

**DISEÑO ELÉCTRICO Y AUTOMATIZACIÓN DE UN  
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE CARBÓN Y CALIZA  
PARA LA TERMOELÉCTRICA DE 14 MW EN ENKA DE  
COLOMBIA**

**FEDERICO GUTIÉRREZ VÉLEZ  
EDGAR YAMID LOPERA MONSALVE**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**Rodrigo Arbeláez Estrada**

**Jefe de diseño Electricidad e Instrumentación de Enka de  
Colombia S.A**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
ENVIGADO  
2013**

"Gracias a Rodrigo Arbeláez Estrada, jefe diseño Electricidad e Instrumentación de Enka de Colombia. Le dedicamos este trabajo porque ha permitido que todo este proyecto sea posible, ha sido más que un jefe: un maestro, un amigo, un padre. Mil Gracias"

## **AGRADECIMIENTOS**

A Enka de Colombia por permitirnos realizar nuestro trabajo de grado en su proyecto.

A Rodrigo Arbeláez por ser el mentor y guía en todo nuestro proceso de formación.

A todo el personal de Enka de Colombia y de montaje que estuvieron involucrados en el desarrollo del proyecto.

A la EIA por brindarnos una formación completa como profesionales.

A nuestras familias por darnos todo el apoyo para salir adelante.

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. <i>PRELIMINARES</i> .....	15
1.1 Planteamiento del problema .....	15
1.2 Contexto y caracterización del problema .....	15
1.3 Antecedentes .....	17
1.4 Justificación.....	22
1.5 Objetivos del proyecto .....	23
1.5.1 Objetivo General.....	23
1.5.2 Objetivos Específicos .....	23
1.6 Marco de referencia.....	24
1.6.1 Marco Contextual .....	24
Variables del sistema.....	25
1.6.2 Marco de Teórico.....	26
2. <i>METODOLOGÍA</i> .....	35
2.1 Procedimiento o Diseño metodológico.....	35
3. <i>INGENIERÍA DEL PROYECTO</i> .....	37
3.1 Ejecución de la fase de Identificación y Recolección de Información.....	37
3.1.1 Manejo de Carbón:.....	39
3.1.2 Manejo Ambiental.....	42
3.1.3 Manejo de Caliza.....	44
3.1.4 Otros Equipos Asociados .....	45
3.2 Diseño Eléctrico.....	46

3.2.1	Selección de Variadores.....	46
3.2.2	Diseño de Tablero MCC.....	47
3.3	Cotización y compra y fabricación.....	52
3.4	Montaje eléctrico e Instrumentos.....	57
3.5	Automatización del Proceso.....	63
3.5.1	Descripción General del Proceso.....	63
3.5.2	Secuencia de arranque y de parada.....	67
	Secuencia de arranque.....	67
3.6	Descripción del programa.....	69
3.6.1	Funcionamiento automático.....	70
3.6.2	Funcionamiento manual.....	73
3.6.3	Manejo ambiental.....	73
3.6.4	Manejo de caliza.....	75
3.7	Chequeos y pruebas realizados.....	75
3.7.1	Simulaciones.....	77
3.7.2	Fallas y Correcciones.....	78
3.8	ENTREGA DEL PROYECTO.....	78
4.	<i>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i> .....	82
5.	<i>CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES</i> .....	84
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	86
6.	ANEXOS.....	89

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Apiladores y Reclamadores FLSmith .....	17
Tabla 2. Características Eléctricas Típicas de un Tablero MCC (Tecno circuito alfa, 2013). .....	27
Tabla 3. Lista de Consumidores Eléctricos manejo de Carbón. ....	40
Tabla 4. Entradas y salidas en campo manejo de Carbón. ....	41
Tabla 5. Lista de Consumidores eléctricos manejo Ambiental. ....	43
Tabla 6. Lista de entradas y salidas en Campo Manejo ambiental.....	44
Tabla 7. Lista de Consumidores eléctricos manejo de Caliza. ....	44
Tabla 8. Lista de entradas y salidas manejo de Caliza.....	45
Tabla 9. Lista consumidores eléctricos otros equipos. ....	45
Tabla 10. Selección de variadores .....	47
Tabla 11. Lista Final Consumidores Eléctricos, Interruptores y térmicos seleccionados. .	48
Tabla 12. Selección y especificaciones módulos PLC AC500 ABB.....	50
Tabla 13. Relación cotizaciones tablero MCC.....	52
Tabla 14. Elementos para mando local equipos (Schneider Electric, 2013). ....	56
Tabla 15. Selección cables de potencia.....	62
Tabla 16. Criterios de arranque en modo automático. ....	70
Tabla 17. Frecuencias establecidas en los variadores.....	77

pág.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Telestack TC421R(Engineering and Equipment, 2011). .....	21
Figura 2. Vista 3D de una pila y dimensiones de esta (Mülhbach P, 2011). .....	22
Figura 3. Centro de Control de Motores de Media Tensión - CCM's MT (WEG, 2013).....	27
Figura 4. Ejemplo lenguaje Ladder (infoplcn.net, 2013). .....	32
Figura 5. Ejemplo lenguaje texto estructurado (infoplcn.net, 2013). .....	33
Figura 6. Ejemplo lenguaje diagramas de bloques de funciones (infoplcn.net, 2013) .....	33
Figura 7. Ejemplo lenguaje esquema secuencial de funciones (infoplcn.net , 2013). .....	34
Figura 8. P&ID 1 Sistema de manejo de carbón y manejo ambiental (Anexo 1)(Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	38
Figura 9. P&ID 2 Sistema de manejo de carbón, caliza y manejo ambiental (Anexo 1)(Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	38
Figura 10. Bodega de Carbón Enka de Colombia, construcción civil (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	39
Figura 11. Bosquejo diseño mecánico manejo de carbón (Equimetalco, 2013). .....	40
Figura 12. Esquema presentado por E&C para captación de polvos (E&C, 2013). .....	43
Figura 13. Layout tablero MCC. (Industrias SDT, 2013). .....	53
Figura 15. Fabricación tablero MCC, Barrajes de Potencia (Gutiérrez & Lopera, 2013)...	54
Figura 14. Fabricación tablero MCC, vista trasera y modulo de control (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	54
Figura 16. Fabricación tablero MCC, compartimentos con protecciones para equipos (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	55
Figura 17. Fabricación tablero MCC, vista frontal (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	55
Figura 18. Layout Rack de Variadores (Quintero, 2013). .....	57
Figura 19. Montaje rack de Variadores en sala eléctrica (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	58
Figura 20. Ubicación MCC en sala eléctrica. (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	59

Figura 22. Montaje típico de mandos locales (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	60
Figura 21. Instalación mandos locales (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	60
Figura 23. Bandeja tipo malla Cablofil (Legrand, 2013).....	61
Figura 24. Disposición de conexión de breaker, contacto y relé térmico (Gutiérrez & Lopera, 2013) .....	61
Figura 25. Conexionado modulo de control MCC (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	63
Figura 26. Vista isométrico manejo de carbón y manejo ambiental (Enka de Colombia, 2013). .....	64
Figura 27. Vista isométrico manejo de carbón, caliza y manejo ambiental (Enka de Colombia, 2013). .....	64
Figura 28. Vista isométrico banda y Tripper (Enka de Colombia, 2013).....	65
Figura 29. Ejemplo bloques de programación (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	70
Figura 30. Filtro de talegas, manejo ambiental (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	74
Figura 31. Pruebas en tablero MCC (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	76
Figura 32. Pruebas en el PLC (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	76
Figura 33. Panel de Simulación codesys. (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	77
Figura 34. Sistema de Almacenamiento de Carbón realizando Pila (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	79
Figura 35. Sistema de Almacenamiento de carbón ambiental, tolva de entrada, zaranda y elevadores (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	79
Figura 36. Sistema de Manejo Ambiental (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	80
Figura 37. Sistema de Manejo de carbón, zaranda y elevador corto (Gutiérrez & Lopera, 2013). .....	80
Figura 38. Tornillo de alimentación de carbón (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	81
Figura 39. Sistema de Manejo Ambiental. (Gutiérrez & Lopera, 2013).....	81

## LISTA DE ANEXOS

<a href="#">Anexo1. P&amp;ID.....</a>	88
<a href="#">Anexo 2. Oferta Equimetalco.....</a>	91
<a href="#">Anexo 3. Oferta E&amp;C.....</a>	100
<a href="#">Anexo 4. Tabla De Elementos Eléctricos.....</a>	111
<a href="#">Anexo 5. Data Sheet Variador Yaskawa A-1000.....</a>	115
<a href="#">Anexo 6 Plano de Variadores.....</a>	<a href="#">118</a>
<a href="#">Anexo 7. Diagrama Unifilar MCC.....</a>	123
<a href="#">Anexo 8 Lista de Entradas y Salidas.....</a>	127
<a href="#">Anexo 9. Especificaciones técnicas PLC.....</a>	<a href="#">130</a>
<a href="#">Anexo 10. Planos Control MCC.....</a>	149
<a href="#">Anexo 11. Cotizaciones.....</a>	183
<a href="#">Anexo 12. Layout MCC.....</a>	<a href="#">207</a>
<a href="#">Anexo 13 Layout Cuarto Eléctrico.....</a>	209
<a href="#">Anexo 14 Rack de variadores.....</a>	211
<a href="#">Anexo 15. Tabla Capacidad de Corriente permisible en conductores NTC 2050 ...</a>	213
<a href="#">Anexo 16. Programa del PLC.....</a>	<a href="#">214</a>

## GLOSARIO

**AUTOMATIZACION:** adaptar procesos de manera que se realicen de forma automática, mediante el uso de sistemas, elementos computarizados y electromecánicos

**BAJA TENSIÓN:** voltajes entre un rango de 110 VAC y 600 VAC (VAC voltaje en corriente

**BALIZA:** Dispositivo que emite una señal luminosa.

**CALIZA:** Roca compuesta en su mayoría por calcita. Se utiliza en los procesos de combustión de carbón, para atrapar y retener los contenidos de azufre que allí se generan.

**DCS:** *Distributed Control System (Sistema de Control Distribuido)*, sistema en el cual PLC's distribuidos se interconectan con una CPU maestra para realizar un control complejo

**DIAGRAMA UNIFILAR:** plano eléctrico donde se muestra la distribución de componentes eléctricos y su conexión, esquematizado a una fase.

**DPS:** dispositivo de protección contra sobretensiones.

**ELEVADOR DE CANGILONES:** es una maquina utilizada para el transporte vertical ascendente de materiales. Se compone de unos recipientes llamados canjilones, los cuales están atados a una banda plástica o a unas cadenas dependiendo del tipo de material a transportar.

**ENERGÍA:** Es el trabajo realizado en una unidad de tiempo. Generalmente se expresa en Joules.

**FRECUENCIA:** Numero de repeticiones por unidad de tiempo

**MCC (Motor Control Center):** en español CCM (centro de control de Motores). Es un tablero eléctrico

**LAYOUT:** plano de vistas y dimensiones de un isométrico, arreglo general de componentes.

**MEGGER:** o megómetro es un instrumento para la medición de altas resistencias

**P&ID (Piping and Instrumentation Diagram):** plano esquemático donde se representan procesos y equipos asociados a estos, dentro de los cuales se destacan los instrumentos y las tuberías para flujo de material

**PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL):** Control lógico programable, en español. Es un dispositivo basado en microprocesadores, el cual tiene entradas y salidas tanto análogas como digitales. Mediante unas instrucciones programadas por el usuario el PLC genera determinadas salidas con base en las entradas actuales. Estos dispositivos son

usados generalmente en procesos de automatización y control. Los PLC reemplazaron los sistemas lógicos cableados por medio de relés y temporizadores.

**POTENCIA:** Es la capacidad de realizar un trabajo. Generalmente se expresa en Vatios.

**RUIDO ELECTRICO:** es la deformación o distorsión de una señal real, que es transmitida alámbrica o inalámbricamente. El ruido eléctrico puede ser interpretado erróneamente en las entradas de un PLC, causando alteraciones en el funcionamiento deseado.

**SENSOR:** Dispositivo diseñado para detectar variaciones en una magnitud física, con el fin de convertirlo a una señal útil para un sistema automatizado o de control.

## RESUMEN

Enka de Colombia S.A decidió construir una central termoeléctrica de 14 MW para reducir costos de producción con energía eléctrica a menor costo y poder ser más competitivo en el mercado nacional e internacional.. Dicha central termoeléctrica funciona con ripio de carbón. Para garantizar el funcionamiento continuo de la central de generación, Enka decidió construir una bodega de almacenamiento con la capacidad de suministrar carbón para 20 días de funcionamiento de la central generadora. Adicional al carbón, la central requiere piedra caliza para absorber las emisiones de azufre generadas en la combustión, con el fin de evitar que estas se liberen a la atmosfera. Para almacenar el carbón y la caliza de forma adecuada, se construyó un sistema de clasificación y almacenamiento automático. Este sistema se encarga de clasificar y almacenar el ripio de carbón y la piedra caliza controlando las emisiones de polvos a la atmosfera, lo cual se logra mediante un sistema de captación de polvos por medio de filtros de talegas Para garantizar el correcto funcionamiento de este sistema de almacenamiento y clasificación, Enka de Colombia S.A requiere el diseño y adquisición de un tablero de potencia y control para el mando, protección y suministro de energía a motores, válvulas, sopladores, bombas y tornillos, para dicho sistema de manejo de carbón y caliza (almacenamiento y captación de polvos). Así como la recopilación de señales de los accionamientos locales e instrumentos; lo cual también debe estar integrado con un PLC que permita la automatización de todo el proceso. Para solucionar esta necesidad se identificaron los procesos y sus requerimientos eléctricos en primer lugar. Con base en esta información se diseñaron los tableros de potencia y de control, con el fin de cotizarlos y comprarlos. Una vez los tableros se entregaron a Enka de Colombia S.A, se procedió con su instalación en sitio, paralelo a esto se desarrolló un programa para el PLC, el cual genera las instrucciones adecuadas para almacenar carbón y caliza. Una vez el programa estuvo listo, se procedió con la puesta en marcha del sistema con el fin de realizar pruebas de funcionamiento y las correcciones pertinentes. La implementación tanto del tablero de potencia y control, como del programa del PLC, fueron exitosas. Durante la ejecución de este proyecto se elaboró un diagrama de proceso PID (Piping and Instrumentation Diagram), los planos eléctricos de los tableros asociados al sistema de almacenamiento, el programa para la automatización del proceso con su documentación respectiva y una lista de componentes eléctricos y de instrumentación que intervienen en el proceso. El sistema de almacenamiento de carbón y caliza funciona actualmente de manera automática.

Palabras clave: Automatización, Mecatrónica, CCM, PLC, Carbón ripio.

## ABSTRACT

In order to make the manufacturing process of Enka de Colombia S.A more competitive, a coal-fired steam-electric plant was built. The plant uses limestone instead of regulate must be capture the sulfur emissions according to environmental regulations and is capable of generating 14 MW.

An automated warehouse capable of sorting and storing 3500 tons of coal allows for 20 days of continuous supply to the plant. In addition the warehouse system is capable to regulate the dust particles using a particle removal system. Enka de Colombia S.A requires the design and acquisition of an electrical panel for commands, protections and power supply instead of to must be for the motors, valves, blowers, pumps and worms of the coal and limestone storing and sorting system. It also requires the reception of the local drives and instrument signals. All of this has to be integrated instead of with a must be in a PLC which allows the automation of the whole process.

Enka de Colombia S.A required the documentation for this project included all the information listed below:

1. Detail design of the control panel, valves, blowers, pumps and helical feeders.
2. Cost Budget.
3. Electrical Budget.
4. PLC code for Warehouse system automation.

In addition to the documentation, Enka required and specific procedure for the implementation of the project plan, which included troubleshooting, debugging and testing such as program simulations and a checkbox list for all the elements in the process.

The automation of the warehouse was achieved by integrating hardware, software and sensors through a PLC.

Currently the warehouse system is under operation and it is working in an automatic way.

Key words: Automation, Mechatronic, MCC, PLC, coal gravel.

## INTRODUCCIÓN

El mercado actual exige a las empresas que sus procesos sean altamente competitivos para poder sobrevivir. Debido a esto Enka de Colombia S.A decidió construir una central termoeléctrica, con el fin de generar parte de la energía eléctrica que consume.

Dicha central de generación trabaja con carbón para generar el calor necesario para producir electricidad. La caldera es de tipo lecho fluidizado, por lo cual trabaja específicamente con ripio de carbón. Para tomar precauciones frente a un posible desabastecimiento en el suministro de carbón, Enka decidió construir una bodega de almacenamiento de carbón, con suficiente capacidad para almacenar carbón para 20 días de funcionamiento de la caldera (3500 toneladas de carbón). Para poder alimentar la caldera con ripio de carbón, este primero debe clasificarse, es decir separar el carbón ripio (granulometría fina hasta 8 mm de diámetro del carbón con mayor granulometría, llamado carbón tipo almendra.. La termoeléctrica, además de necesitar carbón, necesita piedra caliza (carbonato de Calcio) para absorber y retener las emisiones de azufre que se generan durante el proceso de combustión.

En la sección 1 se presenta una breve contextualización sobre los procesos de almacenamiento y apilado actuales. También se repasan algunas teorías eléctricas y de automatización. Se explican las condiciones actuales sobre seguridad industrial en Colombia y se habla sobre la normatividad para elementos eléctricos.

En la sección 2 se explica sobre la metodología que se utilizo para ejecutar este proyecto. Este proceso incluye la metodología de diseño, las cotizaciones y la compra del tablero eléctrico, la instalación en sitio del tablero, la programación del PLC y la puesta en funcionamiento del sistema.

La sección 3 explica todo el proceso sobre la ingeniería del proyecto. Es decir se profundiza en detalles sobre el diseño del tablero y los componentes eléctricos involucrados en el proceso. Adicional a esto se explican las secuencias que debe seguir el sistema, las cuales debieron programarse en el PLC, para automatizar el proceso. También se muestra la metodología de programación del PLC, los criterios de selección para este y los chequeos y pruebas realizados al sistema.

La discusión de resultados se encuentra en la sección 4, donde se muestra como se cumplieron satisfactoriamente los objetivos propuestos en este trabajo. Además se exponen algunas recomendaciones sobre la conformidad de Enka de Colombia S.A con la ejecución del proyecto.

En la sección 5 se presentan las conclusiones y consideraciones finales. Aquí se dan algunas recomendaciones para realizar proyectos similares. También se concluye en temas como la practicidad de la metodología de programación y los criterios de diseño eléctricos.

# **1. PRELIMINARES**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Enka de Colombia requiere el diseño y adquisición de un tablero de potencia y control para el mando, protección y suministro de energía a motores, válvulas, sopladores, bombas y tornillos, para un sistema de manejo de carbón y caliza (almacenamiento y captación de polvos). Así como la recepción de señales de los accionamientos locales e instrumentos; lo cual también debe estar integrado con un PLC que permita la automatización de todo el proceso.

## **1.2 CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad la energía eléctrica es uno de los requerimientos básicos para la vida humana y una importante base para la economía de un país (Behera, Farooque, Dash, 2011). Una central termoeléctrica por ejemplo, es una instalación que permite la producción de energía, gracias a la combustión de fósiles como lo es el petróleo, el carbón o el gas natural (Kragelund, Leth & Wisniewski, 2009). La combustión producida en una caldera genera vapor a alta presión, dicho vapor es llevado a una turbina que transforma esta energía térmica en mecánica y a partir de un generador la energía mecánica es transformada en energía eléctrica. Los costos de la energía eléctrica son de gran importancia para una empresa debido a que es uno de los grandes consumibles en la producción (Bergmann, Bragança, & da Silva, 2004)

Enka de Colombia es una empresa dedicada a la producción y comercialización de polímeros, fibras químicas de poliéster, nylon y al reciclaje de poliéster botella (PET) para uso en la industria textil y en la producción de nuevos envases para empacar alimentos para el consumo humano. Este tipo de empresa tiene un alto consumo de energía eléctrica debido a los procesos que allí se realizan. Enka ha hecho muchos esfuerzos en el uso racional de la energía, logrando disminuir el consumo eléctrico, sin disminuir la producción; se han disminuido 3MW con múltiples trabajos optimizando maquinaria, regenerando energía eléctrica en el freno eléctrico y desaceleración de los motores, muy común en sus procesos y ahora con la construcción de una termoeléctrica de 14 MW, se espera suplir un alto porcentaje de la energía consumida; debido a que se encontró que era posible generar energía más barata de la consumida actualmente.

La caldera que se está montando y está próxima a arrancar es del tipo lecho fluidizado, la cual requiere de un constante suministro de carbón tipo ripio para su operación (Arnold, 2004). El consumo esperado de caldera será de 180 toneladas/día de carbón (12 t. de arena y 1.5 t. de caliza al día); dentro de la estructura que soporta la caldera serán instalados unos silos de almacenamiento para 16 horas de abastecimiento. Habrá una bodega de almacenamiento automático de carbón que albergara 3500 toneladas de carbón (20 días de operación de la caldera). En la termoeléctrica de Enka de Colombia se implementaran dos bandas transportadoras; una de ellas llevará carbón y la otra arena o caliza (intercaladas); desde una tolva de recibo, hasta la tolva de almacenamiento. La tolva de recibo de carbón será alimentada por un cargador frontal, el cual tomara el carbón de la

bodega donde este será almacenado. La caliza por su parte llega en carro tanque; un compresor bombea la caliza del carro tanque a un silo de almacenamiento, y del silo a la otra banda transportadora se transfiere por medio de un tornillo sinfín, el cual es alimentado por una válvula rotatoria. La arena por medio de un cargador frontal llega a una tolva, ubicada al inicio de la misma banda transportadora de la caliza.

Debido a que el carbón tiene propiedades de auto ignición es recomendable que se use una filosofía FIFO (Primero en entrar, Primero en salir) para su almacenamiento (Satmari, 2010). El carbón debe ser almacenado de modo que se minimice el tiempo de almacenamiento, buscando que no se acumulen zonas sin usar y se genere una reacción de oxidación, que luego con la transferencia de calor este se podría incinerar (*Thomas PH, 1960*). Para evitar esto en la bodega de carbón de Enka se implementara un sistema automático de almacenamiento de carbón que minimiza el tiempo de acumulación de carbón, con una rápida rotación (menos de 2 meses).

Dicho sistema se compondrá de una serie de mecanismos que tienen como finalidad apilar el carbón dentro de la bodega. En la parte superior de la bodega de carbón se montará un sistema de banda transportadora y tripper (disparador), que permitirá hacer una pila buscando optimizar espacio; además gracias a este sistema se evita dañar la granulometría de carbón.

Dos elevadores de canjilones serán construidos para subir a la banda el carbón y un sistema de zaranda vibratoria que conecta los elevadores separará el carbón para apartar el que no es apto para la caldera el cual se utilizará en la caldera actual de producción de vapor de proceso a base de carbón almendra. Enka de Colombia compró el diseño y el equipo mecánico a Equimetalco (una compañía del valle de aburra); a Enka de Colombia le corresponde el diseño y montaje de todo el sistema eléctrico, automatización e instrumentación.

Adicionalmente se requiere controlar y suministrar energía al sistema de almacenamiento de caliza en silos, la caliza será usada para atrapar los contenidos de azufre que se generan en la combustión del carbón (dentro de la caldera) y sacarlos en ceniza, evitando así que se vayan a la atmosfera. Todo el sistema de almacenamiento de carbón y caliza tendrá un sistema de control ambiental, para la extracción del polvo que generan el carbón y la caliza al ser descargados o manipulados. Por lo que se requiere también el suministro eléctrico y control de mecanismos tales como filtros de talegas, usados para dicha labor.

El sistema de almacenamiento de carbón, caliza y el sistema de control ambiental, requieren una alimentación eléctrica de 440 V trifásico, con un consumo esperado de 170KW para motores y otros equipos. Además se requiere el control y recepción de señales provenientes de: accionamientos locales para mantenimiento, paros de emergencia e instrumentación. El proceso en general debe ser automatizado y las maquinas tienen que estar enclavadas. Al ser muchas maquinas que trabajan en serie, el arranque y paro tienen que ser secuenciales, además se debe vigilar el estado de la maquina, debido a que en toda la línea de almacenamiento solo habrá un operario encargado de manejar el cargador frontal.

### 1.3 ANTECEDENTES

El almacenamiento de carbón se realiza en varios sectores de la industria debido a que se requiere típicamente tener una reserva para el normal funcionamiento de una planta o para los posibles imprevistos en el abastecimiento de este, no existe una planta que use carbón que no posea alguna reserva en una bodega o en campo abierto. Algunas de los sectores industriales que usan el carbón son el metalúrgico en la producción de acero, el energético en la producción de energía eléctrica; en la construcción en los hornos usados para la producción de cemento, entre otros (Carbunion, 2011).

Hay varios métodos de almacenamiento usados comúnmente en la industrias que usan materia prima como lo es el carbón o similares.

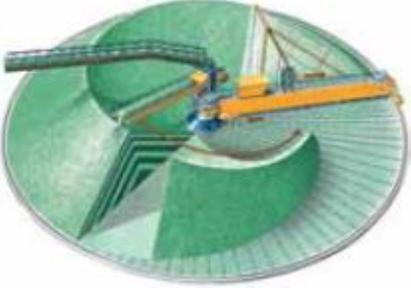
- A. Buldócer
- B. Con staker
- C. Con cargador
- D. Otros mecanismos diseñados por compañías tales como: FLSmidth, ABB, Telestack, Bateman Engineering, etc.

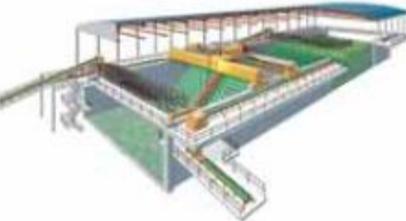
El buldócer fue una de las primeras máquinas encargadas de hacer las pilas de carbón en el mundo, una de las desventajas de estas maquinas es tener que apoyarse en el mismo carbón para formar las pilas, de esta manera se tritura el carbón y este ya no puede ser usado de igual manera (Adaro, 2010). Actualmente empresas del sector minero y energético han implementado nuevas tecnologías para el manejo de carbón: su almacenamiento y transporte.

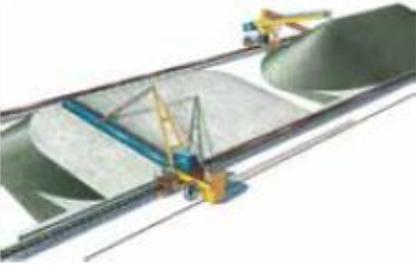
FLSmidth es grupo multinacional de [Copenhague](#), [Dinamarca](#), se dedica a la fabricación de equipamiento para plantas cementeras y mineras desde hace 125 años. Dentro de su línea de mercado se encuentran los sistemas para almacenamiento de materiales, tales como: yeso, caliza, carbón, esquisto y arcilla. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las 5 propuestas que presenta FLSmidth para almacenamiento de los materiales antes mencionados.

**Tabla 1. Apiladores y Reclamadores FLSmidth**

NOMBRE	DESCRIPCION	VENTAJAS	GRAFICO
--------	-------------	----------	---------

<p><b>CBS: Circular Blending Systems</b></p> <p>Sistema Circular de Mezcla</p>	<p>El tipo CBS está diseñado para funcionamiento continuo, apilando en un anillo con forma de pila.</p> <p>El apilamiento se consigue mediante una acción de rociado en forma de abanico en un arco, determinado por el tipo de material que se procesa con el fin de asegurar la homogeneización apropiada.</p> <p>El almacén de CBS se basa en un concepto modular, lo que hace posible el suministro de una amplia gama de equipos estándar utilizando conceptos bien probados y tecnología.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto efecto de homogeneización continua</li> <li>- No hay problemas en el extremo del cono</li> <li>- Aprovechamiento óptimo del espacio</li> <li>- Totalmente automática continua</li> <li>- Operación (sin cambio de pila)</li> </ul>	 <p><b>FLSmidth (2013)</b></p>
<p><b>BS: Longitudinal Bridge Scraper store</b></p> <p>Puente Longitudinal y reclamador</p>	<p>El tipo BS funciona con dos pilas. Una pila es apilada mientras que la otra está siendo reclamada.</p> <p>El diseño de puente se basa en un concepto modular, lo que hace posible el suministro de una amplia gama de equipos que utilizan conceptos bien probados y tecnología.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Adecuado para materiales secos a moderadamente pegajosos</li> <li>- Alimentación directa de materiales de caída libre</li> <li>- Regulación eficiente de largo plazo de las variaciones en la composición química de las materias primas</li> <li>- Capacidad de ampliar fácilmente</li> </ul>	 <p><b>FLSmidth (2013)</b></p>

<p><b>BE: Bucket Excavator store</b></p> <p>Excavador de cangilones</p>	<p>El almacén consta de dos o más reservas longitudinales, apiladas de acuerdo con el método de la hilera. Mientras que una pila está siendo apilada, la otra está siendo reclamada en ángulos rectos a la dirección de apilamiento.</p> <p>El cangilón de la excavadora está equipado con cadena de cangilones y los materiales son recuperados de la pila final aproximadamente a 38 grados de ángulo.</p> <p>Los cubos se vacían a través de una caja de descarga y los materiales para caer sobre una cinta transportadora transversal que está montado en la excavadora</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Almacenamiento homogeneizado adecuado para materiales muy pegajosos</li> <li>-Sistema económico para las grandes superficies</li> <li>-Diseñado para la alimentación directa de cualquier tipo de molino</li> <li>- Utilización óptima del espacio y techado fácil de instalar</li> </ul>	 <p><b>FLSmidth (2013)</b></p>
<p><b>PS: Portal Scraper store</b></p> <p>Recogedor de Pórtico</p>	<p>El tipo PS se utiliza normalmente en una línea de producción como un almacén de material aleatorio a granel.</p> <p>La bodega opera con las reservas colocadas en línea. Si bien la construcción de una pila se hace por capas, hay una que es de apilado y otra pila está siendo reclamada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apto para todo tipo de materiales incluyendo materiales pegajosos</li> <li>- Diferentes tipos de material pueden ser apilados y separados</li> <li>- Utilización óptima de la construcción cuando con tripper arriba</li> <li>- Capacidad de la bodegase puede ampliar fácilmente</li> <li>- Bajo costo inicial</li> </ul>	 <p><b>FLSmidth (2013)</b></p>

<p><b>SS: Side Scraper store</b></p> <p>Recogedor lateral</p>	<p>La recogedora lateral es adecuada para todo tipo de materiales, incluyendo materiales pegajosos</p> <p>El tipo de almacenamiento se utiliza en una línea de producción como un almacén intermedio, con volumen relativamente pequeño de material.</p> <p>La bodega opera con las reservas colocadas en línea.</p> <p>Se hace la construcción de una pila por capas de cono y otra pila ya hecha que se reclama.</p> <p>El diseño de la recogedora lateral se basa en un concepto modular.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apta para materiales pegajosos</li> <li>- Diferentes tipos de material puede ser apilados y separados</li> <li>- Utilización óptima de la construcción con tripper arriba</li> <li>- Capacidad de la bodega se puede ampliar fácilmente</li> </ul>	 <p><b>FLSmidth (2013)</b></p>
---	--	---	---

Telestack, una compañía británica establecida en el año 1999, diseñó y comenzó a fabricar hace un par de años una apiladora radial sobre orugas, el equipo móvil permite realizar pilas de almacenamiento de materiales como arena, carbón, coque de petróleo, etc. Dicha máquina posee un telescopio radial de hasta 58 metros y por medio de una banda permite llevar materiales hasta una altura de 20 metros, lo que podría generar pilas de hasta 200.000 toneladas (basado en 1.6t/m<sup>3</sup> densidad). La variabilidad del Angulo de inclinación del telescopio, permite usarla en sitios donde la altura está restringida, además posee un sistema automático de almacenamiento por medio de un PLC reduciendo así la mano de obra requerida para operar el equipo. Para materiales sólidos pesados la compañía ofrece un factor de diseño de hasta 2.500 toneladas por hora. Dicho sistema es claramente para el manejo de grandes volúmenes de material, además es ideal para almacenamiento en campo abierto debido a la movilidad que posee gracias a las orugas. La automatización de la máquina permite que el telescopio radial cambie su ángulo o rote la máquina según sea el estado en determinado instante de la pila, o según el requerimiento de la empresa que almacena; esta máquina funciona con Diesel un combustible derivado del petróleo. El Telestack TC421R (figura 1) ha sido usado principalmente en compañías mineras y en el sector de transporte marítimo permitiendo cargar barcos con carbón a una alta rata de carga (Engineering and Equipment, 2011).



**Figura 1. Telestack TC421R(Engineering and Equipment, 2011).**

Bateman Engineering N.V. una compañía de Ingeniería Sud-Africana con historia desde 1892, elabora soluciones de ingeniería las cuales incluyen el manejo y almacenamiento de materiales sólidos y líquidos, equipos para hidrometalurgia, piro metalurgia, separación de sólidos y líquidos, plantas modulares, etc. Esta compañía diseñó un sistema de manejo de carbón para plantas térmicas mediante bandas transportadoras y zarandas para la selección de carbón, este sistema fue ideado para movimientos de material de hasta 10 km de longitud, y para mover más de 10.000 toneladas/hora de carbón, otra solución que ha implementado Bateman es el transporte neumático para mover hasta 80 toneladas/hora de carbón. Bateman ha implementado en sus sistemas instrumentación a lo largo de la línea de almacenamiento y transporte lo cual incluye sensores de nivel, sensores de flujo de sólidos, sensores de densidad para el manejo de variaciones en el tamaño de partícula y la densidad aparente del carbón. Toda la información que recopila en sus maquinas las lleva a un PLC y luego a una computadora para el control de la carga y almacenamiento. Bateman ha fabricado estas soluciones para manejo de carbón para compañías en Savmore Colliere en Sur Africa, en Zimbabwe y Australia.

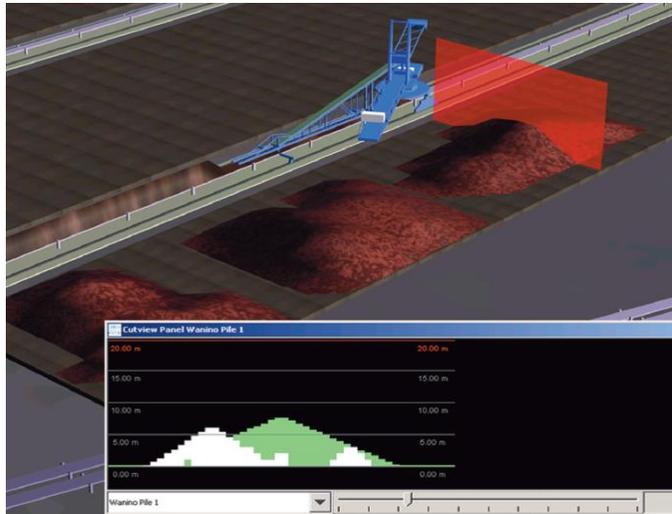
ABB, una multinacional especializada en las áreas de la energía, la robótica y la automatización, propuso en 2010 un sistema integrado para el almacenamiento y manejo de carbón en plantas termoeléctricas. El sistema integrado propuesto por ABB se encarga de:

- La visualización y monitoreo de las pilas de carbón; gracias a un sistema de escaneo por laser 3D se puede monitorear y calcular la distribución de el material en las diferentes pilas de una bodega (figura 2), de allí se parte para dar las ordenes de cómo se deberá realizar la siguiente movimiento o donde sería el mejor lugar para descargar el carbón que recién llega.
- Seguimiento de material, por medio del sistema de monitoreo, de un PLC y un computador se realiza un seguimiento de hacia dónde va el material y cuáles son

los tiempos de almacenamiento de determinado lote, de allí se parte para dar instrucción de la extracción de material de las bodegas o de el almacenamiento de nuevo material.

- Calidad del Carbón; una serie de instrumentos se encargan de supervisar diferentes variables presentes en el carbón como lo son: valor calorífico, densidad, humedad, contenido de cenizas, sulfuro, silicio, aluminio.
- Sistema autónomo de Almacenamiento: tomando en cuenta todos los datos anteriores un PLC se encarga de dar la orden del lugar en donde se almacenara un lote de carbón. Activando los motores indicados por el tiempo necesario para llegar hasta esa área.

ABB proyecta toda la solución conjunta teniendo en cuenta todo el sistema eléctrico para lo que son bandas transportadoras y motores, la instrumentación y el paquete de automatización (Mühlbach P, 2011). De dicha solución no se han referenciado a la fecha lugares en los que se haya implementado.



**Figura 2. Vista 3D de una pila y dimensiones de esta (Mühlbach P, 2011).**

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

El sistema de almacenamiento de carbón permite un mayor aprovechamiento del área de la bodega debido a que el sistema distribuye el carbón en forma de pila (Adaro, 2010), dicha bodega con este método de almacenamiento tendrá la capacidad de almacenar hasta 3500 toneladas de carbón, por otro lado el sistema permite la rotación del carbón, buscando que este conserve determinada humedad y no se auto incinere (Moldovan & Ionescu, 2010) esto se da fundamentalmente gracias a la automatización que se desarrollará en el proceso, mediante la implementación de la teoría de colas FIFO (first in, first out) primero en entrar, primero en salir (LIFO v. FIFO, 1957). Otra de las características de la línea de almacenamiento, es que permite conservar la granulometría del carbón, la cual es fundamental para la adecuada combustión en la caldera. La implementación de los

sistemas de captación de polvo, tanto de carbón como de caliza, permite que se contribuya al cuidado ambiental, evitando que todos estos polvillos sean arrojados a la atmosfera y aprovechando también al máximo los recursos, reintegrando estos al proceso o vendiéndolos a terceros.

El diseño de un tablero de potencia y de control o también llamado Centro de Control de motores se realiza porque se necesita entregar energía eléctrica a los motores e instrumentos de todos los procesos requeridos. Igualmente se utiliza un tablero de potencia porque es de gran importancia vigilar el estado de las maquinas involucradas en el proceso, por ejemplo la protección de los motores tanto por sobre corriente como por sobrecarga, que se realiza mediante breakers y relés térmicos (Khederzadeh, 2011); permitiendo los primeros también la desenergización de las maquinas, para realizar un mantenimiento sin parar el resto de procesos. El tablero de control se construirá debido a la necesidad de darle las instrucciones de funcionamiento a los motores y recibir la señal de instrumentos o de mandos locales, todo esto integrado mediante un PLC que permite la automatización.

La automatización permite también reducir los costos de almacenamiento evitando la compra de maquinaria como lo sería un buldócer para el apilamiento de carbón y el uso de operarios para el accionamiento de mecanismos; además la seguridad y eficiencia que otorga este sistema, el cual gracias a la automatización tendrá la capacidad de almacenar hasta 30 toneladas/hora de carbón. Adicionalmente el tablero de potencia y control también busca el ahorro de energía, debido a que los motores son encendidos solo cuando se requiere; el centro de control de motores permite tener todo el sistema de arranque, de protección, control y de distribución de energía en un mismo lugar (Siemens-MCC, 2013). El centro de control de motores también le permitirá al usuario ejecutar el proceso de manera manual o automática, brindando así una mayor facilidad a la hora de realizar un mantenimiento.

## **1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.5.1 Objetivo General**

Diseñar e Implementar un centro de control de motores y la automatización para proceso de manejo de carbón y caliza en la termoeléctrica de 14MW de Enka de Colombia

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Identificar los motores, mandos e instrumentos necesarios para la automatización en la línea de almacenamiento de carbón, caliza y control de polvos, así como sus respectivos requerimientos eléctricos.
- Diseñar un tablero de potencia y control para el manejo de motores, mandos e instrumentos del proceso.
- Cotizar y adquirir el tablero diseñado, así como los elementos necesarios para la automatización del proceso, tales como PLC, instrumentos y botoneras.

- Desarrollar un programa en PLC para la automatización de todo el sistema de manejo de carbón y caliza, según una guía creada que identifique la manera en que se almacenará el material y se activarán los diferentes mecanismos.

## **1.6 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.6.1 Marco Contextual**

En el sistema de manejo de Carbón y caliza en la termoeléctrica de Enka de Colombia se implemento un tablero de potencia y control llamado MCC, este tablero permite poseer en un mismo lugar todo el mando de los motores, así como sus protecciones tales como breakers y relés térmicos. En dicho tablero se encuentra también un PLC encargado de recibir las señales de los instrumentos y accionamientos locales (para mantenimiento) ubicados en los procesos. A partir de estos y de una programación previamente diseñada, se da instrucción de arranque o paro a cada motor mediante contactores o variadores de velocidad, activados por el PLC. EL tablero de control también informa el estado de todo el proceso. El PLC puede ser programado mediante diversos lenguajes como ladder, bloques, texto estructurado, entre otros. Se desarrollo un programa que permite en el caso del almacenamiento de carbón, optimizar el volumen a almacenar.

#### **Descripción de los procesos involucrados**

Para la diseño eléctrico y la automatización del sistema de manejo de carbón, caliza y manejo ambiental en Enka de Colombia para la termoeléctrica de 14 MW, se establecieron los procesos involucrados dentro del sistema, debido a que en cada proceso se tienen unas variables; cada uno de los proceso posee maquinaria que desempeña una función específica, lo cual permite que el sistema integre el funcionamiento de todas las máquinas. A continuación se desglosan los procesos involucrados en este proyecto y se presenta un resumen de sus equipos y funcionalidad (ver P&ID figura 8 y 9).

1. Sistema de Recepción de Carbón: Una reja vibratoria, cuya función es retener piedras con tamaño mayor al que puede transportar los elevadores de canjilones (espacios libres de 5cm x 5cm). Recibe el carbón que es descargado por las volquetas que transportan el carbón. La vibración es generada por un motor; allí se poseen también los mandos locales que le dan el inicio a todo el proceso de almacenamiento; debido a que el operario del cargador frontal es el que activa el sistema cuando comienza el descargue.
2. Elevador de Canjilones 1 y Zaranda clasificadora: Un elevador de cangilones sube el carbón a una zaranda clasificatoria, la cual está encargada de seleccionar el material que no sea apto para la caldera (tamaño de de granulo mayor a 8mm<sup>2</sup>). Dicha zaranda también transporta el carbón desde el elevador de canjilones 1 que es llamado elevador de canjilones corto, hacia la base de el elevador de canjilones 2 o elevador largo. El elevador de canjilones corto posee un variador de velocidad que permite controlar la velocidad a la que es transportado el carbón. La zaranda por su parte cuenta con dos motores de arranque directo para generar la vibración de la zaranda.

3. Elevador de Canjilones 2: también llamado elevador de canjilones largo, su principal función es subir el carbón previamente seleccionado en la zaranda, hacia el techo de la bodega de carbón, donde se encuentra la banda y el disparador que luego distribuirán el carbón. Dicho elevador también cuenta con un variador de velocidad.
4. Tornillo sinfín de descargue de Carbón: En los casos en los que no haya un cargador frontal (por mantenimiento o falla), para llevar el carbón desde la bodega de carbón hacia la banda transportadora que lleva el carbón hasta la cúspide de la caldera; se utilizará un tornillo sinfín que transportará el carbón desde la base de el elevador de canjilones 2 (descarga de la zaranda clasificadora), hacia la banda transportadora de carbón antes mencionada. Para seleccionar el destino del carbón se utilizara una válvula neumática diversora.
5. Banda transportadora y carro tripper: Luego de que el carbón se encuentra en el techo de la bodega por medio de un elevador de canjilones 2, una banda transportadora, mueve el carbón a lo largo del techo de la bodega de carbón; por su parte un carro viajero llamado carro tripper o disparador, se encarga de distribuir el carbón en el borde de la pila, optimizando la altura de la pila. Ambos mecanismos poseen un variador de velocidad; encargados en el caso del disparador: controlar la posición del carro y en el caso de la banda transportadora: controlar la velocidad con la que se entrega el carbón.
6. Sistema de Almacenamiento de Caliza: para este sistema se contara con un silo el cual será el encargado de almacenar la caliza, la cual llega al silo por medio de una bomba que eleva la caliza desde un carro cisterna hasta la cúspide del silo. El silo en su parte inferior cuenta con una válvula rotatoria controlada por un variador de frecuencia, buscando que se entregue caliza a una tasa deseada según sea la necesidad en la caldera. La válvula rotatoria entrega la caliza a un tornillo sinfín que se encarga de transportar la caliza desde el silo hasta la banda transportadora que lleva la caliza hasta la caldera.
7. Sistema de control Ambiental: Para todos los procesos de transporte de arena, carbón y caliza; en cada transferencia se tiene un sistema de captación de polvos, por medio de unos filtros de talegas.

### **Variables del sistema**

En el sistema de almacenamiento y manejo de materiales se tendrán como mínimo 2 variables por cada proceso anteriormente descrito. Algunas de las variables que se tienen en el proceso son:

- Velocidad (de los mecanismos como bandas, elevadores, válvula rotatoria y carro tripper)
- Posición (del carro tripper)
- Nivel (silo de caliza y de la bodega de carbón)
- Voltaje (Del tablero y sus equipos)

- Corriente (Del tablero y sus equipos)
- Movimiento (para verificar el estado y correcto funcionamiento de los elevadores de canjilones y banda tripper por medio de sensores inductivos)
- Accionamientos locales, remotos y paros de emergencia.
- Interfaz Humana, para informar el funcionamiento de cada proceso del sistema

### **1.6.2 Marco de Teórico**

Para el sistema de almacenamiento de carbón y caliza en Enka de Colombia se diseñó un tablero eléctrico, desde el cual se alimentan todos los equipos que lo requieran, adicionalmente, en este se tiene el control y automatización de las maquinas para un funcionamiento determinado. Para el diseño de un tablero de alimentación eléctrica, se requieren conocer ciertos conceptos los cuales permitan un diseño seguro, fiable, y que responda a las necesidades de los equipos.

En la industria se han usado tableros de distribución de baja tensión, en los cuales se disponen en su interior todos los elementos de protección de equipos en un mismo compartimento. Se dispone un espacio para la potencia y otro completamente aislado para el control (Promelsa tableros-distribución, 2013). Este modelo típico usado en la mayoría de las ocasiones resulta ser de bajo costo, pero con algunos inconvenientes a la hora de realizar mantenimiento, montaje, además por razones de seguridad se debe desenergizar todo el tablero si se desea trabajar en este, lo cual resulta poco práctico. Para el tablero de Enka de Colombia se prefirió la construcción de un Centro de Control de Motores MCC que es un tablero compartimentado el cual tiene unas características más idóneas para el tipo de montaje y la automatización a realizar; además de que es un tablero más seguro gracias a que se puede aislar cada compartimento para realizar trabajos en este.

#### **Tableros MCC**

Para suministrar energía y controlar una serie de motores y de instrumentos en un proceso de una planta o en este caso en la línea de almacenamiento de carbón; comúnmente son usados los tableros CCM (Centro de Control de Motores) o MCC (Motor Control Center). Los MCC son utilizados como eslabón de unión entre la alimentación de energía que entra a una planta y los consumidores finales tales como motores, instrumentos, frenos, etc. Los MCC ofrecen la ventaja de integrar dentro de un mismo tablero los sistemas arrancadores de motores de distintas áreas de una planta así como el sistema de distribución de la misma, al utilizar este equipamiento se reducen los costos ya que las líneas de alimentación llegan a un solo lugar (el MCC) y desde allí salen los cables de poder y de control hacia las cargas finales. Un centro de control de motores es un tablero en el que se alojan, en compartimientos individuales, los equipos necesarios para el óptimo arranque y protección de motores eléctricos (Siemens-MCC, 2013). En la Figura 4 se muestra un tablero MCC típico de la marca WEG.



**Figura 3. Centro de Control de Motores de Media Tensión - CCM's MT (WEG, 2013).**

En cada compartimiento se instala un sistema de rieles y en la puerta del compartimiento se instalan los elementos de maniobra tales como, pulsadores de marcha, parada, contramarcha, regulación de velocidad, etc. Dentro del compartimiento sobre plataformas fijas, semi-extraíbles o extraíbles, se instalan los equipos para protección y arranque tales como: breakers, guarda motores, relés térmicos, contactores, variadores, etc. (Siemens-MCC, 2013). Las unidades de protección y corto circuito pueden ser: interruptores termo magnéticos o fusibles para protección de motores. Los guarda motores o arrancadores podrán ser de protección térmica fija o ajustable. (Tecno circuito alfa, 2013). El uso de tableros MCC tiene ciertas ventajas como lo es la individualización de equipos, lo que permite un mantenimiento más fácil, sin tener que parar los otros equipos, además al ser un modelo modular es más seguro y cómodo para trabajar.

**Tabla 2. Características Eléctricas Típicas de un Tablero MCC (Tecno circuito alfa, 2013).**

<b>Características Eléctricas Típicas</b>	
<b>Barras Principales con Principal</b>	4000 Amp. Normalmente
<b>Interruptor Principal</b>	4000 Amp. Máxima
<b>Arrancadores modelo</b>	Cutler Hammer, Square D, General Electric, ABB.
<b>Voltaje de Trabajo</b>	600 Vac. Máxima 60 Hz
<b>Voltaje de Aislamiento</b>	600 Vac. Mínimo 60 Hz
<b>Voltaje de Control</b>	120 VAC. 60Hz
<b>Servicio</b>	3 Fases 4 Hilos   3 Fases 5 Hilos.
<b>Montaje</b>	Auto soportado
<b>Barras</b>	Desnudas o con Recubrimiento Aislante, Plateadas ó Pintadas
<b>Capacidad de Interrupción Máxima</b>	65KA Icc (rms) en 240 VAC.
<b>Cubierta o Ejecución</b>	1 - A prueba de polvo y agua (Nema 12) 2 - Para uso a la intemperie (Nema 3R) 3 - Para ambiente corrosivo (Nema 4X)

Lámina utilizada	Calibre 14 (1.9mm)
Pintura	Gris Electrostático RAL 7042 ó 7032

En la tabla 2 se muestra un detalle típico de características eléctricas que posee un tablero MCC; en Colombia las normas que rigen el diseño de un tablero o instalación eléctrica son la NTC2050 y el RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas), por lo cual a la hora de hacer el diseño se tiene que tener presente los capítulos que aplican según sea el caso, tanto para el tablero como para los cables de alimentación de motores, instrumentos o el sistema de descarga a tierra (Ministerio de Minas y Energía República de Colombia, 2013). El tablero MCC también está compuesto por una serie de Compartimentos en los cuales está ubicado el control, allí llegan las señales de los instrumentos y mandos locales; típicamente por medio de un PLC se automatiza el proceso deseado.

### Diseño Eléctrico

El diseño eléctrico del tablero se fundamenta en teorías de circuitos eléctricos, buscando que estos mismos cumplan los requisitos técnicos para el correcto funcionamiento del tablero y de los equipos que este alimenta. Inicialmente se definen unos conceptos para el diseño de una instalación eléctrica. Luego se analizan otros conceptos específicos para el diseño de un tablero de distribución eléctrica.

El voltaje es también llamado tensión eléctrica o diferencial de potencial eléctrico; cuando se separa una carga positiva de una negativa, se tiene que gastar energía en el proceso. El voltaje es la energía por unidad de carga creada por la separación (diferencia de potencial). Los efectos eléctricos causados por las cargas en movimiento dependen de la tasa de flujo de la carga. La tasa de flujo de la carga se define como corriente eléctrica. (Nylon W, 2005)

La corriente alterna es una corriente eléctrica en la cual el sentido y la magnitud de la corriente varían en el tiempo de manera cíclica, típicamente se comporta como una onda sinusoidal; cuando se habla de un sistema monofásico, se refiere a aquel que usa una sola onda o fase de corriente alterna, de allí que el voltaje varíe de igual manera en el tiempo. Por su parte un sistema trifásico es aquel que en vez de una fase usa tres fases o corrientes monofásicas con las mismas características de voltaje y frecuencia, dichas fases presentan un orden entre ellas y se encuentran desfasadas 120° (Planas J, 2000). Los sistemas trifásicos son muy usados en la industria porque son más eficientes que los monofásicos, debido a que tienen un menor consumo de corriente dado a que la energía se transporta en 3 líneas, en vez de una como es el caso de los sistemas monofásicos.

La potencia es el producto de la corriente que atraviesa un elemento por la tensión que cae en él. En el caso de la potencia trifásica el concepto es el mismo pero el cálculo se realiza con fórmula que se muestra en la ecuación 1. (Nilsson J, 2005)

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

ec.1 Potencia Trifásica

Donde:

V: Voltaje

I: Corriente

cos  $\phi$ : factor de potencia

Los conceptos anteriores son las bases para hablar de una instalación o equipo eléctrico; a la hora de diseñar se deben tener en cuenta los siguientes conceptos específicos:

Datos de la Red: los principales datos de las redes eléctricas son la tensión nominal, la frecuencia nominal y su comportamiento en caso de cortocircuito.

*Tensión Nominal y frecuencia Nominal:* para una instalación donde se tiene el control y la distribución de electricidad se tienen que diferenciar dos tipos de tensiones: una tensión principal o de abastecimiento, que es la tensión de alimentación de los motores y una tensión auxiliar, que es la tensión con la que se manejan los equipos de control y aviso. Las tensiones principales en la industria colombiana son de 220V en pequeña industria o 440V en grandes industrias, en corriente alterna. Para el caso de la tensión auxiliar se tiene 24V , 125V en corriente continua y 110V y 220V en corriente alterna. La frecuencia de abastecimiento de energía típicamente es de 50Hz o 60 Hz, en Colombia la frecuencia nominal de abastecimiento es de 60Hz

*Corriente de Cortocircuito ( $I_k$ ) :* es el valor máximo posible que un equipo o circuito resiste a una sobreintensidad que circula en el caso de presentarse un cortocircuito, dicha capacidad prevista es determinante para la elección de los aparatos de maniobra y distribuciones en función de su resistencia a los cortocircuitos y la capacidad de ruptura (poder de corte). Esta es expresada en kA (kilo Amperios) y los valores van desde 10 kA en adelante.

*Corriente nominal:* es la corriente de trabajo de un equipo; la clase de servicio, por ejemplo servicio continuo, servicio de breve duración y servicio intermitente, es determinante para la selección de los aparatos de maniobra en función de sus corriente nominales

### **Equipos de Protección, seccionamiento y maniobra**

Existen una serie de equipos que permiten tener el control y la protección sobre una instalación eléctrica o un grupo de motores como es el caso del sistema de almacenamiento de carbón. Existen equipos para la protección por sobre corriente y sobrecarga de los motores u otros aparatos, dentro de los cuales se tiene:

*Interruptores de potencia (Protección Magnética):* es un interruptor que puede conectar y desconectar corrientes, realizando una protección magnética; bajo condiciones de servicio normales y bajo condiciones anormales bajo las especificaciones de la corriente de cortocircuito; tienen como función primordial la protección contra cortocircuitos, estos también pueden proteger contra sobrecargas, corrientes de defecto y contra subtensión, por lo que es de gran importancia su uso en una instalación donde hallan equipos y personas.

*Protección de Motores (Protección térmica):* los motores deben protegerse contra sobrecargas, es decir se debe proteger el devanado contra un calentamiento inadmisibles por superar la corriente de placa; un motor se puede sobrecargar térmicamente por varios motivos tales como: mal conexión, aumento de pérdidas debido a fallas en la red, mala refrigeración y aumento de las pérdidas a causa del servicio por un aumento del par de giro en el servicio continuo. Algunos

dispositivos para la protección de los motores son los disparadores de sobrecarga térmica como parte integrante de los interruptores de potencia, los relés contra sobrecarga térmica, como componentes de la combinación con contactores, estos dos equipos trabajan bajo el principio de un bimetalico dispositivo dependiente de la temperatura. Por otro lado se tienen los dispositivos de protección dependientes de la corriente, que funcionan bajo principios electrónicos y son: disipadores electrónicos como parte de los interruptores de potencia y maniobra. Tanto los relés térmicos como los electrónicos simulan una imagen térmica del embobinado del motor. Existe otra protección térmica cuyo funcionamiento consiste en poner un sensor de temperatura (ptc) directamente en el motor, con el fin de vigilar el sobrecalentamiento, normalmente van a un relé de protección o se lleva la señal al PLC.

Como se desea realizar una automatización del proceso, se desea tener un control de cuando arrancar o parar un motor, adicionalmente hay motores para los cuales se necesiten velocidades variables, según sea la necesidad. Para ello existen dispositivos llamados contactores que permiten el accionamiento de los motores y los variadores de velocidad que permiten arrancar un motor pero a su vez permiten controlar el sentido de giro y la velocidad de este.

*Contactor:* es un aparato de maniobra que cierra contactos de potencia para permitir el paso de energía hacia otro dispositivo, los contactores no tienen un accionamiento manual, una bobina es la encargada de cerrar los contactos cuando esta es energizada la fuerza para abrir o cerrar los contactos principales la suministra un electroimán; bajo condiciones normales se puede conectar, conducir e interrumpir corrientes. Estos son diseñados para una frecuencia de maniobra alta.

*Variador de Velocidad:* es un aparato que mediante la variación de la frecuencia regula la velocidad de rotación, y mediante la variación del voltaje regula el torque disponible en el eje del motor. Normalmente se debe mantener una relación voltios-hertz constante, excepto en frecuencias inferiores a 5 Hz, para lo cual se tiene una mayor relación voltios-hertz para tener un mayor par de arranque. Los variadores de velocidad además de permitir variar la velocidad, permiten una optimización del consumo de energía en los motores, por medio de una reducción de la relación voltios-hertz en el caso de que un motor no esté a plena carga.

### **Automatización**

La automatización consiste en hacer que un proceso se realice de forma automática mediante el uso de dispositivos electromecánicos y electrónicos. En el caso industrial, la automatización, se realiza en la mayoría de los casos utilizando un PLC. La finalidad de automatizar no solo es facilitar el trabajo de las personas, sino mejorar el rendimiento de producción e inclusive la calidad de los productos. Adicional a esto un proceso automatizado genera la estandarización de la calidad, lo cual permite entregar al usuario productos con estándares de calidad definidos.

## Seguridad industrial y ocupacional

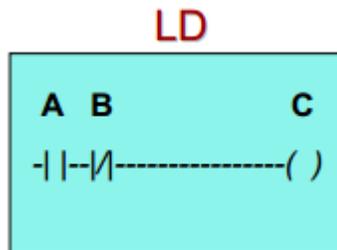
En los últimos años la seguridad industrial en Colombia ha evolucionado mucha, tanto así que ha llegado a posicionarse como una de las mejores en América Latina. Actualmente las normas para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades laborales se han vuelto muy exigentes, también se ha visto un gran incremento en el control y supervisión de trabajos de alto riesgo, como lo son trabajo en alturas o trabajos confinados. Con la aparición de la resolución 2400 en 1979 se comenzó un proceso de mejora constante y una serie de normas, las cuales permiten tanto a los empleadores como a los trabajadores poner en un mismo plano la productividad y la seguridad. Actualmente existen muchas normas vigentes en Colombia, referentes a seguridad industrial y ocupacional. Estas son algunas de ellas:

- Resolución 2013 de 1986 = COPASO.
- Decreto 614 de 1984 = bases para la administración de la salud ocupacional en el País.
- Resolución 1016 de 1989 = reglamenta la organización y funcionamiento de los PSO.
- Decreto Ley 1295 de 1994 = organización y administración de los riesgos profesionales en el País.
- Decreto 1832 de 1994 = tabla de enfermedades profesionales.
- Decreto 1281 de 1994 = actividades de alto riesgo.
- Ley 776 de 2002 = reforma a las prestaciones en SGRP.
- Decreto 2800 de 2003 = afiliación al SGRP de trabajadores independientes.
- Resolución 2346 de 2007 = Historias Clínicas Ocupacionales.
- Resolución 3673 de 2008 = trabajo en alturas.
- Resolución 1401 de 2007= Investigación de Accidentes de trabajo.
- Resolución 2844 de 2007 = Guías de atención integral en salud ocupacional.
- Resolución 1013 DE 2008 = Guías de atención integral en salud ocupacional.
- Resolución 1956 de 2008 = consumo de cigarrillo.
- 15. Ley 1010 de 2006= Acoso Laboral.
- Decisión 584 de la CAN = definición de accidente de trabajo y enfermedad profesional

## Lenguajes de programación

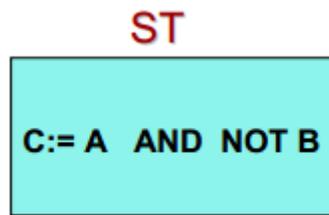
Para indicar a un PLC que secuencia debe realizar, antes se debe programar dicha secuencia, generalmente en un computador. Para hacer un programa existen diversos lenguajes, el uso de un lenguaje u otro depende del gusto del programador y en algunos casos del problema a resolver. EL objetivo principal de realizar estos programas es llevarlos a la CPU del PLC para que este lo ejecute. Existe una norma para estandarizar la programación de PLC, la IEC 1131. Dicha norma busca la forma de solucionar necesidades de programación para la automatización industrial, utilizando PLC de diferentes proveedores, con diferentes lenguajes de programación y que puedan ser entendidos por personal de mantenimiento, ingenieros eléctricos, mecatrónicos y electrónicos. Entre los programas disponibles para programar un PLC estos son unos de los más conocidos:

- *Ladder Diagram (LD)*: Es el programa que más se utiliza para programar PLC. Fue el primero en desarrollarse, por esto presenta muchas semejanzas con diagramas eléctricos en su simbología. Su programación se basa en la activación y desactivación de relés y bobinas, los cuales están asociados con salidas físicas o marcas (memorias internas) del PLC que a su vez envían señales al proceso. En caso de presentarse una falla en el sistema permite encontrar los errores en el programa con mucha facilidad.



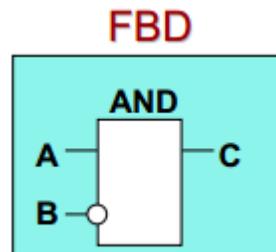
**Figura 4. Ejemplo lenguaje Ladder (infoplc.net, 2013).**

- *Texto Estructurado (ST)*: Consiste en dar instrucciones mediante palabras. Al estar conformado por solo palabras es muy fácil de entender, tanto para el personal técnico como de ingeniería. Es un lenguaje que permite realizar cálculos grandes e instrucciones complejas con relativa facilidad. Se considera un lenguaje de alto nivel. Ocupa menos memoria en el PLC. No obstante, en caso de presentarse una falla en el sistema, encontrar la causa de esta es relativamente difícil.



**Figura 5. Ejemplo lenguaje texto estructurado (infoplc.net, 2013).**

- Esquema Básico de Funciones (FBD): Este programa es completamente gráfico, se fundamenta en bloques con operadores conectados entre sí. Esta forma de programar es una analogía a un circuito digital. Facilita la depuración del programa y los análisis de fallas, ya que permite el seguimiento del flujo de datos. Es altamente reutilizable, permitiendo implementar un programa existente en otro proceso, realizando muy pocas modificaciones.



**Figura 6. Ejemplo lenguaje diagramas de bloques de funciones (infoplc.net, 2013)**

- Esquema secuencial de Funciones (SFC): Este tipo de lenguaje se originó en los años 70, llamado GRAFCET. Consiste en una secuencia estructurada de acciones las cuales están conectadas por eventos o cambios de estado. Se conforma básicamente por bloques de acción y pasos. Este programa es especialmente útil para programar secuencias de funcionamiento. Sin embargo encontrar fallas en el funcionamiento del sistema se dificulta debido a la estructura de programación.

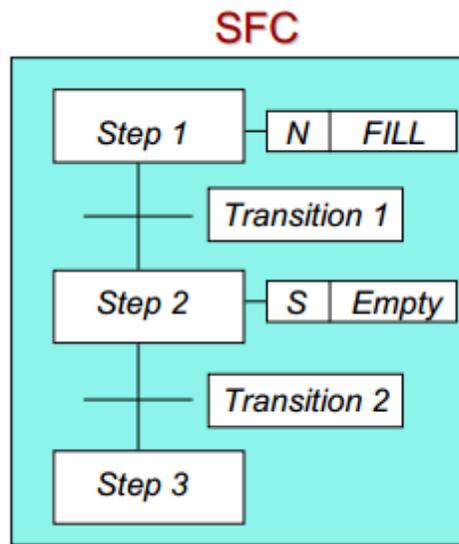


Figura 7. Ejemplo lenguaje esquema secuencial de funciones (infoplcn.net , 2013).

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 PROCEDIMIENTO O DISEÑO METODOLÓGICO**

Para el realizar el diseño e implementación del tablero MCC propuesto y la automatización del proceso de manejo de carbón y caliza para la termoeléctrica de 14 MW en Enka de Colombia, se desarrollaron las siguientes etapas:

#### **Etapa 1: Identificación de los procesos y sus requerimientos eléctricos e instrumentación; elaboración de P&ID.**

Antes de realizar un diseño eléctrico y una automatización, es importante la identificación de todo el proceso a intervenir, debido a la necesidad de integrar al máximo los componentes allí presentes; en este caso para el sistema de almacenamiento y manejo ambiental de carbón y caliza, se realizó una investigación con las diferentes áreas involucradas en el proyecto. Lo que se busca básicamente es establecer que requerimientos eléctricos necesita cada montaje mecánico para su funcionamiento, tales como corriente, voltaje, potencia, tipo de arranque, en el caso de un motor, o si se requiere un variador de frecuencia por la forma de trabajo de un motor.

Adicionalmente en miras de la automatización y el mantenimiento de los procesos, se identificaron todos los instrumentos requeridos para el control y supervisión de los procesos, así como los diferentes accionamientos locales y remotos que sirven para el mantenimiento y puesta en marcha de todos los mecanismos. Para todo ello se utilizó una tabla en la que se registró la información requerida para el diseño y se elaboro el P&ID.

#### **Etapa 2: Diseño de tablero de potencia y control.**

Luego de establecer los requerimientos eléctricos para el proyecto, se hizo el diseño del tablero de potencia que suministra energía a los motores involucrados, en dicho diseño se tuvieron en cuenta las diferentes protecciones necesarias para un motor, así como el tipo de arranque y los contactores que dan la orden de cuando arrancar a un motor. Para todo ello, primero se investigó acerca de los tableros MCC y su construcción, contando además con la capacitación del Ingeniero Rodrigo Arbeláez, jefe de Diseño eléctrico e instrumentación en Enka de Colombia.

Paralelamente se realizó el diseño del módulo de control del tablero, el cual está encargado de recibir señales de los accionamientos e instrumentos; así como enviar instrucciones hacia los motores, indicadores, alarmas etc. Todo lo anterior mediante la integración de un PLC. Durante el proceso de diseño se realizaron planos tales como: diagrama unifilar, trifásico, control, Layout.

#### **Etapa 3: Cotización y compra de equipos.**

A partir de los planos realizados en la etapa de diseño se procedió a cotizar el tablero MCC, aquí también está incluido el PLC y sus diferentes módulos de entradas y salidas. Adicionalmente se seleccionaron y compraron todos los accionamientos, instrumentos, cables, etc. que no se habían establecido para ser suministrados por las empresas de montaje mecánico tales como Equimetalco, E&C Soluciones, etc.

A Equimetalco por ejemplo se le compro una solución para el almacenamiento de carbón; se trabajó entonces de la mano con ellos para establecer cuáles eran los instrumentos y accionamientos adecuados en cada etapa del proceso.

#### **Etapa 4: Montaje eléctrico e Instrumentación de los procesos.**

Enka de Colombia cuenta con dos empresas contratistas para los montajes eléctricos, luego de tener los elementos requeridos y el montaje mecánico estar listo, se procedió con el montaje del tablero, acometidas eléctricas, instrumentos, accionamientos, alarmas, entre otros. Así como con el conexionado de todos estos elementos al tablero MCC, el cual se encuentra en una sala eléctrica.

#### **Etapa 5: Desarrollo de Programa en PLC para automatización.**

Se desarrolló un programa para el PLC mediante lenguaje en bloques, para la automatización de todos los procesos, esta etapa esta después del montaje eléctrico debido a que se requería evaluar tiempos de trabajo de los mecanismos para su posterior programación, además de calibrar los instrumentos requeridos.

Basados en las teorías de colas y fundamentalmente en la filosofía FIFO se diseñó el programa de almacenamiento de carbón; por otro lado se desarrolló en el mismo PLC el programa que maneja el sistema de control ambiental y almacenamiento de caliza.

#### **Etapa 6: Pruebas de los sistemas.**

Luego de tener todos los montajes listos y el programa en PLC se realizaron las pruebas del funcionamiento de los procesos en vacío, así como la efectividad de la automatización desarrollada; para realizar las correcciones y mejoras deseadas. Luego de tener certeza de toda la implementación, se probó el sistema con carga buscando encontrar errores que pudiesen no haberse detectado con el sistema sin carga, debido a las cambios en la variables que se manipulan.

### **3. INGENIERÍA DEL PROYECTO**

Para el desarrollo del proyecto se tuvieron las etapas de diseño, cotización-compra, montaje y pruebas, a todo esto se llamó ingeniería del proyecto.

#### **3.1 EJECUCIÓN DE LA FASE DE IDENTIFICACIÓN Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La necesidad inicial era el diseño de un tablero eléctrico el cual cumpliera con los requerimientos técnicos para el manejo del proceso de almacenamiento de carbón, caliza, y manejo ambiental. Para la realización de dicho tablero inicialmente se plasmo en un P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) todos los requerimientos de motores, instrumentos y demás asociados al proceso. Adicional al P&ID este fue acompañado con una lista de consumidores eléctricos y una lista de entradas y salidas a el PLC que realizaría la automatización. Tres compañías fueron las encargadas de desarrollar el montaje mecánico del proceso, una para manejo de carbón, otra para el manejo ambiental y una última para el montaje del manejo de caliza. En las figuras 8 y 9 se muestra el P&ID de todo el proceso; el cual se construyó a partir de la información brindada por las 3 compañías que realizarían los montajes mecánicos y de los elementos dispuestos por Enka para la automatización del proceso.

La recolección de la información para el diseño del tablero y la automatización del sistema, se basó en reuniones con las diferentes empresas de montaje mecánico, de donde se obtuvieron las tablas de consumidores y entradas-salidas, además en estas se discutieron asuntos respecto al diseño, responsabilidades de cada parte y los elementos a usar. A continuación se describe toda la fase de identificación de los procesos

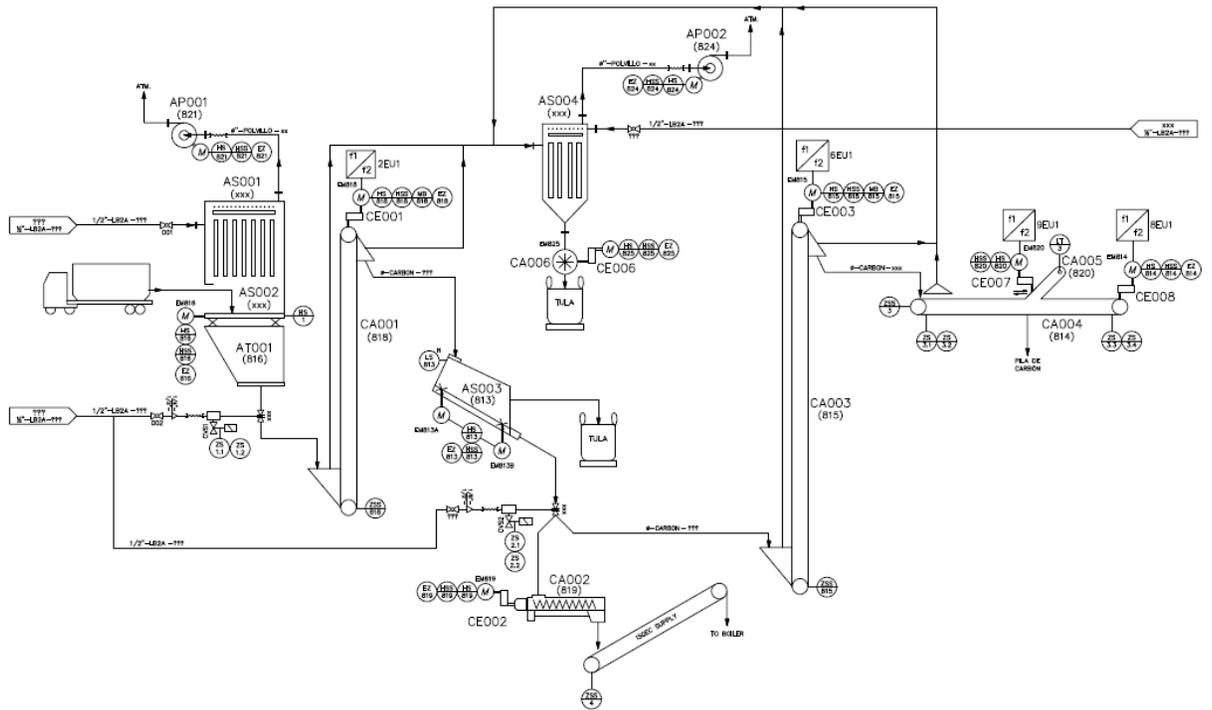


Figura 8. P&ID 1 Sistema de manejo de carbón y manejo ambiental (Anexo 1)(Gutiérrez & Lopera, 2013).

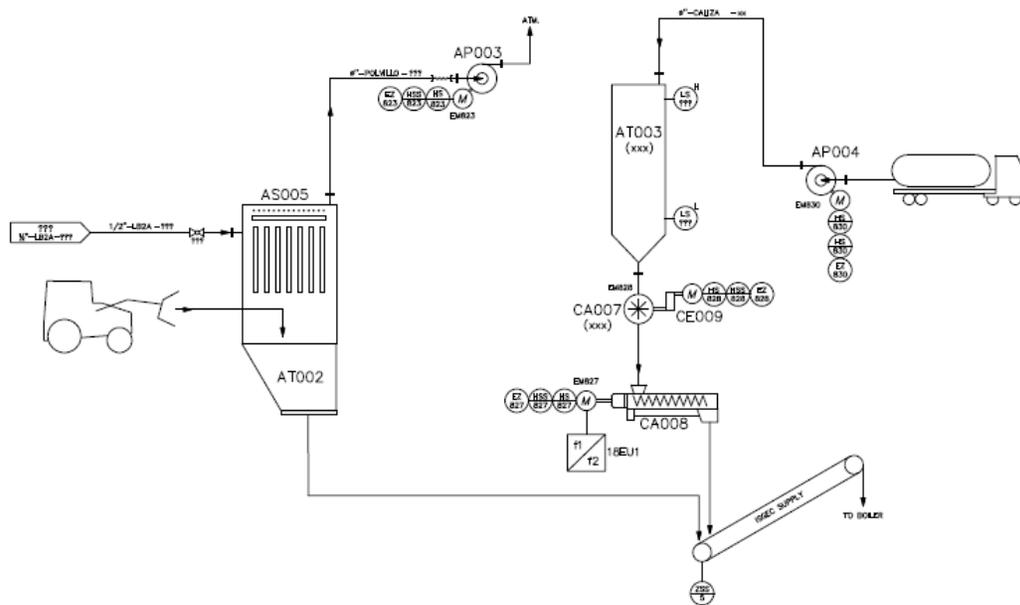


Figura 9. P&ID 2 Sistema de manejo de carbón, caliza y manejo ambiental (Anexo 1)(Gutiérrez & Lopera, 2013).

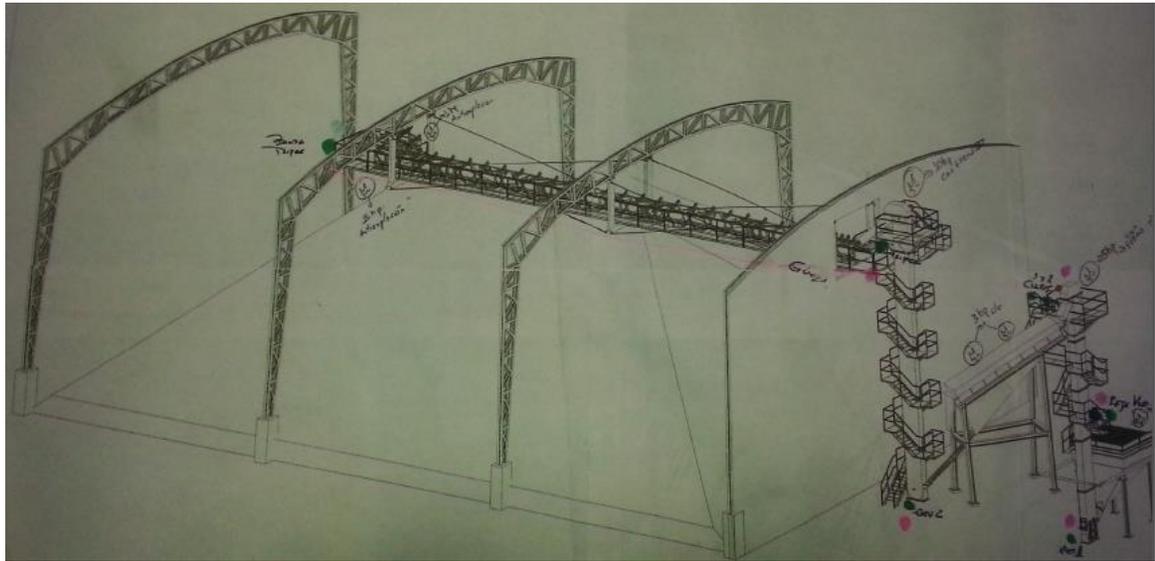
### 3.1.1 Manejo de Carbón:

Equimetalco una empresa de Itagüí-Antioquia dedicada a montajes mecánicos; fue la compañía encargada de realizar el diseño y el montaje mecánico de toda la parte de almacenamiento de carbón. En una reunión con su personal se estableció como funcionaria el proceso y de que equipos mecánicos se compondría toda la línea que permitiría un óptimo almacenamiento de carbón en la bodega. Equimetalco estableció un diseño mecánico, que permitió la construcción civil de la bodega para 3500 toneladas, la cual se debía adaptar a los equipos mecánicos.



**Figura 10. Bodega de Carbón Enka de Colombia, construcción civil (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

Luego de aprobados los diseños mecánicos (figura 11) por parte de Enka de Colombia, se realizó una reunión donde se establecieron los motores e instrumentos necesarios para la operación y automatización del sistema, se realizó la lista de consumidores eléctricos, la lista de entradas y salidas al PLC. Con dicha información Equimetalco realizó una oferta (Anexo 2) donde estos se encargaban del montaje mecánico, de los motores y de la instrumentación, por su parte Enka de Colombia realizaría el tablero de Potencia y la automatización del proceso.



**Figura 11. Bosquejo diseño mecánico manejo de carbón (Equimetalco, 2013).**

En la tabla 3 se muestra una tabla de todos los consumidores eléctricos asociados al manejo de carbón los cuales son alimentados del tablero MCC. Para todos los motores se pidió a Equimetalco que fueran con alimentación a 440 VAC debido a que este es el voltaje disponible en la planta. Adicionalmente se acordó que los motores M818, M815, M814 y M820 se les instalaría variador de velocidad debido a que en el caso de los elevadores y la banda se desea tener un control de velocidad y del par de arranque y en el caso del carro Tripper se desea tener control en el sentido de giro y en la velocidad de este. Dichos variadores los suministra Enka de Colombia.

**Tabla 3. Lista de Consumidores Eléctricos manejo de Carbón.**

TAG	Descripción	Voltaje	Corriente	Potencia	RPM
M816	Motor Vibrador Reja	440VAC	3.04 A	2.4 H.P	1800
M818	Motor Elevador de Canjilones Corto	440VAC	7.3 A	5 H.P	1730
F818	Freno Elevador de Canjilones Corto	440VAC	1 A	-	-
M813A	Motor Vibrador Zaranda A	440VAC	3.04 A	2.4 H.P	1800
M813B	Motor Vibrador Zaranda B	440VAC	3.04 A	2.4 H.P	1800
M815	Motor Elevador de Canjilones Largo	440VAC	14.6 A	10 H.P	1735
F815	Freno Elevador de Canjilones Largo	440VAC	1 A	-	-
M814	Motor Banda Tripper	440VAC	18.1 A	15 H.P	1760
M820	Motor Carro Tripper	440VAC	1.9 A	1 H.P	1765
M819	Motor tornillo Sinfín Alimentación Carbón	440VAC	6.35 A	4 H.P	1700
	Electroválvula Compuerta mariposa	110 VAC	0.1 A	15 W	-
	Electroválvula válvula diversora	110 VAC	0.1 A	15 W	-

Para el control y automatización de todo el proceso se estableció que todos los motores tendrían:

- Paro de Emergencia, como seguridad en caso de un accidente, el cual para todos los procesos asociados.

- Suiche para Candadeo: Un suiche para candadeo permite asegurar cada motor de manera individual y evitar que este sea arrancado, este es un elemento de seguridad para el caso en que se esté haciendo un mantenimiento.
- Mando de Start/Stop: para el accionamiento local de los motores, se instala para comprobar los equipos localmente y realizar mantenimientos.

Equimetalco se responsabilizo del montaje de estos elementos por cada motor instalado; en el caso de la banda final se instalo una guaya como paro de emergencia, lo que permite parar en cualquier punto de la banda el proceso si hay una emergencia. Por otro lado se estableció que a los elevadores de canjilones y la banda Tripper se les instalaría en el eje que no lleva motor un sensor inductivo que permite comprobar rotación de la banda; esto con la finalidad de parar el proceso si alguna de las bandas se está deslizando, evitando de esta manera un daño mayor. Las compuertas neumáticas a su vez tienen dos sensores inductivos para indicar el estado (abierto/cerrado), lo que permite cerrar el paso del material en el caso de la compuerta de la tolva de recibo; o en el diverter realizar la selección si el carbón irá a la bodega o al tornillo sinfín que entrega a la banda que va a la caldera. Finalmente Equimetalco realizaría el montaje de un instrumento análogo para medir el nivel de la pila que se forma en la bodega de carbón.

**Tabla 4. Entradas y salidas en campo manejo de Carbón.**

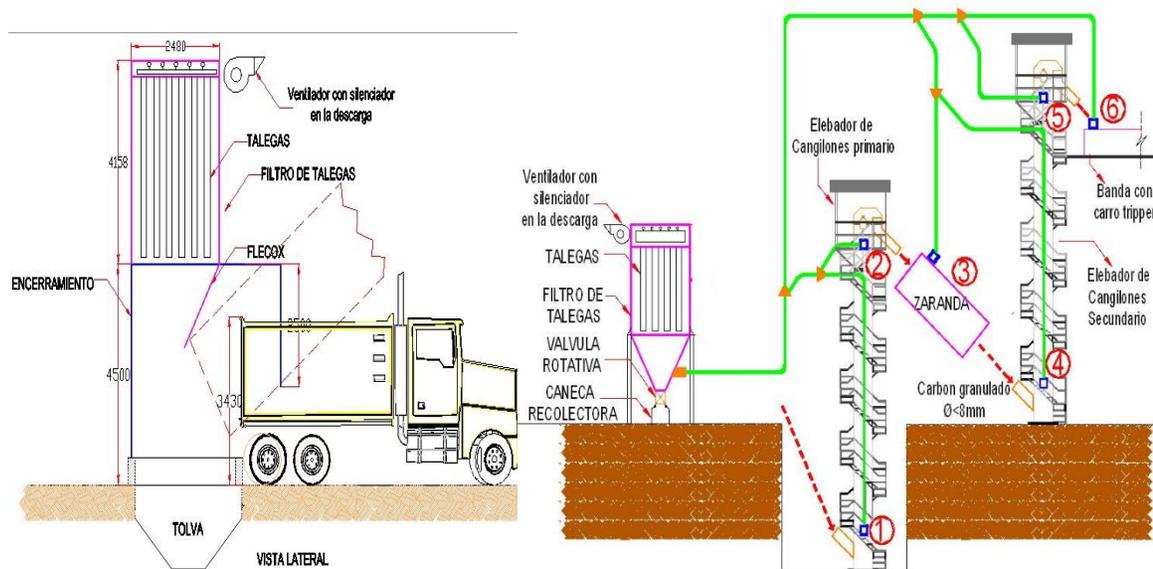
MAQUINA	ELEMENTO	ENTRADA	SALIDA
<b>REJA VIBRATORIA</b>	Motor 3hp		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
<b>VALVULA ESCOTILLA NEUMATICA</b>	Unidad de mantenimiento completa norgreen 3/8 manual	-	
	Sensor inductivo 18 mm monitoreo posición abierta	X	
	Sensor inductivo 18 mm monitoreo posición cerrada	X	
	Electroválvula norgreen 3/2, bobina 110 v		X
<b>ELEVADOR DE CANGILONES 1</b>	Motorreductor pendular sk4282 iec 112 -sk 112m/4 bre 60 - 5hp		X
	Freno motor 5hp		X
	Sensor inductivo 18 mm monitoreo movimiento eje inferior	X	
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Lámpara fluorescente 2x54 electrocontrol		
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
<b>ZARANDA CLASIFICADO RA</b>	Motor 3hp		X
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	

<b>TORNILLO SINFÍN</b>	Motorreductor sk 672.1- iec 100-sk 100la/4 - 4hp		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre con	X	
<b>ELEVADOR DE CANGILONES 2</b>	Motorreductor sk 4282 iec 132 sk 132m/4 bre 100 - 10hp		X
	Freno motor 10hp		X
	Sensor inductivo monitoreo movimiento eje inferior	X	
	Botonera star/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Lámpara fluorescente 2x54 electrocontrol		
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
<b>BANDA TRIPPER</b>	MOTORREDUCTOR HELICOIDAL SK 972.1 IEC 160 15hp		X
	Sensor inductivo de 30 mm anti explosión eje banda Tripper	X	
	Botonera start/stop tecna nema 4x ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo gualla	X	
<b>TRIPPER</b>	Motorreductor sin fin corona sk 1si 75 iec b5 90l/4+b49 1hp		X
	Sensor inductivo anti explosión final de carrera derecha	X	
	Sensor inductivo anti explosión final de carrera izquierda	X	
	Sensor para medir altura de la pila (ultrasónico, radar)	X	
	Botonera start/stop 3 pulsadores tecna nema 4x ip65	X	
	Microswitch final de carrera antiexplosivo derecha	X	
	Microswitch final de carrera antiexplosivo izquierda	X	
<b>DIVERTER</b>	Electroválvula norgreen 5/2, bobina 110 v	X	
	Sensor inductivo 18 mm monitoreo posición a tornillo		
	Sensor inductivo 18 mm monitoreo posición a bodega carbón		
<b>GENERAL</b>	Sirena motorizada a 110 v ip 65		X
	Baliza motorizada a a110 v ip 65		X
	Interruptor selector (hacia bodega carbón - hacia caldera)	X	
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	

### 3.1.2 Manejo Ambiental

E&C (Evaluación y control Ambiental) por su parte fueron los encargados de realizar el diseño y montaje mecánico de todo el sistema se captación de polvos en las zonas donde se realiza transporte o transferencia de materiales como lo es el carbón, la arena y la caliza; Enka adquirió estos equipos debido al compromiso que tiene la compañía con el medio ambiente y por el cumplimiento de las normas que rige la autoridad sobre los residuos que son arrojados al medio. E&C presento una propuesta de instalación de cabinas semi-cerradas sobre las tolvas de descargue de carbón, de alimentación de carbón hacia la caldera y en la tolva de alimentación de arena hacia la caldera. Dichos cerramientos cuentan con unos filtros de talegas para la captación de los polvos y un ventilador extractor

con silenciador en la descarga. Para el transporte de carbón que se realiza en los elevadores de canchales y en la zaranda clasificatoria E&C planteo un sistema similar al anterior pero con la diferencia que se tienen varias tomas de polvo en puntos estratégicos de estos equipos, este polvo es llevado a los filtros y luego este es descargado en una válvula rotatoria que permite el almacenamiento en una talega.



**Figura 12. Esquema presentado por E&C para captación de polvos (E&C, 2013).**

Se realizó una reunión donde se definieron los consumibles y los elementos que entregaba E&C dentro de su propuesta (anexo 3) y en la parte eléctrica entregan los motores y los tableros de control para los filtros de talegas, no se incluyeron las acometidas ni los mandos locales para el manejo de los equipos, trabajos y material a ser suministrados por Enka de Colombia. De la oferta se obtuvo la lista de consumidores eléctricos.

**Tabla 5. Lista de Consumidores eléctricos manejo Ambiental.**

TAG	Descripción	Voltaje	Corriente	Potencia	RPM
M819	Motor Extractor Descargue de Carbón	440VAC	14 A	10 H.P	1735
M822	Motor Extractor Alimentación de Carbón	440VAC	14 A	10 H.P	1735
M823	Reserva Motor Extractor Alimentación Arena	440VAC	14 A	10 H.P	1735
M824	Motor Tipo Turbina extracción elevadores	440VAC	14 A	10 H.P	3500
M825	Válvula Rotatoria Star Feeder	440VAC	1.6 A	0.75 H.P	1700
	Tablero de Control de filtros de mangas	110 VAC	0.5 A	50 W	-
	Tablero de Control de filtros de mangas 822	110 VAC	0.5 A	50 W	-
	Tablero de Control de filtros de mangas 824	110 VAC	0.5 A	50 W	-

Para el control de los equipos de manejo ambiental se establecieron los mismos accionamientos que se le pidieron a Equimetalco para los motores, en esta ocasión Enka fue responsable de la adquisición y montaje de estos mandos que se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6. Lista de entradas y salidas en Campo Manejo ambiental.**

MAQUINA	ELEMENTO	ENTRADA	SALIDA
<b>EXTRACION DESCARGUE CARBON (VOLQUETAS)</b>	Motor extractor		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
	Tablero de control filtro de talegas		X
<b>EXTRACCIÓN ALIMENTACIÓN CARBÓN (BANDA A CALDERA)</b>	Motor extractor		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
	Tablero de control filtro de talegas		X
<b>RESERVA EXTRACCION ALIMENTACION ARENA</b>	Reserva motor extractor		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
<b>EXTRACCION ELEVADORES Y ZARANDA</b>	Motor tipo turbina		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre	X	
	Tablero de control filtro de talegas		X
	Motor Válvula rotatoria Star Feeder		X
	Botonera start/stop con cofre plástico ip65	X	
	Suiche para candadeo en cofre ip65	X	
	Paro de emergencia tipo hongo en cofre con	X	

### 3.1.3 Manejo de Caliza

Para el manejo de Caliza Microminerales la empresa que suministrará la caliza para la termoeléctrica, también vendió el sistema de almacenamiento y entrega de caliza hacia la banda transportadora que va a la caldera. Dicho sistema consiste en un silo de almacenamiento para caliza, un camión cisterna transporta la caliza y una bomba (compresor) es la encargada de transportar la caliza desde el camión hasta la parte superior del silo; esta transferencia de material posee un sistema de captación de polvos pero este no tiene equipos eléctricos. En la parte inferior del silo se encuentra una válvula rotatorio que entrega la caliza a un tornillo sinfín que transporta la caliza hasta la banda que va a la caldera. La válvula rotaria se decidió instalarle un variador de velocidad, lo que permite controlar el flujo de caliza que se entrega al proceso.

**Tabla 7. Lista de Consumidores eléctricos manejo de Caliza.**

TAG	Descripción	Voltaje	Corriente	Potencia	RPM
M827	Tornillo de descargue Caliza	440VAC	4.8 A	3 H.P	86
M828	Válvula Rotatoria descargue Caliza	440VAC	3.4 A	2 H.P	1700
M830	Bomba de Caliza para descargue caliza a silo	440VAC	52 A	40 H.P	1800

Para el manejo de caliza Enka de Colombia fue la encargada de la alimentación de los equipos así como sus acometidas eléctricas y los accionamientos locales para paro o

mantenimiento; donde se siguieron implementando los mismos equipos de mando usados en los otros procesos.

**Tabla 8. Lista de entradas y salidas manejo de Caliza.**

MAQUINA	ELEMENTO	ENTRADA	SALIDA
<b>TORNILLO SINFÍN TRANSPORTE CALIZA</b>	MOTOR TORNILLO DESCARGUE		X
	BOTONERA STAR/STOP CON COFRE PLASTICO IP65	X	
	SUICHE PARA CANDADEO EN COFRE IP65	X	
	PARO DE EMERGENCIA TIPO HONGO EN COFRE	X	
<b>VALVULA ROTATORIA CALIZA</b>	MOTOR VALVULA ROTATORIA		X
	BOTONERA STAR/STOP CON COFRE PLASTICO IP65	X	
	SUICHE PARA CANDADEO EN COFRE IP65	X	
	PARO DE EMERGENCIA TIPO HONGO EN COFRE	X	
<b>BOMBA ALIMENTACIÓN SILO CALIZA</b>	MOTOR BOMBA CALIZA		X
	BOTONERA STAR/STOP CON COFRE PLASTICO IP65	X	
	SUICHE PARA CANDADEO EN COFRE IP65	X	
	PARO DE EMERGENCIA TIPO HONGO EN COFRE	X	

### 3.1.4 Otros Equipos Asociados

Debido a que todo el sistema de manejo de carbón y caliza se trabaja como una isla aparte de la termoeléctrica aunque sea para su propósito; se requieren una serie de equipos como lo son una bomba de drenaje la cual se encuentra en el foso donde comienzan las bandas transportadoras que van hacia la caldera las cuales por medio de tolvas se les entrega material. Dicho foso es susceptible a que cuando llueva se inunde, de allí a que se instale una bomba que permita desalojar el agua en el lugar.

La sala eléctrica donde se ubica el tablero MCC y los variadores contará con un extractor, buscando circular el aire y que no se concentre el calor generado por los equipos especialmente los variadores. Además se requieren dejar tomas a 440V para poder conectar equipos como soldadores para algún mantenimiento futuro. Por último se deja una salida de reserva por si se desea instalar otro equipo en el futuro, con una capacidad de un motor de 10 H.P.

**Tabla 9. Lista consumidores eléctricos otros equipos.**

TAG	Descripción	Voltaje	Corriente	Potencia	RPM
M826	Bomba de Drenaje foso de Carbón	440VAC	3 A	2 H.P	3500
M829	Motor extractor cuarto Eléctrico	440VAC	3 A	2 H.P	1800
M831	Reserva Motor	440VAC	14 A	10 H.P	-
-	Toma a 440 V	440VAC	20-25A	-	-
-	Toma a 440 V	440VAC	20-25A	-	-

Luego de tener todos los consumibles eléctricos para los procesos así como las entradas y salidas en campo para el control y automatización se procedió a la fase de diseño del tablero MCC, en el anexo 4 se encuentra una tabla donde se realiza un conglomerado de los

elementos eléctricos (motores, mandos, instrumentos, etc.) asociados a todo el sistema, allí se indican las especificaciones técnicas así como la marca y referencia seleccionada para cada equipo, dichas referencias fueron escogidas en consenso con Equimetalco para el caso de manejo de carbón, en los otros casos desde Enka se procedió a su selección y compra.

## **3.2 DISEÑO ELÉCTRICO**

El diseño eléctrico consiste en el diseño de un tablero de potencia y control según los requerimientos del proceso además de la selección de variadores, acometidas para el cableado de motores e instrumentos; para lo primero se eligió un tablero MCC de baja tensión debido a sus facilidades en montaje, en mantenimiento y principalmente en seguridad, gracias a ser un tablero compartimentado, es decir modular. Por medio de este se alimentaran y se protegerán todos los equipos, allí también se encontrara ubicado el PLC para la automatización del proceso y toda la parte de control del tablero.

### **3.2.1 Selección de Variadores.**

Debido a que se estableció que algunos motores llevarían variador de velocidad (VFD) para controlar la velocidad, el sentido de giro y el par de arranque; se realizó inicialmente la selección de estos lo que permitiera tener una lista final de consumidores eléctricos para el diseño del Tablero.

Los variadores escogidos para este montaje son de la marca Yaskawa, del modelo A-1000, dentro de los criterios de selección que se tuvieron para esta marca están:

- Variadores que miden corriente a la salida de este y no a la entrada lo que permite saber el consumo real del motor.
- Flexibilidad para montaje y operación, al ser un variador con alta capacidad de configuración, teniendo utilidades que otros no tienen
- Respaldo en el producto, Yaskawa tiene un proveedor oficial en Colombia llamado Variadores S.A. los cuales tienen un alto respaldo técnico y calidad en el servicio.
- Uniformidad con los equipos de la termoeléctrica, todos los variadores de esta son marca Yaskawa lo que permite a los operarios mejor manejo del sistema.

Para el cálculo de la capacidad de los variadores requeridos se tomo la corriente y la potencia requerida por cada motor que lleva variador, a partir de esta se fue al catalogo del proveedor a 400 VAC y Normal Duty (trabajo normal) (anexo 5) y se selecciono el modelo que cumple los requerimientos establecidos. Adicionalmente hay gamas de variadores que tienen un costo muy similar dentro de un rango de potencias, de allí se selecciono el de mayor potencia con un costo similar, debido que permite tener más flexibilidad para un posible cambio del motor o uso del variador en otro proceso si debe ser requerido y el incremento del costo no es significativo. En la tabla 10 (Anexo 6) se presenta la lista de los variadores así como el modelo requerido y el modelo seleccionado, adicionalmente la

corriente y potencia máximas que puede dar el variador a la salida, y la corriente de entrada calculada en base a la potencia de placa del motor.

**Tabla 10. Selección de variadores .**

<b>Tabla 10. TAG</b>	<b>Corriente Motor (A)</b>	<b>Potencia Motor (hp)</b>	<b>Variador requerido</b>	<b>Variador Seleccionado</b>	<b>Corriente salida/ pot</b>	<b>Corriente entrada VFD con motor (A)</b>
M818	7.3	5	AU4A0009FAA	AU4A0011FAA	11.1A / 7.5 H.P	8.77
M815	14.6	10	AU4A0018FAA	AU4A0023FAA	23A/ 15 H.P	17.54
M814	18.1	15	AU4A0023FAA	AU4A0038FAA	38 A/ 25 H.P	26.31
M820	1.9	1	AU4A0002FAA	AU4A0004FAA	4.1A/ 2 H.P	1.75
M828	3.4	2	AU4A0004FAA	AU4A0011FAA	11.1A / 7.5 H.P	3.51

### 3.2.2 Diseño de Tablero MCC

#### Celdas de potencia

Basados en la lista final de consumidores eléctricos (tabla 11) se realizó el diseño del tablero MCC de potencia para la alimentación y protección de todos los equipos asociados al proceso. En su mayoría los equipos de potencia son motores de allí que se deban realizar las protecciones magnéticas y térmicas. En los motores que no tienen variador también se requiere de la instalación de un contactor de potencia, debido a que se desea darle la orden de arranque o parada al motor por medio de un señal desde el PLC. Para el caso de los motores que tienen variador basta con entrar la señal desde el PLC y el variador arranca o para el motor por sí mismo.

Los criterios de diseño usados para la selección de los equipos son:

- Corriente de Cortocircuito de 65 kA, porque la corriente de cortocircuito en esta parte de la planta es de 42 kA de acuerdo a un estudio de coordinación de protecciones elaborado para toda la planta. Buscando una alta protección, fiabilidad de los equipos, al tener una alta capacidad de ruptura (poder de corte)
- Coordinación tipo 2, para los contactores existen 2 tipos de coordinaciones la tipo 1 significa que cuando haya una cortocircuito los contactos de potencia se quedan pegados, y la coordinación tipo 2 significa que estos no se quedan pegados.
- Factor de diseño para interruptores de 1.5, para la selección de los interruptores se usa un factor de 1.5 sobre la corriente nominal de cada equipo.
- Contactos auxiliares para aviso de disparo, todos los interruptores y relés se requiere que tengan un contacto auxiliar que informe cuando están disparados, esta señal es llevada al PLC y con esto se puede detener el proceso en caso de falla evitando un daño mecánico si un equipo se detiene y los que le entregan material continúan trabajando.

- Contactos auxiliares para confirmación de arranque, en el caso de los contactores se requiere un contacto NA (normalmente abierto), que indique al PLC si el contactor se acciono, esto como confirmación de arranque de los motores.

Para la protección magnética y térmica se evaluaron dos posibilidades

- Usar un Guarda motor, que sirve como protección magneto-térmica, este tiene integrada la protección en un mismo equipo.
- Usar un breaker (interruptor magnético) y un relé térmico que va instalado después del contactor, estos son equipos separados.

Nota: los variadores tienen protección térmica, basta solo con parametrizar la corriente del motor.

De estas dos opciones se decidió usar la combinación breaker + contactor + relé térmico, dicha combinación tiene un costo más elevado que usar un guarda motor y un contactor, pero se selecciona debido a que los guarda motores no son comerciales con corrientes de cortocircuito de 65 kA o superiores, sino de máximo 35-40 kA, por lo cual no se cumpliría con uno de los criterios de diseño establecidos. De los criterios anteriores se seleccionaron los interruptores y relés térmicos para todos los equipos.

Para la protección del tablero y de todos sus componentes, se selecciono un interruptor principal de 400 A, de acuerdo a la suma de los consumidores eléctricos y al factor de diseño de 1.5.

Nota: Luego de calculada la corriente de los interruptores con el factor de diseño, se selecciona uno que sea comercial y que esté por encima del valor seleccionado, para los térmicos se selecciona aquel que en su rango tenga la corriente de placa del motor.

**Tabla 11. Lista Final Consumidores Eléctricos, Interruptores y térmicos seleccionados.**

TAG	Descripción	Voltaje	Corriente (A)	Interruptor Seleccionado	Relé Térmico Seleccionado
M816	Motor Vibrador Reja	440VAC	3.04	16 A	3-5 A
M818	Variador Elevador Canjilones Corto	440VAC	8.77	63A	-
F818	Freno Elevador de Canjilones Corto	440VAC	1		2-3 A
M813A	Motor Vibrador Zaranda A	440VAC	3.04	16 A	3-5A
M813B	Motor Vibrador Zaranda B	440VAC	3.04	16 A	3-5A
M815	Variador Elevador Canjilones Largo	440VAC	17.54	100 A	-
F815	Freno Elevador de Canjilones Largo	440VAC	1		2-3 A
M814	Variador Motor Banda Tripper	440VAC	26.31	125 A	-
M820	Variador Motor Carro Tripper	440VAC	1.75	32 A	-
M819	Motor tornillo Sinfín Alimentación Carbón	440VAC	6.35	20 A	6-9 A
M819	Motor Extractor Descargue de Carbón	440VAC	14	40 A	12-18 A
M822	Motor Extractor Alimentación de Carbón	440VAC	14	40 A	12-18 A

M823	Reserva Motor Extractor Alimentación Arena	440VAC	14	40 A	12-18 A
M824	Motor Tipo Turbina extracción elevadores	440VAC	14	40 A	12-18 A
M825	Válvula Rotatoria Star Feeder	440VAC	1.6	15 A	1.5-2.1 A
M827	Tornillo de descargue Caliza	440VAC	4.8	15 A	4-6 A
M828	Variador Motor Válvula Rotatoria Caliza	440VAC	3.51	16 A	-
M830	Bomba de Caliza para descargue caliza	440VAC	52	63 A	45-65 A
M826	Bomba de Drenaje foso de Carbón	440VAC	3	10 A	4-6 A
M829	Motor extractor cuarto Eléctrico	440VAC	3	150 A	2.8-4.2 A
M831	Reserva Motor	440VAC	14	40 A	12-18 A
-	Toma a 440 V	440VAC	20	40 A	-
-	Toma a 440 V	440VAC	20	40 A	-
	<b>TOTAL CORRIENTE EQUIPOS</b>		249.75		
	Transformador Monofásico para Control 2KVA 440/120 VAC	440VAC	2.7	6 A	
	Total Corriente Consumibles		252.45		
	<b>Corriente Interruptor de Potencia Principal</b>	440VAC	378.675	<b>400 A</b>	

A partir de la información de la tabla 11, se procedió a realizar el diagrama unifilar del tablero de potencia (Anexo 7). En este plano se especifica la distribución de los componentes en el tablero, así como las características técnicas de cada uno. Adicionalmente se presentó en este plano:

- Borneras y nombre de cables para conexionado de potencia
- Voltaje de barraje principal, corriente, fases, neutro y tierra; debido a que existen un barraje en cobre que sale del interruptor principal y distribuye la alimentación a los interruptores secundarios.
- Medidores de corriente y voltaje de entrada.
- DPS, para protección contra sobretensiones.
- Elementos de salida, TAG, y características técnicas.
- Elementos de reserva tales como celdas equipadas y celdas vacías, para una posible ampliación del proceso en el futuro o para una contingencia que se presente en el montaje.

La disposición final de los elementos en el tablero será modular al ser un modelo MCC, de allí que cada salida del barraje principal, signifique un modulo de potencia, con un total de 25 compartimentos para la potencia.

## CELDA DE CONTROL

Una vez diseñado el diagrama unifilar de potencia del tablero, se procedió a realizar el diseño de los planos de control, tanto para el manejo de la potencia como para la instalación del PLC, la conexión de las señales de entrada de salida. Basados en la lista de entradas y salidas generada por los procesos; y las entradas entregadas por las protecciones de los equipos que están en la parte de potencia se obtuvo una lista total de entradas y salidas que manejará el PLC (Anexo 8). Con esta información se procedió inicialmente a la selección del PLC para establecer los requerimientos y características de este.

### Selección del PLC

Para la selección del PLC que realizara la automatización de todos los procesos asociados se tuvieron los siguientes criterios:

- Marca del PLC: ABB, debido a que toda la termoeléctrica posee un DCS (Distributed Control System) de marca ABB, por motivos de facilidad en la operación, mantenimiento y de comunicación entre procesos se estableció como un criterio que esta fuera la marca del PLC.
- De la lista de entradas y salidas totales (108 entradas digitales, 1 entrada análoga, y 21 salidas digitales) se estableció que el PLC debía tener al menos dicha capacidad de manejo de entradas y salidas.
- Comunicación Profibus DP, se requiere que el PLC tenga dicha posibilidad debido a que se requiere comunicar todo el sistema con el centro de control de la termoeléctrica y su DCS.

Con dichos criterios se realizó una búsqueda en los catálogos del fabricante y se seleccionó el PLC AC 500 de ABB (Anexo 9). Para dicha versión existen una serie de módulos de entradas, salidas y comunicación adicionales a la CPU; para lo cual también se realizó una selección de las versiones y cantidad de cada uno; buscando tener un PLC con la capacidad y velocidad de respuesta para el proceso requerido, teniendo en cuenta también una serie de entradas y salidas de reserva para posibles mejoras o ampliaciones en el futuro para el proceso. Así el total de entradas a instalar fue de 136 digitales y 4 análogas; 40 salidas digitales y 4 análogas.

**Tabla 12. Selección y especificaciones módulos PLC AC500 ABB.**

Producto	Referencia	Características	DI	DO (relé)	AI	AO	Cant.
CPU AC500	PM583-ETH	Memoria de programa 1024 Kbyte, alimentación de 24 VDC, Comunicación Ethernet Incluida	-	-	-	-	1
Base Terminal	TB511-ETH	Para el montaje y la conexión de la CPU y los módulos de	-	-	-	-	1

		comunicación, permite 1 módulo de comunicación						
Módulo de Comunicación Profibus	CM572-DP	Maestro Profibus V0/V1, función multimaestro.	-	-	-	-	-	1
Módulo de entradas digitales	DI524	Señal de entrada 24 VDC,	32	-	-	-	-	3
Módulo mixto de entradas y salidas digitales	DX522	Señal de entrada 24 VDC, Tipo de salida digital - Relé (230 VAC , 3 A)	8	8	-	-	-	5
Módulo mixto de entradas y salidas análogas	AX521	Señal de entrada: 0 ... 10 V, ± 10 V, 0/4 ... 20 mA, PT100, Señal de salida: ± 10 V, 0/4 ... 20 mA	-	-	4	4	-	1
Unidad de Terminales	TU531	Alimentación 24 VDC, Terminales de tornillo, para módulos de entradas y salidas. DX522						5
Unidad de Terminales	TU515	Alimentación 24 VDC, Terminales de tornillo, para módulos de entradas y salidas. DI524, AX521	-	-	-	-	-	4
Fuente de Alimentación	CP-D 24/10	Fuente de alimentación 110-240 VAC/24 VDC ; 10A						1

### Diseño del modulo de control.

Luego de tener seleccionado el PLC y saber las características de este, se procedió a realizar todo el diseño de la parte de control del tablero. Para el control se instaló un transformador de 2 KVA 440 VAC/110VAC, con el cual se maneja todo el control, por otro lado una fuente de 110VAC/24VDC de 10 A con potencia suficiente para tener selectividad en las protecciones, se instaló para la alimentación del PLC y de las entradas y salidas. En el caso del PLC se requiere alimentación para todas las bases de los módulos, breakers monofásicos de 4A realizan la protección de cada base.

Las entradas digitales al PLC son a 24VDC; instrumentos, mandos, señales de protección y otros se alimentan de la fuente de 24 VDC; se estableció que para cada equipo y el grupo de entradas asociadas a este, se protegerían dichos dispositivos que generan las entradas con breakers de 2A, lo que permite también aislar equipos no solo en la parte de potencia, sino también en el control, tanto para realizar un mantenimiento como para aislar un daño. Las salidas son las encargadas de activar los motores cuando sea requerido, pero los módulos de salidas son a 24 VDC; por lo cual se requiere realizar un aislamiento del voltaje de control con el de potencia (24VDC a 110VAC) que es el voltaje de control de las bobinas de los contactores de potencia que accionan los motores. Por otro lado la corriente de las salidas del PLC es muy baja en comparación con lo que requiere la bobina para su

activación. Para ello se diseñó que la salida de 24 VDC activa un relé auxiliar y en uno de sus contactos NA (normalmente abiertos), se conmuta los 110VAC que alimentan el control de los contactores de Potencia. En el caso de variadores se alimenta directamente con la señal a 24 VDC.

Debido a que el tablero MCC tiene una estructura compartimentada, se diseñó cada compartimento de cada equipo con dos bombillas (una roja y otra verde) indiquen el estado de trabajo del equipo, la luz verde indica encendido y la roja indica disparo ya sea por sobre corriente o por sobrecarga, la ausencia de las dos indica apagado. Dichas indicaciones en el tablero se toman directamente de los contactos auxiliares de disparo en el relé térmico y el breaker y del contacto NA auxiliar que trae el contactor se toma la señal de confirmación. Dichas señales también son llevadas al PLC y permite parar los procesos o confirmar accionamiento en caso de darse alguno de estos. Otros equipos como lo son los tableros de control de cada filtro de teflas de manejo ambiental, las electroválvulas y el instrumento de medición de nivel (radar Ultrasónico) tienen una alimentación a 110VAC la cual también se protege con breakers. En el anexo 10 se encuentran los planos realizados para la parte de control del tablero MCC, en dichos planos se indica cada elemento de protección, la distribución de los dispositivos, las entradas y salidas del PCL, además de su ubicación (slot y parte en las bases de los módulos) así como las reservas que se dejan para una posible ampliación del proceso.

### 3.3 COTIZACIÓN Y COMPRA Y FABRICACIÓN

#### TABLERO MCC

A partir del diagrama unifilar y de los planos de control del Tablero MCC, se procedió inicialmente a realizar un proceso de cotización para la fabricación del tablero. A varias empresas se les envió la solicitud de cotización dentro de las que se encuentran: Imelec, Metalandes, Industrias SDT, Schneider Electric y Redes Eléctricas. De estas solo se recibieron 4 cotizaciones las cuales fueron evaluadas, teniendo como primer criterio el cumplimiento técnicamente de lo que se pedía en los planos eléctricos y de control. Otro criterio fueron las dimensiones del tablero y su ingeniería de fabricación, debido a que la empresa que lo fuese a fabricar debe diseñar la disposición de los elementos físicamente (Layout), así como el barraje, borneras y todos los elementos requeridos. El proceso de cotización duro alrededor de 3 semanas, debido a que inicialmente ninguna compañía cotizó lo solicitado, fueron varias revisiones las que se le hicieron a las cotizaciones por la gran importancia de que técnicamente se cumpliera con lo requerido, adicionalmente que los tableros deben cumplir el reglamento técnico colombiano (RETTIE). Algunas de las compañías como Redes eléctricas y Metalandes no siguieron en el proceso de cotización porque no cumplieron técnicamente lo requerido. Industrias SDT e Imelec cumplían técnicamente, pero el área de compras de Enka de Colombia estableció la adjudicación a Industrias SDT, dado el menor costo en el Tablero.

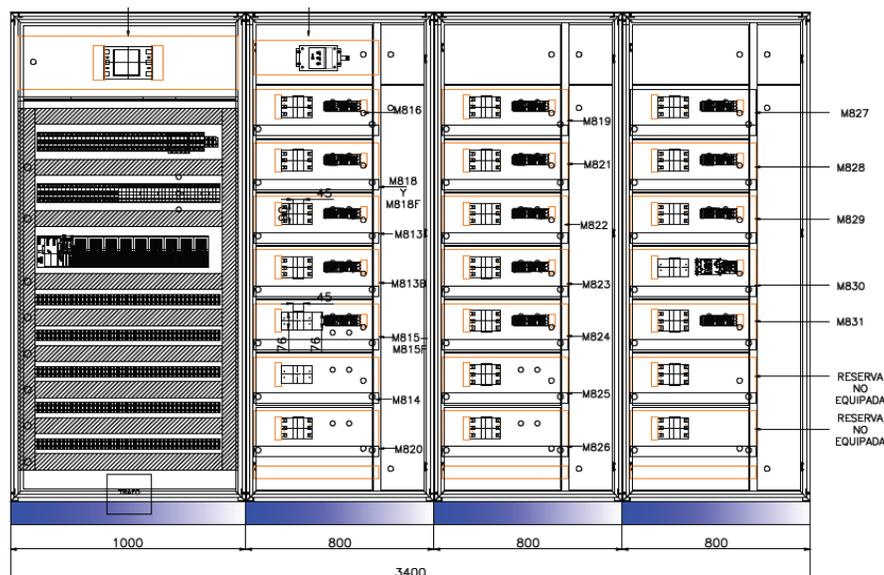
**Tabla 13. Relación cotizaciones tablero MCC.**

EMPRESA COTIZANTE	VALOR	DIMENSIONES (alto x ancho x profundo)	Observaciones
-------------------	-------	---------------------------------------	---------------

INDUSTRIAS SDT	\$ 56,490,679	2100x3400x 400	Cumple técnicamente 100%
IMELEC	\$ 61,895,155	2100x4800x 400	Cumple parcial técnicamente , falta fuente de alimentación de PLC lo que aumentaría el precio
REDES ELECTRICAS	\$ 63,311,596	1800x2400x 500	No es un tablero CCM, solo de distribución, el control es otro tablero adicional. Las protecciones no son las requeridas a 65 kA y el PLC y sus I/O son marca GE o Fanuc lo cual no es requerido. Redes dice que lo requerido: un CCM, el precio es 3 veces el valor en la parte de potencia + el de control lo que resulta en el valor que se indica.
METALANDES	\$ 22,761,575	2200x2700x 400	No es un tablero CCM, solo de distribución, las protecciones no son a 65 kA son a 25 kA, lo que es un criterio fundamental. El PLC es marca Mitsubishi, el cual no es requerido. La cotización no tiene en cuenta los planos de control y todas las protecciones requeridas.

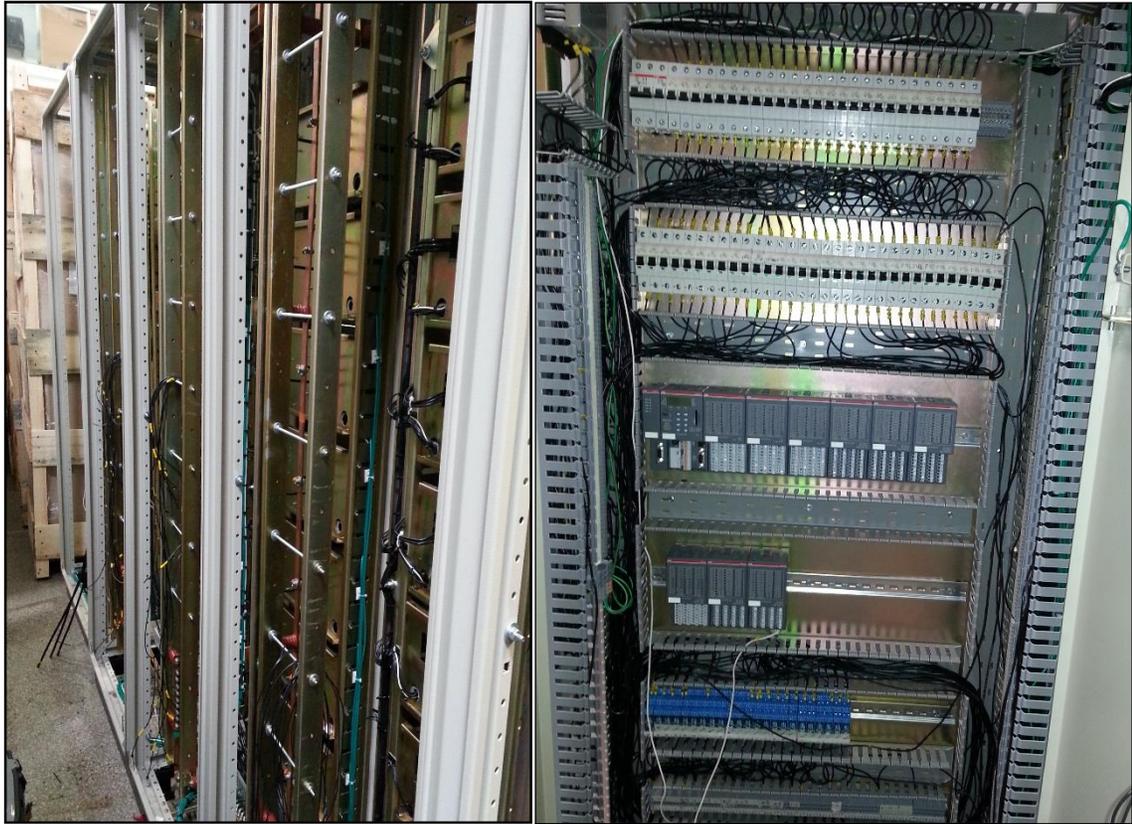
### Fabricación MCC

Industrias SDT luego de adjudicada la cotización comenzó con el diseño del Layout del tablero y este fue presentado para su aprobación (Anexo 12). Se realizaron varios cambios en la disposición de los equipos y de algunas valores de corrientes nominales en las protecciones.



**Figura 13. Layout tablero MCC. (Industrias SDT, 2013)**

Dado el visto bueno, se procedió con la fabricación del tablero, de la cual se realizó un constante seguimiento y evaluaciones en su planta de fabricación respecto a la calidad y cumplimiento de lo requerido.



**Figura 14. Fabricación tablero MCC, vista trasera y modulo de control (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 15. Fabricación tablero MCC, Barrajes de Potencia (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 16. Fabricación tablero MCC, compartimentos con protecciones para equipos (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 17. Fabricación tablero MCC, vista frontal (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

Dentro de las correcciones que se realizaron en la fabricación, cabe destacar que el PLC inicialmente estaba partido en dos filas diferentes como se muestra en la figura 14, pero el

PLC solo se podía montar en una misma hilera dado que los módulos se conectan entre sí, de no ser así hubiese sido necesaria la compra de un cable de comunicación que no estaba disponible en el país y hubiese retrasado en varias semanas el tiempo de entrega, algo crucial para la puesta en marcha del proyecto.

### Elementos para mando Local

Debido a que se requiere tener un mando local para el accionamiento de los equipos, paros de emergencia y suiches de candaneo para el aseguramiento de los motores se seleccionaron una serie de elementos que se muestran en la figura 14 para ser instalados en todos los equipos del proceso.

**Tabla 14. Elementos para mando local equipos (Schneider Electric, 2013).**

Elemento	Descripción	Imagen
<p align="center"><b>Mando Local</b></p>	<p>Botonera con pulsador STAR/STOP, para el accionamiento o paro local de cada equipo, cuando el programa está en modo Manual. Referencia: Harmony XALD 213 (Schneider Electric); en caja plástica IP 65 (grado protección intemperie)</p>	
<p align="center"><b>Paro de Emergencia</b></p>	<p>Pulsador tipo Hongo para paro de emergencia, Referencia. Harmony XALK 174 (Schneider Electric). En caja plástica IP65</p>	
<p align="center"><b>Suiche para candaneo</b></p>	<p>Suiche para candaneo, es utilizado para asegurar el equipo en caso de mantenimiento, con este se impide el arranque del equipo. En caja plástica IP 65. Referencia: vario vc1 32A (Schneider Electric)</p>	

### 3.4 MONTAJE ELÉCTRICO E INSTRUMENTOS

#### Instalación Tablero y rack Variadores

Una vez recibido el tablero en las instalaciones de Enka de Colombia, se comenzó con el montaje de este en una sala eléctrica previamente dimensionada en base a las dimensiones del tablero y un rack de variadores (Anexo 13). En dicha sala se construyó un cárcamo de 40 cm de profundidad x 60 cm de ancho, el cual tiene como finalidad el cableado del tablero, dado a que las salidas para los cables potencia y control hacia el campo es por la parte inferior del tablero. Para los variadores de velocidad se diseñó un rack (Anexo 14), con elementos mecano de la marca CENO. El uso de este sistema de sujeción fue seleccionado debido a que es idóneo para instalar variadores, dado que es una estructura que permite que los variadores liberen el calor al no estar encerrados en un tablero, por otro lado es un sistema más cómodo para la instalación de los equipos y para su mantenimiento. Adicionalmente el costo es muy inferior comparado con el de unos tableros eléctricos para albergar los variadores.

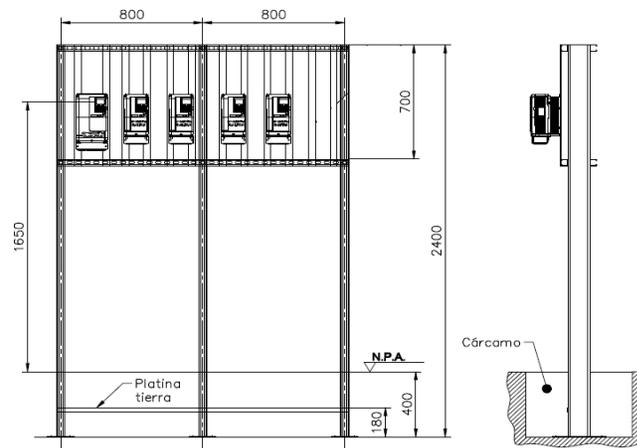


Figura 18. Layout Rack de Variadores (Quintero, 2013).



**Figura 19. Montaje rack de Variadores en sala eléctrica (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

Para la instalación del tablero fue necesario el anclaje de este a la losa de concreto por medio de pernos de anclaje, además del conexionado entre módulos, debido a que para su transporte el tablero se fabrica modularmente, para lo cual se requiere de la conexión del barraje principal, de todo el cableado de control interno del tablero y de los elementos de sujeción mecánica, una vez el tablero este correctamente posicionado y nivelado.



**Figura 20. Ubicación MCC en sala eléctrica. (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

### **Instalación de Mandos Locales**

Para la instalación de los mandos locales se dispuso de una lámina donde se sujetan por medio de tornillos las cajas plásticas IP65, seleccionadas así porque los lugares de instalación son al aire libre.



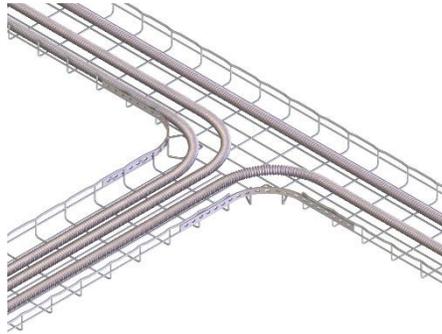
**Figura 21. Instalación mandos locales (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 22. Montaje típico de mandos locales (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

### Montaje Bandejas y cableado.

Para las acometidas de los motores y demás equipos se utilizó bandeja tipo malla Cablofil de la marca Legrand; el uso de esta bandeja se escogió debido a la versatilidad para realizar el montaje, además de ser una bandeja con buena resistencia mecánica, al ser utilizada en la versión galvanizada en caliente es adecuada para intemperie.



**Figura 23. Bandeja tipo malla Cablofil (Legrand, 2013)**

El cableado de potencia se selecciono según la norma NTC 2050, la cual tiene la tabla: "Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C." (Anexo 15); desde la cual se selecciono el cable adecuado para cada motor y para la acometida principal de alimentación del tablero (Tabla 15). Todos los cables son del tipo NYY (encauchetado)

Para el cableado de control se utilizó cable calibre 16 AWG en cobre NYCY (apantallado) , y la cantidad de hilos varía según el elemento a conectar. Luego de realizar el cableado de potencia y control de los equipos se procedió a realizar el conexionado en el tablero MCC, los variadores y en los equipos en campo. Todo esto a partir de los planos eléctricos donde se indica el numero de la bornera a donde llega cada cable.



**Figura 24. Disposición de conexión de breaker, contacto y relé térmico (Gutiérrez & Lopera, 2013)**

**Tabla 15. Selección cables de potencia.**

Salida		Destino		Corriente (A)	Cable Seleccionado (Cu)
TB6-3	Tablero en Planta	0F1	Alimentación Interruptor Principal Tablero MCC	252.45	500 kcmils
1	MCC	M816	Motor Vibrador Reja	3.04	12 AWG
2	MCC	2EU1	Variador Elevador Canjilones Corto	8.77	12 AWG
2EU1	Variador	M818	Motor elevador de canjilones corto	7.3	12 AWG
3	MCC	F818	Freno Elevador de Canjilones Corto	1	14 AWG
4	MCC	M813A	Motor Vibrador Zaranda A	3.04	12 AWG
5	MCC	M813B	Motor Vibrador Zaranda B	3.04	12 AWG
6	MCC	6EU1	Variador Elevador Canjilones Largo	17.54	10 AWG
6EU1	Variador	M815	Motor Elevador de Canjilones Largo	14.6	12 AWG
7	MCC	F815	Freno Elevador de Canjilones Largo	1	14 AWG
8	MCC	8EU1	Variador Motor Banda Tripper	26.31	8 AWG
8EU1	Variador	M814	Motor Banda Tripper	18.1	10 AWG
10	MCC	9EU1	Variador Motor Carro Tripper	1.75	12 AWG
9EU1	Variador	M820	Motor Carro Tripper	1.49	14 AWG
11	MCC	M819	Motor tornillo Sinfin Alimentación Carbón	6.35	12 AWG
12	MCC	M819	Motor Extractor Descargue de Carbón	14	12 AWG
13	MCC	M822	Motor Extractor Alimentación de Carbón	14	12 AWG
14	MCC	M823	Reserva Motor Extractor Alimentación Arena	14	12 AWG
15	MCC	M824	Motor Tipo Turbina extracción elevadores	14	12 AWG
16	MCC	M825	Válvula Rotatoria Star Feeder	1.6	14 AWG
17	MCC	M827	Tornillo de descargue Caliza	4.8	12 AWG
18	MCC	18EU1	Variador Motor Válvula Rotatoria Caliza	3.51	12 AWG
18EU1	Variador	M828	Motor Válvula Rotatoria	3.4	12 AWG
19	MCC	M830	Bomba de Caliza para descargue caliza	52	6 AWG
20	MCC	M826	Bomba de Drenaje foso de Carbón	3	12 AWG
21	MCC	M829	Motor extractor cuarto Eléctrico	3	12 AWG
22	MCC	M831	Reserva Motor	14	12 AWG
23	MCC	-	Toma a 440 V	20	10 AWG
24	MCC	-	Toma a 440 V	20	10 AWG

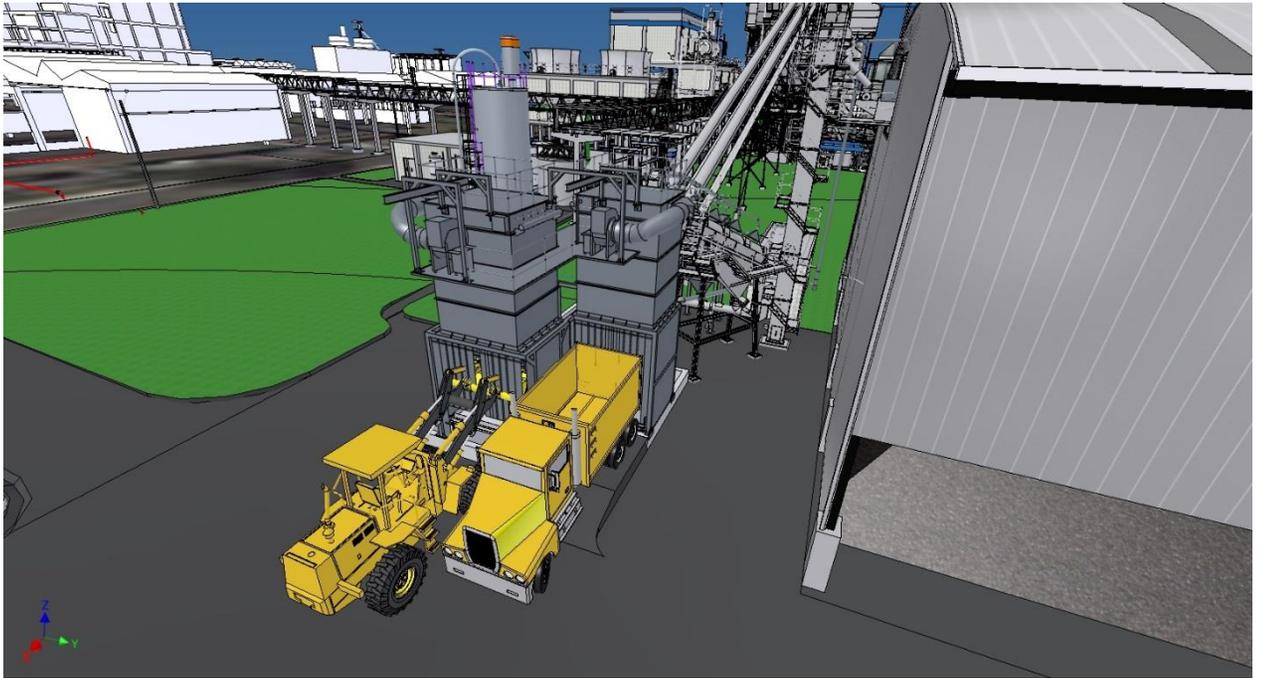


**Figura 25. Conexión de módulo de control MCC (Gutiérrez & Lopera, 2013)**

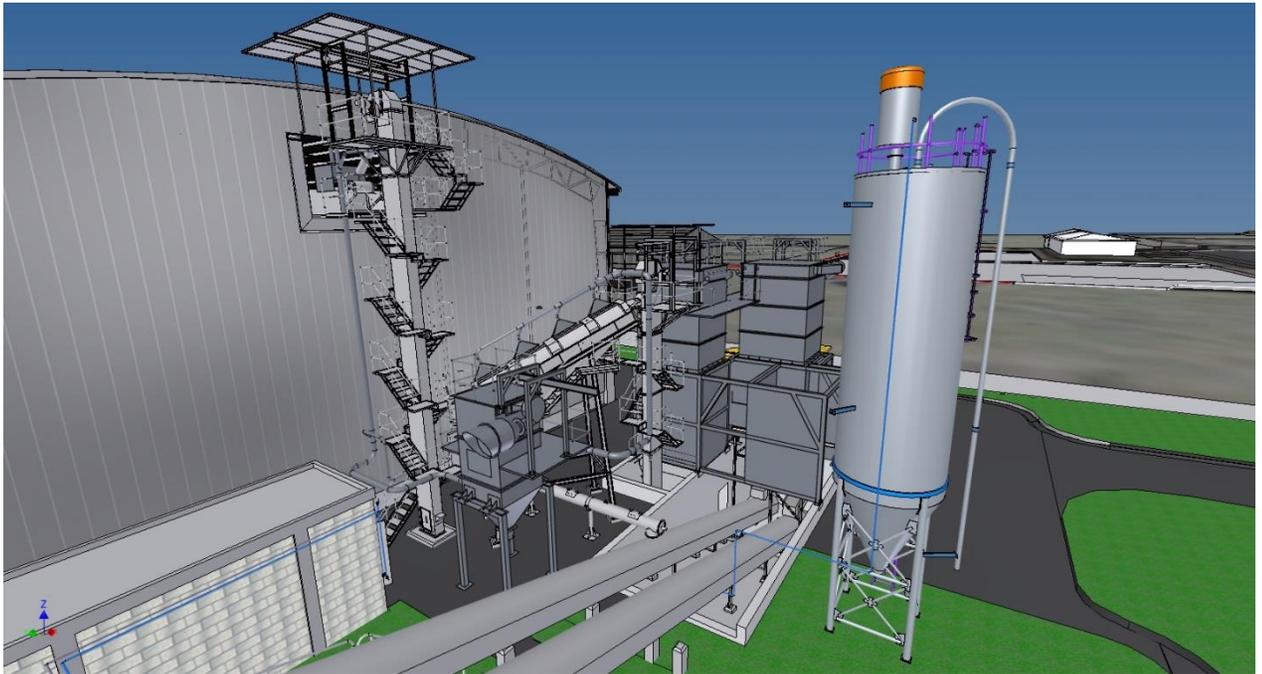
## **3.5 AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO**

### **3.5.1 Descripción General del Proceso**

El proceso de almacenamiento de carbón se realiza con el fin de tener suficiente material en reserva para abastecer la caldera de la termoeléctrica durante 20 días de funcionamiento. La capacidad de la bodega de almacenamiento es de 3500 toneladas de carbón. Al almacenar el carbón, se maneja una filosofía FIFO (First in First out), para garantizar la adecuada rotación del carbón y así evitar un posible incendio de este. El carbón que se utilizará para la caldera, es ripo de carbón, debido al tipo de tecnología de la caldera que es lecho fluidizado.

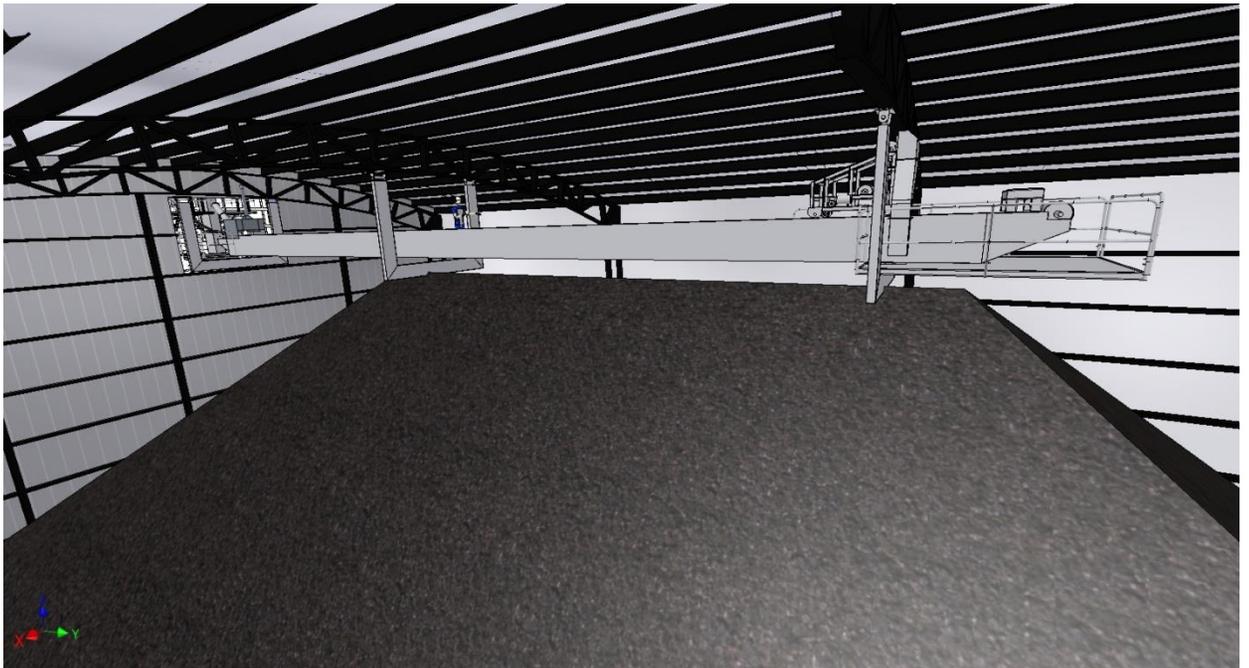


**Figura 26. Vista isométrico manejo de carbón y manejo ambiental (Enka de Colombia, 2013).**



**Figura 27. Vista isométrico manejo de carbón, caliza y manejo ambiental (Enka de Colombia, 2013).**

El proceso de almacenamiento se puede ver en el P&ID (Anexo 1) con detalles sobre los instrumentos involucrados en el proceso, sin embargo aquí se hará una descripción general de este. Para empezar una volqueta entrará a Enka con el carbón que se compró. Este carbón será depositado sobre la primera etapa del proceso, la cual es una reja vibratoria (AS002). El carbón que pase por los orificios de la reja caerá por una tolva de recibo (AT001), esta tolva tiene una compuerta, controlada por una válvula mariposa, la cual permite o no el paso de carbón, dependiendo de las instrucciones entregadas por el PLC. Tras pasar por esta compuerta, será tomado por un elevador de canchales (CA001), cuya función es elevar el carbón para entregarlo a una zaranda clasificadora (AS003). Esta zaranda posee unas rendijas más finas que la reja vibratoria del principio. Aquí se clasifica el carbón apto para entregarle a la caldera (carbón ripio) y se separa del carbón con granulometría que exceda los límites permisibles (carbón almendra). Una vez se clasificó el carbón que se desea almacenar, este llega a un segundo elevador de canchales (CA003), el cual eleva el carbón para entregarlo a una banda suspendida en la parte superior de la bodega de almacenamiento, esta banda ha sido llamada banda tripper (CA004). A lo largo de la banda tripper se mueve un carro (CA005), cuya función es arrojar el carbón de la banda tripper al suelo de la bodega. Este carro, llamado carro tripper, posee un sensor de radar el cual le indica la altura de la pila, para así reubicarse en el momento oportuno, cuando la pila de carbón alcance la altura máxima posible.



**Figura 28. Vista isométrico banda y Tripper (Enka de Colombia, 2013).**

Adicional a este proceso de almacenamiento, se tiene un tornillo sinfín (CA002), ubicado después de la zaranda clasificadora (AS003). Este tornillo puede alimentar la banda que alimenta la caldera. De esta manera se puede enviar carbón después de clasificarlo, sin necesidad de almacenarlo. Para seleccionar por donde debe ir el carbón el sistema posee un divertidor, accionado por una válvula neumática.

Por otro lado, se tiene un silo destinado a almacenar caliza (AT003). Este tiene un compresor (AP004) el cual impulsará caliza desde un carro-tanque hasta el silo.

Todo el proceso posee un sistema de captación de polvos, el cual está ubicado principalmente en los lugares donde se realiza transferencia del material. Para esto se instalaron 3 extractores y dos válvulas rotatorias. Los extractores se instalaron en la reja vibradora (AP001), en la zaranda clasificadora (AP002) y en los elevadores (AP002). Las válvulas rotatorias (CA007) están asociadas a los tornillos sinfín que alimentan la caldera con carbón (CA002) y con caliza (CA008). Todos los polvos que se extraen se filtran a través de varios filtros de mangas (AS001) (AS004) (AS005).

A la hora de realizar el diseño y el montaje del tablero eléctrico para el manejo de carbón y caliza de la termoeléctrica, se tuvieron en cuenta los aspectos básicos para el cuidado y la seguridad de las personas que tendrán cualquier tipo de interacción con este. Todos los gabinetes eléctricos están divididos en módulos individuales, de tal forma que el personal de mantenimiento pueda desenergizar un módulo en particular y realizar labores de mantenimiento sin exponerse a riesgos eléctricos. Además los gabinetes cuentan con puertas con cerrojo, lo cual permite el acceso al tablero solo al personal que posea la llave. Por otro lado, todos los tableros, se conectaron a la malla común de tierras de Enka de Colombia S.A, con el fin de evitar descargas eléctricas indeseadas al personal. La instalación de este tablero se hizo en un cuarto especialmente designado para esto. En este cuarto se cuenta con dos puertas ubicadas estratégicamente, con el fin de facilitar una evacuación en caso de incendio o explosión.

Además de diseñar el tablero con características aptas para la seguridad del personal, también se desarrolló la automatización teniendo en cuenta las normas de seguridad industrial y ocupacional. Para empezar se ubicaron estratégicamente pulsadores de paro de emergencia a lo largo de todo el proceso de selección y almacenaje de carbón y caliza, esto con el fin de facilitar la detención del proceso en caso de emergencia. También se cuenta con un pulsador en el cuarto eléctrico, el cual debe ser presionado después de que el sistema se haya detenido por emergencia para poder arrancar de nuevo. Todos los elementos, tanto mecánicos como eléctricos, poseen sensores que constantemente monitorean su funcionamiento. Estos sensores generaran una señal de alerta en caso de que algo no esté funcionando bien y el proceso se detendrá. Con esto se puede evitar que se rompan piezas como bandas o cadenas, además se puede evitar sobrecalentamiento en los equipos. Todos los motores involucrados en el proceso poseen paros con candado, los cuales permiten asegurar las energías peligrosas, bloqueando cada motor para realizar labores de mantenimiento sin dar posibilidad a otras personas de activar el motor. El sistema también cuenta con una sirena sonora y una baliza lumínica, estos dos elementos generan alertas visuales y sonoras tanto antes de encender el sistema como al momento de presentarse una parada de emergencia.

El proceso de clasificación y almacenamiento de carbón y caliza es muy automatizado. Una vez que el carbón se deposite en la reja vibratoria, el operario debe presionar un botón y el proceso iniciara una secuencia automática. Para esto se cuenta con un PLC, el cual se encarga de dar las instrucciones de funcionamiento y al mismo tiempo de supervisar el correcto funcionamiento del sistema. El sistema posee un selector el cual permite escoger si se va a trabajar el sistema en modo automático o en modo manual. Todos los sistemas poseen relés de confirmación de activación, es decir el PLC recibe una señal si la activación de un dispositivo fue exitosa. Esto garantiza que una parte del

proceso no se encienda sin que previamente se haya encendido otra parte que podría ser necesaria. Para evitar atasques en el sistema, este se enciende siguiendo una secuencia, encendiendo primero la parte final y por último la parte inicial. De la misma forma, para detener el proceso en modo automático, este para primero la parte inicial del proceso y va parando cada cierto tiempo la siguiente parte, para así garantizar que se evacúe todo el carbón del sistema. Tanto los elevadores de canjilones, como la banda tripper tienen sensores inductivos para verificar la rotación del elemento, así se podrá detener el sistema en caso de que por exceso de carga, destensionamiento, que patine la banda o se pare algún motor. El diverter, la válvula mariposa y el carro tripper poseen sensores inductivos para verificar su posición final, esto garantiza que el sistema no inyecte carbón sin estar preparado para recibirlo o que el carro tripper avance fuera de los límites permitidos.

Además de estas seguridades, el sistema posee seguridades sonoras y visuales para alertar a los operarios que el sistema se está encendiendo. Para esto se instaló una sirena y una baliza, las cuales se energizan durante 5 segundos previamente a que el sistema comience a moverse, además el sistema espera 25 segundos después de emitir las señales. Esto con el fin de dar tiempo a las personas que escapen del interior del sistema en caso de estar allí.

El sistema también tiene la posibilidad de activar un tornillo sinfín, el cual entrega caliza a la caldera. Este sistema solo se enciende de forma manual.

### **3.5.2 Secuencia de arranque y de parada**

Como se mencionó antes el sistema debe cumplir cierta secuencia de arranque y de parada para evitar atasques y para evacuar por completo el carbón del sistema. A continuación se especifican las secuencias de arranque y de parada.

#### **Secuencia de arranque**

Tras presionarse el pulsador de arranque automático se debe seguir la siguiente secuencia de arranque:

Caso de querer almacenar el carbón.

1. Encendido de sirena y baliza durante 5 segundos. Espera de 25 segundos.
2. Encendido de banda tripper.
3. Encendido y ubicación de carro tripper.
4. Encendido de elevador de canjilones 2.
5. Encendido de extractor de polvos de elevadores.
6. Posicionamiento de diverter, dejando pasar carbón al elevador de canjilones 2.
7. Encendido de zaranda clasificadora.
8. Encendido de extractor de polvos de la zaranda clasificadora.

9. Encendido elevador de canjilones 1.
10. Apertura de compuerta, para dejar pasar carbón.
11. Encendido de reja vibradora.
12. Encendido de extractor de polvos de la reja vibradora.
13. Encendido de válvula rotatoria.

Caso de querer suministrar carbón directamente a la caldera.

1. Encendido de sirena y baliza durante 5 segundos. Espera 25 segundos.
2. Encendido de tornillo sin fin.
3. Posicionamiento de diverter, dejando pasar carbón al tornillo sin fin.
4. Encendido de zaranda clasificadora.
5. Encendido de extractor de polvos de la zaranda clasificadora.
6. Encendido elevador de canjilones 1.
7. Encendido de extractor de polvos de elevadores.
8. Apertura de la compuerta, para dejar pasar carbón.
9. Encendido de reja vibradora.
10. Encendido de extractor de polvos de la reja vibradora.
11. Encendido de válvula rotatoria.

### **Posicionamiento carro Tripper**

El carro tripper posee una subrutina la cual se debe ejecutar constantemente. Mediante el sensor de tipo radar, el tripper debe monitorear la altura de la pila, con el fin de minimizar las emisiones de polvos al ambiente. Adicional a esto el tripper debe monitorear su posición, para evitar exceder los límites en los cuales puede depositar carbón, de otro modo la parte lateral de la pila excedería los límites de la bodega y esta se desbordaría.

### **Secuencia de parada**

Una vez se presione el pulsador de parada, el sistema debe seguir la siguiente secuencia de parada, para garantizar que se evacue todo el carbón del sistema.

Caso de estar almacenando el carbón.

1. Parar reja vibradora.
2. Espera de 100 segundos.
3. Parar elevador de canjilones 1.
4. Espera de 120 segundos.
5. Parar zaranda clasificadora.
6. Espera de 120 segundos.
7. Parar elevador de canjilones 2.
8. Espera de 120 segundos.

9. Parar banda tripper.
10. Parar extractores de polvos y válvula rotatoria.
11. Desenergizar el resto del sistema.

Caso de estar alimentando la caldera.

1. Parar reja vibradora.
2. Espera de 100 segundos.
3. Parar elevador de canjilones 1.
4. Espera de 120 segundos.
5. Parar zaranda clasificadora.
6. Espera de 60 segundos.
7. Parar tornillo sin fin.
8. Parar extractores de polvos y válvula rotatoria.
9. Desenergizar el resto del sistema.

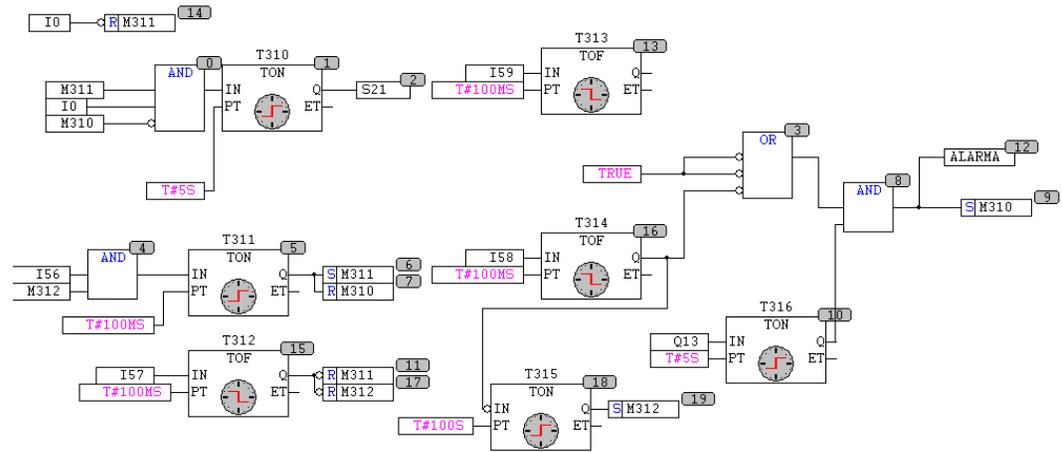
### **3.6 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA**

El programa para manejar el sistema de carbón, se realizó para que se den las instrucciones correctas para seguir las secuencias adecuadas de arranque y parada. Además este se encarga de monitorear constantemente el funcionamiento de todos los elementos del sistema.

Para la realización del programa se partió de la guía de entradas y salidas (Anexo 16), en la cual se identificaron todas las variables requeridas y las condiciones de funcionamiento del proceso.

La estructura del programa se dividió en 3 ramas principales, funcionamiento automático, funcionamiento manual y manejo ambiental.

En la figura 29 se encuentra un fragmento del programa, para mostrar la forma de programación.



**Figura 29. Ejemplo bloques de programación (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

### 3.6.1 Funcionamiento automático

En esta rama se programaron las secuencias de arranque y paro requeridas para que el sistema trabajara en modo automático. Para que esto ocurra se requiere que se cumplan múltiples condiciones en los momentos exactos, a continuación se muestran, en la tabla 16, las condiciones y variables involucradas en las secuencias de arranque y parada.

**Tabla 16. Criterios de arranque en modo automático.**

Elemento	Condiciones de arranque	Monitoreo
Banda Tripper	No hay paros de emergencia. El selector esta en modo automático. No hay disparos magnético/térmicos.	Sensor inductivo de giro de la banda. Contacto magnético/térmico.
Carro Tripper	Banda tripper funcionando. No hay disparos magnético/térmicos.	Contacto magnético/térmico.
Elevador de Cangilones 2	Carro Tripper Funcionando y ubicado. No hay disparos magnético/térmicos.	Sensor inductivo de giro de la banda. Contacto magnético/térmico.
Extractor Elevadores	Elevador de cangilones 2 encendido. No hay disparos magnético/térmicos.	Contacto magnético/térmico.

Válvula Diversora	No hay disparos magnético/térmicos. Extractor de elevadores encendido.	Contacto magnético/térmico. Sensor inductivo de posición.
Zaranda Clasificadora	No hay disparos magnético/térmicos. Confirmación de válvula diversora.	Contacto magnético/térmico.
Extractor Zaranda	No hay disparos magnético/térmicos. Zaranda se encendió correctamente.	Contacto magnético/térmico.
Elevador de Cangilones 1	No hay disparos magnético/térmicos. Extractor de Zaranda clasificadora se encendió correctamente.	Sensor inductivo de giro de la banda. Contacto magnético/térmico.
Válvula Mariposa	No hay disparos magnético/térmicos. Elevador de cangilones 1 se encendió correctamente.	Contacto magnético/térmico.
Reja Vibratoria	No hay disparos magnético/térmicos. La válvula mariposa se encendió correctamente y está en posición adecuada.	Contacto magnético/térmico. Sensor inductivo de posición.
Extractor Reja Vibradora	No hay disparos magnético/térmicos. La reja	Contacto magnético/térmico.
Válvula Rotatoria	No hay disparos magnético/térmicos. La reja vibradora se encendió correctamente.	Contacto magnético/térmico.

Aquí se hace una explicación de todo el funcionamiento automático del sistema. Para empezar el sistema debe chequear que los paros de emergencia no estén activados y que el selector este en modo automático. Una vez se cumplan esta condiciones y se presione el pulsador de arranque, se emitirán las señales sonoras y visuales para alertar al personal que el sistema se encenderá. Después de esto, el PLC verificara que los contactos magnético/térmicos de la banda tripper no estén accionados, de ser así se energizará la banda. Unos segundos después el PLC verificará que la banda si se haya energizado adecuadamente, de lo contrario generará un paro de emergencia. Adicional el PLC comenzará a vigilar, de manera permanente, que la banda este girando correctamente y que los contactos magnético/térmicos no se disparen. Una vez que la banda confirma que su activación fue exitosa y tras una espera de aproximadamente 10 segundos se energizara el carro tripper. Para realizar este procedimiento el PLC verifica

previamente que los contactos magnético/térmicos no estén accionados, si esto se cumple el carro tripper se energizará y comenzará a ubicarse de forma automática, guiándose mediante el sensor de radar. Adicional a esto deberá enviar una señal para confirmar que se energizó correctamente, de lo contrario el sistema se detendrá. Una vez el carro tripper este ubicado, el PLC verificara los contactos magnético/térmicos del elevador de canjilones 2, si no están accionados se procederá con la energización de este. Después de que esto ocurra el PLC debe recibir una señal de confirmación de que el encendido fue exitoso. Además se comenzará a monitorear permanentemente que el giro del elevador no falle. Tras encender el elevador de canjilones 2, se encenderá el sistema de extracción de polvos asignado a los elevadores de canjilones. Después de encender este extractor de polvos, el PLC verificara la posición del diverter y la corregirá de ser necesario. Una vez el diverter este en posición adecuada, se procede con la activación de la zaranda clasificadora. Para esto el PLC verifica que los contactos magnético/térmicos no estén disparados y que el elevador de canjilones 2 este funcionando correctamente. Después de que se enciende la zaranda clasificadora, se procede con la activación del extractor de la zaranda. Cuando se encendió exitosamente este extractor, esta debe enviar una señal de confirmación al PLC de que su encendido fue correcto. Una vez el extractor de la zaranda esta encendido, el PLC verifica los contactos magnético/térmicos del elevador de canjilones 1, si están en la posición adecuada el elevador se energiza. El PLC debe recibir una señal de confirmación de encendido para verificar su correcto funcionamiento, adicionalmente el PLC comenzara a monitorear permanentemente que el giro del elevador sea correcto. Una vez el elevador este encendido, se procederá con la activación de la válvula mariposa para permitir el paso del carbón. Después de que la válvula indique que está en la posición correcta se procederá con la activación de la reja vibradora, para esto se verificaran sus respectivos relés magnético/térmicos y se verifica que la válvula mariposa este abierta. Después de esto se enciende el extractor de la reja vibradora, se enciende la válvula rotatoria.. Una vez que la válvula rotatoria está encendida, el PLC monitorea constantemente todas las variables mencionadas anteriormente y en caso de presentarse un solo fallo, el sistema se detendrá por completo. Vale la pena adicionar que entre cada motor o elemento que se energiza, se dejo un periodo de espere de 10 segundos, con el fin de evitar que se acumulen los picos de corriente que generan los motores al ser energizados. El sistema se detendrá por completo si se presiona uno de los paros de emergencia del sistema.

Nota: El funcionamiento automático para suministrar carbón directamente a la caldera, por medio del tornillo sinfín se enciende en el siguiente orden, cumpliendo con los mismos requisitos que se dieron en la anterior descripción.

1. Tornillo.
2. Válvula Diversora.
3. Zaranda Clasificadora.
4. Extractor Zaranda.

5. Elevador de Cangilones 1.
6. Extractor Elevadores.
7. Válvula Mariposa.
8. Reja Vibradora.
9. Extractor Reja vibradora.

### **3.6.2 Funcionamiento manual**

El sistema de almacenamiento de carbón y caliza solo deberá manejarse de forma manual, para realizar labores de mantenimiento o pruebas de funcionamiento.

En modo manual la programación fue mucho más simple, ya que el sistema no debe verificar en qué estado se encuentran los demás elementos para energizar determinada parte. Así que lo que se hizo en modo manual fue programar las instrucciones asociadas a cada pulsador para permitir el arranque de cada motor. Aun así, en cada pulsador se debieron asociar las seguridades pertinentes, como los suiches magnético/térmicos y los sensores inductivos que garantizan que cada elemento del sistema se detenga si ocurre alguna falla. Para el caso del carro tripper, los sensores inductivos lo detienen en sus límites de trabajo. Si estos sensores inductivos fallan, existen unos microsuiches, los cuales detendrán al carro tripper si excede los límites permitidos para su funcionamiento.. Para facilitar la programación de esto se dividió la rama manual en subramas específicas para cada pulsador. En total se utilizaron 10 pulsadores para la parte manual, asignados a la reja vibradora, el elevador de canjilones 1, la zaranda clasificadora, el elevador de canjilones 2, la banda tripper, el carro tripper, el extractor de polvos de los elevadores, el extractor de polvos de la zaranda, el extractor de polvos de la reja vibradora y la válvula rotatoria. Para cada uno de los elementos que se acaban de mencionar existen dos pulsadores, uno de arranque y uno de paro, el carro tripper posee un pulsador adicional, ya que posee un pulsador para ir a la derecha, un pulsador para ir a la izquierda y un pulsador de paro. Adicional a estos pulsadores, el sistema tiene paros de emergencia ubicados estratégicamente, en caso de que uno de estos sea presionado todo el sistema se detendrá por completo sin temporizadores.

### **3.6.3 Manejo ambiental**

El manejo ambiental consiste en una serie de filtros de talegas con sus extractores de polvo, los cuales están ubicados en los lugares donde se realiza transferencia de material, con el fin de minimizar al máximo la emisión de material particulado al ambiente.

El primer lugar donde se realiza una transferencia de material es donde las volquetas descargan el carbón. Estas lo descargan sobre a reja vibradora, por esto se instalo un filtro de talegas en este punto.

El segundo filtro de talegas se encuentra asignado a los dos elevadores de cangilones, ya que estos entregan material y recogen material. En esta fase del trayecto se puede presentar emisiones de polvos al ambiente por lo cual se instalo un filtro de talegas.

El tercer filtro de talegas está asociado a la zaranda clasificadora. Como su principio de funcionamiento es la vibración las emisiones de polvos en este punto son altas, así que se instalo un extractor para reducir las emisiones.

También se instalo una válvula rotatoria, la cual está asociada a todos los filtros de talegas. La función principal de esta válvula es hacer un sello para el aire permitiendo que cruce solamente el material particulado que es capturado por el filtro de talegas.

Los filtros de talegas tienen un circuito secuenciador el cual activa secuencialmente unas válvulas que se encargan de entregar unos pulsos de aire a las talegas, generados por unos cañones de aire, para remover el material particulado atrapado. Esta secuencia se inicia cuando un sensor de presión diferencial detecta que las talega están taponadas, creando una gran presión diferencial entre la parte interna y la parte externa se las mismas.



**Figura 30. Filtro de talegas, manejo ambiental (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

### **3.6.4 Manejo de caliza**

La combustión que se genera en la caldera genera emisiones de azufre, para controlar estas emisiones se ingresa piedra caliza, la cual captura y retiene la mayoría de las emisiones de azufre. Para entregar piedra caliza a la caldera existe un silo de almacenamiento, este silo se conecta a un tornillo sinfín el cual entrega la caliza a la caldera. Este mecanismo solo se activa de forma manual, ya que el transporte de caliza a los silos localizados en la caldera se hace cuando los operarios de la caldera detecten un nivel bajo en dicho silo. Existen dos pulsadores asociados al sistema de caliza, uno de arranque y uno de paro. Adicional a esto hay un compresor el cual se encarga de impulsar la caliza desde un carro-tanque hasta el silo de almacenamiento. Para este compresor existen dos pulsadores, uno de arranque y uno de parada. El tercer componente que integra el manejo de caliza es una válvula rotatoria. Dicha válvula se encarga de captar polvos que se generan durante la transferencia del material. Para esta válvula existen dos pulsadores, uno de arranque y uno de parada.

Acorde con lo que se explicó en esta sección y el anexo 16, se ve claramente como se cumplió de manera satisfactoria el cuarto objetivo específico, mencionado en la sección 1.5.2.

### **3.7 CHEQUEOS Y PRUEBAS REALIZADOS**

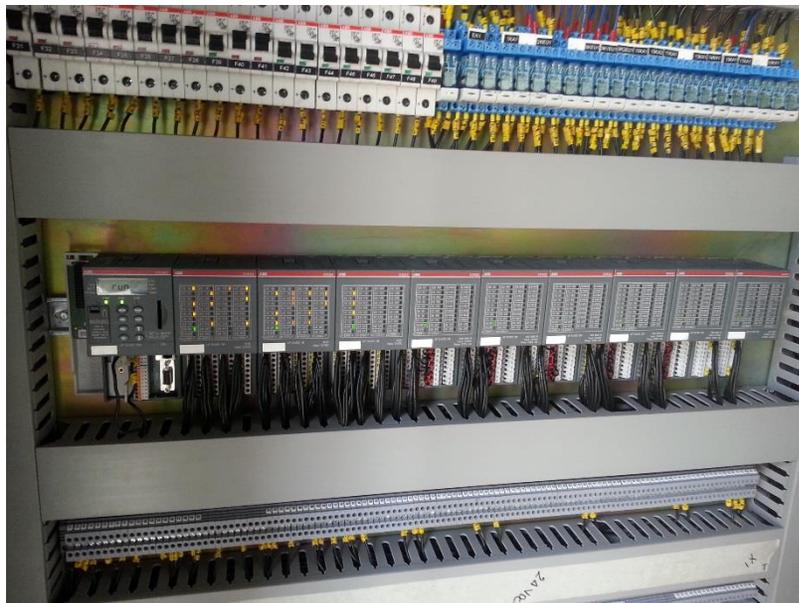
- Antes de energizar el sistema por primera vez se realizaron verificaciones del cableado. Esto se hizo utilizando un multímetro y chequeando continuidad. También se buscaron posibles cortos en el sistema. Adicional a esto se realizó una exhaustiva inspección visual con el fin de descartar defectos en las conexiones y cables. Antes de energizar los motores por primera vez, estos fueron verificados con un Megger, con el fin de encontrar posibles desperfectos en la conexión e inclusive desperfectos de fabricación.
- Posteriormente se energizó el control del sistema de almacenamiento de carbón y caliza. Así se verificó el correcto funcionamiento del programa del PLC y de los contactores del tablero.
- Una vez se verificó el control, se procedió a energizar potencia, es decir motores y válvulas. Se probó cada elemento de forma individual, antes de enlazarlo con el PLC. Por medio de una pinza amperimétrica se tomó la corriente de trabajo de los motores en vacío para verificar si los parámetros ingresados a los variadores y a los relés térmicos si eran los correctos o para hacer un ajuste si fuese necesario.
- Una vez se verificó lo anteriormente mencionado, se iniciaron las pruebas del funcionamiento del sistema, es decir que las ordenes del PLC se cumplieran adecuadamente. Cuando todo esto se cumplió se comenzaron las pruebas de funcionamiento del sistema sin carga, utilizando tanto el panel gráfico de Codesys como la verificación física, en campo, para chequear el correcto funcionamiento.

- El sistema se probó con diferentes porcentajes de carga, hasta tener el máximo posible, con esto se hizo la medición de los valores de corriente en cada motor buscando que ninguno estuviese fuera de los parámetros de trabajo.



**Figura 31. Pruebas en tablero MCC (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

- Todos los paros de emergencia, suiches de candaneo y disparos en los equipos, fueron probados, garantizando así el paro de los procesos en caso de una emergencia o fallo



**Figura 32. Pruebas en el PLC (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

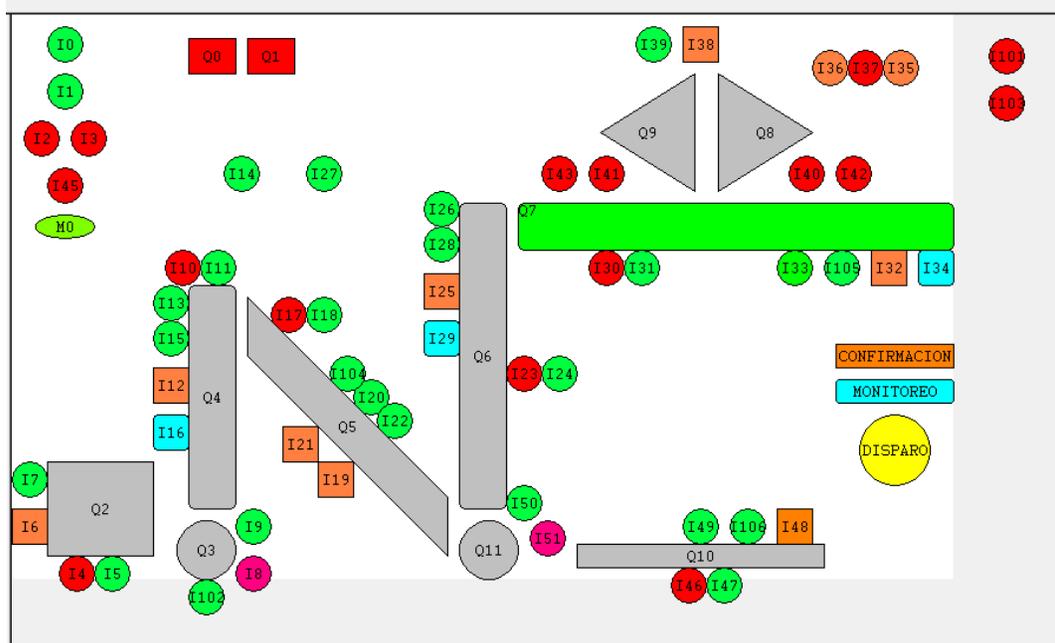
- Las frecuencias de los variadores de velocidad, se ajustaron de modo que ningún equipo significara un embotellamiento para el proceso, esto se realizó tomando los tiempos de represamiento en cada equipo y ajustando dinámicamente la frecuencia de velocidad hasta encontrar un punto de equilibrio

**Tabla 17. Frecuencias establecidas en los variadores.**

Variador	Frecuencia Definida
2EU1	45 Hz
6EU1	50 Hz
8EU1	45 Hz
9EU1	30 Hz
18 EU1	25 Hz

### 3.7.1 Simulaciones

Antes de transferir el programa al PLC este se simuló en Codesys. La simulación se realizó de forma gráfica, con el fin de entender más fácil el comportamiento de las variables. En la figura 31 se puede ver como se diseñó el panel de simulación. En dicho panel se trató de representar de forma gráfica los diferentes elementos del sistema de almacenamiento de carbón y sus respectivas variables de entrada y salida. Así se facilitó mucho la programación del PLC y la corrección de fallas en el programa. El panel gráfico además de proporcionar un entorno de simulación, también sirve para realizar monitoreo de variables en tiempo real, permitiendo al usuario analizar fallas en el sistema o monitorear variables específicas.



**Figura 33. Panel de Simulación codesys. (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

### **3.7.2 Fallas y Correcciones**

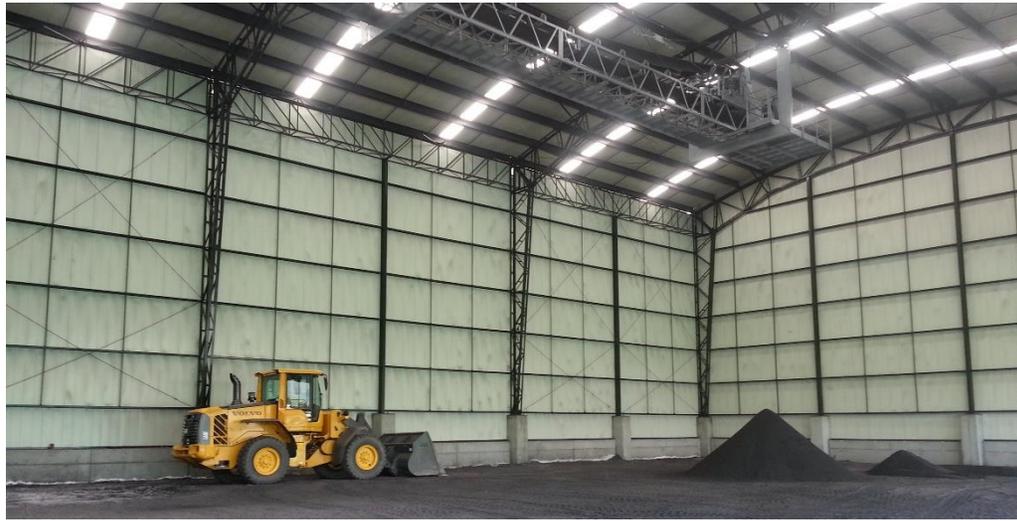
A la hora de probar el sistema en modo automático, cuando los equipos fueron entrando secuencialmente, el sistema falló y los equipos se iban anulando entre sí. Primero se descarto que el problema estuviese en el programa, luego que estuviese en el conexionado y luego se paso a evaluar que no fuera un problema de ruido eléctrico. El problema encontrado fue de ruido eléctrico, debido a que algunas señales de parada o confirmación en el modo automático eran afectadas por el ruido que generan algunos equipos como los variadores, de allí que el PLC recibieran entradas erróneas y ordenara el paro de algunos equipos.

- La primera corrección que se tomo fue realizar un filtro en el programa del PLC, donde se puso como condición que una señal estuviese por determinado tiempo activa o desactiva, para que fuese tomada como real. Dicha solución tubo resultados parciales, dado que funcionó para evitar que se anularan determinados equipos, pero no la totalidad del sistema.
- La segunda medida que se tomó fue la implementación de condensadores a cada una de las entradas del PLC; se realizaron impresos donde se instalaron filtros de 33  $\mu$ F, para cada modulo de entradas del PLC se instalaron 8 circuitos impresos con un total de 32 condensadores los cuales estaban referenciados al - 0VDC.

Los condensadores eliminaron el ruido de las señales del PLC lo que permitió que el sistema trabajara correctamente tanto en modo manual como automático.

### **3.8 ENTREGA DEL PROYECTO**

El proyecto se entregó en el tiempo solicitado por Enka de Colombia S.A. Adicionalmente este se entregó funcionando adecuadamente y de forma automatizada. Se han realizado pruebas de funcionamiento por horas durante varios días y el sistema no ha tenido fallas en su funcionamiento ni el ámbito eléctrico ni en el control y automatización.



**Figura 34. Sistema de Almacenamiento de Carbón realizando Pila (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 35. Sistema de Almacenamiento de carbón ambiental, tolva de entrada, zaranda y elevadores (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 36. Sistema de Manejo Ambiental (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 37. Sistema de Manejo de carbón, zaranda y elevador corto (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 38. Tornillo de alimentación de carbón (Gutiérrez & Lopera, 2013).**



**Figura 39. Sistema de Manejo Ambiental. (Gutiérrez & Lopera, 2013).**

## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Al finalizar este proyecto se esperaba tener los siguientes resultados y productos:

- Una tabla donde se identificaran todos los elementos eléctricos e instrumentación que se requerían para el funcionamiento, automatización, mantenimiento y seguridad de los procesos de manejo de carbón y caliza; dentro de la tabla se pretendía indicar características eléctricas tales como voltaje, potencia, corriente, etc. Datos necesarios para realizar el diseño del tablero MCC.
- Planos eléctricos del tablero de potencia y control para el manejo de carbón y caliza en la termoeléctrica; dentro de los planos eléctricos se contemplaba: diagrama unifilar y control.
- Cotización del tablero MCC, así como todo el informe de ingeniería acerca de la fabricación del tablero lo que incluye el Layout.
- Programa para PLC desarrollado para la automatización del proceso.
- Proceso de manejo de carbón y caliza completamente funcional y automatizado.

Para realizar este tablero se realizó una investigación y se redactó una lista en la cual se presentan los motores, mandos e instrumentos necesarios para la automatización en la línea de almacenamiento de carbón, caliza y captación de polvos, así como sus respectivos requerimientos técnicos. En esta tabla se presentan las características necesarias para el diseño del tablero eléctrico. Esta lista se encuentra en el anexo 4; adicional a esta lista se realizó un P&ID donde se ilustra el proceso y sus equipos.

Con la lista del anexo 4 se procedió a diseñar el tablero. En los diseños se incluyen planos eléctricos, los cuales incluyen diagrama unifilar y de control. A demás de todo el informe de diseño eléctrico presentado en este trabajo.

Con los diseños se solicitaron las cotizaciones pertinentes y se realizó la compra del tablero eléctrico. Con el diseño previo y SDT, la empresa encargada de la fabricación del sistema, se generó un informe de ingeniería acerca de la fabricación del tablero lo que incluye el Layout; un componente adicional es el diseño y selección de otros equipos como variadores, mandos, instrumentos, etc.

Una vez el tablero se instaló en su sitio de trabajo y se realizó todo el montaje eléctrico, se procedió con el desarrollo del programa para el PLC. Este programa se generó con éxito y se encuentra actualmente dando las instrucciones para el correcto funcionamiento del sistema de manejo de carbón y caliza. Adicional a esto toda la documentación del programa se puede ver en el anexo 16.

El diseño y la implementación de un centro de control de motores (MCC) para el proceso de manejo de carbón y caliza, para la termoeléctrica de 14 MW de Enka de Colombia S.A se realizó con éxito. Tanto el tablero como el proceso de manejo de carbón se encuentran actualmente funcionando de forma automatizada en Enka.

En los Anexos se encuentra todo el material generado y el material de apoyo usado para el desarrollo del proyecto.

## **5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

- Para realizar un diseño o montaje de una instalación eléctrica de cualquier índole es importante tener claros los conceptos en las diferentes teorías de electricidad, pero es de suma importancia siempre tener presente a la hora de diseñar y montar el conocimiento y aplicación de la norma técnica como lo es el RETIE y la norma técnica Colombiana NTC 2050, debido a que por encima de la calidad de los equipos y las instalaciones estos velan por la seguridad de las personas.
- Para casos en los que se debe automatizar una secuencia, programar mediante el lenguaje CFC facilita considerablemente tanto la creación del programa como su depuración y búsqueda de fallas.
- La implementación de un tablero eléctrico MCC facilita las correcciones de fallas y las labores de mantenimiento, por esto es altamente recomendable utilizar esta filosofía de diseño.
- Al llevar señales de campo al PLC, es recomendable utilizar filtros. Esto con el fin de facilitar la recepción de las señales, mitigando los efectos del ruido eléctrico.
- Como sugerencia para proyectos de grado posteriores, se recomienda buscar necesidades reales de la industria, las cuales sean aplicables a la realidad.
- Es de gran importancia la protección de todos los equipos contra problemas en la red eléctrica o en los elementos del sistema, estos problemas pueden presentarse en forma de sobrecargas o cortos circuitos. Esta protección es de vital importancia, no solo para proteger los equipos sino para mejorar la seguridad de las personas que interactúan con el proceso.
- Los variadores de velocidad son elementos con una gran utilidad, además de permitir variar la velocidad de un equipo, estos permiten proteger los elementos del sistema controlando el par de arranque. Adicional a esto, son elementos altamente flexibles, lo cual les permite ser utilizados en diversas aplicaciones si así se requiere.
- Las corrientes de corto circuito son de gran importancia a la hora de diseñar una instalación eléctrica, esto se debe a que, basándose en estas se diseñan los niveles de protección frente a sobre intensidades. Así se puede evitar que fallen o exploten los elementos del sistema.
- Para automatizar un proceso industrial es altamente recomendable utilizar un PLC. Estos dispositivos pueden manejar un gran número de entradas y salidas tanto análogas como digitales. Esto facilita en gran medida la adquisición de variables del proceso. Los PLC se pueden programar en diferentes lenguajes lo que los hace muy flexibles al momento de generar un código de programación.
- Cuando se automatiza una secuencia industrial y se hace un programa de PLC, es necesario ajustar los tiempos de espera entre cada acción. Este ajuste debe

realizarse monitoreando el funcionamiento del proceso, con el fin de encontrar los tiempos más adecuados. Adicional a esto es necesario ajustar las velocidades de rotación de los elementos rotativos del proceso. Se deben realizar estos ajustes de tiempos y velocidades buscando el funcionamiento más óptimo del proceso.

- Al automatizar una secuencia industrial se debe dejar un breve intervalo entre la energización de cada motor. Esto con el fin de prevenir el accionamiento simultaneo de varios motores, lo cual podría causar un pico exagerado de corriente que puede perjudicar los elementos del sistema.
- Es recomendable instalar protecciones a los elementos de control. Esto ayuda a proteger de excesos de corrientes estos elementos. Algunos dispositivos de control son muy costosos, como el PLC.
- Una adecuada expresión oral y la claridad al comunicarse son fundamentales para dirigir y supervisar montajes. También son elementos críticos para relacionarse con proveedores, ya que un error en la comunicación puede entorpecer considerablemente el desarrollo de un proyecto.
- Es de suma importancia realizar una verificación exhaustiva de las conexiones eléctricas durante un montaje. Los errores en el conexionado son difíciles de detectar y pueden generar cortos circuitos, los cuales ponen en riesgo al personal de montaje y a los equipos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ABB STOTZ-KONTAKT, (2013), Data sheet PLC AC500. URL: <http://www.abb.de/stotz-kontakt>

Adaro I, (2000) A guide to stockpiling and storage

Arnold B. (2004) Efficient Handling of Coal for Power Plants: Development of a Coal Handleability index.

Bateman (2012), Coal Handling & Preparation

Behera. S, Farooque. J & Dash. A, (2011) Productivity change of coal-fired thermal power plants in India: a Malmquist index approach.

Bergmann C, Bragança S, & da Silva M, 2004 Optimizing Coal Feed in a Brazilian Thermal power Plant: A case Study.

Carbunion Federación Nacional de empresarios de minas de Carbón (2011) Memoria 2011-Usos del Carbón

Conceptos de Generación Termoeléctrica: Combustibles Utilizados e Impactos Ambientales, Tomado 10 de marzo de 2013. URL: <http://www.cnea.gov.ar/xxi/energe/b10/autores03.pdf>

Definición de lenguajes de programación para PLC, Tomado el 14 de octubre del 2013. URL: [http://infoplc.net/files/documentacion/automatas/infoPLC\\_net\\_lenguajes\\_programacion\\_V4.pdf](http://infoplc.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_lenguajes_programacion_V4.pdf)

Definiciones de palabras del español, Tomado el 15 de octubre del 2013. URL: <http://www.wordreference.com/definicion/>

Engineering and Equipment, February 2011, Telestack's mobile coal handling systems — the flexible solution

Enka de Colombia (2013), Layout sala electrica manejo de Carbon proyecto C-30

FI-UNLP, (2013) Instrumentación y Comunicaciones Industriales: Diagrama de contactos (Ladder).

FLSmidth (2013). Stacker and reclaimer Systems for cements plants.

ICONTEC (2013), Norma Técnica Colombiana NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano. República De Colombia Ministerio De Desarrollo Económico

Industrias SDT, (2013) CCM planta de Carbon 3F+N+T+440V

Khederzadeh M, (2011), Mechanical Protection of Induction Motors by Off-the-Shelf Electrical Protective Relays

Kragelund M., Leth J. & Wisniewski R., (2009) Optimal usage of coal, gas and oil in a power plant.

Leyes vigentes sobre salud y seguridad ocupacional vigentes en Colombia, Tomado el 14 de octubre del 2013.

URL:<http://manqlar.uninorte.edu.co/bitstream/10584/2220/2/Legislaci%C3%B3n%20en%20seguridad%20y%20salud%20ocupacional%20en%20Colombia.pdf>

LIFO v. FIFO, (1957), *Time*. 2/18/1957, Vol. 69 Issue 7, p94. 1p.

Méndez A, 2013, Introducción a los PLC, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua

Ministerio de Minas y Energías, Reglamentos Técnicos. Tomado 10 de marzo de 2013.

URL:[http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id\\_subcategoria=770&id\\_categoria=157](http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id_subcategoria=770&id_categoria=157)

Moldovan C. & Ionescu C. (2010) humidity, important factor in coal selfignition.

Nilsson J. (2005). Circuitos Eléctricos, Séptima Edición, Pearson Education

Promelsa, Tableros de distribución de baja tensión, 2013, tomado el 10 de octubre de 2013.

URL: <http://www.promelsa.com.pe/tableros-distribucion.htm>

Quintero A, (2013) Layout de rack de Inversores para manejo de carbón proyecto C-30, Enka de Colombia

Schmelcher T, (1984) Manual de Baja Tensión. Indicaciones para la selección de aparatos de maniobra, instalaciones y distribuciones. Siemens Aktiengesellschaft

Schneider Electric (2013), Catalogo de productos distribución eléctrica 2011, Products Data Sheet.

Sharma. M & Vyas P. (2001) Identification and quantification of environmental issues of aging coal-based power plant—case study.

Stamari Alina, (2010), the subsidence caused by the waste-coal selfignition process in the anina town (Romania). Preliminary study of the West University of Timișoara, Departament of Geography, Romania.

Tecno Circuito Alfa, Tableros CCM . Tomado 10 de marzo de 2013 .URL: <http://www.tecnocircuitoalfa.com.ve/ccm.html>

Telestack: Mobile Bulk Material Handling. Tomado 10 de marzo de 2013 .URL: <http://www.telestack.com/tag/new-products>.

Thomas PH, Some approximations in the theory of self-heating and thermal explosion, Transactions Faraday Society No. 450, vol. 56, part 6, 1960

Tzafestas S, Pantelelis M & Kostis D, (2002) Design and implementation of a logic Controller using pretri nets and ladder logic diagrams.

WEG, Paneles Eléctricos. Tomado 11 de marzo de 2013 .URL:

<http://www.weg.net/mx/Productos-y-Servicios/Paneles-Elctricos/Panel-Elctrico/Centro-de-Control-de-Motores-de-Media-Tension-CCM-aUs-MT>

Yaskawa, (2013) A1000 Variable Speed Drive. URL:  
<http://www.yaskawa.com/site/Products.nsf/products/Industrial%20AC%20Drives~A1000.html?openDocument&seq=1>

## 6. ANEXOS



## ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

### ACTA DE EVALUACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>Fecha: ( dd /mm / aa)</b>	23 /11/ 2013						
<b>Nombre del Proyecto:</b>	Diseño eléctrico y automatización de un sistema de almacenamiento de carbón y caliza para la termoeléctrica de 14MW en Enka de Colombia S.JA						
<b>Nombre del Director:</b>	Rodrigo Arbeláez Estrada						
<table border="1"> <tr> <td>Nombre del estudiante</td> <td>Programa académico</td> </tr> <tr> <td>Edgar Yamid Lopera Monsalve</td> <td>Ingeniería Mecatrónica</td> </tr> <tr> <td>Federico Gutiérrez Vélez</td> <td>Ingeniería Mecatrónica</td> </tr> </table>		Nombre del estudiante	Programa académico	Edgar Yamid Lopera Monsalve	Ingeniería Mecatrónica	Federico Gutiérrez Vélez	Ingeniería Mecatrónica
Nombre del estudiante	Programa académico						
Edgar Yamid Lopera Monsalve	Ingeniería Mecatrónica						
Federico Gutiérrez Vélez	Ingeniería Mecatrónica						
<b>Nombre del Jurado:</b>							
<b>Evaluación del proyecto: Espacio exclusivo para jurado</b>							
<input type="checkbox"/> No aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado sin mención <input type="checkbox"/> con Mención Pública <input type="checkbox"/> con Mención honorífica <input type="checkbox"/> Trabajo laureado							
<b>Justificación del reconocimiento:</b> (Artículo 28 del Acuerdo 11: "El director del Programa presentará el acta final de evaluación al Consejo Académico, donde consta la solicitud de mención especial debidamente justificada y el Consejo determinará si se otorga o no")							

DIRECTOR DEL PROGRAMA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

JURADO (Si lo hubo)

JURADO (Si lo hubo)