



**Proyecto aumento de capacidad de la planta de producción AURALAC y montaje e
instalación de equipos en TERRAS DE SAN MARINO.**

John Fernando Arenas Betancur

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero electricista

Asesores

Juan Felipe Rendón Ramírez, Ingeniero electricista

Esteban Velilla Hernández, Doctor (PhD) en ingeniería de materiales

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	Arenas Betancur [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] J. F. Arenas Betancur, “Proyecto aumento de capacidad de la planta de producción AURALAC y montaje e instalación de equipos en TERRAS DE SAN MARINO.”, Práctica empresarial, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2022.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Noe Alejandro Mesa Quintero.

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

DEDICATORIA

Para esas personas que creyeron en mí y apoyaron el proceso formativo desde el primer día. A la Universidad, por ser esa casa de todos y templo de conocimiento. A mis profesores, por su disposición a compartir conocimiento. Al equipo de Electropartes, por la excelente capacitación, su talento humano y su inmejorable equipo de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, especialmente a mi madre y esposa, que estuvieron ahí como apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN	7
II. OBJETIVOS.....	8
III. MARCO TEÓRICO	9
Diseño AURALAC	9
Montaje TERRAS DE SAN MARINO.....	10
IV. METODOLOGÍA	12
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	13
VI. CONCLUSIONES	24
REFERENCIAS	25

RESUMEN

En el presente informe se comparten los resultados obtenidos en los 6 meses de prácticas en la empresa Electropartes S.A.S. El punto inicial fue el diseño de la subestación de 44/13,2kV de la empresa Auralac, que incluyó el diseño de otra subestación complementaria de 13,2/0,48kV para aumentar la capacidad de la empresa. Se realizó el diseño en planos para la presentación ante el operador de red, quien determina la validez de este y la factibilidad de la red para el aumento de carga proyectado para la planta de producción.

En segunda instancia, se realizó el montaje, cableado y conexionado de la zona de preparación y moldeo y la zona de cogeneración en la planta Terras de San Marino. En ésta fueron aplicadas las normativas vigentes en construcción de instalaciones eléctricas, además se interactuó con la zona de cogeneración, dónde se tienen dos generadores a gas en modo isla para suministrar la potencia necesaria del proceso productivo. También se cableó y conectó el sistema de recuperación de calor, aumentando la eficiencia de la planta al reutilizar por medio de intercambiadores los gases de combustión y circuitos de refrigeración de los motores a gas e incluir esta energía térmica en el proceso productivo.

***Palabras clave* — Cogeneración, diseño, montaje, normatividad, subestación, rediseño.**

ABSTRACT

This report shares the results obtained in the 6 months of internship in the company Electropartes S.A.S. The initial point was the design of the 44/13.2kV substation of the Auralac company, which included the design of another complementary 13.2/0.48kV substation to increase the company's capacity. The design was made in plans for the presentation to the network operator, who determines the validity of this and the feasibility of the network for the increase of load projected for the production plant.

Secondly, the assembly, wiring and connection of the preparation and molding area and the cogeneration area at the Terras plant in San Marino was carried out. In this, the current regulations in the construction of electrical installations were applied, in addition to interacting with the cogeneration area, where two gas generators are available in island mode to supply the necessary power of the production process. The heat recovery system was also wired and connected, increasing the efficiency of the plant by reusing the combustion gases and cooling circuits of the gas engines through exchangers and including this thermal energy in the production process.

***Keywords* — Cogeneration, design, assembly, regulations, substation, redesign.**

I. INTRODUCCIÓN

El ingeniero electricista tiene un amplio rango de acción en las diversas ramas de su profesión, desde el diseño hasta la ejecución de proyectos, también desde el mantenimiento hasta la operación de sistemas eléctricos. En la práctica empresarial realizada, se trabajó en una primera instancia en el diseño de una subestación de 5MVA, en nivel de tensión III para la planta de producción AURALAC SAS. En una segunda parte, se realizó la instalación y conexión de la planta de producción Terras de San Marino en diferentes fases del proceso productivo.

En la ampliación de capacidad se debe efectuar el cambio de varios componentes de la instalación, entre ellos se encuentran el transformador de potencia, los transformadores de corriente y de potencial, el foso y trampa de aceite, el cable aislado y los equipos de interrupción en 13,2kV. Para estos se tiene en cuenta las características técnicas de la nueva instalación como potencia, nivel de corriente y voltaje, volumen de aceite del nuevo transformador y la extinción de arco con gas en el interruptor. El diseño se complementa con la construcción de una nueva subestación interna de 2MVA, considerando la nueva potencia a consumir de la planta.

Para el montaje eléctrico en Terras de San Marino, se intervino en dos fases del proceso, la zona de preparación y moldeo y el sistema de cogeneración. En ambos la labor fue instalación de ductos, canalizaciones y tuberías, además del cableado y conexión de señales de potencia y control. Todo lo instalado de acuerdo con la norma técnica colombiana y al reglamento para instalaciones eléctricas, RETIE. Reglamento que describe los fundamentos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de la instalación, la operación y seguridad para el personal encargado del manejo final del proceso productivo.

En las diferentes etapas de un proyecto eléctrico, es necesaria la presencia de un profesional del área que tenga una perspectiva global de toda la obra, esté atento a los detalles y realice de manera óptima los diferentes requerimientos y necesidades que presente la obra. La ética y responsabilidad con la vida, la instalación y la empresa son valores necesarios para llevar a feliz término las tareas a realizar. Por último, las reglas y normativas que rigen el sistema eléctrico colombiano y, por ende, las instalaciones que se conecten a él son de estricto cumplimiento, como la NTC2050, no son negociables y deben ser aplicadas en todo momento.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar el proyecto de aumento de capacidad en la subestación principal de la empresa AURALAC.

B. Objetivos específicos

Realizar los cálculos necesarios para dimensionar correctamente los equipos de potencia, medición y protección de la subestación principal de 5MVA.

Dimensionar conductores, acometidas y redes en general para alimentación de cargas en la empresa.

III. MARCO TEÓRICO

Diseño AURALAC

En Colombia la CREG es el organismo encargado de regular todo lo relacionado con infraestructura, generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica. En el segmento de la distribución, expidió un marco normativo para la conexión de nuevos usuarios al STN o SDL o modificaciones en la instalación de usuarios existentes, la resolución 070 de 1998 [1]. Esta guía contiene criterios que cualquier constructor y operador de red debe cumplir al momento de presentar proyectos de red. Los requisitos aquí descritos son los mínimos exigibles para otorgarle a un usuario un punto de conexión y un posterior servicio de energía eléctrica.

En Antioquia, EPM cuenta con normas técnicas para todo tipo de instalaciones eléctricas, desde redes aéreas hasta subestaciones y obras civiles. Para el desarrollo del diseño en la práctica se requieren varias de estas, por ejemplo, la RA8-001 PRESENTACIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS PARA LA CONEXIÓN AL SISTEMA DE EPM o RA8-014 DISPOSICIONES GENERALES PARA LOS LOCALES DE SUBESTACIÓN TIPO INTERIOR, entre otras. Normas que son de riguroso cumplimiento para poder energizar la instalación a construir [2].

Al momento de diseñar una instalación eléctrica, se tienen en cuenta factores técnicos, económicos y de seguridad. En los técnicos, se analiza la obra civil y equipos eléctricos a instalar, se realizan cálculos de capacidad eléctrica, de resistencia de materiales, aspectos constructivos y locativos de la obra y que todo esté en base a normativas nacionales. En los económicos, se tiene en cuenta el retorno de la inversión, vida útil y degradación en el tiempo. Para el caso de una subestación, como la diseñada en esta práctica, se tiene en cuenta la proyección de demanda y el crecimiento de la compañía, los planes de expansión y el aumento de producción a futuro. Con respecto a la seguridad, toda instalación eléctrica debe ser segura de operar y mantener, debe causar el menor impacto ecológico posible y no debe representar un riesgo latente para empleados y colaboradores de la planta. Todo lo anterior, debe cumplir estándares nacionales e internacionales para el correcto funcionamiento, preservación de la instalación y de los seres vivos que interactúen con ella.

Para el diseño y construcción de una subestación, se deben cumplir especificaciones mínimas que la norma RA8-060 de EPM recopila de forma detallada. Los criterios principales para tener en cuenta son:

- Tipos de subestaciones: convencionales o aisladas al aire, encapsuladas o aisladas en SF₆.
- Factores de corrección por altitud.
- Nivel básico de aislamiento del sistema.
- Efectos mecánicos y de calentamiento producidos por corrientes de corto circuito.
- El calibre mínimo del conductor para la construcción del alimentador a 44 kV debe ser 1/0 AWG, el cual podrá variar según la capacidad instalada y las necesidades futuras del Cliente.
- La construcción de redes aéreas nuevas deberá ser en lo posible en disposición delta o V con cable de guarda, según las normas RA1 de Empresas Públicas de Medellín E.S.P.
- Al devanado secundario de los transformadores de medida de tensión y de corriente, asignados para la conexión de los equipos de medida, no se podrán conectar otros elementos de protección. Para tal fin se deberá tener otro devanado secundario [3].

Para el diseño y construcción de la subestación tipo interior, se deben cumplir las especificaciones mínimas que las normas RA8-013 y RA8-014 de EPM recopilan de forma detallada, entre ellas están los cálculos de distancias de seguridad, espacios de trabajo, cálculos de ventilación, materiales e iluminación.

El diseño detallado debe ser ejecutado por profesionales en la materia, cuya especialidad sea relacionada con la obra a desarrollar. Debe contener los temas pertinentes y en la profundidad que se determine dependiendo de la complejidad y el nivel de riesgo asociado del proyecto [4]. Como lo indica la sección 10.1.1 del RETIE. El análisis de cargas, la coordinación aislamiento, el análisis de cortocircuito, de falla a tierra y de apantallamiento, son algunos de los temas especificar en los diseños. Los cálculos de campos electromagnéticos, de conductor económico, de canalizaciones, de estructuras, de regulación, entre otros, deben ser incluidos en las memorias. Todo lo anterior realizado y validado por el profesional a cargo del proyecto.

Montaje TERRAS DE SAN MARINO

Una instalación de usuario final comprende los sistemas eléctricos que van desde una frontera con la red, incluyendo la acometida o ramales de alimentación, hacia el interior de una

edificación o al punto de conexión de los elementos de consumo [4]. La finalidad de esta instalación es prestar un servicio, satisfacer una necesidad o simplemente realizar un proceso productivo. Este último es el caso que nos compete, el montaje, cableado y conexión de maquinas eléctricas en la etapa inicial del proceso productivo.

El objetivo primordial de una instalación es cumplir con la función para la cual fue diseñada, salvaguardando la vida y la integridad de ella misma y los equipos eléctricos que van a ser conectados [5]. Por este motivo, es necesario aplicar las normas, reglamentos y estándares nacionales en la construcción de dicha instalación, la NTC 2050 y el RETIE son las principales guías para los profesionales que ejecutan una obra eléctrica.

Una instalación industrial tiene entre otros elementos cajas de paso y derivación, salidas eléctricas de potencia, para máquinas eléctricas como motores, y control como sensores, paros de emergencia e interruptores de estado. Hacen parte integral de ella tuberías, bandejas porta cables, ductos y canalizaciones que deben ser dimensionadas dependiendo de los cables o conductores que alojen [4]. Son valores para tener en cuenta en la selección del conductor la capacidad de corriente, sección transversal, material, tipo de aislamiento y regulación de voltaje.

IV. METODOLOGÍA

Actividad 1: Recolección de información respecto al estado actual de la producción, de las cargas y la red eléctrica actual de la empresa.

Actividad 2: Planeación y horizontes de producción como criterio de cálculo en la ampliación de la subestación.

Actividad 3: Diseño de la subestación principal.

Actividad 4: Diseño de la subestación de 2000kVA.

Actividad 5: Construcción y montaje de redes eléctricas para potencia y control en zona de preparación y moldeo.

Actividad 6: Cableado y conexión de circuitos de control en subestación de generación.

Los diseños para las subestaciones de AURALAC, serán realizados en compañía del departamento de ingeniería y montajes de Electropartes S.A.S.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el desarrollo de la práctica, se cumplen los objetivos planteados al inicio de esta. Adicionalmente al rediseño de la subestación de AURALAC, se presentó la adición de un proyecto complementario donde se construyó, instaló, conectó y probó toda un área de producción de la ladrillera TERRAS DE SAN MARINO.

Con respecto a la subestación de AURALAC, la etapa de diseño generó un entregable, este es el plano en AutoCAD que plasma las modificaciones a realizar en la instalación eléctrica, plano que es presentado ante el operador de red para posterior aprobación y ejecución. Con el operador de red deben seguirse ciertos pasos y presentar documentación anexa para que el proyecto sea aprobado, por ejemplo, solicitar punto de conexión, donde el operador realiza un estudio y determina si es viable, tanto en condiciones eléctricas como físicas, para otorgar el permiso de construcción.

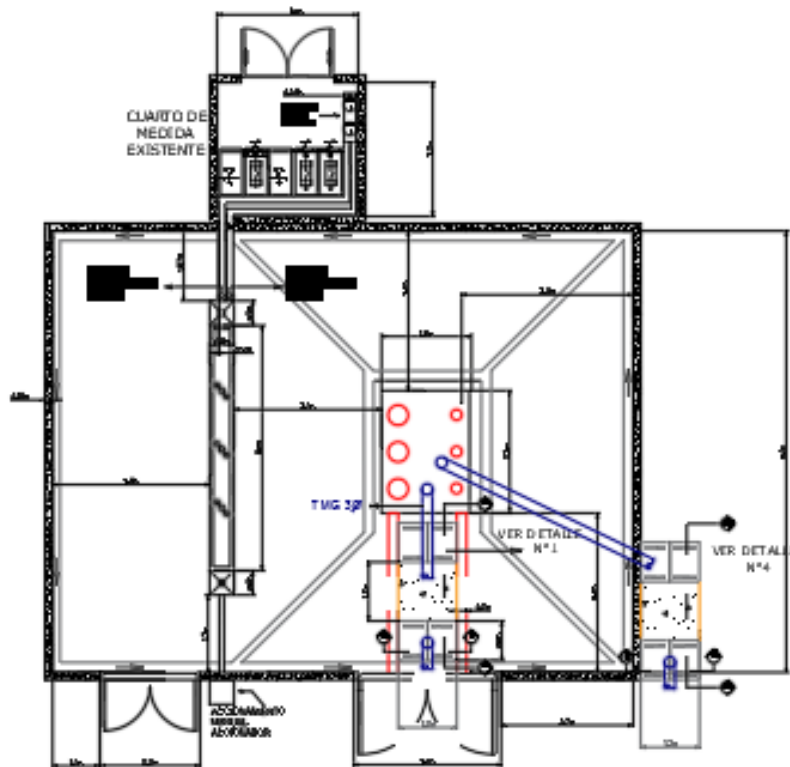


Fig. 1. Vista en planta de patio de subestación de 44kV. En azul se observa la comunicación del foso de transformador con las trampas de aceite. Dos tubos de 3" de diámetro conectados a los depósitos en caso de fuga. Los círculos rojos hacen parte de los aisladores del transformador de potencia, respetando las distancias de seguridad con los elementos no energizados como el cerramiento. En la parte superior izquierda la celda de medida, donde se ubican también los interruptores y equipos de seccionamiento.

En la figura 1 se observa la vista en planta de la subestación eléctrica de 44kV. Se diferencia la ubicación del pórtico, transformador de potencia y foso o trampa de aceite.

En el diseño fueron dimensionados transformadores de corriente, de tensión, de potencia, interruptores, calibre de conductores, cárcamos, cajas de paso y diámetro de tuberías subterráneas. Los valores calculados y definidos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones equipos a instalar.

Equipo	Especificaciones actuales	Nuevas Especificaciones
Transformador de Potencia	2 MVA, 44/13,2kV	5 MVA, 44/13,2kV
Transformador de potencial	44* $\sqrt{3}$ /0,110* $\sqrt{3}$ kV	44* $\sqrt{3}$ //0,110* $\sqrt{3}$ /0,110* $\sqrt{3}$ kV
Transformador de corriente	Clase 0.5 25/5 A	Clase 0.5/3P 75/5 A
Interruptor principal	Seccionador aislado en SF6.	Interruptor con relé de protección aislado en SF6.
Cable de potencia (Acometida)	3x1/0 XLPE, 15kV, 133%	3x4/0 XLPE, 15kV, 133%

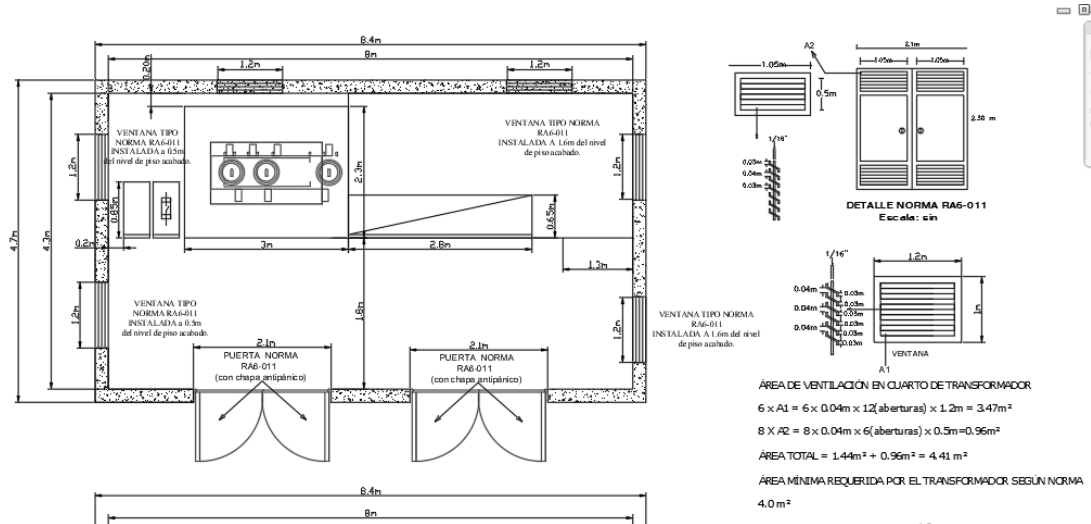
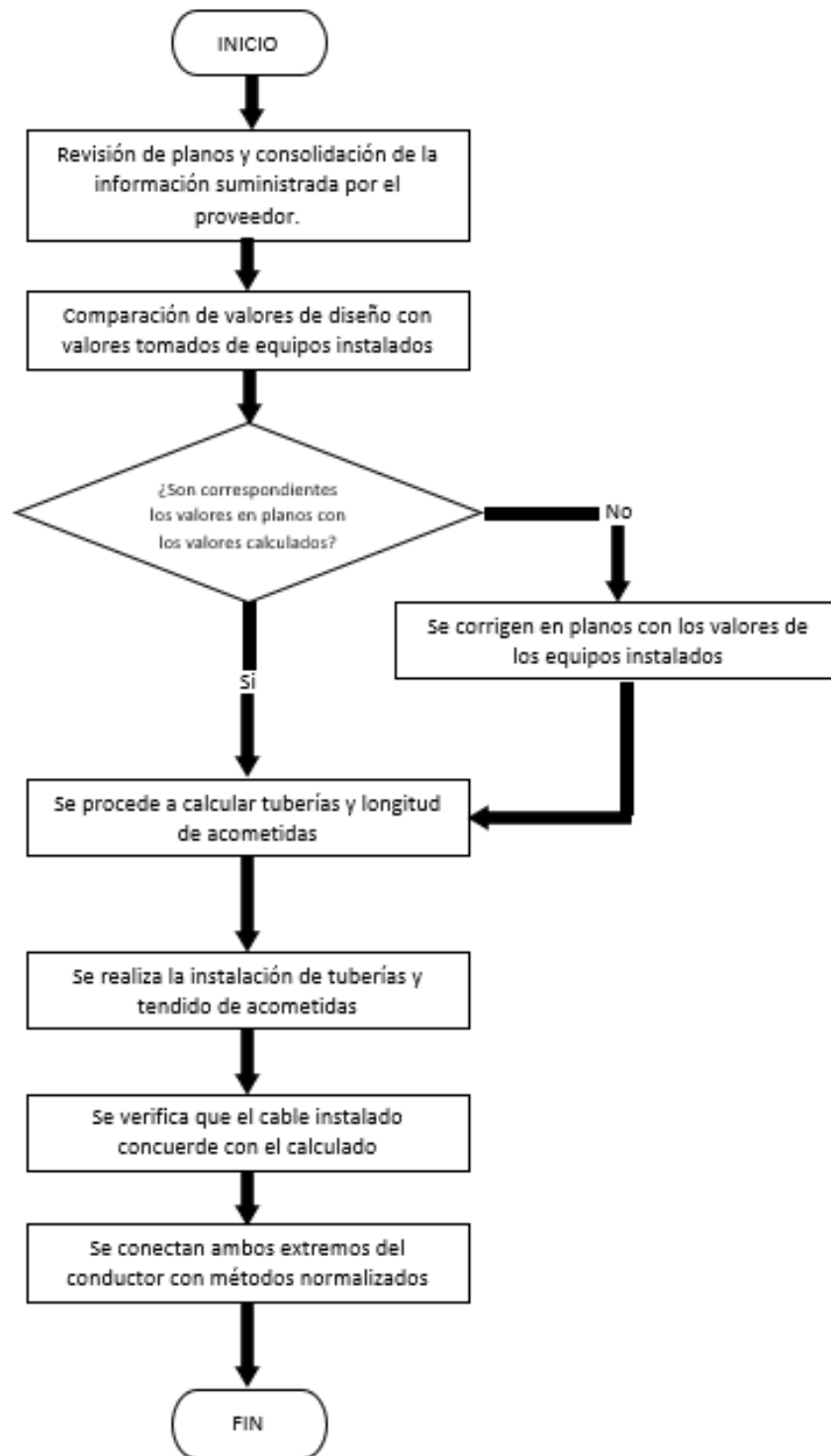


Fig. 2. Vista en planta de subestación de 2MVA, 13,2/0,48 kV. Se observa la disposición final de los equipos que van a ir ubicados en la subestación. De izquierda a derecha aparece el seccionador e inmediatamente el gabinete del transformador. A la derecha de la imagen se observan los cálculos necesarios para garantiza el flujo de aire o ventilación.

En la figura 2 observamos la vista en planta de la subestación tipo interior de 2MVA para baja tensión. Se aprecia el transformador en la esquina superior izquierda y el cálculo de ventilación del recinto a la derecha, cálculo realizado para satisfacer la refrigeración del nuevo transformador.

En el montaje se aplicaron las normativas vigentes respecto a capacidad de corriente por conductores, capacidad de ductos y tuberías, regulación de tensión y código de colores para los diferentes niveles de tensión. La zona de preparación y moldeo cuenta con 80 motores, repartidos entre cintas transportadoras y maquinaria especializada. Se genera como entregable y guía de construcción un documento de Excel donde se concentra toda la información respecto a las acometidas de las diferentes máquinas, tanto en potencia como en control. La zona de preparación y moldeo fue suministrada y ensamblada en su parte mecánica por la empresa española Talleres Felipe Verdés. El sistema de cogeneración fue suministrado por GECOLSA. Para ambas zonas, Electropartes fue la encargada del cableado y conexión de señales. A continuación, el flujograma de la secuencia de trabajo utilizada para el montaje.



La zona de preparación y moldeo conllevó un reto importante ya que fue necesario adaptar las conexiones y normativas europeas a la colombiana. Las diferencias en el cableado y métodos de construcción de los proveedores españoles se adecuaron a las necesidades y lineamientos de la planta en Colombia.



Fig. 3. Molinos y silos almacenamiento preparación. En azul, los silos de almacenamiento de materia prima seca. En rojo, los molinos de martillos que procesan la arcilla.

En la figura 3 se observa una parte de la zona de preparación de la planta. En ella es posible apreciar los molinos de martillos, elevadores de cangilones y silos de almacenamiento de la arcilla molida. Para todas las máquinas de la zona, se realizó la debida instalación de tubería, ductos y cableado para llevar la potencia y el control de manera adecuada. Identificando el cableado de forma inequívoca y rectificando el proceso para evitar fallas de conexión.



Fig. 4. Tablero de potencia y control preparación. ML dedicado a toda la zona de preparación, dónde se alista la materia prima para la extrusión y corte.



Fig. 5. Armario de control moldeo. En el armario de control, se ubica el PLC con el programa, se ejecuta y se vigila toda la zona de producción que comanda. Tiene comunicación con el control de preparación.

En total fueron conectados dos tableros con sus respectivos equipos. En la figura 4 tenemos el tablero de preparación, de izquierda a derecha se observan los arrancadores suaves, variadores de frecuencia y control con contactores. En el último gabinete se observa el PLC de control, como el de la figura 5, de dónde se gestiona, controla y actúa sobre toda la maquinaria involucrada en el proceso. Es de anotar que la empresa que suministra los equipos es la encargada de la programación, pruebas y puesta en marcha de toda la zona de producción.

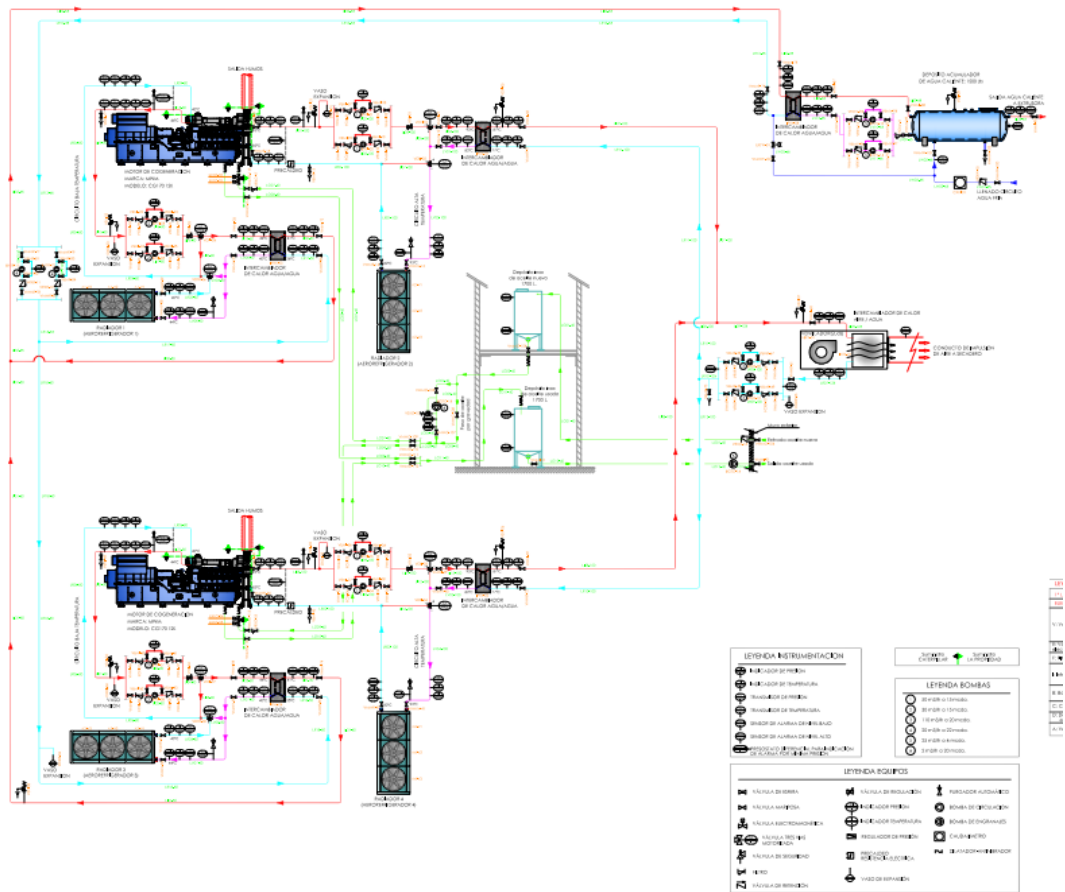


Fig. 6. Sistema de cogeneración. Un esquema general del sistema de recuperación de calor de la planta. Tenemos dos unidades generadoras, con sus respectivos sistemas de enfriamiento que, a su vez, trasladan el calor a los diferentes procesos productivos. Toda la potencia y control del proceso fue cableado y conectado durante la práctica.



Fig. 7. Tableros auxiliares cogeneración. Gabinetes donde se comanda la sincronización automática y se supervisa el funcionamiento de todas las máquinas generadoras ubicadas en la subestación.



Fig. 8. Interior tableros auxiliares, HASI. Se observa todo el control y señales del generador, tablero encargado de alimentar los equipos en los circuitos de alta y baja temperatura. Realiza la acción ante la orden de control de la cogeneración.

En otro frente de trabajo, se encuentra el sistema de generación y cogeneración de la planta. Cuenta con dos generadores a gas de 1,2MVA cada uno y un sistema de recuperación de calor que lleva la energía residual del proceso de generación al proceso productivo, a través de intercambiadores de calor ubicados en los circuitos de alta temperatura, baja temperatura y gases de combustión. En la figura 6 podemos observar el esquema general. En las figuras 7 y 8, se observan los tableros auxiliares, encargados del control, sistemas de refrigeración y sincronización en generación de toda la instalación.



Fig. 9. Celdas de interruptores en media tensión. Celdas suministradas por siemens con interruptor SF6, seccionador y cuchilla de puesta a tierra. Medidor de potencia y relé de protección.



Fig. 10. Control del interruptor. Interior de la celda siemens. Diferentes señales de corriente y voltaje fueron llevadas a los tableros auxiliares del generador. Todos los comandos de apertura, cierre y disparo se realiza desde el tablero de sincronización.

En las figura 9 tenemos las celdas de interruptores, una por cada generador y dos más para los transformadores que alimentaran toda la carga de la empresa. Las celdas relacionadas con la generación serán controladas directamente por el tablero de auxiliares con el fin de garantizar la correcta operación al momento de sincronizar las señales en el barraje de media tensión. En la figura 10 observamos las conexiones de control del interruptor. Allí se encuentra el relé de

protección y las señales que llegan del tablero de auxiliares, todo cableado y conectado por Electropartes.

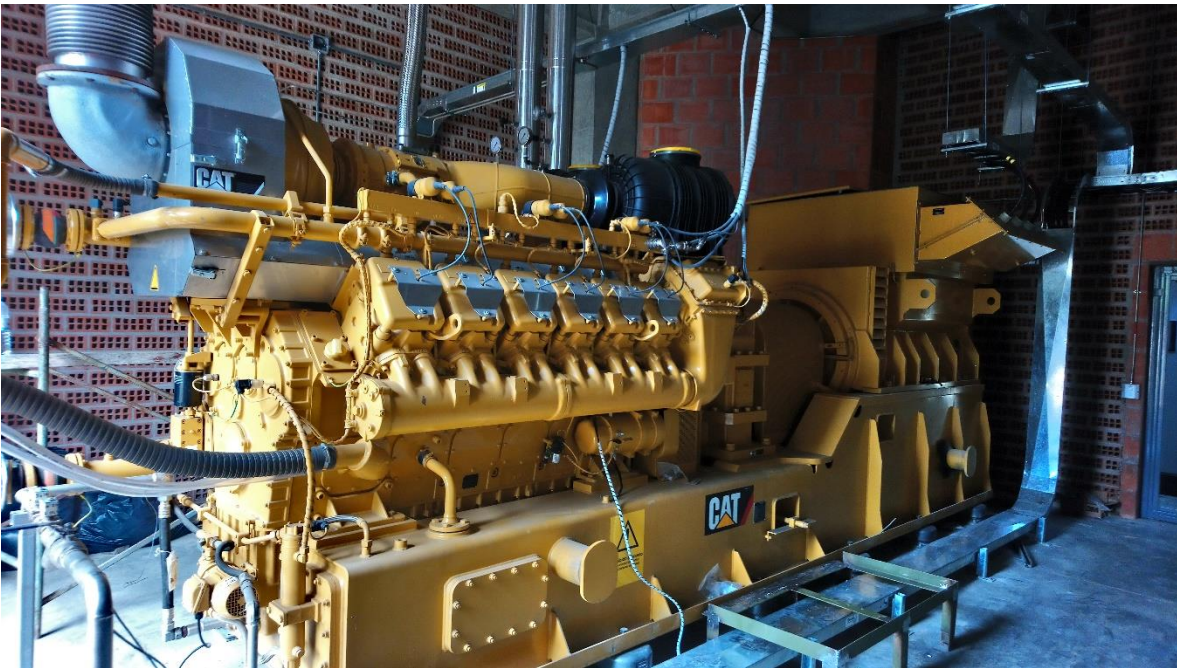


Fig. 11. Generador a gas de 1,2MVA. Máquina suministrada por Gecolsa. La complejidad de su funcionamiento se hace evidente con la gran cantidad de sensores y equipos de medición que van cableados hacia los tableros de control.



Fig. 12. Tablero de señales del generador 1. Desde este tablero, tenemos acceso a mediciones de corriente, tensión, temperatura y presión. Señales que son enviadas al control para su interpretación.

La figura 11 nos muestra una de las máquinas instaladas y conectadas. Se aprecia el motor a gas al lado izquierdo de la imagen y el generador al lado derecho como partes de un mismo chasis. En la figura 12 se encuentra el gabinete del generador. Lugar donde llegan todas las señales de monitoreo y control del interior de la máquina. Allí se encuentran entre otras, las señales de los TC's, TP's, sensores de temperatura y resistencias de precalentamiento.

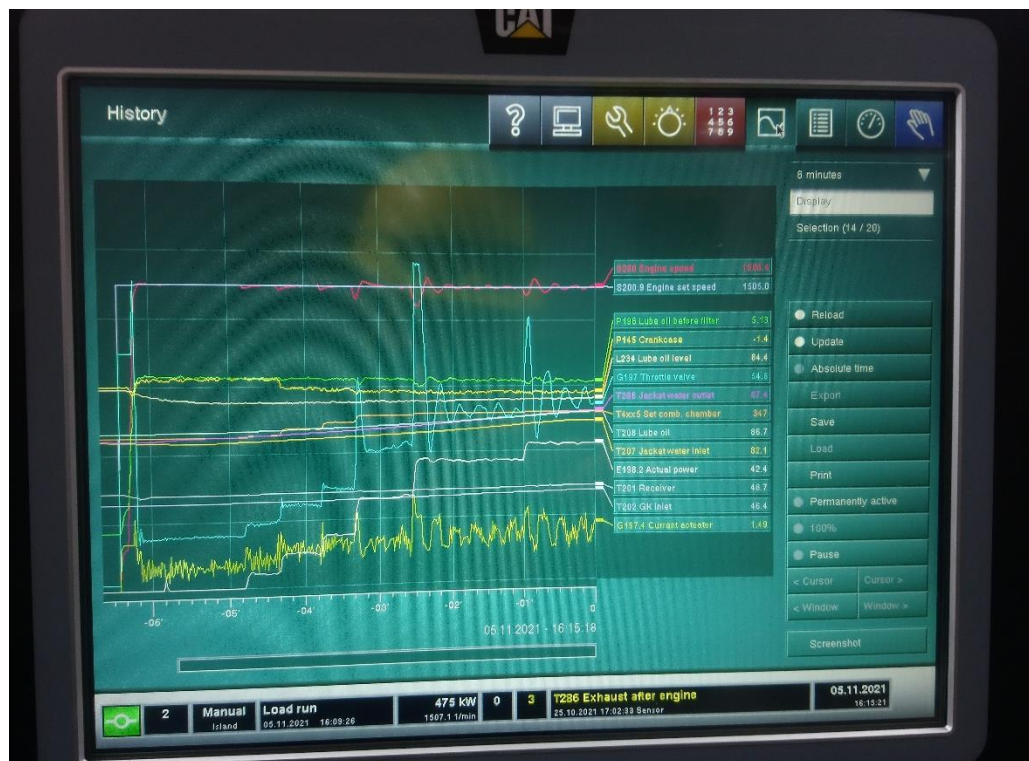


Fig. 13. Gráfico de señales en tiempo real del generador 2 durante pruebas. Interfaz Caterpillar que nos muestra el proceso de vigilancia y supervisión en la operación del equipo. El programa de generación permite tener centralizadas y con fácil acceso todas las variables que intervienen en la producción de energía.

Para terminar, en la figura 13 tenemos una imagen de entrega por el control de generación donde observamos variables de velocidad, presión, temperatura, nivel, posición, de diferentes sensores y sistemas del generador en general.

VI. CONCLUSIONES

El diseño es la parte más importante de un proyecto. Es responsabilidad del ingeniero a cargo anticipar, planear e incluir todas las consideraciones posibles que el ejecutor vaya a necesitar al momento de la construcción, es en el diseño dónde todo esto se tiene en cuenta.

Los cálculos eléctricos o memorias de cálculos son indispensables para garantizar que la instalación es segura, confiable y cumple con todos los requerimientos exigidos por el ente regulador y el operador de red.

En el montaje se evidencian los posibles errores que se hayan cometido en etapas anteriores del proyecto, el ingeniero a cargo debe estar en la capacidad de hacer frente a dichos problemas y solucionarlos de manera satisfactoria.

Realizar una instalación eléctrica requiere un amplio conocimiento de normativas, métodos de cableado, conexión, gestión de recursos, materiales y manejo de personal más allá de lo enseñado en la academia. Es necesario un alto nivel de compromiso, ética y responsabilidad de parte del ingeniero encargado.

REFERENCIAS

- [1] EPM, “*RA8-001 PRESENTACIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS PARTICULARES PARA LA CONEXIÓN AL SISTEMA DE EPM*”, Medellín, Norma técnica, 2017.
- [2] EPM, *Normas técnicas de energía*. Online, Available: <https://cu.epm.com.co/proveedoresycontratistas/normas-tecnicas/normas-tecnicas-energia>
- [3] EPM, “*RA8-060 DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA SUBESTACIONES DE 44 kV*”, Medellín, Norma técnica, 2010.
- [4] Ministerio de minas y energía, “*ANEXO GENERAL DEL RETIE RESOLUCIÓN 90708 DE AGOSTO 30 DE 2013*”, Colombia, Norma técnica, 2013.
- [5] ICONTEC, *NTC 2050*, Bogotá, Norma técnica, 1998.