



Ampliación subestación Santa Lucía 34.5 kV

Felipe Gutiérrez Zapata

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Doctor (PhD) en Ingeniería Eléctrica

Asesor Interno

Alejandro Zapata Ferraro, Ingeniero electrónico especialista en gerencia de proyectos

Asesor externo

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Gutiérrez Zapata [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] F. Gutiérrez Zapata, “Ampliación subestación Santa Lucía 34.5 kV”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Centro De Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé 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.

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios, quien ha sido mi guía y mi fuerza durante toda mi vida, en todos los momentos que he pasado, tanto los buenos, como los que me enseñaron a sacar una resiliencia que no conocía. Dedico también este trabajo a mis dos ángeles en la tierra, mis dos pilares en este mundo, a mi padre, el mejor hombre que conozco, quién desde que tengo memoria me ha acompañado y me ha dado el ejemplo de la persona que debo y quiero ser, sin duda alguna uno de los soportes que me ha forjado para ser la persona que soy. A mi madre, mujer de mi vida por siempre, quien me conoce como a nadie y nunca dudó de mí, por su incondicionalidad y amor, incluso en los momentos que fueron tan adversos para nosotros. A todos, espero honrarlos con este logro y manifestarles que sin ellos no hubiera podido llegar a este momento, amor infinito hacia ustedes.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que estuvieron en mi camino académico universitario de forma directa e indirecta, quienes me sumaron tanto académicamente como personalmente para llegar a este momento tan feliz para mí, agradezco a los profesores, a mi familia, amigos y compañeros con quienes se crearon relaciones tan significativas para mi vida, especialmente quiero agradecerle a la empresa ACEMA INGENIERIA y a mi tutor Alejandro Zapata, por siempre creer en mí desde que comencé mi proceso laboral, un sentido enorme de gratitud por todo este acompañamiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. OBJETIVOS.....	11
A. Objetivo general.....	11
B. Objetivos específicos.....	11
III. MARCO TEÓRICO.....	12
IV. METODOLOGÍA.....	13
V. RESULTADOS.....	17
V.1 DESCRIPCIÓN EQUIPOS PRINCIPALES.....	17
V.1.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	17
V.1.II SECCIONADOR.....	20
V.1.III RECONECTADOR.....	21
V.1.IV DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES (DPS).....	21
V.1.V TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN.....	22
V.1.VI OTRAS DEFINICIONES.....	23
VII. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LA SUBESTACIÓN SANTA LUCÍA.....	24
VII.1 SUBESTACIÓN SANTA LUCÍA.....	24
VII.II DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO.....	24
VII.III EQUIPOS DE PATIO BAHÍAS 34.5kV.....	25
VII.IV EQUIPOS DE PATIO BAHÍAS 13.8 Kv.....	29
VII.V TABLEROS AUTOSOPORTADOS EN PATIO.....	34
VII.VI TABLEROS SOPORTADOS EN PATIO.....	37

VII.VIII TABLERO DE CONTROL Y COMUNICACIONES.....	39
VIII PRE-ACTIVIDADES PARA MANTENIMIENTO Y/O OPERACIONES DE LA SE	40
IX MEDIDAS DE SEGURIDAD	41
X FACTORES DE SEGURIDAD A REALIZAR	42
XI ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL	43
VI. ANÁLISIS	43
VII. CONCLUSIONES.....	44
REFERENCIAS	45

LISTA DE TABLAS

TABLA I LISTADO EQUIPOS PRIMARIOS	17
TABLA II LISTADO EQUIPOS SECUNDARIOS	17
TABLA III MANTENIMIENTO TRANSFORMADOR DE POTENCIA	18
TABLA IV EQUIPOS DE PATIO 34.5kV	25
TABLA V EQUIPOS DE PATIO 13.8kV	29

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Arquitectura de comunicaciones SE Santa Lucía.	14
Fig. 2. Diagrama unifilar SE Santa Lucía anterior a intervención.	15
Fig. 3. Diagrama unifilar SE Santa Lucía posterior a intervención.	16
Fig. 4. Ilustración Transformador de Potencia.	20
Fig. 5. Bahía Montería.....	27
Fig. 6. Bahía Puerto Escondido.....	28

Fig. 7. Bahía Sol y Cielo I.....	28
Fig. 8. Bahía Salida Barraje 34.5kV.....	29
Figura 9. Circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1	32
Figura 10. Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2.	32
Figura 11. Circuito SLC304 SANTA LUCÍA 3.	33
Figura 12. Bahía Llegada Transformador.	33
Figura 13. Tablero medidores circuitos y SSAA 13.8kV.	34
Figura 14. Tablero +TME02	35
Figura 15. Tablero +COM01.....	36
Figura 16. Tablero soportado 13.8kV	37
Figura 17. Tablero +TME01	38
Figura 18. Tablero Reconectores.....	39
Figura 19. Tablero comunicaciones sala de control.....	39
Figura 20. Tablero comunicaciones 2 sala de control.....	40

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UdeA	Universidad de Antioquia
kV	Kilo voltios
MW	Megavatio
SE	Subestación
GS	Granja solar
UPS	Sistemas de alimentación ininterrumpida
FO	Fibra Óptica
SSAA	Servicios Auxiliares
IED	Intelligent electronic device (Dispositivo electrónico inteligente)
PDT	Plan detallado de trabajo

RESUMEN

El presente documento tiene como concepto informar las actividades realizadas al interior de la subestación Santa Lucía ubicada en la ciudad de Montería, donde se llevó a cabo una ampliación de la misma para la integración de una granja solar de 12 MW, dentro de los alcances que contempla el proyecto se tendrá la coordinación y dirección del proyecto desde 3 ámbitos, obra civil para definición de rutas de cableado de media, baja tensión y comunicaciones (fibra óptica,) obra electromecánica para la construcción y puesta en servicio (incluyendo suministro de equipos primarios y cableado) de 3 nuevas bahías o pórticos distribuidos, lo anterior, mediante un barraje que se acoplará a un transformador que tiene en su salida 3 circuitos, los niveles de tensión son en alta 34.5 kV y en el lado de baja 13.8 kV.

Por último, se tiene un alcance secundario dividido en dos partes, la primera es la ampliación de los SSAA de la subestación para alimentar todos los equipos nuevos junto con los existentes a través de una UPS y tendido de FO para establecer comunicaciones entre la totalidad de equipos; la segunda la integración de dos nuevos tableros, los cuales albergan diferentes equipos como medidores para tarifación y frontera comercial de la granja solar, equipos de comunicaciones para nuevos equipos dispuestos en las tres bahías y generar comunicaciones mediante señales con equipos existentes, junto con la configuración y puesta en servicio de los mismos para implementar la ampliación de la subestación con el centro de control del operador de red para su operación.

***Palabras clave* — Servicios auxiliares, granja solar, subestacion, pórticos, equipos primarios, energías renovables**

ABSTRACT

The present document aims to inform about the activities executed inside the Santa Lucia substation located in the city of Montería, where an expansion took place for the integration of a 12 MW solar farm, inside the scope envisioned by the project, coordination and direction of the project will be managed from three different perspectives, civil works for defining routes for medium and low voltage wiring and fiber optic communication, electromechanical works for the construction and commissioning (including supply of primary equipment and wiring) of three new distributed gantries this will be coupled through a barrage to a transformer that has 3 circuits at its output, the voltage levels are high at 34.5 kV and on the low side at 13.8kV.

Finally, there is a secondary scope divided into two parts, the first one is the expansion of the SSAA of the substation to power all the new equipment along the existing ones through a UPS and laying of FO to establish communications between all equipment; the second one is the integration of the new panels, which house different equipment such as meters of billing and commercial boundary of the solar farm, communication equipment for new equipment arranged in the three bays, and generating communications through signals with existing equipment, along with the configuration and commissioning of them to implement the expansion of the substation with the network operator's control center for its operation.

key words- auxiliary services, solar farm, substation, distributed gantries, primary equipment, renewable energys

I. INTRODUCCIÓN

La SE Santa Lucía se encuentra en Montería, Córdoba, esta es una SE de distribución de 34.5kV a 13.8kV cuyo operador de red es AFINIA, se tiene planeada la integración de un parque solar ubicado de forma aledaña, el cual tiene una potencia instalada de 12 MW aproximadamente, el proyecto descrito a continuación no solo implica la conexión física del parque solar a la subestación, sino las diferentes intervenciones en cuanto a las obras civiles y electromecánicas dentro de la infraestructura existente.

En este contexto, dentro del alcance pactado en este proyecto se tiene la realización de la obra civil, con la que se pretende intervenir el terreno al interior de la SE para tender las nuevas rutas tanto del cableado de media tensión como para el cableado de baja tensión a través de banco ductos y cajas de paso o registro según las necesidades del proyecto y que cumplen los requerimientos planteados por el operador de red.

Se contempla de igual forma la implementación de obras que incluyen supervisión, suministros y puesta en servicio de la parte electromecánica tales como la fijación de equipos primarios (seccionadores, reconectores, transformadores de medida, etc) en las nuevas bahías de la SE como su respectiva operatividad al momento de la energización, realización de ingeniería secundaria y de control para el suministro de tableros para la tarifación de la energía suministrada de la GS y la implementación de enlaces de telemetría entre el operador de red y la granja solar a través de equipos de comunicación y configuración de equipos de control existentes.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Apoyar en la coordinación y dirección del proyecto a cargo de la empresa ACEMA Ingeniería SAS de la puesta en servicio e integración de la granja solar Sol y Cielo I a la red a través de la subestación Santa Lucía en un nivel de tensión de 34.5kV.

B. Objetivos específicos

- Establecer las diferentes actividades al interior de la subestación, tanto civiles como electromecánicas, teniendo en cuenta el seguimiento de actividades según los tiempos del proyecto, diligenciamiento de permisos para realización de labores por personal.
- Coordinar la consecución de los diferentes equipos, accesorios y consumibles primarios y secundarios tales como seccionadores, cables de potencia, DPS, aisladores, tableros de medida, medidores, borneras, cableado de comunicaciones entre otros.
- Comparar las diferentes compras realizadas para los diferentes suministros del proyecto para llevar un control de flujo de caja y ganancias económicas o pérdidas del proyecto.

III. MARCO TEÓRICO

Colombia es un país privilegiado con respecto a la radiación solar incidente, debido a que presenta un promedio de radiación de 4,5 kW/m², más alto que el promedio mundial que es de 3,9 kW/m². En algunos lugares del territorio nacional, la radiación alcanza promedios de entre 6 y 5,5 kW/m², convirtiéndolo en un lugar atractivo desde punto de vista energético para instalaciones fotovoltaicas.

Un parque solar interconectado es una instalación de gran tamaño que aprovecha la energía solar fotovoltaica para poder generar grandes cantidades de energía eléctrica y esta es inyectada al sistema de transmisión del país. Estas instalaciones ocupan grandes extensiones de tierra, donde el área del terreno a ocupar depende principalmente de la potencia que tenga. Los Parques Solares están compuestos por paneles fotovoltaicos que normalmente se conectan a un bus DC común, a través de uno o más inversores y estos se conectan a un transformador de potencia elevador, que aumenta la tensión al nivel de transmisión y de ahí se conecta a la red eléctrica del país [1].

Los diagramas unifilares de una subestación deben incluir la siguiente información: – Capacidades de los equipos. – Descripción de los relés. – Mediante líneas de señalización indicar los IED's sobre qué equipos de potencia o medición actúan. – Niveles de cortocircuito sobre los cuales se basa el diseño. – Identificación de las cargas individuales conectadas a cada tablero [2].

La malla de puesta a tierra es un sistema conformado por electrodos de tierra que consiste en un número de conductores desnudos interconectados y enterrados en tierra, proporcionando una tierra común para dispositivos eléctricos o estructuras metálicas, usualmente en un lugar específico, la malla de puesta a tierra cumple con muchas funciones que tienen un propósito fijo, proteger a seres vivos y equipos de la subestación o lugar a proteger [3].

IV. METODOLOGÍA

Las actividades a realizar para conseguir los objetivos planteados están basadas según una especificación detallada de trabajo, donde se comienza por realizar un estudio a profundidad con la necesidad específica y la etapa del proyecto, por lo que en este caso se procede a revisar la ingeniería aprobada para construcción y así comenzar con las diferentes consultas según se requiera para comenzar con la etapa de construcción, en simultáneo con esto se realizan las diferentes diligencias para permisos de ingreso a la subestación, reuniones de inicio y todos los temas logísticos con el operador de red que es quien está a cargo de la subestación.

Al comenzar actividades se debe diligenciar la documentación de seguimiento en las etapas civiles y electromecánicas para la correcta dirección del proyecto, lo anterior, siguiendo el plan de trabajo o PDT planteado por la empresa, con estos formatos se presentan para seguimiento con el operador de red y cliente para conocimiento del avance del proyecto y diferentes situaciones que se puedan presentar en campo que atrasen la ejecución del proyecto.

El proyecto contiene suministros como tableros para equipos secundarios y equipos internos tales como medidores, switches de red y equipos de comunicaciones como equipos primarios ubicados en los pórticos nuevos que estarán en la subestación, es por esto que se deberá apoyar como interfaz entre el cliente y la empresa para que dicho suministro cumpla con las características técnicas especificadas en la etapa de ingeniería de diseño y que sean puestos en campo con la cantidad y números de parte adecuados.

Se deben de tener en cuenta cada una de las etapas de construcción realizando todo el acompañamiento en los diferentes momentos (civiles y electromecánicos) de la obra, presencia en reuniones de temas técnicos y de seguridad en el trabajo con el operador de red, entre otras, lo anterior para tener una puesta en servicio del parque solar dentro de los tiempos esperados. Finalmente, para la puesta en servicio de la subestación deberán hacerse pruebas con inyecciones primarias y secundarias tanto para los equipos primarios como para los equipos secundarios y de control, se deberá hacer el corte de energía necesario de la subestación para la entrada del parque y por último dejar funcional toda la subestación.

A continuación, se ilustrará el antes y después de la subestación desde los diagramas unifilares existentes y la arquitectura de comunicaciones para el control de la subestación desde el centro de control del operador de red y XM:

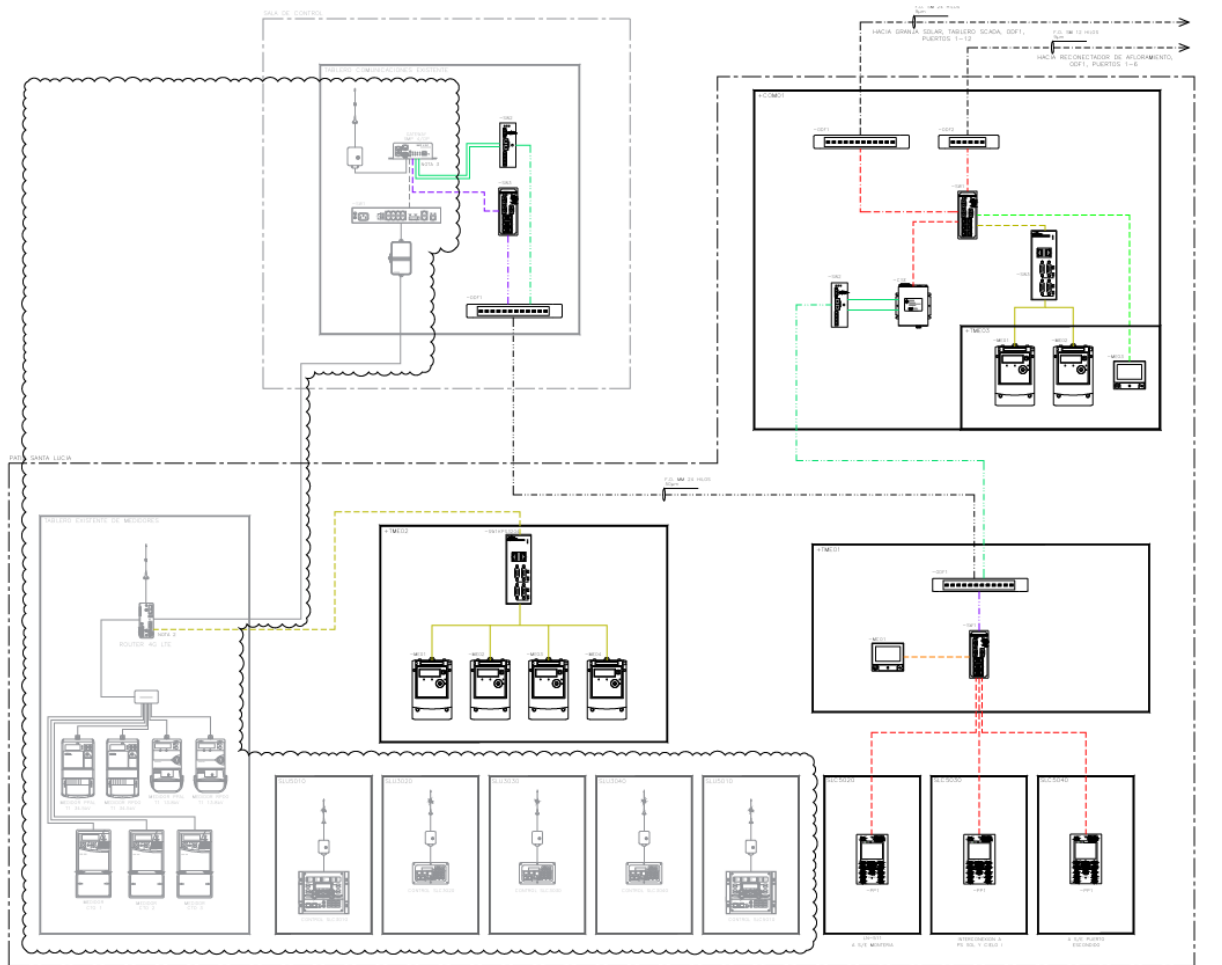


Fig. 1. Arquitectura de comunicaciones SE Santa Lucía.

En la anterior arquitectura de control se puede visualizar dos partes, tanto los equipos como los tableros resaltados en gris claro hacen referencia a los equipos ya existentes de la SE, los demás equipos son los que fueron integrados para comunicar los nuevos pódicos con sus equipos primarios y de medida, cabe resaltar que los protocolos utilizados para comunicar los equipos son diferentes, lo anterior, debido a que se tienen diferentes criterios para el control de la SE tanto para el operador de red como para el cliente dueño de la granja.

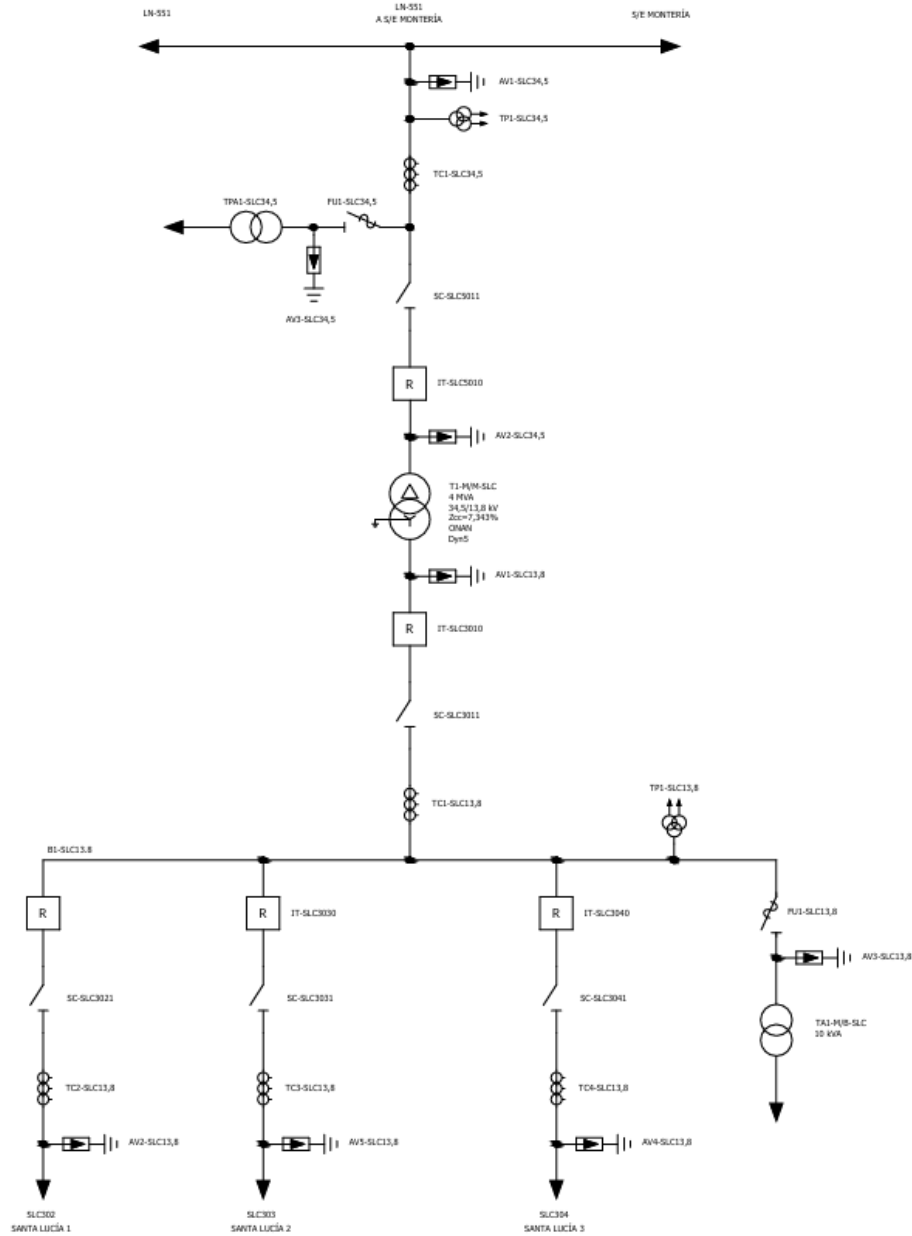


Fig. 2. Diagrama unifilar SE Santa Lucía anterior a intervención.

La subestación antes de la intervención estaba compuesta de una llegada de línea, exactamente la línea LN-551 proveniente de la SE Montería, dicha llegada a un nivel de tensión de 34,5 kV, pasando por un reconectador y unos transformadores de medida para dicho nivel de tensión, luego se conectaría a un transformador de 4 MVA con relación de transformación 34,5kV a 13,8kV para posteriormente conectarse en un barraje de tipo sencillo del cual se derivan 3 circuitos de distribución, cada uno con sus respectivos reconectores y transformadores de medida.

Puerto Escondido y la conexión a la granja solar Sol y Cielo I, la configuración del patio este patio es realizado a través de un barraje sencillo nuevo, donde se conectan las 3 llegadas de línea, dos de ellas subterráneas y la existente de forma aérea, tanto el patio de 13.8kV como el transformador se conservan iguales, la funcionalidad de la entrada de la granja solar es alimentar el corregimiento de Santa Lucía y exportar el restante a la red.

V. RESULTADOS

Dentro de la Subestación todos los elementos que la conforman son importantes para su respectivo funcionamiento, a continuación, se listan en dos partes:

TABLA I
LISTADO EQUIPOS PRIMARIOS

Equipos principales
Transformador de potencia
Transformadores de medida
Reconectores
Seccionadores
Relés
Tableros de control
DPS
Aisladores
Sistema de puesta a tierra

TABLA II
LISTADO EQUIPOS SECUNDARIOS

Equipos secundarios
Cables de potencia
Cables de control y fibra óptica
Alumbrado
Equipos de comunicación
Ductos

V.1 DESCRIPCIÓN EQUIPOS PRINCIPALES

V.1.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Es una máquina eléctrica estática, de gran tamaño, tiene la función de transferir potencia eléctrica del devanado primario al secundario, bajo el principio de inducción electromagnética

conservando la frecuencia, sus circuitos eléctricos están enlazados magnéticamente y aislados eléctricamente, este cuenta con las siguientes partes constitutivas:

- Carcasa.
- Tanque conservador.
- Núcleo del circuito magnético.
- Indicador de nivel de aceite de alta y baja tensión.
- Placa de características.
- Devanados.
- Tablero de control.
- Aceite dieléctrico.

NOTA: El transformador de potencia por la función que desempeña, es el elemento principal de la subestación, ya que una avería en este equipo será muy costosa su reparación o mucho más su reposición.

Se propone lo siguiente para el mantenimiento del transformador:

TABLA III
MANTENIMIENTO TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Item	Piezas a inspeccionar	Periodicidad	Observaciones
1	Accesorios con contactos de alarma y/o disparo	Anual	Verifique las condiciones de operación de los contactos y mida la resistencia de aislamiento del circuito
2	Ventiladores de refrigeración	Anual	N/A
3	Resistencia de aislamiento de los devanados	Anual	Cuando se note un cambio brusco después de años de uso o cuando se note un cambio en comparación con datos registrados en pruebas anteriores.
4	Rigidez del aceite dieléctrico.	Anual	N/A
5	Prueba del funcionamiento del aceite.	Revisar si hay anomalías en los ítems 3 y 4	N/A
6	Componentes del interior	Cada 5 años	N/A

Para la inspección al transformador de potencia, los siguientes componentes hacen parte de la inspección rutinaria y de haber algún cambio en su estado o cualquier anomalía encontrada durante esta inspección, se debe reportar inmediatamente para su respectivo mantenimiento o reposición:

-Temperatura del transformador: La temperatura del transformador está directamente relacionada con la duración de los materiales de aislamiento, por lo que es necesario prestarle atención. En el caso de transformadores construidos de acuerdo con normas ANSI, la temperatura máxima permitida para el aceite es de 90°C y la temperatura máxima del punto más caliente es de 110°C.

-Volumen de aceite: El volumen del aceite siempre tiene que ser verificado desde el punto de vista del aislamiento y de la refrigeración. Cuando el nivel de aceite fluctúa notoriamente en relación con la temperatura, se debe detectar la causa para un oportuno arreglo.

-Ruido: El transformador en algunos casos presenta algún ruido anormal cuando se está familiarizado con el sonido que produce durante la operación normal, lo cual puede ayudar a descubrir alguna falla, las siguientes son las posibles causas de ruido anormal, resonancia de la caja y de los radiadores debido a cambios anormales en la frecuencia de la fuente de corriente, un defecto en el mecanismo de ajuste del núcleo, es posible que se encuentren flojos los tornillos de sujeción, aflojamiento de los pernos de anclaje, ruido anormal por descarga estática, debido a partes metálicas carentes de tierra o a imperfección de la puesta a tierra.

-Fugas de aceite: Las fugas de aceite pueden ser causadas por el deterioro de algún empaque o por mala posición de los mismos; algunas tardan en descubrirse, si hay algún defecto que pudiera causar una fuga, informar al jefe departamental o al personal de mantenimiento.

A continuación, se ilustra el transformador:



Fig. 4. Ilustración Transformador de Potencia.

V.I.II SECCIONADOR

Es evidente que el seccionador es un dispositivo de maniobra que abre en forma visible la continuidad de corriente en el circuito, opera por lo general sin carga, su función es dar seguridad en el aislamiento físico y visible de los circuitos antes de realizar un trabajo sea de reparación o mantenimiento, sin la posibilidad de que se presenten falsos contactos o posiciones falsas, los seccionadores instalados en la subestación son de marca GAMMA montados de forma vertical tanto para las 3 bahías a un nivel de tensión de 34,5 kV, su funcionamiento es a través de un mecanismo manual

Durante el funcionamiento de todo equipo de alta tensión, ciertos elementos del mismo están energizados y algunas partes pueden alcanzar temperaturas relativamente elevadas. Como consecuencia, su uso puede aportar los riesgos de tipo eléctrico, mecánico y/o térmico, por lo cual:

- Se debe eliminar los peligros, siempre que sea posible.
- Utilizar el equipo de protección personal pertinente.
- No realizar un trabajo cuando no sea técnica y/o económicamente factible.
- Incorporar protecciones adecuadas en el propio equipo.

- Informar los riesgos remanentes para facilitar procedimientos operativos.

V.I.III RECONNECTADOR

Los reconectores en la subestación son de la marca NOJA Power. Estos dispositivos automáticos son esenciales en sistemas de distribución eléctrica para restablecer el suministro después de interrupciones. El reconector NOJA Power OSM, fabricado por NOJA Power, se destaca por su capacidad de reconexión automática, monitoreando continuamente el estado de la línea y tomando decisiones rápidas y seguras para restaurar el suministro eléctrico. Esta tecnología reduce los tiempos de interrupción y minimiza la necesidad de intervención manual.

Según el manual del reconector están diseñados para una vida útil libre de mantenimiento. Sin embargo, es necesario monitorear las condiciones de los equipos tales como:

- El desgaste de los contactos que es causado por cada operación de Apertura / Cierre mecánico o por falla.
- El desgaste máximo del contacto en cualquier fase es indicado por el cubículo de control como porcentaje consumido. Cuando se llegue al nivel de 100%, deberá considerarse que los contactos del interruptor al vacío están en el final de su vida útil.
- El cubículo de control RC es libre de Mantenimiento con excepción de la batería sellada de ácido-plomo que requiere de un reemplazo periódico de entre 2 y 4 años.
- La integridad del sello de la puerta del cubículo de control debe ser monitoreado. Es recomendable que sea incluido como una revisión periódica del ciclo de reemplazo de la batería.

V.I.IV DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES (DPS)

Los DPS o también conocidos como pararrayos tienen la función de disipar las sobretensiones generadas por descargas atmosféricas, maniobras eléctricas u otras causas. Estas sobretensiones, de no ser controladas, podrían dañar los aisladores o perforar el aislamiento, lo que resultaría en interrupciones en el sistema eléctrico y posibles daños en los equipos de la subestación.

Para que los pararrayos funcionen de manera efectiva, deben permanecer conectados permanentemente a las líneas eléctricas, pero solo deben activarse cuando la tensión supera el nivel de servicio establecido.

Las sobretensiones por maniobras ocurren cuando hay eventos de suicheo o una pérdida considerable de carga en la subestación. Tales eventos pueden causar quema de pararrayos, ruptura en aisladores o daños graves en los equipos.

La revisión de mantenimiento general del pararrayos implica examinar los siguientes elementos:

- Estado general del pararrayos.
- Conexión a tierra del pararrayos.
- Conexión de la línea al pararrayos.

Además, se debe contar con lo siguiente:

- Mantenimiento preventivo: En el mantenimiento preventivo en pararrayos hay dos puntos que se deben observar. Estos dos aspectos son: la limpieza de porcelanas, verificar el par de apriete, estado de conexión de tierra y en tensión.
- Mantenimiento predictivo: Este tipo de mantenimiento consiste en dos ensayos; ensayo de corriente de fuga y medida de la corriente resistiva del tercer armónico.

V.I.V TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN

Los dispositivos de medida y los relés de protección no suelen estar diseñados para soportar altas tensiones o corrientes elevadas. Además, es necesario protegerlos contra las altas tensiones para prevenir accidentes entre el personal encargado de su supervisión. Por estas razones, estos dispositivos se conectan a las instalaciones mediante transformadores de medida. Dado que tanto las mediciones como las condiciones que activan los relés de protección dependen en última instancia de la apreciación de corrientes y tensiones, existen dos tipos de transformadores de instrumentación:

- Transformadores de corriente.
- Transformadores de potencial.

Para el correcto funcionamiento de estos transformadores es necesario:

- **Inspección visual regular:** Realizar inspecciones visuales periódicas para detectar signos de daño, corrosión o desgaste en el exterior del transformador.
- **Pruebas de funcionamiento:** Realizar pruebas de funcionamiento para verificar la precisión y la respuesta del transformador.
- **Verificación de conexiones:** Asegurarse de que todas las conexiones eléctricas estén firmes y correctamente apretadas para evitar problemas de conexión.
- **Monitoreo de temperatura:** Controlar regularmente la temperatura del transformador para detectar posibles problemas de sobrecalentamiento.
- **Inspección de aislamiento:** Verificar el estado del aislamiento para detectar posibles signos de deterioro o daño que puedan afectar la seguridad y el rendimiento del transformador.

V.I.VI OTRAS DEFINICIONES

Aislador: La función eléctrica de los aisladores es proveer el aislamiento para líneas y equipos; así mismo la retención mecánica de los conductores, cables o barras de la subestación, estos equipos están sometidos a condiciones de viento, contaminación, esfuerzos de cortocircuito y sismos que generan esfuerzos y tensiones sobre ellos.

Apantallamiento: El apantallamiento consiste en proteger los equipos de la subestación contra descargas atmosféricas directas, para el caso de la subestación se tienen 4 puntas en los extremos de los pórticos

Cables o hilos de guarda: Son cables ubicados por encima de cualquier equipo a proteger, conectados a tierra a través de los pórticos de la subestación y a lo largo de las líneas de subtransmisión.

Barraje o Barra: Es el conjunto de elementos (conductores, barras, conectores y aisladores) instalados rígidamente y que se encuentra como nodo de enlace dentro de los campos de la subestación.

Puesta a Tierra: Es el grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, donde se distribuye las corrientes eléctricas excedentes.

Campo o Bahía: Es el conjunto de equipos de potencia para interrupción o seccionamiento, que al ser operados remota, local, manual o automáticamente (ante consignas o ante fallas) modifican en la subestación la conectividad de líneas, transformadores, acople de barras, etc

Malla a tierra: Es un grupo de elementos conductores equipotenciales, conformados por electrodos enterrados de manera vertical, se encuentran interconectados por conductores desnudos principalmente de cobre (Cu), proporcionando una tierra común para dispositivos eléctricos o estructuras metálicas y para descargas de sobrecorrientes, la SE cuenta con una única malla de puesta a tierra puesto que se unieron la malla nueva a la existente.

VII. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LA SUBESTACIÓN SANTA LUCÍA

VII.1 SUBESTACIÓN SANTA LUCÍA

La subestación Santa Lucía consta de un patio de 34.5 kV, tiene una configuración de barra sencilla con capacidad para 7 bahías las cuales se detallan a continuación:

- Bahía de llegada SE Montería 34.5kV
- Bahía de llegada SE Puerto escondido 34.5kV
- Bahía de llegada granja solar Sol y cielo I 34.5kV
- Bahía de transformación TR1 34.5kV a 13,8kV
- Bahía de salida circuito 1 a 13.8 kV
- Bahía de salida circuito 2 a 13.8 kV
- Bahía de salida circuito 3 a 13.8 Kv

VII.II DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO

El patio de 34.5 kV de esta subestación tiene tres entradas de voltaje, la primera por medio del reconectador perteneciente a la bahía de montería, el cual recibe tensión a nivel de 34.5 kV desde la subestación Montería, el mismo reconectador permite la entrada de tensión a la barra principal. La segunda entrada perteneciente a la bahía de puerto escondido recibe tensión a nivel de 34.5 kV desde la subestación Puerto escondido, el mismo reconectador permite la entrada de

tensión a la barra principal. Por último, se tiene la misma configuración para la bahía perteneciente a la granja, es decir; las 3 bahías de llegada se conectan a un barraje sencillo donde se conecta a un transformador que baja la tensión para distribuir la energía a través de 3 circuitos, cabe resaltar que tanto la bahía perteneciente a la granja como a puerto escondido son dos subterranizaciones de la línea, por parte de la granja se tiene una llegada netamente subterránea desde fuera de la subestación y por parte de la bahía Montería llegada aérea.

VII.III EQUIPOS DE PATIO BAHÍAS 34.5kV

Los equipos de bahía como son reconectores, seccionadores y transformadores de medida, los cuales se encuentran instalados en la bahía de 13,8kV de la subestación son los siguientes:

TABLA IV
EQUIPOS DE PATIO 34.5kV

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
Montería LN-551	Seccionador Llegada línea	SC-SLC5141	3	Apertura para maniobra en llegada de línea a la entrada del reconector de la bahía.
Montería LN-551	Seccionador salida hacia el barraje	SC-SLC5041	3	Apertura para maniobra salida del reconector de la bahía.
Montería LN-551	Reconector	IT-SLC5040	1	Entrada de alimentación y equipo de protección hacia barraje.
Montería LN-551	Transformador de corriente	TC4-SLC34,5	3	Medición entrada de corriente a la SE.
Montería LN-551	DPS	AV4-SLC34,5	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Puerto Escondido	Seccionador Llegada línea	SC-SLC5121	3	Apertura para maniobra en llegada de línea a la entrada del reconector de la bahía.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
Puerto Escondido	Seccionador salida hacia el barraje	SC-SLC5021	3	Apertura para maniobra salida del reconector de la bahía.
Puerto Escondido	Reconector	IT-SLC5020	1	Entrada de alimentación y equipo de protección hacia barraje.
Puerto Escondido	Transformador de corriente	TC2-SLC34,5	3	Medición entrada de corriente a la SE.
Puerto Escondido	DPS	AV1-SLC34,5	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Sol y Cielo I	Seccionador Llegada línea	SC-SLC5131	3	Apertura para maniobra en llegada de línea a la entrada del reconector de la bahía.
Sol y Cielo I	Seccionador salida hacia el barraje	SC-SLC5031	3	Apertura para maniobra salida del reconector de la bahía.
Sol y Cielo I	Reconector	IT-SLC5030	1	Entrada de alimentación y equipo de protección hacia barraje.
Sol y Cielo I	Transformador de corriente	TC3-SLC34,5	3	Medición entrada de corriente a la SE.
Sol y Cielo I	Transformador de potencial (bahía)	SC-SLC5131	3	Medición tensión en la llegada de la granja a la SE.
Sol y Cielo I	Transformador de potencial (barraje)	SC-SLC5131	3	Medición tensión de barraje.
Sol y Cielo I	DPS	AV5-SLC34,5	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Salida hacia transformador	Transformador de corriente	TC1-SLC34,5	3	Medición salida de corriente bahías 34.5 kV.
Salida hacia transformador	Seccionador salida barraje 34.5kV	SC-SLC5011	3	Apertura para maniobra salida del barraje 34.5kV.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
Salida hacia transformador	Reconectador	IT-SLC5010	1	Entrada de alimentación y equipo de protección hacia Transformador de potencia.
Salida hacia transformador	DPS	AV2-SLC34,5	3	Equipo de protección para sobretensiones.
N/A	Transformador de potencia	T1-M/M-SLC	1	Transformador 34.5kV a 13.8kV para distribución
Barraje 34.5kV	Transformador de Servicios Auxiliares	TPA1-SLC34,5	1	Alimentación servicios auxiliares equipos bahía 34.5kV
Barraje 34.5kV	DPS	AV3-SLC34,5	1	Equipo de protección para sobretensiones.

A continuación, se ilustran los pórticos ubicados en el patio de 34.5kV donde se encuentran los equipos anteriormente descritos:

- Bahía Montería:



Fig. 5. Bahía Montería

- Bahía Puerto escondido:



Fig. 6. Bahía Puerto Escondido

- Bahía Sol Y Cielo I:

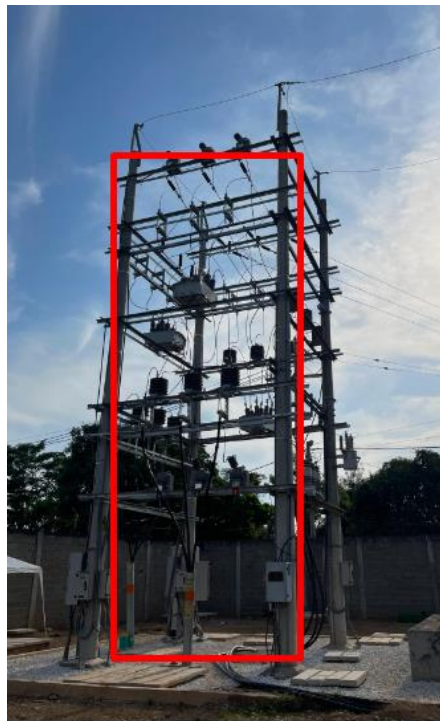


Fig. 7. Bahía Sol y Cielo I

- Bahía salida barraje 34.5kV



Fig. 8. Bahía Salida Barraje 34.5kV

VII.IV EQUIPOS DE PATIO BAHÍAS 13.8 Kv

Los equipos de bahía como son reconectores, seccionadores y transformadores de medida, los cuales se encuentran instalados en la bahía de 13,8kV de la subestación son los siguientes:

TABLA V
EQUIPOS DE PATIO 13.8kV

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
Llegada de transformador	DPS	AV1-SLC13,8	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Llegada de transformador	Reconector	IT-SLC3010	1	Entrada de alimentación y equipo de protección hacia barraje.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
Llegada de transformador	Seccionador	SC-SLC3011	3	Apertura para maniobra operación salidas de circuitos 13.8 kV
Llegada de transformador	Transformador de corriente	TC1-SLC13,8	3	Medición salida de corriente de la SE.
Salida circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1	DPS	AV2-SLC13,8	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Salida circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1	Seccionador	SC-SLC3021	3	Apertura para maniobra salida del circuito.
Salida circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1	Reconectador	IT-SLC3020	1	Entrada de alimentación y equipo de protección salida circuito.
Salida circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1	Transformador de corriente	TC2-SLC13,8	3	Medición salida de corriente circuito.
Salida circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2	DPS	AV5-SLC13,8	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Salida circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2	Seccionador	SC-SLC3031	3	Apertura para maniobra salida del circuito.
Salida circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2	Reconectador	IT-SLC3030	1	Entrada de alimentación y equipo de protección salida circuito.
Salida circuito SLC303	Transformador de corriente	TC3-SLC13,8	3	Medición salida de corriente circuito.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
SANTA LUCÍA 2				
Salida circuito SLC304 SANTA LUCÍA 3	DPS	AV4-SLC13,8	3	Equipo de protección para sobretensiones.
Salida circuito SLC303 SANTA LUCÍA 3	Seccionador	SC-SLC3041	3	Apertura para maniobra salida del circuito.
Salida circuito SLC303 SANTA LUCÍA 3	Reconectador	IT-SLC3040	1	Entrada de alimentación y equipo de protección salida circuito.
Salida circuito SLC303 SANTA LUCÍA 3	Transformador de corriente	TC4-SLC13,8	3	Medición salida de corriente circuito.
Barraje 13.8kV	Transformador de Servicios Auxiliares	TA1-M/B-SLC	1	Alimentación servicios auxiliares equipos bahía 13.8kV
Barraje 13.8kV	DPS	AV3-SLC13,8	1	Equipo de protección para sobretensiones.

A continuación, se ilustran los pórticos ubicados en el patio de 13.8kV donde se encuentran los equipos anteriormente descritos:

- Circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1:



Figura 9. Circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1

- Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2:



Figura 10. Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2.

- Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 3:

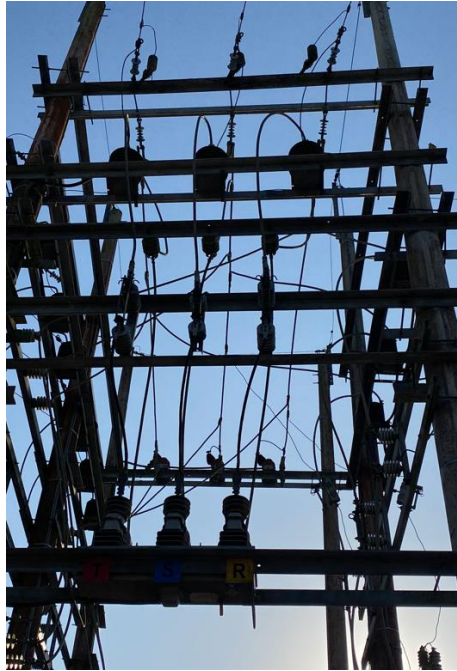


Figura 11. Circuito SLC304 SANTA LUCÍA 3.

- Bahía llegada de transformador:



Figura 12. Bahía Llegada Transformador.

VII.V TABLEROS AUTOSOPORTADOS EN PATIO

La subestación cuenta con un sistema de servicios auxiliares dividido en dos partes, la primera se encuentra alimentado del transformador perteneciente al patio de 13,8kV organizado de la siguiente manera:

- Tablero medidores y SSAA 13.8kV



Figura 13. Tablero medidores circuitos y SSAA 13.8kV.

Se encuentran con los siguientes elementos:

- Medidor circuito 1.
- Medidor circuito 2.
- Medidor circuito 3.
- Medidor de transformador 1 de respaldo (34,5 kV).
- Medidor de transformador de respaldo (13,8 kV).
- Medidor principal transformador (13,8 kV)
- Medidor principal transformador 1 (34,5 kV)

La segunda consta de una alimentación derivada del transformador de servicios auxiliares perteneciente al patio de 34.5kV, dicha conexión se traslada hacia una UPS ubicada en la caseta de control, lo anterior, debido a que se tienen las cargas pertenecientes a los equipos de comunicaciones con el SCADA de AFINIA y la granja solar, por lo que son cargas esenciales, desde la UPS se alimentan dos tableros autosoportados organizados de la siguiente manera:

- Tablero +TME02



Figura 14. Tablero +TME02

Se encuentran con los siguientes elementos:

- Medidor principal SE Puerto Escondido.
- Medidor principal SE Montería.
- Medidor de contraste Sol y Cielo I.
- Medidor de servicios auxiliares.

- Switich de comunicaciones para medidores bahías 34.5kV.
 - Borneras.
 - Fuente de alimentación AC/DC.
 - MCBs
- Tablero COM01



Figura 15. Tablero +COM01

Se encuentran con los siguientes elementos:

- Medidor de tarificación Granja Solar 1.
- Medidor de tarificación Granja Solar 2.
- Medidor PPC Granja Solar.
- RTAC para interfaz de comunicaciones.
- ODF.
- Borneras.
- MCBs.

- Switches de red.
- Conversor de medios.
- Servidor serial.

VII.VI TABLEROS SOPORTADOS EN PATIO

Se cuenta con un tablero instalado en el patio de 34.5kV, el cual se encarga de entrelazar el tablero +COM01 con los reconectores pertenecientes al patio y los equipos de comunicaciones en la caseta de control como se muestra a continuación:

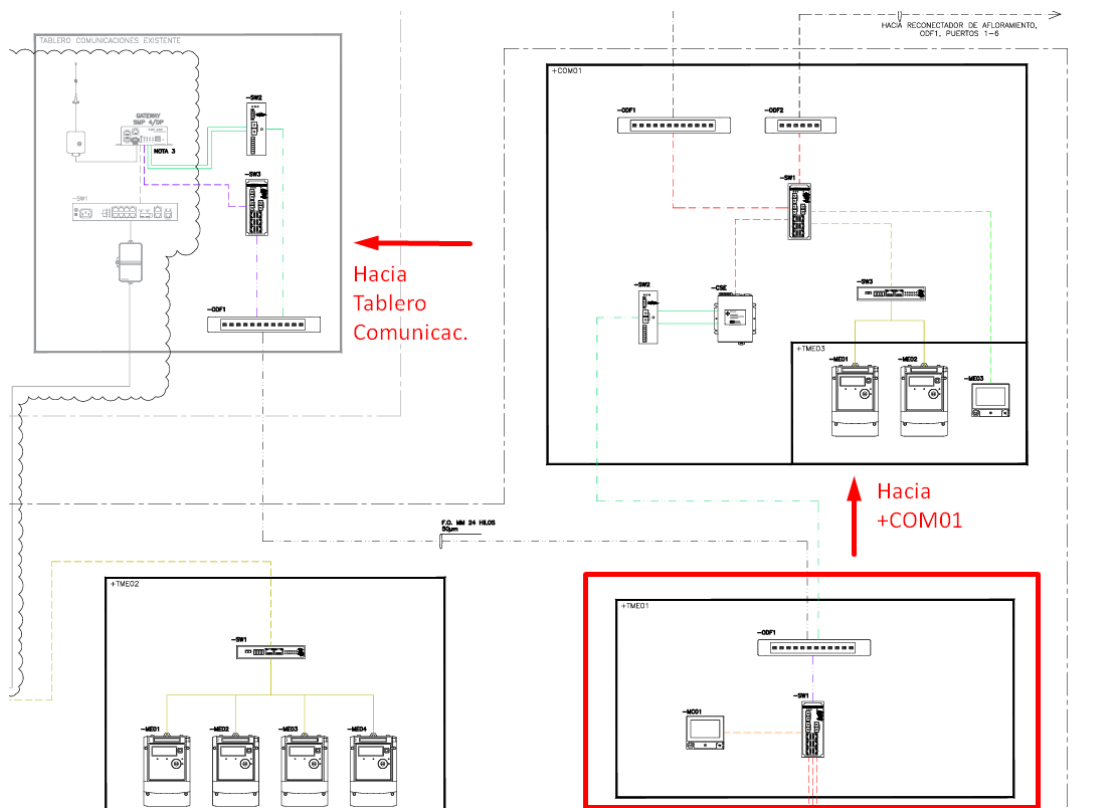


Figura 16. Tablero soportado 13.8kV

-Tablero +TME01



Figura 17. Tablero +TME01

Se encuentran con los siguientes elementos:

- Medidor calidad de la energía de la Granja Solar.
- Switch de red para comunicaciones.
- ODF.
- Borneras.
- MCBs.

Además, se cuenta con los tableros pertenecientes a los reconectores para el envío de señales ubicados en las bases de los postes del patio de 34.5kV:



Figura 18. Tablero Reconectores

VII.VIII TABLERO DE CONTROL Y COMUNICACIONES

Se cuenta con dos tableros de control y comunicaciones ubicado en la caseta de control de la subestación organizado de la siguiente manera:



Figura 19. Tablero comunicaciones sala de control

Se encuentran con los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación AC/DC.
- Switch de red para comunicaciones.

- Conversor de medios
- Borneras



Figura 20. Tablero comunicaciones 2 sala de control

- Switch de red
- Gateway
- ODF
- Servidor

VIII PRE-ACTIVIDADES PARA MANTENIMIENTO Y/O OPERACIONES DE LA SE

A continuación, se describen las diferentes acciones de protección que se deben tener en cuenta para los operadores de la SE:

- **ESTRUCTURA:** Todo aquello que puede ser construido o edificado, pueden ser fijas o móviles, estar en el aire, sobre la tierra, bajo la tierra o en el agua.
Conjunto de elementos, que por medio de uniones mecánicas (tornillos) o soldadas, cuya finalidad es soportar equipos de potencia, llegadas de líneas, barrajes.
- **GALVANIZACION EN CALIENTE:** Proceso por el cual se sumerge una pieza de acero o hierro en un baño de zinc fundido a 450 C
- **GALVANIZADO EN FRIO:** Proceso por el cual se cubre una pieza de acero o hierro con una capa de zinc líquido a temperatura ambiente.
- **PERNO DE ANCLAJE:** Barra o perno embutido en el concreto para sujetar, fijar, y asegurar un elemento estructural.
- **PLANO DE TALLER:** Conjunto de planos elaborados por el fabricante de las estructuras acorde a la ingeniería, para su fabricación.
- **PLETINA O PLATINA:** Pieza metálica, de espesor reducido.

- **TORNILLO – TUERCA:** Elementos que se utiliza de forma no permanente los elementos en las estructuras.
- **TORQUE:** Es el esfuerzo que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo o prisma mecánico, como pueden ser ejes o en general elementos mecánicos.

IX MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Realizar un análisis de riesgos adecuado para identificar los impactos ambientales de acuerdo con las actividades.
- Socializar los impactos identificados en el análisis de riesgos por tarea
- Establecer medidas de control para prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales significativos en las actividades.
- Revise el buen estado de todos sus elementos de protección para trabajo de riesgo eléctrico
- Asegúrese que se cumplan las cinco reglas de oro (cuando aplique)
- Establezca las condiciones técnicas y atmosféricas requeridas para la seguridad del procedimiento.
- Asegúrese de llevar al sitio de trabajo los equipos, herramientas y material necesario.
- Todo el personal debe portar la dotación y Elementos de Protección Personal (EPP) necesarios para ejecución de los trabajos de montaje electromecánico.
- El personal no debe portar ningún elemento metálico, anillos, cadenas, reloj, hebillas metálicas entre otros.
- Todo el personal debe respetar el área de demarcación y no salir de ella.
- Todo el personal debe participar en la identificación de los riesgos, y en el establecimiento de las medidas de control, y asegurar su cumplimiento durante la ejecución de las labores.
- Adoptar posturas correctas tanto para la ejecución del trabajo como para el levantamiento de cargas, utilizar ayudas mecánicas cuando el peso a levantar exceda los 25 kg.
- Seguir los lineamientos establecidos en los procedimientos y programas para trabajo seguro en alturas, uso de escaleras, equipos de alturas, andamios entre otros.
- Use la herramienta apropiada para cada tarea.
- Mantener las zonas de desplazamiento libres de cualquier obstáculo (herramientas,

equipos, materiales, entre otros), establecer zonas de acopio o almacenamiento correctamente señalizados y demarcados.

- El personal se debe encontrar en perfectas condiciones técnicas, síquicas y físicas para el desempeño de la labor encomendada.
- Revisar continuamente los elementos de protección para que sepa reconocer cuál es el momento de solicitar la reposición.
- Una vez finalizados los trabajos o al finalizar la jornada laboral, todo el personal debe dejar la zona de trabajo ordenada.

X FACTORES DE SEGURIDAD A REALIZAR

En la ejecución de las actividades que involucren riesgo eléctrico (Arco o choque eléctrico) en corriente alterna y continua se deben de utilizar los elementos de protección personal (botas dieléctricas, overol ignifugo, casco dieléctrico y mono gafas con protección UV, guantes), adicionalmente debido a que el montaje de estructuras metálicas se realiza en subestaciones en servicio, por lo que los trabajos se realizan en proximidad a equipos energizados, se debe llevar a cabo la demarcación de los módulos adyacentes energizados con cinta roja y señalar con letreros áreas energizadas o “equipos energizado”.

- Uso de EPP para riesgo eléctrico y mecánico.
 - Demarcar el área de trabajo.
 - Demarcar módulos adyacentes con cinta roja.
 - Demarcar área de trabajo con cinta amarilla.
 - Descargo de trabajo.
 - Realizar el Análisis de trabajo seguro, indicaciones diarias, permiso de trabajo eléctrico, permiso de trabajo en alturas, plan de izaje, Inspección pre operacional de herramienta, inspección de equipos para trabajo en altura, inspección pre operacional escaleras, inspección pre operacional de grúa y/o demás recursos necesarios para la actividad.
- Aplicar las 5 Reglas de Oro:
 1. Realizar corte visible y efectivo de la fuente de tensión

2. Realizar condenación, bloqueo de la fuente de tensión.
3. Verificar Ausencia de tensión con un detector de tensión acorde al nivel de tensión, verificando previamente el estado operativo y ajuste antes, durante y después de ser utilizados.
4. Instalar primero el extremo de la puesta a tierra al cable de puesta a tierra más cercano, si este está corroído se debe gratar previamente, luego proceder a instalarel otro extremo de la puesta a tierra al equipo a aterrizar).
5. Protección y Señalización de la zona de trabajo.

XI ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL

- Casco Dieléctrico.
- Overol ignifugo.
- Guantes nitrilo.
- Botas Dieléctricas.
- Equipo de trabajo en altura acorde a la altura de la estructura.
- Kit de ausencia de tensión acorde al nivel de tensión del módulo. (detector de ausencia de tensión, guantes dieléctricos, pértrica telescópica).
- Juego de tierras portátiles.

VI. ANÁLISIS

En el transcurso de las actividades del proyecto se pudieron evidenciar muchas situaciones que no son previstas en las etapas de diseño, esto provocó algunos contratiempos, tales como retrasos en actividades por falta de claridad en los planos de la etapa de ingeniería, fallas en la ejecución en campo por errores humanos en medidas exactas, demoras por parte de los proveedores en suministros, etc. Dado lo anterior se considera muy importante un cargo tal como el que se desarrolló en el proyecto, para coordinar y dirigir todas las actividades para tener un seguimiento y un control del estado de la obra y hacer todo propicio para el correcto desarrollo de los alcances pactados.

Los tiempos dados por el cliente final como por el operador de red fueron extendidos por las condiciones específicas que tuvo el proyecto, sin embargo, fue muy valiosa la atención de cada parte del proyecto para realizar nuevos PDT y mitigar dichos retrasos, trabajando horas extra para no incurrir en multas o vencimientos de plazos, para ello fue indispensable trabajar en la aplicación Project para la sustentación de cada movimiento en campo.

VII. CONCLUSIONES

- Principalmente se logró completar la ampliación de la subestación como se evidenció en las ilustraciones a lo largo del trabajo, siendo en esto muy importante el trabajo en conjunto de todos los frentes del proyecto como lo fueron la obra civil, obra electromecánica e integración con el nuevo sistema de comunicaciones para telecontrol del cliente y el operador de red.
- Personalmente con todo el trabajo realizado se obtuvieron muchos conocimientos y vivencias del manejo de un proyecto en campo, se cometieron errores en el desarrollo del mismo, sin embargo, se ganó una gran experiencia tanto a nivel técnico como de manejo de personal y presupuestal para futuras ocasiones.
- Las soluciones que son requeridas en campo pueden distar de lo que se tuvo en una etapa de diseño, por esto es importante tener en cuenta posibles sobrecostos en las ofertas para las licitaciones de obras constructivas.
- Los tiempos de entrega son parte primordial en el desarrollo de un proyecto, esta es la tarea principal de un coordinador o director de este, puesto que es la cabeza visible del estado de la obra en campo y quien une todas las partes del proyecto.
- Es de suma importancia que el coordinador también tenga criterio técnico para tomar decisiones al interior de la obra o en su defecto pueda tener total entendimiento de los diferentes momentos de las actividades, esto debido a la constante comunicación que se requiere.
- Se debe resaltar el cuidado de los recursos calculados por la empresa en el momento de la venta durante la ejecución de proyectos, dado que la parte presupuestal para compras, viajes, entre otras es responsabilidad del coordinador y director del proyecto para la sostenibilidad del mismo para con su empresa.

REFERENCIAS

- [1] Gastelbondo Mercado, D. J. (2019). Evaluación técnica y económica de Parques Solares fotovoltaicos en Colombia. Informe final de práctica para la obtención del título de Ingeniero Electricista. Universidad de Antioquia.
- [2] Suárez Atehortúa, S. (2022). Diseño de servicios auxiliares en subestaciones eléctricas de alta tensión. Informe final de práctica para la obtención del título de Ingeniero Electricista. Universidad de Antioquia.
- [3] Echeverri Rojo, S. L. (2023). Diseño electromecánico de la subestación SAEB 34,5kV; Diseño de apantallamiento y malla de puesta a tierra. Informe final de práctica para la obtención del título de Ingeniero Electricista. Universidad de Antioquia.
- [4] Autodesk. AutoCAD. (2024, versión 24.3).
- [5] Normas ISO, “ISO 50001 - Gestión de la energía: norma UNE ISO 50001:2011”. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.normas-iso.com/iso-50001/>
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], *IEEE Std P802.15.4/D6: Approved Draft Revision for IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 15.4b: Wireless Medium Access Control*. New York: IEEE, 2006.
- [7] Ministerio de Minas y Energía, “Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP”. Accedido el 28 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-técnico-de-iluminación-y-alumbrado-público-retilap/>.
- [8] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, “Ntc 2050 - [PDF Document]”. vdocuments.mx. Accedido el 21 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://vdocuments.mx/ntc-2050-55b0d7026a10e.html?page=1>.
- [9] HMV. (s. f.). Subestaciones de alta y extra alta tensión (2.a ed.).
- [10] Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP.
- [11] CTS550 Centros de transformación industriales de 34,5 kV.