLOS, GUÍAS E INSTRUCTIVOS PARA LA SUBESTACIÓN JOUKTAI.

ISAGEN		SUBESTACION JOUKTAI											
RONDAS OPERATIVAS MENSUALES		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
HORA		12:21											
VARIABLES		UN											
TRANSFORMADORES DE TENSION P1													
Estado de las placas de características	Visibles-no												
Condición física	visibles												VISIBLE
Conexiones y grasas	Normal												NORMAL
Isolación	Normal												NORMAL
Accesos de cables	Normal												NORMAL
Tensión a tierra PT 12	V												0
Tensión a tierra PT 13	V												0
Tensión a tierra PT 14	V												0
Conexión a tierra	anomalía												NORMAL
ARMARIO DE PT 12													
Limpieza	Normal												NORMAL
Calefamientos	Normal												NORMAL
Partes móviles	Normal												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Contactos	Normal												NORMAL
Conexiones	Normal												NORMAL
Partes mecánicas	Normal												NORMAL
Resistencia de calefacción	Normal												NORMAL
Termostato	anomalía												NORMAL
ARMARIO DE PT 13													
Limpieza	Normal												NORMAL
Calefamientos	Normal												NORMAL
Partes móviles	Normal												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Contactos	Normal												NORMAL
Conexiones	Normal												NORMAL
Partes mecánicas	Normal												NORMAL
Resistencia de calefacción	Normal												NORMAL
Termostato	anomalía												NORMAL
ARMARIO DE PT 14													
Limpieza	Normal												NORMAL
Calefamientos	Normal												NORMAL
Partes móviles	Normal												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Contactos	Normal												NORMAL
Conexiones	Normal												NORMAL
Partes mecánicas	Normal												NORMAL
Resistencia de calefacción	Normal												NORMAL
Termostato	anomalía												NORMAL
DESCARGADORES DE SOBRETENSION O DPS													
Condiciones	Normal												NORMAL
Inspección visual general de los descargadores de sobretensión	Normal												NORMAL
Revisar fisuras o daños	Normal												NORMAL
Corrosión y oxidación	Normal												NORMAL
Estado de las placas de características	Visibles-no												VISIBLE
Terminales	visibles												NORMAL
Puesta a tierra	Normal												NORMAL
BANCOS DE COMPENSACION													
Arrolaciones	Normal												NORMAL
Condición	Normal												NORMAL
Fugas	Normal												NORMAL
Terminales y conexiones	anomalía												NORMAL
TRANSFORMADOR DE POTENCIA T1													
Estado de las placas de características	Normal												NORMAL
Puesta a tierra	Normal												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Cableado externo	Normal												NORMAL
Limpieza	Normal												NORMAL
Tapa principal	Normal												NORMAL
Radidores	Normal												NORMAL
Pintura	Normal												NORMAL
Condición	Normal												NORMAL
Fugas de aceite	anomalía												NORMAL
ARMARIO DE REGULACION DE FAN													
Limpieza	Normal												NORMAL
Calefamientos	Normal												NORMAL
Partes móviles	Normal												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Contactos	Normal												NORMAL
Conexiones	Normal												NORMAL
Partes mecánicas	Normal												NORMAL
Resistencia de calefacción	Normal												NORMAL
Termostato	anomalía												NORMAL
TRANSFORMADOR DE POTENCIA T2													
Estado de las placas de características	Visibles-no												VISIBLE
Puesta a tierra	visibles												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Cableado externo	Normal												NORMAL
Limpieza	Normal												NORMAL
Tapa principal	Normal												NORMAL
Radidores	Normal												NORMAL
Pintura	Normal												NORMAL
Condición	Normal												NORMAL
Fugas de aceite	anomalía												NORMAL
ARMARIO DE REGULACION DE FAN													
Limpieza	Normal												NORMAL
Calefamientos	Normal												NORMAL
Partes móviles	Normal												NORMAL
Corrosión	Normal												NORMAL
Contactos	Normal												NORMAL
Conexiones	Normal												NORMAL
Partes mecánicas	Normal												NORMAL
Resistencia de calefacción	Normal												NORMAL
Termostato	anomalía												NORMAL
TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA													
Operación manual con carga	Opero-fino												OPERO

Figura 45. Formato de rondas operativas mensuales. Fuente: Autor.

Instructivos de bloqueo y etiquetado

A continuación, se presenta el INSTRUCTIVO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO PARA TRABAJOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO este documento busca dar las indicaciones generales que se deben tener en cuenta a la hora de realizar un procedimiento de bloqueo y etiquetado de los equipos eléctricos cuando se va a realizar un mantenimiento.

Indicaciones generales

A continuación, se realizan diferentes indicaciones generales [14].

- Este instructivo aplica al personal que interviene de manera directa y realiza tareas de operación y mantenimiento en los equipos del sistema eléctrico.

- Ninguna persona debe intentar iniciar o energizar ningún equipo que este bloqueado y etiquetado correctamente.
- Los elementos de bloqueo solo deben ser utilizados para este fin y no deben ser usados para otros propósitos.
- Se debe realizar la lectura de este instructivo mínimo anualmente o cuando se requiera al realizar una operación.
- El jefe de mantenimiento es el responsable de custodiar las llaves de los candados instalados, hasta el momento en que se realice el retiro.
- El jefe de mantenimiento es el único que puede emitir permisos de trabajos de operación y mantenimiento.
- Las llaves originales de cada uno de los candados de seguridad deben de permanecer en el cerrojo mientras no estén en uso y el jefe de mantenimiento debe tener una copia bajo custodia.
- El jefe de mantenimiento debe instalar los elementos de bloqueo/etiquetas y al finalizar el trabajo debe retirarlos y verificar que los trabajadores se hayan retirado de la línea de peligro antes de energizar el equipo.

Dispositivos de bloqueo

El bloqueo/etiquetado es obligatorio y su objetivo es asegurar que solo el personal autorizado y encargado de realizar la operación o mantenimiento de equipos pueda manipularlos. Con esto se busca evitar eventos en los que pueda ocurrir liberación de energía que ocasione lesiones a los operarios [15].

Estos elementos de bloqueo/etiquetado deben de tener las siguientes características:

- Los candados pueden ser de combinación o llaves.
- Los candados deben tener la capacidad de soportar el frío, calor, humedad o los efectos corrosivos del medio ambiente en el que son usados.
- Los candados deben soportar hasta 50 libras de presión antes de soltar para que no se puedan soltar fácilmente.
- Cada candado debe estar acompañado por la respectiva etiqueta en donde se indique el nombre del empleado que lo instaló.

ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS, PROTOCOLOS, GUÍAS E INSTRUCTIVOS PARA LA SUBESTACIÓN JOUKTAL.

60

- Las etiquetas deben de tener el mismo formato, ser fáciles de leer y comprender aun si se usan en áreas corrosivas, sucias o húmedas.
- Las etiquetas deben ser de un material fuerte para que no puedan ser removidas fácilmente.

Elementos para realizar el bloqueo y etiquetado

La subestación debe de contar con un tablero de bloqueo como el que se muestra en la Figura 46, el cual debe contener los siguientes elementos:



Figura 46. Elementos de un tablero de bloqueo [15].

- Candados de seguridad color amarillo, ver Figura 47.



Figura 47. Candado amarillo [14].

- Tarjetas de bloqueo laminadas, ver Figura 48.



Figura 48. Tarjetas de bloqueo (autor).

- Barras de bloqueo de color rojo, ver Figura 49.



Figura 49. Barra de bloqueo [14].

- Elementos de bloqueo de interruptores y de enchufes, cuando se requiera, ver Figura 50 y 51.

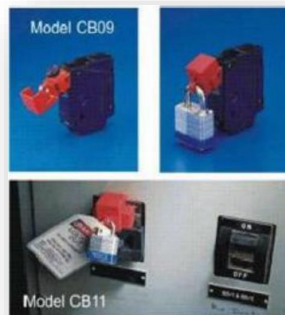


Figura 50. Bloqueo de interruptor [14].



Figura 51. Bloqueo de interruptor [15].

Procedimiento para la realización de trabajo seguro con energías peligrosas

Tareas previas [15]:

- 1. Identificación del riesgo:** Primero se deben identificar los factores de riesgos que tienen asociado el mantenimiento y operación a elementos con energías peligrosas las cuales son: mecánica, potencial, eléctrica, térmica y química. Con esto se busca verificar si se cuenta con los procedimientos y equipos suficientes para realizar la tarea que se pretende ejecutar, de manera segura.
- 2. Política de seguridad y salud en el trabajo:** Se debe consultar la política de seguridad y salud en el trabajo que tiene implementada la empresa ISAGEN con el fin de que esto completamente clara, divulgada y comprendidas por las personas encargadas del procedimiento que se pretende ejecutar. En estos documentos se define claramente los parámetros para el trabajo seguro con energías peligrosas.
- 3. Capacitación y entrenamiento:** Busca dar la información a las personas que intervienen los trabajos que involucran el manejo de energías peligrosas, para que realicen estas tareas con el conocimiento suficiente de los elementos que se van a manipular y los riesgos a los que se exponen.

Pasos para el procedimiento de bloqueo

Todos los equipos que pueden poner en riesgo la seguridad del personal que va a ejecutar la tarea deberá ser bloqueado para evitar la operación no advertida o accidental. Por lo tanto, no se debe hacer funcionar ningún equipo que se encuentre bloqueado [16].

Preparación para apagar el equipo:

Para realizar el rotulado o aseguramiento de cualquier equipo se debe conocer el tipo y la cantidad de energía que suministra, los peligros que tiene asociado y la manera de controlarla. Para

lograr esto se debe apagar siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante, para no poner en peligro la vida del personal operativo ni la continuidad del servicio.

Además, se debe verificar lo siguiente:

- Identificar la fuente de energía, determinar si otros equipos están alimentados por la misma fuente o existen múltiples fuentes alimentando el equipo a intervenir y ubicar los elementos de desconexión.
- Determinar el tipo de falla ya sea de tipo mecánica, atascamiento, limpieza o mantenimiento rutinario.
- Cuando más de una persona realizara el procedimiento, se debe contar con los suficientes portacandados.
- Identificar si es necesario el uso de equipos de protección personal especial.
- Verificar si hay fluidos, sustancias químicas o gases con los que se puede tener contacto y utilizar los elementos de protección necesarios.
- Informar a todo el personal que se encuentre involucrado en la operación o mantenimiento del equipo, de la realización del procedimiento y del bloqueo del equipo.
- Señalizar el lugar de trabajo con el fin de advertir a las personas para evitar su ingreso cuando se está realizando una intervención a un equipo.

Apagado del equipo: Para apagar correctamente el equipo a intervenir se debe realizar lo siguiente:

- Se debe presionar el botón de apagado si el equipo lo posee, colocar los interruptores en modo OFF y los elementos de seccionamiento en la posición que indique visiblemente que el elemento se encuentra apagado o desconectado.
- Bloquear en posición de apertura todos los aparatos de corte que alimentan al equipo a intervenir.
- Verificar la ausencia de tensión luego de realizado las anteriores acciones.
- Poner a tierra y en cortocircuito los barrajes y elementos que pudieran quedar con energía almacenada.
- Delimitar y señalar correctamente la zona de trabajo.

Fijación de candados y tarjetas de bloqueo:

Luego de tener todos los dispositivos de desconexión abiertos o en posición OFF, se debe colocar el candado de bloqueo y las tarjetas de aviso de bloqueo. Además, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si los candados no pueden ser conectados directamente en los dispositivos de desconexión, se debe utilizar las diferentes piezas adicionales para lograr el correcto bloqueo.
- Cada trabajador debe colocar su candado personal de bloqueo en el equipo que se dispone a intervenir.
- Verificar que los candados de bloqueo estén bien cerrados, intentando la apertura manual de estos.
- Se puede utilizar un cierre múltiple para que varios empleados puedan asegurar el mismo equipo.
- Las tarjetas de bloqueo se deben diligenciar completamente escribiendo los datos solicitados como: responsable, fecha y comentarios adicionales.

Control de la energía almacenada:

Los equipos luego de ser aislados de su fuente de energía pueden seguir almacenando energía que debe ser liberada de manera segura para evitar así descargas accidentales que puedan poner en riesgo la vida de las personas. Por lo tanto, se deben tener las siguientes consideraciones:

- Todas las baterías que alimenten el circuito se deben desconectar.
- Poner a tierra y en cortocircuito los barrajes y elementos que pudieran quedar con energía almacenada.

Verificación del aislamiento de equipos:

Luego de realizar el bloqueo de los equipos se debe verificar que todas las fuentes de energía que alimentan el equipo están desconectadas y que la energía residual que pudiera quedar almacenada ha sido controlada o disipada. Además, se debe verificar los siguiente:

- Verificar que no se encuentre nadie en áreas de peligro.
- Verificar que los equipos se encuentren bien bloqueados y etiquetados.
- Verificar la ausencia de energía por medio de equipos de medida e intente accionar los interruptores y controles bloqueados.
- Durante la realización del trabajo se debe evitar hacer maniobras que puedan activar el equipo.

Uso de candados y llaves:

Al momento de realizar la compra de los candados se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- Una llave no debe abrir más de un candado.
- Los candados de combinación están totalmente prohibidos.
- Los candados con sus respectivas llaves deben encontrarse en un gabinete de seguridad.
- Los candados son personales e intransferibles.
- Si se pierde un candado, las llaves deben destruirse.
- Se debe tener un formato con los números de serie de los candados y llaves para realizar la eliminación de estos más fácil cuando se requiera.

Procedimiento para el desbloqueo

Para realizar correctamente el procedimiento de desbloqueo se debe realizar los siguientes pasos:

- Informar al personal involucrado sobre la finalización del trabajo y que se va a proceder con la energización del equipo.
- Verificar que todas las herramientas han sido removidas del lugar de trabajo.
- Se debe informar sobre la remoción de los candados y etiquetas, verificar que no hay personal cerca del equipo.
- Se deben retirar los candados y las etiquetas de bloqueo. Luego reconectar las fuentes de energía que alimentan el equipo. Es importante que los elementos de bloqueo solo sean removidos por la persona que los instaló.
- Verificar que todas las fuentes de energía estén habilitadas y que el equipo que fue intervenido este energizado.
- Comunicar al personal involucrado que la maquina está en operación normal nuevamente.
- Devolver todos los elementos de bloqueo y etiquetado al tablero de bloqueo.

Por último, en la Figura 52 se presenta el formato que se elaboró para realizar el chequeo de los pasos mencionados en el documento INSTRUCTIVO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO con el fin de realizar la confirmación y lograr así realizar trabajos con el menor riesgo posible y que anexa en el formato de PROCEDIMIENTO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO.

PROCEDIMIENTO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO		FECHA:	octubre/2022
DIA			
HORA			
Procedimiento	Actividad	Acciones	Verificación
Preparación para apagar	Reconocer el equipo	Identificar las fuentes de energía que alimentan el equipo y la ubicación de los desconectores.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Identificar tipo de evento: mecánico, atascamiento, mantenimiento rutinario.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
	Notificar al personal	Identificar si hay otros sistemas o equipos alimentados por la misma fuente.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Si varias personas trabajan en el mismo procedimiento, se debe de contar con el número suficiente de candados.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
Señalizar lugar de trabajo	Verificar si es necesario el uso de elementos de protección personal especial como: trajes térmicos, gafas UV, etc.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado	
	Verificar si existen sustancias, fluidos o gases con los que el personal pueda entrar en contacto.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado	
Apagado de equipos	Corte de las fuentes de energía	Antes de realizar el procedimiento de bloqueo se debe informar al superior, trabajadores, contratistas y a todo el personal que se pudiera ver afectado por procedimiento.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Informar las tareas que se van a realizar e indicar que se deben mantener alejados del lugar de trabajo.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
Aislamiento de equipos	Aislar	Se debe señalar el lugar de trabajo para advertir a las personas y evitar el ingreso a esta área.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Antes de aislar la fuente principal se debe desconectar las cargas conectadas a esta, para evitar posibles accidentes.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
Fijación de elementos de bloqueo	Candados y tarjetas de bloqueo	Asegurarse de que todos los controles manuales y automáticos se encuentren apagados.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Compruebe que la máquina se encuentra desenergizada por medio de equipos de medida.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
Control de energía almacenada	Liberación de energía almacenada	Abrir los interruptores. Es necesario aislar el equipo de todas las fuentes de energía tanto la principal como las secundarias.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Cuando los dispositivos de desconexión se encuentren abiertos, se debe proceder a colocar los elementos de bloqueo.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
Verificación del aislamiento	Comprobación	Si el candado no puede ser conectado directamente, se debe conectar un dispositivo adicional especial si es necesario.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Cada empleado debe colocar su candado personal en el equipo que se va a bloquear.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
Encendido de equipos	Retiro de candados y etiquetas de bloqueo	Intente abrir el candado, para verificar que se encuentre bien instalado.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Si varios empleados van a intervenir un equipo, se debe utilizar un cierre múltiple para que cada uno pueda instalar su candado personal.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Las tarjetas de bloqueo instaladas se deben llenar completamente y solo pueden ser retiradas por el empleado que las firmó.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Todas las baterías que alimenten el circuito deben ser desconectadas.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Instalar conexión a tierra para drenar la energía que pudiera quedarse almacenada.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Bloquear o asegurar partes que puedan caerse debido a la fuerza de gravedad.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Verificar que no hay ruidos en las zonas de peligro.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Asegurarse de que las fuentes de energía no pueden ser energizadas, tratando de accionar los interruptores y controles que las activan.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Verificar la ausencia de energía por medio de equipos de medida.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Cada empleado debe retirar su propio candado/etiqueta. Además, no debe entregar las llaves de los candados que instaló.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Luego de realizar el procedimiento de mantenimiento o reparación, se debe asegurar que todas las herramientas y elementos utilizados sean retirados del equipo.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Si se realiza cambio de turno y el trabajo de mantenimiento debe ser continuado, la persona que hace el relevo debe colocar su propio candado para bloquear el equipo.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Se debe verificar que todo este funcionando correctamente, para luego proceder a retirar los candados y las etiquetas de bloqueo.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Se debe informar al personal cuando el equipo se encuentre disponible para ser energizado.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado
		Proceder a energizar todas las fuentes que alimentan el equipo.	<input checked="" type="checkbox"/> Realizado

Figura 52. Formato de bloqueo y etiquetado.

VII. CONCLUSIONES

Se logró comprender y conocer el funcionamiento de la subestación Jouktai gracias a que se realizó diferentes reconocimientos en sitio y se analizaron de manera detallada los planos con los que fue construida, lo cual permitió crear los documentos planteados en los objetivos del presente trabajo.

Se comprendió la importancia que tiene seguir las disposiciones de seguridad que exige la normatividad colombiana como el RETIE y las de seguridad propias de ISAGEN las cuales tienen como prioridad la seguridad de las personas y busca que se presente cero eventos de alto riesgo a lo largo de todo el año.

Los formatos de rondas operativas diarias, semanales y mensuales, nos permiten llevar un seguimiento tanto de las variables más importantes como del estado de los equipos, con el objetivo de evitar las salidas de servicio de la subestación por posibles sobrecargas o desgastes en los equipos ya que al realizar estos seguimientos se tiene un historial para realizar la toma de decisiones de manera oportuna.

Los formatos de bloqueo y etiquetado nos permiten que al momento de realizar una tarea con equipos energizados, el personal encargado de esta tarea realice los procedimientos de una manera más consciente y no mecanizada, logrando así evitar que por no llevar una secuencia estandarizada las personas cometan errores que puedan poner en riesgo su vida o sacar de servicio a un equipo importante de la subestación.

Tener una guía de funcionamiento de la subestación permite que el personal nuevo que va a ingresar a realizar cualquier labor en la subestación Jouktai comprenda el funcionamiento de esta y pueda realizar sus tareas de manera más rápida y segura.

REFERENCIAS

- [1] J. P. Carrillo, «Pruebas a equipos seccionadores en subestaciones eléctricas», p. 14.
- [2] Ministerio de minas y energía, «Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctrica (RETIE)». 2018. [En línea]. Disponible en: <https://conatel.org/wp-content/uploads/2019/07/RETIE-RESOLUCION-18-1294-AGOSTO-06-DE-2008.pdf>
- [3] J. Marcella, G. Landeta, M. Rueda, y E. Rojas, «Ingeniería de diseño primaria de la subestación parque eólico guajira 1». 2021.
- [4] L. Alcantar Bazua, *Estructuras y equipos de Subestaciones Eléctricas*. 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Alcantar-Bazua/publication/303543292_Estructuras_y_equipos_de_Subestaciones_Electricas/links/57475ef708ae707fe21e3de3/Estructuras-y-equipos-de-Subestaciones-Elctricas.pdf
- [5] S. G. Lostes, «Entorno para el entrenamiento de operadores de subestaciones eléctricas.», p. 34, 2011.
- [6] J. Trashorras, *Subestaciones eléctricas*, 1.^a ed. Madrid: Paraninfo, 2015.
- [7] Yumpu.com, «Subestaciones aisladas por gas hasta 300 kV, 63 ... - Siemens Energy», *yumpu.com*. <https://www.yumpu.com/es/document/read/14739261/subestaciones-aisladas-por-gas-hasta-300-kv-63-siemens-energy> (accedido 26 de octubre de 2022).
- [8] «eDB - Seccionador automático by ABB AG | DirectIndustry». <https://www.directindustry.es/prod/abb-ag/product-70728-1231747.html> (accedido 26 de octubre de 2022).

- [9] R. A. Canelos Salazar, «Normas de seguridad en subestaciones», ago. 1981, Accedido: 6 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5955>
- [10] ISAGEN, «Política de seguridad y salud en el trabajo».
- [11] *Código Eléctrico Colombiano NTC 2050 actualización 2020*. INCONTEC. Accedido: 6 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontec.org/lanzamiento-codigo-electrico-colombiano-ntc-2050/>
- [12] *National electrical code Handbook*. NFPA, 2005. [En línea]. Disponible en: https://www.ustaxcourt.gov/opinions/2017/TCMemo_2017-147_nec.pdf
- [13] Arquitectura y concreto S.A.S, «Manual de operación y mantenimiento general- sistema eléctrico del edificio tecnico administrativo La Miel 1 de ISAGEN S.A. E.S.P». 2016.
- [14] J. A. Balaguera, «Instructivo bloqueo y etiquetado para trabajos de operación del sistema eléctrico», p. 9, 2014.
- [15] R. G. Rodríguez y A. M. N. Banda, «Modelo de control (bloqueo y etiquetado) para las energías peligrosas liberadas por contacto con máquinas y equipos que intervienen en el proceso de fabricación de gomas y caramelos en la industria confitera de Colombia año 2012», p. 56, 2012.
- [16] E. A. R. Arevalo y L. F. H. Sánchez, «Elaboración de manual de operaciones sobre el uso de sistemas de bloqueo en línea de», p. 55, 2016.

ANEXOS

Anexo A. [GUÍA DE FUNCIONAMIENTO GENERAL DE LA SUBESTACION JOUKTAL.](#)

Anexo B. [INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES 208-120 VAC.](#)

Anexo C. [INSTRUCTIVO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SERVICIOS AUXILIARES 125 VDC.](#)

Anexo D. [INSTRUCTIVO DE SEGURIDAD ELECTRICA PARA LA SUBESTACION JOUKTAL.](#)

Anexo E. [FORMATO DE RONDAS OPERATIVAS DE LA SUBESTACION JOUKTAL.](#)

Anexo F. [INSTRUCTIVO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO.](#)

Anexo G. [PROCEDIMIENTO DE BLOQUEO Y ETIQUETADO.](#)