



Practica Semestre De Industria

Ampliación Subestación Santa Lucía 34.5 kV

Andrés Felipe Arroyave Arias

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	Arroyave Arias [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] A. Arroyave Arias, "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 mis padres, por su apoyo y amor incondicional ante todas las adversidades que pudieran existir, por la forma como decidieron educarme y hacerme ver que seguir adelante y no rendirse siempre trae buenos frutos. A mi hermano por ser mi ejemplo de vida y motivarme a ser el siguiente profesional de mi familia, por enseñarme que la dedicación y el orden son las bases de un gran futuro. A mis abuelos por brindarme siempre su amor y compañía, por motivarme a ser un hombre de bien y por sus palabras de orgullo que siempre alimentaran mi corazón. A todos mis amigos por hacer de los momentos más difíciles más fáciles de afrontar, por hacer de mi estancia en la amada Universidad de Antioquia los momentos mas felices de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a mi madre por su inagotable amor en su acompañamiento en mi proceso académico, por cada día que madrugó para brindarme los alimentos del día, por sus consejos y fortalecedoras palabras. Agradezco a mi padre por escucharme y motivarme a ser una persona critica, por su constante dedicación laboral para proporcionarnos las comodidades con las cuales crecimos y por su enorme disposición a ser un maestro para mí. A todas las personas de alguna forma hicieron parte de mi formación académica, los profesores que me compartieron sus conocimientos, los equipos de actividades subacuáticas que me brindaron su acogida y me formaron deportivamente como mentalmente, a los equipos de trabajo de los cuales hice parte en las facultades de Artes y Odontología, que me enseñaron a ser un buen trabajador y a valorar el trabajo de las demás personas. Y finalmente a la Universidad de Antioquia, por permitirme ser la persona que hoy soy por regalarme los mejores espacios de aprendizaje y esparcimiento, por educarme académica, social y laboralmente y por regalarme un perdido inolvidable en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. OBJETIVOS.....	12
A. Objetivo general.....	12
B. Objetivos específicos.....	12
III. MARCO TEÓRICO.....	13
IV. METODOLOGÍA.....	15
V. RESULTADOS.....	24
V.I INGENIERIA ELECTROMECHANICA.....	24
V.I.I EQUIPOS PRIMARIOS.....	30
V.I.I.I TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	30
V.I.I.II SECCIONADOR.....	31
V.I.I.III RECONNECTADOR.....	31
V.I.I.IV PARARRAYOS.....	33
V.I.I.V TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN.....	33
V.I.I.VI OTRAS DEFINICIONES.....	33
V.I.II. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LA SUBESTACIÓN SANTA LUCÍA.....	35
V.I.III EQUIPOS DE PATIO BAHÍAS 34.5kV.....	37
V.I.IV EQUIPOS DE PATIO BAHÍAS 13.8 Kv.....	41
V.II INGENIERIA SECUNDARIA.....	46
V.II.I SELECCIÓN DE CONDUCTORES.....	46
V.II.I.I SISTEMA VAC.....	48

V.II.I.II SELECCIÓN DEL MATERIAL AISLANTE PARA LOS CONDUCTORES...	48
V.II.I.III SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR AMPACIDAD	49
V.II.II CÁLCULO DE CAÍDA DE TENSIÓN	51
V.II.II.I REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 1.....	52
V.II.II.II REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 2	52
V.II.II.III REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 3	52
V.II.II.IV REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 4.....	53
V.II.II.V REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 5	53
V.II.III TABLEROS CON EQUIPOS SECUNDARIOS	54
V.III RESULTADO DE OBRA.....	58
VI. ANÁLISIS	60
VII. CONCLUSIONES	61
VIII. REFERENCIAS	62

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: EQUIPOS DE SUBESTACIÓN.....	14
TABLA II LISTADO EQUIPOS PRIMARIOS	30
TABLA III EQUIPOS DE PATIO 34.5kV.....	37
TABLA IV EQUIPOS DE PATIO 13.8kV	41

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Diagrama unifilar SE Santa Lucia anterior a la intervención.	15
Fig. 2. Disposición en planta de la SE Santa Lucia anterior a la intervención.	16
Fig. 3. Diagrama unifilar proyectado para la SE Santa Lucia.....	17
Fig. 4. Tabla de convenciones.....	18

Fig. 5. Diagrama unifilar de servicios auxiliares anterior a la intervención	19
Fig. 6. Subestación Santa Lucia – Montería – Córdoba.....	19
Fig. 7. PDT pag.1	20
Fig. 8. PDT pag.2	21
Fig. 9. Reporte semanal “Curva S”	22
Fig. 10. Seguimiento de actividades.....	23
Fig. 11. SE Santa Lucia intervención proyectada	24
Fig. 12. SE reducida en pórtico	25
Fig. 13. Corte A-A Bahía de transformación	26
Fig. 14. Corte B-B Bahía Montería.....	27
Fig. 15. Corte C-C Bahía Graja Solar S&C	28
Fig. 16. Corte D-D Bahía Puerto Escondido.....	29
Fig. 17. Ilustración Transformador de Potencia.....	31
Fig. 18. Pórtico 34,5kV	35
Fig. 19. Bahía Montería.....	39
Fig. 20. Bahía Puerto Escondido.....	40
Fig. 21. Bahía granja solar S&C	40
Fig. 22. Bahía de transformación 34.5kV	41
Figura 23. Circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1	44
Figura 24. Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2.	44
Figura 25. Circuito SLC304 SANTA LUCÍA 3.	45
Figura 26. Bahía Llegada Transformador.	45
Fig. 27. Diagrama unifilar de servicios auxiliares	46
Fig. 28. Resumen de selección de conductores de alimentación de SSAA	50
Fig. 29. Caída de tensión por conductor 1.....	52

Fig. 30. Caida de tensión por conductor 2.....	52
Fig. 31. Caida de tensión por conductor 3.....	53
Fig. 32. Caida de tensión por conductor 4.....	53
Fig. 33. Caida de tensión por conductor 5.....	53
Figura 34. Tablero medidores circuitos y SSAA 13.8kV.	55
Figura 35. Tablero +TME02	56
Figura 36. Tablero +COM01.....	57
Figura 37. Tablero +TME01	58
Fig. 38. SE Santa Lucia, capacitación operativa.	59
Fig. 39. Pórtico de llegada 34,5kV	59

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 objetivo enseñar las actividades de diseño y su resultado en ejecución, realizadas al interior de la subestación Santa Lucía ubicada en la ciudad de Montería-Córdoba, donde se llevó a cabo la ampliación de esta para soportar la inyección de una granja solar de 12 MW, dentro de los alcances que contempla el proyecto se tuvo la coordinación y dirección del proyecto desde los siguientes enfoques: Ingeniería y diseño, obra civil, construcción electromecánica, tendido y conexión. Donde para los anteriores enfoques se contempló el suministro de equipos y consumibles para el desarrollo de cada actividad en la construcción de las 3 nuevas bahías o pórticos distribuidos. Estas 3 bahías se conectaron mediante un barraje a 34,5kV que se acopló a un transformador que tiene en su salida 3 circuitos a 13,8kV dirigidos hacia la alimentación eléctrica de la ciudad de montería.

Por último, se tuvo un alcance secundario que tenía los siguientes objetivos:

- Primeramente la ampliación de los servicios auxiliares de la subestación para alimentar todos los equipos nuevos junto con los existentes a través de una UPS que suministraría energía eléctrica a las cargas críticas de la subestaciones en caso de una contingencia
- Segundo, se desarrolló el tendido y fusionado de FO para establecer comunicaciones entre la totalidad de equipos y comunicar las mediciones de inyección o consumo que se registren en la frontera comercial construida entre la granja y la SE.

De esta forma finalmente realizar la puesta en servicio de la granja solar en conjunto con la subestación Santa Lucia.

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

ABSTRACT

The objective of this document is to show the design activities and their result in execution, carried out inside the Santa Lucía substation located in the city of Montería-Córdoba, where the expansion of this was carried out to support the injection of a 12 MW solar farm, within the scope contemplated by the project, the coordination and direction of the project was had from the following approaches: Engineering and design, civil works, electromechanical construction, laying and connection. Where for the previous approaches, the supply of equipment and consumables for the development of each activity in the construction of the 3 new bays or distributed gantries was contemplated. These 3 bays were connected by means of a 34.5kV barrier that was coupled to a transformer that has 3 circuits at 13.8kV directed towards the electricity supply of the city of Montería.

Finally, there was a secondary scope that had the following objectives:

- Firstly, the expansion of the substation's auxiliary services to power all new equipment along with existing equipment through a UPS that would supply electrical power to the critical loads of the substations in the event of a contingency.
- Second, the laying and merging of FO was developed to establish communications between all the equipment and communicate the injection or consumption measurements that are recorded in the commercial border built between the farm and the SE. In this way, the commissioning of the solar farm in conjunction with the Santa Lucia substation will finally be carried out.

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

I. INTRODUCCIÓN

La subestación santa lucía es un nodo de transformación del departamento de Córdoba más específicamente en la ciudad de Montería, esta es una subestación de transformación para distribución de 34.5kV a 13.8kV a la cual se le inyectará la potencia generada por una granja solar de la misma zona, inyección que será del orden de los 12MVA.

Este proyecto no solo implica la conexión física del parque solar a la subestación, sino que también intervenciones significativas en términos de obras civiles y electromecánicas dentro de la subestación existente y los diseños de ingeniería para su ejecución, para los cuales fue necesario el desarrollo de memorias de cálculo-diseños que corresponderían a ingeniería primaria (alcances en media tensión), los cuales abarcarían criterios civiles y eléctricos necesarios; e ingeniería secundaria (alcances en baja tensión y comunicaciones) los cuales contemplarían criterios eléctricos y de telecomunicaciones.

Por lo que, se consideró la implementación de obras que incluyen suministros electromecánicos para la fijación de equipos de protección y medida primarios, ingeniería secundaria y de control que proporcionen enlaces de telemetría entre el operador de red y la granja solar.

Finalmente Realizar las pruebas pertinentes sobre instalaciones primarias, secundarias y de comunicaciones para asegurar y certificar la puesta en servicio final.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Garantizar la correcta y segura puesta en servicio e integración de la granja solar a la red por medio subestación santa lucía en un nivel de tensión de 34.5kV.

B. Objetivos específicos

- Revisar y aprobar las diferentes actividades necesarias para el desarrollo del proyecto, tanto en el área de ingeniería en actividades de diseño y calculo, como en obra, en electromecánicas y eléctricas.
- Coordinar la instalación de los diferentes equipos y accesorios primarios, y secundarios de forma que garantice la seguridad del personal y confiabilidad del suministro de energía.

III. MARCO TEÓRICO

Gracias a que Colombia disfruta de un privilegio en términos de radiación solar incidente, registrando un promedio de $4,5 \text{ kW/m}^2$, superando el promedio mundial de $3,9 \text{ kW/m}^2$. En ciertas zonas del país, esta radiación alcanza promedios aún más elevados, situándose entre 6 y $5,5 \text{ kW/m}^2$, lo que convierte el país en un lugar especialmente atractivo desde el punto de vista energético para la implementación de instalaciones renovables fotovoltaicas, aportando así un paso hacia la transición energética.[1]

La transición energética es una necesidad que la mayoría de los países del mundo sufre, en consecuencia, del crecimiento poblacional, y la oferta y demanda de tecnología alimentada con energía eléctrica, lo que incentiva la construcción de plantas de generación fotovoltaica para la inyección de potencia a la red, contado con estímulos económicos gubernamentales que alivianan las cargas financieras que implican los desarrollos de proyectos de energía solar fotovoltaica, lo que implica la construcción o en algunos casos la ampliación de subestaciones existentes .[2]

Una Subestación Eléctrica es un conjunto de dispositivos, máquinas, aparatos y circuitos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia, que tiene la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, tensión y corriente, y de proveer un medio de interconexión que permite el suministro de esta al sistema y líneas de transmisión existentes.

Sin embargo, uno de los objetivos primordiales de una subestación eléctrica es el de garantizar un servicio continuo de energía eléctrica, por lo que es indispensable que dicha subestación posea un medio de desconexión eficaz para efectos de control, protección, medición y mantenimiento. [3]

La subestación santa lucia, en la actualidad es uno de los nodos de nuestro sistema eléctrico, catalogado como subestación reductora o de distribución. Esta subestación cuenta con un transformador reductor $34,5\text{kV}/13,8\text{kV}$ instalado con una capacidad de $6,5\text{MVA}$, el cual alimenta la ciudad de montería. La intervención será al lado de $34,5\text{kV}$ de la subestación tipo AIS con disposición en pórtico, se ejecutará la instalación de 3 bahías las cuales serán punto de conexión para la granja solar la cual inyecta al sistema 12MVA , línea de puerto escondido y línea de

montería, en las cuales serán instalados equipos primarios de maniobra, protección y medida, dispuestos de la siguiente manera, para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación.

TABLA 1: EQUIPOS DE SUBESTACIÓN.

N°	Equipo	Especificación técnica	función de equipo
1	Descargador de sobretensiones	$U_c=29\text{kV}$, $U_r=36$, $BIL=120$	Protección
2	Transformador de tensión	$RT= 34,5\text{kV}/250\text{kV}$	Medida
3	Seccionador	$V_n= 34,5\text{kV}$, $BIL=250$	Maniobra
4	Transformador de corriente	$RT= 3\text{kA}/5\text{A}$	Medida
5	Reconectador tripolar Noja	$I_{cs}=16\text{kA}$, $I_p=42\text{Ka}$, $T_k=3\text{s}$	Protección-Maniobra
6	Seccionador	$V_n= 34,5\text{kV}$, $BIL=250$	Maniobra

Los Equipos de protección Son los encargados de detectar y actuar ante posibles fallas y funcionamiento anormal, los equipos de medida se encargan de transformar las señales a tensiones o corrientes admisibles para ser supervisadas y los equipos de maniobra son aquellos que permite cambiar el estado del circuito abierto/cerrado.[3]

IV. METODOLOGÍA

Para cumplir con una correcta ejecución de la ampliación de la subestación además de una exitosa conexión de la granja solar se debe de seguir una estructura descompuesta de trabajo en el que irán discriminados cada uno de los hitos del proyecto.

Iniciando con el componente ingenieril, donde se ejecuta el cálculo de equipos y se define una disposición cumpliendo con los requerimientos del proyecto, posterior a esto y su respectiva aprobación se procede con la consecución del material de obra para montajes electromecánicos y eléctricos, tanto como de equipos primarios (de protección y de maniobra), como equipos secundarios (de control y comunicaciones). Donde para la ejecución de este componente se tiene una información inicial que nos ayudará a acoplar el resto de ingeniería y diseños, como el diagrama unifilar del sistema existente que se enseña a continuación:

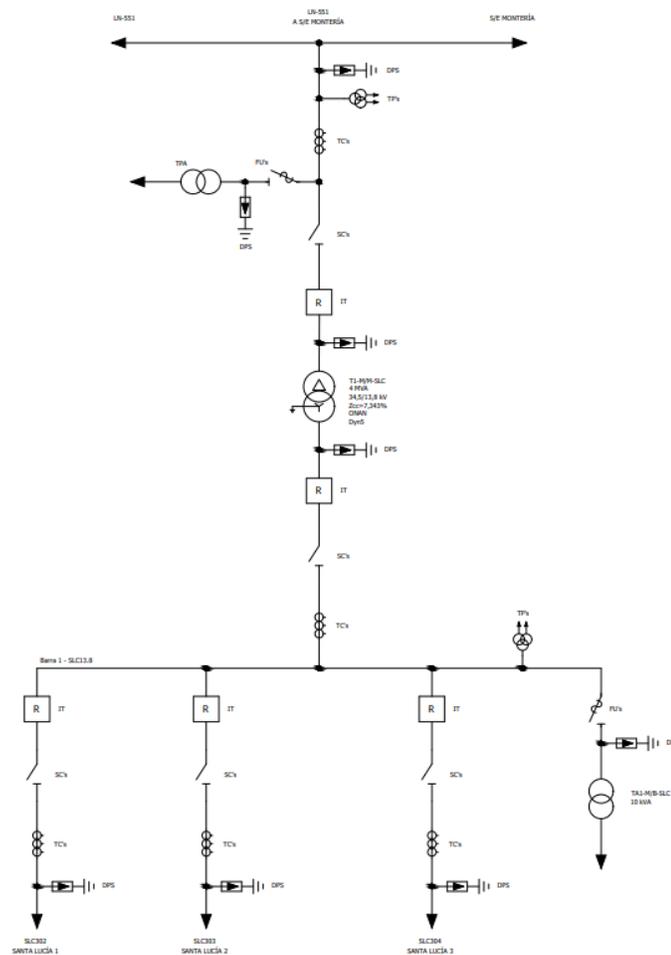


Fig. 1. Diagrama unifilar SE Santa Lucia anterior a la intervención.

La cual en plano de disposición en planta se vería de la siguiente manera:

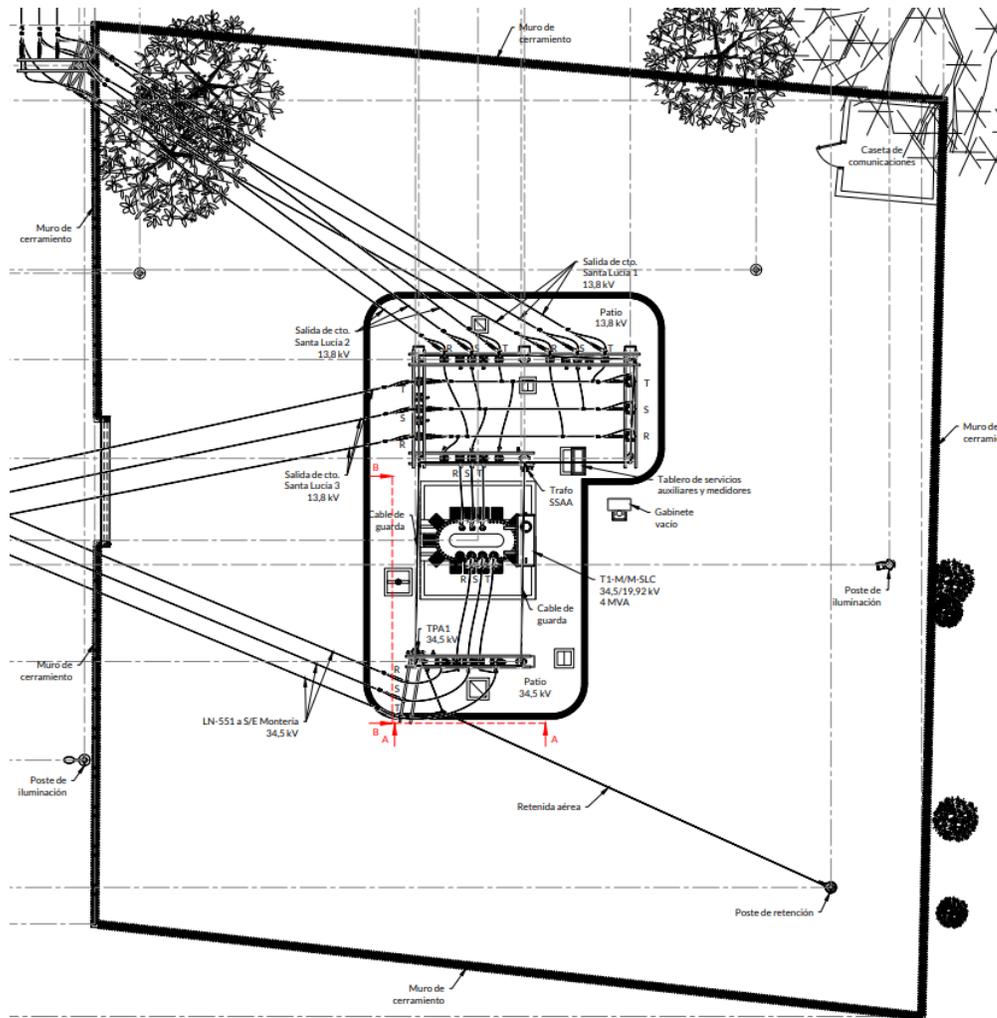


Fig. 2. Disposición en planta de la SE Santa Lucía anterior a la intervención.

Esta información nos ayuda a proyectar cuáles serán los cambios y actualizaciones que se deben contemplar para la nueva SE, y de esta forma proyectar en un nuevo diagrama unifilar que contiene el objetivo de la intención, como se propone a continuación:

LEYENDAS	
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	Proyectado.
	Existente.
	Zona de intervención.
	Transformador de potencia.
	Reconector.
	Seccionador monopolar.
	Seccionador de puesta a tierra.
	Transformador de corriente.
	Transformador de tensión.
	Descargador de sobretensión
	Salida de línea/circuitos.
	Transformador de servicios auxiliares.
	Cortacircuitos.
	Transformador de tensión de dos devanados.
	Terminal.
	Cable aislado.
	Proyectado.

Fig. 4. Tabla de convenciones.

Adicional a esta información del sistema de potencia, también podemos ver a continuación el diagrama unifilar de servicios auxiliares del sistema antes de la intervención:

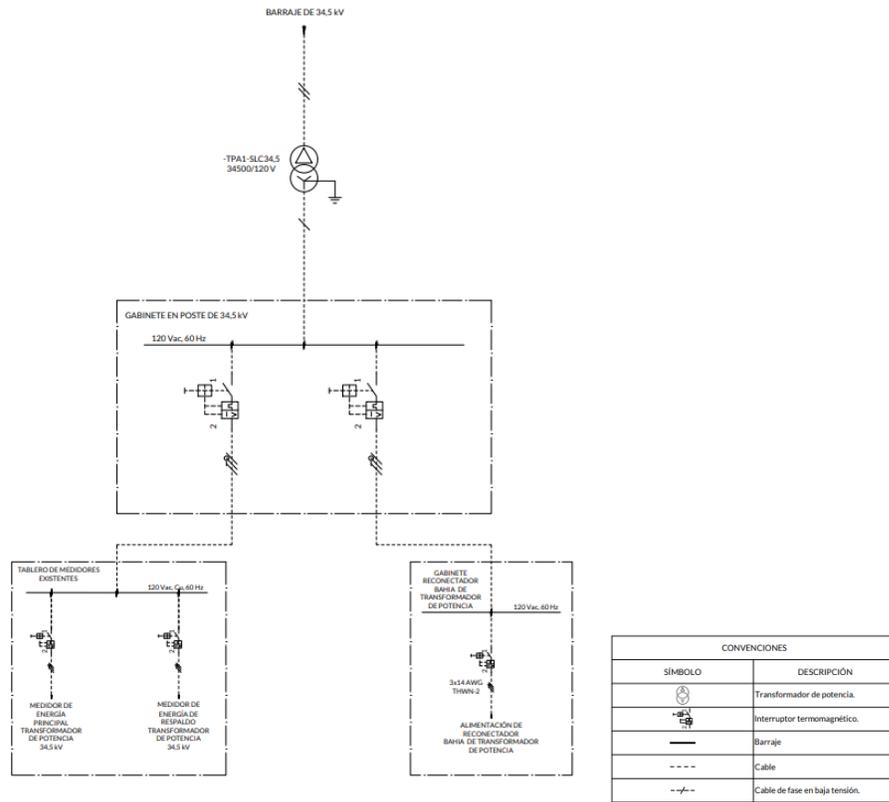


Fig. 5. Diagrama unifilar de servicios auxiliares anterior a la intervención

Y finalmente podemos observar las condiciones físicas de la SE Santa Lucia antes de ser intervenida por el equipo de ACEMA ingeniería:



Fig. 6. Subestación Santa Lucia – Montería – Córdoba.

Lo que nos da una entrada a la coordinación de la ejecución física del proyecto, en donde se debe de crear un plan detallado de trabajo para asegurar el cumplimiento organizado de las actividades civiles, electromecánicas y eléctricas que llevará a cumplir con las expectativas del diseño ingenieril y en consecuencia el éxito del proyecto. Simultáneamente se hará un seguimiento semanal de los avances o por el contrario las complicaciones que se vean reflejadas en el proyecto para así tener un panorama real determinar planes de acción para asegurar el cumplimiento del calendario y fecha en servicio. Cronograma de trabajo el cual resumirá las actividades a ejecutar en obra las cuales se pueden observar en el siguiente PDT:



Fig. 7. PDT pag.1

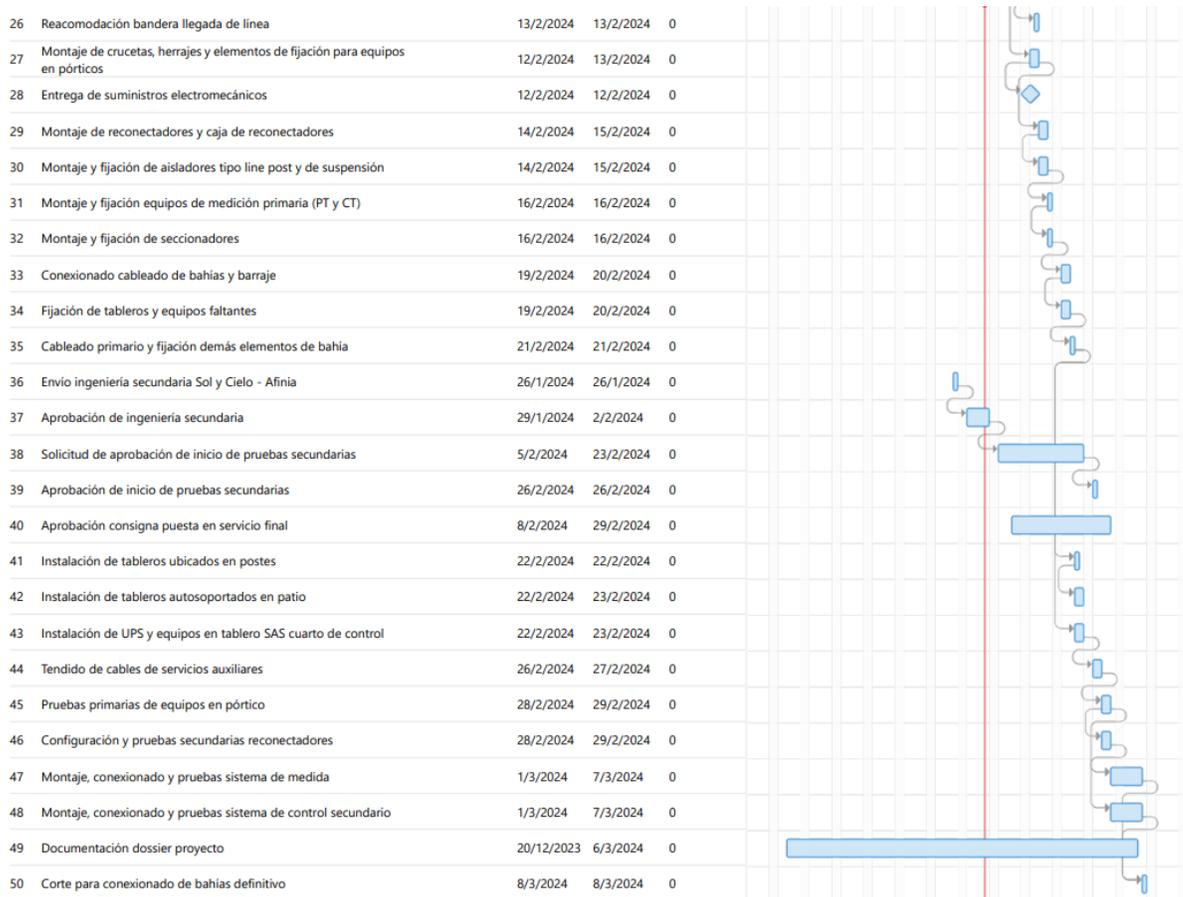


Fig. 8. PDT pag.2

El cual determinaría en teoría la planeación de la ejecución del proyecto y de esta maneja alcanzar los objetivos para las fechas que se debía entregar el proyecto y poner en servicio. Con la finalidad de llevar una trazabilidad y obtener un informe semanal del trabajo en campo se diseñó un formato de curva S el cual nos reportaría el avance de actividades y el desempeño del personal.

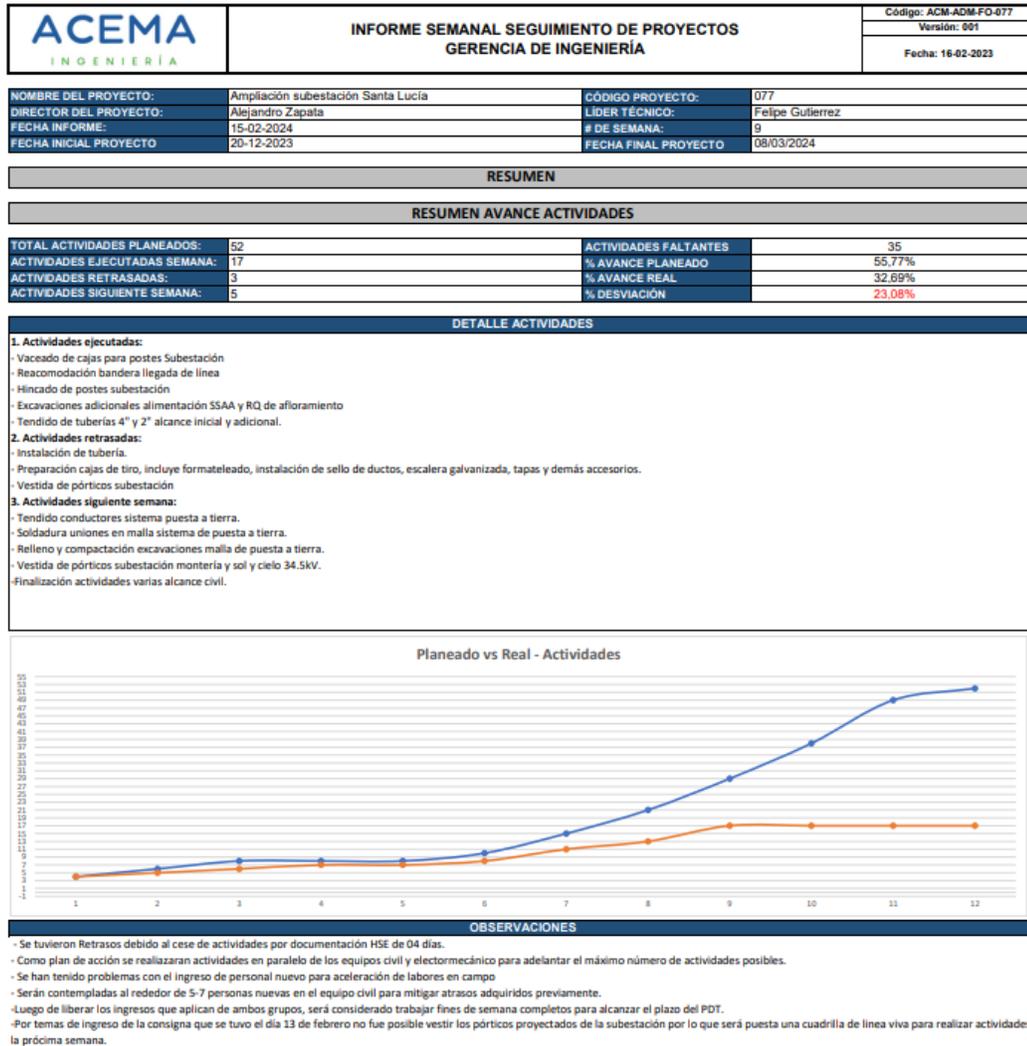


Fig. 9. Reporte semanal “Curva S”

Este formato fue diseñado bajo la herramienta de Excel, con el fin de reportar ante el operador de red los avances de obra y los retrasos que pudieran surgir, y justificarlos adecuadamente. Con el diligenciamiento de la siguiente tabla se obtienen los resultados de la imagen anterior.

SEGUIMIENTO DE AVANCE ACTIVIDADES						
#	ENTREGABLE	FECHA ESTIMADA	FECHA REAL	PREDECESORAS	# SEMANA PLANEADA	# SEMANA EJECUTADA
1	Autorización de ingreso	20/12/2023	20/12/2023	-	1	1
2	Trazado y replanteo del terreno.	20/12/2023	22/12/2023	1	1	1
3	Demolición del bordillo y tramo de muro e instalación de malla verde	21/12/2023	23/12/2023	2	1	1
4	Demolición de viga de cimentación, incluye viga.	22/12/2023	23/12/2023	2	1	1
5	Excavación cajas de paso.	11/01/2024	6/01/2023	4	2	2
6	Excavación para bancos de ductos.	2/01/2024	15/01/2024	4	2	3
7	Excavación sistema de puesta a tierra	8/01/2024	13/01/2024	6	3	9
8	Definición de equipos electromecánicos	25/01/2024	4/01/2023	7	3	6
9	Excavaciones de cimentaciones de postes.	30/01/2024	13/01/2024	7	6	4
10	Preparación cajas de tiro, incluye formateado, instalación de sello de ductos, escalera galvanizada, tapas y demás accesorios.	28/01/2024		7	6	
11	Instalación de tubería.	1/02/2024	15/02/2024	10	7	9
12	Armado de acero y fundida de cimentaciones de postes.	5/02/2024	9/02/2024	11	7	8
13	Tendido conductores sistema puesta a tierra	8/02/2024		12	8	
14	Soldadura uniones en malla sistema de puesta a tierra	12/02/2024		13	8	
15	Relleno y compactación excavaciones malla de puesta a tierra	13/02/2024		14	8	
16	Fundida de solado para tuberías.	5/02/2024	5/02/2024	11	7	7
17	Excavación de postes RQ aforamiento y est. meteorológica	6/02/2024	3/02/2024	16	7	7
18	Relleno y compactación de material seleccionado.	9/02/2024		17	8	
19	Aceptación y validación plan de consignación cambio de bandera 34.5kV	12/02/2024	9/02/2024	18	8	7
20	Reacomodación bandera llegada de línea	13/02/2024	13/02/2024	19	9	8
21	Vestida de pórticos subestación monería y sol y cielo 34.5kV	13/02/2024		19	8	
22	Excavación ducto adicional alimentación y comunicaciones	15/02/2024	15/02/2024	21	9	9
23	Izaje de postes subestación y parque solar	14/02/2024	13/02/2024	21	9	9
24	Instalación tubería y armado de cajas adicionales	16/02/2024		23	9	
25	Fundición de solado para cajas y tuberías adicionales	16/02/2024		23	9	
26	Construcción de bordillo y tramo faltante de muro.	19/02/2024		25	9	
27	Relleno con grava.	19/02/2024		25	9	
28	Vestida de pórtico puerto escondido y cajas de reconectores	20/02/2024		27	9	
29	Montaje y fijación de aisladores tipo line post y de suspensión	21/02/2024		28	10	
30	Conexión cableado de bahías y barraje	23/02/2024		29	10	
31	Fijación de tableros y equipos faltantes	23/02/2024		29	10	
32	Cableado primario y fijación demás elementos de bahía	26/02/2024		31	10	
33	Envío ingeniería secundaria Sol y Cielo - Afinía	26/01/2024			10	
34	Aprobación de ingeniería secundaria	2/02/2024		33	7	
35	Solicitud de aprobación de inicio de pruebas secundarias	23/02/2024		34	10	
36	Aprobación de inicio de pruebas secundarias	26/02/2024		35	10	
37	Aprobación consigna puesta en servicio final	29/02/2024			11	
38	Instalación de tableros ubicados en postes	27/02/2024		32	10	
39	Instalación de tableros autosoportados en patio	23/02/2024		29	10	
40	Instalación de UPS y equipos en tablero SAS cuarto de control	28/02/2024		32	11	
41	Tendido de cables de servicios auxiliares	1/03/2024		40	11	
42	Pruebas primarias de equipos en pórtico	5/03/2024		41	11	
43	Configuración y pruebas secundarias reconectores	5/03/2024		41	11	
44	Pruebas de comunicaciones y control niveles 1 y 2	4/03/2024		41	11	
45	Configuración y pruebas pre SAT de esquemas de protección	5/03/2024		44	11	
46	Pruebas de esquemas de protección y diligenciamiento de protocolos	5/03/2024		44	11	
47	Solicitud pruebas nivel 3	1/03/2024			11	
48	Realización de pruebas nivel 3 AFINIA SOL Y CIELO	4/03/2024		47	11	
49	Montaje, conexión y pruebas sistema de medida	28/02/2024		39	11	
50	Montaje, conexión y pruebas sistema de control secundario	7/03/2024		41	12	
51	Documentación dossier proyecto	6/03/2024			12	
52	Corte para conexión de bahías definitivo	8/03/2024		49-50	12	

Fig. 10. Seguimiento de actividades

Adicional será construido un dossier con la documentación que implique el proyecto como ingeniería detallada, especificaciones y fichas técnicas de equipos, incluyendo el material documental que atestigüe la calidad de obras civiles, electromecánicas y eléctricas, como certificados de calidad de equipos, de estructuras y pruebas de laboratorio.

Finalmente, antes de celebrar la puesta en servicio de la subestación deberán hacerse pruebas con inyecciones a equipos primarios y secundarios, como pruebas de coordinación de protecciones y control, complementándose con pruebas de comunicaciones y telemetría que aseguren el correcto funcionamiento de la instalación.

V. RESULTADOS

Esta sección tiene como objetivo los resultados que se obtuvieron en cálculos y diseño de ingeniería y posterior a esto los resultados de ejecución en campo, la ubicación de los equipos de pósito y tableros.

V.I INGENIERIA ELECTROMECHANICA

Para satisfacer la ampliación de la subestación Santa Lucia, fue necesario ejecutar diseños para la inclusión de 2 nuevas bahías al pósito existente, debido a que adicional a la llegada de la red a 34,5kV proveniente de la SE Montería, se incluiría una bahía que recibiría la inyección de potencia generada por la granja solar Sol y Cielo y una bahía con la llegada de la red a 34,5kV de la SE Puerto Escondido.

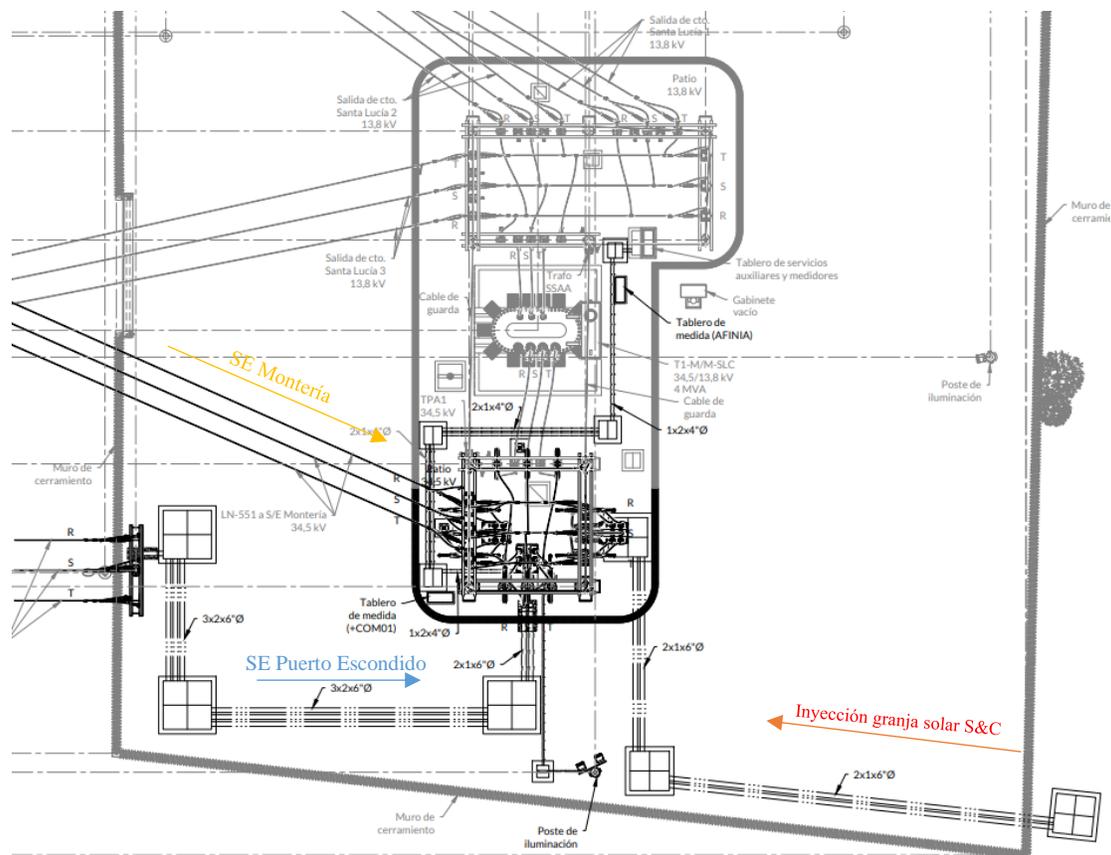


Fig. 11. SE Santa Lucia intervención proyectada

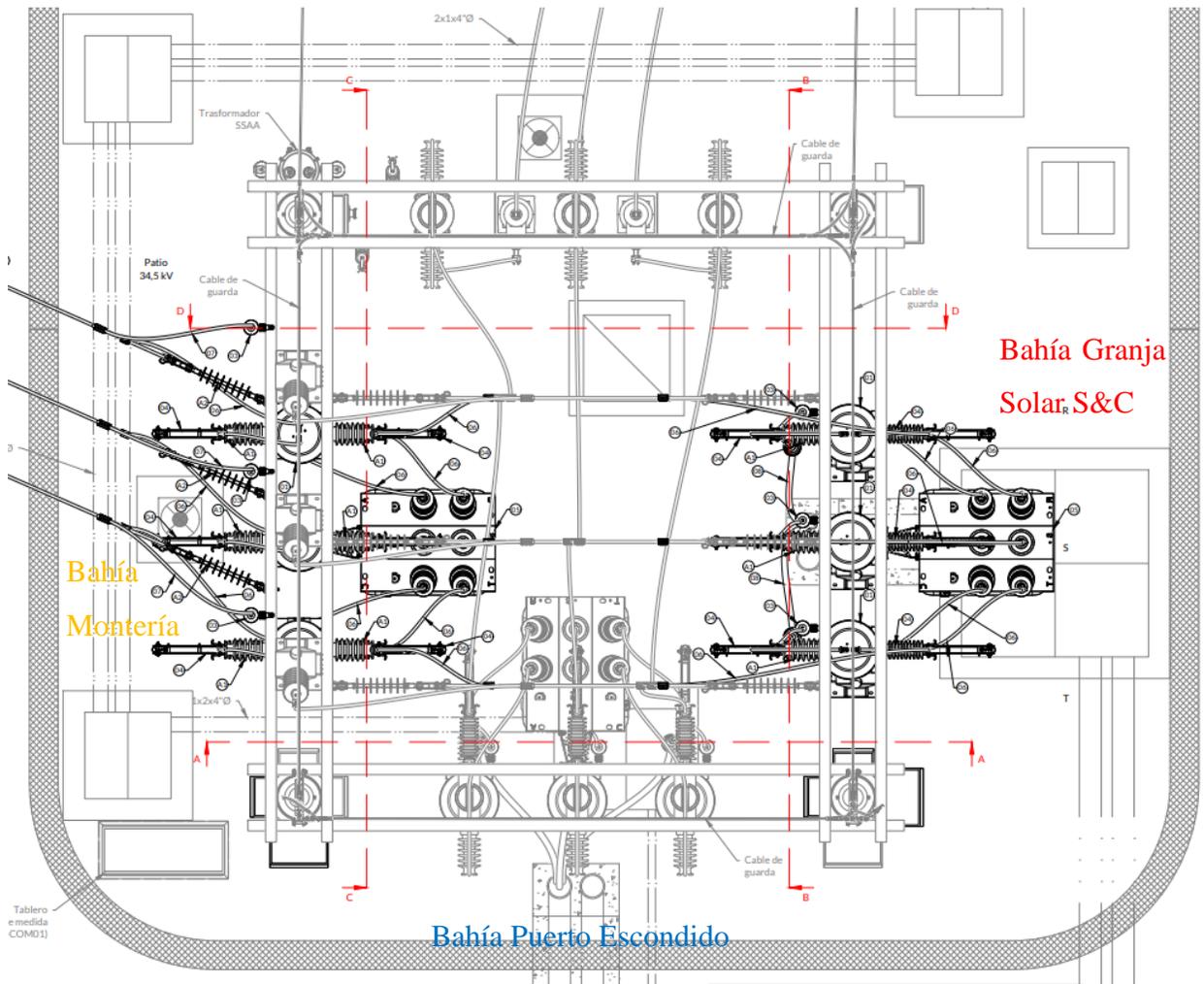
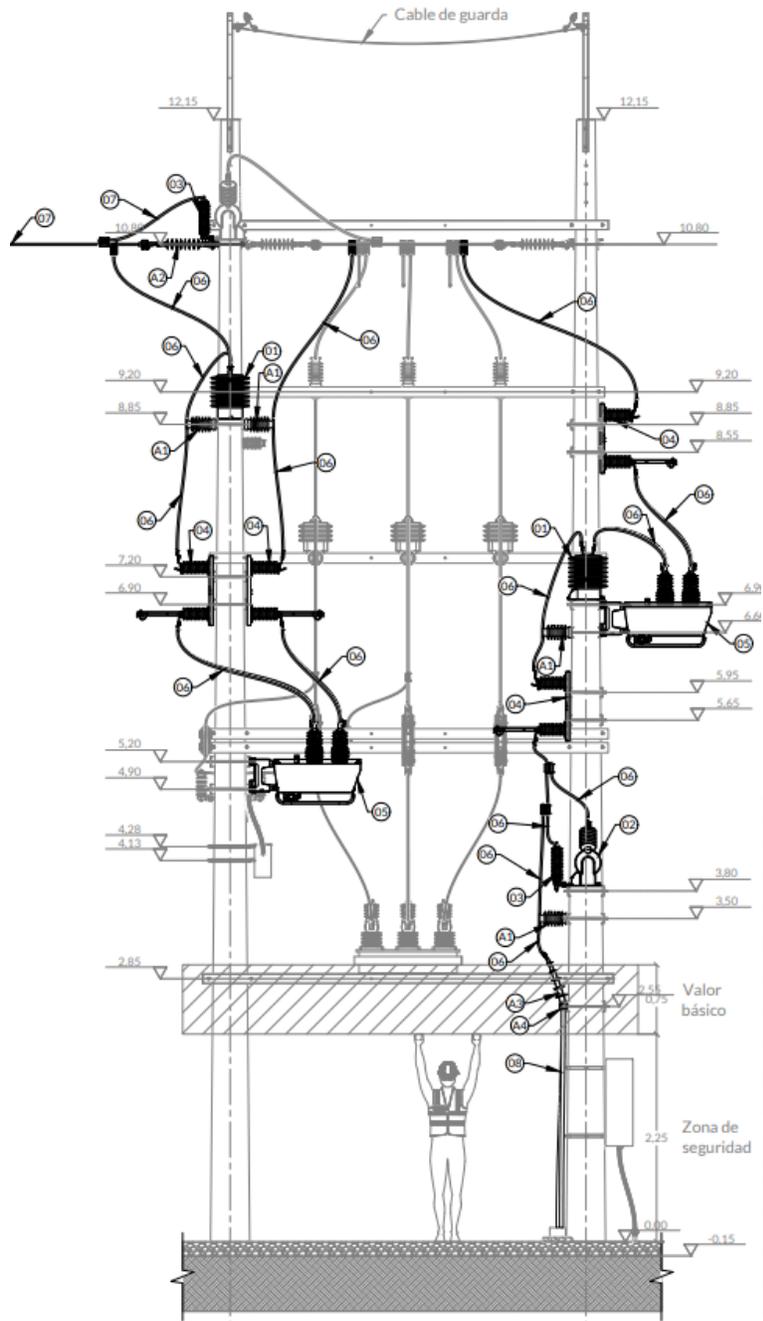


Fig. 12. SE reducida en pórtico

De esta manera fue diseñada la disposición en planta para la inclusión de las nuevas bahías las cuales serían acopladas mediante un barraje a 34,5kV a la bahía de transformación existente.

En relación con esta disposición en planta se diseña a su vez la disposición de equipos de pórtico en cada una de las bahías:

- Bahía de transformación
- Bahía Montería
- Bahía Granja solar S&C
- Bahía Puerto Escondido



Listado de equipos			
Ítem	Descripción	UND	Cantidad
01	Transformador de corriente 34.5 kV	Un	3
02	Transformador de tensión 34.5 kV	Un	6
03	Descargador de sobretensión 30 kV	Un	6
04	Seccionador de maniobra monopolar 34.5 kV	Un	12
05	Reconocedor 34.5 kV	Un	2
06	Cable aislado 4/0-AWG-AI Serie 8000 THHN	m	79
07	Conductor de fases: ACSR 4/0 AWG (Penguin)	m	70
08	Cable monopolar XLPE 35 kV, 500 kcmil AL	m	Ver nota 3

Listado de accesorios			
Ítem	Descripción	UND	Cantidad
A1	Aislador tipo poste 34.5 kV	Un	12
A2	Conjunto de amarre conductor AAAC 559.5 kcmil (Darlen)	Un	3
A3	Terminal premoldeado tipo exterior para cable monopolar XLPE 35 kV, 500 kcmil AL	Un	3
A4	Fijador monopolar para Cables XLPE 35 kV, 500 kcmil - AI	Un	3

Fig. 13. Corte A-A Bahía de transformación

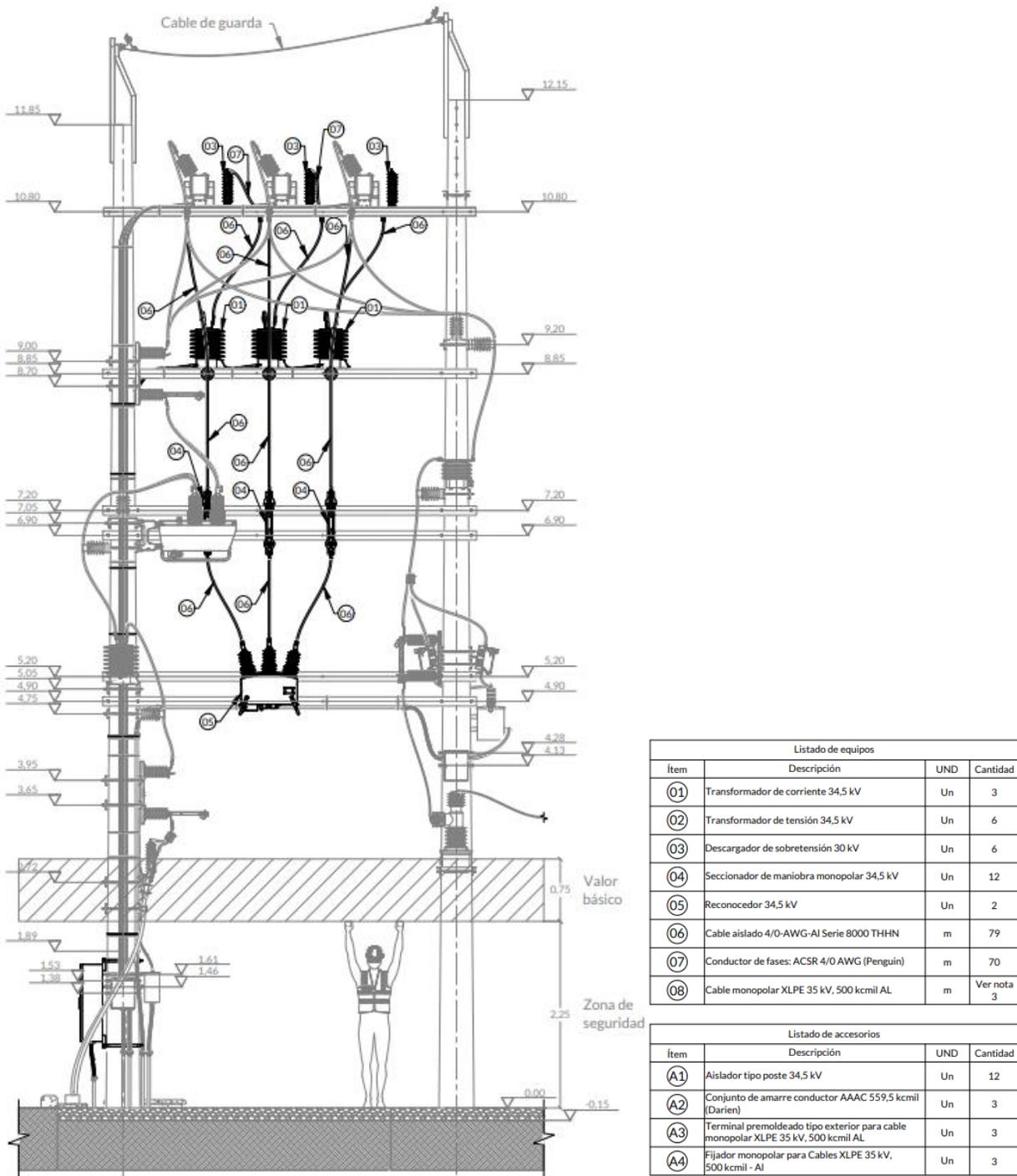


Fig. 14. Corte B-B Bahía Montería

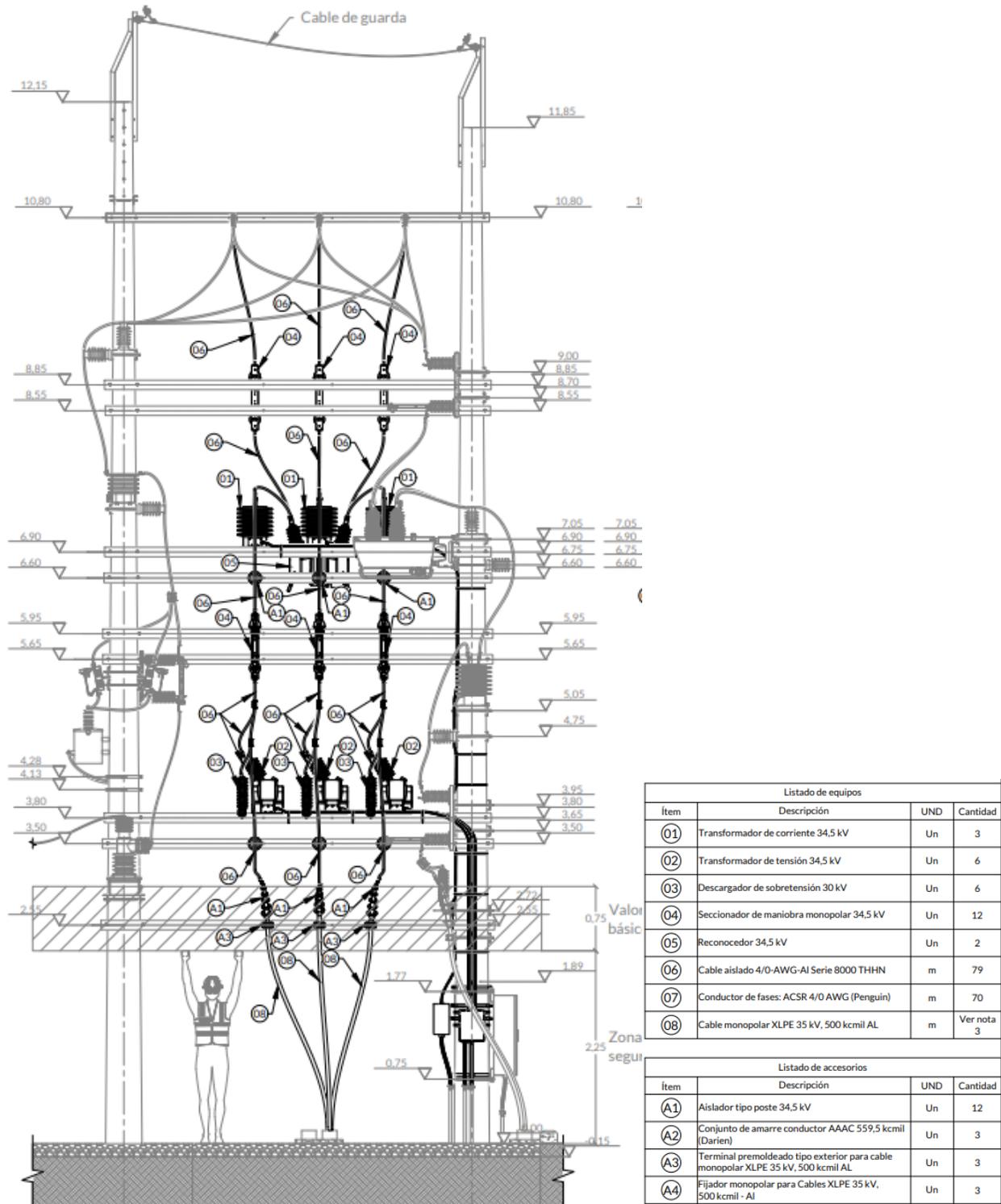
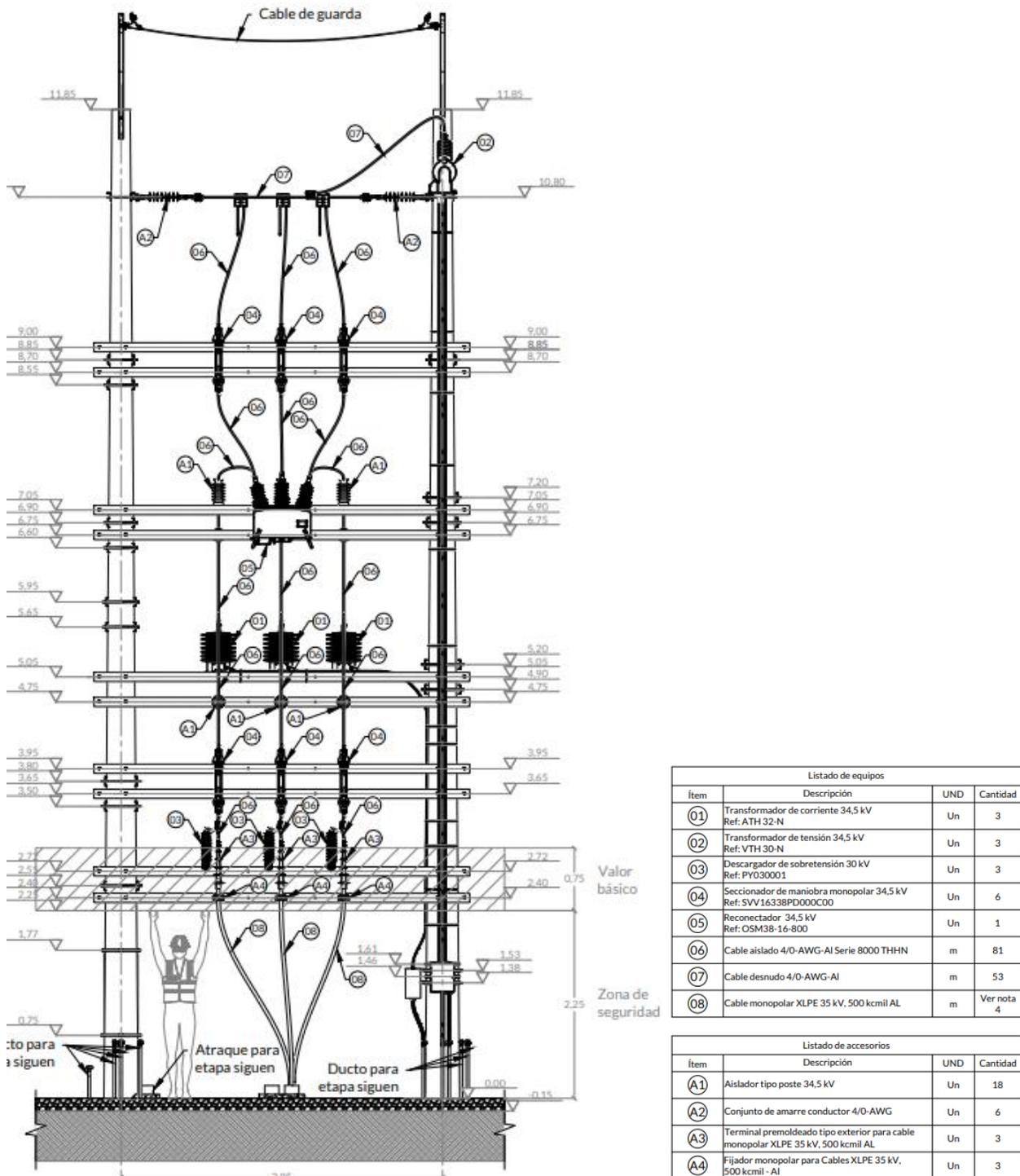


Fig. 15. Corte C-C Bahía Graja Solar S&C



Listado de equipos			
Ítem	Descripción	UND	Cantidad
01	Transformador de corriente 34,5 kV Ref: ATH 32-N	Un	3
02	Transformador de tensión 34,5 kV Ref: VTH 30-N	Un	3
03	Descargador de sobretensión 30 kV Ref: PY030001	Un	3
04	Seccionador de maniobra monopolar 34,5 kV Ref: SVV16338PD000C00	Un	6
05	Reconector 34,5 kV Ref: OSM38-16-800	Un	1
06	Cable aislado 4/0-AWG-AI Serie 8000 THHN	m	81
07	Cable desnudo 4/0-AWG-AI	m	53
08	Cable monopolar XLPE 35 kV, 500 kcmil AL	m	Ver nota 4

Listado de accesorios			
Ítem	Descripción	UND	Cantidad
A1	Aislador tipo poste 34,5 kV	Un	18
A2	Conjunto de amarre conductor 4/0-AWG	Un	6
A3	Terminal premoldeado tipo exterior para cable monopolar XLPE 35 kV, 500 kcmil AL	Un	3
A4	Fijador monopolar para Cables XLPE 35 kV, 500 kcmil - AI	Un	3

Fig. 16. Corte D-D Bahía Puerto Escondido

Donde podemos ver los equipos que serán instalados en cada una de las bahías y su disposición en pódico, siendo cada uno de estos equipos fundamentales para la protección, maniobra y medida del sistema en este nodo de potencia. Estos equipos dispuestos en pódico conectados al nivel de tensión en 34,5Kv se clasifican como equipos primarios, como los podemos ver en la siguiente tabla:

TABLA II
LISTADO EQUIPOS PRIMARIOS

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

V.I.I EQUIPOS PRIMARIOS

V.I.I.I TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Esta máquina eléctrica estática es básicamente el corazón de una subestación, es un equipo de gran tamaño que como 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.



Fig. 17. Ilustración Transformador de Potencia.

V.I.I.II SECCIONADOR

Un seccionador de potencia es un dispositivo electromecánico utilizado en sistemas eléctricos de media y alta tensión para abrir y cerrar circuitos, proporcionando un aislamiento seguro y visible para el mantenimiento y la reparación de equipos sin presencia de corriente (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 para un nivel de tensión de 34,5 kV, y su funcionamiento completamente manual.

V.I.I.III RECONECTADOR

Es el dispositivo de protección que automáticamente interrumpe y restablece el flujo de corriente eléctrica en un circuito en caso de fallas temporales, como cortocircuitos o sobrecargas. Su función principal es mejorar la continuidad del servicio al permitir la reconexión automática tras un corto período, evaluando si la falla persiste y actuando en consecuencia. Si la falla es

temporal, el reconectador restablece el servicio; si la falla persiste, realiza varios intentos de reconexión antes de permanecer abierto para evitar daños mayores en el sistema. Para la subestación Santa Lucía, se implementó la instalación de reconectadores de la marca NOJA Power.

Los reconectadores instalados en la SE Santa Lucía fueron programados con las siguientes funciones de protección:

- 67 (Es una protección contra sobrecorriente direccional se usa para generar una alarma o un disparo).
- 67N (Es una protección contra sobrecorriente que depende del tiempo. Detecta la dirección de la corriente de cortocircuito.)
- 50 (Protección contra sobrecorriente instantánea, La protección instantánea contribuye a proteger el equipo contra cortocircuitos de fase a fase, fase a neutro y fase a tierra).
- 50N (se utiliza para proteger las redes eléctricas contra defectos a tierra, La protección actúa cuando la corriente residual $I_r = I_1 + I_2 + I_3$ una vez sobrepasado el nivel de regulación).
- 27 (Protección contra subtensión, se utilizan para generar una alarma y disparar el disyuntor cuando se detecte una caída de tensión).
- 59 (Protección contra sobretensión, supervisa constantemente el nivel de tensión de las fuentes de alimentación que ante una sobretensión generará una alarma y disparará el interruptor).
- 25 (Protección de verificación de sincronismo, verifica si los circuitos conectados en paralelo están dentro de los límites deseados de frecuencia y Angulo de fase de tensión).
- 81R (Protección de monitoreo de tasa de cambio de frecuencia, supervisa los niveles de frecuencia con base a los niveles de carga para generar una alarma de restauración o un disparo)
- 81O(Protección contra sobrefrecuencia, supervisa los niveles de frecuencia para generar una alarma de restauración o un disparo
- 81U (Protección contra infrafrecuencia, supervisa los niveles de frecuencia para generar una alarma de restauración o un disparo)

V.I.I.IV PARARRAYOS

Es aquel que está diseñado para proteger instalaciones eléctricas y equipos conectados contra sobretensiones transitorias. Estas sobretensiones pueden ser causadas por descargas atmosféricas (rayos), conmutaciones en la red eléctrica o fallos en el sistema de distribución. El DPS desvía y limita la energía de las sobretensiones a tierra, reduciendo así el riesgo de daños a los equipos eléctricos y electrónicos. Su función es garantizar la continuidad y la seguridad operativa del sistema eléctrico, minimizando el impacto de las sobretensiones.

V.I.I.V TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTACIÓN

Son aquellos dispositivos eléctricos utilizados en sistemas de potencia para medir y monitorizar parámetros eléctricos como corriente y voltaje. Existen dos tipos principales: transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial o voltaje (TP).

1. **Transformadores de Corriente (TC):** Reducen las altas corrientes del sistema a valores manejables para los instrumentos de medición y protección, manteniendo una relación proporcional precisa.
2. **Transformadores de Potencial (TP):** Reducen los altos voltajes del sistema a niveles seguros y precisos para su medición y monitoreo.

Ambos tipos proporcionan aislamiento eléctrico entre los sistemas de alta potencia y los dispositivos de medición o protección, garantizando la seguridad y precisión en la monitorización y control del sistema eléctrico.

V.I.I.VI OTRAS DEFINICIONES

Aislador: Su función es proporcionar aislamiento eléctrico para líneas y equipos, así como la retención mecánica de conductores, cables o barras en una subestación. Estos equipos deben soportar condiciones adversas como viento, contaminación, esfuerzos de cortocircuito y sismos, que generan tensiones y esfuerzos sobre ellos.

Apantallamiento: Consiste en proteger los equipos de la subestación contra descargas atmosféricas directas. En el caso de la subestación, se utilizan cuatro puntas ubicadas en los extremos de los pórticos para este propósito.

Cables o hilos de guarda: Son cables situados 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 de manera rígida que actúa como nodo de enlace dentro de los campos de la subestación.

Puesta a Tierra: Es el conjunto de elementos conductores equipotenciales que están en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, distribuyendo las corrientes eléctricas excedentes.

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

Malla a tierra: Es un grupo de elementos conductores equipotenciales, conformados por electrodos enterrados verticalmente e interconectados por conductores desnudos, principalmente de cobre (Cu). Proporciona una tierra común para dispositivos eléctricos o estructuras metálicas y para descargas de sobrecorrientes. La subestación cuenta con una única malla de puesta a tierra, ya que la malla nueva se ha unido a la existente.

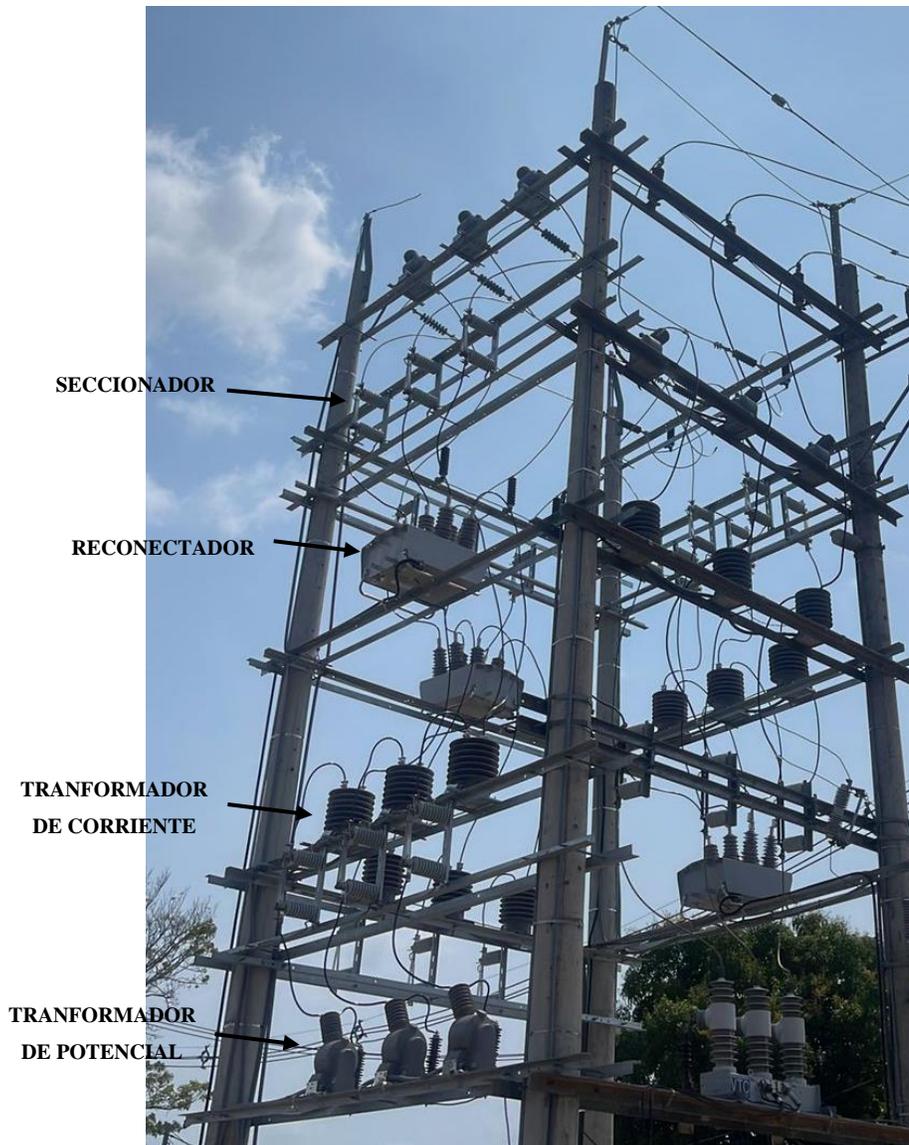


Fig. 18. Pórtico 34,5kV

V.I.II. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS Y COMPONENTES DE LA SUBESTACIÓN SANTA LUCÍA

La subestación Santa Lucía consta de un patio de 34.5 kV, tiene una configuración de barra sencilla con capacidad para 4 bahías contando con la bahía de transformación. Y un patio de

13,8kV, el cual cuenta con una configuración de barra sencilla con capacidad de 4 bahías contando con la respectiva bahía de transformación. Las cuales se presentan 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 transformación 13,8kV de TR1 34.5kV
- 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

La subestación Santa Lucia recibe un flujo de potencia en el patio de 34.5 kV, desde 3 llegadas diferentes, las cuales comparte el mismo criterio de funcionamiento.

La potencia es recibida inicialmente por un descargador de sobretensión con fines de proteger los equipos aguas debajo de sobre tensiones.

Luego el flujo de potencia circula por un transformado de tensión y un transformador de corriente, los cuales conforman la frontera comercial recibiendo la señal de voltaje y corriente de la red al cual se conecta con fines de establecer la medida para facturación.

Posteriormente el flujo de potencia es censado por el reconectado NOJA instalado con seccionadores a la entrada y salida del equipo, para finalmente conectarse al barraje; en este punto es donde cada circuito establece las protecciones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de los circuitos. Para el caso de la granja solar se deben programar con todas las funciones de protección que requiera el CNO, de las cuales entre las mas importantes es la protección anti-isla para la cual es necesario que se conecten las señales de los reconectores de las bahías de salida en los momento que exista una inyección de potencia por la granja solar.

Finalmente del barraje de 34,5kV es transmitida al transformador de potencia pasando por un circuito igual al descrito anteriormente y de esta forma cambiando el nivel de tensión a 13,8kV el cual es posteriormente conectado por medio de equipos de protección como reconectores y equipos de instrumentación para medida al barraje del cual se derivan los circuitos de salida en distribución.

V.I.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 III
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.
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.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
Sol y Cielo I	Seccionador Llegada línea	SC-SLC5131	3	Apertura para maniobra en llegada de línea a la entrada del reconectador de la bahía.
Sol y Cielo I	Seccionador salida hacia el barraje	SC-SLC5031	3	Apertura para maniobra salida del reconectador de la bahía.
Sol y Cielo I	Reconectador	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.
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

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
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. 19. Bahía Montería

- Bahía Puerto escondido:



Fig. 20. Bahía Puerto Escondido

- Bahía Sol Y Cielo I:



Fig. 21. Bahía granja solar S&C

- Bahía de transformación 34.5kV



Fig. 22. Bahía de transformación 34.5kV

V.I.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 IV
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.
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.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
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 SANTA LUCÍA 2	Transformador de corriente	TC3-SLC13,8	3	Medición salida de corriente circuito.
Salida circuito SLC304 SANTA LUCÍA 3	DPS	AV4-SLC13,8	3	Equipo de protección para sobretensiones.

Bahía	Equipo	Referencia	Cantidad	Función
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:

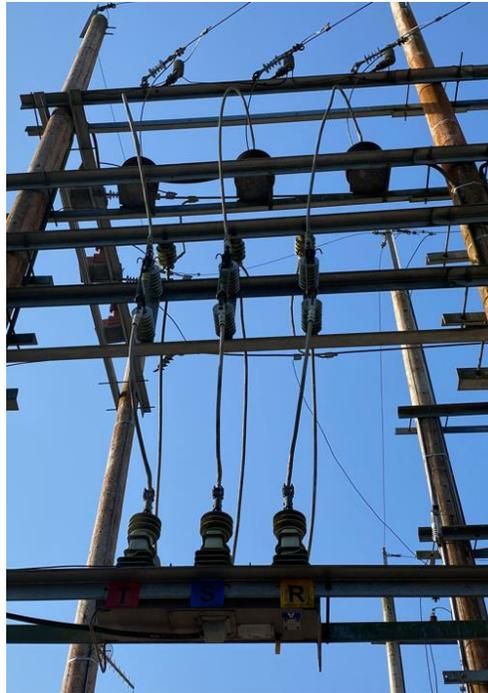


Figura 23. Circuito SLC302 SANTA LUCÍA 1

- Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2:



Figura 24. Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 2.

- Circuito SLC303 SANTA LUCÍA 3:

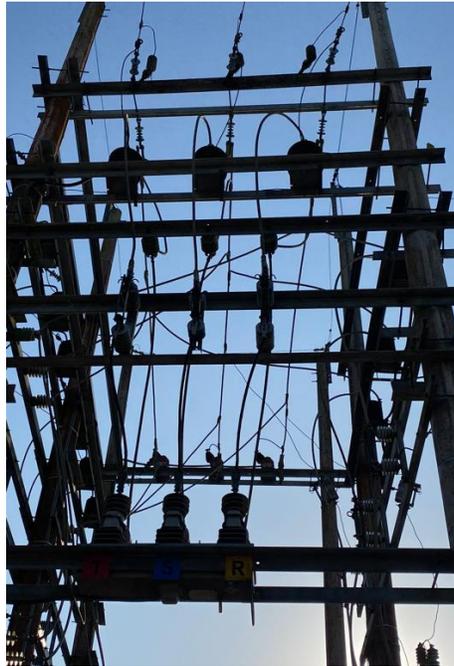


Figura 25. Circuito SLC304 SANTA LUCÍA 3.

- Bahía llegada de transformador:



Figura 26. Bahía Llegada Transformador.

transformador tenga la capacidad necesaria de carga para suplir la demanda de los circuitos proyectados), saliendo de la UPS se conectara el nuevo tablero de servicios auxiliares en este punto se alimentará el tablero de Afinia (+COM01) y a partir de este se alimentará el tablero de medidores 1, tablero de medidores 2, tablero de reconectador 1, tablero de reconectador 2, tablero de reconectador 3 y la iluminación. Del tablero medidores 2 se alimentará el tablero Sol y Cielo nivel 1 y posterior a este el tablero de reconectador de afloramiento.

La alimentación de estos circuitos tendrá un sistema con tensión de 120 VAC y un sistema de respaldo en caso de falla de la alimentación principal destinado a los equipos de comunicación y medida del parque solar. En los siguientes apartados se detalla el dimensionamiento de conductores eléctricos. Para la integración es necesario brindar alimentación eléctrica a los siguientes tableros:

- Tablero SSAA (+SACAE01)
- Tablero Sol y Cielo nivel 1 (+COM01).
- Tablero de medidores (+TME01)
- Tablero de medidores (+TME02)
- Tablero de SLC5020 (RECONNECTADOR 3).
- Tablero de SLC5030 (RECONNECTADOR 1).
- Tablero de SLC5040 (RECONNECTADOR 2).
- Tablero de reconectador de afloramiento.
- Iluminación.

Se considera alimentación desde el transformador existente de SSAA, pero se desconoce en qué porcentaje está cargado el sistema SSAA existente ya que no fue posible obtener información sobre este por parte de AFINIA y durante el levantamiento en campo no fue posible acceder al tablero existente.

A continuación, se detallan los procedimientos empleados para la selección de cargas en corriente alterna del sistema de servicios auxiliares.

V.II.I.I SISTEMA VAC

Las cargas que tendrá el nuevo tablero de servicios auxiliares se conectarán al sistema de corriente alterna y operarán a un nivel de tensión de 120 VAC. Adicional a esto los equipos parte del sistema de comunicaciones y medida del parque solar contarán con un sistema de respaldo para casos en que la alimentación principal falle.

La selección y dimensionamiento eléctrico de conductores y demás elementos, se basó en manuales y fichas técnicas de fabricantes de equipos referencia en este tipo de sistemas.

En el cálculo del sistema VAC, se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Para el dimensionamiento de conductores eléctricos, protecciones y demás elementos, se parte de valores de consumos referenciales de equipos en este tipo de sistemas.
- Las cargas de este sistema se catalogan en cargas esenciales y cargas no esenciales.

Los elementos de protección (Mini interruptores) en cada uno de los circuitos se seleccionan con base a la carga conectada y la capacidad interruptora.

V.II.I.II SELECCIÓN DEL MATERIAL AISLANTE PARA LOS CONDUCTORES

Los conductores eléctricos deben contar con aislamiento para garantizar que resistan las condiciones atmosféricas y otras circunstancias del entorno sin sufrir deterioro, que puedan ocasionar posibles fugas de corriente o cortocircuitos. Además de aislar de acuerdo con los niveles de tensión presentes en el punto de instalación sin producir daños o choques eléctricos que desencadenen en fallas con otros conductores o elementos del sistema.

Para la correcta selección del material aislante de los conductores, es necesario tener presente los siguientes aspectos:

- Capacidad dieléctrica de acuerdo con las tensiones del sistema.
- Niveles de temperatura permisibles en el material.
- Resistencia a los rayos ultravioleta.
- Radios de curvatura.

- Resistencia mecánica ante los refuerzos que se pueden presentar durante la instalación.
- Flexibilidad.
- Contenido de halógenos.

Generalmente en los sistemas de baja tensión se utiliza como material aislante de los conductores el Policloruro de Vinilo (PVC-RAD), por lo tanto, el aislamiento seleccionado en este proyecto para los conductores de baja tensión es el THWN-2, el cual cuenta con las siguientes características.

- Temperatura de operación 90°C.
- Tensión de operación 600 V.
- Aislamiento en PVC.
- Ambientes: Secos, húmedos y mojados.
- Resistentes al aceite
- Resiste a los rayos solares.
- Retardante a la llama.
- Resistentes a la abrasión.
- Libres de sustancias peligrosas.

V.II.I.III SELECCIÓN DE CONDUCTORES POR AMPACIDAD

Con los consumos eléctricos en corriente para cada uno de los sistemas, se procede con el cálculo de conductores por ampacidad. Las capacidades de corriente de cada uno de los calibres usados se deberán verificar según lo especificado en las tablas 310-16 hasta las 310-19 de la norma NTC 2050, es necesario tener en cuenta los factores de ajuste por temperatura y agrupamiento que se puedan presentar en cada uno de los tramos de circuito.

El procedimiento que se emplea para la selección de conductores consiste en partir de la corriente demanda del circuito de interés, buscar en las tablas antes mencionadas que conductor cumple con esta capacidad de corriente. Luego aplicar los factores de ajuste necesarios en este caso se tomará una temperatura ambiente de entre 26 °C y 30 °C y se considera que no se tendrá más de tres conductores portadores de corriente en el recorrido de todos los circuitos. En caso tal de que

la capacidad de corriente obtenida del conductor seleccionado sea inferior a la demanda, es necesario aumentar el calibre del conductor y realizar de nuevo el anterior procedimiento hasta obtener el calibre que se ajuste a los requerimientos del circuito.

Obteniendo lo siguientes resultados en la tabla la cual resumen la selección de calibres de los conductores para el sistema:

NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO AFINIA +COM01	TABLERO SLC5020	0,5	120	65	12
	TABLERO SLC5030	0,5	120	65	12
	TABLERO SLC5040	0,5	120	65	12
	ILUMINACIÓN	1,67	120	200	12
	TABLERO +TME01	1,53	120	184	12
	TABLERO +TME02	5,36	120	643	12
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO SLC5030	ALIMENTACIÓN DE RECONECTADOR 1	0,5	120	65	14
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO SLC5040	ALIMENTACIÓN DE RECONECTADOR 2	0,5	120	65	14
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO SLC5020	ALIMENTACIÓN DE RECONECTADOR 3	0,5	120	65	14
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
ILUMINACION	LED REFLECTOR JETA HUGH POWWER	0,8	120	100	14
	LED REFLECTOR JETA HUGH POWWER	0,8	120	100	14
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO +TME01	SWITCH 1 (-SW1)	0,03	120	3	14
	MEDIDOR (-MC01)	0,67	120	80	14
	TENSIÓN AUXILIAR, CALEFACCIÓN E ILUMINACIÓN	0,83	120	100	14
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO +TME02	FUENTE AUXILIAR (-PWR1)	1,13	120	135	14
	MEDIDOR SSAA(-ME04)	0,04	120	5	14
	CARGAS TABLERO SOL Y CIELO NIVEL 1 +COM01	3,16	120	379	12
	MEDIDA DE TENSIÓN TABLERO SOL Y CIELO NIVEL 1 (+COM01)	0,0003	120	0,036	14
	TENSIÓN AUXILIAR, CALEFACCIÓN E ILUMINACIÓN	3,33	120	400	14
NOMBRE DE TABLERO	CIRCUITOS	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (VAC)	POTENCIA (VA)	CALIBRE (AWG)
TABLERO SOL Y CIELO NIVEL 1 (+COM01)	FUENTE AUXILIAR (-PWR1)	1,13	120	135	14
	MEDIDOR PPC (-ME03)	0,04	120	5	14
	SWITCH 1 (-SW1)	0,03	120	3	14
	SWITCH 2 (-SW2)	0,03	120	3	14
	ALIMENTACIÓN DE TABLERO DE AFLORAMIENTO	0,71	120	85	12
	TENSIÓN AUXILIAR, CALEFACCIÓN E ILUMINACIÓN	3,33	120	400	14

Fig. 28. Resumen de selección de conductores de alimentación de SSAA

V.II.II CÁLCULO DE CAÍDA DE TENSIÓN

Partiendo de los conductores seleccionados en las tablas anteriores y los consumos de potencia de cada circuito, se procede en el presente capítulo con el cálculo de caída de tensión.

La caída tensión hace referencia a la cantidad de tensión perdida en un circuito, ocasionada por la resistencia de los conductores eléctricos. Por lo tanto, es necesario evaluar para cada circuito el porcentaje de caída de tensión y determinar si este porcentaje se encuentra dentro de los límites permisibles. Según lo establecido en la norma NTC 1340, la caída de tensión en los circuitos de baja tensión no debe superar el 5%.

En el caso de que alguno de los conductores seleccionados supere el 5% de caída de tensión, es necesario aumentar el calibre del conductor y realizar nuevamente el cálculo, hasta encontrar el calibre adecuado que obtenga una caída de tensión dentro de los límites permisibles.

En las siguientes tablas se presenta el cálculo de caída de tensión, bajo el método de **momento de potencia o momento eléctrico**.

Este método busca llegar a una combinación de las variables nivel de voltaje y sección del conductor que sea el menor valor de las mismas que satisfagan las condiciones de pérdidas de potencia y caída de tensión definidas previamente y adicional a esto llegar al más óptimo conductor para asegurar una buena calidad de la energía y un buen precio para el proyecto, este método se construye bajo cálculos en Excel con los cuales se desarrollan los cálculos correspondientes para cada uno de los circuitos eléctricos del proyecto.

V.II.II.I REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 1

Para comprobar la selección de conductor eléctrico se debe contemplar la aproximación de la caída de tensión, asumiendo valores de la distancia que recorrerá el cable, así como la sección, resistencia e inductancia.

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
TABLERO SSAA EXISTENTE - UPS	120	4	922	7,7	40	0,000974	0,60	0,50%	si cumple

Fig. 29. Caída de tensión por conductor 1

V.II.II.II REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 2

Para comprobar la selección de conductor eléctrico se debe contemplar la aproximación de la caída de tensión, asumiendo valores de la distancia que recorrerá el cable, así como la sección, resistencia e inductancia. Además, se suma la caída de tensión del tramo entre el SSAA existente y la UPS.

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
TABLERO +SACAE01 - TABLERO AFINIA (+COM01)	120	4	916	7,6	45	0,000974	0,67	0,56%	si cumple
Suma de la caída de tensión acumulada								1,06%	si cumple

Fig. 30. Caída de tensión por conductor 2

V.II.II.III REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 3

Para comprobar la selección de conductor eléctrico se debe contemplar la aproximación de la caída de tensión, asumiendo valores de la distancia que recorrerá el cable, así como la sección, resistencia e inductancia. Además, se suma la caída de tensión del tramo entre el tablero Afinia (+COM01) y el tablero TME02.

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
TABLERO AFINIA (+COM01) - TABLERO TME02	120	12	643	5,4	20	0,006225	1,33	1,11%	si cumple
Suma de la caída de tensión acumulada								2,17%	si cumple

Fig. 31. Caída de tensión por conductor 3

V.II.II.IV REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 4

Para comprobar la selección de conductor eléctrico se debe contemplar la aproximación de la caída de tensión, asumiendo valores de la distancia que recorrerá el cable, así como la sección, resistencia e inductancia. Además, se suma la caída de tensión del tramo entre el tablero Afinia (+COM01) proyectado y el tablero +TME02.

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
TABLERO TME02 - TABLERO SOL Y CIELO (+COM01)	120	12	379	3,2	20	0,006225	0,79	0,66%	si cumple
Suma de la caída de tensión acumulada								2,83%	si cumple

Fig. 32. Caída de tensión por conductor 4

V.II.II.V REGULACIÓN DE CAÍDA DE TENSIÓN EN LÍNEA 5

Para comprobar la selección de conductor eléctrico se debe contemplar la aproximación de la caída de tensión, asumiendo valores de la distancia que recorrerá el cable, así como la sección, resistencia e inductancia. Además, se suma la caída de tensión del tramo entre el tablero +TME02 Y el Tablero Sol Y Cielo Nivel 1 (+COM01).

DESCRIPCIÓN	TENSIÓN (V)	CALIBRE (AWG)	POTENCIA (VA)	CORRIENTE (A)	LONGITUD (m)	IMPEDANCIA EQUIVALENTE	CAÍDA DE TENSIÓN (V)	% CAÍDA DE TENSIÓN	CAÍDA DE TENSIÓN % <5%
TABLERO SOL Y CIELO (+COM01) - TABLERO RECONECTOR DE AFLORAMIENTO	120	12	85	0,7	200	0,006225	1,76	1,47%	si cumple
Suma de la caída de tensión acumulada								4,30%	si cumple

Fig. 33. Caída de tensión por conductor 5

Partiendo de lo mencionado en este capítulo, se procede con la verificación de los parámetros del conductor eléctrico. En este ítem se presenta las características del dimensionamiento.

- Selección de sección de conductor eléctrico
- Capacidad admisible de corriente por cada fase
- Caída de tensión en línea

Se recomienda el uso de un conductor eléctrico calibre 12AWG, ya que este conductor eléctrico soporta toda la demanda del tablero del reconfigurador de afloramiento proyectado y además cumple con la caída de tensión menor al 5% según lo estipulado en la norma NTC 1340.

V.II.III TABLEROS CON EQUIPOS SECUNDARIOS

Ahora según los cálculos y diseños mostrados anteriormente se instalan los tableros mostrados a continuación:

- Tablero medidores y SSAA 13.8kV (Tablero existente anterior a intervención)



Figura 34. 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)

Los siguientes tableros fueron fabricados por ACEMA Ing. Bajo los criterios de diseños ya compartidos en la sección anterior, los cuales su conexión inicial se deriva del transformador de SSAA conectado a 34,5kV en su primario y sigue el esquema de conexión presentado en la sección *V.II*.

- Tablero +TME02



Figura 35. 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.
 - Swtich de comunicaciones para medidores bahías 34.5kV.
 - Borneras.
 - Fuente de alimentación AC/DC.
 - MCBs
- Tablero COM01



Figura 36. 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.

-Tablero +TME01



Figura 37. 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.

V.III RESULTADO DE OBRA

De acuerdo con todo lo presentado en la sección V. se muestra el resultado final de la obra de ampliación de la subestación Santa Lucia, en las siguientes imágenes posteriores a la energización de esta.



Fig. 38. SE Santa Lucia, capacitación operativa.



Fig. 39. Pórtico de llegada 34,5kV

VI. ANÁLISIS

Durante el desarrollo del proyecto, se vivieron diversas circunstancias imprevistas que no se habían contemplado en el planteamiento del proyecto, lo que provocó contratiempos y cambios que tuvo como consecuencias la realización de planos y diseños As-Built (“Planos de obra terminada”, actualización de planos bajo las modificaciones en construcción). Entre estos contratiempos son significativos los errores humanos en las medidas de topografía durante la ejecución en campo y tiempos de entrega prolongados de suministro por parte de los proveedores.

Los tiempos que dictaban el proyecto inicialmente tuvieron que ser modificados respecto a los establecidos tanto por el cliente final como por el operador de red, ya que tuvieron que extenderse debido a las condiciones presentadas en obra. Por lo que fueron necesarios nuevos planes de acción para contrarrestar los retrasos ocasionados.

VII. CONCLUSIONES

- Los cálculos y diseños de ingeniería siempre deben de realizarse pensados para una construcción real, de forma de que su implementación en términos constructivos y su costo financiero sean los adecuados para el proyecto
- Las rutas críticas en proyectos que implican construcción y suministro siempre dependen de los tiempos de entrega de los equipos primarios o especiales.
- Para la inclusión de cualquier equipo o suministro, desde cableado y equipos eléctricos primarios hasta herrajes como tornillos y conectores, es necesario desarrollar cálculos detallados para asegurar el correcto funcionamiento y acoplamiento de estos en campo.
- Debido a las situaciones o condiciones de los proyectos constructivos, es muy probable que sea necesario realizar planos As-Built, ya que los cálculos teóricos no simulan al 100% las condiciones reales del proyecto.
- La oferta comercial de un proyecto constructivo debe ser altamente detallada, contemplando un panorama completo de posibilidades e incluyendo gastos imprevistos para evitar pérdidas.
- La calidad de los equipos suministrados afecta la correcta comunicación entre ellos, lo que puede provocar fallas en los sistemas de comunicaciones de protecciones telecomandadas.
- La coordinación o dirección de los proyectos debe de ir más allá de criterios administrativos y financieros, es necesario abarcar criterios técnicos para tomar decisiones satisfagan la ingeniería elaborada con la construcción física y el presupuesto del proyecto.
- En el aspecto personal, el semestre de industria ha sido de gran aprendizaje para mi formación profesional ya que he aprendido sobre las dinámicas empresariales y de los proyectos de energía fotovoltaica. adicional a esto, tuve la oportunidad de aplicar mis conocimientos técnicos en el diseño y calculo para el dimensionamiento de subestaciones eléctricas y servicios auxiliares, materializándolos en construcción.

- Este proyecto, fue enriquecedor debido a que en el proceso pude conocer todos los aspectos para tener en cuenta en el diseño y la dirección para llevar a cabo una ejecución ideal en la construcción.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Ramírez Flórez. (2022). Transición energética en Colombia una visión hacia el departamento de la Guajira [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- [2] Giraldo Gallón, E.A, & Acevedo Holguín, M. (2023). Predicción de la desatención de demanda en España debido a la transición energética Trabajo de grado especialización. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- [3] S. Suárez Atehortúa, “Diseño de servicios auxiliares en subestaciones eléctricas de alta tensión”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.
- [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] 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>.
- [7] 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.
- [10] CTS550 Centros de transformación industriales de 34,5 kV.
- [11] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.