



**OPTIMIZACIÓN DE LA
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA
ZONA DE BOMBEO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA RONDÓN S.A.S**

DIEGO ALEJANDRO GUTIERREZ NARANJO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
INGENIERÍA MECATRONICA
PAMPLONA
2020



**OPTIMIZACIÓN DE LA
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA
ZONA DE BOMBEO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA RONDÓN S.A.S**

DIEGO ALEJANDRO GUTIERREZ NARANJO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

DIRECTOR: YARA ANGELINE OVIEDO DURANGO
INGENIERA EN MECATRONICA, MAGISTER(C)
EN CONTROLES INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
INGENIERÍA MECATRONICA
PAMPLONA

2020

Nuestras virtudes y nuestros defectos son inseparables, como la fuerza y la materia. Cuando se separen, el hombre deja de existir

Nikola Tesla
1856-1943

Resumen

En este documento se presentan las optimizaciones hechas a los diferentes tableros de control en la zona de bombeo y succión, algunos procesos cuentan con electrobombas distribuidas a lo largo de la zona de bombeo en la planta de tratamiento de agua Rondón S.A.S. Dichas electrobombas son las encargadas de trasportar el fluido entre diferentes tanques para garantizar los niveles de agua adecuados. Posteriormente a ello se automatizará la zona de residuos sólidos, que debido al deterioro y descuido presentó problemas a lo largo del tiempo y ahora es un proceso manual, este sistema estará controlado por un autómata (Plc) Logo! V8. La programación del PLC será mediante LOGO Soft Comfort, este sistema se encargará de generar una trasferencia automática ante la falta de fluido eléctrico convencional accionando un grupo electrógeno el cual suministra el fluido eléctrico necesario para que la planta funcione.

Palabras clave. Optimización, Logo! V8, Plc, Trasferencia automática, Electrobomba, Grupo Electrónico.

Agradecimientos

Mis mas sinceros agradecimientos:

A mi madre Graciela Naranjo y a mi padre Benjamin Gutierrez por su apoyo incondicional, sus esfuerzo y su ejemplo, han sido la mas grande motivación para llevar a cabo este proceso. Gracias por los valores inculcados, por las palabras de aliento cuando la situación se tornaba difícil, pero sobre todo por tanto amor. Los amo inmensamente, este logro es de ustedes.

A mis hermanos Antonio, Yobanny, Carlos, Benjamin y Camilo, por siempre estar presente en mi vida guiándome y apoyándome cuando era necesario, los mejores regalos que me han dado mis padres.

A mi directora de trabajo de grado Yara A. Oviedo D., por el apoyo brindado y buen desarrollo de este proyecto.

Al profesor Diego J. Barrera O., por su apoyo y confianza brindada durante el desarrollo de este trabajo y de mi formación.

A todos los docentes, y compañeros de estudio que aportaron sus conocimientos a lo largo de mi formación como profesional. A todos los conocidos y personas no mencionadas que intervinieron de alguna u otra forma en este proceso, infinitas gracias.

Índice general

1. Descripción del proyecto	6
1.1. Planteamiento del problema	6
1.2. Justificación	7
1.3. Descripción del trabajo de grado	8
1.4. Objetivo general	9
1.5. Objetivos específicos	9
2. Marco teórico	10
2.1. Transferencia manual	10
2.1.1. Selector trifásico I-0-II o Interruptor tripolar manual	11
2.1.2. Señalización luminosa	12
2.2. Transferencia Automática	13
2.2.1. El Controlador lógico programable (PLC)	15
2.2.2. El contactor	15
2.2.3. Relés temporizados	17
2.2.4. Relé falta de fase	18
2.2.5. Pulsadores	19
2.2.6. Totalizador o Disyuntor	19
2.3. Grupo electrógeno	21
2.3.1. Estructura del grupo electrógeno	21
2.3.2. Partes de un grupo electrógeno	22
2.4. Arranque de motores	24
2.4.1. Arranque Estrella-Delta	24
2.4.2. Arranque directo	25
2.4.3. Relé de sobre carga térmico	25
3. Mantenimiento	27
3.1. qué es mantenimiento?	27

3.2. Proceso de mantenimiento	28
3.3. Tipos de mantenimiento	29
3.4. Lista de equipos	30
3.5. Codificación de equipos	33
3.6. Registro de la información	34
4. Optimización y reestructuración	37
4.1. Zona centro de la PTAR	37
4.2. Diseño electrónico	39
4.2.1. Análisis matemático BJT con Relé	39
4.2.2. Selección de componentes	42
4.2.3. Diseño CAD PCB	44
4.2.4. Código de programación	45
4.3. Tablero de transferencia	48
4.3.1. Diagramación eléctrica	49
4.3.2. Programación Logo! Soft Confort V8	53
4.4. Zona suroeste de la PTAR	54
4.4.1. Diagrama eléctrico	56
4.5. Zona noreste de la PTAR	58
4.5.1. Diagrama eléctrico	59
5. Análisis de resultados	61
5.1. Sistema de arranque directo, zona suroeste y noreste de la PTAR	61
5.2. Grupo electrógeno	65
5.3. Transferencia automática	67
5.4. Conclusiones	70
Anexos	71
A. Imágenes realización del tablero	72
Bibliografía	77

Capítulo 1

Descripción del proyecto

1.1. Planteamiento del problema

La empresa Aguas Rondón S.A.S es una entidad encargada de suministrar los servicios de alcantarillado, recolección de residuos sólidos y suministro de agua potable en el municipio de Puerto Rondón situado en el departamento de Arauca, presta sus servicios desde el 2017 con el fin de mejorar la calidad de vida en cada uno de los habitantes en el municipio llegando a ser reconocida en el departamento como una empresa de calidad y emprendimiento.

La empresa cuenta con una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) y una PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) las cuales se encuentran distribuidas en diferentes zonas del pueblo, en la zona centro se encuentra la PTAP, describiremos los procesos automatizados en cada una de ellas. La PETAP se caracteriza por tener los mayores procesos automatizados en la empresa, pues en este sector se encuentra toda la potabilización y distribución del agua, este proceso es totalmente autónomo. El sistema funciona de la siguiente forma:

Una electrobomba sumergible tipo lapicero de la marca Franklin Electric la cual tiene las siguientes características 10HP 330V AC, impulsa el agua subterránea esta pasa por un macro medidor (Caudalímetro) el cual registra cuantos metros cúbicos de agua son extraídos del subsuelo todo este fluido pasa por un proceso de oxigenación y remoción de impurezas, en estos procesos se involucran diferentes actuadores los cuales trabajan mientras

este proceso se realice, luego que todo el proceso culmina el agua es almacenada en un tanque antes de pasar al tanque de distribución un sistema de bombas alternadas esperan la señal de arranque la cual es dada por los sensores (flotadores) en el tanque de distribución para su llenado, agua que luego se distribuye en todos los hogares del municipio.

Situado a unos 200 metros de la PTAP también se encuentra una parte de la PTAR esta parte se encarga de procesar los residuos sólidos de los barrios aledaños en esta zona, tiene un sistemas de dos bombas sumergibles de la marca Flygt con las siguientes características 10HP 330V AC la conexión eléctrica es un sistema estrella-delta estas impulsan el agua residual a una laguna de oxidación, es un proceso automatizado el cual enciende las bombas dependiendo al nivel de agua.

Actualmente la planta no cuenta con medidas de contingencia a la falta del fluido eléctrico comercial, por lo cual requieren una estación de electrógeno que se encargue de respaldar el fluido eléctrico en caso de que este llegue a fallar, anteriormente tenían una zona encarga para este propósito pero por la falta de manteniendo este proceso es manual.

El siguiente trabajo de grado pretende reestructurar todo el tablero de control para implementar una transferencia automática la cual se encargue de suplir la necesidad a la falta de fluido eléctrico, aparte de esto se optimizaran los tableros asignados a la PTAP, PTAR en los sistemas de arranque de sus bombas los cuales son fundamentales en los procesos de la planta, estos deben de funcionar de la mejor forma posible para reducir riesgos de fallos en las máquinas y personal encargado.

1.2. Justificación

Los tableros de control son los dispositivos encargados de controlar los sistemas de arranque de las bombas, y el cambio en la transferencia automática, indican cuando los actuadores arrancan, paran, fallan, etc. En estos se encuentran la lógica que produce toda la automatización de los procesos designados. Estos sistemas han venido funcionando hasta nuestros días con gran cantidad de componentes eléctricos y electromecánicos.

La optimización de los tableros es requerida para garantizar un buen funcionamiento en ellos, reduciendo los fallos posibles en los procesos, si estos fallos ocurren los procesos de la planta paran lo cual conlleva a mantenimientos costosos y mano de obra especializada para la solución.

Mediante la solución de problemas y reestructuración de los tableros, Haciendo uso de nuevas tecnologías con el fin de reemplazar componentes viejos por nuevos, lo cual aumenta el espacio de trabajo. Reduciendo a si la saturación de componentes en los tableros, de esta forma la lógica de control y potencia se encontrara mejor distribuida y de fácil identificación.

1.3. Descripción del trabajo de grado

Este trabajo de grado se basa en el mantenimiento, detección de fallos, reestructuración y optimización de los tableros de control asignados a la zona de bombeo y succión en una planta de tratamiento de aguas residuales, abarcaremos temas de diseño electrónico, diagramación eléctrica, programación y selección de componentes.

Con esta propuesta se pretenden optimizar alguno de los tableros en el área de bombeo y succión, garantizando un buen funcionamiento a largo plazo, además se agregarán manuales de soporte técnico en donde se especifican los tipos de conexión de cada tablero, esto ayuda a identificar fallos a lo largo del proceso. También se creará un tablero en la zona de respaldo de energía esto con el fin de que la planta cuente con una transferencia automática en dado caso que el fluido eléctrico de la red comercial falle.

Antes de la puesta en marcha de todos los tableros de control y las restauraciones hechas se harán simulaciones pertinentes las cuales garanticen la funcionalidad de todo el proceso hecho, esto con el fin de no tener fallos imprevistos. La mayoría de la instrumentación en los tableros de control integrados en la planta ocasionan fallos debido al deterioro de estos mismos procederemos a hacer cambios de la instrumentación y adecuación de estos tableros distribuidos en la planta de tratamiento.

1.4. Objetivo general

- Optimizar la instrumentación y control de la zona de bombeo en la planta de tratamiento de agua Rondón S.A.S.

1.5. Objetivos específicos

- Desarrollar la programación que permita automatizar el proceso de transferencia del fluido eléctrico en la zona de residuos sólidos.
- Reparar paneles de control en la zona de bombeo.
- Generar un manual de soporte técnico para los tableros de control en la zona de bombeo.
- Validar el sistema implementado.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se presentan los aspectos más relacionados del cuerpo teórico epistemológico que, según la investigación y necesidad de desarrollar constituyen un soporte para la optimización, desarrollo y montaje de los diferentes tableros de control asignados a la zona de bombeo y succión en la planta de tratamiento de agua Rondón S.A.S. Lo que permite analizar desde esta perspectiva los componentes más relevantes en los tableros a optimizar, con el mayor detalle posible, de cada componente.

2.1. Transferencia manual

Un tablero de transferencia manual, es un sistema el cual se encarga de cambiar el estado de ciertos contactos ya sean abiertos o cerrados para interconectar las cargas en un circuito de potencia. Este tipo de transferencia se puede hacer mediante breaker o selectores.



Figura 2.1: Tablero de transferencia manual. Fuente: baper.net

Los dispositivos eléctricos involucrados en una transferencia manual son muy pocos, estos se describen a continuación:

- Selector trifásico I-0-II o Interruptor tripolar manual.
- Lámpara de señalización Roja
- Lámpara de señalización verde

2.1.1. Selector trifásico I-0-II o Interruptor tripolar manual

Para los sistemas de conmutación manuales, el interruptor tripolar manual o selector trifásico I-0-II es el más común de encontrar, aunque también se puede encontrar en algunas transferencias breakers que hacen una función similar, este tipo de selector es muy usado también en motores trifásicos para invertir su giro.

La versión más simple de estos selectores consta de tres contactos con dos posiciones estables:

- Posición 0: Contactos abiertos
- Posición I: Contactos cerrados



Figura 2.2: Interruptor tripolar 0-I.[4]

Para realizar la inversión de giro de un motor trifásico es necesario usar un interruptor tripolar I-0-II, este contiene dos series de contactos abiertos los cuales se cierran dependiendo de su posición, que expresamente podemos llamarlo conmutador el cual cuenta con tres posiciones estables, una para cada sentido de giro y otra central de parada o desconexión de red.

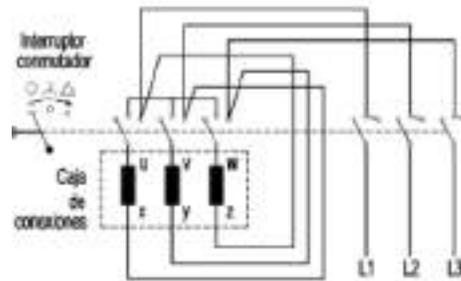


Figura 2.3: Interruptor tripolar 0-I-II.[3]

A si como estos selectores cumplen efectivamente el cambio de giro en un motor trifásico también puede ser usado para interconectar circuitos de línea diferentes y así usarse como trasferencia en el cambio de energía eléctrica de respaldo.

2.1.2. Señalización luminosa

Se entiende como señalización luminosa el alumbrado suministrado por lámparas incandescentes o de gas de pequeña potencia, más conocidas como lámparas pilotos son muy comunes en paneles de control y cuadros eléctricos.



Figura 2.4: Pilotos en la señalización.[4]

Estas señales luminosas emiten una luz cuya información cambia debido al color que cada piloto emita, a continuación en la en la figura 2.4 se muestran los diferentes tipos de señalización encontrados habitualmente en los tableros de control.

Para los esquemas eléctricos existen siglas, las cuales describen el tipo de lámpara y también el color que este tiene, en la figura 2.5 podemos observar la asignación que se hace a este tipos de elementos eléctricos en los esquemas.

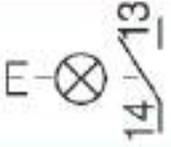
Elemento	Símbolo	Identificador
Lámpara de señalización en general		H
Lámpara intermitente		H
Pulsador con señalización luminosa		S

Figura 2.5: Simbología en los pilotos de señalización.[4]

Los símbolos usados en los tableros de control para señalar un piloto lo podemos apreciar en la figura 2.5, cabe resaltar que esta simbología está normalizada mediante la norma **UNE-EN 60617 (IEC 60617)**.

2.2. Transferencia Automática

Un tablero de transferencia automática es similar a un tablero de transferencia manual en su aplicación, pero esta tiene más componentes a cargo, esto depende mucho del ingeniero o técnico a cargo de realizar el tablero debido que depende de sus conocimientos cuales componentes usar. Algunos

tableros incluso hacen uso de un PLC para reducir componentes. Las diferencias entre un tablero de transferencia manual y automático son muy notorias pues como su nombre lo indica el tablero de transferencia automática no necesita estrictamente de un operario para su funcionamiento, además de que todos los sistemas conectados a esta red serán protegidos en caso de que una fase falle, de esta forma garantizan el buen funcionamiento y menos desgaste por desconexiones inesperadas.



Figura 2.6: Tablero de transferencia automática TTA. Fuente: baper . net

Los dispositivos eléctricos que utilizan este tipo de tableros son mucho más extenso que los manuales, y su lógica cableada es un poco más complicada a continuación nombraremos algunos de estos dispositivos eléctricos que comúnmente podemos encontrar en este tipo de tableros.

- PLC'S
- Contactor
- Relés
- Relés temporizados
- Relés falta de fase
- Pulsadores
- Pilotos de señalización (Ver sección 2.1.2)
- Totalizadores o Disyuntor

2.2.1. El Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable PLC es un microprocesador compacto basado en una memoria programable para almacenar instrucciones he implementar funciones como lógica, secuenciación, sincronización, conteo y aritmética para controlar los actuadores involucrados en un proceso.

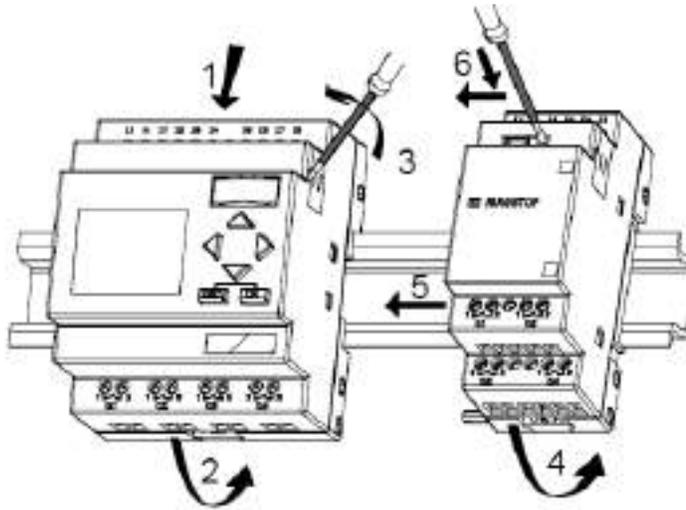


Figura 2.7: PLC con módulo de expansión SIEMENS.[10]

Algunos tipos de PLC'S son modulares como observamos en la figura 2.2.1, esto quiere decir que existen fabricantes los cuales desarrollan pequeñas partes de expansión intercambiables para aplicaciones específicas o expansión de entradas y salidas, así como existen en el mercado PLC'S modulares también los hay compactos, estos no cuentan con módulos de expansión.

2.2.2. El contactor

Un contactor es un dispositivo de conmutación que se activa electromagnéticamente. Al energizar su bobina sus contactos se cierran permitiendo el paso de corriente a través de ellos permitiendo a si la alimentación a instalaciones o receptores, cuentan con la posibilidad de ser comandados a distancia.

Esquematicemos su principio de funcionamiento, el funcionamiento es muy simple al aplicar tensión a los bornes A1-A2 de la bobina, circula

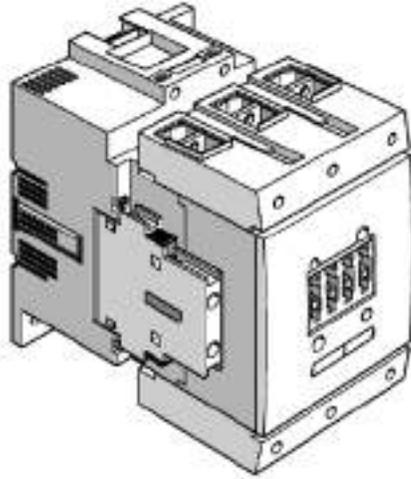


Figura 2.8: Contactor de potencia 3RT10 SIEMENS.[11]

a través de ella una corriente la cual crea un campo electromagnético en su interior. Este campo atrae la armadura al núcleo de la bobina, la bobina está unida mecánicamente a los contactos los cuales se cierran o abren dependiendo del contactor.

Las principales ventajas de un contactor en comparación de un interruptor manual son las siguientes:

- Gran velocidad de conexión y desconexión
- Posibilidad de mando a distancia
- Compatibilidad con diferentes dispositivos de conmutación
- Contactos auxiliares destinados para control del circuito de mando
- Contactos principales destinados para circuitos de potencia o elevadas corrientes

Diferencia entre relés y contactores

Los relés y los contactores son dispositivos muy comunes en los tableros de automatización, estos están formados por una bobina, denominado circuito de control y sus contactos metálicos denominados circuitos de potencia.



Figura 2.9: Relé de 11 pines.[1].

La diferencia entre los relés y los contactores es su aplicación, los contactores soportan más corriente en sus contactos por esto es muy común encontrarlos conectados a los circuitos de carga, en cambio los contactos de los relés son usados para el control del circuito de mando.

2.2.3. Relés temporizados

Los relés temporizados o temporizadores son dispositivos electromecánicos los cuales se encargan de prolongar o activar la apertura de sus contactos por un tiempo determinado, este tiempo se programa de forma manual.

Existen tres tipos de relés temporizados en función de la señal de control.

- Temporizador a la conexión.
- Temporizador a la desconexión.
- Temporizador a la conexión/desconexión.

Temporizador a la conexión

Una vez activada la entrada de control, retarda la apertura o cierre de sus contactos según el tipo NA o NC por un tiempo programado.

Temporizador a la desconexión

Mantiene la posición de sus contactos según el tipo NA o NC durante un tiempo programado una vez desactivada la entrada de control.



Figura 2.10: Diagrama temporizador a la conexión.[5]

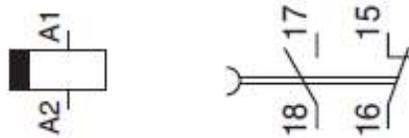


Figura 2.11: Diagrama temporizador a la desconexión.[5]

Temporizador a la conexión/desconexión

Retardan la apertura o cierre de sus contactos NA o NC por un tiempo programado T1 y mantiene este estado por un tiempo T2 una vez desactivada la entrada de control.



Figura 2.12: Diagrama temporizador a la conexión/desconexión.[5]

2.2.4. Relé falta de fase

Son dispositivos electrónicos para el monitoreo de sistemas trifásicos contra caídas de fases (sin neutro), aunque algunos tienen la función de monitorear el neutro.

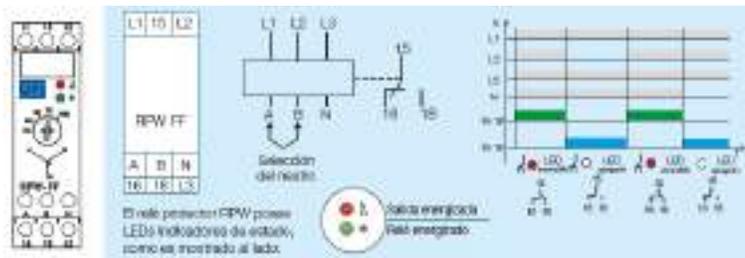


Figura 2.13: Diagrama de conexión relé falta de fase.[12]

Al conectar las líneas L1, L2 y L3 su bobina se activa abriendo su contacto NC y cerrando su contacto NO, al detectar una pérdida en las fases los contactos retornan a su reposo, los porcentajes de caída de tensión son ajustables por el usuario.

2.2.5. Pulsadores

Los pulsadores son elementos de conmutación manual accionados por presión, cuyo contacto opta una posición estable al ser pulsado y al dejar de pulsar retorna a su posición inicial mediante un muelle o resorte interno.

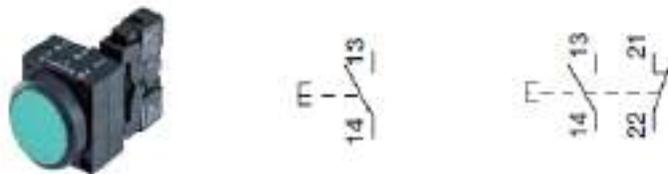


Figura 2.14: Tipos de pulsadores.[4]

Existen diferentes tipos de pulsadores alguno con contactos NO, NC y algunos con contactos mixtos eso depende de su aplicación, son los elementos de mando más usados en la industria, en los tableros de control es muy usual encontrar siempre el pulsador de emergencia.

2.2.6. Totalizador o Disyuntor

Son dispositivos eléctricos que protegen contra cortocircuitos, los disparos de corte se hacen a través de disparadores magnéticos (un disparo por fase).

También protegen contra contactos indirectos siguiendo las normas sobre régimen de neutro, para los esquemas TN o IT.



Figura 2.15: Disyuntores magnéticos.[2]

El valor máximo de corriente de cortocircuito que puede interrumpir un disyuntor con una tensión y condiciones determinadas, es expresado en kilo-amperios eficaces simétricos. La norma IEC 947-2 define dos valores para el poder de corte de los disyuntores.

- Poder asignado de corte I_{cu} .
- Poder asignado de corte I_{cs} .

La I_{cu} es el valor máximo eficaz de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación una operación de cierre-apertura, la I_{cs} es similar a la I_{cu} pero esta permite dos operaciones de cierre-apertura.

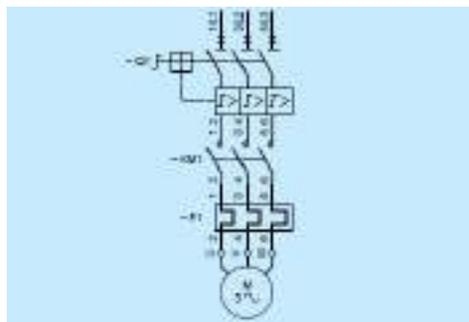


Figura 2.16: Disyuntor con arranque directo de motor trifásico.[2]

2.3. Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno consiste en un maquina la cual mediante un motor de combustión interna trasforma la energía mecánica en eléctrica, gracias a que este incluye un generador.

Se utilizan comúnmente en hospitales, fabricas, zonas apartadas con poca infraestructura, etc. También cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuente los cortes del suministro eléctrico.

2.3.1. Estructura del grupo electrógeno

Básicamente existen dos tipos de grupos electrógenos, los cuales son:

- Tipo abierto.
- tipo cabinado.

Tipo abierto

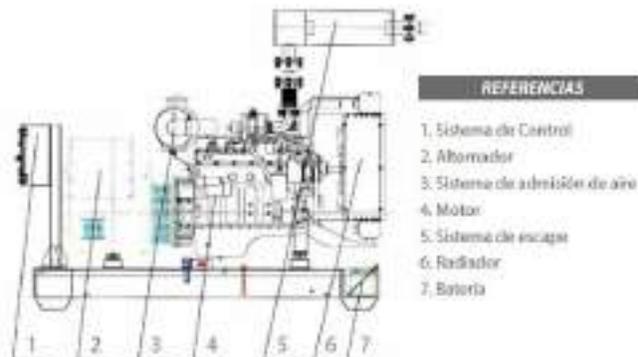


Figura 2.17: Grupo electrógeno abierto.[8]

Este grupo de electrógenos tipo abierto viene con su tanque de combustible en la base para generadores con potencia de 625KVA. Por cuestiones de seguridad los sistemas que superan esta potencia no traen su tanque en la base.

Tipo cabinado

Este grupo de electrógeno tipo cabina, trae consigo una cubierta aislante contra el ruido, la cual reduce drásticamente las emisiones de ruido del equipo, al igual que los grupos abiertos existen modelos con potencia menor a 625KVA los cuales traen consigo el tanque de combustión en su base vienen con cabinado estándar. En algunos modelos se puede localizar el tanque dentro del cabinado.

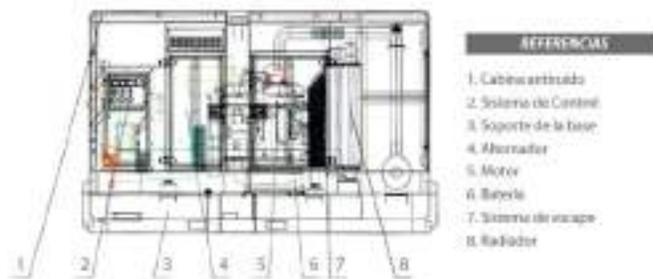


Figura 2.18: Grupo electrógeno cabinado.[8]

2.3.2. Partes de un grupo electrógeno

Motor

Según la diferencia del rango de poder, los grupos electrógenos adoptan marcas famosas de motores a nivel mundial, como Cummins, Perkins, FPT-Iveco, Doosan, Deuts y Volvo los cuales son potentes y de rendimientos confiables, baja emisión, bajo consumo de combustible y las características de mantenimiento fáciles.

Alternador

Los grupos electrógenos adoptan mundialmente alternadores famosos de auto-excitación así como las marcas de alternadores Lisite. Tienen un alto estado de equilibrio y rendimiento transitorio, menos distorsión de ondas, fuerte capacidad de sobrecarga, pequeño agravamiento de radio, operaciones estables, baja tasa de fracaso.

Control de sistema

Los grupos electrógenos adoptan un sistema de control de alto rendimiento, puede lograr el monitoreo de datos operativos más precisos, sistema de protección más segura y completa, es más razonable e interfaz de operación fácil de usar. También puede realizar el control remoto, control de la interfaz hombre máquina (HMI), puede ser combinado por los usuarios del sistema y realizar un control centralizado.

Estructura base y cabina del grupo electrógeno

Se enfocan en obtener productos de alto nivel para nuestros clientes, y se esfuerzan en diseñar cabinas insonoras de tamaños más razonables y lograr el mayor rendimiento. El buen diseño de cabina insonorizada en línea con tendencias internacionales, reflejando las características industriales. La estructura es simple y el desmontaje es fácil. La estructura base y cabina puede ser desmontado y enviado por partes individuales, para reducir costos de envío.

Dispositivos opcionales

- Dispositivos de calefacción los cuales son adecuados para trabajar en regiones de baja temperatura
- Puerto de expansión de retorno de combustible.
- Enchufes de salida de corriente alterna.
- ATS.
- Sistema paralelo multigrupo electrógeno.
- Comunicación Remota.
- Tanque y Bomba externa de combustible de gran capacidad.

2.4. Arranque de motores

2.4.1. Arranque Estrella-Delta

Todo motor con bobinado trifásico, se puede conectar en estrella (todos los finales conectados en un punto común, alimentando el sistema por los extremos libres). En la conexión estrella, la intensidad que tiene cada fase coincide con la intensidad de la línea, mientras que la tensión en cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la tensión de línea.

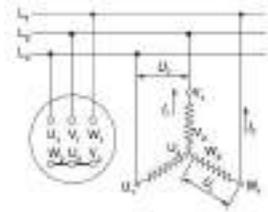


Figura 2.19: Conexión estrella.[3]

Al igual que la conexión estrella, los motores trifásicos también pueden ser conectados en delta o triángulo (conectan el final de cada fase al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión). En esta conexión la intensidad que recorre cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la intensidad de línea, mientras que la tensión a la que queda sometida cada fase coincide con la de la línea.

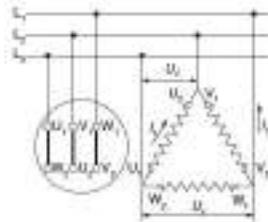


Figura 2.20: Conexión delta o triángulo.[3]

En estas condiciones, el motor se puede considerar como bitensión, ya que las tensiones normalizadas son de 230 o 400V. Si un motor está diseñado para aplicarle 230V a cada fase, lo podemos conectar a la red de 230V en delta y a la red de 400v en estrella. En una y otra conexión, permanecen invariables los parámetros de potencia, par motor y velocidad.

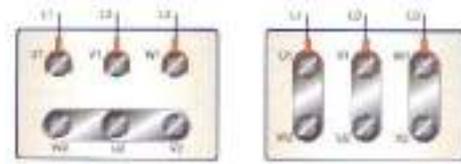


Figura 2.21: Conexión de bornes estrella-triángulo.[3]

2.4.2. Arranque directo

Un motor trifásico también puede ser conectado directamente a la red, al igual que los motores de rotor en cortocircuito. El arranque de un motor en esta conexión, acoplado directamente a la red presenta un momento de rotación de 1.8 a 2 veces la del régimen, pero la intensidad absorbida en el arranque toma valores de 5 a 7 veces la nominal.

La representación de las conexiones de estos motores, se observa a continuación:

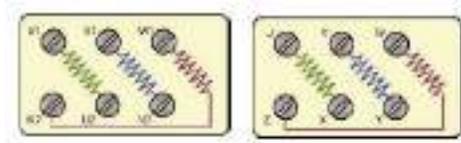


Figura 2.22: Conexión de bornes para arranque directo.[3]

La puesta en marcha se puede realizar de forma sencilla mediante un interruptor manual tripolar (véase la sección 2.1.1), estos interruptores deben de estar diseñados para soportar la intensidad del motor.

2.4.3. Relé de sobre carga térmico

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección del receptor (motor habitualmente) contra las sobrecargas. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo la intensidad permitida por este, evitando que el bobinado “se queme”. Esto ocurre gracias a que consta de tres láminas bimetálicas con sus correspondientes bobinas calefactoras que cuando son recorridas por una determinada intensidad, provocan el calentamiento del bimetálico y la apertura del relé.

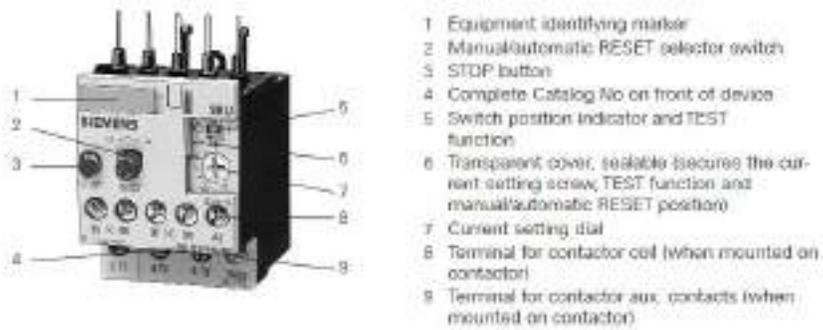


Figura 2.23: Relé Termico.[9]

Los relés de sobre carga térmico cuentan con un potenciómetro ver figura 2.23 índice 7, el cual regula la corriente de disparo. Para la selección de este componente en nuestros arranques es necesario tener en cuenta la corriente máxima de nuestro motor al arrancar y de estar forma seleccionar los rangos de corriente en nuestro relé térmico.

Capítulo 3

Mantenimiento

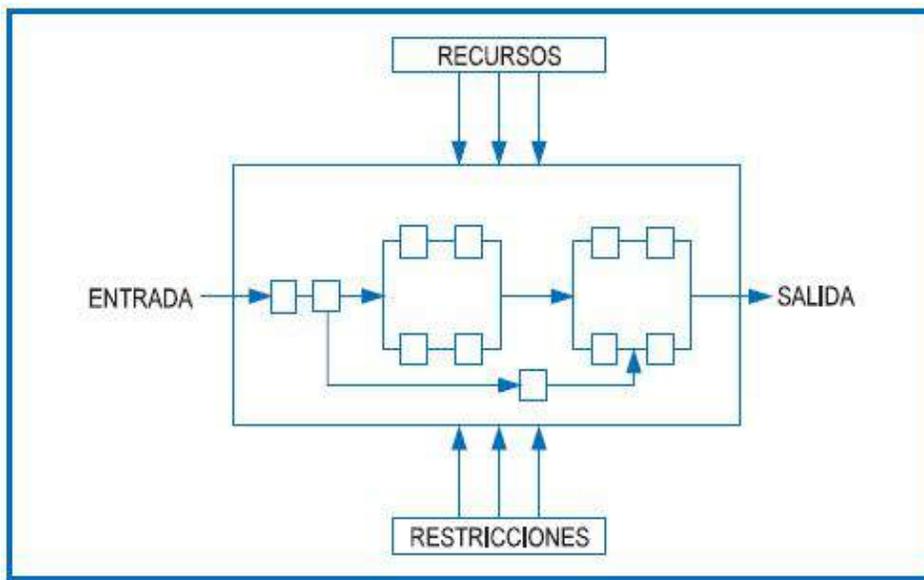


Figura 3.1: Proceso de mantenimiento.[7]

3.1. qué es mantenimiento?

El mantenimiento es definido comúnmente como el conjunto de técnicas destinada a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor

tiempo posible (buscar la más alta rentabilidad) y con el máximo rendimiento.

El mantenimiento ha pasado por un largo proceso industrial desde finales del siglo XIX el cual cuenta con diferentes etapas. A principios de la revolución industrial los operarios eran los encargados de reparar e inspeccionar las maquinas, a medida que los equipos se hacían más complejos las reparaciones aumentaban de este modo se empezaron a crear los primeros departamentos de mantenimiento en las empresas.

A inicios de la segunda guerra mundial empiezan a aparecer conceptos como el de fiabilidad en los departamentos de mantenimiento, con la integridad de este nuevo concepto ya no se buscaba solamente solucionar fallos si no también prevenirlos.

3.2. Proceso de mantenimiento

Todos los usuarios quisieran por razones obvias que los sistemas duren tanto tiempo como sea posible. Para lograr este objetivo es necesario ayudar al sistema a mantenerse en óptimas condiciones, realizando tareas apropiadas.

Existen multitud de sistemas creado por el hombre cuya funcionabilidad se conserva por el usuario a lo largo de la utilización, el proceso durante el que se mantiene la capacidad del sistema para realizar una función, es conocido como proceso de mantenimiento.

Si se analizan los objetivos durante un proceso de mantenimiento, es posible enumerarlos a si:

- Reducir el cambio de las condiciones, con esto se consigue un alargamiento de vida en el sistema. Ejemplos: lavado, limpieza, pintura ajustes, calibración, etc.
- Garantizar la fiabilidad y seguridad exigidas, esto reduce la presencia de fallos. Las actividades más comunes son: inspección, exámenes, detección y pruebas.

- Tasa óptima de consumo para elementos como lubricantes, neumáticos, combustible, etc.
- Verificar y recuperar la funcionalidad del sistema entre ellas se encuentran sustituciones, reparaciones, restauraciones, etc.

3.3. Tipos de mantenimiento

Se distinguen entre 5 tipos de mantenimiento, los cuales se diferencian por sus características:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento hard time o cero horas.
- Mantenimiento en uso.

Mantenimiento correctivo: se basa en prevenir los defectos que se van presentando en los distintos equipos, estos son comunicados por el operador al departamento de mantenimiento.

Mantenimiento preventivo: se encarga de mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, haciendo correcciones de sus puntos más vulnerables en el momento más oportuno.

Mantenimiento predictivo: es el tipo de mantenimiento más técnico, para ser aplicado se monitorean variables físicas del dispositivo a tratar ejemplo temperatura, vibración, consumo, etc.

Mantenimiento cero horas: es un conjunto de tareas el cual se encarga de revisar, prevenir y solucionar fallos antes de la puesta en marcha del sistema, estos mantenimientos o revisión consiste en dejar el equipo a cero horas, prácticamente nuevo.

Mantenimiento en uso: este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento productivo total) consiste en tareas elementales tales como toma de datos, inspecciones visuales, apriete de tornillos, etc. Lo cual no requiere parar la planta.

3.4. Lista de equipos

El primer inconveniente a la hora de intervenir en un mantenimiento es plantear o realizar un análisis de equipos para ello hacemos uso de una lista ordenada de los equipos que hay en la planta. Realizar un inventario de los activos dentro de una planta es algo complejo de realizar.

Una simple lista de todos los motores, bombas, sensores, etc., no es tan útil debido a que una lista de esta forma no es más que una lista de datos, no es informativa. Para tener una lista realmente útil, se debe expresar dicha lista en forma arbórea.

En una planta se pueden distinguir los siguientes niveles en una estructura arbórea:



Figura 3.2: Niveles de una estructura arbórea.[6]

Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de estas se divide en diferentes zonas o áreas de trabajo funcional. Estas

áreas pueden tener equipos iguales o una línea de productos iguales que se encarga de ejecutar una determinada función, estas se dividen en una serie de sistemas funcionales, que ocupan una misión dentro de él, los sistemas por ejemplo tienen ciertos elementos asociados (el motor de una bomba de lubricación será un elemento). Los componentes son la parte más pequeña de los elementos estos son los cambios más usuales en la reparación.

A continuación definiremos algunos términos asociados al área de mantenimiento:

Planta: Centro de trabajo.

Área: Zona de la planta que tienen una característica común.

Equipo: Cada uno de las unidades productivas que componen el área, estas constituyen un conjunto único.

Sistema: conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.

Elemento: cada una de las partes que integran un sistema Ej.: el dinamo que genera energía en un grupo electrógeno.

Componentes: partes que se sustituyen de un elemento Ej.: cables de distribución eléctrica de un tablero de control.

Ejemplo: A continuación se visualiza mediante una tabla la lista de equipos con los que cuenta la empresa de tratamiento de agua, asignado a la zona de bombeo y succión.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Área	Equipo	Sistema
Área de servicios generales	equipo contra incendios Red de agua contra incendios	Sistema de almacenamiento de agua sistema de bombeo tubería sistema de detección
Bombeo y succión	Electrobomba 1, 2, 3, 4 Tablero de control 1, 2	Sistema de bombeo y succión Sistema de lubricación Sistema de refrigeración Elementos estáticos Elementos de rotación Sistema de control
Respaldo energético	Tablero 3 Grupo electrógeno	Sistema de control Sistema de generación solar Sistema de generación eólica Sistema de generación por combustión

Cuadro 3.1: Listas de equipos zona de bombeo y succión.

3.5. Codificación de equipos

Una vez realizada la lista de equipos es importante identificar cada equipo con un código único, esto para facilitar la localización, referencia de órdenes de trabajo y planos para elaborar un registro histórico de fallos e intervenciones asociada a las maquinas codificadas.

En los sistemas de codificación tenemos dos tipos:

- Sistema de codificación no significativa: son sistemas que asignan un número o código a cada equipo, pero estos no proporcionan información adicional.
- Sistema de codificación significativa: a diferencia de los no significativos estos si, proporcionan información en su código.

Una de las principales ventajas que tiene la utilización de un sistema de codificación no significativa es que gracias a su simplicidad es muy fácil de aplicar, mientras que un sistema de codificación significativa aporta al usuario información importante del equipo requerido.

A continuación se plantea la información que debe de contener el código de un equipo:

- Planta a la que pertenece.
- Área al que pertenece dentro de la planta.
- Tipo de equipo.

De esta forma los elementos que forman parte de un equipo deben contener información adicional:

- Tipo de elemento.
- Equipo al que pertenecen.
- Dentro de ese equipo, sistema en el que se incluye.
- Familia a la que pertenece el elemento.

Como previamente se realizó una lista de equipos, se procede a realizar la codificación de estos mismos utilizando la información descrita anteriormente.

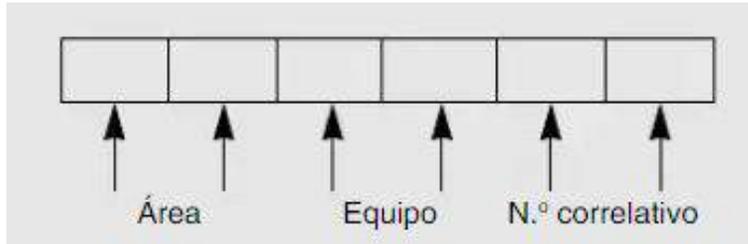


Figura 3.3: Distribución de códigos para equipos.[6]

Como se indica en la figura 3.3, el área de la planta en la cual se ubica el equipo estaría definido por dos caracteres numéricos, el tipo de equipo por dos caracteres alfanuméricos y el número correlativo por dos caracteres numéricos.

Código	Tipo de equipo	Código	Tipo de equipo
C0	Red de aire comprimido	F0	Red contra incendios
E0	Electrobomba	E1	Red eléctrica general
T0	Tablero de control	V0	Red de vacío
G5	Grupo electrógeno	T3	Turbina

Cuadro 3.2: Listas de equipos zona de bombeo y succión.

En la tabla 3.2 se muestran los códigos asignados para identificar algunos tipos de equipos.

3.6. Registro de la información

Toda información relacionada con el mantenimiento industrial se debe de archivar, para ayuda a mantenimientos futuros esto con el fin de tener un registro de las reparaciones echas anteriormente. Para sustentar esta información hacemos uso de algunos formatos como los siguientes:

Ficha de lubricación: como su nombre lo indica contiene información de las piezas de un equipo que requieran lubricación, tipo de lubricante, cantidad, calidad, etc.

Ficha histórica: en ella se plasma toda la información con respecto a reparaciones en cuanto a cantidad, duración, fechas de realización, referencias, modelos, etc.

Ficha programada: guarda información sobre inspecciones y reparaciones, incluyendo fecha de ejecución y personal asignados para la ejecución de diferentes trabajos.

Ficha de maquina: contienen información relevante netamente de la máquina, como voltajes de operación, serie, modelo y referencias del fabricante.

Ficha técnica: este tipo de ficha es algo especial, pues contienen información más relevante que las anteriores agrupando información tanto de la máquina y las reparaciones hechas, es un tipo de ficha más compleja.

Como ejemplo en la siguiente página se visualiza un formato de ficha técnica el cual se asigna a cada mantenimiento realizado dentro de la planta, en este se encuentran datos relevantes de cada equipo inspeccionado.

Logo empresa	FECHA:	PROYECTO:
FICHA TÉCNICA		
DATOS DEL TABLERO ELECTRICO		
PROYECTO:	HOJA:	
UBICACIÓN:	FECHA DE INSTALACION:	
TIPO DE MAQUINA:	TELEFONO:	
MARCA:	AÑO DE COMPRA:	
MODELO:		
PROVEEDOR:		
SISTEMA ELECTRICO INSTALADO		
ENTRADA	VOLTAJE:	
	AMPERAJE:	
SALIDA	VOLTAJE:	
	AMPERAJE:	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
CADA:	MESES	TIPO DE LUBRICANTE:
SISTEMA DE LIMPIEZA		
CADA:	MESES	LIMPIEZA CON AIRE COMPRIMIDO:
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
DESCRIPCIÓN:	FECHA:	
DESCRIPCIÓN:	FECHA:	
OBSERVACIONES:		

Figura 3.4: Formato de ficha técnica.

Capítulo 4

Optimización y reestructuración

En esta capítulo se presentan los fallos encontrados en los tableros de control asignados en las zonas de bombeo y succión de la planta de tratamiento de agua, también las optimizaciones hechas a los tableros existentes, se abarcaran temas de diagramación eléctrica, diseño y selección de componentes utilizados para suplir las necesidades en los sectores designados de la planta Aguas Rondón S.A.S

4.1. Zona centro de la PTAR

En esta zona nos encontramos con un sistema de succión mediante dos electrobombas trifásicas las cuales se encargan de trasportar las aguas residuales a una laguna de oxidación para ser procesadas. Es un control On-Off mediante un PLC Logo V8 el cual se encarga del vaciado de la recamara contenedora. Las dos electrobombas dispuestas en esta zona, cuentan con un sistema de arranque estrella-delta.

En estas instalaciones encontramos también un tablero de respaldo energético, el cual funciona de forma manual haciendo el cambio del fluido eléctrico convencional a un grupo electrógeno. Este respaldo de energía funciona para dos sectores de la planta, suple energía a toda el área administrativa y también a la zona centro de la PTAR.

Sistema de respaldo energético

Al analizar he inspeccionar las instalaciones del sistema de respaldo en la planta de tratamiento, Aguas Rondón S.A.S. Se encuentra con un grupo electrógeno de 35Kva, el sistema de generación pertenece a la marca meco alte spa tipo ECO 28-VL/4 y el sistema de combustión interna pertenece a la marca Perkins. Es un sistema de tipo abierto como el que se describe en la sección 2.3.1, en la figura 3.1 observamos el grupo electrógeno con el cual cuenta la empresa.



(a) Vista lateral

(b) Vista frontal

Figura 4.1: Grupo electrógeno PTAR

Análisis del sistema de respaldo energético

Al inspeccionar el grupo electrógeno encontramos que su generador y motor de combustión funcionan perfectamente, al igual que ciertos componentes integrados en el tablero de control los cuales están empotrados en la parte frontal, por requisitos de la empresa y cumpliendo la finalidad de este trabajo de grado se optimiza el tablero incluyendo las conexiones eléctricas para que todo funcione perfectamente.

Uno de los componentes esenciales en el funcionamiento del sistema es la tarjeta de control, la cual nos permite manejar diferentes modos para este caso. Manual y automático por deterioro y perturbaciones externas, esa placa en el tablero no existe, recolectando información con operarios de la planta se determinó cómo funcionaba dicha placa. Esta funcionaba accionando dos relés, los cuales tienen funciones independientes, uno para activar un solenoide ubicado en la bomba de combustible el cual permite

el paso de este a la bomba y el otro relé tiene la función de permitir el paso de corriente al arranque.

Manual

El modo manual funciona de la siguiente forma, cambiando un selector electrónico a la posición manual se acciona el relé de la bomba de combustible, después de cierto tiempo entraba en un ciclo de arranque el cual activa y desactiva el arranque del motor. Si el motor enciende automáticamente los ciclos de arranque se detienen y pasa a modo de funcionamiento. Si por el contrario al terminar el ciclo de dos arranques consecutivos y el motor no enciende este salta una alarma de “Fallo al arrancar” desactivando los relés a cada función.

Automático

Este modo funciona similar al manual se diferencia en que mientras el selector se encuentre en este modo el grupo electrógeno está a la espera de una señal externa para iniciar su ciclo de arranque, a diferencia del modo manual cada ciclo perteneciente a esta función solo dispara una vez el relé de arranque. Si el motor enciende, el sistema funciona hasta que la señal externa se desactive, así sucesivamente hasta que se cambie de modo.

4.2. Diseño electrónico

4.2.1. Análisis matemático BJT con Relé

Ley de voltaje de Kirchhoff I2

$$-(V+) + VL + VCE = 0$$

$$VCE = (V+) - VL \quad (4.1)$$

Ley de voltaje de Kirchhoff I1

$$-Vin + RB * IB + VBE = 0$$

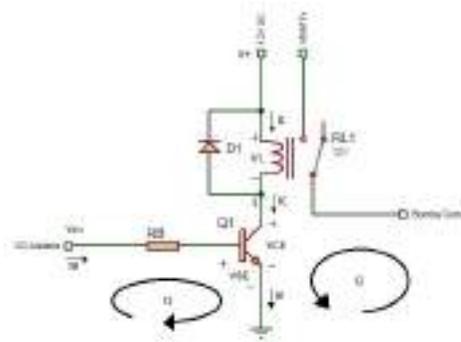


Figura 4.2: Diagrama eléctrico BJT-Relé.

$$I_B = \frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B} \quad (4.2)$$

Supongamos BJT saturado

$$V_{BE} = V_{BEon} \quad (4.3)$$

$$0V \leq V_{CE} \leq V_{CE}(sat) \quad (4.4)$$

$$\frac{I_C}{I_B} < \beta \quad (4.5)$$

$$I_B > 0A \quad (4.6)$$

$$I_C > 0A \quad (4.7)$$

$$I_E > 0A \quad (4.8)$$

Desarrollo del diseño

Previamente al desarrollo del diseño debemos conocer el voltaje nominal de nuestro relé (V_L) y la corriente del mismo (I_L). Nuestro relé cuenta con las siguientes características $V_L = 12V$, $I_L = 150mA$.

3.1 en 3.4

$$0V \leq (V+) - VL \leq VCE(sat)$$

$$0V \leq (V+) \leq VCE(sat) + VL \quad (4.9)$$

Si, $(V+) = VL$ forzamos el transistor a entrar en saturación.

3.2 en 3.6

$$\frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B} > 0A \quad (4.10)$$

3.3 en 3.10

$$\frac{V_{in} - V_{BEon}}{R_B} > 0A \quad (4.11)$$

$V_{in} - V_{BEon} > 0v$ y $V_{in} > V_{BEon}$, deben de cumplirse para que este conduzca.

Ley de corriente de kirchhoff 1

$$I_L = I_C \quad (4.12)$$

3.2 y 3.12 en 3.5

$$\frac{I_L}{\frac{V_{in} - V_{BE}}{R_B}} < \beta \quad (4.13)$$

3.3 en 3.13

$$\frac{I_L}{\frac{V_{in} - V_{BEon}}{R_B}} < \beta$$

$$I_L < \beta \left(\frac{V_{in} - V_{BEon}}{R_B} \right)$$

$$RB < \beta \left(\frac{V_{in} - V_{BEon}}{IL} \right)$$
$$0\Omega < RB < \beta \left(\frac{V_{in} - V_{BEon}}{IL} \right) \quad (4.14)$$

4.2.2. Selección de componentes

En esta sección describiremos el proceso de selección de los componentes que integran la tarjeta electrónica desarrollada. La cual será instalada en el grupo electrógeno para suplir la necesidad de arranque automático y manual.

Arduino Nano V3.0

Se selecciona esta tarjeta debido a su fácil acceso, montaje y programación, además que en las salidas de cada puerto este nos puede suministrar hasta 40mA esto es más que suficiente para activar el transistor asignado a la etapa de potencia, otra cualidad que nos entrega esta tarjeta son sus 13 pines digitales y 8 pines análogos, los cuales pueden ser usados como entrada y salida, como es un proceso poco complejo este requerimiento encaja perfectamente para la aplicación designada.

LM7805-12

Se escoge esta referencia de reguladores de voltaje para adaptar los voltajes de la placa, además que son de fácil conexión, son capaces de suministrar a su salida hasta 1.5Amp, su Datasheet nos regala la configuración de capacitores para generar un buen filtro a la salida del regulador. Todo lo descrito anteriormente es más que suficiente para alimentar toda la lógica programada en la tarjeta.

Transistor 2N2222A

Este transistor se escoge debido a los requerimientos del relé implementado para la activación de la bomba de combustible y el arranque, la corriente máxima que va transitar por dicho relé no supera los 500mA, para no sobrecargar las I/O de la tarjeta arduino hacemos uso de un transistor, pero la

selección de este transistor debe ser suficiente para suministrar una ganancia de corriente superior a la requerida por el relé, además que la corriente soportada por este transistor ICE esta sobre pasada a la requerida por el relé.

Para no sobrecargar los pines de nuestra tarjeta arduino se hizo un cálculo previo para R_B , utilizando la ecuación 3.14 de la sección 3.1.3 determinamos R_B de la siguiente forma.

El valor de beta lo proporciona el Datasheet, por lo general los fabricantes nos dan un rango, en este caso trabajaremos con el beta mínimo para mayor seguridad en nuestro diseño, $\beta = 50$, el valor de V_{in} es el voltaje en alto que suministra el pin de la tarjeta arduino $V_{in} = 5V$, el V_{BEon} para los transistores BJT es $V_{BEon} = 0,7V$ y la corriente I_L fue medida mediante un multímetro al accionarse la bobina del relé $I_L = 150mA$. Teniendo estos datos procedemos a calcular R_B .

$$0\Omega < R_B < 50\left(\frac{5V - 0,7V}{150mA}\right)$$

$$0\Omega < R_B < 1433,333\Omega$$

$$R_B \approx 1,5k\Omega$$

Como el relé usado para accionar la bomba de combustible es igual al que se usa para accionar el arranque, la resistencia R_B es la misma para ambos transistores asociados a cada relé.



(a) Transistor en corte

(b) Transistor en saturación

Figura 4.3: Prueba de saturación con R_B

En la Figura 4.3 podemos ver dos escenarios en los cuales se mide el VCE cuando el pin del arduino se encuentra desactivado y activado.

En 4.3a se observa un $VCE = 12,19V$ esto hace referencia a que el transistor no se encuentra saturado, con esto se da entender que el voltaje perteneciente al pin del arduino es cero $V_{in} = 0v$. En 4.3b se observa un $VCE = 0,13V$ esto quiere decir que el pin del arduino $V_{in} = 5v$ se encuentra activo y nuestro transistor se encuentra saturado cumpliendo la condición $0V \leq VCE \leq 0,3V$, esta condición se describe en la ecuación 3.4 de la sección 3.1.3. el valor de $VCE_{sat} = 0,3V$ es tomado del datasheet.

4.2.3. Diseño CAD PCB

Para la realización de nuestra tarjeta PCB hicimos uso del software Eagle perteneciente a Autodesk utilizando una licencia estudiantil en el desarrollo. Se escoge este software por la inmensidad de librerías, facilidad de uso, entorno cómodo para trabajar y fácil exportación de sus archivos gerber.

Tarjeta

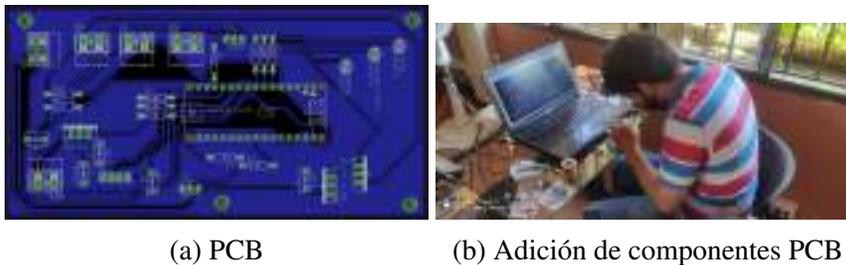


Figura 4.4: Ensamble PCB

En la figura 3.4-a se muestra el diseño final de nuestra tarjeta, la cual es mostrada por el software Eagle, los componentes principales fueron descritos en la sección 3.2.2, la mayoría de resistencias en la tarjeta son para la lectura de los pines digitales, las cuales se encuentran en Pull Up y Pull Down, luz piloto para visualización de errores y modo de arranque, capacitores en la entrada y salida de los reguladores para un buen filtrado de los voltajes y bornes de conexión.

4.2.4. Código de programación

El código implementado en la tarjeta arduino se divide en dos void setup y void loop, antes del void setup declaramos nuestras variables y les asignamos a cada una su respectivo pin del arduino, luego en el void setup pasamos a designar que pines o variables serán de entrada y salida. En el void loop se encuentra toda nuestra lógica programada para cumplir los requerimientos de encendido automático y manual. A continuación se muestra el código cargado en la tarjeta.

```
const int Oilp = 12;
const int Cool = 11;
const int Fuel = 10;
const int Start = A4;
const int Auto = 9;
const int Man = 8;
const int Ind = 6;
const int LedR = 5;
const int LedF = 4;
const int LedOn = 3;
const int StartA = 2;
const int led = 13;
int cont = 0;
void setup()
{
  pinMode(Oilp, INPUT);
  pinMode(Cool, INPUT);
  pinMode(Fuel, OUTPUT);
  pinMode(Start, OUTPUT);
  pinMode(Auto, INPUT);
  pinMode(Man, INPUT);
  pinMode(Ind, INPUT);
  pinMode(LedR, OUTPUT);
  pinMode(LedF, OUTPUT);
  pinMode(LedOn, OUTPUT);
  pinMode(StartA, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
}
```

```
void loop()
{
  if(digitalRead(Man) == 1)
  {
    digitalWrite(LedOn, HIGH);
    digitalWrite(Fuel, HIGH);
    // Ciclo de arranque
    delay(5000);
    analogWrite(Start, 255);
    delay(3000);
    analogWrite(Start, 0);
    cont = cont+1;
    if(cont == 2)
    {
      while(true)
      {
        digitalWrite(led, HIGH);
        digitalWrite(LedF, HIGH);
        digitalWrite(Fuel, LOW);
        analogWrite(Start, 0);
      }
    }
    if(digitalRead(Ind) == 1)
    {
      while(true)
      {
        digitalWrite(Fuel, HIGH);
        analogWrite(Start, 0);
        digitalWrite(LedR, HIGH);
        if(digitalRead(Man) == 0)
        {
          digitalWrite(LedR, LOW);
          digitalWrite(Fuel, LOW);
          break;
        }
      }
    }
  }
}
```

```
if(digitalRead(Auto) == 1)
{
    digitalWrite(LedOn, HIGH);
    digitalWrite(Fuel, HIGH);
    if(digitalRead(StartA) == 1)
    {
        // Ciclo de arranque
        delay(5000);
        analogWrite(Start, 255);
        delay(3000);
        analogWrite(Start, 0);
        cont = cont+1;
        if(cont == 2)
        {
            while(true)
            {
                digitalWrite(LedF, HIGH);
                digitalWrite(Fuel, LOW);
                analogWrite(Start, 0);
            }
        }
        if(digitalRead(Ind) == 1)
        {
            while(true)
            {
                digitalWrite(Fuel, HIGH);
                analogWrite(Start, 0);
                digitalWrite(LedR, HIGH);
                if(digitalRead(StartA) == 0)
                {
                    digitalWrite(Fuel, LOW);
                    digitalWrite(LedR, LOW);
                    cont = 0;
                    delay(13000);
                    break;
                }
            }
        }
    }
}
```

```
    }  
  }  
  else  
  {  
    digitalWrite(LedOn, LOW);  
    digitalWrite(Fuel, LOW);  
    digitalWrite(Start, LOW);  
  }  
}
```

4.3. Tablero de transferencia

A si como la empresa contaba con un grupo electrógeno para suplir las necesidades por falta de energía, también tenían disponible un tablero de transferencia automática este al igual que el grupo electrógeno se encuentra sin utilidad pues no se le hace mantenimiento desde que se instaló alrededor del 2006 según información del operario a cargo. Al ver el tablero he indagar con el operario este decía que el tablero se encontraba casi completo, se realizaron pruebas a los componentes que a simple vista se podían identificar como el PLC, Contactores, Relé de falta de fase, Luz piloto, selector, Breacker y Disyuntor, para identificar cuál de estos componentes se encontraba fuera de servicio.



(a) Tablero interno

(b) Tablero externo

Figura 4.5: Tablero de transferencia automatica

A excepción de las luces pilotos y selectores, todos los componentes descritos anteriormente se encontraban en buen estado, pero no cumplían con el funcionamiento adecuado. Optamos por reestructurar y programar el PLC haciendo un nuevo esquemático eléctrico en el tablero y cumplir con los requisitos por parte de la empresa, además las instalaciones eléctricas con respecto a cableado en el tablero se encontraban deterioradas.

En la figura 3.5-a se observa la parte interior del tablero, y en la figura 3.5-b la parte externa. Antes de empezar a desmontar todo el gabinete hacemos una identificación de las líneas y neutro pertenecientes a la red eléctrica comercial y al grupo electrógeno, esto con el fin de prevenir riesgos laborales al manipular el tablero.

4.3.1. Diagramación eléctrica

Para reestructurar el tablero, hacemos uso de herramientas computacionales para simular y crear los diseños de lógica cableada asignada al tablero, estos diseños eléctricos también sirven de soporte técnico, pues son agregados al tablero.

La diagramación eléctrica se divide en dos, un esquemático de carga y otro de mando, el diagrama de mando es muy sencillo pues se involucran componentes muy comunes en la automatización en este caso los contactores, uno asignado al grupo electrógeno y el otro a la red eléctrica. A la red trifásica de cada circuito se le conecta un disyuntor independiente para dar el paso de energía a los contactores cuando estos se activen. En la parte superior del contactor de la red trifásica comercial se encuentra conectado nuestro relé de falta de fase para monitorear la falta de energía, Aclaremos que en el diagrama se muestra un transformador y unos fusibles estos hacen referencia a la red de alta tensión 13.2KV/AC, el transformador da paso de 110V/AC por fase. Todo lo descrito anterior se puede observar en la figura 3.6.

En el diagrama de mando se encuentra toda la lógica cableada asociada a los modos de función del tablero en este caso, manual y automático. Además las conexiones echas en el PLC de las entradas y salidas. Ver figura 3.7.

Obs. Para que el sistema funcione perfectamente la fuente que alimenta el PLC y los relés de mando debe tener un respaldo energético por lo menos de unos 10 minutos. Para la selección de la fuente DC medimos el consumo total del tablero.

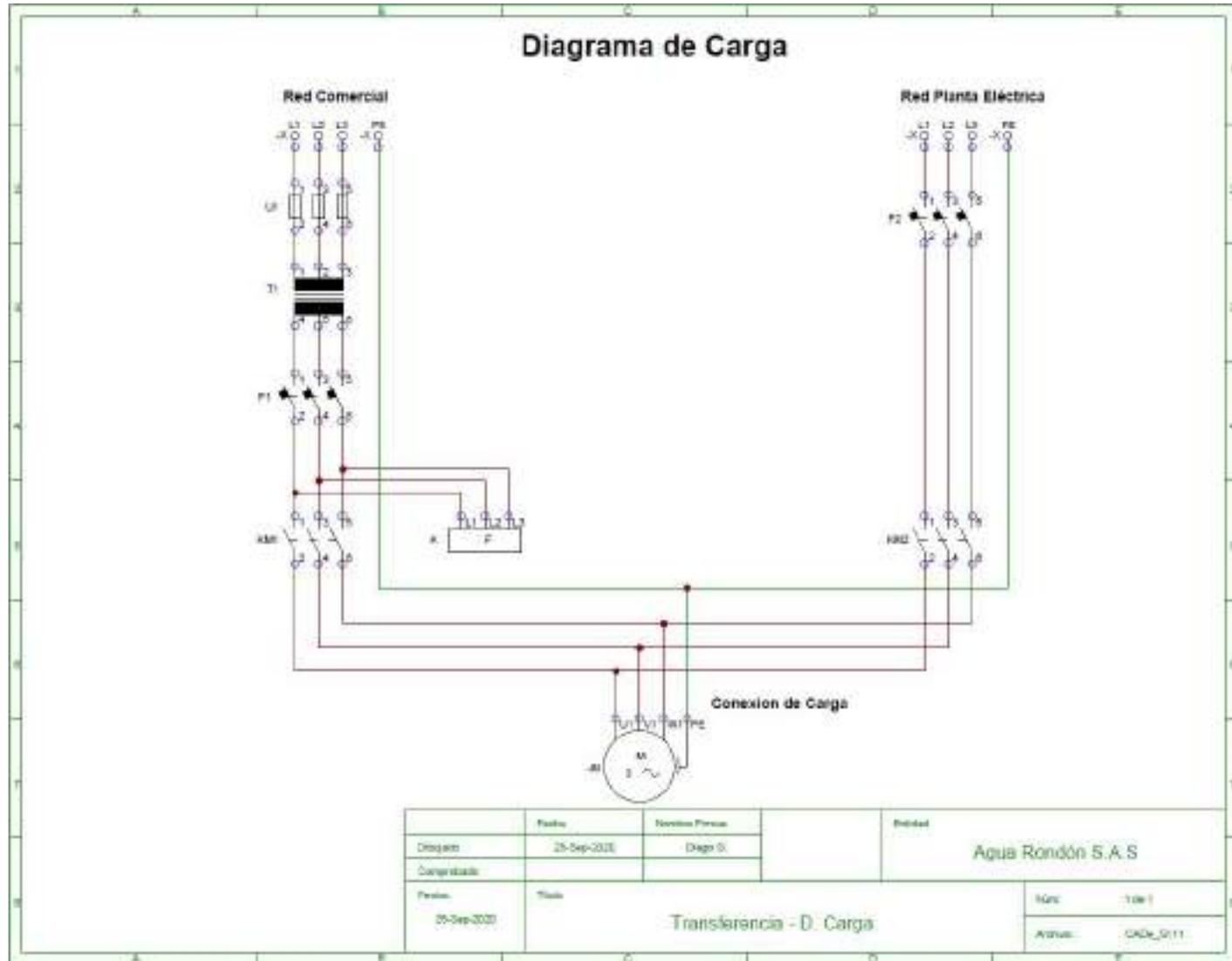


Figura 4.6: Diagrama de carga

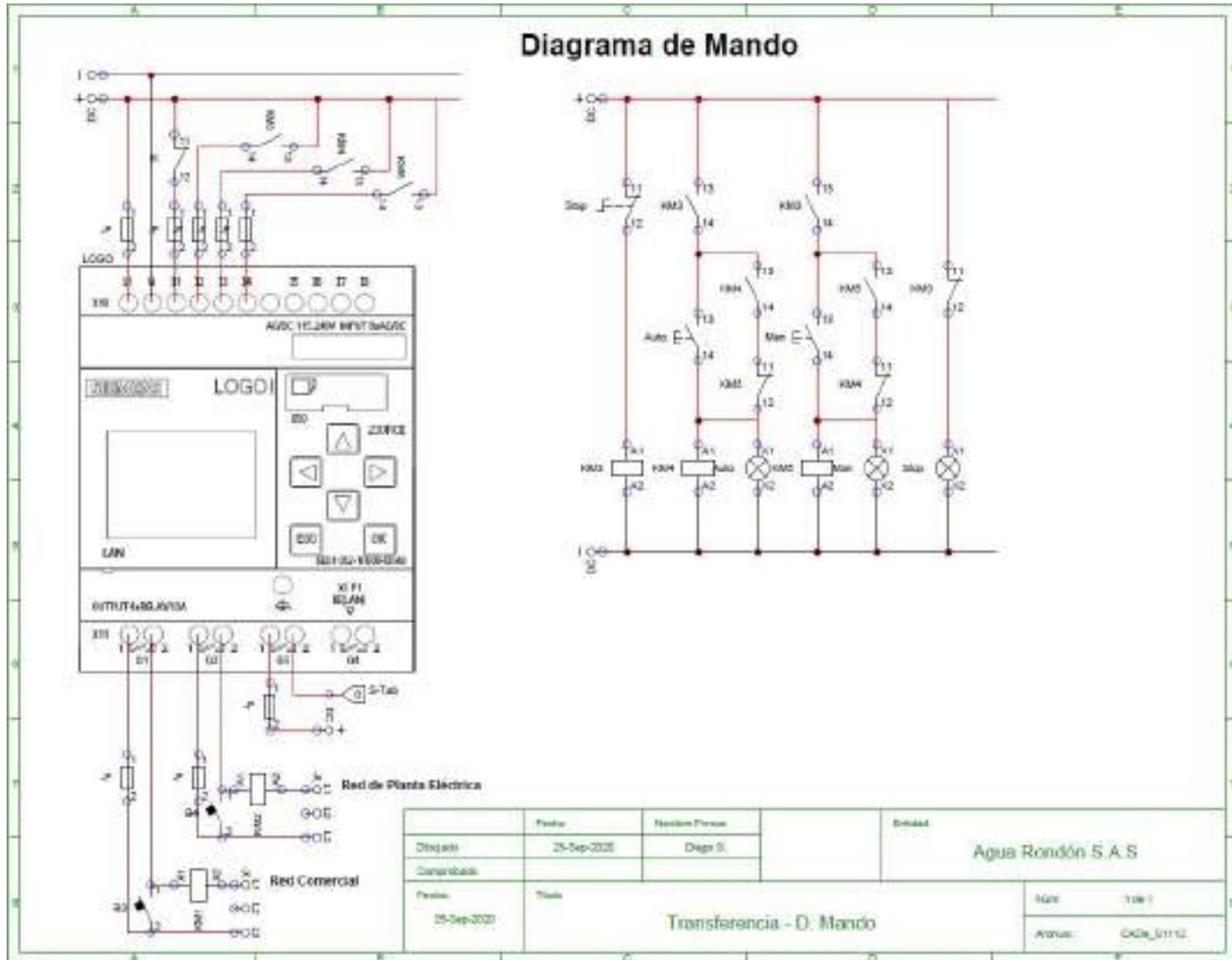


Figura 4.7: Diagrama de mando

esto indica que no hay fluido eléctrico en la red convencional, los bloques temporizados se encargan de activar las salidas Q3 Y Q2. Donde Q3 es la señal de arranque en el grupo electrógeno y Q2 es la señal para activar el contactor que da paso al fluido eléctrico del grupo electrógeno. Si retorna el fluido eléctrico en la red convencional inmediatamente se salta el contactor apagando el grupo electrógeno y luego de un tiempo activando el contactor de la red convencional, este proceso se repite siempre y cuando el pulsador de automático este activo, si por contrario se encuentra en modo manual (I4) activo el programa activa la salida Q4 para manipular mediante un selector los contactos de carga asociados a la red eléctrica y el grupo electrógeno a conveniencia.

4.4. Zona suroeste de la PTAR

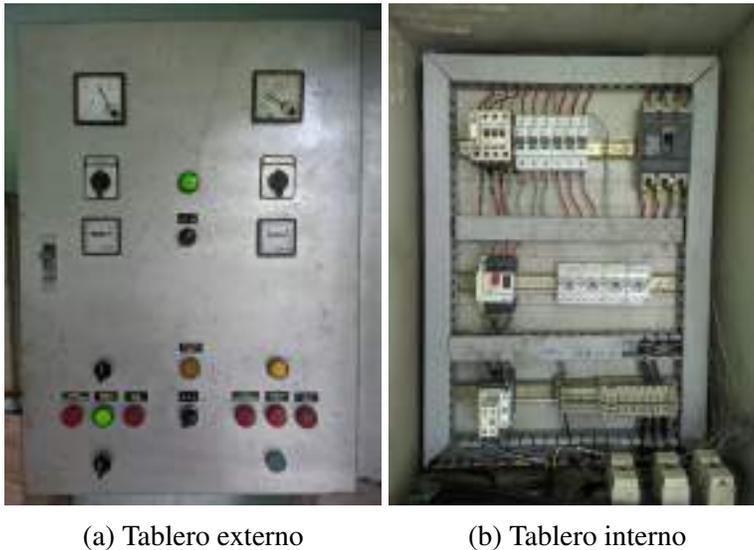


Figura 4.9: Tablero de control asignado a la estación de bombeo y succión zona suroeste.

En esta subestación de servicios de la PTAR se encuentra una estación de bombeo y succión de aguas residuales ubicada en la zona sureste del municipio, esta estación cuenta con una recámara contenedora la cual al estar llena, una electrobomba succiona el fluido y lo transporta a la estación central de la PTAR todo es transportado mediante tubería bajo tierra. El

accionamiento de esta electrobomba se hace mediante un control on-off con arranque directo de la electrobomba.

La empresa contaba con un gabinete, la mayoría de instrumentación asignada a los diagramas de mando se reutilizó por decisión de la empresa y se procede a la optimización del tablero, en la figura 3.9-a se observan luz pilotos, selectores, amperímetro y voltímetro. Como se observa en la misma figura 3.9-a este tablero originalmente funcionaba para un sistema de dos bombas, al estar sobredimensionado para su aplicación la empresa decide dejar en funcionamiento solo una.



Figura 4.10: Reemplazo relé térmico.

El principal inconveniente en esta estación es la selección de componentes en el circuito de carga, pues tenían el problema de que las electrobombas se fundían al trabajar mal, al tener contacto con el gabinete en su parte interna figura 3.9-b se observa que el térmico que utilizaban estaba sobredimensionado para saltar en dado caso de que la electrobomba fallara por motivos externos.

El relé que se cambio fue un Sirius 3RU1136-4FB0 de Siemens el cual

cuenta con un rango de corriente mínima de 28 Amp y máxima de 40 Amp. Este se reemplazó por un GV2ME1-6 de Schneider electric el cual tiene un rango de corriente mínimo de 9 Amp y máximo de 14 Amp, este cambio se hace debido a la sobre dimensión de corriente de nuestro relé térmico pues la electrobomba asignada a esta estación tiene una corriente máxima de 12.1 Amp ver figura 3.11.



Figura 4.11: Características de la electrobomba.

en la figura 3.11 observamos las características eléctricas y mecánicas de nuestra electrobomba instalada en la estación de bombeo, estas características son las mismas para la instalada en la zona noreste.

4.4.1. Diagrama eléctrico

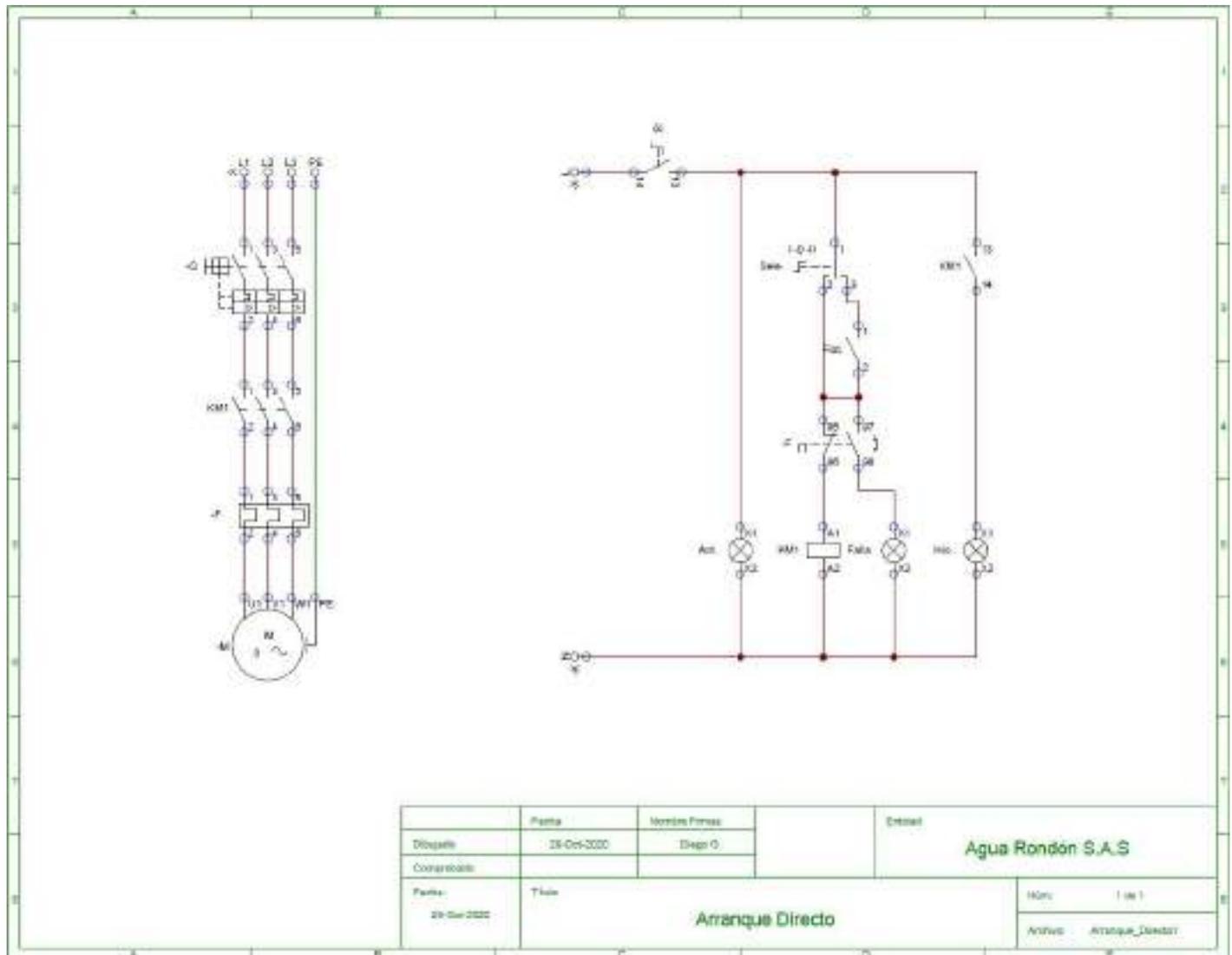


Figura 4.12: Diagrama eléctrico arranque directo.

4.5. Zona noreste de la PTAR



Figura 4.13: Tablero de control asignado a la estación de bombeo y succión zona noreste.

Esta subestación de la PTAR cuenta con una estación de succión y bombeo igual a la estación de la zona suroeste, solo hay pequeños cambios en su gabinete debido a que contiene menos elementos de mando, el arranque de dicha electrobomba también es directo, cabe resaltar que la estación también contaba con dos electrobombas. El sistema de bombeo se conecta mediante tubería subterránea pero va directo al punto final del proceso de aguas residuales esto quiere decir que ya no conecta con la zona central.

La optimización echa en este tablero de control fue la misma hecha en la zona suroeste, un sobredimensionamiento del relé térmico, el relé térmico que se cambio fue un Sirius 3RU1136-4FB0 de Siemens. Este se reemplazó por un GV2ME1-6 de Schneider electric con características similares a las descritas en la sección 3.4 pues la electrobomba implementada en esta estación es la misma de la estación suroeste ver figura 3.11.

4.5.1. Diagrama eléctrico

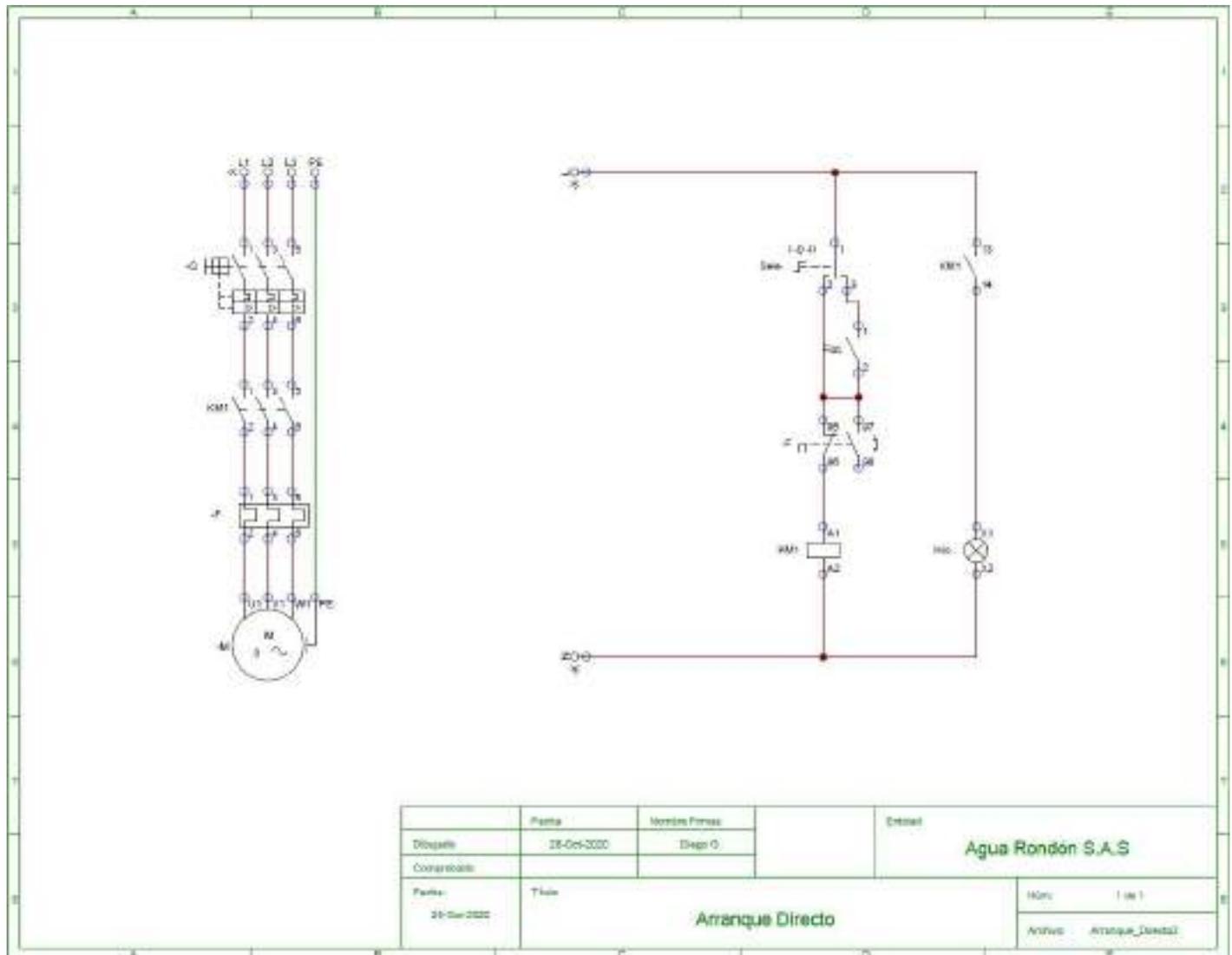


Figura 4.14: Diagrama eléctrico arranque directo.

Capítulo 5

Análisis de resultados

En esta sección se exponen los resultados obtenidos gracias a la reestructuración y optimización de los tableros de control asignados a la zona de bombeo y succión en la planta de tratamiento de aguas Rondón S.A.S.

5.1. Sistema de arranque directo, zona suroeste y noreste de la PTAR

La intervención en estos tableros de control fue garantizar la seguridad y vida útil de las electrobombas que por atascamiento en los orificios de succión y falta de fase en la red eléctrica comercial, tendían a sobrecalentar los bobinados de estas máquinas lo cual ocasionaba la pérdida total de estos fundiendo su bobinado.

Haciendo el cambio de un relé térmico el cual contaba con características de disparo superiores a la requerida por la electrobomba, se logra solucionar dicho fallo en los sistemas de arranque directos de ambas estaciones, como cada tablero contaba con instrumentos de mando empotrados en los gabinetes son reutilizados para suplir la necesidad del diagrama de mando asignado a los arranques de las electrobombas de esta forma lograr los cambios de automático y manual con señalización del proceso asignado.

Como estos tableros no contaban con diagramas de conexión, se diseña todo el esquema de carga y mando en cada tablero, ya que estos antes de la intervención no estaban funcionando. Estos diagramas se adjuntan al

costado de la tapa frontal de cada gabinete para dar un soporte técnico a mantenimientos futuros, los cuales serán interpretados por personal capacitado.

La optimización de estos tableros se realizó el 24/10/2020. Los resultados obtenidos en la actualidad en los sistemas de protección instalados han respondido de manera óptima a las necesidades de la empresa, la implementación de los instrumentos de mando han hecho que los operarios cuenten con mayor facilidad en la manipulación del sistema junto con las alarmas de señalización en cada tablero. De esta forma logramos cumplir gran parte de los objetivos planteados en el capítulo 1 sección 1.4 y 1.5.

Haciendo uso del capítulo 4 se crea una ficha técnica la cual está asignada a cada tablero o máquina optimizada, en este caso veremos dos fichas técnicas de características similares pues son tableros de arranque directo ubicados en diferentes zonas. En estas se describen las intervenciones que se realizaron y características de cada tablero con el fin de brindar información relevante para los operarios y futuros mantenimientos.

	FECHA: 24/10/2020	PROYECTO: Arranque directo
	FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL TABLERO ELECTRICO		
PROYECTO: Arranque directo	HOJA: 1	
UBICACIÓN: Zona noreste PTAR	FECHA DE INSTALACION: 24/10/2020	
TIPO DE MAQUINA: Tablero de control	TELEFONO: 3202084168	
MARCA: Genérico	AÑO DE COMPRA: 12/06/2006	
MODELO: 02T002		
PROVEEDOR: Schneider electric, Siemens		
SISTEMA ELECTRICO INSTALADO		
ENTRADA	VOLTAJE: 380V AC	
	AMPERAJE: 9.8 Amp por fase	
SALIDA	VOLTAJE: 380V AC	
	AMPERAJE: 9.6 Amp por fase	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
CADA: MESES	TIPO DE LUBRICANTE:	
SISTEMA DE LIMPIEZA		
CADA: 3 MESES	LIMPIEZA CON AIRE COMPRIMIDO: Si	
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
DESCRIPCIÓN: Limpieza, organización y ajuste de todos los terminales dentro del gabinete.	FECHA: 25/10/2020	
DESCRIPCIÓN: Cambio de relé térmico, adecuado para la protección de la electrobomba	FECHA: 24/10/2020	
OBSERVACIONES: Ante cualquier inconveniente abrir el circuito del tablero para poder operar, reajustar las conexiones y hacer un test de prueba manual, en caso de no encontrar el fallo comunicarse con personal capacitado.		

Figura 5.1: Ficha técnica arranque directo zona noreste.

	FECHA: 24/10/2020	PROYECTO: Arranque directo
	FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL TABLERO ELECTRICO		
PROYECTO: Arranque directo	HOJA: 1	
UBICACIÓN: Zona suroeste PTAR	FECHA DE INSTALACION: 24/10/2020	
TIPO DE MAQUINA: Tablero de control	TELEFONO: 3202084168	
MARCA: Genérico	AÑO DE COMPRA: 12/06/2006	
MODELO: 02T001		
PROVEEDOR: Schneider electric, Siemens		
SISTEMA ELECTRICO INSTALADO		
ENTRADA	VOLTAJE: 380V AC	
	AMPERAJE: 8.3 Amp por fase	
SALIDA	VOLTAJE: 380V AC	
	AMPERAJE: 8.0 Amp por fase	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
CADA:	MESES	TIPO DE LUBRICANTE:
SISTEMA DE LIMPIEZA		
CADA:	3 MESES	LIMPIEZA CON AIRE COMPRIMIDO: SI
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
DESCRIPCIÓN: Limpieza, organización y ajuste de todos los terminales dentro del gabinete.	FECHA: 23/10/2020	
DESCRIPCIÓN: Cambio de relé térmico, adecuado para la protección de la electrobomba	FECHA: 24/10/2020	
OBSERVACIONES: Ante cualquier inconveniente abrir el circuito del tablero para poder operar, reajustar las conexiones y hacer un test de prueba manual, en caso de no encontrar el fallo comunicarse con personal capacitado.		

Figura 5.2: Ficha técnica arranque directo zona suroeste.

5.2. Grupo electrógeno



(a) Grupo electrógeno.

(b) Tarjeta electrónica.

Figura 5.3: Mantenimiento Grupo electrógeno

La optimización realizada en este equipo era necesaria para cumplir los requerimientos de la empresa, pues si este dispositivo se encontraba fuera de servicio la transferencia automática no tendría un buen desempeño.

Como se describe en el capítulo 4 sección 4.1 se diseñó la tarjeta electrónica, la cual cumple la función de encendido manual y automático a distancia, de este modo se puede hacer la integración completa de la transferencia automática, generando la señal desde el tablero para que el grupo electrógeno arranque.

Los resultados obtenidos son satisfactorios, logrando la integración del grupo electrógeno en el respaldo de energía requerido por la PTAR a la falta de fluido eléctrico, además de esto se organizó el cableado y terminales de conexión para que el tablero indicador propio del grupo electrógeno funcionara en su totalidad.

A continuación se muestra la ficha técnica asociada al grupo electrógeno.

	FECHA: 10/10/2020	PROYECTO: Grupo electrógeno
	FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL TABLERO ELECTRICO		
PROYECTO: Grupo electrógeno	HOJA: 1	
LUBICACION: Zona centro PTAR	FECHA DE INSTALACION: 10/10/2020	
TIPO DE MAQUINA: Grupo electrógeno	TELEFONO: 3202084168	
MARCA: Perkins, Meco alte spa	AÑO DE COMPRA: 12/06/2006	
MODELO: 03G511		
PROVEEDOR: Puma		
SISTEMA ELECTRICO INSTALADO		
ENTRADA	VOLTAJE:	
	AMPERAJE:	
SALIDA	VOLTAJE: 127/220/354/440 V AC	
	AMPERAJE: 164/94.5/81.8/47.2 Amp	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
CADA: 5 MESES	TIPO DE LUBRICANTE: 15W-40	
SISTEMA DE LIMPIEZA		
CADA: 3 MESES	LIMPIEZA CON AIRE COMPRIMIDO: Si	
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
DESCRIPCIÓN:	FECHA:	
DESCRIPCIÓN: Diseño y montaje del encendido automático/distancia de la tarjeta electrónica.	FECHA: 10/10/2020	
OBSERVACIONES: Para revisiones por favor verificar que los indicadores Led funcionen correctamente, encender el sistema manualmente y observa el voltaje generado. Si los problemas persisten ponerse en contacto con soporte especializado.		

Figura 5.4: Ficha técnica grupo electrógeno.

5.3. Transferencia automática

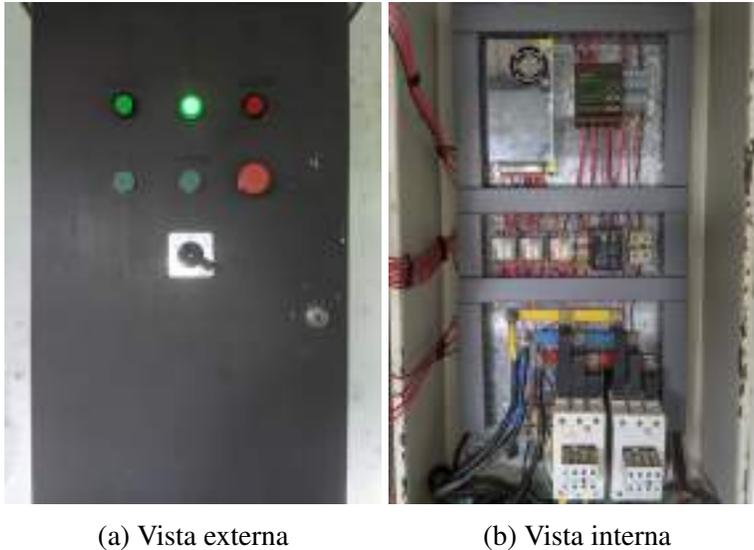


Figura 5.5: Tablero de trasferencia automática

El tablero de control de la trasferencia automática se reestructuro totalmente debido a que no se contaba con la mayoría de materiales para organizar la lógica cableada de los esquemas descritos en el capítulo 3 sección 3.3, esta reestructuración suple la necesidad de energía cuando la red convencional falla.

La instalación y puesta en marcha de este tablero de control tomo alrededor de un mes, todo el gabinete se desmonto totalmente y se procede a la montura de los nuevos componentes. Entre los cuales entran relés, contactores, relé de falta de fase, selectores, luz piloto, y pulsadores.

La puesta en marcha de este gabinete se efectuó 15/10/2020. Para el operario asignado a esta zona se redujo mucho trabajo debido a que no tiene que estar pendiente de encender los equipos manualmente en caso de faltar el fluido eléctrico. Logrando así resultados positivos en la instalación, reestructuración y puesta en marcha de la trasferencia automática.

En la figura 4.1 se observan los cambios hechos al tablero de control, en su

parte interna y externa para una noción de los cambios podemos comparar las imágenes en la figura 4.1 con las vistas en la sección 3.4 del capítulo 3.

Para un buen registro de la información de los acontecimientos hechos en el tablero de la transferencia automática hacemos uso de lo descrito en el capítulo 5 mediante una ficha técnica mostrada en la figura 5.6.

	FECHA: 15/10/2020	PROYECTO: Traslencia automática
	FICHA TÉCNICA	
DATOS DEL TABLERO ELECTRICO		
PROYECTO: Traslencia automática	HOJA: 1	
UBICACIÓN: Zona centro PTAR	FECHA DE INSTALACION: 15/10/2020	
TIPO DE MAQUINA: Tablero de control	TELEFONO: 3202084168	
MARCA: Genérico	AÑO DE COMPRA: 12/06/2006	
MODELO: 03T011		
PROVEEDOR: Schneider electric, Siemens, EBCHQ.		
SISTEMA ELECTRICO INSTALADO		
ENTRADA	VOLTAJE: 380V AC	
	AMPERAJE: 20 Amp por fase	
SALIDA	VOLTAJE: 380V AC	
	AMPERAJE: 19.5 Amp por fase	
SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
CADA:	MESES	TIPO DE LUBRICANTE:
SISTEMA DE LIMPIEZA		
CADA:	3 MESES	LIMPIEZA CON AIRE COMPRIMIDO: SI
SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
DESCRIPCIÓN: Limpieza, organización y desmonte total del gabinete antiguo.	FECHA: 13/10/2020	
DESCRIPCIÓN: Montaje total de la traslencia automática y todos los componentes que la componen, tanto de mando como de carga.	FECHA: 15/10/2020	
OBSERVACIONES: Ante cualquier inconveniente abrir el circuito del tablero para poder operar, reajustar las conexiones y hacer un test de prueba manual, en caso de no encontrar el fallo comunicarse con personal capacitado.		

Figura 5.6: Ficha técnica traslencia automática.

5.4. Conclusiones

- Se concluye que para el buen funcionamiento de las electrobombas y los sistemas de protección debemos tener en cuenta la corriente máxima de trabajo de estas electrobombas con el fin de no sobredimensionar los dispositivos y hacer que cumplan su función.
- Según los resultados obtenidos en la optimización de los tableros de control asignados en la zona de bombeo y succión se concluye que los mantenimientos son indispensables para el buen funcionamiento de cada estación, esto reduce costos y optimiza los procesos.
- Con la información anteriormente dada se concluye que al utilizar dispositivos de mando y visualización en los tableros de control, hace que el operario tenga una visión clara del proceso y saber proceder ante cualquier eventualidad.
- Los tableros de control son la unidad central de cada proceso, por ello es indispensable que cada uno funcione óptimamente basándonos en lo anterior se llega a la conclusión de que cada tablero debe ser sometido a mantenimiento por lo menos tres veces al año esto con el fin de evitar fallas mayores.
- La decadencia del fluido eléctrico es uno de los principales inconvenientes en este sector, por tanto se concluye que hacer la intervención en el tablero de transferencia automática es una gran mejora para todos los equipos dando mayor utilidad al proceso.
- Para la programación del PLC Logo v8 se concluye que utilizar Logo Soft Confort nos permite simular y encontrar errores antes de cargar nuestro código, esto agiliza el proceso de optimización de la transferencia, disminuyendo tiempo a diferencia donde se fuera programado mediante la pantalla integrada en dicho PLC.
- Se concluye que implementar las fichas de soporte técnico en las reparaciones son de gran ayuda para mantenimientos futuros, pues estas aportan información importante de reparaciones previas y también datos importantes de la maquina o tablero asignado.

Anexos

Anexos A

Imágenes realización del tablero



Figura A.1: Test del tablero de control



Figura A.2: Montaje electrobomba



Figura A.3: Cableado del diagrama de mando



Figura A.4: Montaje de los componentes en el tablero de control



Figura A.5: Fijando la fuente y PLC



Figura A.6: Programación PLC



Figura A.7: Marquillas tarjeta electrónica



Figura A.8: Relé falta de fase

Bibliografía

- [1] Rockwell Automation. *Relay and Timer Specifications*. Allen Bradley, June 2020.
- [2] Schneider Electric. *Telemecanique*. Schneider Electric S.A, Junio.
- [3] Prof. Ing. Alberto Luis Farina. Motores eléctricos trifásicos. (75):74–80, 2018.
- [4] Juan Carlos Martín Castillo María Pilar García García. *Automatismos industriales cableados*, chapter 5, pages 141–143. Editex, 2009.
- [5] Juan Carlos Martín Castillo María Pilar García García. *Automatismos industriales cableados*, chapter 5, pages 152–153. Editex, 2009.
- [6] Santiago Garcia Garrido. *Organizacion y gestion integral de mantenimiento*. Editorial diaz de santos S.A, 2010.
- [7] Jezdimir Knezevic. *Mantenimiento*. Isdefe, 1996.
- [8] ROGHUR. *Manual de Mantenimiento y Operaciones de Grupos Electrógenos*. ROGHUR S.A.
- [9] Siemens. *SIRIUS 3R IEC Contactors Catalog Supplement*. Siemens AG.
- [10] Siemens. *Logo!* Siemens AG, Junio 2003.
- [11] Siemens. *Control Industrial*. Siemens AG, Septiembre 2016.
- [12] WEG. *Relés electrónicos*. Grupo WEG, Marzo 2018.