



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**Modernización y ampliación de los sistemas de protección,
control y medición de dos plantas de La Cooperativa La
Cruz Azul**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestro en Sistemas Eléctricos de Potencia

Presenta:

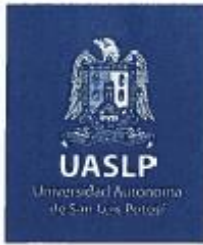
Fernando García Monsalvo

Asesor:

Dr. Juan Segundo Ramírez

Dr. Nancy Visairo Cruz





FACULTAD DE INGENIERÍA

19 de noviembre de 2020

**ING. FERNANDO GARCÍA MONSALVO
P R E S E N T E**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por los **Dres. Juan Segundo Ramírez y Nancy Visairo Cruz**, Asesor y Coasesor del trabajo de Memorias de Actividad Profesional que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Sistemas Eléctricos de Potencia**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 19 de noviembre del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

“Modernización y ampliación de los sistemas de protección, control y medición de dos plantas de La Cooperativa La Cruz Azul”

Introducción.

1. Desarrollo del sistema en la planta de Lagunas Oaxaca.
2. Desarrollo del sistema en la planta de Tula Hidalgo.
3. Mi experiencia profesional con la MSEP.

Conclusiones.

Bibliografía.

“MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO”

A T E N T A M E N T E



**DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN

www.uaslp.mx

Copia. Archivo
*etn.

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria - CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al 39
fax (444) 826 2336

“1945-2020: 75 años de formación de profesionales en la Facultad de Ingeniería”

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la empresa donde laboro, Schweitzer Engineering Laboratories, en especial a los directores y gerentes del área de ingeniería en México por el fomento de esta maestría en conjunto con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, que me brindó la oportunidad de realizar los mis estudios de maestría.

A los ingenieros Gustavo Ibarra, Rubén Páez y Arturo Benitez de la empresa Cooperativa la Cruz Azul, quienes me permitieron trabajar a su lado en el desarrollo de los proyectos con los cuales obtuve la experiencia para describir estas memorias de actividad profesional.

A mis profesores, el Dr. Juan Segundo Ramírez, la Dr. Nancy Visairo Cruz y el Dr. Ciro Núñez Gutierrez, por su apoyo desde el inicio de los estudios de licenciatura y maestría, por su tiempo, esfuerzo y apoyo que me brindaron en cada clase, revisión de trabajos y en el proceso de este documento.

En especial a mi esposa que siempre me mostró su apoyo y paciencia durante el tiempo de estos estudios.

Finalmente, a todos mis colegas y amigos que me brindaron su apoyo, tiempo e información para lograr de este objetivo.

Resumen:

Una de las ramas de la maestría en sistemas eléctricos de potencia se enfoca en su correcta operación. Estos estudios, en conjunto con la experiencia profesional, me han ayudado a tener un panorama claro de la interdependencia de los diferentes sistemas de protección y su funcionamiento en las plantas industriales. Cada uno de los esquemas, diseños y estudios contribuyen a tener un sistema eléctrico robusto.

Las plantas industriales, desde su diseño inicial, deben planearse para permitir crecimientos necesarios para cumplir con la cantidad de producto que se le demanda. Esto también incluye su instalación eléctrica. En este documento describiré el proceso de la ampliación del sistema de protección, control y medición de dos plantas de producción de cemento de la empresa Cooperativa la Cruz Azul: Tula Hidalgo y Lagunas Oaxaca. Estas dos plantas aportan la mayor parte de su producción en el país.

Debido a que en ambas plantas se construyen nuevos centros o subestaciones eléctricas para la alimentación de nuevas cargas, es que la infraestructura eléctrica tuvo que ser ampliada y modernizada para satisfacer las nuevas condiciones de operación.

Por tal motivo se desarrollaron proyectos de baja, media y alta tensión para cubrir las nuevas necesidades de ambas plantas. Para esto, se ejecutaron diferentes estudios, diseños y estandarizaciones que en conjunto aportarán el sistema de protección necesario a través de relevadores microprocesados de la marca SEL (Schweitzer Engineering Laboratories), también llamados dispositivos electrónicos inteligentes (DEI).

Estos proyectos siguieron los principios básicos de protección, comunicación y control, que en general ya se encuentran establecidos en ambas plantas y que son diferentes entre sí, en ambas plantas se manejan diferentes tipos de equipamientos primarios y secundarios, debido a sus niveles de voltaje tanto del lado del suministrador como internamente dentro

de ellas, pero al buscar una estandarización por parte de Cruz Azul, los equipamientos usados en la ampliación fueron de la misma marca y muy semejantes en sus diseños.

Todas las soluciones de los diferentes sistemas diseñados tuvieron que ser enlazadas con el objetivo de crear un sistema de protección y comunicación robusto, incluso trabajando con la modernización de puntos específicos en el sistema que aportarían un mejor desempeño de planta.

Dentro de los resultados relevantes de la unión de todos los proyectos es que la operación y entrada de los nuevos equipos no han presentado ninguna falla, y tampoco han provocado algún paro en la operación de las plantas a causa de los sistemas de protección o por algún ajuste erróneo. Lo anterior es muestra de la correcta ejecución del proyecto.

Índice

I.	Resumen	08
II.	Índice	11
Introducción		13
Capítulo 1. Desarrollo del sistema en la planta de Lagunas Oaxaca		17
1.1 Sistema general en la planta de Lagunas Oaxaca		18
1.2 Ampliación en la subestación 2 de 115 kV		20
1.2.1	Sistema de protección en la subestación encapsulada	20
1.2.2	Transformadores de potencia	22
1.2.3	Sistema comunicación y control supervisorio	24
1.3 Sistema de media y baja tensión		26
1.3.1	Diseño de estandarización de equipamiento	26
1.4 Desarrollo de los estudios para la planta de Lagunas Oaxaca		32
1.4.1	Estudio de coordinación de protecciones	32
Capítulo 2. Desarrollo del sistema en la planta de Tula Hidalgo		35
2.1 Sistema general en la planta de Tula Hidalgo		36
2.2 Sistema existente de la planta Tula Hidalgo		40
2.2.1	Ampliación del sistema encapsulado	40
2.2.2	Sistemas de media tensión	41
2.3 Desarrollo de los estudios para la planta de Tula Hidalgo		42
2.3.1	Estudio de coordinación de protecciones	42
Capítulo 3. Mi experiencia profesional con la MSEP		45
3.1 Crecimiento en SEL		46
3.2 Relación de la operación del SEP industrial con la MSEP		48
Conclusiones		51
Lista de figuras		52
Bibliografía		53

Introducción

Los grandes clientes industriales tienen sistemas eléctricos complejos que requieren de sistemas de protección, control y medición (PCyM) para poder protegerlos y mantenerlos en comunicación. Estos clientes, por el tamaño de su sistema eléctrico, pueden pertenecer a ramos como el minero, automotriz o dedicados a la industria de la construcción donde sus plantas de fabricación son muy grandes; y para el sistema eléctrico son considerados como grandes fuentes de consumo.

Estas plantas de fabricación tienen infinidad de cargas distribuidas para los servicios y procesos como se requieran, por lo que sus sistemas y metodologías de protección no son iguales y pueden sufrir fallas si no están correctamente diseñados. Sin embargo, en la actualidad estos clientes ya cuentan con esquemas robustos para su protección, control, medición y comunicación gracias al interés de tener un servicio continuo, de cuidar del personal que los opera y del interés económico.

De no contar con un sistema de protección adecuado pueden sufrir problemas en su operación como disparos en falso, armónicos, problemas de balance de cargas y malos controles de consumos que pueden derivar en pérdidas de producción, daños a equipos muy costosos, cálculos de consumo erróneos y que en conjunto afectan directamente a sus ganancias.

El correcto diseño de los sistemas y esquemas de protección garantiza una operación confiable, segura y económica del sistema eléctrico; esto último es parte de los objetivos que se deben de considerar al contar con un esquema de protección.

Muchos de los clientes industriales no cuentan con una especificación para el desarrollo de sus sistemas de protección, por lo que se basan en las normas y guías de diseño que utilizan los suministradores de energía y estándares nacionales e internacionales. Al ser sistemas pequeños no requieren todas las funciones que se utilizan en las subestaciones de los

suministradores como la Comisión Federal de Electricidad (CFE), por lo que su costo es menor.

La CFE cuenta con ingenieros altamente capacitados y con la experiencia en su operación que desarrollan especificaciones particulares de construcción de sus subestaciones incluidos los sistemas de PCyM.

La CFE sigue las especificaciones generales de construcción que aplican a todos sus proyectos de acuerdo con las especialidades. La especificación que se debe de cumplir para tableros PCyM es “Tableros de protección, control, medición, supervisión y registro para unidades generadoras y subestaciones eléctricas”, especificación V6700-62 de marzo 2016. “Esta especificación tiene como objetivo principal: definir los requerimientos de fabricación, equipamiento y control de calidad de los tableros de protección, control, medición, supervisión y registro para subestaciones eléctricas” [1]. En ella no sólo se describe la parte constructiva con características mecánicas de los tableros PCyM, sino que también describe de forma general las funciones necesarias de protección para los elementos y protocolos de comunicación de los equipos a proteger.

Algunos de los clientes industriales, y en el caso particular de Cruz Azul, no cuentan con una especificación para los sistemas PCyM. Debido a esto, se diseñó, en conjunto con los ingenieros del departamento de construcción de Cruz Azul y los líderes de protecciones de SEL, una especificación basada en la misma norma que utiliza la CFE, pero con las funciones necesarias y los medios de comunicación que se adapten a su sistema actual en funcionamiento.

Dentro de ambas plantas de Cruz Azul, los sistemas diseñados por SEL tienen más de 9 años en operación, que comenzaron como protecciones de algunos de sus equipos como motores y tableros de distribución metal-clad; sin embargo, han evolucionado con el crecimiento y confiabilidad de éstos, haciendo soluciones de protección y comunicación completas para subestaciones internas y principales, como es el caso de las nuevas ampliaciones que se están construyendo.

Mi participación dentro de los proyectos con Cruz Azul se enfocó en la administración técnica y económica de cada uno de ellos, incluyendo el alcance, construcción y puesta en servicio de cada uno. El conocimiento que he adquirido en la maestría en conjunto con mi experiencia en diseño de sistemas PCyM me ha permitido trabajar de forma integral la teoría y la práctica, buscando las mejores soluciones para la operación de sus sistemas eléctricos y buscando nuevas oportunidades de proyectos para Cooperativa la Cruz Azul. De manera específica, en este documento explicaré los trabajos realizados en las plantas de Lagunas Oaxaca y Tula Hidalgo.

Descripción del problema

El cliente Cooperativa la Cruz Azul actualmente se encuentra en una etapa de expansión de la capacidad en dos de sus plantas, por lo que su infraestructura está cambiando con la construcción de nuevos procesos para esta ampliación. Como consecuencia, su sistema eléctrico también se encuentra en modificaciones y crecimiento para cubrir la capacidad de las nuevas cargas eléctricas que se instalarán.

En estos cambios ambas plantas han tenido que aumentar su capacidad para cubrir la nueva demanda, por lo que han hecho modificaciones que han requerido la adquisición de nuevos equipos como transformadores de potencia, transformadores tipo seco, variadores de velocidad para motores con voltaje de alimentación de media tensión y subestaciones de tipo compacto (GIS) para su acometida.

En los requerimientos del crecimiento de su carga, el suministrador de la energía eléctrica les ha solicitado adaptarse al nuevo código de red con nuevos elementos de medición, registro de perturbaciones, análisis de la calidad de energía y comunicación de acuerdo con el estudio de instalaciones hecho por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE). Por lo que, en conjunto con los equipos de ingeniería de protecciones, automatización y comunicaciones, se tuvieron que desarrollar diferentes tipos de sistemas integrados que se adaptarían a su sistema actual, proponiendo soluciones que actualizarían su sistema de forma gradual y ponerlos en servicio de acuerdo con las necesidades del avance de sus ampliaciones en los trabajos de su propia expansión.

En los trabajos y diseños realizados se estandarizaron ciertos tipos de sistemas de protección y comunicación para la actualización de sus sistemas PCyM, esto con el fin de simplificar los trabajos de construcción y puestas en servicio de éstos, creando una solución que se ocuparía en diferentes partes de sus expansiones, incluyéndolos en su sistema actual y complementando los nuevos requerimientos de protección para sus nuevos equipos.

Capítulo 1

Desarrollo del sistema en la planta de Lagunas Oaxaca

En este capítulo describiré los proyectos que se desarrollaron en la planta de Lagunas Oaxaca, su interrelación entre los diferentes niveles de voltaje que existen en su operación normal y dentro de su ampliación. También se abordarán aquellos casos en los cuales se puede realizar un análisis detallado para mostrar la relación entre cada uno de los resultados que se obtuvieron para su operación.

Asimismo, se describirán los trabajos realizados dentro de las subestaciones eléctricas de la planta de Lagunas, los estudios, diseños y puestas en servicios de diferentes tableros PCyM describiendo su correcta operación y manteniendo un sistema continuo.

La operación del sistema de protección existente cuenta con un subsistema de comunicación de los diferentes equipos de protección, medición y control. En esta, los medios como cables de fibra óptica y sus protocolos de comunicación deben ser eficientes y capaces de soportar la cantidad de señales que puedan distribuirse a través de ellos, al existir una ampliación deben ser rediseñados para soportar estos nuevos equipos. Describiré el trabajo realizado para la ampliación y el sistema de comunicación existente, incluyendo algunas de las pruebas realizadas y de forma breve el programa de monitoreo que se utiliza.

Presentaré el análisis y el diseño de los sistemas de protección que se añadieron para cada nuevo elemento primario, desde el resultado de los estudios de operación de cada elemento y el diseño, hasta la configuración de los relevadores y puesta en marcha.

1.1 Sistema general en la planta de Lagunas Oaxaca

La planta ubicada en la ciudad de Lagunas Oaxaca es una de las 5 plantas que forman parte del grupo Cooperativa la Cruz Azul. La planta Lagunas Oaxaca está ubicada en la Gerencia de Control Regional Oriental, definida por el CENACE.

Por su ubicación geográfica dentro del sistemas eléctrico nacional, se encuentra dentro de la región del Istmo de Tehuantepec, en esta región se encuentra una de las reservas de parques eólicos con una generación aproximada de 659 MW, distribuidos en 7 parques de generación con aproximadamente 1500 aerogeneradores.

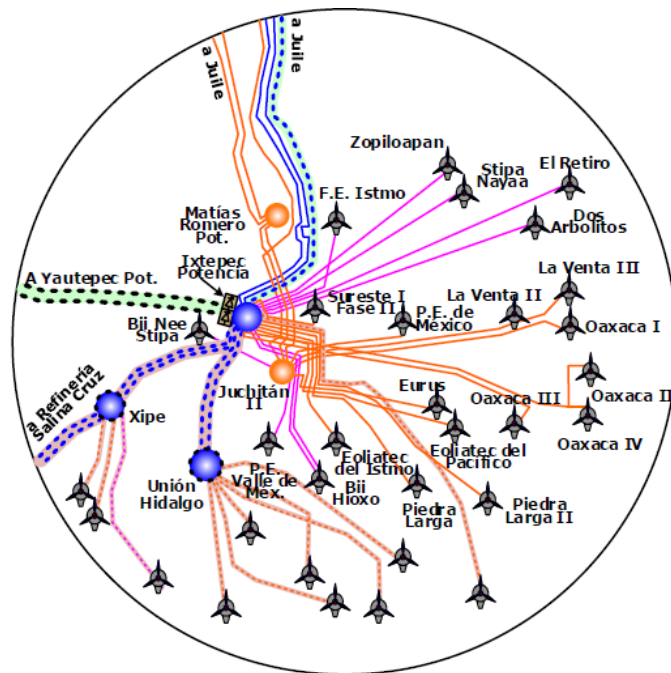


Figura 1.1. Parques Eólicos en el Istmo de Tehuantepec. [2]

En la **Figura 1.1** se muestran los enlaces de generación eólica que pertenecen a la zona de Ixtepec Oaxaca, dentro del Istmo de Tehuantepec, en color naranja se muestra el nivel de tensión de 230 kV, en color magenta el nivel de tensión de 115 kV, con los cuales se distribuye la energía a través de la zona.

Para la alimentación de la planta Lagunas Oaxaca, la CFE como parte de la Subestación Eléctrica S.E. Matías Romero tiene el extremo de la línea a 30 km que alimenta a la subestación de Cementos Cruz Azul, como se muestra en la **Figura 1.2**, su voltaje de operación es de 115 kV. La acometida para la planta se encuentra dentro de la S.E. Cementos Cruz Azul, ésta es manejada por la CFE, por lo que

no es parte de las instalaciones; sin embargo, como parte de su crecimiento tuvieron que ser modificados varios de sus elementos de medición de corriente y voltaje para cumplir con el código de red que requiere el CENACE. [2]

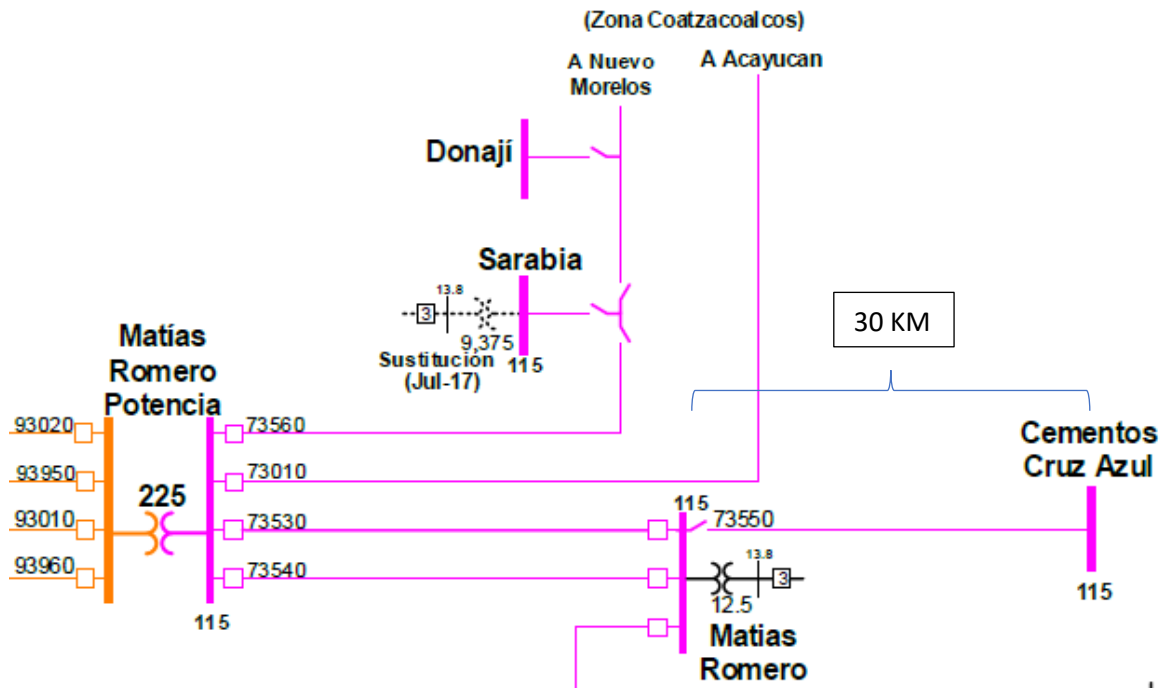


Figura 1.2. Conexiones de la subestación en la Gerencia Oriental de la zona de Tehuantepec. [2]

Dentro de la planta Lagunas Oaxaca en su sistema eléctrico general, se pueden encontrar tres voltajes diferentes para la distribución de la energía:

En el voltaje de 115 kV se encuentra un bus dentro de la subestación principal, la cual distribuye a 5 celdas que se encuentran dentro de una subestación encapsulada en SF6, tres de estas celdas alimentan a 3 transformadores de potencia, uno de los cuales es parte de la ampliación para los nuevos circuitos de los procesos de la nueva línea de producción, los cuales tienen los voltajes de 115 kV a 13.2 kV.

En media tensión el voltaje de 13.2 kV es con el cual se distribuye la energía a través de la planta para los diferentes procesos, dentro de la subestación principal se alimentan varias celdas en este voltaje que son parte de la nueva ampliación de los cuales se hablará más adelante.

Los voltajes de operación de 4.16 kV / 440 V y 220/127 V se requieren para los nuevos equipos que son parte de los nuevos procesos, distribución en los cuartos de control o servicios propios de los mismos.

1.2 Ampliación en la subestación 2 de 115 kV

La ampliación de la subestación principal fue uno de los proyectos más importantes para la planta y que forma parte de la ampliación su sistema eléctrico, en cual tuve la oportunidad de ser líder y mi participación fue la administración del diseño, construcción, pruebas y puesta en servicio de nuevos tableros PCyM que actualizarían el esquema de protección de los nuevos equipos de esta subestación.

Para esta subestación, SEL diseñó un sistema de PCyM para los nuevos equipos incluyendo las modificaciones que se realizarían a la subestación de 115 kV. En este proyecto se incluyeron las siguientes secciones:

1. Sección de acometida del interruptor principal en 115 kV
2. Sección de protección de diferencial de barras en 115 kV
3. Secciones de protección de transformador de potencia para TR3, TR4 y TR5
4. Secciones de protección de alimentadores en media tensión 13.8 kV
5. Sección de control supervisorio, interfaz humano máquina (IHM)

Para estos trabajos, el personal de la planta en conjunto con los contratistas involucrados creó un plan de trabajo que se dividió en varios objetivos:

1. Energización de la subestación encapsulada de 115 kV.
2. Energización del transformador TR5.
3. Energización de los transformadores TR3 y TR4.

1.2.1 Sistema de protección en la subestación encapsulada de 115 kV

El primer paso para la energización de los transformadores de la subestación principal fue la alimentación y energización de la subestación encapsulada marca SIEMENS de 115 kV ubicada en

un nuevo cuarto de control, como lo muestra la **Figura 1.3**, por lo que se realizaron adecuaciones a la instalación existente de la subestación principal en específico a los equipos que forman parte de la barra de 115 kV ubicada en la parte de la subestación existente en el patio de esta.

Esta subestación se diseñó considerando los transformadores existentes TR3 y TR4, agregando el nuevo transformador TR5 que alimenta a las nuevas instalaciones y dejando 2 celdas disponibles para una futura ampliación, esto se puede observar más claramente en la Figura 1.3 donde se pueden ver claramente las 5 celdas que son parte de la subestación tipo GIS por sus siglas en inglés **Gas Insulated Switchgear**.

Las modificaciones que se realizaron sobre el bus de 115 kV, fue la instalación de cables de potencia tipo subterráneos para hacer una transición de la subestación existente aérea al cuarto de control. Esto con el objetivo de energizar la nueva barra del bus de 115 kV ubicada dentro de la subestación encapsulada.

Para este punto, dentro del proyecto de SEL se tuvieron que poner en servicio algunas de las secciones para la correcta operación del equipo, estas secciones fueron la del interruptor principal, la sección de diferencial de barras y la sección de control supervisorio.



Figura 1.3. Subestación encapsulada de 115kV. Trabajos de puesta en servicio.

1.2.2 Transformadores de potencia.

Energización del transformador TR5.

El equipo de construcción y mantenimiento de la Cooperativa la Cruz Azul decidieron poner en mantenimiento general los transformadores que se encontraban en operación TR3 y TR4, por lo que al contar con un transformador nuevo TR5 mostrado en la **Figura 1.4** se decidió que éste tomaría la carga completa de la planta por un periodo de tiempo corto. En este momento los sistemas de protección diseñados por SEL no estaban diseñados para esta topología.

Con el objetivo anterior, se tuvieron que hacer diferentes modificaciones a los nuevos tableros PCyM, ya que el sistema PCyM con que contaban carecía de varias funciones de protección que debían de considerarse para el correcto funcionamiento.

En una libranza de tres días, el equipo de operación de la subestación realizó las actividades necesarias para que el transformador tomara la carga de la planta, por lo que tuvimos que poner en servicio el tablero que correspondía a la protección del transformador TR5, realizando también modificaciones al cableado de control de otras secciones, para que los disparos por las funciones principales y de respaldo accionaran de forma correcta.



Figura 1.4. Transformador de potencia TR5

Energización de los transformadores TR3 y TR4.

Una vez que en los transformadores existentes TR3 y TR4 se concluyeron los trabajos de mantenimiento general, se realizó su energización. Para este trabajo nuevamente se tuvo que realizar una libranza a la planta.

En este periodo se desarrollaron los trabajos de las modificaciones necesarias para que el transformador TR5 tomara la carga de planta completa, para posteriormente regresar las conexiones correctas del lado de alta tensión a los tres transformadores.

Las personas que participaron por parte de SEL desarrollaron los trabajos necesarios para poner en servicio los tableros PCyM, correspondientes a los transformadores TR3 y TR4, como se muestra en la **Figura 1.5**. En el diagrama unifilar de ambos transformadores se observa que sus características son similares, por lo que el desarrollo y resultados de las pruebas realizadas durante esta libranza se enfocaron en:

- Regresar al diseño original retirando las modificaciones realizadas al sistema existente.
- Pruebas de operación de los interruptores de la GIS que alimentan a los transformadores desde los tableros PCyM.
- Energización y puesta en marcha de las secciones PCyM de los transformadores TR3 y TR4.
- Energización y puesta en marcha de la sección PCyM del transformador TR5
- Pruebas al bus de alta y media tensión desde sus tableros PCyM relacionados.

Por lo que todos los tableros PCyM de este proyecto deberían estar en operación para la protección de la ampliación y de la subestación general.

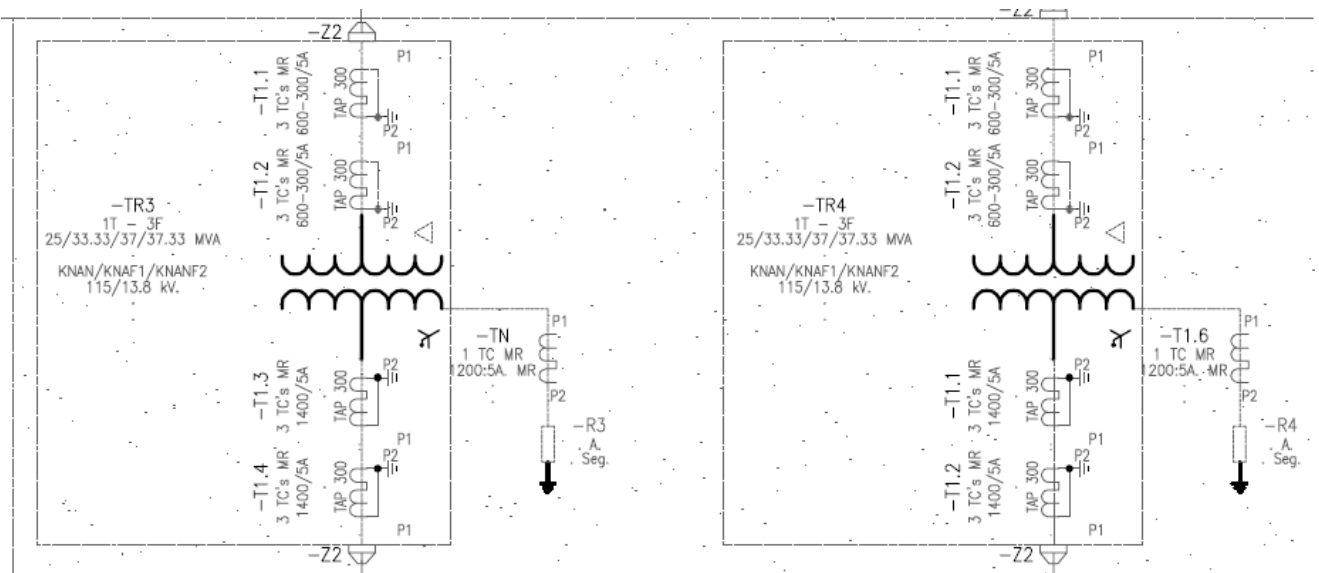


Figura 1.5. Diagrama unifilar de los transformadores TR3 y TR4

1.2.3 Sistema comunicación y control supervisorio

Dentro de la sección de control supervisorio se encuentra la señalización, control y monitoreo de los equipos desde una IHM, conformada por una consola hecha por una computadora SEL-3355 [4] tipo industrial y una pantalla táctil que muestra el diagrama unifilar de la subestación. En esta computadora se encuentra un software de visualización que cuenta con una licencia llamada cuádruple redundante esto significa que hay cuatro estaciones más donde se puede observar, controlar, monitorear y operar todo el sistema.

En la **Figura 1.6** se muestra la pantalla del software del interfaz humano-máquina (IHM) con el diagrama unifilar de la planta representando gráficamente los equipos que lo conforman y divididos por los voltajes de operación en diferentes colores para su identificación. Esta es solo una de las pantallas del software, ya que cada cuarto de control cuenta con la representación gráfica del equipamiento que se encuentra en él.

La comunicación de la planta se hace a través de cables de fibra óptica F.O. instalada a través de ductos y trincheras por las instalaciones de la planta, estas se interconectan entre los cuartos de control considerando las instalaciones existentes y las nuevas. En este anillo de fibra óptica se envían los datos a las consolas principales, estas consolas se ubican en varios de los tableros PCyM que son parte de los sistemas de cada una de las subestaciones, los protocolos de comunicación DNP3,

Modbus y IEC-61850 son los más utilizados ya que los equipos instalados pueden establecer su comunicación a través de ellos ya sean de la marca SEL u otros.

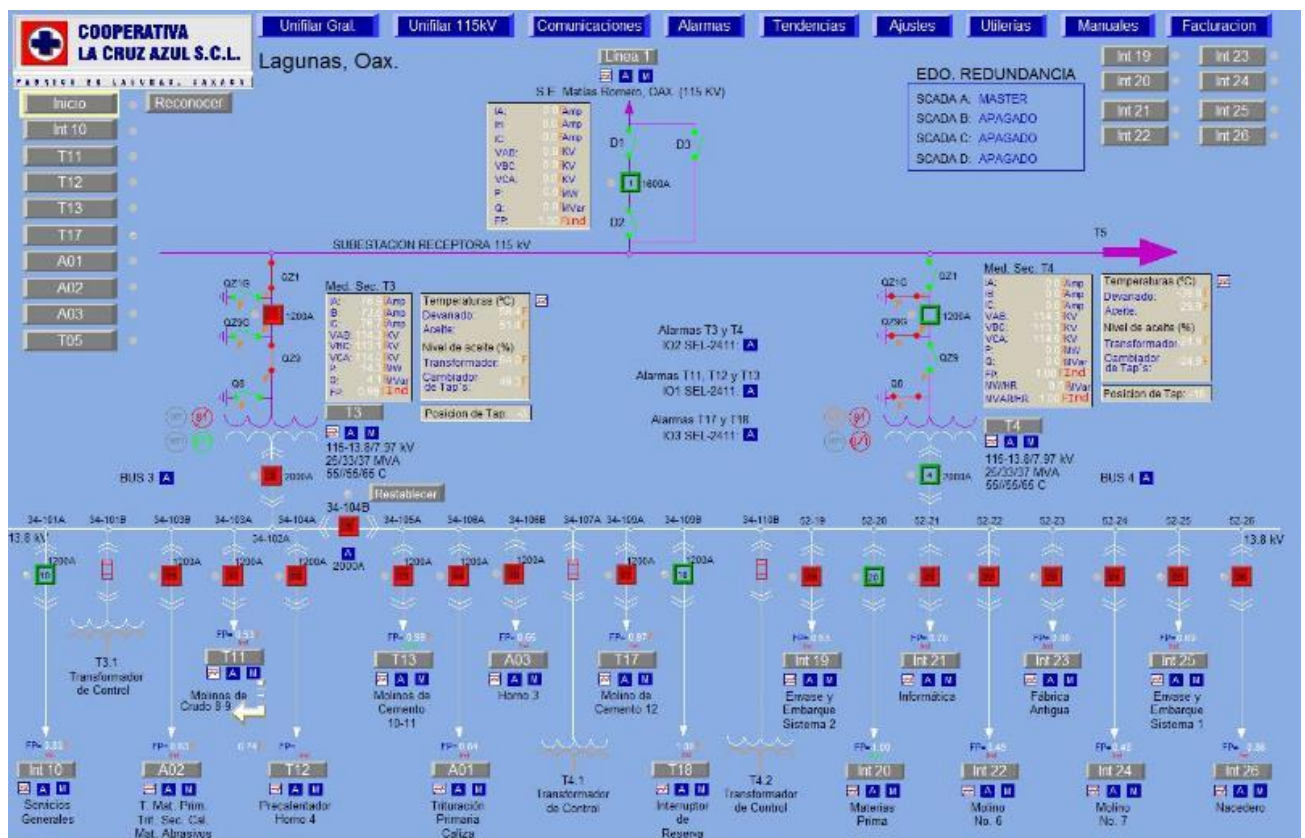


Figura 1.6. Pantalla principal de la IHM de la subestación de 115 kV.

El objetivo más importante de esta sección es el mantener cada uno de los sitios conectados y monitoreados a través de sus canales de comunicación, la base de datos que es parte del sistema general lleva cada una de las alarmas, controles y operaciones de cada uno de los relevadores instalados en los tableros PCyM, esta se debe actualizar en cada uno de los proyectos ejecutados, incluso en los más pequeños, para obtener y mantener su operación correctamente. Por lo que es de alta importancia que cada cambio realizado se refleje en el software de IHM.

Para garantizar su correcta operación, uno de los proyectos donde estuve involucrado fue en la revisión de las F.O. existentes dentro de la planta, esto se realizó con personal calificado quienes desarrollaron pruebas con el equipo OTDR *Optical Time Domain Reflectometer*; este equipo se utiliza para estimar la longitud de la fibra, su atenuación incluyendo pérdidas por empalmes o conectores y, como objetivo primordial, detectar fallas o roturas de la fibra.

Un OTDR consta de una fuente de diodo láser, un detector de fotodiodos y un circuito temporizador (o base de tiempo) de alta precisión. El láser emite un pulso de luz con una determinada longitud de onda y este pulso de luz se transmite a lo largo de la fibra sometida a las pruebas. A medida que el pulso de luz se desplaza por la fibra, partes de la luz transmitida se reflejan o refractan, o se retrodispersan por la fibra hacia el fotodetector del OTDR [5]. La intensidad de esta luz de retorno y el tiempo que tarda en volver al detector indican el valor de la pérdida (por inserción y reflexión), el tipo y la ubicación de un evento en el enlace de la fibra.

Dentro de los resultados obtenidos en este proyecto, fueron el mantenimiento general y la realización de 292 pruebas a los cables de FO para conocer los puntos de riesgos y cables con falla para poder descartarlos en la operación de la transferencia de datos.

1.3 Sistema de media y baja tensión

1.3.1 Diseño de estandarización de equipamiento

La mayoría de los proyectos para la planta Lagunas Oaxaca incluyen las secciones llamadas alimentadores, nombrados como en la norma de CFE- V6700-62 de marzo del 2016 como secciones tipo LT-5 [1], donde se describe con las iniciales LT como línea de transmisión y el número 5 se refiere al nivel de voltaje de alimentación de 34.5 kV o menores, por lo que se realizó una estandarización del equipamiento, tipo de gabinete, funciones de protección y protocolos de comunicación para poder reducir el tiempo de ingeniería, fabricación y tiempo de entrega.

Estos proyectos se generaron con el objetivo de la protección de los alimentadores que son parte de los nuevos equipos que distribuyen la energía a los dispositivos como motores, transformadores, variadores de velocidad, centro de motores que son parte de los procesos de producción.

En la norma de CFE-V6700-62 donde se basa el proceso de diseño en ella se muestra la Tabla 1.1 con la descripción del equipamiento necesario para cumplir para una sección que se entregaría y sería parte de las subestaciones de la CFE, sin embargo, al ser un usuario industrial no requiere todos los elementos mencionados.

Tabla 1.1 Sección tipo LT-5, Sección tipo de alimentadores de 34.5, 23.0 y 13.8 kV con PPA (protección principal de alimentador). [1]

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN ANSI	OBSERVACIONES	USUARIO
1 esquema por alimentador	Relevador de sobrecorriente	50/51	Relevadores independientes	CFE / Industrial
1 por interruptor	Módulo de control y adquisición de datos (MCAD)	MCAD	Con base a la arquitectura SAS (Sistema automatizado de subestaciones) este equipo se debe instalar en campo en Gabinete. Sólo en casos de modernización se requiere en tablero sección tipo IN (integral)	CFE / industrial
1 por sección	Dispositivo de entrada y salida para sección ID (integral distribución)	DEI E/S	Aplica para secciones ID	CFE/ Industrial
1	Controles emergentes		Solo para secciones tipo ID	CFE/ Industrial
1	Convertidores de Contacto a F.O. (Cu/FO)	Cu/FO	Para enviar señales de disparo 2 con base a la arquitectura de la SAS	CFE
1	Medidor Multifunción	MM	Las funciones de medición a nivel superior son a través del medidor multifunción	CFE/ Industrial
1	LAN-Switch Capa 2	Switch	Con base a la arquitectura de la SAS o SCADA para la integración de todos los equipos	CFE/ Industrial

Utilizando la **Tabla 1.1** como referencia se estandarizó un equipamiento que cumpliera con la norma de la CFE y en especial con ambos tipos de tableros metal-clad utilizados en todos los cuartos de control.

El relevador SEL-751 con la función de sobrecorriente (50/51) [6] y el medidor multifunción SEL-735 [7] son los equipos principales que forman parte de la protección y monitoreo de cada una de las celdas de media tensión. Por sus características físicas y su tamaño, fue posible que en un tablero se pudieran colocar hasta cuatro alimentadores.

Se utilizaron equipos SEL-2440 [8] como módulos de entradas y salidas para las alarmas que se requieren para el control y monitoreo de los interruptores y enviar dicha información a través de protocolos de comunicación.

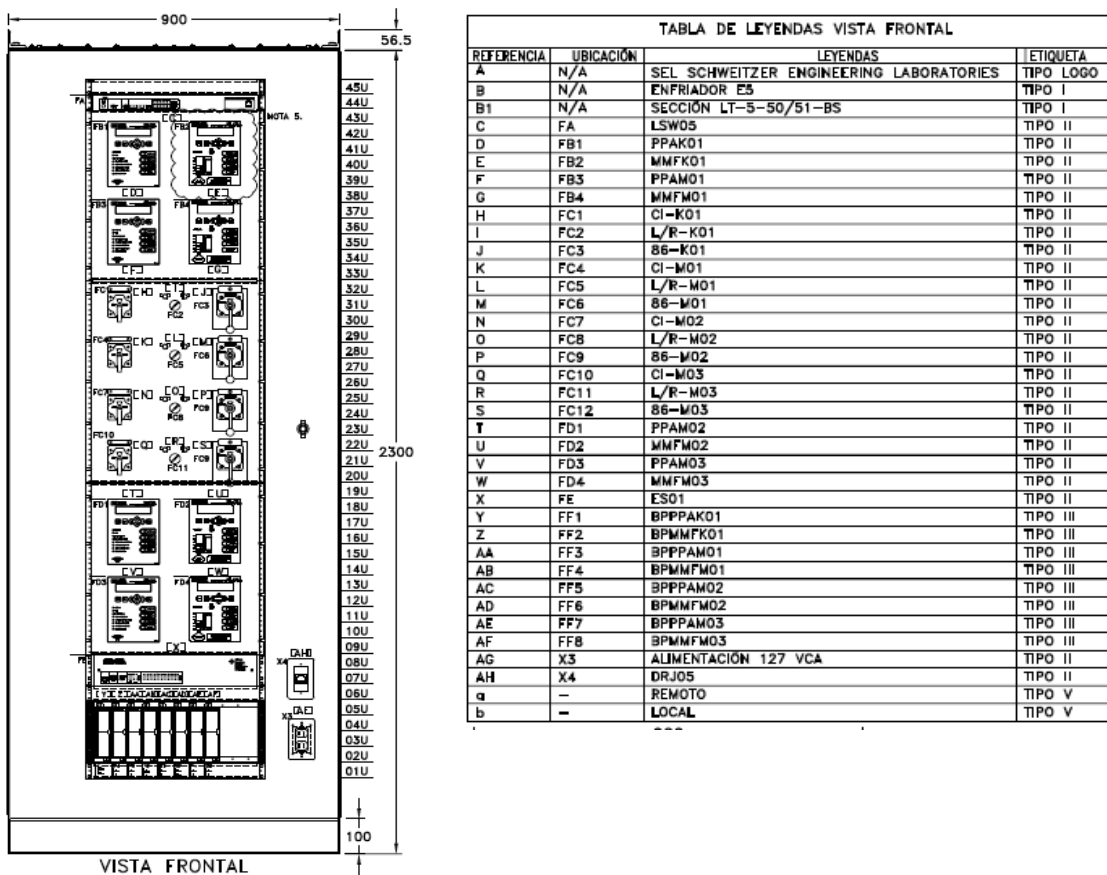


Figura 1.7. Frente de un tablero de protección de alimentadores con su tabla de leyendas.

En la **Figura 1.7** Se muestra el frente de un tablero PCyM de tipo LT-5, con el equipamiento para 4 alimentadores, también se muestra la lista de leyendas que se colocan para la identificación de los equipos, en esta se muestra la referencia a través de las letras del abecedario, su ubicación de acuerdo con su posición en el frente y la leyenda impresa en estas etiquetas.

En la planta de Lagunas se están utilizando los tableros metal-clad de la marca SIEMENS para la protección eléctrica de los equipos, estos tableros son de dos tipos principalmente:

- a) Tableros de capacidad de 4.16 kV, marca SIEMENS, 8DA10, 4.2 kV, 1250 A, 40.0 KA, 3 fases, 3 conductores, 60 Hz. Tablero encapsulado en SF6. Mostrado en la Figura 1.8, ubicados en los cuartos de control de 4.16 kV.



Figura 1.8, Frente de los tableros de interruptores marca SIEMENS tipo 8DA10.

- b) Tableros de capacidad de 13.2 kV, marca SIEMENS, NXPLUS C, 13.8 kV, 1520 A, 31.5 kA, 60 Hz Tablero encapsulado en SF6. En la **Figura 1.9** se muestran dos tableros de este tipo ubicados en el cuarto de control de la subestación principal.



Figura 1.9. Vista frontal de los tableros de las celdas SIEMENS NXPLIS C.

Con base a estos tipos de subestaciones se definieron los tipos de secciones de alimentadores antes mencionados que se diseñaron de acuerdo con sus diagramas unifilares y la información de cada uno de los tableros metal-clad que alimentan a los equipos.

Para el desarrollo del diseño, montaje, cableado y operación de los tableros de alimentadores se identificó que el modelo de gabinete mecánico adecuado es el tipo “Swing rack con acceso frontal y trasero a las tablillas”, este gabinete con un frente abatible 120° con el cual se puede tener acceso al frente y en la parte trasera se puede tener acceso al sub-panel colocado para la instalación de tablillas o puntos de conexión.

Las dimensiones de este gabinete son 900 mm de ancho, 800 mm de profundidad y 2300 mm de alto, el material de fabricación es acero rolado en frío, calibre 11, el color estándar para Cruz Azul es RAL 6027, con un grado de protección NEMA 12.

Este modelo de construcción de gabinete o tablero, mostrado en la **Figura 1.10**, posee una gran ventaja por el espacio donde se pueden instalar varios equipos y puntos de conexión para la llegada de señales necesarias al tablero. Este tablero cuenta con cuatro sub-paneles ubicados en las diferentes caras del armario, los cuales son utilizados para la distribución completa del equipo auxiliar y el cableado.

En el frente abatible se cuenta con el espacio suficiente para tener un rack estándar de 19 pulgadas pre barrenado conforme a EIA/ECA 310, y 45 unidades de rack, cada unidad rack (UR) mide 1.75 pulgadas.

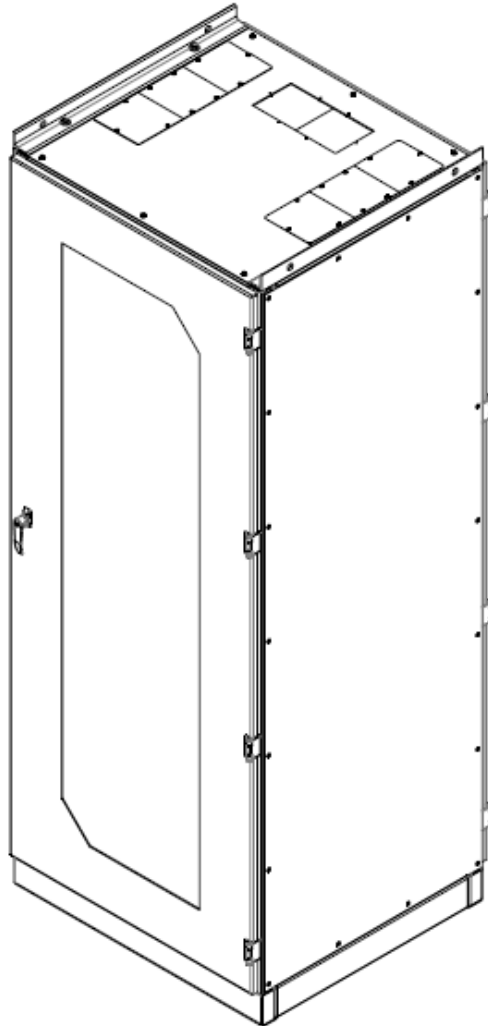


Figura 1.10. Diagrama isométrico del gabinete swing rack.

1.4 Desarrollo de los estudios para la planta de Lagunas Oaxaca

1.4.1 Estudio de coordinación de protecciones

El estudio más importante para los elementos de protección son el estudio de coordinación de protecciones, este tipo de estudio define el comportamiento de los elementos del sistema eléctrico para buscar la menor afectación de la continuidad de la operación ante el desarrollo de fallas por un corto circuito, cuidando la integridad de las personas que operan el sistema y los equipos que lo conforman.

Con base a las materias de la MSEP enfocadas a la operación del sistema, este estudio se identifica como uno de los estudios previos que deben de realizarse en el diseño de los sistemas eléctricos, donde su objetivo es generar los parámetros correctos para la selección de los elementos de operación de desconexión del sistema.

“La finalidad del estudio de corto circuito es proporcionar información sobre corrientes y tensiones en un sistema eléctrico durante condiciones de falla. Esta información se requiere para determinar las características de capacidad interruptiva y momentánea de los dispositivos de protección localizados en el sistema, los cuales deberán reconocer la existencia de la falla e iniciar la operación de los dispositivos de protecciones, asegurando así, la mínima interrupción en el servicio y evitando daños a los equipos” [9].

Para la planta de Lagunas Oaxaca, el estudio realizado se dividió en dos partes, una correspondía a la ampliación de la subestación principal, donde se realizó el estudio para determinar la sección de ajustes óptimos de los dispositivos de protección, considerando las curvas de daño térmico del equipo primario que se está protegiendo y asegurando su operación de forma coordinada y confiable. [9]

La segunda parte de este estudio se enfocó en los elementos existentes, por lo que la coordinación se basó en los parámetros de los dispositivos de desconexión ubicados en las subestaciones existentes, con el objetivo de hacer la coordinación de estos de acuerdo con sus parámetros de corriente de falla y sobretensión. [10]

El estudio de coordinación de protecciones se realizó con ayuda del software especializado CYME, considerando los valores de corriente de cortocircuito obtenidos que permiten determinar el valor nominal de los fusibles, el ajuste de los puntos de disparo de los interruptores y los ajustes requeridos por los relevadores de los interruptores, con el fin de tener protecciones debidamente coordinadas de los alimentadores radiales, de acuerdo con las prácticas aceptadas. [6] [9]

Para la relación de los proyectos en los que tuve participación, este estudio fue el principio de la configuración de todos los relevadores de protección, de acuerdo con el equipo a proteger. Estos parámetros se utilizaron desde las fases de diseño para cumplir con las funciones necesarias dadas en el estudio, hasta el proceso de puesta en marcha en las subestaciones.

En cada fase de los proyectos hechos para la Cooperativa la Cruz Azul, se solicitó por parte de ellos que las pruebas tanto en fábrica como en el sitio del servicio se realizaran con la carga de ajustes de acuerdo con el estudio. Esto tuvo como resultado dos principales objetivos:

- 1.- Las pruebas de operación y características de los relevadores de protección, tuvieron los resultados semejantes al estudio de coordinación.
- 2.- En la puesta en servicio cada elemento instalado dentro del sistema eléctrico de la planta de Lagunas Oaxaca tuvo la configuración del estudio, buscando que su operación siguiera los resultados marcados.

Capítulo 2

Desarrollo del sistema en la planta de Tula Hidalgo

En este capítulo se abordarán los sistemas de protección de la planta Tula Hidalgo. Este sistema complejo cuenta con 34 subestaciones distribuidas dentro de la planta, lo que hace que su análisis sea complejo. Con relación a esta planta, me enfocaré solamente en las actualizaciones realizadas a los nuevos sistemas.

Dentro de la subestación principal y la inclusión de nuevos equipos del lado de alta y de media tensión, el sistema tuvo cambios que requirieron un estudio previo de coordinación de protecciones y cortocircuito, de los cuales se hablará más adelante.

Otro de los cambios que se describirán en este capítulo, es el relacionado con el sistema de comunicación, el cual ha tenido modificaciones mayores por el tipo de equipamiento que se ha diseñado para las nuevas subestaciones. El método de comunicación apropiado debe ser adaptativo, para poder seguir siendo parte del sistema general, combinando los nuevos protocolos de comunicación con los anteriores.

La estandarización de los relevadores de media tensión también fueron aplicados en esta planta.

De este modo, el desarrollo de los proyectos de media tensión es parte esencial de los estudios y sistemas para el análisis que aquí se presenta.

2.1 Sistema general en la planta Tula Hidalgo

La planta ubicada en Tula Hidalgo es parte del sistema en la región de la Zona Valle de México marcada por el CENACE, esta zona es primordial en el sistema eléctrico ya que se encuentra en el centro del país, cerca de esta región también se encuentra la refinería de Tula, una de las grandes cargas del país. En la **Figura 2.1** se muestra parte la zona del Valle de México, como se definió en el capítulo anterior el color naranja representa las líneas de transmisión en 230 kV.



Figura 2.1. Ubicación de la subestación Cruz Azul en la Zona Valle de México. [2]

La alimentación de la subestación de la planta Tula Hidalgo llamada S.E. Cruz Azul se realiza directamente a la subestación de 230 kV en C.C. Tula de que es parte de la red de 230 kV de la CFE, este sistema distribuye a otras subestaciones del ramo industrial, como las subestaciones de Aguas Residuales y la subestación de Nochistongo en 230 kV como se muestra en la **Figura 2.2**.

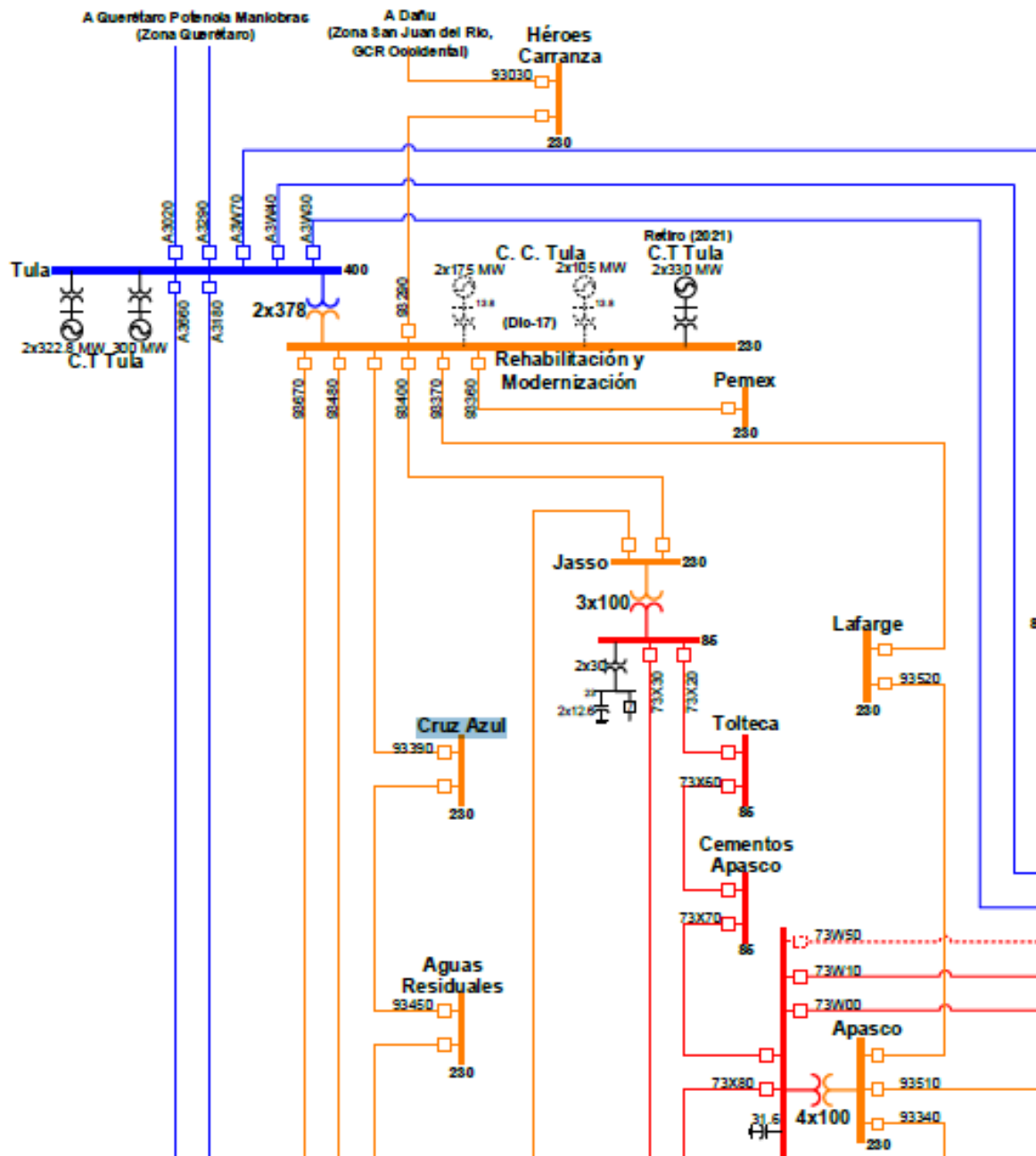


Figura 2.2. Conexiones de la subestación en la zona Valle de México. [2]



Figura 2.3. Línea de transmisión en 230 kV para alimentación de la planta

La conexión en el sistema de la subestación principal de la planta Tula Hidalgo donde se ubican los equipos que pertenecen a la CFE cuenta con una barra en 230 kV la cual se alimenta a través de una línea de transmisión como se muestra en la Figura 2.3, esta distribuye el voltaje en la barra a 3 transformadores de potencia con sus niveles de transformación de 230 kV a 85 kV los cuales se muestran en la Figura 2.4.



Figura 2.4. Transformadores de potencia 230/85 kV acometida principal de la subestación Cruz Azul.

En el proyecto de la ampliación que corresponde a esta planta (Tula Hidalgo) se realizó dentro de una de las barras de 85 kV, donde se realizaría una extensión a través de cables de potencia y agregando un equipo de cuchilla a la subestación encapsulada en SF6 existente.

Esta ampliación a la barra conectaría a un transformador de potencia de 85 kV a 4.16 kV, con el cual se alimentará a los nuevos tableros de media tensión tipo metal-clad que son parte de las alimentaciones a los nuevos sistemas de producción.

2.2 Sistema existente de la planta Tula Hidalgo

2.2.1 Ampliación del sistema encapsulado

Cooperativa la Cruz Azul decidió que debería ser ampliada la barra de 85 kV con un equipo encapsulado en SF₆, igual al existente. Este estaría dentro de los cuartos que forman parte de la subestación, por lo que el proyecto donde se involucró mi participación al sistema de protección que se diseñó fue para la protección de un transformador de potencia de 85/4.16/2.401 kV llamado TR8, en el cual del lado de alta tensión se conectaría a la barra a través de la cuchilla antes mencionada, como se muestra en la **Figura 2.5** y del lado de baja tensión se agregarían los alimentadores en 4.16 kV.



Figura 2.5. Cuchilla aislada en SF₆, planta de Cooperativa la Cruz Azul planta Hidalgo

Para este sistema se diseñaron varios tableros de protección los cuales abarcarían los nuevos equipos. Dentro de esta subestación también se encuentran otras secciones que son parte de los equipos existentes, por lo que fue necesario hacer compatible el sistema que se diseñaría para los elementos nuevos con los existentes.

Dentro del sistema en operación se encuentran las siguientes secciones:

1. Sección de control supervisorio IHM
2. Sección de diferencial de barras en 85 kV
3. Sección de acometida en 85 kV
4. Secciones de transformadores T5, T6 y T7
5. Sección de alimentador e interruptor de amarre en 85 kV.

Dentro de esta subestación se agrega la sección para la protección del nuevo transformador TR8 y sus adaptaciones en las secciones existentes. Las otras secciones que son parte de este proyecto son las secciones de alimentadores de baja tensión. Estos alimentadores quedaron en un segundo cuarto de control, en el cual se encontraban los tableros de los alimentadores existentes y realizando las modificaciones al sistema de comunicación existente para agregar los nuevos tableros.

Para este proyecto se tuvo que trabajar con un módulo de adquisición de datos MCAD de la marca SIEMENS, con el cual los mandos de señales y alarmas, que son parte del equipamiento de la ampliación serían enviados a los tableros PCyM y la IHM existente.

Dentro de la puesta en servicio de estas secciones, se tuvieron que realizar las adecuaciones para que la sección de diferencial de barras contara con las protecciones del 86B, el llamado barrido de bus 85 kV, por lo que se agregaron los disparos y bloqueos por contactos de un relevador auxiliar, para complementar el esquema de esta protección a cada uno de los alimentadores existentes.

En el tema de la IHM, el sistema de comunicación se actualizó igual que en la planta de Lagunas Oaxaca, con una licencia cuádruple redundante, por lo que dentro de la planta existen 3 sitios más que pueden observar las mismas pantallas para la operación global del sistema.

2.2.2 Sistemas de media tensión

Para los tableros de media tensión se siguieron los mismos principios de diseño que en los realizados para la planta de Lagunas Oaxaca. En estos proyectos, la identificación y el conocimiento de los

equipos primarios de la marca SIEMENS, hizo posible que, para todos los proyectos de media y baja tensión, el equipo a utilizar fuera el mismo en cada una de las subestaciones o cuartos de control.

En los proyectos de media tensión, donde participé, el conocimiento de los sistemas de la planta me ayudó a identificar de mejor forma el tiempo de ejecución en cada uno de los proyectos. Ya que por la construcción en la que se encuentra el desarrollo de la planta se tenían que desfasar de acuerdo con los avances de los procesos en construcción.

En estos proyectos participaron 4 empresas diferentes, en ambas plantas el desarrollo de los sistemas de protección fue hecho por la empresa SEL, esto por solicitud de Cooperativa la Cruz Azul. En cada una de las empresas involucradas se realizaron revisiones de sus equipos, para conocer de forma personalizada cada uno de los sistemas de protección y comunicación que requerían, pero manteniendo el estándar ya hecho sobre el equipamiento y métodos de protección.

2.3 Desarrollo de los estudios para la planta de Tula Hidalgo

2.3.1 Estudio de coordinación de protecciones

“El estudio realizado para esta planta tuvo el objetivo de evaluar la coordinación de los equipos de protección de la subestación de 85 /41.16 kV en conjunto con la ampliación No.2 de la GIS más el transformador con la capacidad de 22/30 MVA determinando la selección y ajustes óptimos de los dispositivos de protección, considerando las curvas de daño térmico del equipo primario que se estaba protegiendo y asegurando su correcta operación en forma confiable y coordinada, esto último ante las condiciones de operación contra sobrecargas y fallas con base a las recomendaciones internacionales como son la IEEE e IEC y cumpliendo los requisitos que establece la NOM-001-2012” [11].

Estos estudios de protección para la planta fueron desarrollados por el equipo de ingeniería especializada dentro del equipo de SEL México, por lo que los valores que se obtuvieron en las simulaciones se configuraron en cada uno de los relevadores de los proyectos que se han construido para ambas plantas.

En todos los proyectos donde tuve participación, la solicitud del cliente con respecto a estos valores, fue que desde el inicio de las pruebas en fábrica y pruebas en sitio, se desarrollaran con los valores obtenidos con el estudio.

Para esta planta, el equipo de ingeniería especializada también desarrolló otro tipo de reportes, los cuales han sido desarrollados y se encuentran en operación. Estos reportes fueron:

- Reporte de análisis de armónicos para la calidad de la energía.
- Reporte de análisis de flujos para calidad de la energía.
- Reporte de mediciones para calidad de la energía.

Capítulo 3

Mi experiencia profesional con la MSEP

En este último capítulo describiré la relación que existe entre cada uno de los sistemas analizados de forma general, tomando los principios aprendidos en las materias de la maestría en el área de la operación de los sistemas. Describiré los resultados obtenidos con base en el resultado de cada servicio.

En algunas de las soluciones el precedente de cada una de las materias que se dan en la maestría toma relevancia para poder generar las soluciones y trabajos necesarios para el correcto desarrollo de cada uno de los proyectos.

3.1 Crecimiento en SEL

La descripción de la experiencia laboral que he adquirido en estos últimos 10 años sobre el campo de los sistemas eléctricos de potencia (SEP) inició cuando comencé a laborar en la empresa Schweitzer Engineering Laboratories, S.A. de C.V. (SEL México). Ahí inicié en el año 2010 y continuo ahí a la fecha.

Schweitzer Engineering Laboratories es una empresa internacional que inventa, diseña y fabrica productos y sistemas digitales que protegen las redes eléctricas de todo el mundo. Su historia comienza en el año de 1984, con el Dr. Edmund O. Schweitzer III fundador de la empresa, inventó el primer relevador de protección digital y revolucionó la tecnología de los dispositivos electrónicos inteligentes (DEI) para la protección de las subestaciones eléctricas transformando la tecnología analógica a la digital. Su corporativo radica en la ciudad de Pullman, Washington, Estados Unidos; cuenta con diferentes fábricas para el diseño, construcción y distribución de los dispositivos inteligentes dentro de este país. En la Figura 3.1 se muestra el logo de SEL.



Figura 3.1. Logo de Schweitzer Engineering Laboratories.

SEL México, ubicada en la ciudad de San Luis Potosí, es la fábrica más grande fuera Estados Unidos, en ella se diseñan y construyen tableros de PCyM para el mercado nacional. El principal usuario final es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y empresas particulares. Dentro de SEL México se encuentra la Dirección Manufactura de Tableros y la Dirección de Servicios de Ingeniería; en esta última se brindan soluciones y servicios completos de protección, automatización, comunicaciones y medición para infraestructuras eléctricas críticas.

Cuando inicié en esta empresa en el año de 2010, mi primer puesto fue **Dibujante Técnico** en la división de sistemas integrales de PCyM, donde mi principal función era dibujar en planos esquemáticos y arreglos generales de equipos, circuitos de control, protección y comunicación de los equipos más importantes de una subestación como lo son los transformadores de potencia, interruptores con cuchillas de desconexión, reactores, líneas de transmisión y plasmar las

arquitecturas del cableado de comunicación, todo con base en las especificaciones de construcción descrita por los clientes como Comisión Federal de Electricidad, Luz y Fuerza del centro (LyF) y clientes internacionales.

Durante estos primeros años tuve que aprender y retomar las bases de los sistemas de PCyM de los SEP, ya que al contar con las bases teóricas de las clases de la licenciatura tuve que desarrollar el conocimiento práctico con lecturas, cursos y prácticas simples en los laboratorios y cursos de SEL. En esta etapa tuve que aprender los estándares nacionales e internacionales sobre el diseño y construcción de las subestaciones basado en sus especificaciones considerando:

- Voltajes de operación
- Arreglo de barras
- Tipos de equipos primarios
- Protocolos de comunicación

Desarrollé diseños para los procesos de la operación de generación, distribución y transmisión en sus diferentes voltajes de operación. Esto me permitió entender, conocer y analizar los circuitos que se requieren para conocer el proceso de funcionamiento de un relevador de protecciones y control. Dentro de este puesto comencé a entender las configuraciones necesarias de los diferentes relevadores de la marca SEL para las diferentes aplicaciones.

Continuando con el crecimiento en la empresa, fui por dos años más **Diseñador de Sistemas Integrados**, en este puesto estuve a cargo del diseño y plasmado de proyectos completos de las subestaciones. La administración de recursos de diseñadores y horas necesarias para cada proyecto con la estandarización de los diagramas esquemáticos de las secciones me ayudó a conocer el panorama completo del funcionamiento, integración y comunicación de un sistema de PCyM para cualquier diseño las subestaciones y arreglos. Sobre la configuración de los relevadores tuve que aprender a traducir los ajustes de configuración en diagramas lógicos (lógica booleana). En este puesto, la interacción con la parte de manufactura era clave, ya que el diseño del tablero se basa en la información que se genera.

El siguiente paso fue iniciar como **Ingeniero de Proyectos en la Especialidad de Protecciones**. En este puesto la principal función fue el hacerme cargo del diseño completo de proyectos, en sus diferentes etapas, realizando la selección del equipo necesario para la protección de los diferentes tipos de secciones que se fabrican. Otra de las funciones era el desarrollo de las configuraciones de

los relevadores y ajustes, para las funciones necesarias de protección para su correcta aplicación de acuerdo con las especificaciones de los clientes. En este periodo trabajé con diferentes clientes del mercado de Estado Unidos y nacionales, lo cual me ayudó a entender la metodología del diseño de protecciones para los diferentes mercados. Algo muy importante hasta este punto era el comprender las especificaciones aplicables a cada proyecto y en cual se basaba la construcción de los tableros.

Uno de los pasos más importantes dentro de mi crecimiento en la empresa fue el puesto de la **Jefatura del Grupo de Diseñadores** de la división de sistemas integrados, en este puesto pude desarrollar mi capacidad de liderazgo y del desarrollo del personal a mi cargo. En la parte técnica desarrollé un panorama general y estandarización de varios tipos de secciones desde el punto de vista del diseño y plasmado en planos, esto para ayudar al cliente a entender con mayor claridad los esquemas que recibían.

El puesto actual que tengo es **Ingeniero de Proyectos en el Área de Administración de Proyectos**, en esta posición se toma el liderazgo tanto técnico como administrativo de un proyecto. Con la experiencia técnica y las bases de administración, la principal función es la administración del alcance, presupuesto, fechas para el desarrollo, fabricación, entrega en sitio y su servicio de los tableros diseñados.

3.2 Relación de la operación del SEP industrial con la MSEP

La relación que existe entre el conocimiento teórico que se adquiere al estudiar la Maestría en Sistemas Eléctricos de Potencia y la experiencia de trabajar con diferentes clientes nacionales e internacionales, como la CFE y otras empresas de Estados Unidos como Entergy o AEP, me permitió conocer diferentes metodologías de los sistemas integrados de protección y comunicación.

Dentro de la maestría, las materias enfocadas a la operación de cada uno de los sistemas de potencia, me mostró la parte teórica para poder entender el desarrollo del diseño, operación y requerimientos que puede tener un sistema grande o pequeño.

En el nivel industrial los sistemas eléctricos de potencia suelen ser más pequeños en comparación a las redes a nivel nacional, por lo que sus estudios o reportes son más sencillos. Sin embargo, los

problemas en sus sistemas tienden a generar diferentes acciones que pueden provocar malas operaciones y en estos casos los costos por estos errores suelen ser altos.

Para la industria es importante contar con personal que tenga el conocimiento, la experiencia en sistemas eléctricos y proponer mejoras necesarias para sus sistemas de protecciones eléctricas siguiendo los principios básicos de estas para obtener un sistema robusto, donde los resultados de los análisis o estudios hechos por los expertos, la integración de los esquemas de comunicación logre tener un sistema adecuado, seguro y continuo en su operación.

En mi propia experiencia, el conocimiento de los esquemas de protección y los años que trabajé en el desarrollo del diseño de estos me ayudó a tener una visión clara de los temas de estudio de la maestría y lograr generar las herramientas necesarias para aportar opiniones, revisiones de ingeniería y mejoras durante cada uno de los procesos en cada uno de los proyectos.

Cuando inicié el estudio de la maestría me encontraba dentro del grupo de diseño que realizaba los esquemas de los circuitos de control para diferentes secciones de protección, durante el seguimiento de cada una de las materias me hizo crecer dentro de la empresa SEL, ya que con los conocimientos adquiridos pude llegar a mi puesto actual, donde me enfoco a la administración técnico-costo de cada uno de los proyectos que se me asignan dentro de los niveles nacionales y Centroamérica.

Con estos proyectos y el desarrollo que obtuve con la maestría, me ayudaron a posicionarme con el cliente Cooperativa la Cruz Azul como su asesor administrativo de proyectos para sus sistemas de potencia, llevando a la fecha 18 proyectos con diferentes alcances de suministros y servicios.

Dentro de la maestría, las materias con enfoque a la operación me permitieron proponerles diferentes soluciones para dar oportunidades de nuevos proyectos, tanto de mantenimientos preventivos como correctivos a algunos sistemas de sus plantas y haciendo la especificación de construcción de sus tableros PCyM.

Conclusiones

- Con los proyectos desarrollados en ambas plantas, la conclusión general que puedo agregar en este documento es que la unión de un sistema eléctrico de potencia se realiza con los diferentes niveles de desarrollo dentro de ellos, iniciando con los estudios que son parte esencial de los mismos, para lograr tener el panorama claro de los equipos necesarios para diseñar un sistema robusto.
- El desarrollo de la ingeniería a un nivel de diseño para adaptarlo y hacerlo parte del sistema existente es la segunda pieza clave, ya que al conocer sus sistemas permite se pueden realizar mejoras para que los equipos sean capaces de formar el sistema adecuado para la necesidad de ambas plantas.
- La ejecución correcta de las puestas en servicios de cada uno de los proyectos, en conjunto con los levantamientos técnicos que se realizaron, fueron la pieza final para que los procesos adecuados quedaran en funcionamiento y trabajaran de forma adecuada de acuerdo con los estudios y diseños hechos.
- Desde mi punto de vista, la pieza clave para el desarrollo exitoso de un sistema de protección en la planta de un cliente industrial se basa en conocer la operación de su planta y en aplicar el conocimiento teórico adquirido en la MSPE junto con la experiencia de campo. Como resultado la operación de ambas plantas, Lagunas Oaxaca y Tula Hidalgo, hasta este momento es normal sin alguna falla por responsabilidad de los sistemas que se diseñaron e instalaron por los diferentes equipos de SEL México bajo mi supervisión.

Lista de figuras

Figura 1.1. Parques Eólicos en el Istmo de Tehuantepec.

Figura 1.2. Conexiones de la subestación en la Gerencia Oriental de la zona de Tehuantepec.

Figura 1.3. Subestación encapsulada de 115kV. Trabajos de puesta en servicio.

Figura 1.4. Transformador de potencia TR5.

Figura 1.5. Diagrama unifilar de los transformadores TR3 y TR4.

Figura 1.6. Pantalla principal de la IHM de la subestación de 115kV.

Figura 1.7. Frente de un tablero de protección de alimentadores con su tabla de leyendas.

Figura 1.8, Frente de los tableros de interruptores marca SIEMENS tipo 8DA10.

Figura 1.9. Vista frontal de los tableros de las celdas SIEMENS NXPLIS C.

Figura 1.10. Diagrama isométrico del gabinete swing rack.

Figura 2.1. Ubicación de la subestación Cruz Azul en la Zona Valle de México

Figura 2.2. Conexiones de la subestación en la zona Valle de México.

Figura 2.3. Línea de transmisión en 230 kV para alimentación de la planta

Figura 2.4. Transformadores de potencia 230/85 kV acometida principal de la subestación Cruz Azul.

Figura 2.5. Cuchilla aislada en SF6, planta de Cooperativa la Cruz Azul planta Hidalgo

Figura 3.1. Logo de Schweitzer Engineering Laboratories.

Bibliografía

- [1] Comisión Federal de Electricidad, *CFE V6700-62*, 2016.
- [2] Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), «Diagramas unifilares del sistema eléctrico nacional 2016-2021,» 2016.
- [3] Secretaría de Energía, Diario Oficial de la Federación DOF, *Manual para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga*, 2020.
- [4] Schweitzer Engineering Laboratories, *SEL-3355-2 Automation Controller, Instruction Manual*, 2020.
- [5] J. M. Fábregas, «Verificación y monitorización de redes ópticas,» Universitat Oberta de Catalunya.
- [6] Schweitzer Engineering Laboratories, *SEL-751 Feeder Protection Relay, Instruction Manual*, www.selinc.com, 2020.
- [7] Schweitzer Engineering Laboratories, *SEL-735 Power Quality and Revenue Meter, Instruction Manual*, 2020.
- [8] Schweitzer Engineering Laboratories, *SEL-2440 Discrete Programmable Automation Controller DPAC, Instruction Manual*.
- [9] Schweitzer Engineering Laboratories, «Estudio de coordinación de protecciones, Subestación 2 Ampliación Planta Cruz Azul Lagunas,» 2019.
- [10] Schweitzer Engineering Laboratories, «Estudio de coordinación de protecciones, subestación 1 existente planta Cruz Azul Lagunas,» 2019.
- [11] Schweitzer Engineering Laboratories, *Estudio de coordinación de protecciones, subestación ampliación No. II planta Cruz Azul Hidalgo*, 2019.