

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN
INGENIERÍA**

**“REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
HMI PARA EL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO DEL TERMINAL
BEATERIO DEL POLIDUCTO QUITO – AMBATO – RIOBAMBA DE EP
PETROECUADOR”**

**ANDRÉS RODRIGO CEPEDA PICO
FERNANDO JAVIER ESTÉVEZ BENÍTEZ**

SANGOLQUÍ - ECUADOR

2011

CERTIFICACIÓN

Certificamos que los señores ANDRÉS RODRIGO CEPEDA PICO y FERNANDO JAVIER ESTÉVEZ BENÍTEZ, han elaborado el proyecto de grado titulado “REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y HMI PARA EL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO DEL TERMINAL BEATERIO DEL POLIDUCTO QUITO – AMBATO – RIOBAMBA DE EP PETROECUADOR” para la obtención del título de Ingeniería Electrónica, Automatización y Control, bajo nuestra dirección.

Atentamente,

Ing. Vanessa Vargas
DIRECTOR

Ing. Alejandro Gómez
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios y mi Madre Dolorosa, que desde hace muchos años está a mi lado y ha sido parte de las decisiones más grandes de mi vida.

A mi querido colegio “San Gabriel”, por haberme enseñado que debo “ser más para servir mejor”.

A mis maestros que han dejado los fundamentos para desempeñarme como un buen profesional con capacidad de aportar al país. Quisiera destacar a mi directora, Ing. Vanessa Vargas por haber brindado su tiempo y conocimientos para finalizar con éxito este trabajo y alcanzar una de las metas más importantes de la vida.

A todos mis compañeros del poliducto Quito-Ambato-Riobamba del terminal “El Beaterio”, de manera especial al Ing. Ramiro Valencia, Ing. Diego Vallejo, Tnlgo. Luis Lema y al Ing. Santiago Santamaría, por haber entregado su apoyo y conocimiento de manera desinteresada convirtiendo esta experiencia, en una de las mejores de mi vida.

A Andrés Dario que desde niños hemos sido inseparables y a mis amigos: Marco Alejandro, Mario Andrés, Fausto Gonzalo, Luis Carlos, Juan José, Anita Lucía, Nelson Andrés que con su humor e incondicionalidad me han dado el ánimo necesario para salir adelante. De manera especial a Sandy Estefany por ser mi amiga y confidente, por su paciencia, comprensión y haber estado siempre que la necesité, lo que ha permitido vencer este reto.

A Fernando Javier por su dedicación y compromiso, con quién hemos logrado esta meta juntos y hemos aprendido uno del otro.

De igual manera a todas las personas que de una u otra manera han sido parte de este proyecto mis más sinceros agradecimientos, sin ustedes no habría sido posible.

Andrés Rodrigo Cepeda Pico

DEDICATORIA

A mi madre Cecilia, pilar fundamental de mi carrera y de mi vida entera, quién ha sabido apoyarme incondicionalmente y espero recompensarla con el cumplimiento de esta meta y de muchas más.

A mi padre Rodrigo, gran ejemplo de esfuerzo, capacidad, liderazgo y superación, quién me ha enseñado el valor del trabajo y la satisfacción del deber cumplido.

A mi hermana Paulina, gran parte de mi vida y ejemplo de comprensión, una persona que busca sus objetivos y demostrar su capacidad al mundo.

A mis abuelitos que estuvieron en los momentos más importantes de mi formación, los llevo y llevará por siempre en mi mente y mi corazón.

Gracias por haberme dado los valores, la fuerza y valentía para encarar las dificultades y aprender a superarlas, ustedes han hecho de mí la persona que soy.

Andrés Rodrigo Cepeda Pico

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios que sin su presencia en mi vida no sería posible este momento y confío que su infinito poder y sabiduría me acompañaran por el resto de mi vida personal y profesional, como lo ha hecho hasta ahora a través de mis padres.

A mis padres Carlos e Isabel, por su amor incondicional y ser el pilar fundamental en mi crecimiento personal, de quienes he aprendido que la perseverancia y el respeto son claves para alcanzar mis metas.

Agradezco a mi hermano mayor Carlos por ser un ejemplo de fortaleza y lucha ante las adversidades de la vida.

Anita, una persona especial que en tan poco tiempo, además de ser mi amiga, se ha convertido en alguien muy importante en mi vida al brindarme su cariño, apoyo y comprensión.

Por supuesto le doy las gracias a mi compañero de tesis y amigo Andrés, con quien al cabo de seis meses de trabajo y también momentos agradables que compartimos, hemos logrado finalizar exitosamente éste proyecto.

También me gustaría agradecer al personal de mantenimiento Electromecánico de la Estación de Bombeo “El Beaterio”, quienes de manera desinteresada supieron apoyarnos en la realización del proyecto. Dentro de este grupo de excelentes profesionales me permito destacar al Ing. Diego Vallejo e Ing. Ramiro Valencia, quienes compartieron su valiosa experiencia y conocimiento.

Finalmente, un agradecimiento especial a nuestra Directora Ing. Vanessa Vargas por su tiempo y dedicación con una orientación profesional adecuada para la optimización de este proyecto.

Fernando Javier Estévez Benítez

DEDICATORIA

Este trabajo de Tesis lo dedico a mis padres quienes con amor y sabiduría, me han enseñado que todas las metas son alcanzables, siempre y cuando se luche por ellas, manteniendo por sobre todas las cosas la frente en alto y la honestidad en el desempeño.

Fernando Javier Estévez Benítez

PRÓLOGO

El Terminal “El Beaterio” de EP Petroecuador se localiza al sureste de la ciudad de Quito. Es el encargado de almacenar y distribuir los productos limpios (gasolina y diesel) que recibe desde Esmeraldas y Shushufindi, a la zona centro norte del país. La distribución se realiza por medio de autotanques y del poliducto a través de la estación de bombeo “El Beaterio”. La estación de bombeo, por tanto, es la interface entre los tanques de almacenamiento y el Poliducto Quito – Ambato – Riobamba (Q-A-R). Su función principal es asegurar los valores de presión y caudal para transportar gasolina Super, Extra, Diesel 1 y Diesel 2 hacia la Estación Reductora “Ambato”, esta última satisface la demanda de la zona Centro-Oriente del País.

El proceso de bombeo de combustible en la estación, inicia con su paso por un manifold de válvulas que direccionan el producto desde los tanques de almacenamiento hacia las bombas booster. A la salida de las bombas booster se obtiene la presión necesaria que garantiza el funcionamiento adecuado de los equipos de la estación. Luego el combustible pasa por una etapa de filtrado y a continuación por un medidor de flujo tipo Coriolis que mide las características del combustible transportado. Finalmente, el producto entra a la etapa de bombeo de alta presión en donde, dos grupos diesel o el grupo eléctrico, lo impulsan a través de la línea para que pueda llegar a la Estación Reductora “Ambato”.

El grupo de bombeo eléctrico se encontraba fuera de servicio durante dos años aproximadamente debido a problemas mecánicos. Para aumentar la disponibilidad de los equipos, era necesario recuperar el grupo de bombeo mejorando la infraestructura instalada y buscando una opción óptima en el sistema de control de acuerdo a los requerimientos de la estación.

A partir de esta necesidad, nace el presente proyecto como parte fundamental dentro de la recuperación del grupo de bombeo eléctrico. Su objetivo es el de proveer a la estación de un sistema paralelo a los grupos de bombeo diesel, garantizando el abastecimiento continuo de la zona centro oriente del país.

El presente documento inicia con una breve descripción al Terminal “El Beaterio”, en donde se indican las diferentes dependencias que lo componen, incluyendo a la Estación de Bombeo del Poliducto Q-A-R. Dentro de la estación se describen las diferentes etapas del proceso de bombeo, enfatizando al grupo de bombeo eléctrico.

Después de conocer la estación se procede a investigar los principios de funcionamiento de los dispositivos que la componen y las normas aplicables para su uso e instalación, desarrollando así un marco teórico que contiene la información de cada uno de ellos.

A continuación, se analiza la implementación anterior de tal manera que se puedan determinar los aspectos a mejorar y aquellos que necesiten de una reingeniería ya sea por una instalación incompleta o incorrecta. Es por eso que en conjunto con el departamento de mantenimiento electromecánico de la estación, se establecen los requerimientos de la planta a fin de ser considerados en este proyecto.

Una vez que se conocen los requerimientos de la estación y los elementos disponibles en la misma, se procede a realizar una evaluación del dimensionamiento y estado de los equipos del grupo eléctrico de bombeo, tanto los componentes mecánicos como los eléctricos y electrónicos, con el fin de descartar anomalías debido a errores en el diseño original.

Con estas consideraciones se realiza el rediseño del sistema y su correspondiente verificación y aprobación a fin de iniciar el proceso de implementación. El hardware del nuevo sistema de control para el grupo eléctrico de bombeo está basado en la arquitectura de entradas y salidas remotas (RIO). Como parte final de la implementación se realiza la programación del dispositivo encargado de manejar el proceso, así como de las interfaces gráficas que permiten su control y supervisión.

Para validar el proyecto implementado, se realizan pruebas a los equipos instalados. Además, se analizan los resultados obtenidos durante operación normal y en condiciones de falla. Adicionalmente, toda la información ha sido recopilada en forma de manuales técnicos, planos eléctricos y planos de instrumentación.

Finalmente, se enumeran las conclusiones del trabajo realizado y se plantean recomendaciones para futuras mejoras del sistema.

ÍNDICE

CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL TERMINAL “EL BEATERIO”	4
1.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.	4
CAPITULO 2	14
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
2.1. COMPONENTES DEL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO	14
2.1.1. MOTORES A INDUCCIÓN	14
2.1.2. BOMBA CENTRÍFUGA	23
2.1.3. SELLOS MECÁNICOS	33
2.1.4. VÁLVULAS DE BOLA	35
2.1.5. VARIADOR DE VELOCIDAD.....	35
2.1.6. SENSORES	41
2.1.7. MEDIDOR MÁSIKO CORIOLIS.....	50
2.1.8. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	52
2.1.9. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	53
2.1.10. INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA (HMI)	55
2.2. ARQUITECTURAS DE ENTRADA Y SALIDA.....	57
2.2.1. E/S LOCALES.....	58
2.2.2. E/S REMOTAS (RIO).....	59
2.2.3. E/S DISTRIBUIDAS (DIO).....	61
2.3. NORMATIVAS	62
2.3.1. NORMAS NFPA 70 PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS	63

2.3.2.	NORMAS NEC 430 PARA INSTALACIÓN DE MOTORES	65
2.3.3.	CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS.....	68
2.3.4.	NORMAS API.....	72
CAPITULO 3	76
3.	DESCRIPCIÓN DEL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO DEL TERMINAL “EL BEATERIO”	76
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	76
3.2.	COMPONENTES ELECTRO – MECÁNICOS	78
3.2.1.	MOTOR ELÉCTRICO	78
3.2.2.	BOMBA CENTRÍFUGA.....	82
3.2.3.	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE SELLOS.....	85
3.2.4.	VÁLVULAS DE BOLA	87
3.3.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL.....	88
3.3.1.	VARIADOR DE VELOCIDAD.....	89
3.3.2.	SENSORES	93
3.3.3.	MEDIDOR MÁSIICO TIPO CORIOLIS.....	100
3.3.4.	SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO DE VÁLVULAS.....	101
3.3.5.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)	103
3.3.6.	INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)	105
CAPITULO 4	118
4.	REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL GRUPO ELÉCTRICO: HARDWARE	118
4.1.	REDISEÑO DE HARDWARE	118
4.1.1.	CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA REDISEÑO.....	119
4.2.	PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA SOLUCIÓN	121
4.3.	INGENIERÍA DE DETALLE	123
4.3.1.	EVALUACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE MOTOR Y BOMBA.....	125
4.3.2.	DISPOSITIVOS.....	132
4.3.3.	CONSIDERACIONES PARA EL CABLEADO E INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	146
4.4.	IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE.....	161
4.4.1.	ADECUACIONES PREVIAS.....	162
4.4.2.	REMOCIÓN DEL CABLEADO ANTERIOR.....	164
4.4.3.	CABLEADO E INSTALACIÓN DE EQUIPOS	165

4.4.4.	MEJORAS REALIZADAS.....	174
CAPITULO 5	179
5.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL GRUPO ELÉCTRICO: SOFTWARE	179
5.1.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DEL PLC.....	179
5.1.1.	CRITERIOS Y CONSIDERACIONES	179
5.1.2.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL PLC	180
5.1.3.	DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC	182
5.2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HMI PARA PC	188
5.2.1.	CRITERIOS Y CONSIDERACIONES	188
5.2.2.	DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI	188
5.2.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HMI.....	192
5.3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HMI TÁCTIL.....	203
5.3.1.	CRITERIOS Y CONSIDERACIONES	203
5.3.2.	DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI	203
5.3.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI TÁCTIL ..	206
CAPITULO 6	218
6.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	218
6.1.	VERIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES REALIZADAS.....	218
6.2.	EVALUACIÓN Y ANALISIS DE LAS HMI MEDIANTE LA GUÍA GEDIS.....	221
6.3.	ANALISIS DE TEMPERATURA Y ACCIONAMIENTO DE ALARMAS	223
6.4.	ANALISIS AMBIENTAL	225
6.4.1.	ANALISIS DE EMISIONES AL AIRE	226
6.4.2.	ANALISIS DE RUIDO	227
6.5.	ANALISIS ECONÓMICO	230
CAPITULO 7	232
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	232
7.1.	CONCLUSIONES	232
7.2.	RECOMENDACIONES.....	237
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	239
ANEXO A	244
MANUALES DE USUARIO.....		244
ANEXO B	273
MANUALES DE CONFIGURACIÓN.....		273

ANEXO C	328
MANUALES BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN	328
ANEXO D	374
DIAGRAMAS.....	374
ANEXO E	408
PROGRAMAS	408
ANEXO F	471
RESULTADOS DE LA GUÍA GEDIS	471
ANEXO G	478
MEDICIONES DE RUIDO	478
ANEXO H	488
PRESUPUESTO Y LISTA DE MATERIALES	488
ANEXO I	490
HOJAS TÉCNICAS	490
INDICE DE FIGURAS	492
INDICE DE TABLAS	498
GLOSARIO	500

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El Terminal “El Beaterio” contiene la estación cabecera del Poliducto Quito-Ambato-Riobamba (Q-A-R) de EP Petroecuador, cuenta con un manifold de válvulas que direccionan el producto desde los tanques de almacenamiento hacia las bombas Booster que lo llevan hacia la línea de los grupos. Dicha estación cuenta con dos posibilidades de bombeo, la primera está conformada por tres grupos diesel en serie, trabajando dos simultáneamente y uno de respaldo, y la segunda es un grupo eléctrico. El grupo eléctrico está conformado por un motor eléctrico controlado por un variador de velocidad que maneja una bomba centrífuga.

Actualmente el grupo eléctrico se encuentra fuera de servicio, debido a que el motor presentó una falla mecánica de fábrica. La falla se produjo a causa de un desbalanceo del eje del rotor. Por lo tanto, se utiliza únicamente los grupos diesel. Para mejorar el funcionamiento del sistema se requiere de un rediseño de la arquitectura de control del grupo eléctrico, la misma que consiste en: instalar la infraestructura necesaria, programar un Controlador Lógico Programable (PLC) y crear una Interfaz Humano Máquina (HMI).

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El Terminal “El Beaterio” es el único proveedor de gasolina Super, Extra, Diesel 1 y Diesel 2 de la Estación Reductora “Ambato” del Poliducto Q-A-R, la misma que satisface la demanda de la zona Centro-Oriente del País. De allí la importancia del óptimo funcionamiento del sistema de bombeo del Terminal “El Beaterio” del Poliducto Q-A-R.

Por esta razón, es fundamental poner operativo el grupo eléctrico para poder brindar mantenimiento preventivo a los grupos diesel. Caso contrario, podría llegar a colapsar el sistema de bombeo dejando totalmente desabastecido al Poliducto Q-A-R.

Además, la arquitectura de control actualmente utilizada no da las facilidades de mantenimiento que debería. Debido a que el PLC que concentra las señales de campo se encuentra ubicado en el cuarto de control, lo que causa que tanto el número de cables como la longitud de los mismos sean extensos, dificultando su identificación. Por otra parte, no existe la documentación suficiente del funcionamiento del sistema y el HMI no despliega la información detallada del grupo eléctrico de bombeo.

Por lo tanto, el rediseño e implementación de un sistema de control y creación de una interfaz HMI para el grupo eléctrico de bombeo del Terminal “El Beaterio” del Poliducto Quito-Ambato-Riobamba de EP Petroecuador es una necesidad imperante.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Rediseñar e implementar un sistema de control basado en PLC e interfaz gráfica HMI, del Grupo Eléctrico de Bombeo de la estación “El Beaterio”, cabecera del Poliducto Quito-Ambato-Riobamba de EP Petroecuador.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar el levantamiento de la información referente al grupo eléctrico de bombeo del Poliducto Q-A-R.
- Rediseñar un sistema de control para el grupo eléctrico de bombeo bajo normas establecidas.
- Implementar un sistema de control para el grupo eléctrico de bombeo bajo normas establecidas.
- Reconfigurar los parámetros del variador de velocidad para el motor eléctrico del grupo de bombeo eléctrico.
- Rediseñar el programa encargado del manejo del grupo de bombeo eléctrico del PLC principal.
- Implementar el programa encargado del manejo del grupo de bombeo eléctrico del PLC principal.
- Diseñar e implementar una interfaz gráfica HMI para el grupo eléctrico de bombeo.
- Revisar la interfaz de monitoreo actual de todo el sistema de Bombeo.
- Rediseñar toda la interfaz de monitoreo del sistema de bombeo.

1.4. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO DEL TERMINAL “EL BEATERIO”

1.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

EP PETROECUADOR mediante su Gerencia de Transporte y Almacenamiento garantiza el abastecimiento de combustibles desde las Refinerías de: Esmeraldas, Shushufindi y La Libertad, hacia los Terminales de todo el país. A diario se transportan 170.000 barriles aproximadamente de diversos productos a través de la red de poliductos de casi 1.400 Km de extensión, que conecta las provincias de la amazonía, costa y sierra del país.

El sistema de transporte de productos limpios consta de los siguientes poliductos de la red:

- Esmeraldas - Quito - Pascuales
- Shushufindi - Quito
- Quito - Ambato
- Libertad - Manta - Pascuales
- Tres Bocas - Pascuales
- Tres Bocas - Fuel Oil
- Tres Bocas - Salitral



Figura 1.1. Red de Poliductos

El Poliducto Quito-Ambato-Riobamba (Q-A-R) cuenta con la estación de Bombeo Beaterio, encargada de proveer productos limpios al poliducto y la estación reductora Ambato que los recibe para su almacenamiento y su posterior distribución. Al momento, el tramo Ambato-Riobamba se encuentra en desarrollo.

El tramo Quito-Ambato está construido con tubería de alta presión de 6 pulgadas, su capacidad de bombeo es aproximadamente de 14285 barriles por día (BLS/DIA) y su caudal máximo es de 595 barriles por hora (BLS/HORA). Además tiene 12 canastillas distribuidas a lo largo de sus 110.4 Km de extensión. Las canastillas están conformadas por un transmisor de presión y una válvula proporcional, lo que las convierte en puntos de supervisión y control para el

transporte de combustible. Todas se encuentran integradas en un sistema SCADA para el monitoreo continuo desde las salas de operaciones de cada estación.

A la estación Reductora de Presión del Terminal “El Beaterio”, llegan productos limpios desde Shushufindi y Esmeraldas. La presión de llegada del Poliducto Shushufindi-Quito es aproximadamente de 250 a 380 psi y la presión de llegada del Poliducto Esmeraldas-Quito es de 630 psi. La estación reductora de presión es la encargada de disminuir estas presiones a aproximadamente 50 psi, lo hace mediante dos válvulas de pistón, una para reducir presión y otra para laminar el flujo. La presión alcanzada es la adecuada para que el producto pueda ser llevado a los tanques de almacenamiento.

Una vez que el producto ha sido almacenado, éste puede ser distribuido hacia las islas de carga para su despacho mediante tanqueros, la planta de jet fuel donde se obtiene gasolina de avión o finalmente hacia la estación de bombeo “El Beaterio” del Poliducto Q-A-R.

El Poliducto Q-A-R transporta Diesel 1, Diesel 2, Gasolina Súper y Gasolina Extra desde Quito hacia Ambato. La cantidad de producto a despacharse es realizada mediante partidas programadas por el departamento de “Planificación Operativa” en conjunto con la “Unidad de Programación”. El orden de las partidas es predeterminado y está en función de las densidades de los productos limpios, con el objetivo de que los productos no se mezclen evitando la contaminación. La secuencia es la siguiente: G. Extra – G. Súper – G. Extra – Diesel 1 – Diesel 2 – Diesel 1.



Figura 1.2. Vista general Terminal "El Beaterio"

El proceso de la estación de Bombeo "El Beaterio" del Poliducto Q-A-R, inicia con un manifold de válvulas encargadas de direccionar los diferentes productos provenientes de los tanques de almacenamiento. El manifold de válvulas se divide en dos partes, se controla por un lado el paso de Diesel (Diesel 1 y Diesel 2) y al otro controla el paso de Gasolina (Super y Extra), separados por una válvula de 3 vías que impide la contaminación entre productos.



Figura 1.3. Manifold de válvulas

El producto proveniente de los tanques llega a la estación con una presión entre 14 y 18 psi, por lo que es necesario incrementarla a 60 psi para evitar daños en los grupos de bombeo. Este incremento de presión se obtiene mediante una bomba Booster. La estación cuenta con dos bombas Booster funcionando solamente una durante el proceso y la otra que sirve de respaldo.



Figura 1.4. Bombas Booster

Después de las bombas Booster, el producto pasa a través de un filtro horizontal cuya función es eliminar los sedimentos. Existen tres patines de medición con flujómetros de desplazamiento positivo, cuya función es medir el flujo bruto del producto a transportar. Actualmente los patines de medición se encuentran en desuso y fueron reemplazados por un patín de medición con un Medidor Másico tipo Coriolis, que trabaja conjuntamente con una computadora de flujo en el cuarto de control. El medidor tipo Coriolis indica los valores de flujo volumétrico, flujo estándar, densidad, entre otros.



Figura 1.5. Filtro Horizontal



Figura 1.6. Patines de Medición de Desplazamiento Positivo



Figura 1.7. Medidor Másico Tipo Coriolis

El último paso del proceso es bombear el producto hacia Ambato, para esto la estación cuenta con tres grupos de bombeo Diesel y un grupo de bombeo eléctrico. Para dirigir el producto hacia los grupos existen válvulas a la entrada de la bomba o succión de la bomba y válvulas a la salida de la bomba o descarga de la bomba, estas son controladas desde la sala de operaciones.



Figura 1.8. Grupos de Bombeo y Cuarto de Control

Para transportar el producto hasta Ambato, es necesario vencer el punto más alto del poliducto ubicado en la cordillera de Los Andes, por lo que se requiere lograr una presión de 1200 psi generados desde la estación “El Beaterio”. Dicha presión se obtiene con dos de los tres grupos Diesel en serie o únicamente con el grupo eléctrico en paralelo. Cabe destacar que la presión de succión de todos los grupos es de 60 psi, lo que asegura que la succión de la bomba esté siempre llena y no se produzcan vacíos que generen implosiones y el posterior deterioro de la misma.

El proceso de bombeo con los grupos Diesel consta de dos etapas; una de baja presión y la otra de alta presión. El grupo de baja presión succiona a 60 psi y descarga a 600 psi y el segundo grupo succiona a 600 psi y descarga a 1200 psi, obteniendo así la presión deseada. Cada grupo Diesel está conformado por un motor de combustión interna arrancado por aire el cual trabaja a 1200 RPM, un multiplicador de velocidad con un factor de 2.4 unido al motor por un embrague y finalmente una bomba centrífuga. Además presenta una válvula de alivio que se utiliza en caso de que la presión a la descarga haya sobrepasado su límite máximo de operación (1300 psi). En caso de presentarse un alivio de presión el combustible va a un sumidero evitando la contaminación.

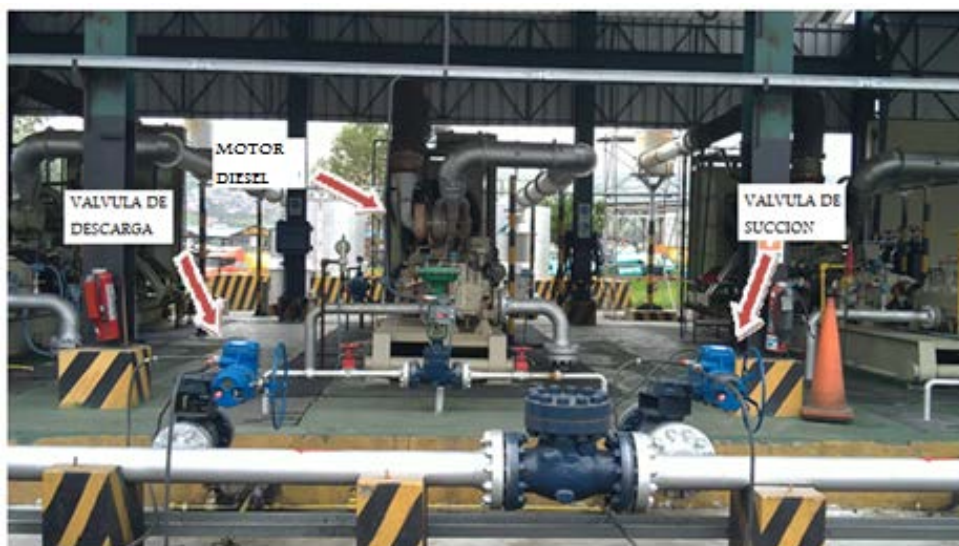


Figura 1.9. Vista Frontal del Grupo de Bombeo Diesel



Figura 1.10. Vista Lateral del Grupo de Bombeo Diesel

Por otra parte, el grupo de bombeo eléctrico posee una bomba más robusta que los grupos Diesel, el motor puede generar hasta 3600 revoluciones que son las necesarias para alcanzar la presión de 1200 psi en una sola etapa.



Figura 1.11. Grupo de Bombeo Eléctrico

De manera esquemática se muestra en la Figura 1.12 el proceso de bombeo descrito en este capítulo.

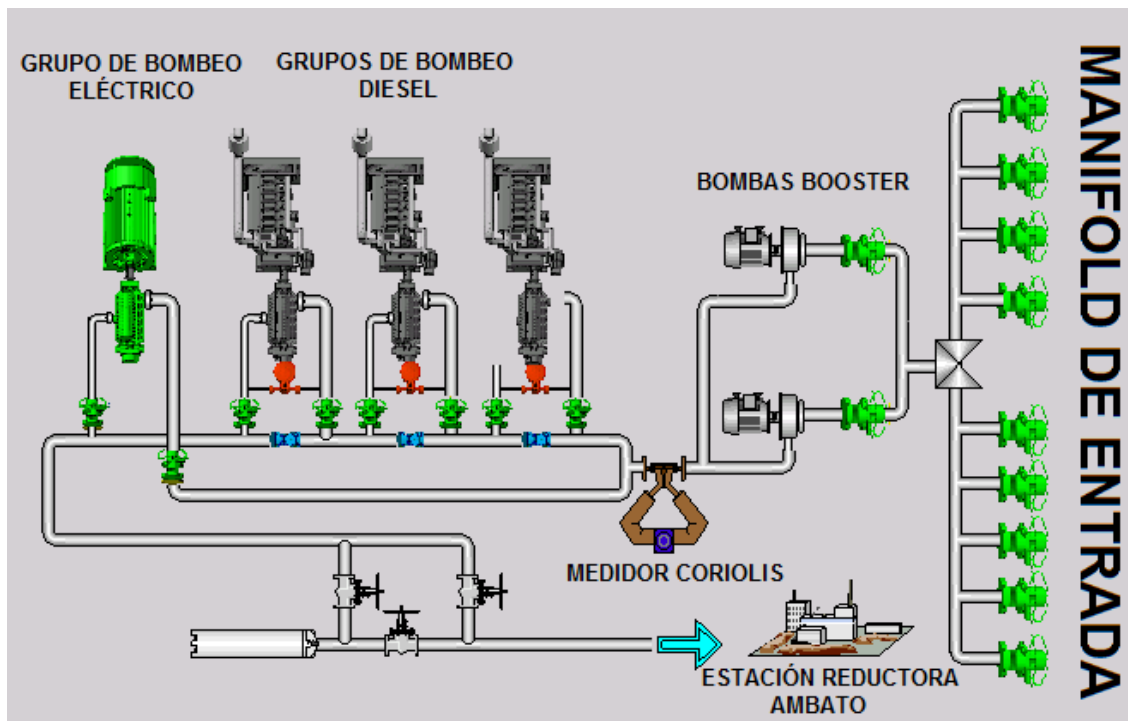


Figura 1.12. Diagrama esquemático del proceso de Bombeo

CAPITULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. COMPONENTES DEL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO

2.1.1. MOTORES A INDUCCIÓN

2.1.1.1. FUNDAMENTOS. El motor de inducción es el más utilizado en la industria, es relativamente barato, eficiente, compacto, de fácil construcción y mantenimiento. Un motor de inducción trifásico está esquemáticamente constituido por una parte fija, denominada estator, formada por tres devanados los cuales están dispuestos entre si 120° . En la parte interna, al centro de los devanados, se encuentra situado el rotor, constituidos por un circuito eléctrico cerrado por sí mismo. Las partes de un motor de inducción se pueden apreciar en la Figura 2.1 :

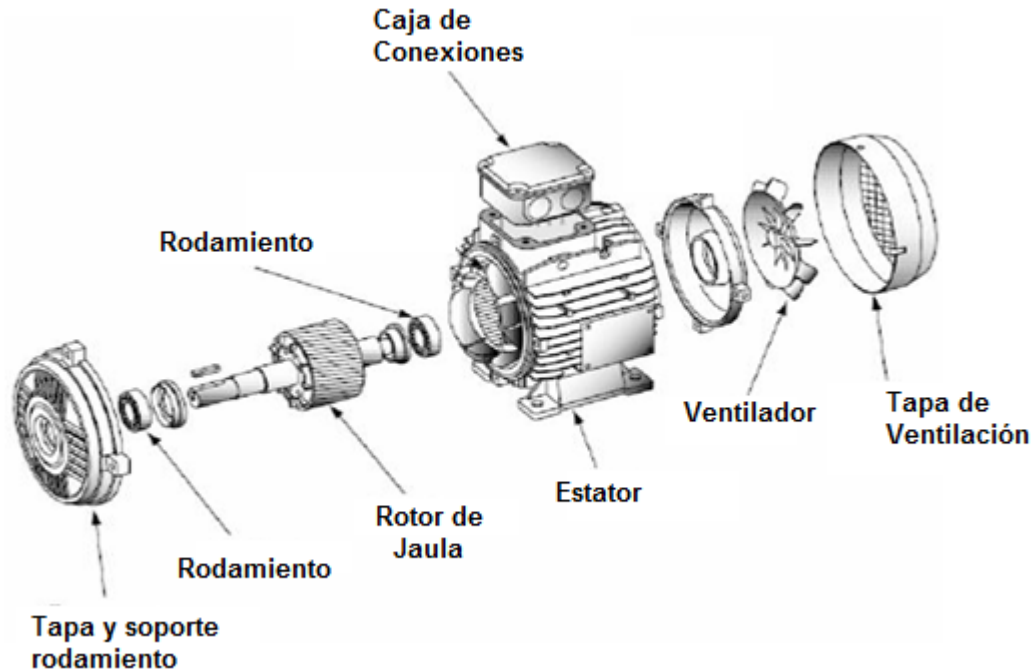


Figura 2.1. Partes del Motor a Inducción

Cada devanado del estator está alimentado por una fase distinta de un sistema trifásico. Cada uno de los devanados tiene un inicio (P) y un final (F), si se secciona el devanado se podrá indicar el sentido de la corriente, con relación al cual se puede establecer la dirección del campo magnético (regla de la mano derecha). Puesto que, una bobina produce un campo magnético al circular una corriente. Ver Figura 2.2.

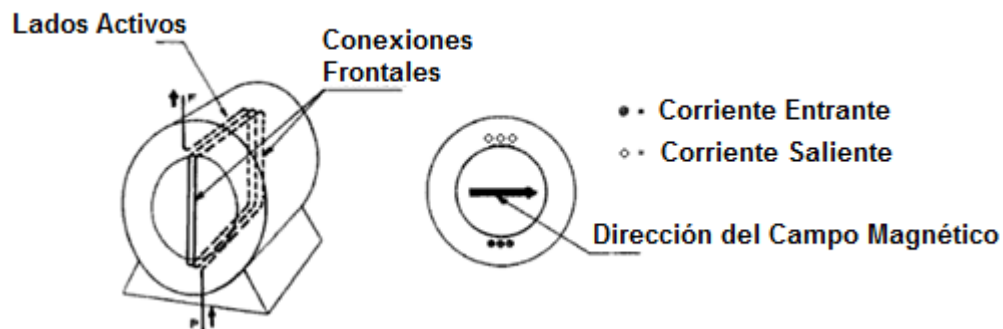


Figura 2.2. Sentido del Campo Magnético

Un motor trifásico tiene tres devanados que al alimentarse simultáneamente forman tres campos magnéticos desfasados 120° entre sí. Estos generan un solo campo magnético que gira en un sentido determinado con velocidad uniforme.

Puesto que el período de la variación senoidal de la corriente es el mismo en los conductores, la velocidad del campo magnético rotatorio, varía directamente con la frecuencia, pero inversamente con el número de polos:

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120f}{2n}$$

Ecuación 2.1. Velocidad Síncrona

Donde:

N_s : Velocidad del campo magnético o síncrona.

f : es la frecuencia de la fuente de alimentación.

P : es el número de polos del estator.

Ya que el número de polos magnéticos sólo depende de n , la velocidad es una función de la frecuencia.

El rotor es la parte que gira de un motor eléctrico de inducción. En el caso de un motor de jaula de ardilla, el rotor es básicamente un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.

Los devanados del estator de un motor de inducción instan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del

rotor induce corriente eléctrica en las barras conductoras. Alternadamente estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje. En efecto el rotor se lleva alrededor el campo magnético pero en un índice levemente más lento de la rotación.

Es necesario observar que la velocidad del rotor en un motor de inducción, no podría alcanzar jamás la velocidad síncrona, es decir que se refleje exactamente la velocidad del campo giratorio en el estator.

La diferencia entre la velocidad síncrona (Ecuación 2.1) y la velocidad efectiva de rotación del rotor (N) se define como el deslizamiento (S) el cual se expresa como un porcentaje de la velocidad síncrona o bien como una fracción de la misma. El deslizamiento porcentual es:

$$S\% = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100$$

Ecuación 2.2. Deslizamiento Motor Eléctrico

El deslizamiento incrementa la carga, es decir, con el aumento del par resistente aplicado al motor. En vacío, el deslizamiento es mínimo, casi despreciable y a la potencia nominal, dependiendo de la potencia del motor, varía entre el 2% y el 7%. De hecho la velocidad del rotor no es rigurosamente constante con la carga y como no puede alcanzar la velocidad de sincronismo, se lo denomina también a estos motores como asíncronos.

2.1.1.2. DESARROLLO DEL PAR INDUCIDO. Cuando se aplican al estator un conjunto trifásico de voltajes, se generan un conjunto de corrientes trifásicas. Que producen un campo magnético B_s que rota en dirección contraria a las manecillas del

reloj. Éste induce voltaje en las barras del rotor, y este voltaje está dado por la ecuación:

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l$$

Ecuación 2.3. Voltaje Inducido

Donde:

v : Velocidad de la barra, relativa al campo magnético.

B : vector de densidad de flujo magnético

l : la longitud del conductor en el campo magnético

El movimiento relativo del rotor con respecto al campo magnético del estator (B_s) induce voltaje en una barra del rotor. El flujo magnético del rotor produce un campo magnético del rotor (B_R). El par en la máquina, τ_{ind} está dado por:

$$\tau_{ind} = k B_R \times B_S$$

Ecuación 2.4. Torque

En operación normal, los campos magnéticos del estator y del rotor giran a la velocidad sincrónica, mientras que el rotor gira a una velocidad menor.

2.1.1.3. CARACTERÍSTICA PAR-VELOCIDAD DEL MOTOR DE INDUCCIÓN. En la Figura 2.3 y Figura 2.4 se presentan las curvas características par-velocidad del motor de inducción. La información que proveen, se resume a continuación:

- El par inducido del motor es cero a la velocidad sincrónica.

- La curva par-velocidad es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga.
- El par máximo o de desviación equivale a 2 ó 3 veces el par nominal y no puede ser excedido.
- El par de arranque es ligeramente mayor al par de plena carga.
- Para un deslizamiento dado, el par inducido varía con el cuadrado del voltaje aplicado.
- Cuando la velocidad del rotor es mayor que la sincrónica, la máquina de inducción opera como generador; entonces la potencia mecánica se convierte en potencia eléctrica.
- Para frenar con rapidez el motor se conmutan dos fases, invirtiendo la dirección de rotación del campo magnético.

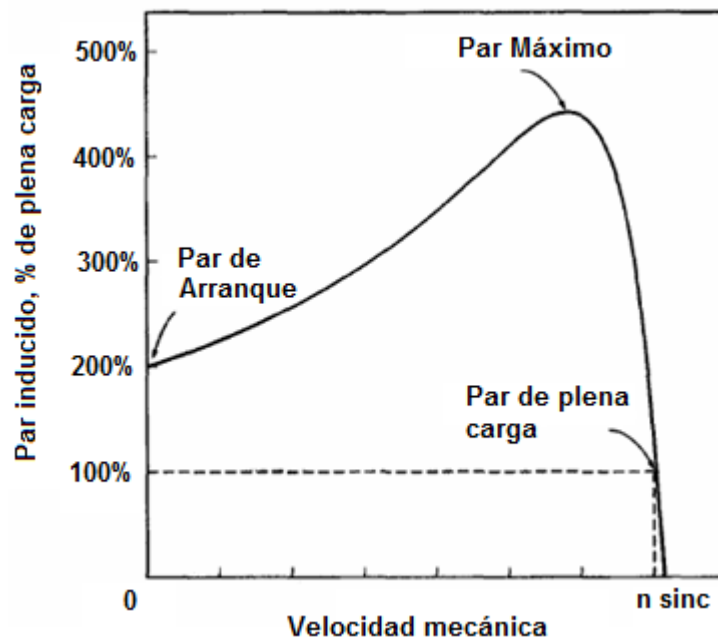


Figura 2.3. Curva característica típica de un motor de inducción.

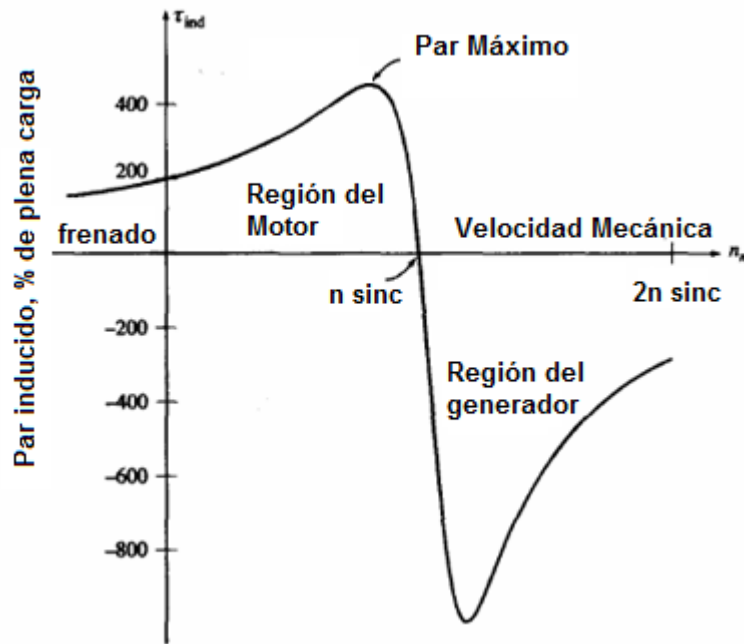


Figura 2.4. Curva característica par-velocidad de un motor de inducción, que muestra los rangos extendidos de operación (región de frenado y región de regeneración).

2.1.1.4. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE MOTORES. Un motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica, tomada de la red, en energía mecánica en el eje. Es necesario analizar algunos parámetros básicos para determinar qué tipo de motor va a ser instalado en determinada aplicación.

La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación:

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

Ecuación 2.5. Potencia del Motor

Donde:

P: Potencia en kW

V: Voltaje o tensión en voltios

I: corriente en amperios

Cos φ : Factor de potencia

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

Ecuación 2.6. Potencia Mecánica

Donde:

P: Potencia en kW

T[Nm]: El torque es la capacidad del motor de hacer girar cargas.

n: velocidad en rpm

Al seleccionar un motor, es ideal conocer las condiciones de la carga, pues el comportamiento varía dependiendo de ésta. La carga es la que define la potencia del motor. En la mayoría de aplicaciones, el motor jaula de ardilla puede atender cualquier carga en su eje. Sin embargo, es conveniente analizar cuál será el momento de inercia, es decir, la curva Torque-Velocidad de la carga. Estos parámetros ayudan a definir cómo será el comportamiento dinámico del motor.

En el caso de que la carga del motor sea una bomba, la potencia en su eje se determina por la siguiente expresión:

$$P = \frac{\rho * g * H * Q}{1000 * \eta}$$

Ecuación 2.7. Potencia en Bomba

Donde:

ρ [Kg/m³]: es la densidad del fluido manipulado.

g [m/s²]: la aceleración de la gravedad.

H [m]: la carga de la bomba.

Q [m³/s], el gasto volumétrico.

η [%]: la eficiencia de la bomba.

Al calcularse la potencia del motor para el accionamiento de la bomba se debe tomar en cuenta el posible aumento de la potencia en el eje cuando el equipo trabaja fuera de las condiciones de diseño. Por lo tanto se reserva cierto porcentaje de potencia nominal del motor; este porcentaje para motores eléctricos y en dependencia del tamaño de la carga oscila entre 5 y 30 %¹.

Toda máquina consume más potencia de la que entrega, por lo que es importante considerar su eficiencia. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. Estas pérdidas se convierten en calor. La eficiencia o rendimiento es una medida de la energía que no utiliza la máquina.

La eficiencia (η) se calcula según la siguiente relación:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

Ecuación 2.8. Eficiencia del Motor

Donde:

P_s : potencia de salida, es decir, la potencia en el eje

¹ MENÉNDEZ GONZALES, MERCEDES. Selección de Motores. [En línea]. <
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia29/HTML/articulo05.htm>>

Pe: potencia de entrada, es decir, la potencia eléctrica

De esta forma, entre mayor eficiencia, menor desperdicio y consecuentemente menores costos de operación. Contrariamente, entre menor eficiencia, mayor desperdicio y mayores costos.

Por norma, todos los motores están diseñados para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40 °C y en una altura no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar. La instalación en cualquier ambiente por encima de estas condiciones hará que el motor deba ser operado con una carga menor a la nominal. Esto sucede porque las propiedades refrigerantes disminuyen. La vida útil de un motor está principalmente limitada por el estado del devanado, si la refrigeración es insuficiente, el devanado se debilita y sufre daños severos. Generalmente, los motores jaula de ardilla están refrigerados mediante aire. A mayor altitud sobre el nivel del mar, el aire tiene una densidad mayor, de manera que trabajando a una misma velocidad, tendrá menor flujo de aire. En cuanto a la temperatura ambiente, es necesario garantizar que el motor no tenga una elevación de temperatura a fin de evitar un calentamiento por encima de su límite térmico.

La correcta selección del motor, ya sea eléctrico o diesel, en un sistema de bombeo, tiene una notable importancia económica. Puesto que si está sobredimensionado puede constituir un consumo adicional de energía, o por el contrario, si el motor es muy pequeño puede implicar la aparición de averías por roturas.

2.1.2. BOMBA CENTRÍFUGA

2.1.2.1. FUNDAMENTOS. La bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en energía cinética y potencial. El fluido entra por el centro del impulsor, pasando por unos álabes que

conducen el fluido hacia el exterior por efecto de la fuerza centrífuga. La carcasa de la bomba recoge el fluido y lo dirige hacia la salida de la misma.

La bomba centrífuga se compone de una brida de aspiración o succión por la que ingresa el producto axialmente al eje de rotación. A continuación el fluido pasa al impulsor o rodete que se encuentra accionado por un motor que va unido al eje de rotación. El impulsor está formado por un conjunto de álabes, los cuales someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido siendo expulsadas por la fuerza centrífuga hacia la carcasa de la bomba a gran velocidad, aumentando su presión en el rodete según la distancia al eje.

La carcasa o voluta es una parte fija de la bomba que encierra al rodete, tiene forma de caracol, siendo la separación entre las paredes y el impulsor mayor a medida que se acerca a la abertura de impulsión. El objetivo de la carcasa es recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, encaminarlo hacia la brida de impulsión y finalmente frenándolo de tal manera que la energía cinética se transforma en energía de presión. Finalmente a la salida de la voluta se localiza la brida de impulsión por la que el líquido es expulsado con la velocidad y presión generada por la bomba.

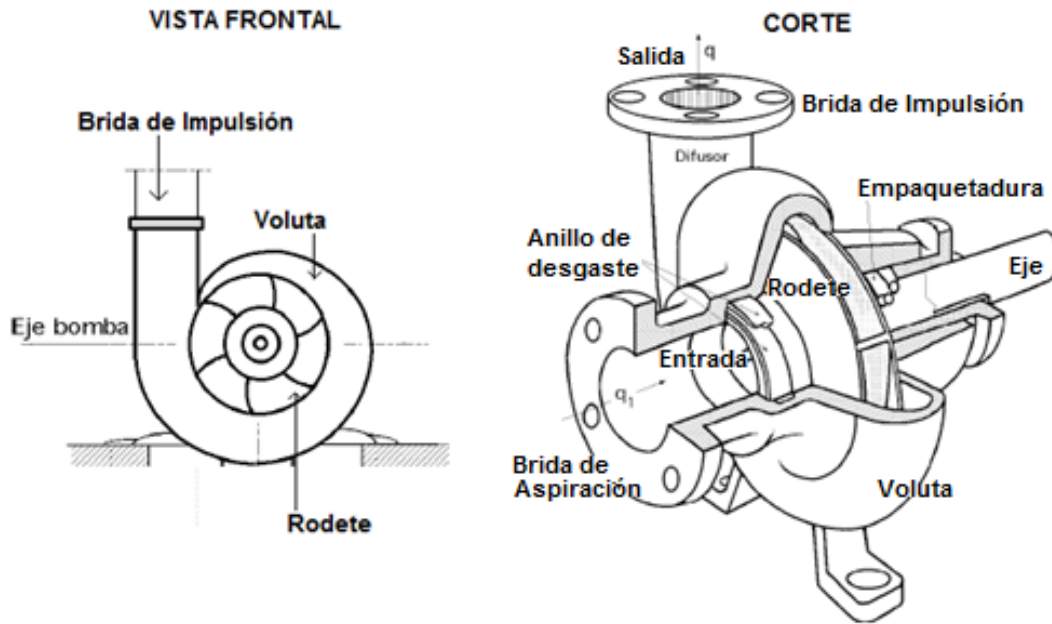


Figura 2.5. Bomba Centrífuga

Si una bomba contiene n rodetes en serie, es decir, la salida de uno se conecta a la entrada del siguiente, se llama bomba multietapa. El objetivo de esta estructura es sumar presiones parciales de cada impulsor hasta lograr una salida mayor que una bomba de una sola etapa.

2.1.2.2. PARÁMETROS DE SELECCIÓN DE BOMBAS. Existen varios parámetros a considerar al momento de seleccionar una bomba para un determinado proceso:

- Caudal.
- Cabeza de Empuje.
- Rendimiento
- Altura neta positiva de aspiración requerida (NPSHr).

- Altura neta positiva de aspiración disponible (NPSHa).
- Velocidad específica.
- Curvas características en sistemas de bombeo.

CAUDAL. Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Se define con la letra Q se mide en [m³/s] (sistema métrico) o en [GPM] (sistema imperial US).

CABEZA DE EMPUJE. Dentro de las variables a considerar se tiene la cabeza de empuje, esta indica la energía que la bomba ha entregado al sistema. La cabeza es la medida de la altura de la columna de líquido que la bomba genera a partir de la energía cinética de la misma. El valor depende del diámetro externo del impulsor y de la velocidad de rotación del eje. La cabeza de empuje se mide en pies o metros, y es independiente de la gravedad específica del líquido bombeado.

La cabeza total es la diferencia entre la cabeza de energía total de salida y la cabeza de energía total a la entrada de la bomba. Se define mediante la siguiente expresión:

$$H = \left(\frac{p_2 - p_1}{\rho g} \right) + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ecuación 2.9. Cabeza Total de la Bomba

Donde:

H = cabeza total (m).

p2 = presión a la salida (N/m²)

p1 = presión a la entrada (N/m²)

ρ = densidad (kg/m^3)

v_2 = velocidad a la salida (m/s)

RENDIMIENTO. En una bomba centrífuga el impulsor genera toda la carga, el resto de partes producen pérdidas inevitables tanto hidráulicas como mecánicas. Cuando un líquido fluye a través de la bomba, sólo parte de la energía transmitida por el eje del rodete es comunicada de forma efectiva al producto, la energía restante se pierde. Esta pérdida importante puede ser por el choque a la entrada del impulsor, la fricción por el paso del fluido a través del espacio entre álabes y las pérdidas de altura al salir el fluido del impulsor. Por lo tanto, el rendimiento de una bomba es sensible a las condiciones a las cuales está operando. El rendimiento se define como:

$$\eta = \frac{\text{Potencia suministrada al fluido}}{\text{potencia en el eje (al freno)}} = \frac{\gamma Q h}{T \omega}$$

Ecuación 2.10. Rendimiento de la Bomba

Donde:

γ = peso específico del líquido

Q = caudal

h = altura de salida de la bomba

T = Par ejercido por el motor sobre el eje de la bomba

ω = Velocidad angular

NPSHr. La altura neta positiva de aspiración requerida, representa la energía mínima en la brida de succión de la bomba, por sobre la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo y referido al eje de la bomba. Esta es una característica particular de cada bomba y determina la energía mínima requerida para prevenir la cavitación y tener una operación segura y confiable de la bomba.

La cavitación es un efecto que ocurre cuando se alcanza la presión de vapor del líquido, de tal forma que las moléculas que lo componen cambian de estado inmediatamente a vapor, formándose burbujas o cavidades. Dichas burbujas viajan a zonas de mayor presión e implotan (regresan a estado líquido de manera violenta), produciéndose una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que se origina el fenómeno. La cavitación generalmente va acompañada de ruido y vibraciones que pueden desgastar los elementos móviles del sistema.

NPSHa. La altura neta positiva de aspiración disponible, define la cantidad de energía con que el líquido llegará a la brida de succión de la bomba, es decir, la altura de energía disponible. Esta es una característica del sistema en el que trabaja la bomba en función de la columna de succión, altura de fricción y presión de vapor de líquido que se maneja. La expresión que define dicho parámetro está dada por:

$$NPSHa = Hb + Hs + hv$$

Ecuación 2.11. Altura Neta Positiva Disponible

Donde:

Hb = altura barométrica local = Presión atmosférica / Peso específico (γ)

Hs = energía en la brida de entrada a la bomba, carga estática

hv = altura de presión de vapor del líquido = p_v / γ

Para la selección correcta de una bomba se debe tener en cuenta que el NPSHa es mayor al NPSHr, a fin de evitar cavitaciones del proceso. Según la exigencia de la norma API 610 de bombas centrífugas, es recomendable que la diferencia de entre las variables sea de 5 metros.

VELOCIDAD ESPECÍFICA. Este parámetro es utilizado para determinar la geometría de la bomba a utilizar, la misma que puede ser radial, axial o mixta. El

objetivo es aprovechar la máxima eficiencia y prevenir la cavitación. El número que se obtiene es adimensional y estima el rango de operación segura de una bomba. La expresión que la define es:

$$N_s = \frac{\omega q^{1/2}}{h^{3/4}}$$

Ecuación 2.12. Velocidad Específica

Donde:

N_s = Velocidad específica

ω = velocidad de giro del eje (rpm)

q = caudal (US gpm, m³/h, m³/min)

h = cabeza (ft, m)

Para definir el tipo de bomba a seleccionar se utiliza el valor de N_s de acuerdo a la siguiente relación:

- Bomba de flujo radial, 500 a 4000 (bombas centrífugas).
- Bomba de flujo mixto, 2000 a 8000.
- Bomba de flujo axial, 7000 a 20000.

Si en el denominador de la fórmula anterior reemplazamos la altura de cabeza h , por la altura neta positiva de aspiración disponible (NPSHa), se obtiene la velocidad específica de succión (N_{ss}), esto permite determinar un número que indica el riesgo de cavitación. Según el Instituto Hidráulico de los EEUU, N_{ss} debe estar bajo 8500 (si se trabaja en [USgpm]) o bajo 200 para el sistema métrico.

CURVAS CARACTERÍSTICAS EN SISTEMA DE BOMBEO. Para la instalación de bombas es necesario realizar un detallado análisis de las variables en juego, tanto de la bomba como del sistema. Las curvas características son proporcionadas por el fabricante, los parámetros en estudio son:

- La energía entregada al líquido bombeado.
- La potencia consumida por la bomba
- El rendimiento de la transferencia de energía

Todos los parámetros se encuentran en función del caudal. En la Figura 2.6 se muestra un ejemplo de la curva de una bomba.

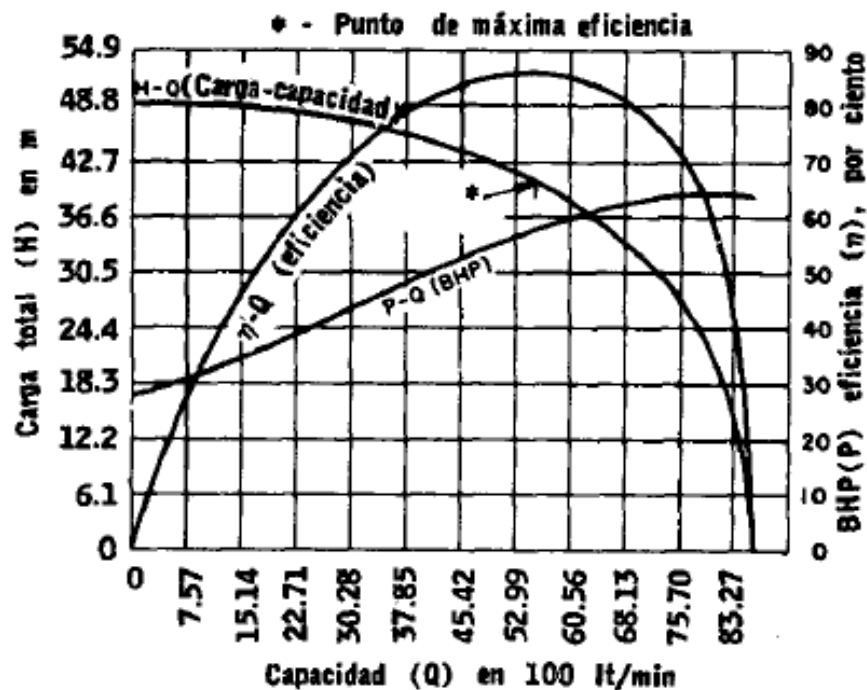


Figura 2.6. Curva de la bomba

Para conocer el punto real de funcionamiento de la bomba es necesario conocer la curva de carga del sistema. Esta curva por lo general es cuadrática e indica la energía disipada por fricción viscosa para distintos valores de caudal. Las pérdidas del sistema de bombeo se dan tanto a la succión de la bomba como a la descarga.

Tomando en cuenta que la energía (H) entregada por la bomba es consumida por el sistema (J), el punto de equilibrio se dará solamente al igualar las curvas, lo que devolverá el caudal de funcionamiento Q_f . En otras palabras, se sobreponen las curvas del sistema $J_f(Q)$ y de la bomba $H_f(Q)$ y se traza una perpendicular al eje x en el punto de cruce.

Para el caso de que la velocidad del eje varíe, el fabricante ofrece curvas de la bomba a distintas revoluciones de funcionamiento, dicha relación se conoce como la ley de afinidad. En la Figura 2.7 se observa las curvas características de una bomba con variación de velocidad.

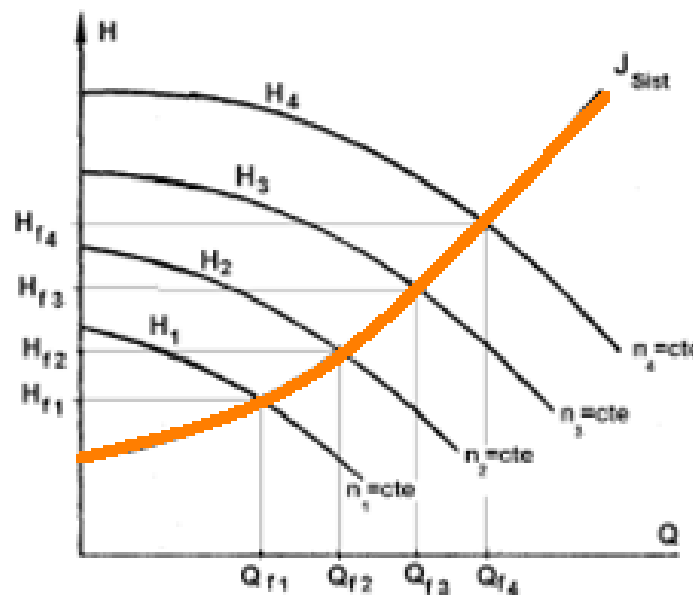


Figura 2.7. Curvas de la bomba con variación de velocidad

2.1.2.3. LEYES DE AFINIDAD. La carga, capacidad y potencia requerida de una bomba varían con cambios en el tamaño del diámetro del impulsor o la velocidad de revolución del motor. Esta variación se le conoce como “Leyes de Afinidad”.

Las leyes muestran que incluso una pequeña reducción en el caudal se convertirá en reducciones importantes de potencia y, por tanto, de consumos energéticos. Las leyes son la base de los ahorros energéticos.

Cuando se modifica una de las variables involucradas en el rendimiento de la bomba, las otras variables se pueden calcular utilizando la ley de afinidad.

- Cuando la velocidad se cambia, la capacidad (flujo), varía directamente con la velocidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)$$

Ecuación 2.13. Ley de Afinidad: Flujo

- La cabeza de presión es proporcional al cuadrado de la velocidad de la revolución:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

Ecuación 2.14. Ley de Afinidad: Cabeza de Presión

- La potencia BHP varía directamente con el cubo de la velocidad:

$$\frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

Ecuación 2.15. Ley de Afinidad: Potencia de la Bomba

Donde:

Q[GPM]: es el flujo volumétrico.

N[rpm]: es la velocidad de la revolución.

H[m]: la cabeza de la presión de l bomba o abanico.

BHP[W]: es la potencia de la bomba.

Estas leyes suponen que la bomba o la eficiencia del ventilador se mantienen constantes. En otras palabras, $\eta_1 = \eta_2$. Las fórmulas muestran que si se disminuye la velocidad de la bomba en un 50%, el caudal también se reducirá en un 50%. La altura se reducirá al 25%, y el consumo de energía se reducirá al 12,5%.

2.1.3. SELLOS MECÁNICOS

Los dispositivos de sellado son elementos cuya finalidad es evitar la fuga de un fluido que se puede producir entre dos partes de un recipiente que contiene un fluido a determinada presión. Si las partes que contienen el fluido se encuentran en movimiento relativo, uno con respecto al otro, el sello que evita la fuga se conoce como sello dinámico. El sellado dinámico se aplica en las bombas centrífugas, y se ubican en el punto donde el eje en movimiento atraviesa la pared de la carcasa.

Para el caso de las bombas centrífugas de procesos en donde no es permitida la fuga de producto al exterior, se emplean sellos mecánicos, en donde las superficies de sellado son perpendiculares al eje y el contacto es en la dirección axial del mismo. Ver Figura 2.8.

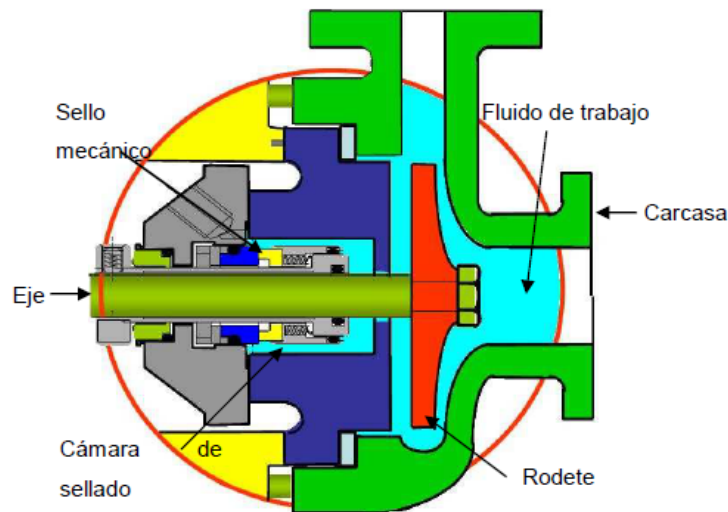


Figura 2.8. Montaje de sello montaje

Como se observa en la Figura 2.9, un sello mecánico se compone de una parte fija y una móvil. El fluido bombeado empuja el sello hacia afuera de la carcasa, esto hace que la parte móvil o anillo primario se encuentre en contacto con la parte fija o asiento. Debido a que el anillo primario es desgastable, el sello cuenta con un resorte para compensación y mantener las caras del anillo primario y asiento siempre en contacto evitando la fuga de producto.

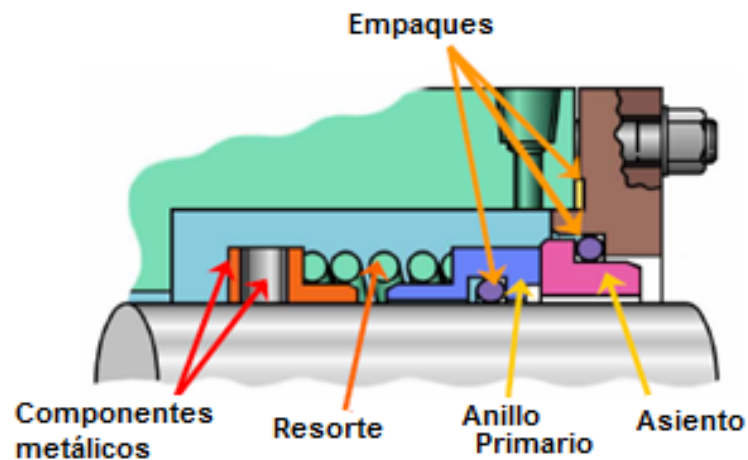


Figura 2.9. Partes del sello mecánico

2.1.4. VÁLVULAS DE BOLA

Las válvulas de bola, como su nombre lo indica, son válvulas que utilizan una bola para cortar, regular o iniciar el flujo de un líquido. Se abre mediante el giro del volante que se une mediante un eje a la esfera o bola perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada la perforación se encuentra perpendicular a la entrada y salida, cortando el flujo.

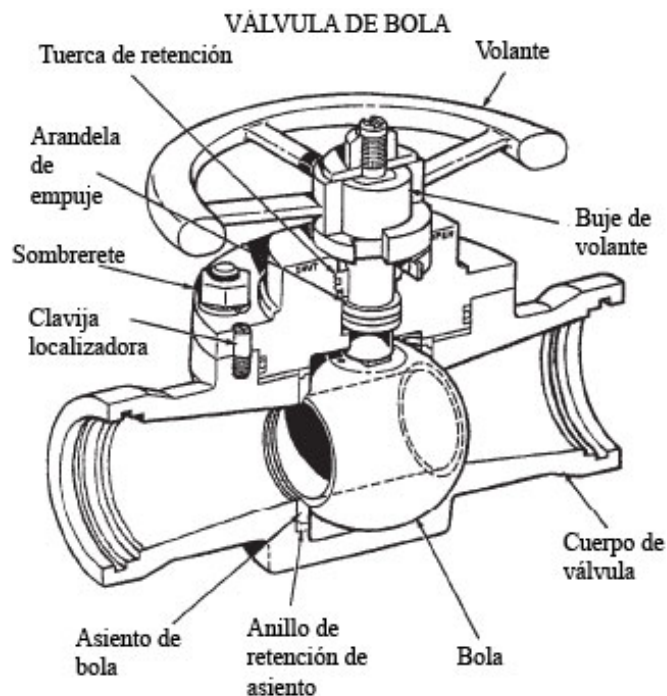


Figura 2.10. Válvula de Bola

2.1.5. VARIADOR DE VELOCIDAD

El variador de velocidad es un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos, empleados para controlar la velocidad de giro de motores. Estos controladores de velocidad se emplean en una amplia gama de

aplicaciones industriales, como ventiladores, aire acondicionado, sistemas de bombeo, tornos, bandas transportadoras, entre otros.

El motor a inducción tipo jaula de ardilla es el más utilizado para aplicaciones industriales. La velocidad del motor se puede decir que es fija o constante, ya que depende de su construcción interna (número de polos), o de la alimentación de la línea, la misma que mantiene una frecuencia determinada ya sea de 50 o 60 Hz. La siguiente expresión determina la velocidad de un motor asíncrono:

$$N_s = \frac{120f(1-s)}{P}$$

Ecuación 2.16. Velocidad Asíncrona

Donde:

f : es la frecuencia de la fuente de alimentación.

P : es el número de polos del estator.

S: deslizamiento

Por tanto, para lograr la variación de la velocidad del motor, es necesario manipular la frecuencia de alimentación. Esto es posible mediante un dispositivo electrónico, el mismo que tiene la capacidad de modular la señal de alimentación del motor modificando la frecuencia y par del motor, transformando así los parámetros estáticos en variables. Cabe destacar que al momento de variar la frecuencia se tiene que compensar la tensión de entrada, para evitar la saturación del flujo magnético y una consiguiente corriente elevada que dañaría al motor.

Dentro de las ventajas del uso de variadores de velocidad en un proceso se puede destacar:

-
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
 - Control en la aceleración y frenado progresivo.
 - Limita la corriente y par de arranque.
 - Permite la configuración para rampas lineales o en "S" de aceleración y desaceleración regulables en el tiempo.
 - Consigue ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado.
 - Cuenta con sistemas de protección para el motor, ya sea por sobrecarga, sobrecorriente o falla en la alimentación.
 - Contiene un microprocesador interno.
 - Mejora el rendimiento del motor.
 - Permite visualizar y monitorear las variables del motor tales como, tensión, frecuencia, corriente, entre otras.
 - Control del torque del motor y posicionamiento de gran precisión.

Las desventajas del uso de variadores de velocidad radican principalmente en su alto costo, por lo que el análisis de la necesidad de implementación de uno en el proceso debe ser tomado en cuenta.

2.1.5.1. ETAPAS DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD. El variador es un dispositivo electrónico que permite el control de velocidad de un motor mediante la modulación de la señal de alimentación. Para lograr de manera general dicho trabajo,

los variadores cuentan con tres etapas (Figura 2.11) que manipulan la señal de alimentación de la línea hasta que llega al motor.

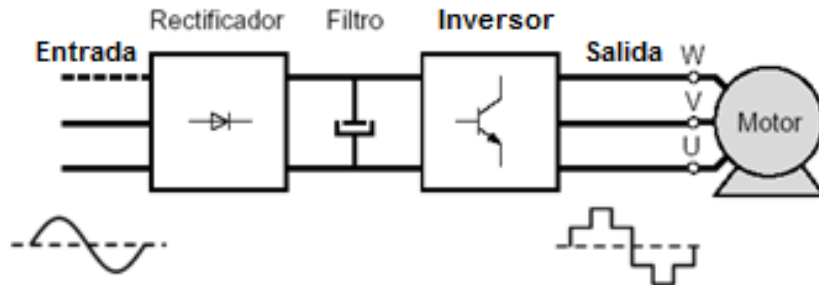


Figura 2.11. Componentes de un variador de velocidad

RECTIFICADOR. En esta etapa se convierte la energía alterna de entrada en corriente continua. Este proceso se realiza mediante un puente trifásico de diodos o tiristores (puente controlado).

FILTRO. Forma parte del bus DC. El filtro suaviza la tensión rectificada y también reduce la emisión de armónicos. En esta etapa el sistema también puede componerse de un circuito de freno chopper que controla las sobretensiones que se presenten en el bus DC por motivos de retorno de energía desde el motor. Cuando el bus DC se sale de sus límites de operación se activa el circuito chopper redirigiendo la corriente hacia unas resistencias de calentamiento disipando la potencia excesiva.

INVERSOR. En esta etapa la tensión continua es transformada en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. El circuito inversor se conforma de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Para activar el paso de corriente por un ramal de los IGBT, se emplea un sistema de control de generación de pulsos basado generalmente en modulación de ancho de pulso (PWM). El controlador es un microcontrolador de aplicación específica o ASIC, el mismo que a partir de las características e información del motor genera el patrón de activación de

los transistores generando a la salida una onda casi senoidal. En algunos casos a la salida se tiene un transformador o filtro senoidal para suavizar la señal de salida.

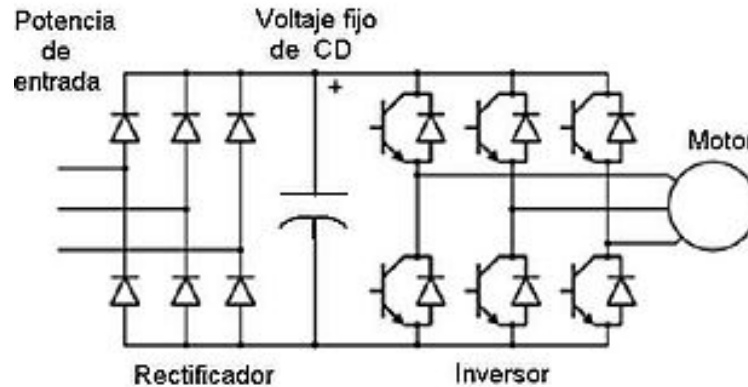


Figura 2.12. Circuito general de un variador de velocidad

2.1.5.2. TIPOS DE VARIADORES DE VELOCIDAD. Existen diferentes maneras de controlar un motor de inducción. Las principales diferencias entre ellos son el desempeño del motor, viabilidad, costo y variables del motor que controla.

VARIADOR VOLTAJE / FRECUENCIA. Es el controlador más simple pero más usado en la industria. Es conocido como controlador escalar ya que actúa manteniendo una relación constante entre voltaje y frecuencia a fin de mantener el torque constante durante su operación. Sin embargo, el controlador no alcanza una buena precisión en velocidad y torque debido a que no maneja directamente el flujo en el estator y el par. El sistema de control se basa en PWM.

CONTROL VECTORIAL. El movimiento del motor se produce mediante la repulsión de dos imanes, uno en el estator y otro en el rotor. Entonces, se puede asumir que si el imán del estator tiene la posición y magnitud adecuada aseguraría una rotación del motor en cualquier estado de carga. Esto se consigue mediante la creación de un vector de flujo magnético en el entrehierro del motor por parte del

variador de velocidad mediante una onda de frecuencia y voltaje adecuados para el fin.

La onda formada por el sistema de control permite un control de hasta 1% de precisión. La desventaja principal es la gran capacidad de procesamiento requerida para lograr dicho control.

CONTROL DE TORQUE DIRECTO O DTC. En este caso es posible el control directo del flujo en el estator y del torque, mediante la selección de la conmutación ideal en el inversor de corriente. Este método de variadores de velocidad permite un trabajo continuo del motor a diferentes velocidades manteniendo el torque apropiado. La lógica DTC se basa en la identificación y control adaptativo del motor, sin necesidad de sensores en campo.

El DTC, es un principio de controlador AC optimizado, donde la conmutación del inversor (DC/AC) manipula directamente las variables del motor: flujo magnético y torque. Las señales de voltaje de bus DC, la posición de los conmutadores del inversor y la corriente del motor eléctrico, son entradas para un modelo matemático del motor, el cual produce un valor exacto del flujo magnético actual del estator y torque cada 25 microsegundos. Los comparadores de dos niveles, de torque y flujo del motor, evalúan el valor actual con el que producen los controladores de referencia de flujo y torque. Las salidas de los comparadores de dos niveles son actualizadas en cada ciclo de control, e indican si el flujo o el torque deben ser variados. Dependiendo de las salidas de los comparadores de dos niveles, la lógica de control calcula la posición óptima de los conmutadores del inversor. De esta manera se determina el voltaje y corriente del motor, influyendo directamente en el torque y flujo magnético. El selector óptimo de pulsos se conforma de un Procesador digital de señales (DSP) de 40MHz junto con un circuito integrado de aplicación

específica (ASIC). En la Figura 2.13 se muestra el diagrama de bloques del sistema de control DTC.²

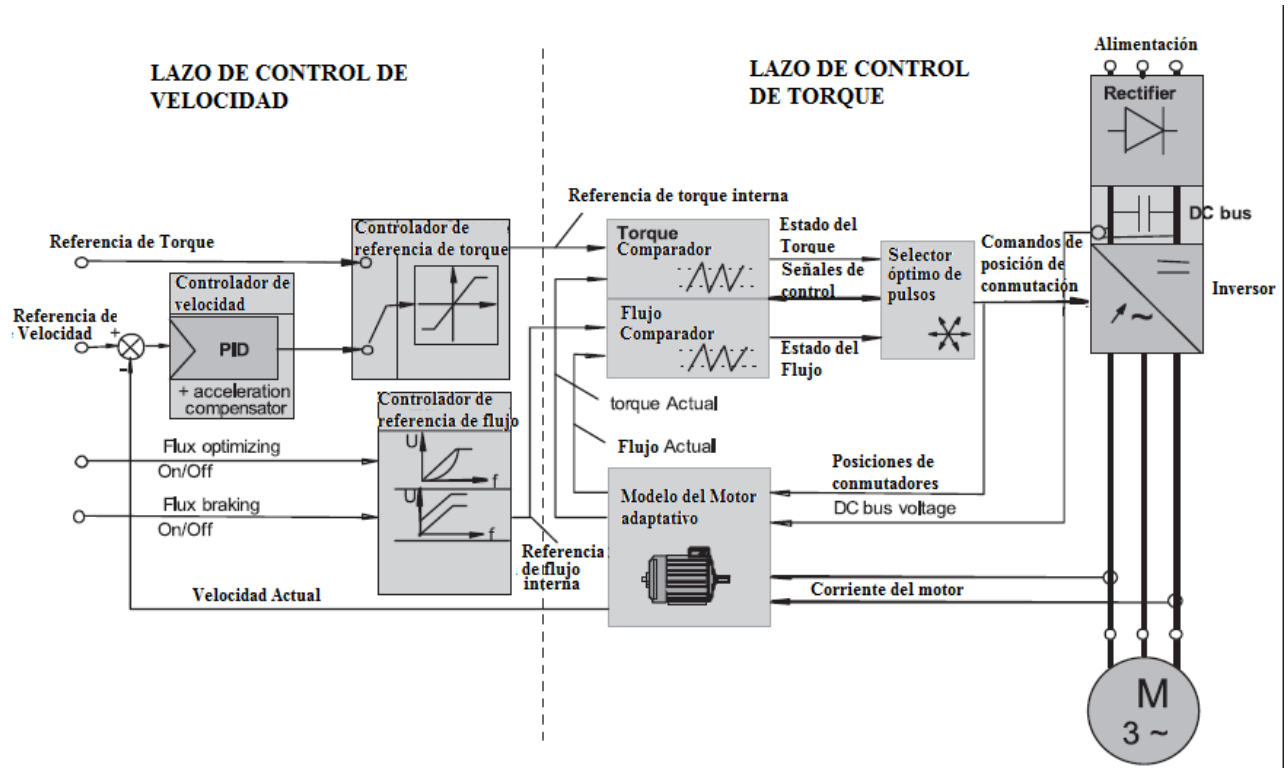


Figura 2.13. Diagrama de bloques DTC

2.1.6. SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, flujo, presión, nivel, velocidad, entre otras. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica, tensión eléctrica o corriente eléctrica.

² ABB. Technical Guide N1: Direct Torque Control. Helsinki: ABB, 2002

2.1.6.1. RTD

FUNDAMENTOS. Los detectores de temperatura resistivos, o mejor conocidos como RTD (Resistive Temperature Detector), son básicamente resistencias sensibles a la temperatura. Su principio de funcionamiento es basado en el cambio predecible de resistencia de un conductor con respecto a la variación de su temperatura. Es un dispositivo de coeficiente de temperatura positivo, lo que significa que la resistencia aumenta con la temperatura. Al calentarse un metal existirá mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación y por tanto mayor resistencia. La propiedad resistiva de un metal es llamado resistividad, ésta define las secciones longitudinal y transversal necesarias para fabricar un RTD de un valor dado. En un metal o conductor, la resistencia es proporcional a la longitud e inversamente proporcional al área transversal:

$$R = \frac{r * L}{A}$$

Ecuación 2.17. Resistencia de RTD

Donde:

R [Ω] = resistencia.

r [Ω] = resistividad.

L = longitud.

A = área transversal.

MATERIALES DE LAS RTD. Los criterios más importantes al momento de seleccionar el material de una RTD son:

- El material debe ser maleable para que pueda ser formado en pequeños cables.
- Debe tener una curva estable.

- El material también debe ser resistente a la corrosión.
- Que el material tenga una resistencia lineal vs la pendiente de la temperatura.

El platino es el material más empleado en las RTDs, tiene la mejor precisión y estabilidad. Su coeficiente de temperatura es $0.00385 - 0.003923 [1/^{\circ}\text{C}]$ y su rango de temperatura está va desde -269 a $+593[^{\circ}\text{C}]$. Su curva de resistencia con respecto a la temperatura es bastante lineal y el rango de temperatura es el más amplio de los materiales comunes de una RTD. El platino tiene una resistencia muy alta, lo que significa que sólo una pequeña cantidad de platino se requiere para fabricar un sensor.

El cobre, el níquel y el hierro níquelado también son materiales que emplean las RTDs. Se utilizan principalmente en aplicaciones de poco costo y que no sean críticas.

PT-100. Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0°C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Este aumento no es lineal, pero si es creciente de tal manera que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

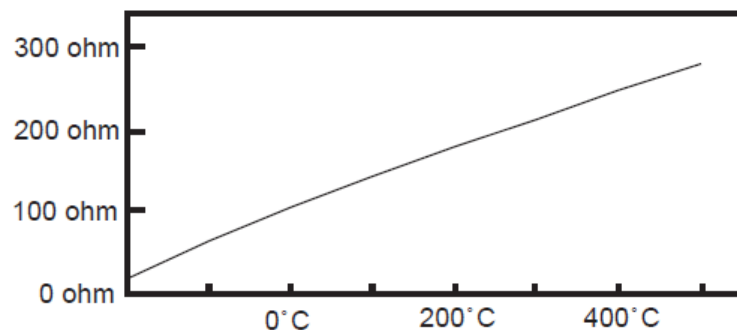


Figura 2.14. Curva característica de una Pt100

Cuando se trata de una aplicación industrial, las Pt100 se encuentran encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material. En un extremo está el elemento sensible y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio.

Existen 3 modos de conexión para las Pt100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto. A continuación se describirán cada uno de ellos:

- Con 2 hilos: El modo más sencillo de conexión es con solo dos cables. En este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable. Al realizar una medición, se tendrá el valor total $R(t)+R_{c1}+R_{c2}$ en vez de $R(t)$. Es recomendable utilizar un cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así disminuir el error en la lectura.

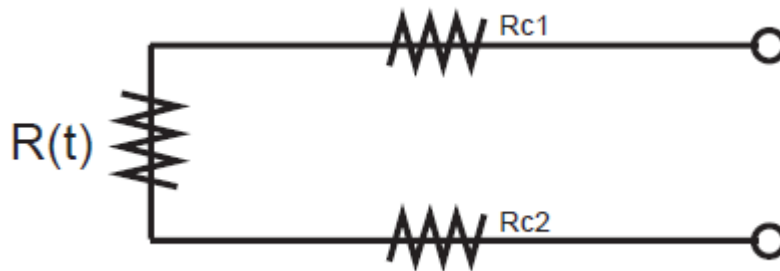


Figura 2.15. Circuito equivalente RTD 2 hilos

- Con 3 hilos: Es el modo más utilizado de conexión y disminuye el error generado por los cables. En este caso es necesario que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica. Para obtener el valor de resistencia, se hace pasar una corriente conocida a través de los cables azul y verde con lo cual el instrumento mide $2R_c$. Luego se mide la resistencia por los cables café y azul para finalmente restarle $2R_c$ al valor medido y obtener $R(t)$.

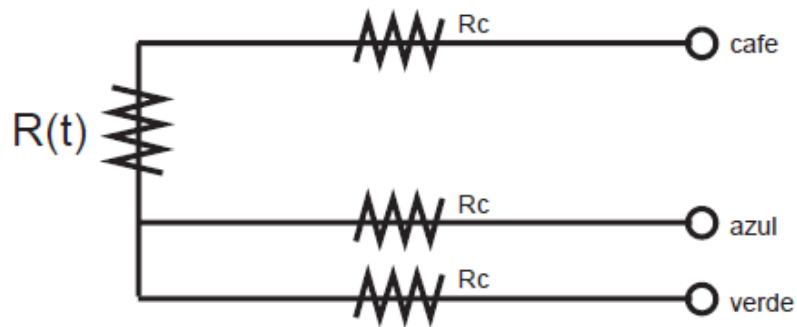


Figura 2.16. Circuito equivalente RTD 3 hilos

- Con 4 hilos: El método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) pero el instrumento lector es más costoso. Tal como muestra la Figura 2.17, por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$ provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$. Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables R_{c2} y R_{c3} será cero ($V=Ic \cdot R_c=0 \cdot R_c=0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$. Finalmente el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir V medido, entre la corriente I conocida.

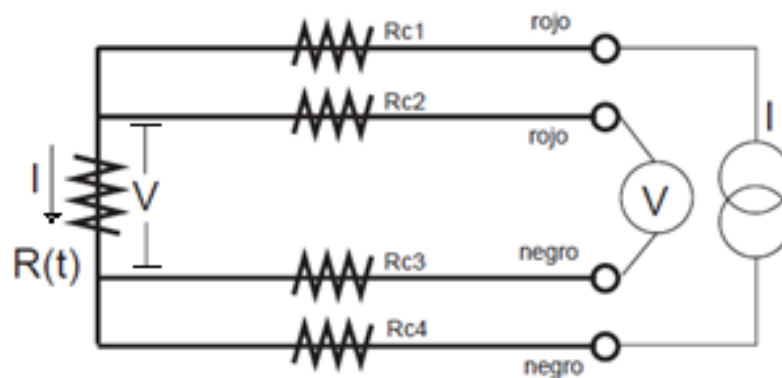


Figura 2.17. Circuito equivalente RTD 4 hilos

2.1.6.2. SENSORES DE PRESIÓN. Un sensor de presión es un dispositivo mecánico o electromecánico, cuya función es determinar la presión típicamente en gases o líquidos. Entre los elementos primarios de medición se encuentran:

- Instrumento de Bourdón. Tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado en un extremo. Al ocurrir un aumento de presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse transmitiendo el movimiento a la aguja indicadora.

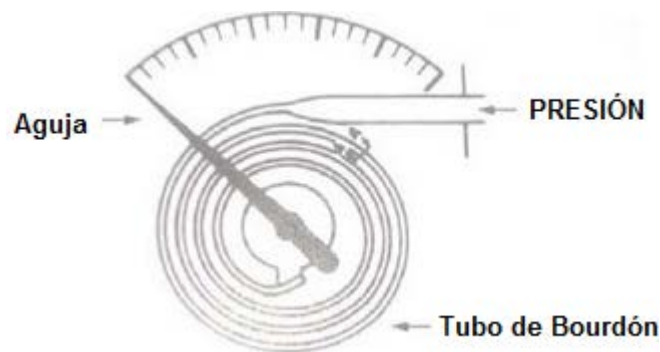


Figura 2.18. Instrumento de Bourdón

- Instrumentos a Diafragma. Es una fina lámina de metal generalmente circular soportada por sus bordes que se deforma por la aplicación de presión.

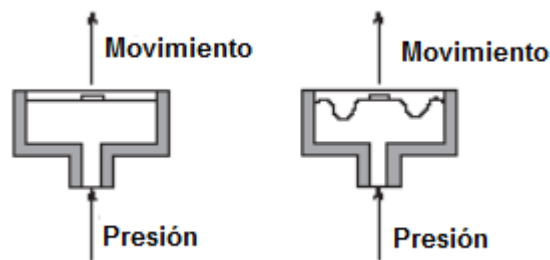


Figura 2.19. Instrumentos a Diafragma

- Instrumentos a Fuelle. Similar al instrumento de diafragma, está conformado por una sola pieza flexible axialmente que puede dilatarse o contraerse en presencia de una presión externa.

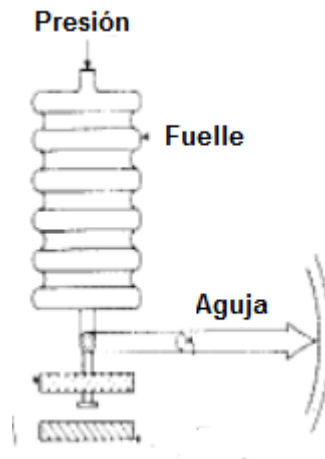


Figura 2.20. Instrumento a Fuelle

Por otro lado, los transmisores de presión transforman la información suministrada por el elemento primario en señales eléctricas mediante el uso de los siguientes principios:

- Galga extensiométrica, Al aplicar una fuerza sobre un conductor en forma de rejilla, la longitud del mismo aumenta y la sección disminuye, lo que produce variación de la resistencia eléctrica.
- Sistemas Capacitivos. Un capacitor modifica su capacitancia en función de la distancia entre sus dos placas. Por lo tanto, al incluir un elemento primario entre las placas de un capacitor, los desplazamientos por variación de presión producirán un cambio de valor de la capacidad eléctrica.
- Sistema Piezoeléctrico. Consiste en el cambio de las características eléctricas de ciertos elementos sometidos a deformación por presión.

- Sistema de Reluctancia Variable. Consiste en montar dos núcleos magnéticos a cada lado de un diafragma sensor. La deformación del elemento primario hace que los núcleos se desplazan en el interior de dos bobinas produciendo un cambio de reluctancia

2.1.6.3. sensores de nivel. Son empleados para la medición de nivel en sustancias tales como líquidos, material granular o polvos. La medida de nivel puede ser continua o puntual. Los sensores de nivel continuo miden dentro de un rango específico, determinando la cantidad exacta de una sustancia dentro de un recipiente. Por otra parte, los sensores de nivel puntuales solo indican si la sustancia se ubica por sobre o debajo de un punto de control de medición.

Entre algunos dispositivos de medición se pueden enumerar:

- Ultrasónicos no invasivos, miden el nivel continuo mediante la transmisión y recepción de una onda ultrasónica pulsada hacia la superficie del líquido.
- Mecánicos, mediante un flotador en la superficie, indican el nivel del líquido.
- Microonda, envían una señal la misma que es reflejada por objetos de alta conductividad tales como, superficies metálicas o líquido conductor.
- Conductivos, son sensores puntuales formados por dos electrodos que al contacto con el líquido conductor cierran un circuito eléctrico.
- Ultrasónicos invasivos, son sensores para medición puntual de nivel. Como se observa en la Figura 2.21, en la punta de prueba tiene un cristal piezoeléctrico emisor y otro receptor, separados por un orificio por el que viajan las ondas ultrasónicas. El principio en el cual se basa el sensor, es que en presencia de líquido, las ondas ultrasónicas se desplazan fácilmente pero son atenuadas cuando el orificio está seco, llegando al receptor una señal muy débil como para ser reconocida por el sistema electrónico.

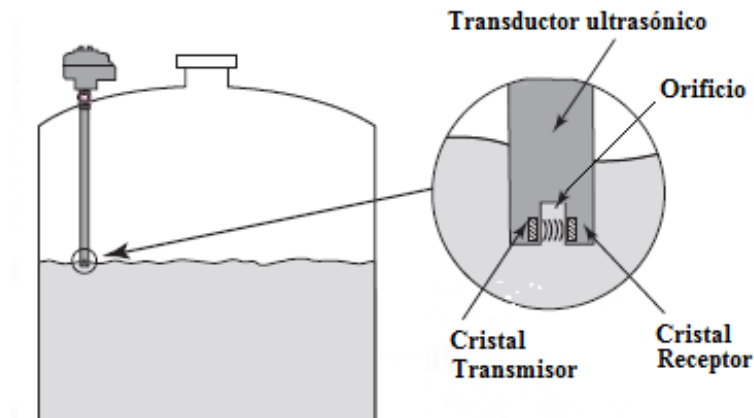


Figura 2.21. Conmutador de nivel: Principio de funcionamiento

2.1.6.4. SENSORES DE VIBRACIÓN. Son empleados para medir la presencia de vibraciones en una máquina, debido a problemas internos mecánicos. Existen dos tipos de sensores de vibración:

- Analógico, como los acelerómetros basados en tecnología piezoeléctrica o microelectromecánica (MEMS); miden la aceleración provocada por cambios bruscos de movimiento. Puede recolectar la información en los tres ejes de coordenadas.
- Conmutación, son dispositivos mecánicos que presentan si existe o no vibración en una máquina. El sensor tiene un resorte de fuerza ajustable, el cual regula la sensibilidad ante la presencia de vibraciones de la maquinaria. El imán de sujeción mantiene a la armadura del conmutador alejado del imán de enclavamiento. Una vez que el dispositivo es sometido a vibraciones con una aceleración que sobrepasa el punto de trabajo, el sistema de resortes aleja gradualmente la armadura del campo magnético del imán de sujeción, llevándola hasta el imán de enclavamiento y presionando el conmutador de activación. Para restablecer la posición original se puede presionar un pulsador de reset o emplear energía eléctrica en el resorte de reset. En la Figura 2.22, se muestra el diagrama interno del conmutador por vibración.

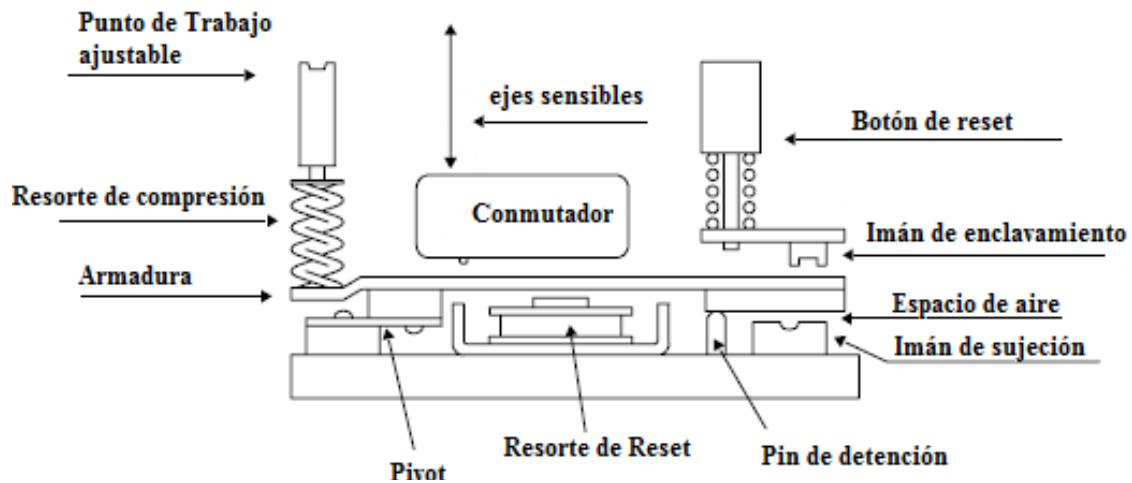


Figura 2.22. Vibraswitch funcionamiento

2.1.7. MEDIDOR MÁSIKO CORIOLIS

La medición de caudal por el efecto Coriolis, también conocida como medición directa o dinámica, da una señal directamente proporcional al caudal másico e independiente de las propiedades del producto como conductividad, presión, viscosidad o temperatura.

Según el efecto Coriolis, un objeto que se mueve en un sistema de coordenadas que rota con una velocidad angular experimenta una fuerza “Coriolis” proporcional a la masa y velocidad del fluido, así como a la velocidad angular del sistema.

La Tierra constituye un sistema de coordenadas en rotación. Si, por ejemplo, un objeto se deja caer desde una gran altura, al tocar la Tierra se habrá desviado de la vertical. Si el mismo objeto fuera obligado a caer por el interior de un tubo vertical, el efecto de desplazamiento lateral haría que el objeto ejerciera una cierta fuerza contra la pared del tubo. Si se introdujera por este mismo tubo el líquido procedente de la

impulsión de una bomba, la fuerza de Coriolis resultante contra la pared del tubo sería proporcional a la masa de caudal y el momento angular de la tierra.

La Figura 2.23 muestra el principio de funcionamiento de un medidor formado por un tubo en "U", alojado dentro de una caja de protección y aislamiento. El tubo vibra a cierta frecuencia y con la dirección de la Figura 2.23 (A).

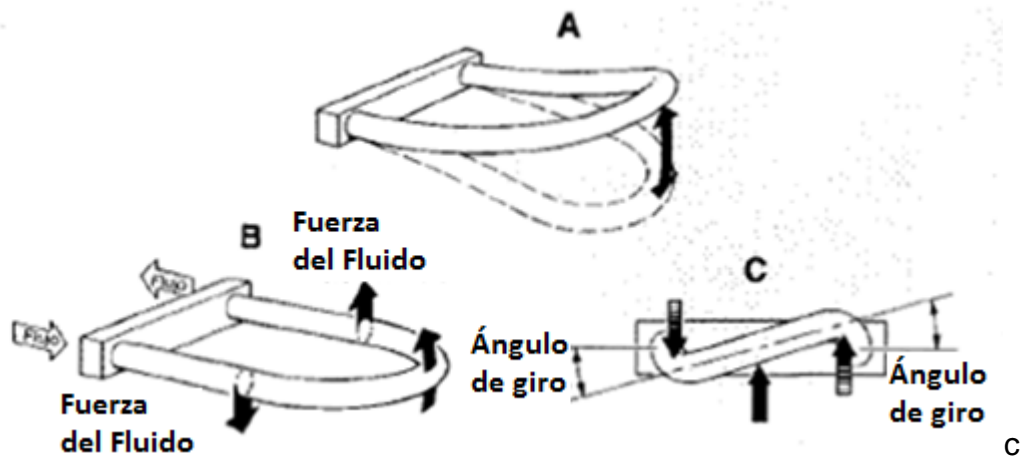


Figura 2.23. Principio de Medidor Másico Coriolis

Al entrar el fluido en el medidor, se ve forzado a tomar o seguir el momento de la vibración vertical del tubo. Cuando el tubo se está moviendo hacia arriba, el fluido que está entrando al medidor se opone a ser dirigido hacia arriba, empujando al tubo en dirección descendente, como aparece en la Figura 2.23 (B). Al tener el tubo su momento ascendente así como su máximo recorrido en el centro de la curva, al salir el fluido del medidor empuja al tubo en dirección ascendente. Estos dos empujes hacen que el tubo sufra un giro como el que muestra la Figura 2.23 (C).

Cuando el tubo se mueve hacia abajo debido a la segunda mitad del ciclo de vibración, se produce un giro en sentido contrario. Estos giros o retorcimientos característicos se denominan efecto Coriolis. De acuerdo a la segunda ley de

Newton, la cantidad de giro del tubo es directamente proporcional a la masa de fluido que pasa a través del medidor.

Unos detectores situados a cada lado del tubo miden la velocidad de la vibración. La masa se determina midiendo la diferencia de tiempo mostrada por los sensores de velocidad. Cuando el caudal es cero no existe ángulo de giro en el tubo, dando como resultado la no existencia de diferencia de tiempo entre los dos sensores de velocidad. Cuando pasa caudal se produce un giro del tubo, el cual hace que exista una diferencia de tiempo entre los sensores. La diferencia de tiempo es proporcional al caudal en masa.

2.1.8. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Un controlador lógico programable (PLC por sus siglas en inglés), es un microprocesador de aplicación específica para el control de procesos industriales. A fin de controlar diversos tipos de máquinas y procesos tiene un conjunto de entradas y salidas analógicas/digitales que son controladas mediante funciones implementadas en el microprocesador.

Las instrucciones de un PLC se realizan de manera secuencial y cíclica, una vez finalizado el programa vuelve a ejecutarlo desde el inicio.

Los principales elementos de un PLC son:

- CPU - Unidad central de proceso
- Fuente de alimentación.
- Dispositivos de comunicación.

-
- Módulos de entrada.
 - Módulos de salida.

La CPU es la encargada de ejecutar el programa almacenado y tomar las decisiones relacionadas al control de la máquina o el proceso de acuerdo a las variables monitoreadas. Los módulos de entrada adquieren toda la información enviada por sensores en tanto que los módulos de salida son los encargados de manipular actuadores. La fuente de alimentación provee la energía continua y/o alterna que necesite el PLC. Finalmente, mediante los módulos de comunicación se puede compartir información entre el PLC y otros dispositivos ya que manejan varios tipos de protocolos así como Modbus, Fieldbus, Ethernet, entre otros.

2.1.9. PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación son los encargados de presentar las reglas para la transmisión y recepción de la información entre los nodos de la red, para conseguir la comunicación entre ellos es necesario que empleen el mismo protocolo. Las principales tareas de un protocolo son las siguientes:

- Permitir localizar un ordenador de forma inequívoca.
- Permitir realizar una conexión con otro ordenador y el intercambio de información entre ordenadores de forma segura, independiente del tipo de maquinas que estén conectadas.
- Abstraer a los usuarios de los medios utilizados para el intercambio de información.

- Permitir liberar la conexión de forma ordenada.

Entre los protocolos más ampliamente utilizados en la industria ecuatoriana se encuentra Modbus.

2.1.9.1. MODBUS

FUNDAMENTOS. Es un protocolo de comunicación serial diseñado por MODICON en 1979 para su gama de controladores lógicos programables (PLC). Es muy robusto, su licencia es pública, su implementación simple y además maneja bloques de datos sin suponer restricciones, lo que lo ha convertido en el estándar más utilizado en la industria. Este protocolo define una estructura de mensajes que los controladores pueden reconocer y utilizar, sin importar el tipo de redes sobre las que se comunican. Modbus describe el proceso que un controlador utiliza para solicitar el acceso a otros dispositivos, la manera en que responderá a las peticiones de otros dispositivos y la forma en que los errores se detectan y se notifican.

Este protocolo utiliza control de acceso al medio tipo Maestro/Esclavo. En el proceso de comunicación de una red Modbus, el protocolo determina cómo cada dispositivo reconoce su dirección e identifica que el mensaje ha sido dirigido al mismo, determina el tipo de medidas que deben adoptarse y extraer datos u otra información contenida en el mensaje. Si es necesario responder, el dispositivo construye el mensaje y lo envía por Modbus.

Modbus permite direccionar un máximo de 63 dispositivos esclavos, su comunicación es asíncrona y soporta velocidades de transmisión desde los 75 a los 19200 baudios.

PROTOCOLO. La codificación de datos dentro de la trama puede hacerse en modo ASCII o puramente binario, según el estándar RTU (Remote Transmisión Unit). En ambos casos, cada mensaje obedece a una trama que contiene cuatro campos principales, según se muestra en la Figura 2.24. La trama ASCII incluye un caracter de cabecera y los caracteres CR y LF al final del mensaje.

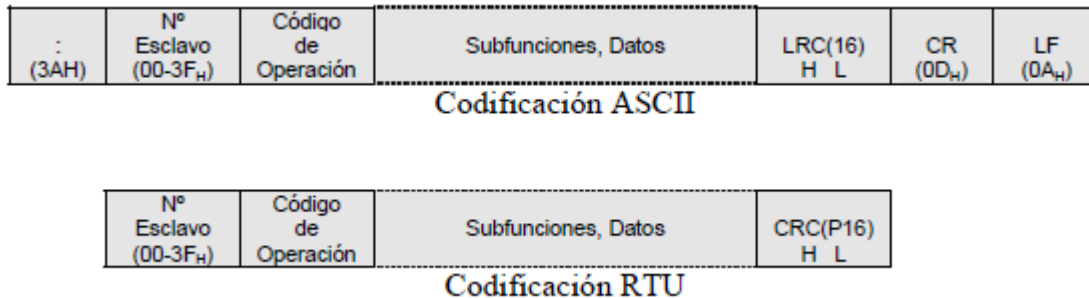


Figura 2.24. Trama de Modbus

2.1.9.2. MODBUS PLUS. Es una versión mejorada de Modbus y que se mantiene propietaria de Schneider Electric. Utiliza un coprocesador para manejar HDLC (High-Level Data Link Control). Permite velocidades a 1 Mbps, e incluye transformador de aislamiento en cada nodo.

2.1.10. INTERFAZ HUMANO – MÁQUINA (HMI)

La interfaz humano máquina (HMI), se refiere a cualquier dispositivo o programa que permite la interacción entre el operador, la máquina o proceso en cuestión. Si la HMI se localiza en una computadora tiene el nombre de software HMI, el papel fundamental de este sistema es facilitar la información del proceso al operador, para ser almacenada y permitir realizar acciones de control limitadas o tomar decisiones en caso de comportamientos irregulares del proceso. La HMI debe ser de fácil comprensión y de manipulación intuitiva de forma que el operador pueda navegar de manera eficiente a través del proceso.

2.1.10.1. FUNCIONES DE LA HMI. El objetivo principal de la HMI es brindar al operador la información necesaria del proceso para tomar decisiones dentro del mismo. Estas capacidades de la HMI se pueden definir en cinco puntos:

MONITORIZACIÓN. Es la capacidad de obtener y mostrar datos del proceso en tiempo real. Los datos se pueden mostrar en números, textos o gráficos animados que permitan una lectura rápida y sencilla. Las señales de la planta pueden ser adquiridas por tarjetas de entrada/salida, PLCs, Unidades remotas (RTU) o por medio de protocolos de comunicación desde los dispositivos de campo.

SUPERVISIÓN. Permite el ajuste de condiciones de trabajo del proceso desde el computador. Esta funcionalidad es un complemento del monitorización, ya que el operador puede estar al tanto del sistema mediante el análisis de las variables del mismo.

ALARMAS. Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Además se puede reconocer dichas fallas y saber que operador las verificó y solucionó el problema. Las alarmas son reportadas en base a valores límites de control preestablecidos, pueden ser de tipo digital (sistema alarmado o no alarmado), o analógicos (alarma alta-alta, alta, baja y baja-baja).

CONTROL. A través del software HMI se recomienda realizar acciones simples tales como abrir o cerrar actuadores y encender o apagar sistemas.

HISTÓRICOS. Es la capacidad de muestrear y almacenar datos de la planta para la optimización y corrección de procesos. Los datos pueden ser visualizados a manera de curvas de tendencias en donde se observa la evolución de las variables a través del tiempo.

2.1.10.2. TIPOS DE HMI. Se puede clasificar las interfaces dependiendo de la forma de interactuar con el usuario. Estas pueden ser:

HARDWARE. Conjunto de dispositivos o controles que permiten la interacción humano – máquina, con el fin de introducir o leer datos de un equipo o realizar acciones de control tal como la puesta en marcha o detención de un proceso.

INTERFACES GRÁFICAS DE USUARIO. Permiten comunicarse con el ordenador de una forma rápida e intuitiva representando gráficamente los elementos de control y medida de un proceso.

INTERFACES TÁCTILES. Constan de una pantalla sensible que permite interactuar, como si se trabajara con un panel de control físico.

Las interfaces HMI por software pueden desarrollarse en lenguajes de programación gráficos tales como C#, Java, Visual Basic, entre otros. Actualmente se cuentan con paquetes de desarrollo HMI, a través de los cuales se pueden realizar interfaces de manera rápida y sencilla. Estas cuentan con librerías especializadas para la representación de procesos industriales, además de los controladores necesarios para entablar las comunicaciones con los dispositivos de campo (protocolos de comunicación industrial).

2.2. ARQUITECTURAS DE ENTRADA Y SALIDA

Existen diversas maneras de manejar las entradas y salidas de un sistema de control, este concepto se conoce como arquitectura de entradas y salidas. Este tipo de arquitecturas se acopla tanto a sistemas de control centralizado como distribuido. En general las arquitecturas de E/S disponibles en el mercado son las siguientes:

-
- E/S Locales.
 - E/S Remotas (RIO).
 - E/S Distribuidas (DIO).

A continuación se realizará una descripción de cada una de ellas utilizando, como ejemplo, los controladores lógicos Quantum, de Schneider Electric, utilizados en la estación.

2.2.1. E/S LOCALES

Esta arquitectura consta de módulos de entrada y salida junto con una unidad de procesamiento (CPU), y una fuente de alimentación contenidos en un mismo backplane. Las E/S locales pueden ampliarse a un segundo backplane utilizando un extensor, además puede soportar hasta 1344 puntos de entradas y salidas. Dependiendo de la aplicación se dispondrá de un determinado número de módulos de E/S, los cuales se conectan en backplanes de 2, 3, 6, 10 y hasta 16 ranuras. La arquitectura de E/S locales, es una solución que se presenta cuando el cableado se puede realizar de una forma sencilla y eficaz desde el campo hacia el armario de control principal.

Para la configuración de la arquitectura de E/S locales, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Ranuras en backplane necesarias para la conexión de módulos E/S.
- Capacidad de la fuente de alimentación (CPS) suficiente.

-
- Palabras de direccionamiento requeridas para la configuración de módulos.
 - Ranuras de módulo opcional disponible para expansión.

Un CPU puede direccionar hasta 64 palabras de entrada y 64 palabras de salida. Un módulo E/S de 16 bits equivale a una palabra.

2.2.2. E/S REMOTAS (RIO)

Esta arquitectura se utiliza cuando la aplicación requiere E/S montadas de manera remota, en donde la CPU se encuentra únicamente en el backplane principal y cada una de sus derivaciones remotas posee módulos de comunicación y de E/S.

La arquitectura RIO, ofrece funcionalidad a largas distancias hasta de 5 Km y un rendimiento de 1.544 Mbps para un gran tráfico de datos de E/S.

El sistema de cables de RIO consta de una línea troncal, con tomas tipo T y cables de derivación que llegan a cada dispositivo remoto. En el backplane principal se localiza un módulo cabecera de comunicaciones, el cual establece el enlace con cada derivación (drop). A cada derivación se le asigna una dirección ID Modbus. Se pueden configurar hasta 31 derivaciones remotas. Cada derivación puede admitir hasta 128 palabras de entrada y salida (64 palabras de entrada y 64 palabras de salida). En la Figura 2.25 se muestran los componentes de la arquitectura RIO.

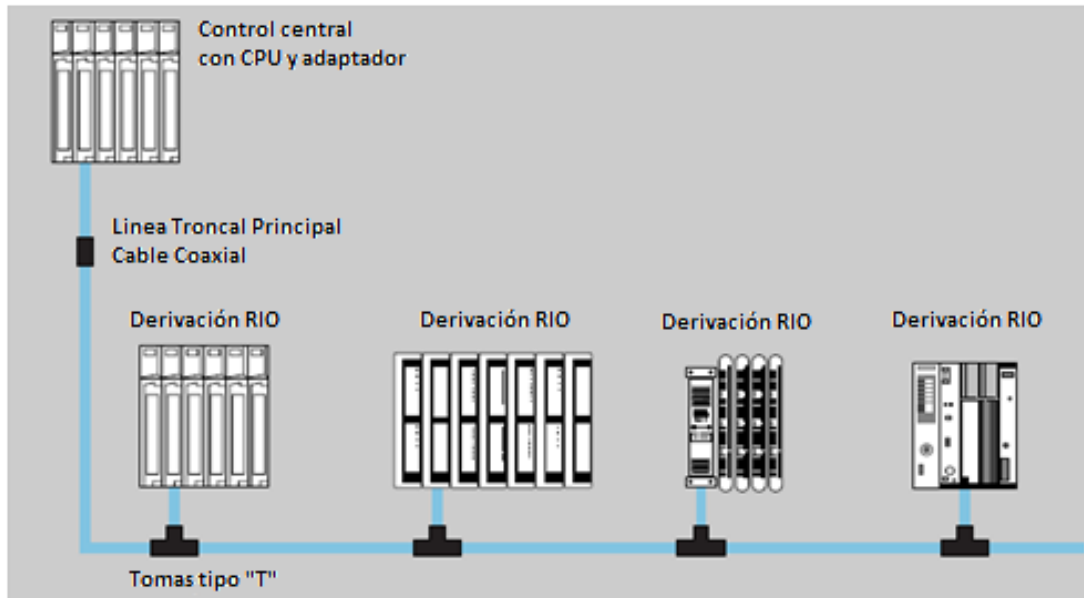


Figura 2.25. Arquitectura RIO

Cada acople tipo “T”, es necesario para aislar eléctricamente la derivación del canal y proteger al sistema de diferencias de impedancia o desconexión de cable. Para un correcto funcionamiento, la potencia mínima de la señal de comunicación es de 14 dB. Se cuenta con 35 dB disponibles desde la cabeza y se debe considerar en cuenta la pérdida de menos de 1 dB por acople de derivación.

Dentro de la arquitectura RIO se tienen dos topologías de cableado: por un solo cable principal o mediante topología de cable redundante. La última se implementa en caso de querer incrementar la confiabilidad de los equipos del sistema, ya que en caso de falla de un canal, el secundario asume la comunicación del sistema.

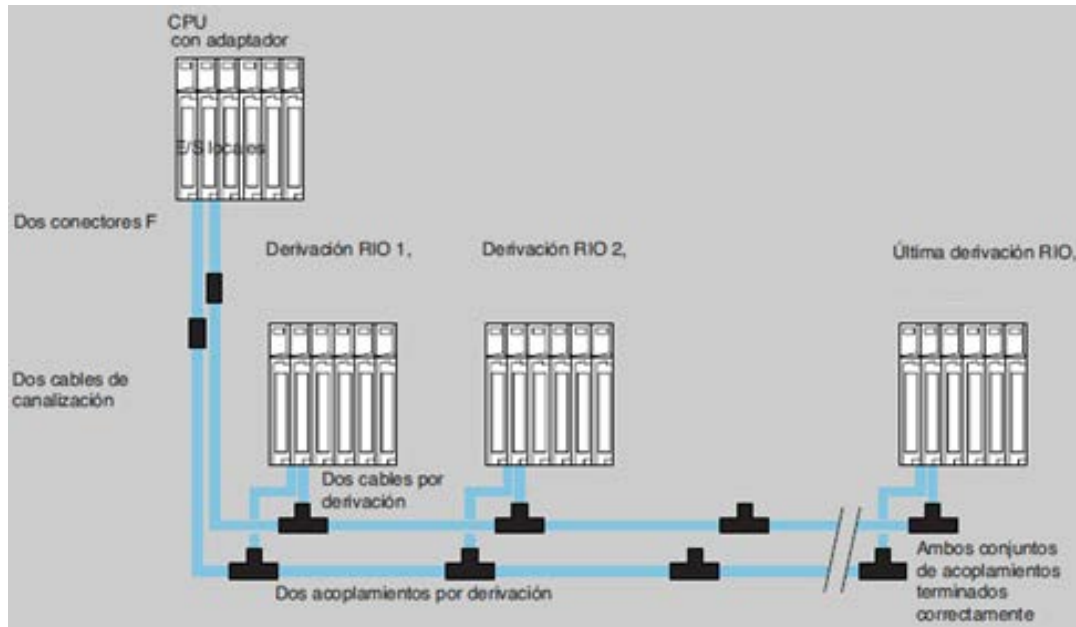


Figura 2.26. Arquitectura RIO redundante

2.2.3. E/S DISTRIBUIDAS (DIO)

La Arquitectura DIO utiliza los mismos módulos de entrada y salida como las arquitecturas locales y RIO, pero reduciendo el coste de instalación ya que se implementa mediante un cable par trenzado. Un adaptador especial para DIO con fuente incluida debe implementarse en cada derivación.

A diferencia de la arquitectura RIO, una derivación DIO es más pequeña pero la arquitectura puede soportar un mayor número de derivaciones logrando cubrir un área mayor. RIO soporta linealmente 4500 m, mientras que la arquitectura DIO soporta hasta tres cabezas de red por CPU y puede alcanzar hasta 1800 m por red utilizando repetidores.

La arquitectura DIO es basada en Modbus Plus. Una red DIO puede soportar 32 nodos hasta 500 m; 64 nodos hasta 1800 m con el uso de repetidores, e incluso mayores distancias mediante fibra óptica. Además tres cabeceras de red pueden ser

soportadas por la CPU, siendo una nativa (propio CPU) y dos más mediante módulos de interfaz de red, de esta manera se pueden tener hasta 189 derivaciones de E/S. Cada derivación puede direccionar 30 palabras de entrada y 32 de salida.

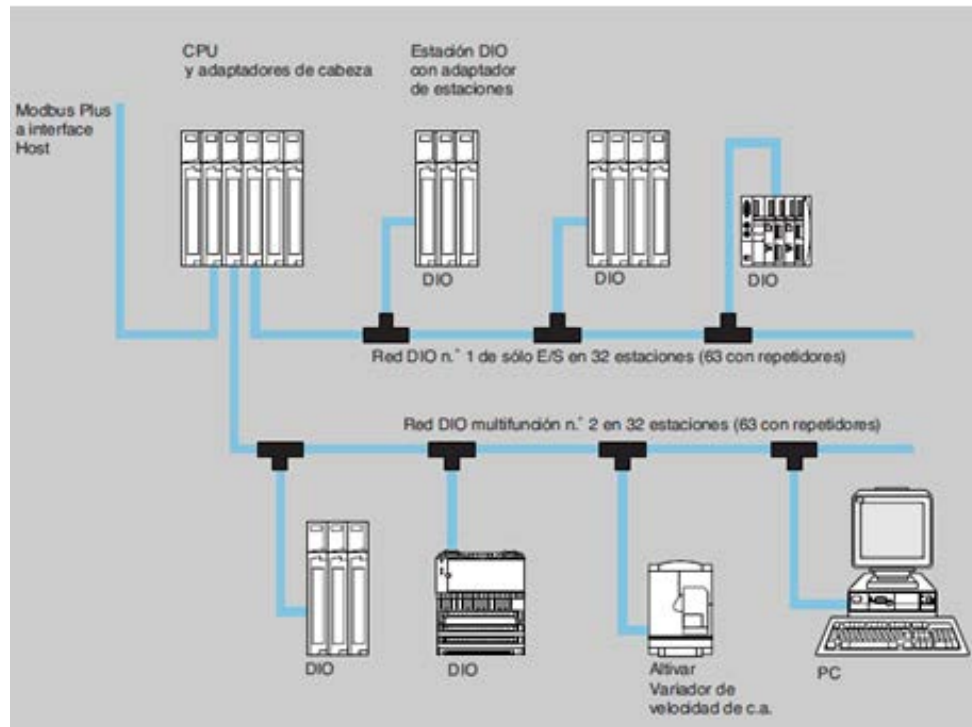


Figura 2.27. Red DIO

2.3. NORMATIVAS

Una norma o normativa es el establecimiento de leyes o reglas que se dan a equipos y/o procesos con el fin de garantizar su funcionamiento e interoperabilidad. Las Normas generan una base para la evaluación de la conformidad, de esta manera se puede determinar si un sistema funciona como debería.

Una normativa es preparada por organizaciones especializadas en el diseño, la producción, el funcionamiento, la instalación, el mantenimiento y la puesta a punto de equipos o procesos industriales. Las normativas han sido aprobadas después de un

minucioso estudio y dan la certeza para que cualquier persona puedan utilizarlas en cualquier parte del mundo, y la industria.

2.3.1. NORMAS NFPA 70 PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS

La norma National Fire Protection Association 70 (NFPA 70)³ o mejor conocida como NEC (National Electrical Code), contiene varias reglas donde se describe la manera en que se debe realizar una instalación eléctrica de cualquier naturaleza y todos los elementos que deben estar dentro de ella, por lo que únicamente se mencionaran las recomendaciones pertinentes para este proyecto. La Tabla 2.1 contiene un resumen de los artículos relevantes para el proyecto y su campo de aplicación.

Tabla 2.1. Normas NFPA 70 para instalaciones eléctricas

NORMAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS (NFPA 70 o NEC)		
ALAMBRADO Y PROTECCIÓN		
Artículo	Nombre	Descripción
200.3	Conexión a Tierra del Sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Es importante no alimentar un sistema mientras no tenga su correspondiente conector a tierra. • Todos los conductores a tierra deben estar conectados a un sistema común.
200.6	Medios de Identificación de Conectores a tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Un conductor puesto a tierra debe ser identificado con color blanco, gris continuo, tres franjas blancas o color verde en toda su extensión.
200.10	Identificación de terminales	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los dispositivos provistos con terminales para la conexión de conductores, deben tener terminales de tierra marcados propiamente para su identificación. • Para los dispositivos con depósitos de tornillo, el terminal del conductor de puesta a tierra deberá conectarse a la carcasa.

³ NEC (National Electrical Code). NEC Handbook 2005: Wiring and protections. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2005.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES		
Artículo	Nombre	Descripción
240.4	Protección de los conductores	<ul style="list-style-type: none"> • La protección no es requerida donde la interrupción del circuito puede ser un riesgo. Por ejemplo: magnetos para manejo de materiales. • En dispositivos de menos de 800 [A] nominales, se pueden emplear equipos de protección por sobre el valor nominal, si y sólo si el estándar de fusibles o breakers no coincide con la corriente del dispositivo.
MÉTODOS DE ALAMBRADO Y MATERIALES		
Artículo	Nombre	Descripción
310.2	Métodos de alambrado y materiales	<ul style="list-style-type: none"> • El conductor debe ser aislado. • El conductor debe ser de aluminio, de aluminio revestido de cobre o de cobre.
310.5	---	<ul style="list-style-type: none"> • El calibre mínimo de los conductores deben ser de acuerdo a la tabla 2.2.
310.8	Ubicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Los cables deben estar marcados de acuerdo al ambiente de instalación, temperatura máxima de operación y protección para ambientes corrosivos.
INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN AMBIENTES CLASIFICADOS PELIGROSOS (CLASE 1)		
Artículo	Nombre	Descripción
501.10	Métodos de Cableado	<ul style="list-style-type: none"> • Se usarán tubería tipo conduit roscado de metal rígido o de acero intermedio. • El cableado debe ser instalado y soportado de manera que se evite estrés de tensión en los acoples de terminación. • Todas las cajas de paso, conectores, acoples deben ser enlistados para Clase 1 División 1 y 2.
501.15	Sellado y Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Se colocará un sello conduit a 450 mm de un encapsulamiento a prueba de explosiones que contenga aparatos que puedan producir arcos, chispas o altas temperaturas, que sean consideradas una fuente de ignición en operación normal. • Todos los sellos, acoples, conectaros deben ser de tipo conduit y listados para clase 1, división 1 y 2.

INSTALACIONES CON TUBERÍA TIPO CONDUIT RÍGIDO (RMC)		
Artículo	Nombre	Descripción
348	Instalaciones con tubería RMC	<ul style="list-style-type: none"> Tubería RMC está hecha de hierro o aluminio. A lo largo de la tubería deben colocarse soportes con una separación de 3 metros y a 900mm a la salida de las cajas de conexiones. Ver Figura 2.28. El número de conductores no debe exceder el porcentaje de llenado máximo del 40% de la sección transversal, para más de dos cables En el doblado de la tubería, evitar que el diámetro efectivo interno se reduzca o se deforme el tubo.

Tabla 2.2. Calibre de conductores según el voltaje

Tensión Nominal de Conductor (Voltios)	Cobre AWG	Aluminio o Aluminio con revestimiento de Cobre AWG
0–2000	14	12
2001–8000	8	8
8001–15,000	2	2
15,001–28,000	1	1
28,001–35,000	1/0	1/0

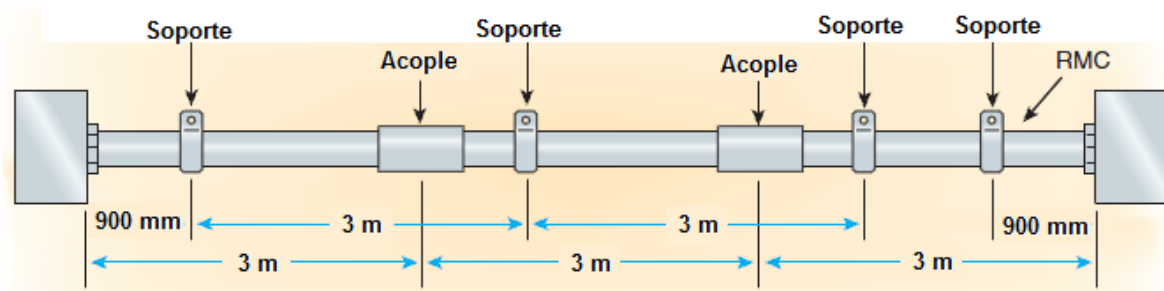


Figura 2.28. Ubicación de soportes

2.3.2. NORMAS NEC 430 PARA INSTALACIÓN DE MOTORES

El artículo 430 de la NEC⁴, provee las recomendaciones necesarias a tomar en cuenta para la instalación de motores trifásicos tipo jaula de ardilla, considerando

⁴ NEC (National Electrical Code). NEC Handbook 2005: Equipments for general use. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2005. 543p (NEC 430).

circuitos de alimentación de motores, protección por sobrecarga y sobrecorriente, circuitos de control de motores, controladores de motor y centros de control de motores.

La norma NEC 430 se divide en diez partes. De la parte 1 a la parte 9, se encuentran distribuidas según la Figura 2.29, las cuales cubren los requerimientos de la instalación segura de un motor. Por otro lado, la parte 10 habla acerca de los sistemas de velocidad ajustable. La Tabla 2.3, contiene la descripción de la normativa NEC 430.

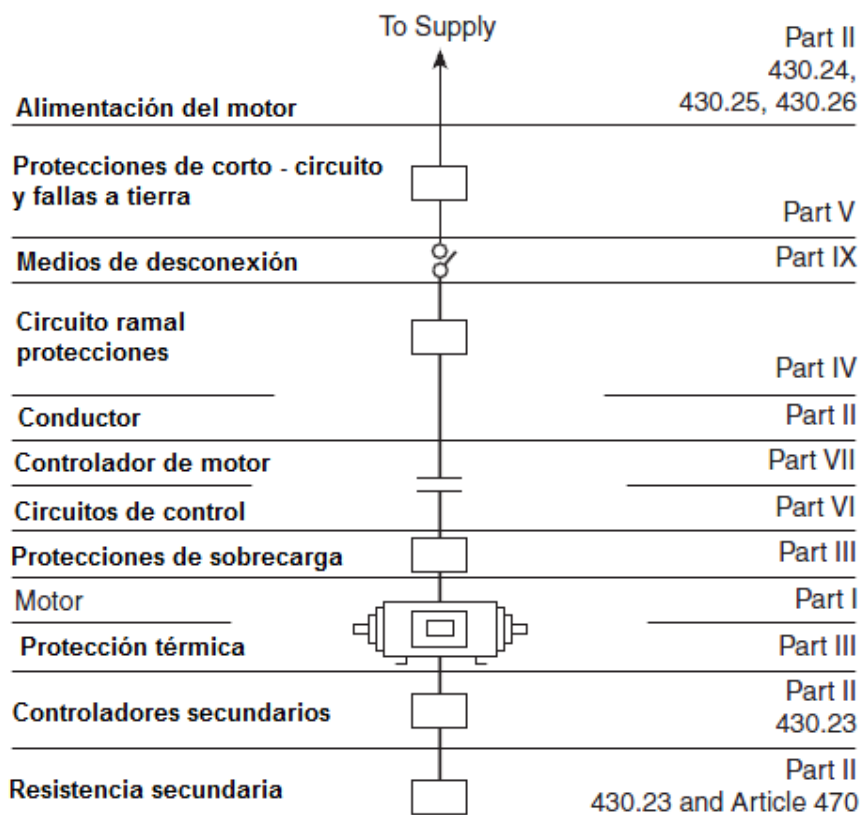


Figura 2.29. Distribución de NEC430

Tabla 2.3. Normativa para Instalación de Motores

NORMAS PARA INSTALACION DE MOTORES ELÉCTRICOS (NEC 430)		
Parte	Nombre	Descripción
2	Conductores del circuito del motor	<ul style="list-style-type: none"> Los conductores deben dimensionarse al 125% de la corriente a carga máxima del motor.
4 y 5	Protección por Sobrecorriente	<ul style="list-style-type: none"> Las protecciones deben ser capaces de manejar las corrientes de arranque del motor, es decir, deben dimensionarse sobre el pico máximo que se puede presentar. Un breaker instantáneo, se podrá dimensionar hasta un máximo de ocho veces la corriente nominal del motor.
3	Protección por sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> Las protecciones deben dimensionarse a un 130% de la corriente nominal.
6 y 9	Circuitos de Control y desconexión	<ul style="list-style-type: none"> El circuito de desconexión cortan el flujo de corriente hacia el motor y controlador, se coloca uno por fase. Circuito de control, permite la marcha y paro del sistema. Deben dimensionarse en función de la corriente de máxima carga, para motores a inducción de 500hp es de 590 [A].
SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD AJUSTABLE		
Parte	Nombre	Descripción
10	Conductores	<ul style="list-style-type: none"> Los conductores se disponen con una capacidad del 125% de la corriente de alimentación del dispositivo
10	Protección por sobrecarga	<ul style="list-style-type: none"> Si el controlador incluye un sistema de protección, un dispositivo adicional no será necesario.
10	Protección por sobre-temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Debido a la falta de circulación de aire por el motor a bajas velocidades, es necesario de implementación de un sistema de protección. Protector térmico acoplado dentro del motor. El variador de velocidad debe contar con una protección de sobrecarga. Relé de protección por sobretemperatura. Sensores de temperatura dentro del motor. Sistema de enfriamiento externo.
10	Puesta a Tierra	<ul style="list-style-type: none"> Debe tener un sistema de puesta a tierra si: <ul style="list-style-type: none"> Alimentación por cable de cubierta metálica. Si trabaja en lugares húmedos sin aislamiento. Si trabaja en área de riesgo. Si el motor opera a más de 150 [V]

2.3.3. CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS

La Estación de Bombeo “El Beaterio”, es considerada como un área de riesgo debido a las características de su proceso. Por lo tanto, es importante la denominación y caracterización de áreas peligrosas para la protección del personal.

Las denominadas áreas peligrosas, son aquellos lugares donde una sustancia inflamable está o puede estar en el ambiente y presente las condiciones necesarias para provocar una explosión o incendio. Estos lugares pueden ser aquellas instalaciones donde se manipulen, almacenen o procesen: líquidos, gases, vapores, polvos o fibras inflamables.

Los requerimientos para clasificar o determinar la existencia de áreas de riesgo con el fin de la realizar una selección y ubicación adecuada de equipo eléctrico, se puede obtener de la norma SHI – 021 de EP-Petroecuador, la misma que se basa en la NEC (National Electrical Code), artículo 500. Según la norma las áreas de riesgo se clasifican en clases y divisiones.

2.3.3.1. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN. Las áreas de operación se clasifican en función de “clases”, dependiendo de la naturaleza del producto que se escapa a la atmósfera. Por otro lado las “divisiones”, se plantean de acuerdo a la frecuencia y extensión con la que los productos inflamables estarán presentes. Entonces se puede diferenciar tres clases⁵:

CLASE 1. Son aquellas en las que gases o vapores pueden estar presentes en cantidades suficientes para producir una mezcla inflamable.

CLASE 2. Son las zonas que se consideran peligrosas por la presencia de polvo combustible.

⁵ NEC (National Electrical Code). NEC Handbook 2005: Special Occupancies. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2005. 646p (NEC 500).

CLASE 3. Son las áreas peligrosas debido a la presencia de fibras o materiales que flotan en el aire que sean inflamables.

DIVISIÓN 1. Son áreas donde, bajo condiciones normales de operación, reparación y mantenimiento, existen fugas de gases o vapores en concentraciones inflamables. También, debido a rotura o funcionamiento anormal del equipo de proceso, se libran gases o vapores y simultáneamente se puedan provocar fallas en el equipo eléctrico.

DIVISIÓN 2. Las áreas de división 2 son aquellas en las que se manejan, procesan o almacenan productos inflamables, pero se encuentran en recipientes o sistemas cerrados de los cuales solo puede escapar en caso de ruptura o mal funcionamiento del equipo del proceso.

GRUPOS. Determinan el material o producto que pueda generar una mezcla explosiva o inflamable. Para áreas Clase 1 se tienen los grupos A, B, C y D. Para Clase 2 se tienen E, F y G. La Tabla 2.4 contiene las especificaciones para cada grupo.

Tabla 2.4. Grupos según NEC500

GRUPO	EJEMPLO
A	Acetileno
B	Hidrógeno
C	Etileno
D	Propano
E	Polvo metálico
F	Polvo de carbón
G	Polvo de granos (fibra)

TEMPERATURA. Este parámetro indica la temperatura máxima de operación que puede alcanzar la superficie de un equipo. El objetivo de esta clasificación es evitar la ignición del material en el ambiente por temperatura y en base a una temperatura ambiente de 40°C. Ver Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Código T según NEC 500

TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	CÓDIGO T
450	T1
300	T2
280	T2A
260	T2B
230	T2C
215	T2D
200	T3
180	T3A
165	T3B
160	T3C
135	T4
120	T4A
100	T5
85	T6

La clasificación de áreas de riesgo ayuda a la selección de los equipos necesarios para su correcto funcionamiento dentro de determinados entornos. Alrededor del mundo se emplean varias normativas que regulan este tipo de instalaciones, las cuales varían en su nomenclatura, pero pueden contener el mismo principio. Por lo tanto es necesario conocer la correlación de las normas vigentes internacionalmente, ya que al momento de la adquisición de un producto puede presentar la norma del país de procedencia. Los principales organismos reguladores son el IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) en Europa, y la NEC en Estados Unidos. A continuación la Tabla 2.6 y Tabla 2.7 presentan las equivalencias entre normas.

Tabla 2.6. Equivalencias de Clasificación por Zonas y Clases

IEC	DEFINICIÓN	NEC
Zona 0 (gases) Zona 20 (polvos)	Área en donde una mezcla explosiva está presente continuamente y por períodos largos	Clase 1 División 1 (gases) Clase 2 División 1 (polvos)
Zona 1 (gases) Zona 21 (polvos)	Área en donde una mezcla explosiva puede ocurrir en operación normal	Clase 1 División 1 (gases) Clase 2 División 1 (polvos)
Zona 2 (gases) Zona 22 (polvos)	Área en donde una mezcla explosiva no es probable que ocurra en operación normal, y si ocurre por períodos cortos de tiempo	Clase 1 División 2 (gases) Clase 2 División 2 (polvos) Clase 3 División 1 (fibras) Clase 3 División 2 (fibras)

Tabla 2.7. Equivalencias de Grupos según IEC y NEC

GAS O MATERIAL	IEC	NEC
Metano	I	-
Acetileno	IIC	A
Hidrógeno	IIC	B
Etileno	IIB	C
Propano	IIA	D
Polvo metálico	-	E
Polvo de carbón	-	F
Polvo de granos (fibra)	-	G

Diferentes técnicas se utilizan para prevenir que un equipo eléctrico produzca una ignición en atmósferas explosivas. Acorde a la clasificación de áreas peligrosas, la Tabla 2.8 presenta la protección apropiada para los equipos eléctricos de acuerdo a las normas IEC60079 y NEC500.

Tabla 2.8. Sistemas de protección según clasificación

CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS	IEC	NEC
Blindaje antideflagrante – carcasa de equipos eléctricos, en donde una explosión interna no provoca ignición en la atmósfera explosiva.	Zonas 1 & 2 Exd	Clase 1 Divisiones 1 & 2
Seguridad Intrínseca – una técnica en la cual la energía eléctrica está limitada y cualquier chispa o calentamiento no es lo suficiente alto para provocar explosiones.	Zonas 0, 1 & 2 Exi	Clase 1 Divisiones 1 & 2

CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS	IEC	NEC
Seguridad aumentada – El equipo está diseñado para eliminar chispas y temperaturas altas.	Zonas 1 & 2 Exe	- -
Purgado y Presurizado – El equipo eléctrico está dentro de una carcasa que ha sido purgada de una mezcla explosiva y posteriormente presurizada, evitando la entrada de la atmósfera explosiva.	Zonas 1 & 2 Exp	Clase 1 Divisiones 1 & 2
Encapsulación – Los elementos eléctricos se encuentran encapsulados en materiales especiales	Zonas 1 & 2 Exm	- -
Inmersión en aceite – Los elementos eléctricos se encuentran inmersos en aceite.	Zonas 1 & 2 Exo	Clase 1 División 2
Llenado con polvo – El equipo está rodeado de una capa de polvo, como cuarzo, no permite el contacto con la atmósfera explosiva	Zonas 1 & 2 Exq	- -
Anti chispas – Los contactos se encuentran sellados y aislados de la atmósfera, superficies calientes son eliminadas	Zona 2 Exn	- -

2.3.4. NORMAS API

El Instituto americano del petróleo (API), es una asociación estadounidense dedicada a la industria petrolera y de gas natural. Este instituto tiene publicaciones importantes con respecto a aspectos técnicos de la industria, los cuales ayudan a aumentar la eficiencia de las operaciones, cumplir legislaciones nacionales e internacionales, cuidar el ambiente, garantizar la seguridad y salud del trabajador.

2.3.4.1. ALCANCE DE LA NORMA API 610⁶. El estándar cubre los requerimientos mínimos de bombas centrífugas para uso en la industria petrolera, química y de servicio de gas. Dentro de la norma se especifican las características apropiadas de funcionamiento para bombas centrífugas tipo: elevadas, entre rodamientos y suspendida verticalmente, para zonas de riesgo con atmósfera inflamable.

2.3.4.2. ALCANCE DE LA NORMA API 682⁷. Esta norma menciona los requerimientos mínimos y recomendaciones para sistemas de sellado en bombas

⁶ American Petroleum Institute. Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry Services: General. Washington DC: API, 1995 (API610-1)

⁷ ARIAS, Luis. Aplicaciones de sellos mecánicos en bombas de la industria petrolera ecuatoriana: Categorías, arreglos y tipos de sellos mecánicos según la norma API 682. Quito, 2008, 50p. Ingeniero Mecánico. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica

centrífugas para la industria petrolera, química y de servicio de gas. Dentro de la norma se incluye las características de los sellos como categoría, arreglo, montaje y tipos existentes dentro de la categoría de los sellos tipo cartucho.

Además la norma API 628 contiene los procedimientos recomendados para lubricación y enfriamiento de sellos mecánicos, los cuales se denominan planes API. Para el desarrollo del presente proyecto se definen tres planes API de posible implementación en la estación de bombeo del poliducto Q-A-R.

PLAN API 31. Este plan se designa para líquidos abrasivos, que podrían causar desgaste en las caras de los sellos. Consiste en hacer circular el líquido bombeado desde la descarga, hacia un separador ciclónico, el mismo que impulsa el producto hacia los sellos para su lubricación y enfriamiento. El separador ciclónico filtra el líquido bombeado, retirando los sedimentos.

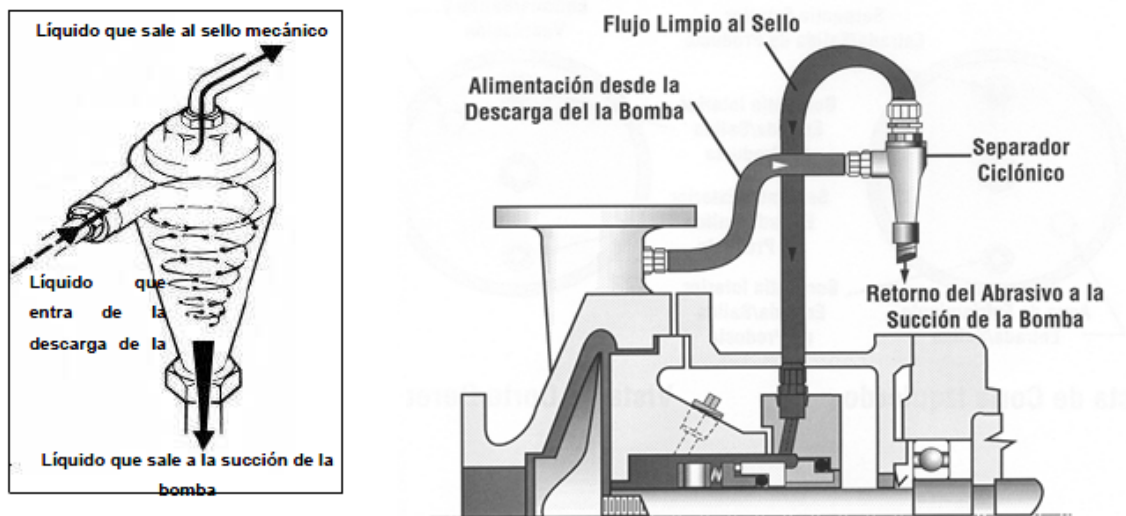


Figura 2.30. Separador ciclónico y Plan API 31

PLAN API 52. Es un sistema de enfriamiento para bombas que tienen arreglo de sello dual tipo 2, orientación cara – espalda según norma API 682, en donde las

fugas al exterior no son permitidas. Consiste en la circulación de un líquido amortiguador no presurizado desde el tanque de reserva hacia los sellos, los cuales impulsan otra vez el líquido cerrando el circuito.

En caso fuga, el fluido del producto se mezcla con el amortiguador, ingresando al tanque de reserva. Esto provoca un aumento de la presión del tanque de reserva y del nivel del líquido dentro del mismo. Para reconocer una falla de sello mediante este plan, es recomendable el uso de dos conmutadores de nivel (alto y bajo), que indiquen si existe suficiente líquido amortiguador o si ha subido en caso de falla. Además, es necesario un conmutador de alta presión para detectar aumento de la presión del tanque en caso de fuga.

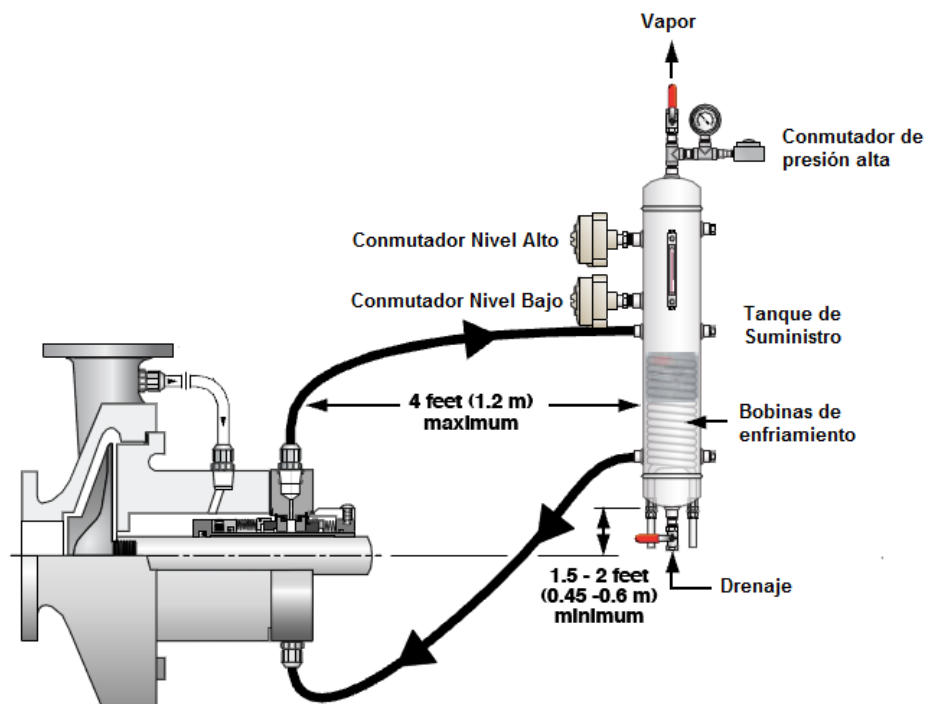


Figura 2.31. Plan API 52

PLAN API 53A. Es un sistema de doble sello presurizado usado en servicios donde un proceso de fugas a la atmósfera no es tolerado. Los sellos se encuentran

orientados espalda – espalda o cara – cara (API 682). Es usualmente elegido para productos sucios, abrasivos o polimerizantes que pueden dañar las caras de los sellos o causar problemas con el sistema de fluido de barrera.

El fluido de barrera en el tanque de suministro está presurizado a una presión mayor que en la cámara de sello, normalmente de 15 a 25 [psig] sobre la presión de la cámara. Esto garantiza que cuando se produzca la falla del sello interno, el líquido barrera ingrese a la cámara de sellado impidiendo que el bombeado salga, de esta manera el nivel del líquido barrera en el tanque desciende indicando que existe problema de sellado. Para reconocer la falla, es recomendable equipar al tanque de reserva con un conmutador o switch de nivel bajo o un conmutador de baja presión. La presurización del reservorio se la hace por medio de una fuente externa de nitrógeno o una línea presurizada por un sistema externo. En la Figura 2.32 se muestra la implementación del plan API 53A.

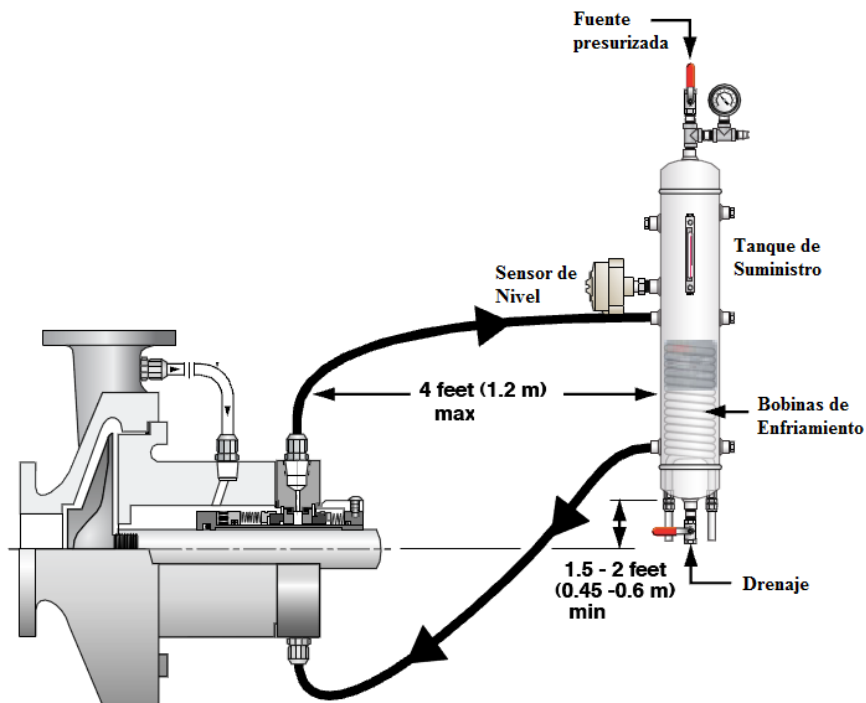


Figura 2.32: Plan API 53A

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN DEL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO DEL TERMINAL “EL BEATERIO”

3.1. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

El proceso de bombeo de la estación “El Beaterio”, inicia con un manifold de válvulas que direccionan el producto desde los tanques de almacenamiento hacia las bombas booster encargadas de elevar la presión, para realizar el resto de funciones del proceso.

A la salida de las bombas booster, pasa por una etapa de filtrado y después por un medidor de flujo tipo Coriolis, para conocer el volumen a transportar. Finalmente el producto llega a la etapa de bombeo en donde, dos grupos diesel o el grupo eléctrico, lo empujan a través de la línea para que pueda llegar a la Estación Reductora “Ambato”.

La Figura 3.1 contiene un diagrama de bloques general del proceso de bombeo, Partiendo desde el Terminal “El Beaterio”, hasta la Estación Reductora “Ambato”.

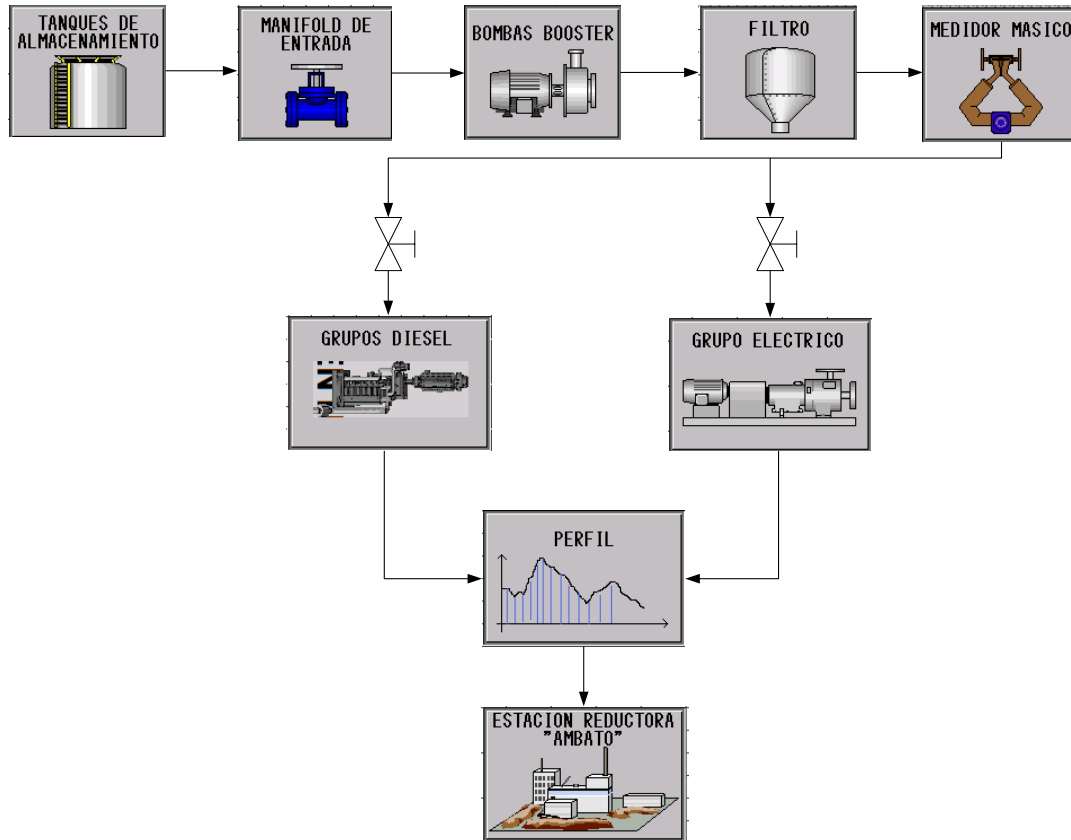


Figura 3.1. Diagrama de Bloques del Proceso

El grupo de bombeo eléctrico puede obtener un diferencial de presión suficiente para vencer el punto más alto de la línea (Cotopaxi), realizando el trabajo de dos grupos de bombeo diesel, lo que permite: eliminar la contaminación acústica, atmosférica, y tener un sistema de respaldo dispuesto a operar en caso de fallas de energía eléctrica.

El sistema de bombeo eléctrico se compone de las siguientes partes:

- Componentes electro - mecánicos
 - Motor eléctrico.
 - Bomba Centrífuga.
 - Sistema de enfriamiento de sellos.

- Válvulas de Bola
- Componentes del Sistema de Control
 - Variador de Velocidad.
 - Sensores
 - Sistema de control eléctrico de válvulas (limitorque).
 - Controlador Lógico Programable (PLC).
 - Interfaz Humano Máquina (HMI).

3.2. COMPONENTES ELECTRO – MECÁNICOS

3.2.1. MOTOR ELÉCTRICO

El grupo de bombeo eléctrico, cuenta con un motor⁸ de la marca ABB de inducción trifásico tipo jaula de ardilla, con montaje para piso, totalmente sellado, con enfriamiento por ventilador incluido y marco de hierro fundido.

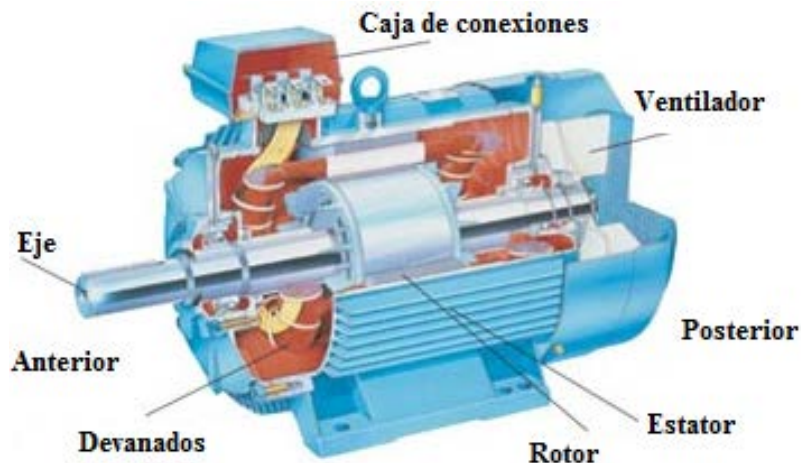


Figura 3.2: Vista General Motor

El motor cumple con las especificaciones de la norma de dimensionamiento de la IEC (IEC frame). De acuerdo al código del motor. El tamaño del mismo es

⁸ ABB. Motores de baja tensión para áreas peligrosas: Manual de instalación, funcionamiento, mantenimiento y seguridad. Zurich: ABB, 2007.

“355ML”, lo que corresponde a un peso de 2500 [kg]. Las dimensiones se muestran en la Figura 3.3 y la Tabla 3.1:

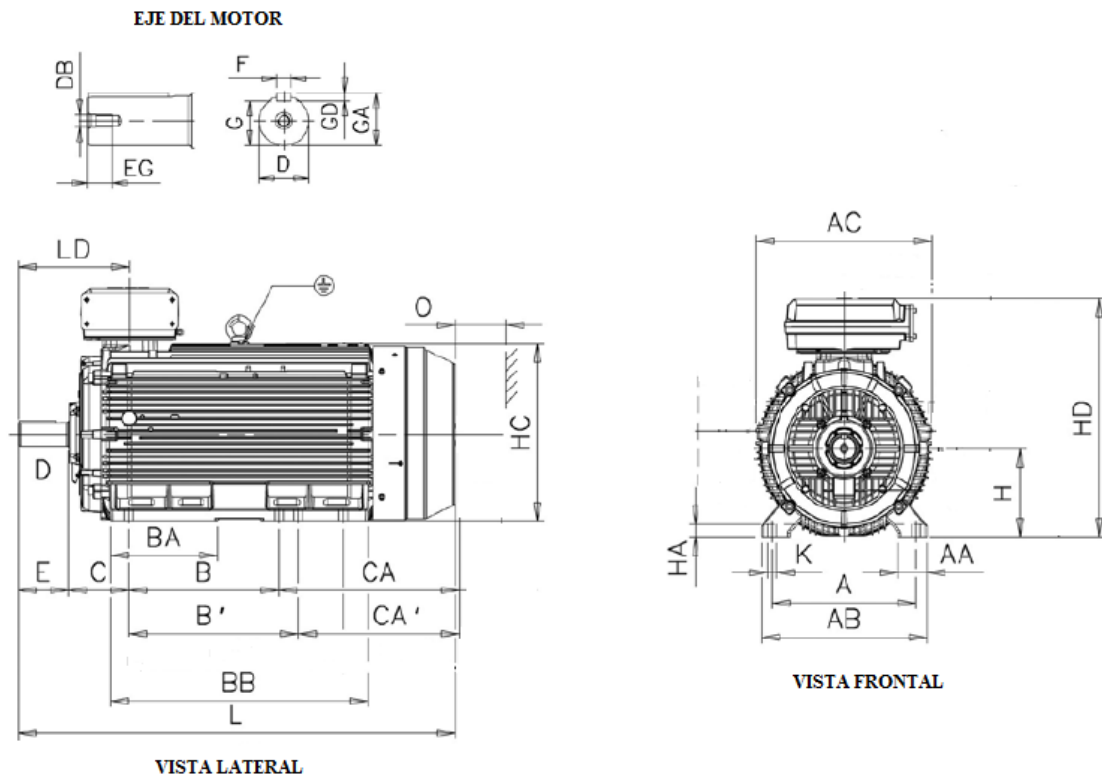


Figura 3.3: Dimensiones Motor

Tabla 3.1. Dimensiones Motor (mm)

Tamaño	A	AA	AB	AC	AD	B	B´	BA	BB	C	CA	CA´	D	DB
Tamaño	E	EG	F	G	GA	GD	H	HA	HC	HD	K	L	LD	O
355 ML	610	120	700	746	618	560	630	267	827	254	500	570	70	M20
355 ML	140	42	20	62.5	74.5	12	355	45	725	958	35	1514	397	130

Las características eléctricas nominales del motor según pruebas realizadas por el fabricante se muestran en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2. Características Eléctricas

POLOS	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Potencia (KW)	Velocidad (rpm)	Corriente (A)	Factor de Potencia	Rendimiento (%)
2	480 D	60	450	3586	635	0.89	96.8

Además, el motor cumple con la norma IEC60034-30:2008, que define los niveles de eficiencia para esta clase de motores.

Las exigencias del proceso de bombeo del Poliducto Q-A-R, requieren un motor que cumpla con las normas necesarias de protección ante riesgos de explosión y además que sea capaz de cumplir ciclos de trabajo continuo. El motor eléctrico está destinado a trabajos de ciclo continuo, con clasificación S1 (IEC60034-1). Además su carcasa es antichispas, lo cual lo convierte en un tipo de motor diseñado de tal manera que las chispas no puedan ocurrir en operación normal. Este tipo de protección permite ser usado en áreas riesgosas correspondientes a zonas 2 / 22 (IEC60079-10 y EN61241-1), en las cuales las posibilidades de explosión por gases y/o polvo en la atmósfera ocurren solamente por accidente y no durante el ciclo normal de operación.

Los rodamientos son parte fundamental para el trabajo del motor, por lo tanto necesitan ser reengrasados de manera periódica para asegurar su correcto funcionamiento y evitar sobrecalentamientos. La información de cantidad y calidad de la grasa es otorgada por el fabricante y especificada en la placa de lubricación, la misma que se localiza sobre la carcasa del motor. Los valores establecidos deben ser cumplidos en su totalidad ya que cumplen con el principio de lubricación L1 de ABB, el cual garantiza que el 99% de motores alcanzan su vida útil.

El motor tiene dos rodamientos, uno anterior y otro posterior, ambos corresponden al modelo 6316M/C3. La cantidad de grasa requerida es de 35 [g] y el período de reengrasamiento en horas de trabajo se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Tabla de Lubricación en Horas

MONTAJE	TEMPERATURA AMBIENTE °C	3600 r/min	3000 r/min
Horizontal	25	1200	2000
Horizontal	40	600	1000
Vertical	25	600	500
Vertical	40	300	500

El motor se encuentra montado de manera horizontal trabajando a una temperatura ambiente dentro del rango de 25 [°C] a 3600 [rpm]. El fabricante recomienda el uso de grasas de alta velocidad, entre las cuales se consideran: Kluber quiet BQH 72 – 102 o Lubcom Turmogrease PU703.

El motor está diseñado para las siguientes condiciones medioambientales:

- Límites de temperatura ambiente normal de -20 [°C] a + 40 [°C].
- Altura máxima 1000 m.s.n.m.

De acuerdo al manual de instalación, funcionamiento, mantenimiento y seguridad, este motor presenta un nivel de presión de ruido que no excede los 82 [dB(A)] con condiciones de alimentación sinusoidal a 50 [Hz], con tolerancia de ± 3 [dB(A)]. Con un suministro sinusoidal a 60 [Hz] los valores aumentan en aproximadamente 4 [dB(A)].

El motor eléctrico es el responsable del movimiento del eje de la bomba centrífuga para presionar el producto a transportar desde Quito hacia Ambato. La transferencia de movimiento se realiza mediante el acople de un matrimonio entre los dos equipos siempre y cuando se encuentren alineados.



Figura 3.4. Motor Eléctrico ABB

3.2.2. BOMBA CENTRÍFUGA

La bomba centrífuga se encarga de elevar la presión del producto de 60 [psi], en la succión, a 1200 [psi] a la descarga, con el fin de sobrepasar el punto más alto de la línea localizado en el Cotopaxi a 3555 m.s.n.m.

El grupo de bombeo eléctrico cuenta con una bomba⁹ de la marca Goulds Pumps, modelo 3600, tamaño 3x6-10. Este modelo corresponde a una bomba centrífuga horizontal de alta presión, armada entre cojinetes tipo BB3 según el estándar API 610, está axialmente dividida en varias etapas y es ideal para desempeño en escenarios múltiples como producción de petróleo, refinamiento, generación de energía entre otros. La carcasa tiene orificios laterales de descarga y

⁹ ITT GOULD PUMPS. Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento. Seneca Falls:Goulds Pumps, 2009

succión. Las bridas que presenta son estándar ASME clase 900 dentadas con cara elevada, la tubería de la succión es de 6" mientras que la tubería de la descarga es de 4".

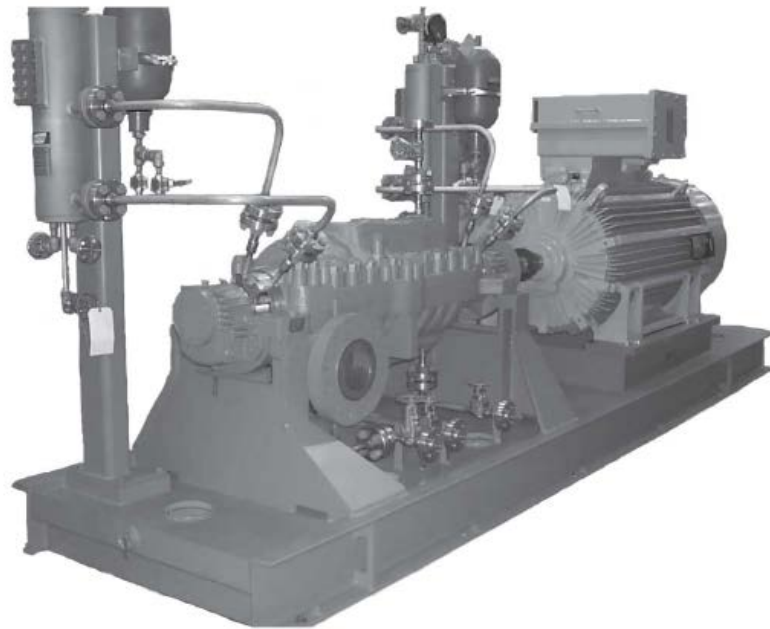


Figura 3.5: Bomba Centrífuga

En la parte interior de la bomba se encuentra un cojinete de bolas de surco profundo de una sola fila, permitiendo carga radial; mientras que, el exterior de la bomba tiene un par de cojinetes de bolas de contacto angular de una sola fila montados espalda con espalda, lo que permite que puedan manipular cargas de empuje radial y axial. El volumen de aceite para los cojinetes bola/bola de dimensiones 6*8-13 es de 2365 [cm³], esto permite lubricar adecuadamente los cojinetes para evitar calor excesivo y daños. Debe ser de alta calidad para turbinas con sustancias anticorrosivas y antioxidantes con la clasificación 68cSt. a 38 [°F]. La temperatura de funcionamiento de los cojinetes debe estar entre 49 a 82 [°C].

El eje de la bomba está diseñado para cargas pesadas según normas ISO 13709, las cuales rigen la construcción de todo tipo de bombas centrífugas. La

velocidad crítica es del 20% por encima de la velocidad de diseño. En la Tabla 3.4 se muestran los datos de placa de la bomba instalada.

Tabla 3.4. Placa de la Bomba

MODEL	SIZE	GPM	HEAD-FT	RPM	I.B.BRG	O.B.BRG	HYDRO-PRESS LB/IN ² @70°F	MAX. WORKING PRESS LB/IN ² @90°F
3600	3X6-10	350	3656	3560	6312	7312BF6AM	3330	1562

La bomba centrífuga está diseñada y certificada por ATEX (IEC60079-10), a fin de ser implementada en superficies (Grupo II), en ambientes industriales en donde podrían presentarse mezclas explosivas, de gases o polvo, durante la operación normal (zona 1) a una temperatura máxima de superficie de 135 [°C]. El código ATEX es el siguiente: II 2 G/D T4.

Alrededor del acoplamiento, entre el motor y la bomba, se tiene una pantalla de protección metálica, la misma que ayuda a prevenir cualquier tipo de accidente de contacto con el eje, cuando el sistema se encuentre en funcionamiento.

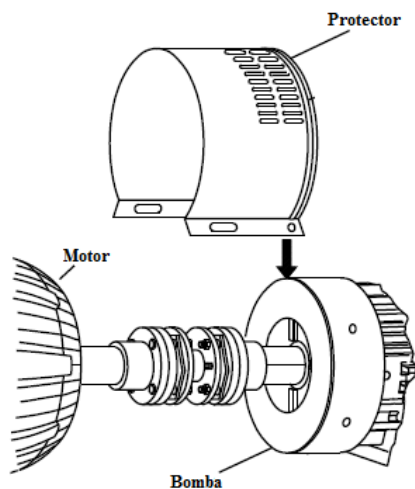


Figura 3.6: Protección del acoplamiento



Figura 3.7. Matrimonio Bomba - Motor

3.2.3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE SELLOS

La bomba tiene dos sellos¹⁰ mecánicos tipo cartucho, ubicados cada uno, sobre el eje de rotación antes de los cojinetes interior y exterior. Los sellos mecánicos evitan la fuga del producto bombeado hacia la atmósfera. La cámara de sellado de la bomba GouldsPumps 3600 se muestra Figura 3.8.

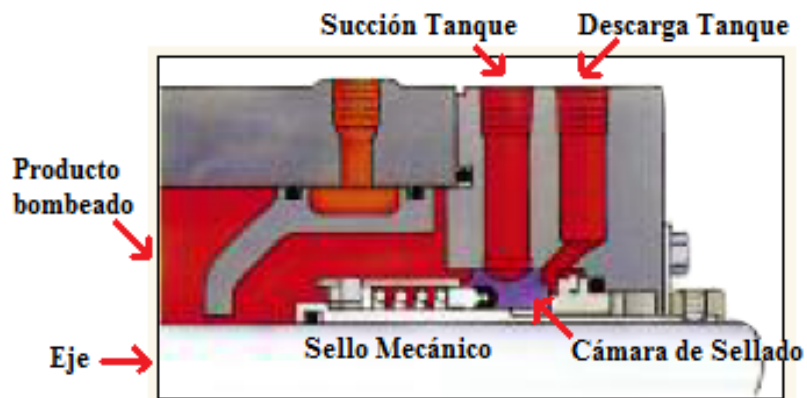


Figura 3.8. Cámara de Sellado

¹⁰ FLOWSERVE. Installation Instructions: Seal Support Reservoir. Oklahoma:Flowserve, 2008

Como se observa en la Figura 3.8, la cámara de sellado consta de dos tomas para la recirculación de fluido de enfriamiento proveniente de un sistema de almacenamiento, tales como tanques de reserva. La recirculación se debe a que el sello mecánico cuenta con un anillo intermedio, que gracias al giro del eje de la bomba, permite el desplazamiento del fluido a través de él, cerrando el circuito hidráulico.

Junto a la bomba se tienen dos tanques de reserva para enfriamiento de los sellos mecánicos, tanto para el cojinete interior como el exterior. Los tanques contienen, aceite hidráulico que finalmente se encarga de realizar el enfriamiento de los sellos por medio de la recirculación. La Figura 3.9 muestra el reservorio del grupo de bombeo eléctrico.



Figura 3.9. Tanque de reserva

El sistema de tanque de reserva para enfriamiento de sellos es de marca FlowServe, con una máxima presión de trabajo permitida de 700psi y capacidad de 5 galones.

El sistema de enfriamiento no tiene los requerimientos necesarios para ser considerado un PLAN API 52 ni 53A. Por esto, no cumple con el objetivo de indicar un estado de falla debido a fugas en la cámara de sellado. Con el fin de aportar a la seguridad del grupo eléctrico de bombeo, en el capítulo 4, en la sección 4.3.1.4, se describen las recomendaciones para la instalación adecuada de un PLAN API 52.

En paralelo al sistema de enfriamiento por tanques de reserva, la bomba cuenta con un Plan API 31. Este plan consiste en realizar el enfriamiento mediante la realimentación del producto bombeado hacia las cámaras de sellado a través de separadores ciclónicos, estos últimos separan los sedimentos que podría contener el diesel o gasolina e impulsa el fluido hacia los sellos. El plan API 31 se muestra en la Figura 2.30.

3.2.4. VÁLVULAS DE BOLA

El grupo de bombeo eléctrico cuenta con cuatro válvulas de bola; dos de ellas para drenaje en caso de que exista una sobrepresión en la línea de succión o descarga. Las otras dos válvulas permiten el paso del producto a través de la bomba. Una de ellas se la conoce como válvula de succión, y la otra como válvula de descarga.

La válvula de succión es de marca XOMOX, soporta hasta 160 [psi] a una temperatura máxima de 204 [°C]. En el lado de la descarga, cuenta con una válvula check de retención de columpio, para protección contra inversión de circulación de fluido a la bomba, marca PBV clase ANSI 900 con una presión de trabajo máxima de 2160 [psi] y a continuación un válvula de paso tipo bola de acero de carbono clase

ANSI 900 con una máxima presión de operación de 2220 [psi] y de 2025 [psi], a mínima y máxima temperatura de diseño respectivamente, marca PBV USA.



Figura 3.10. Válvula de Bola Succión

3.3. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control del grupo eléctrico de bombeo, está basado en un PLC centralizado, ubicado en el cuarto de control. Este PLC concentra todas las señales de entrada y salida, provenientes de campo, tanto de sensores como del variador de velocidad. El sistema cuenta con una red de comunicación modbus RS485 entre los actuadores de válvulas, variador de velocidad y el PLC. La red industrial permite conocer los parámetros de operación de los dispositivos y también el control de los mismos.

En el cuarto de control se localizan los equipos tanto de supervisión y control del sistema. Los dispositivos de control son el PLC, relés auxiliares y contactores que manejarán los actuadores del grupo de bombeo eléctrico. Por otra parte, la supervisión del proceso se realiza mediante computadoras que poseen las interfaces humano máquina (HMI), desde las cuales los operadores pueden visualizar las

variables del proceso y el estado de los elementos en campo, como también manejar de manera remota ciertas válvulas para permitir el paso del producto a través de la los grupos de bombeo. En la Figura 3.11 se observa el diagrama de bloques del sistema de control del grupo de bombeo eléctrico.

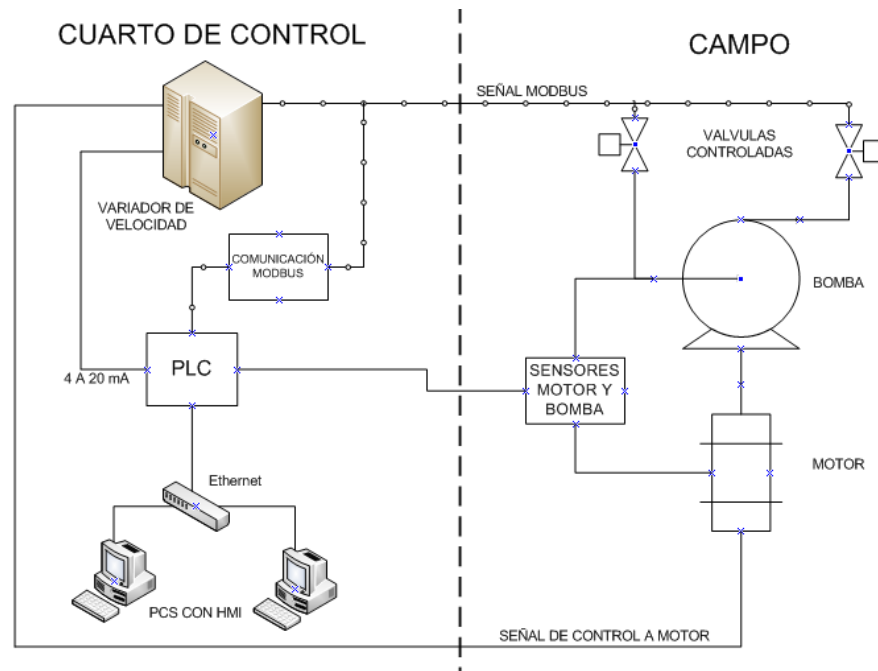


Figura 3.11. Diagrama de bloques Sistema de Control

A continuación se describen los dispositivos que conforman el sistema de control del grupo eléctrico de bombeo.

3.3.1. VARIADOR DE VELOCIDAD

El variador de velocidad controla la velocidad de giro del motor eléctrico cambiando la frecuencia de la señal de alimentación sinusoidal. El PLC central envía al variador una señal analógica de control que va de 4 a 20 mA, la misma que indica las velocidades mínimas y máximas configuradas en el variador de velocidad. Dicho

punto de trabajo es establecido por el operador mediante el uso de la interfaz gráfica HMI en función de las necesidades de cantidad de flujo que requiera la línea.

El variador de velocidad es de marca ABB modelo ACS800-07, por sus características de fábrica este modelo cuenta con el sistema de “break chopper”, para proteger excesos de voltaje que se presenten en el bus DC. Contactor de línea y fusibles ultra rápidos para protección en la alimentación. Posee una carcasa recubierta anti estática y un paro de emergencia local. En la Tabla 3.5 se presentan las características técnicas del variador de velocidad.

Tabla 3.5. Placa Variador de Velocidad

ENTRADA		SALIDA	
Tensión Trifásica	380 ... 500 (480) V	Tensión Trifásica	0 ... Uentrada
Intensidad de Corriente	651 A	Intensidad de Corriente	718 A
Frecuencia	48 – 63 Hz	Frecuencia	0 ... 300 Hz
Corriente cortocircuito	65 KA	Corriente cortocircuito	

También cuenta con una interfaz de usuario local, la misma que consta de una pantalla LCD de visualización de variables y un teclado para configuración de sus parámetros de funcionamiento. Para el control del dispositivo, tiene una tarjeta RMIO de entradas y salidas. La tarjeta de control cuenta con tres canales analógicos de entrada, dos de salida, seis canales digitales de entrada y tres salidas a relé para señales de estado. En la Tabla 3.6 se muestra el detalle de las entradas y salidas de la tarjeta RMIO.

Tabla 3.6. Disposición de E/S

BORNERAS X20		
1	VREF-	Voltaje de Referencia -10 VDC
2	AGND	
BORNERAS X21		
1	VREF+	Voltaje de referencia 10 VDC
2	AGND	
3	AI1 +	Velocidad de referencia de 0 a 10 V
4	AI1 -	
5	AI2 +	Velocidad de referencia 0(4) a 20 mA
6	AI2 -	
7	AI3 +	Velocidad de referencia 0(4) a 20 mA
8	AI3 -	
9	AO1 +	Velocidad del motor 0(4) a 20 mA, 0 a la velocidad nominal del motor
10	AO1 -	
11	AO2 +	Corriente de salida 0(4) a 20 mA, 0 a la corriente nominal del motor
12	AO2 -	
BORNERAS X22		
1	DI1	Detener / Arranque
2	DI2	Adelante / Reversa
3	DI3	No en uso
4	DI4	Seleccionar aceleración y desaceleración
5	DI5	Selección de velocidad constante
6	DI6	Selección de velocidad constante
7	+ 24 VD	+24 VDC max 100 mA
8	+ 24 VD	
9	DGND 1	Tierra digital
10	DGND 2	Tierra digital
11	DIIL	Iniciar interlock
BORNERAS X23		
1	+24 V	Salida auxiliar de voltaje max 250 mA.
2	GND	
BORNERAS X25		
1	RO1	Salida a relé: Equipo Listo (Ready)
2	RO1	
3	RO1	
BORNERAS X26		
1	RO2	Salida a relé: Equipo en marcha (Running)
2	RO2	
3	RO2	
BORNERAS X27		
1	RO3	Salida a relé: Equipo en falla (Fault)
2	RO3	
3	RO3	

La alimentación del variador es una fuente AC trifásica proveniente de la línea de 460 [VAC], luego pasa a un rectificador, el mismo que a su salida almacena la energía en un banco de capacitores, para estabilizar el circuito DC intermedio. Y finalmente el voltaje es transformado a corriente alterna mediante un inversor basado en transistores IGBT de seis pulsos. La operación del motor está controlada por la conmutación de dichos IGBTs.

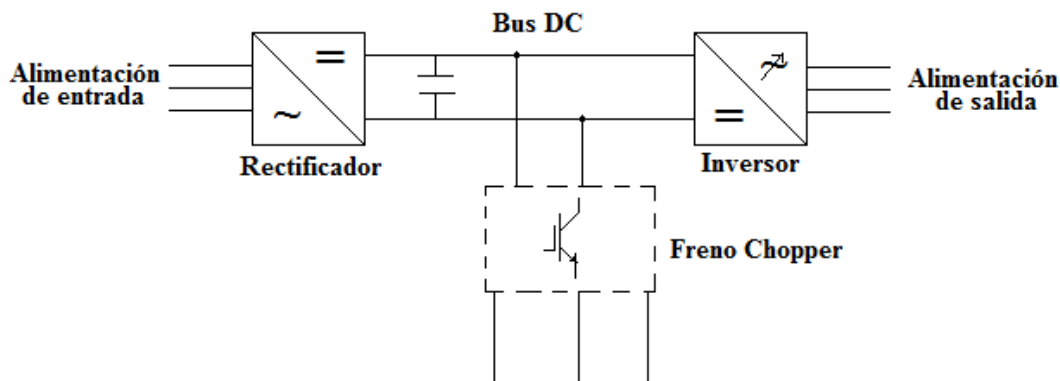


Figura 3.12. Diagrama de Bloques Circuito Interno

El control del motor es basado en el método de Control Directo de Torque (DTC). Los variadores DTC cuentan con la tecnología más moderna del campo, cuyo objetivo es reemplazar a los controladores tradicionales tipo PWM.

La principal ventaja de este método de respecto a un controlador PWM se debe a que el torque y el flujo del motor son variables que están directamente controladas. Además no utiliza un modulador PWM, aumentando la velocidad de respuesta para variar el torque requerido, sin la necesidad de un dispositivo de realimentación. La precisión de control de velocidad, sin sensor de realimentación, es de $\pm 0.5\%$ y una respuesta de torque menor a 2 [ms]. Por otra parte, la principal desventaja se presenta durante el encendido, debido a tener un retraso en estimadores de flujo y torque.

El variador de velocidad cuenta con un módulo adicional de comunicación Modbus RS485, modelo RMBA-01. Este módulo permite manipular los registros de configuración y leer el estado del dispositivo.

3.3.2. SENSORES

El grupo de bombeo eléctrico, cuenta con sensores que ayudan a la visualización de ciertas variables críticas para el proceso. Dichas variables permiten la monitorización continua del grupo y la toma de decisiones en función de parámetros mínimos y máximos definidos en la estación.

Las variables consideradas en el grupo eléctrico de bombeo son: las temperaturas de funcionamiento de la bomba y del motor eléctrico, la presión en la succión y descarga de producto, nivel de aceite en los tanques de enfriamiento de sellos, grado de vibración del sistema y el flujo

A continuación, se analizarán los sensores del sistema.

3.3.2.1. SENSORES DE TEMPERATURA. En el grupo eléctrico se localizan once sensores de temperatura, distribuidos de la siguiente manera: tres en la bomba y ocho en el motor eléctrico.

La bomba centrífuga cuenta con tres sensores RTD Pt100 de tres hilos. La distribución de los sensores es: uno en el cojinete interior, uno en el cojinete exterior y el último en la carcasa de la bomba. El objetivo principal es medir la temperatura de los elementos que podrían presentar calentamiento excesivo debido al rozamiento constante durante su funcionamiento.

Los sensores son de la marca PyroMation, están hechos de platino, su límite máximo de temperatura es 204 [°C] y su grado de precisión a 0 [°C] es de $\pm 0.1\%$. Tiene un recubrimiento tipo vaina de acero inoxidable para trabajo estándar, su rosca es tipo NPT de $\frac{1}{2}$ pulgada.

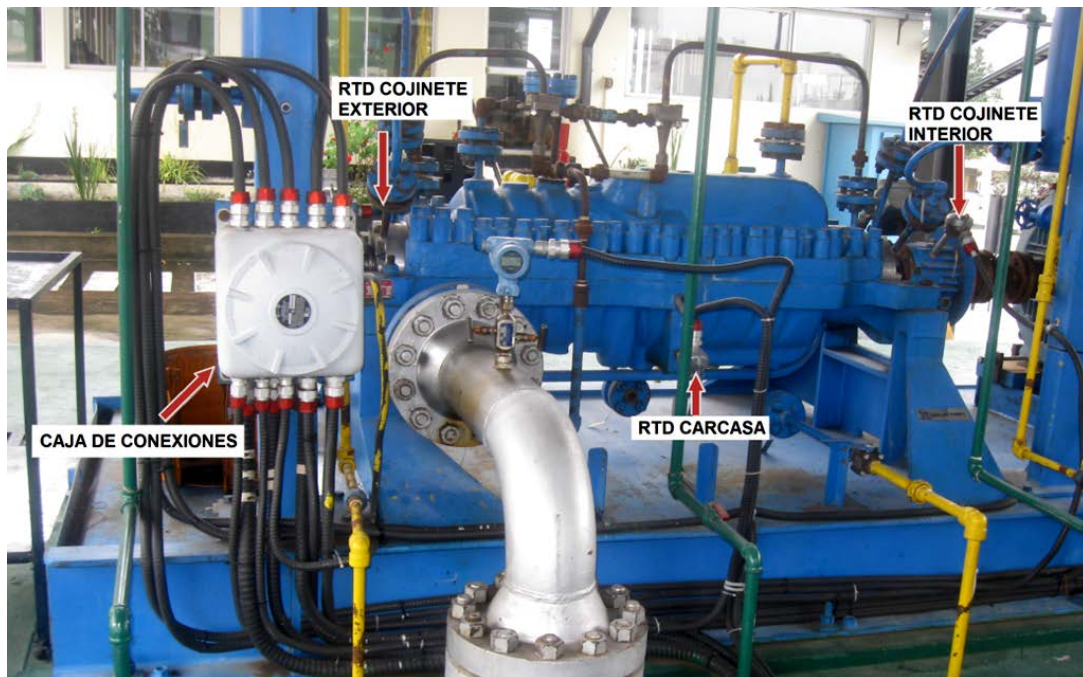


Figura 3.13. Ubicación RTDs Bomba

El motor cuenta con ocho sensores de temperatura distribuidos de la siguiente manera: dos sensores por cada uno de los tres devanados que tiene el motor, uno en el cojinete exterior y un último en el cojinete interior. Todos estos sensores son RTD Pt100 de dos hilos que vienen instalados de fábrica dentro y fuera del motor. Para acceder a ellos existe una pequeña caja de conexiones en la parte lateral del motor donde se encuentran las borneras de cada uno de los sensores.



Figura 3.14. Ubicación RTDs Motor

De esta manera se puede monitorear la temperatura del motor de manera que no excedan sus condiciones normales de funcionamiento las cuales se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Parámetros de Temperatura de Bomba y Motor

DESCRIPCIÓN	PREALARMA (°C)	ALARMA (°C)
Temperatura cojinete interior de la bomba	75	80
Temperatura cojinete exterior de la bomba	75	80
Temperatura carcasa bomba	40	50
Temperatura cojinete interior motor	75	80
Temperatura cojinete exterior motor	75	80
Temperatura devanado 1R	100	105
Temperatura devanado 2R	100	105
Temperatura devanado 1S	100	105
Temperatura devanado 2S	100	105
Temperatura devanado 1T	100	105
Temperatura devanado 2T	100	105

3.3.2.2. SENSORES DE PRESIÓN. El grupo eléctrico de bombeo cuenta con dos transmisores-indicadores de presión (PIT) y cinco manómetros.

Los dos PIT se localizan en las tomas de succión y descarga de la bomba, ambos miden presión manométrica, son de la marca Rosemount y su rango de operación varía de 0 a 4000 [psi]. Cuentan con protocolo Hart para reajustar su rango, calibrar el equipo y para comunicación con otros dispositivos. El dispositivo transforma la medida de presión a una señal de corriente de 4 a 20 [mA].

Su carcasa es a prueba de explosiones (explosion proof) para lugares clase I, división I, grupos B, C y D, además a prueba de igniciones por polvo para lugares clase II, división I, grupos E, F y G. Tiene un indicador de cristal líquido que muestra la presión e información de diagnósticos.



Figura 3.15. Ubicación PITs del Grupo de Bombeo Eléctrico

Además, sobre la bomba se localizan tres manómetros, los cuales miden la presión de las cámaras de sellado. También tiene dos manómetros ubicados sobre los tanques de enfriamiento que miden la presión contenida en los mismos. Los manómetros son instrumentos únicamente de visualización por medio de aguja.

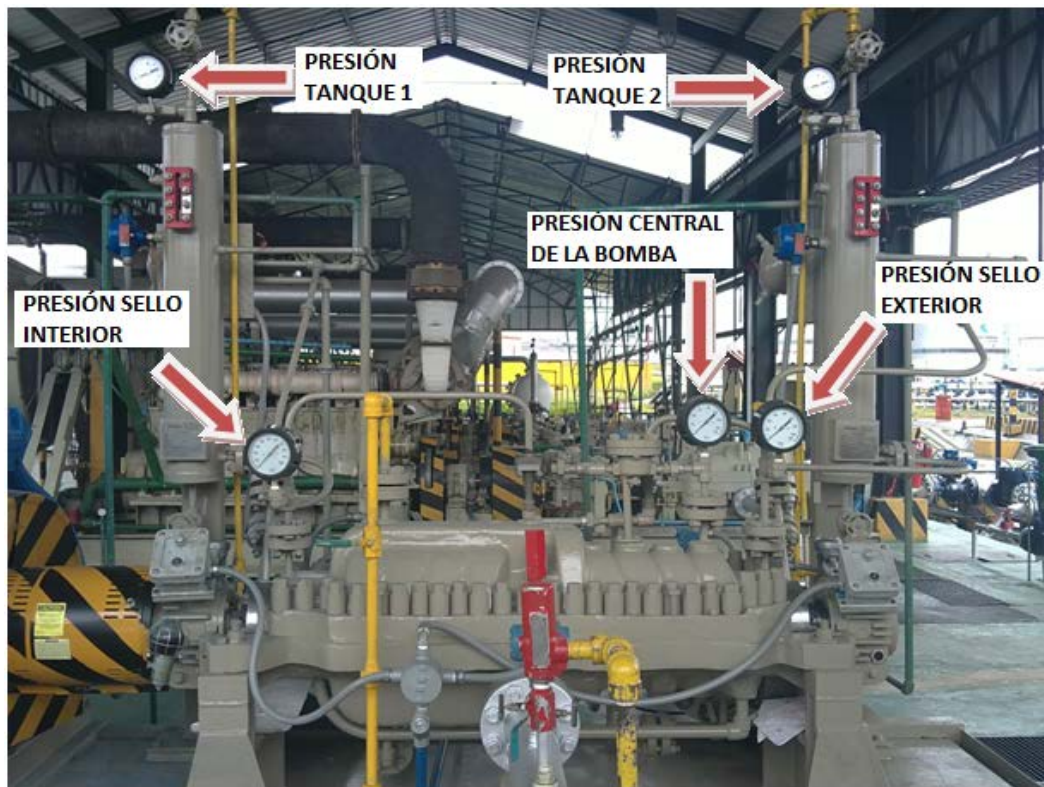


Figura 3.16. Ubicación manómetros del Grupo Eléctrico de Bombeo

Los parámetros de operación mínimos y máximos, de acuerdo a la presión, se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Parámetros de Presión

DESCRIPCIÓN	ALARMA BAJA (psi)	ALARMA ALTA (psi)
Presión en la Succión	30	1300
Presión en la Descarga	30	1300

3.3.2.3. SENSORES DE NIVEL. Cada tanque de reserva del sistema de enfriamiento de sellos cuentan con un sensor puntual de nivel, que indican si el nivel del líquido de barrera está por debajo del adecuado. En complemento al sistema, los tanques están equipados con una mirilla de nivel que indica el estado del fluido en el tanque.

El sensor puntual de nivel es de marca Magnetrol¹¹, utiliza energía ultrasónica para determinar la presencia o ausencia de líquido. Se encuentra montado de manera lateral al tanque de reserva mediante una conexión NTP de ¾ ". El sensor está protegido con una carcasa de aluminio y su vástago para medición es de 2.54 [cm]. La carcasa tiene certificaciones para trabajo en lugares de riesgo, a prueba de explosiones (explosion proof) y anti llama (flameproof) para ambientes de gases o polvo Clase I y II, División 1.



Figura 3.17. Sensor de Nivel Magnetrol

¹¹ MAGNETROL.ECHOTEL Model 910: Installation and operating manual.USA: Magnetrol International, 2010

3.3.2.4. SENSORES DE VIBRACIÓN La bomba del grupo eléctrico de bombeo cuenta con dos conmutadores por vibración (vibraswitch), cada uno ubicado sobre los cojinetes interior y exterior. El objetivo de estos dispositivos es alertar al usuario si existen vibraciones excesivas en el equipo, las cuales pueden provocar un recalentamiento y consecuente desgaste de las piezas de la bomba o del motor, pudiendo dañar cualquiera de los dos.

El vibraswitch es de marca Robertshaw¹². modelo 365A, es un dispositivo sensible a la aceleración que mide el choque de aceleración total presente en la máquina. Para ello emplea un circuito magnético contrario a fuerzas inerciales y ajustables de resortes en el mecanismo de activación.



Figura 3.18. Vibraswitch Robertshaw 365A

El dispositivo se encuentra contenido en una carcasa de aluminio IP66 a prueba de explosiones y flama, certificada para trabajo en lugares con presencia de gases o polvo Clase I y II, División 1. El conmutador es de polo simple con doble tiro (SPDT), con un terminal común, un normalmente cerrado y normalmente abierto.

¹² ROBERTSHAW INDUSTRIAL CONTROLS. Sales Manual section 140:Product specification model 365A/E365A. Maryville, Tennessee: Invensys.

3.3.3. MEDIDOR MÁSIKO TIPO CORIOLIS

La estación de bombeo “El Beaterio”, tiene un medidor de densidad y caudal tipo Coriolis ELITE ® de Micro Motion ®. Su precisión en Caudal es de $\pm 0.5\%$, en Densidad ± 0.2 [Kg/m³] y ± 1 [°C] en temperatura.

Tiene un transmisor modelo 2700 de Micro Motion ®, que se encarga de mostrar los valores en una pantalla LCD y transmitirlos al cuarto de control mediante el protocolo MODBUS.

Estos equipos cumplen con los requerimientos para trabajar en zonas de riesgo Clase 1, División 1 y 2 para grupos A, B, C, D, E, F y G.



Figura 3.19. Medidor Másico Coriolis

3.3.4. SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO DE VÁLVULAS

Las válvulas tipo bola de succión y descarga están controladas por un sistema electromecánico con control electrónico de torque, el cual se monta sobre el mecanismo de accionamiento manual de las mismas, logrando así convertir válvulas manuales en electroválvulas (ON/OFF) e inclusive proporcionales.

El actuador es de marca Flowserve Limitorque® que incluye un motor trifásico jaula de ardilla (460 VAC 60 Hz) que mueve el sistema de transmisión tipo tornillo sin fin para la operación de las válvulas. Además cuenta con un volante para operación manual de válvulas en caso de falla de energía eléctrica. El panel de control del dispositivo cuenta con un LCD para configuración y monitoreo, dos perillas: una que permite seleccionar si se va a controlar de manera local o remota el actuador y la otra indica la acción a realizar, ya sea: abrir, cerrar o detener.

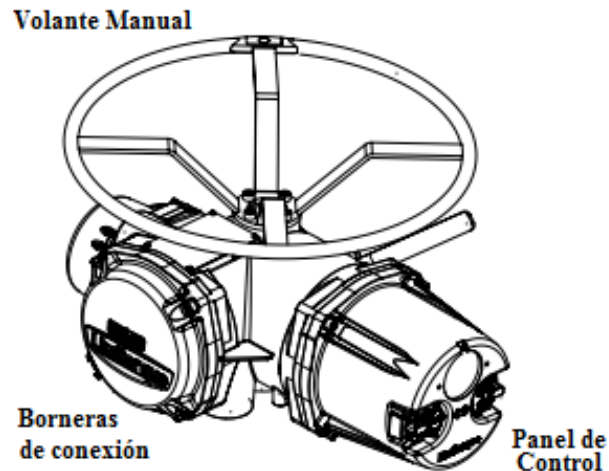


Figura 3.20. Actuador Limitorque MX

El dispositivo Limitorque es un actuador inteligente, ya que contiene un sistema de medición de posición basado en encoders ópticos de 18 bits, con una repetibilidad del 100% y una resolución de 0.1%. Además, un sistema de control de torque interno basado en microprocesador el cual calcula el torque necesario mediante la medición

de voltaje, corriente y temperatura del motor. Todos los sistemas electrónicos de control se encuentran monitoreados por una aplicación llamada Limigard, que permite evaluar el desempeño del aparato y predecir posibles fallas ayudando al operador a tomar decisiones tempranas sin detener el proceso.

Para el control remoto del sistema, Limitorque cuenta con una plataforma de comunicación DDC (Control Digital Distribuido), la misma que permite controlar o monitorear el dispositivo mediante el protocolo de comunicación Modbus RS-485 sobre par trenzado. Los parámetros de direccionamiento y velocidad de transmisión de datos (máxima 19.2kbaud), es configurable en el panel de control.

El actuador Limitorque tiene un acople (modelo PTC 66 Limitorque®) de engranajes de tornillo sin fin, empleada específicamente para válvulas de cuarto de giro. Este acople externo es el encargado de unir mecánicamente el limitorque con la válvula de bola, automatizando el proceso.

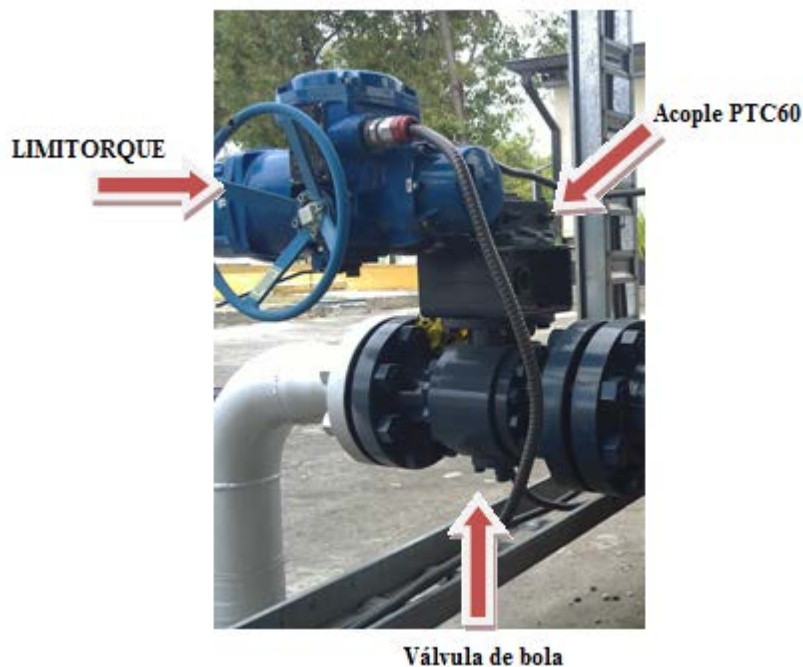


Figura 3.21. Ensamble Limitorque

El equipo se encuentra certificado por CSA, para trabajo en lugares de riesgo, con protección contra explosiones Clase 1 División 1 y 2, Grupos Cy D. Además es a prueba de ignición por polvo, Clase 2, División 1 y 2, Grupo E, F y G. Su grado de protección es IP68.

3.3.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

El control central del proceso se realiza dentro de un PLC, a él llegan todas las señales de campo y es el encargado dirigir el proceso de la manera que requiera el integrador.

La Estación de Bombeo “El Beaterio” cuenta con un PLC modular modelo Quantum de la marca MODICON. Es un PLC de gama alta, multitarea, 100% modular, capaz de admitir 5 lenguajes de programación que cumplen con la norma IEC 61131-3. Maneja puertos de comunicación tales como: Ethernet TCP/IP, Modbus Plus y Modbus.

Los módulos, con excepción de su fuente de alimentación y su CPU, pueden ser insertados y removidos con la alimentación conectada a estos, sin provocar ningún daño a los módulos ni al backplane, esta característica recibe el nombre de hot swap.

Los módulos que utiliza este proceso son los siguientes:

Tabla 3.9. Módulos del PLC

MODULO	DESCRIPCIÓN
CPS 114 20	Fuente de alimentación con salida de 5.1 Vdc y corriente máxima de 11A.
CPU 434 12	Unidad de procesamiento, soporta hasta 31 Drops y un máximo de 64 palabras de Entrada y 64 palabras de Salida.

MODULO	DESCRIPCIÓN
DDI 353 00	Módulo de entradas discretas DC, con 4 grupo de de 8 entradas cada una, dando un total de 32 entradas discretas de 24 VDC.
DDO 353 00	Módulo de salidas discretas DC, con 4 grupo de de 8 entradas cada una, dando un total de 32 entradas discretas de 24 VDC.
ACO 130 00	Módulo de salidas analógicas. Tiene 8 canales y cada uno de ellos puede ser configurado individualmente para señales de 0 a 25mA, de 0 a 20mA y de 4 a 20mA.
ACI 040 00	Módulo de entradas analógicas. Tiene 16 canales y cada uno de ellos puede ser configurado individualmente para señales de 0 a 25mA, de 0 a 20mA y de 4 a 20mA.
NOE 771 11	Módulo de comunicación Ethernet, con comunicación punto a punto en tiempo real, además I/O Scanning y un servidor Modbus/TCP.
CRP 931 00	Modulo cabecera de entradas y salidas remotas, es instalado en el mismo backplane que la CPU y transfiere datos de manera bidireccional entre la CPU y uno o más RIO drops.
CRA 931 00	Adaptador RIO Drop de un canal que transfiere datos de manera bidireccional entre los módulos de un backplane remoto con el la CPU en un backplane principal.
ARI 030 10	Módulo de entradas para sensores RTD. Tiene 8 canales para conectar sensores RTD de dos, tres y cuatro conductores, proporciona datos de medición de temperatura para la CPU de Quantum.

La arquitectura de control que se encontró en el proceso de levantamiento de información de campo, corresponde a una arquitectura RIO. A pesar de que se utilizaban los módulos propios de esta arquitectura (CRP y CRA), esta no ha sido correctamente utilizada, ya que recibía todas las señales de campo en el cuarto de control, desperdiciando las capacidades de distancia que brinda la arquitectura

Las señales del grupo eléctrico de bombeo se encontraban desorganizadas, compartiendo las tarjetas de E/S con las señales de los grupos de bombeo Diesel. En el tablero principal tenía 4 drops y un PLC principal con una CPU. Las señales del grupo eléctrico de bombeo estaban distribuidas según la Tabla 3.10:

Tabla 3.10. Distribución E/S

SEÑAL	DROP	SLOT	MODULO	CANAL
Transmisor de Presión en la Descarga	2	3	ACI4000	1
Transmisor de Presión en la Succión	2	3	ACI4000	2
Control Revoluciones al variador	2	5	ACO13000	2
Temperatura Cojinete de Exterior de la Bomba	3	5	ARI3010	1
Temperatura Cojinete Interior de la Bomba	3	5	ARI3010	2
Temperatura Carcaza de la Bomba	3	5	ARI3010	3
Temperatura Cojinete Exterior del Motor	3	5	ARI3010	5
Temperatura Cojinete Interior del Motor	3	5	ARI3010	6
Temp del Devanado 1R	3	5	ARI3010	7
Temp del Devanado 2R	3	5	ARI3010	8
Temp del Devanado 1S	3	6	ARI3010	1
Temp del Devanado 2S	3	6	ARI3010	2
Temp del Devanado 1T	3	6	ARI3010	3
Temp del Devanado 2T	3	6	ARI3010	4
Paro de Emergencia	3	3	DDI35300	20
Vibración en el Cojinete Interior	3	3	DDI35300	21
Vibración en el Cojinete Exterior	3	3	DDI35300	22
Sensor de Nivel Tanque Sello Interior	3	3	DDI35300	23
Sensor de Nivel Tanque Sello Exterior	3	3	DDI35300	24

3.3.6. INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)

En la sala de control se encuentran los operadores, quienes son los encargados de supervisar, controlar y tomar medidas en caso de que la planta presente algún problema. Para realizar de manera óptima dichas actividades los operadores cuentan con una herramienta de monitorización remota instalada en dos computadoras personales. Dicha herramienta es una interfaz humano máquina (HMI) gráfica que

despliega las variables del proceso y permite el control de los actuadores del sistema de bombeo. La HMI se desarrolló en Wonderware® Intouch 9.5.

De manera general, todas las pantallas de la interfaz gráfica contienen tres ambientes por los cuales el operador puede navegar a través de las diferentes pantallas del proceso. Los ambientes se muestran en la Figura 3.22.

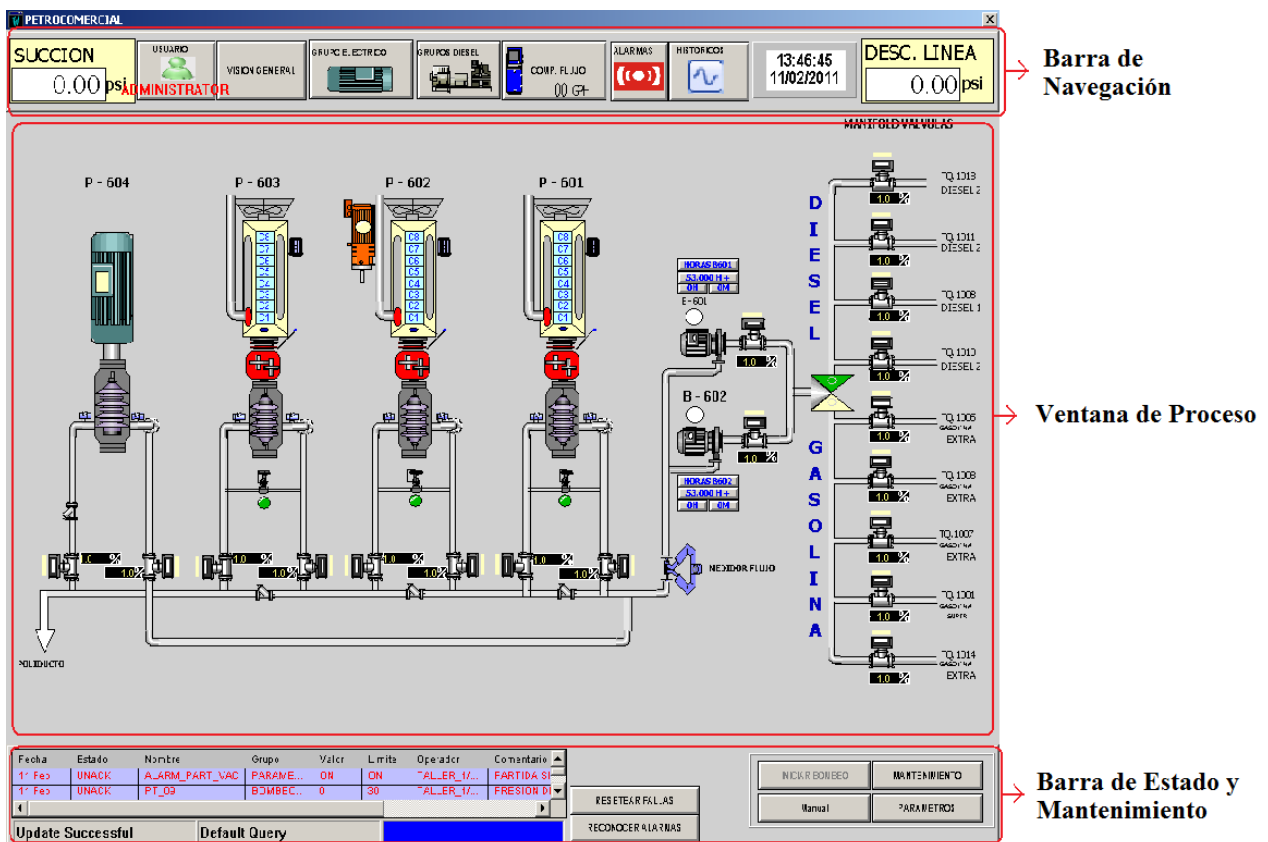


Figura 3.22. Ambientes HMI

La Barra de Navegación es permanente dentro de la HMI. Presenta las presiones de succión y descarga antes y después de todos los grupos de bombeo, es decir, la presión después de la etapa de filtrado y la presión del producto bombeado antes de salir de la estación hacia Ambato. Además, presenta siete botones para acceder a las ventanas de proceso que son: Ventana principal, Visión

general del proceso, Grupo Eléctrico de Bombeo, Grupos de bombeo Diesel, computador de flujo, Alarmas e históricos. También presenta la fecha y ahora actual.

La Barra de Estado y Mantenimiento es permanente dentro de la HMI. Esta barra presenta un cuadro de alarmas de toda la estación, así como los botones de reconocimiento y reinicio de fallas. La parte derecha de la barra contiene los botones que dan inicio al bombeo, ingreso a la pantalla de mantenimiento y definir parámetros de operación.

La ventana de proceso muestra las pantallas que contiene la HMI y varían en función del botón seleccionado en la barra de navegación. A continuación se describen las pantallas del proceso.

3.3.6.1. VENTANA PRINCIPAL. La ventana principal es la primera en desplegarse al momento de correr la aplicación. En esta ventana el usuario ingresa su nombre y clave para poder navegar a través de la interfaz gráfica. Cabe destacar que las actividades que puede realizar el usuario dentro de la HMI dependerán del nivel de acceso del mismo. En la Figura 3.23 se muestra la ventana principal.



Figura 3.23. Ventana Principal

Existen tres niveles de acceso, los cuales son:

El nivel de operador, es el más restringido ya que únicamente permite el manejo de los grupos de bombeo en modo automático y la visualización de las variables del proceso.

El nivel de mantenimiento, el usuario puede manejar la estación en modo manual y automático, ingresar a las ventanas de mantenimiento y realizar cambios en los rangos de alarma para la operación de la planta.

Por último, el nivel de acceso de supervisión tiene acceso total al sistema pudiendo inclusive realizar la administración de usuarios del sistema.

3.3.6.2. VENTANA DE VISIÓN GENERAL DEL PROCESO. En esta ventana se visualiza un diagrama esquemático completo de la estación de bombeo. Aquí se muestra el manifold de válvulas para ingreso del producto, las bombas booster y todos los grupos de bombeo. La Figura 3.24 corresponde a la ventana de visión general del proceso.

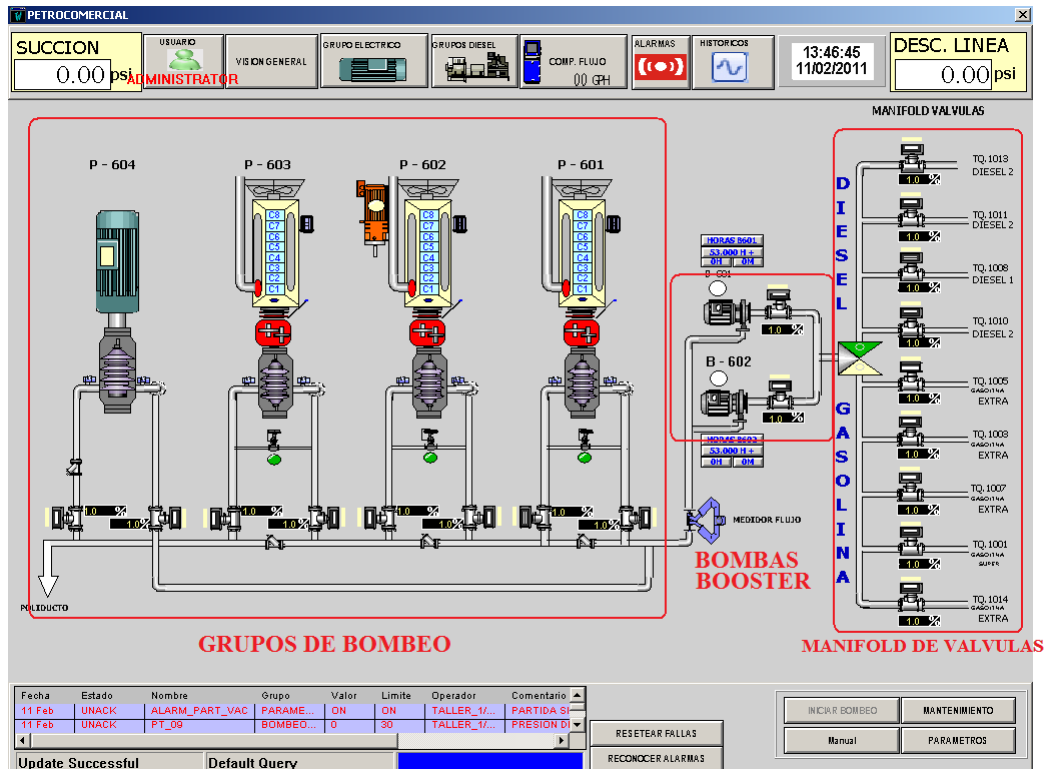


Figura 3.24. Ventana de Visión General

En esta ventana el usuario puede controlar la válvula de paso de tres vías para seleccionar el producto a bombear, ya sea diesel o gasolina, también se permite el control de encendido de las bombas booster y de las válvulas de ingreso al sistema de bombeo. Al momento de manipular un actuador, se despliegan ventanas auxiliares para confirmar la operación. Cada equipo tiene un indicador de operación y el porcentaje de apertura junto a cada válvula.



Figura 3.25. Ventanas de Confirmación

3.3.6.3. VENTANA DEL GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO. La Figura 3.26 muestra la ventana, la misma que se centra en el monitoreo y control del grupo eléctrico de bombeo. Dentro de esta ventana se pueden observar las variables de temperatura y presión del grupo, además permite controlar la apertura y cierre de las válvulas de succión y descarga como también la velocidad del motor eléctrico mediante una barra deslizante.

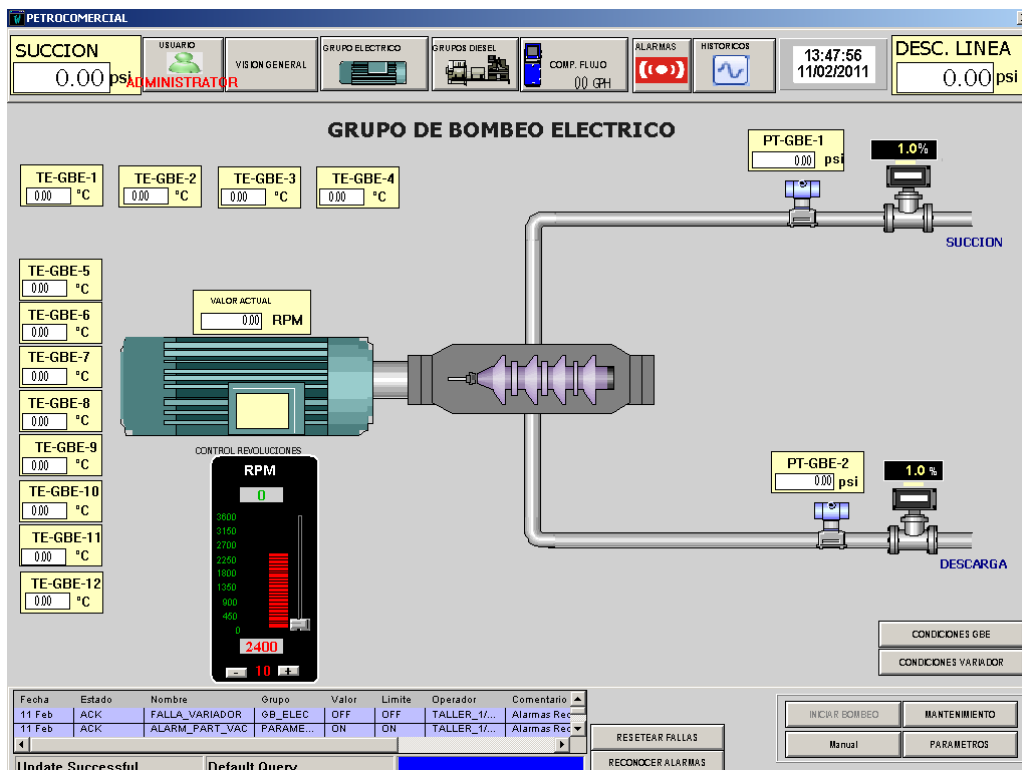
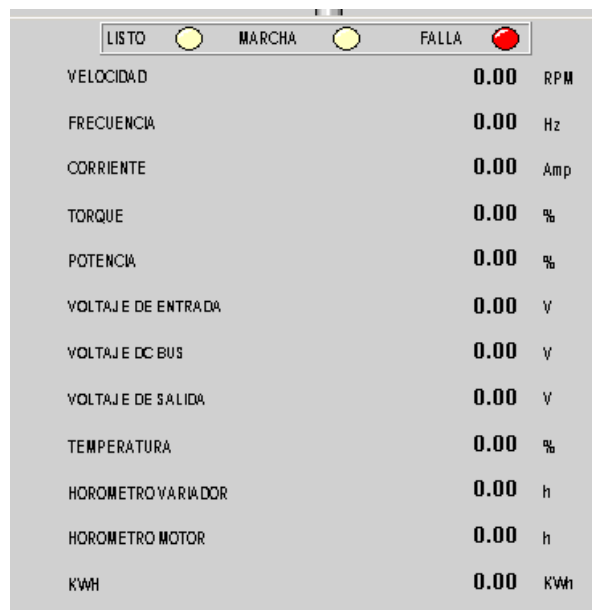


Figura 3.26. Ventana Grupo Eléctrico de Bombeo

En la parte inferior derecha de la ventana están dos botones para acceder a los parámetros del grupo, tanto del variador de velocidad como del motor y bomba. Los parámetros del variador de velocidad son adquiridos mediante el protocolo de comunicación Modbus. La Figura 3.27 muestra la ventana de parámetros del dispositivo, en donde se observa: en la parte superior, tres leds indicadores de estado para saber si el equipo está disponible para trabajar, está en marcha o tiene una falla de operación. En la parte inferior se muestran los valores de las variables medidas tanto eléctricas, mecánicas y horas de trabajo para mantenimiento.



Variable	Valor	Unidad
VELOCIDAD	0.00	RPM
FRECUENCIA	0.00	Hz
CORRIENTE	0.00	Amp
TORQUE	0.00	%
POTENCIA	0.00	%
VOLTAJE DE ENTRADA	0.00	V
VOLTAJE DC BUS	0.00	V
VOLTAJE DE SALIDA	0.00	V
TEMPERATURA	0.00	%
HOROMETRO VARIADOR	0.00	h
HOROMETRO MOTOR	0.00	h
KWH	0.00	KWh

Figura 3.27. Parámetros del Variador de Velocidad

3.3.6.4. VENTANA DE PARÁMETROS DEL GRUPO ELÉCTRICO. Desde la ventana del grupo eléctrico de bombeo, se puede acceder a la ventana de parámetros. En esta ventana se muestra una tabla que contiene algunas variables de funcionamiento del motor eléctrico y de la bomba. Estas variables provienen de los sensores en campo tanto de temperatura, velocidad como de presión. La primera columna contiene el nombre de tag asignado en la programación de la interfaz, la segunda columna el nombre real del parámetro, la tercera y cuarta columna contiene

el valor actual de la variable y las unidades, finalmente las dos últimas columnas contienen los valores de alarma del grupo de bombeo. Estos valores pueden ser cambiados por un usuario con el adecuado nivel de acceso.

CONDICIONES GRUPO BOMBEO ELECTRICO P-604

TAG	DESCRIPCION	VALOR ACTUAL	UNIDAD	LIMITE DE ALARMAS	
PT-GBE-1	PRESION EN LA SUCCION	0.00	PSI	LOLO 40.00	HHH 150.00
PT-GBE-2	PRESION EN LA DESCARGA	0.00	PSI	LOLO 44.00	HHH 1300.00
TE-GBE-1	TEMPERATURA COJINETE DE EMPUJE BOMBA	0.00	°C	HH 75.00	HHH 80.00
TE-GBE-2	TEMPERATURA COJINETE ANTERIOR BOMBA	0.00	°C	HH 75.00	HHH 80.00
TE-GBE-3	TEMPERATURA CARGAZA BOMBA	0.00	°C	HH 40.00	HHH 50.00
TE-GBE-5	TEMPERATURA COJINETE ANTERIOR MOTOR	0.00	°C	HH 75.00	HHH 80.00
TE-GBE-6	TEMPERATURA COJINETE POSTERIOR MOTOR	0.00	°C	HH 75.00	HHH 80.00
TE-GBE-7	TEMPERATURA DEVIANADO 1R	0.00	°C	HH 100.00	HHH 105.00
TE-GBE-8	TEMPERATURA DEVIANADO 2R	0.00	°C	HH 100.00	HHH 105.00
TE-GBE-9	TEMPERATURA DEVIANADO 1S	0.00	°C	HH 100.00	HHH 105.00
TE-GBE-10	TEMPERATURA DEVIANADO 2S	0.00	°C	HH 100.00	HHH 105.00
TE-GBE-11	TEMPERATURA DEVIANADO 1T	0.00	°C	HH 100.00	HHH 105.00
TE-GBE-12	TEMPERATURA DEVIANADO 2T	0.00	°C	HH 100.00	HHH 105.00
VEL-GBE	VELOCIDAD BOMBEO GRUPO BOMBEO ELECTRICO	0.00	RPM		

REPORTE TD REPORTE TN DESHABILITAR ALARM

Fecha	Estado	Nombre	Grupo	Valor	Limite	Operador	Comentario
11 Feb	ACK	FALLA_VARIADOR	GB_ELEC	OFF	OFF	TALLER_1/...	Alarmas Rec
11 Feb	ACK	ALARM_PART_VAC	PARAM...	ON	ON	TALLER_1/...	Alarmas Rec

Update Successful Default Query

RESETEAR FALLAS RECONOCER ALARMAS

INICIAR BOMBEO MANTENIMIENTO

Manual PARAMETROS

Figura 3.28. Ventana de Parámetros

3.3.6.5. VENTANA DE LOS GRUPOS DE BOMBEO DIESEL. Desde la barra de navegación se puede acceder a la ventana de monitoreo de los grupos diesel. En esta ventana el operador tiene a detalle las variables de temperatura, presión, horas de trabajo y porcentaje de apertura de válvulas del grupo. Además cuenta con indicadores visuales de funcionamiento de cada grupo y de presencia del embrague. Desde esta ventana es posible controlar el encendido de los motores diesel y también la apertura o cierre de válvulas de succión y descarga. En la Figura 3.29 se muestra la pantalla de monitoreo y control de los grupos diesel.

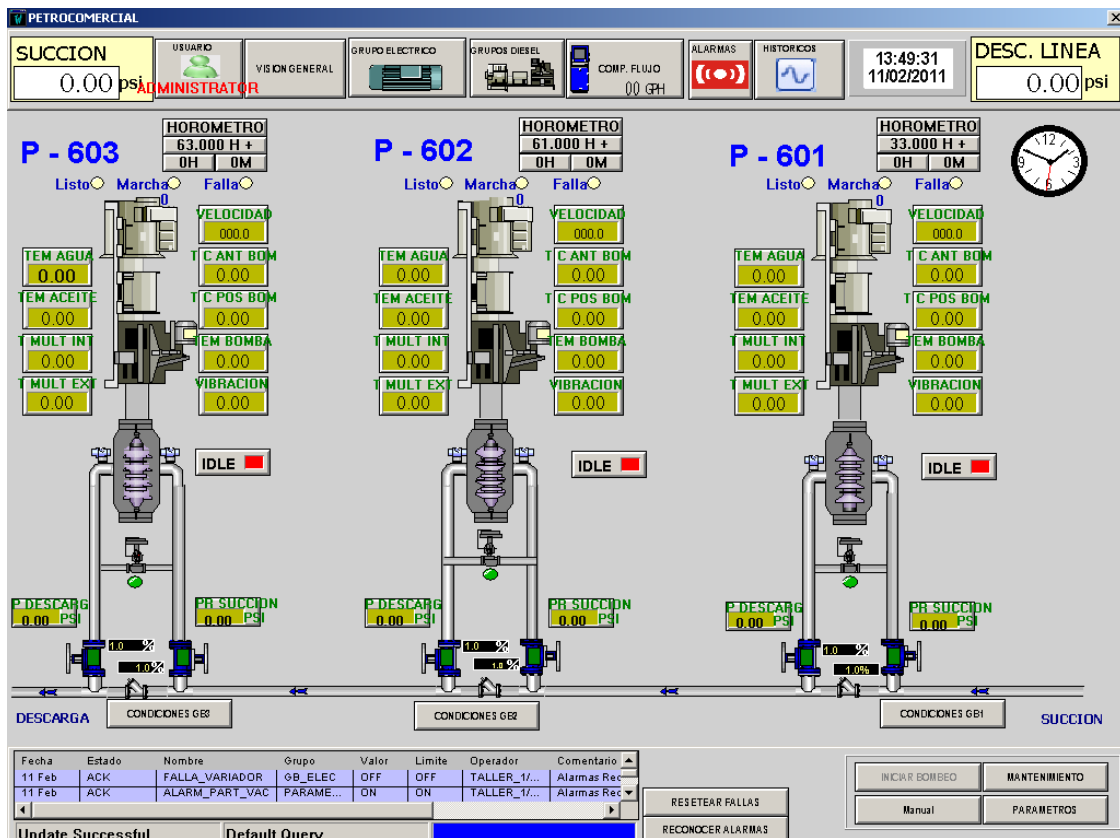


Figura 3.29. Ventana de Grupos de bombeo Diesel

Debajo de cada grupo se tiene un botón para acceder a la tabla de condiciones, en la que se muestran las variables actuales y sus límites de alarma.

3.3.6.6. VENTANA DEL COMPUTADOR DE FLUJO. Esta ventana presenta los datos de flujo, temperatura y densidad del producto que se está bombeando. En la parte inferior se muestra el volumen por partida y el acumulado total. Estos valores son tomados del medidor de flujo másico tipo coriolis ubicado antes de los grupos de bombeo.

The screenshot shows the 'DATOS COMPUTADOR FLUJO' window. At the top, there is a status bar with 'SUCCION 0.00 psi', 'USUARIO ADMINISTRATOR', 'VISION GENERAL', 'GRUPO ELECTRICO', 'GRUPOS DIESEL', 'COMP. FLUJO 00 GPH', 'ALARMAS', 'HISTORICOS', '13:50:44 11/02/2011', and 'DESC. LINEA 0.00 psi'. The main area is titled 'DATOS COMPUTADOR FLUJO' and contains the following data:

FLUJO: 00 GPH
 TEMPERATURA: 0.00 °F
 DENSIDAD: 0.00 API
 TOTAL VOLUMETRICO STD:
 ACTUAL: 0.00 GAL
 ANTERIOR: 0.00 GAL

Buttons: RESET TOTALES

TOTAL vs. ACUMULADO table:

	TOTAL	ACUMULADO
<input type="radio"/> GASOLINA SUPER	0.00	0.00
<input type="radio"/> GASOLINA EXTRA	0.00	0.00
<input type="radio"/> DIESEL 1	0.00	0.00
<input type="radio"/> DIESEL 2	0.00	0.00
<input type="radio"/> NO PRODUCTO		

Buttons: REPORTE TD, REPORTE TN

Alarm History Table:

Fecha	Estado	Nombre	Grupo	Valor	Limite	Operador	Comentario
11 Feb	ACK	FALLA_VARIADOR	GB_ELEC	OFF	OFF	TALLER_17...	Alarmas Rec...
11 Feb	ACK	ALARM_PART_VAC	PARAM...	ON	ON	TALLER_17...	Alarmas Rec...

Buttons: INICIAR BOMBEO, MANTENIMIENTO, Manual, PARAMETROS, RESETEAR FALLAS, RECONOCER ALARMAS

Status: Update Successful, Default Query

Figura 3.30. Ventana de Computadora de Flujo

3.3.6.7. VENTANA DE ALARMAS. Además del cuadro de alarmas en la barra de estado, la HMI cuenta con una ventana que presenta una tabla de histórico de alarmas. Esta pantalla muestra en detalle el estado de las alarmas que se han presentado durante el proceso de bombeo. Los valores que se pueden observar son: fecha, hora, si ha sido o no reconocida por el usuario, el nombre de la alarma, de que grupo proviene, el valor de la variable junto a su límite y por último el campo de comentario en donde se ve que usuario ha reconocido la alarma y la razón del accionamiento.

El momento que se presenta una condición de alarma se despliega una ventana tipo POP UP, que sobresale en la interfaz alertando al usuario. Una vez que se ha producido una alarma marcada con color rojo, el sistema de bombeo se detiene hasta resolver el problema, reconocer y reiniciar el estado de falla.



Figura 3.31. Ventana de Alarmas

3.3.6.8. VENTANA DE HISTÓRICOS. Como se muestra en la Figura 3.32, la ventana de históricos permite al usuario tener un conocimiento del desarrollo de las variables de temperatura, presión y densidad del proceso por un lapso de 6 meses. En la parte derecha se selecciona la variable en estudio y se la visualiza en los ejes del lado izquierdo. Estas tendencias ayudan al personal de mantenimiento a realizar evaluaciones del desempeño de los grupos de bombeo y tomar medidas en caso de que exista un problema con algún equipo de la planta. En la parte inferior de los ejes se tiene un control para navegar por el tiempo y revisar las variables medidas.



Figura 3.32. Ventana de Históricos

3.3.6.9. VENTANA DE MANTENIMIENTO. Esta ventana permite el manejo manual de las niquelinas de precalentamiento de los motores, bombas de refrigeración, pre-lubricación y del sistema de enfriamiento de sellos del grupo eléctrico. A esta ventana solo se puede acceder con el nivel de acceso de mantenimiento y de supervisión. En la Figura 3.33 se muestra la ventana de mantenimiento.

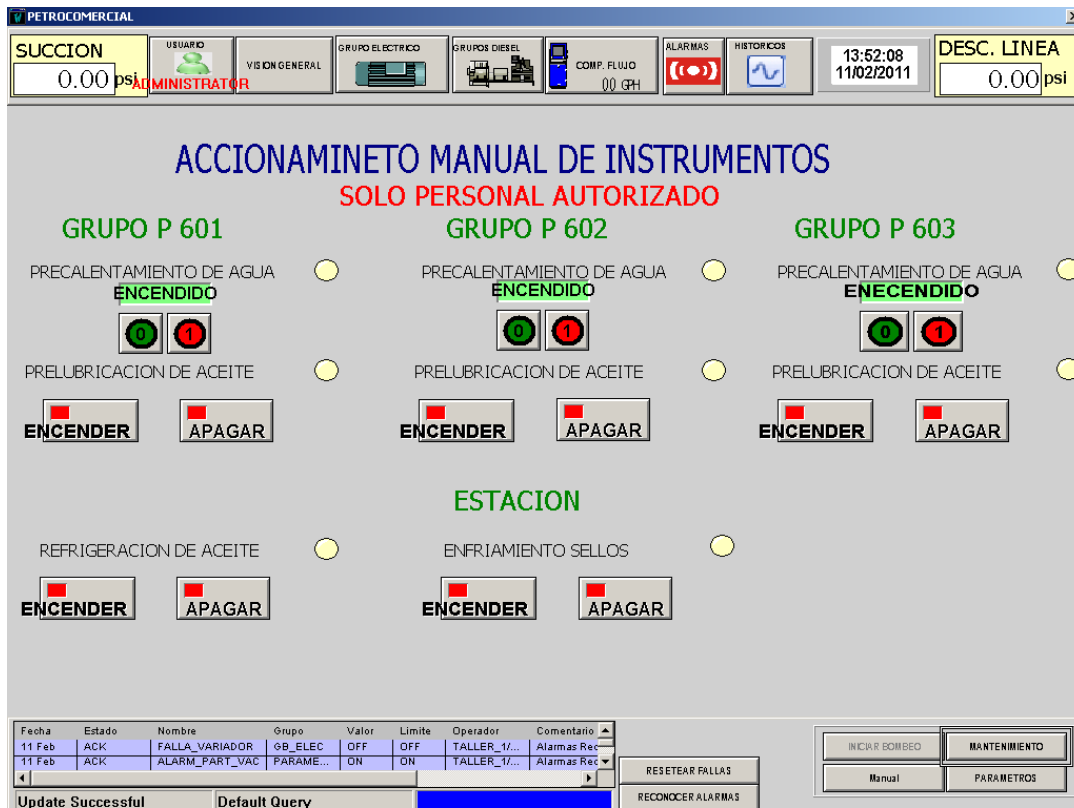


Figura 3.33. Ventana de Mantenimiento

CAPITULO 4

REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL GRUPO ELÉCTRICO: HARDWARE

4.1. REDISEÑO DE HARDWARE

Este proyecto se desarrolla en la Estación de Bombeo “El Beaterio” del Poliducto Quito – Ambato - Riobamba, la misma que se encuentra dentro de las instalaciones del Terminal de Productos Limpios de El Beaterio; el cual está localizado al sureste de la ciudad de Quito (Km 10 ½ Panamericana Sur), Provincia de Pichincha, a una altura aproximada de 2910 metros sobre el nivel del mar.

El Terminal El Beaterio tiene una superficie aproximada de 27 Ha, y es el lugar en el cual funcionan algunas de las dependencias técnico-operativas y administrativas de la Gerencia de Transporte y Almacenamiento de EP Petroecuador, tales como: Estación reductora de los Poliductos Shushufindi – Quito y Esmeraldas – Quito; Almacenamiento de Productos Limpios y la Estación cabecera del Poliducto Quito – Ambato – Riobamba (PQAR).¹³

En este capítulo se describen todos los elementos y criterios técnicos empleados para el desarrollo de la parte física, tanto en la elección, dimensionamiento y función de los dispositivos de acción como en el control del grupo de bombeo eléctrico del PQAR.

¹³ EP-PETROECUADOR. Terminal Beaterio, Información General: Ubicación. <http://www.petrocomercial.com/wps/portal/ne_gst_pqa>. 2008

4.1.1. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA REDISEÑO

Como antecedentes se puede indicar que el grupo eléctrico de bombeo se encontraba fuera de operación, debido a que el motor eléctrico presentó un defecto en la alineación de su eje. Dicho inconveniente provocaba un calentamiento excesivo en el cojinete interior del motor, lo que causaba el desgaste excesivo de rodamientos, tanto en el motor como en la bomba; en consecuencia se operaba fuera de los parámetros nominales de funcionamiento de los equipos.

Por esta razón, el grupo eléctrico de bombeo cesó sus operaciones por aproximadamente un año, exigiendo un sobre-esfuerzo de los grupos de bombeo diesel, equipos que tenían más de 20 años de funcionamiento, cuyo costo – beneficio no estaba a favor de la empresa.

En vista de la importancia del transporte y abastecimiento de combustible a la región centro – norte del país, es necesario que la Estación de bombeo del PQAR trabaje en óptimas condiciones, manteniendo el nivel de funcionamiento necesario para cumplir con dichos requerimientos, por lo que era indispensable la recuperación del grupo eléctrico de bombeo.

Debido a que el grupo eléctrico salió de operaciones, se realizó un análisis global del sistema, en donde se pudo observar que su arquitectura de control no es óptima. Existía una cantidad excesiva de cables sin identificación que llegaban al cuarto de control, lo que vuelve complicado su mantenimiento. Por lo tanto, no era adecuado volver a operar con dicha arquitectura, considerando que existen mejores opciones para cumplir con los mismos requerimientos, que optimicen recursos y espacio físico de implementación. En la Figura 4.1, se presenta el estado del cableado previo al proyecto, en donde se puede observar que todas las señales viajaban desde el campo al cuarto de control a través de cinco cables armados de 16 pares cada uno.

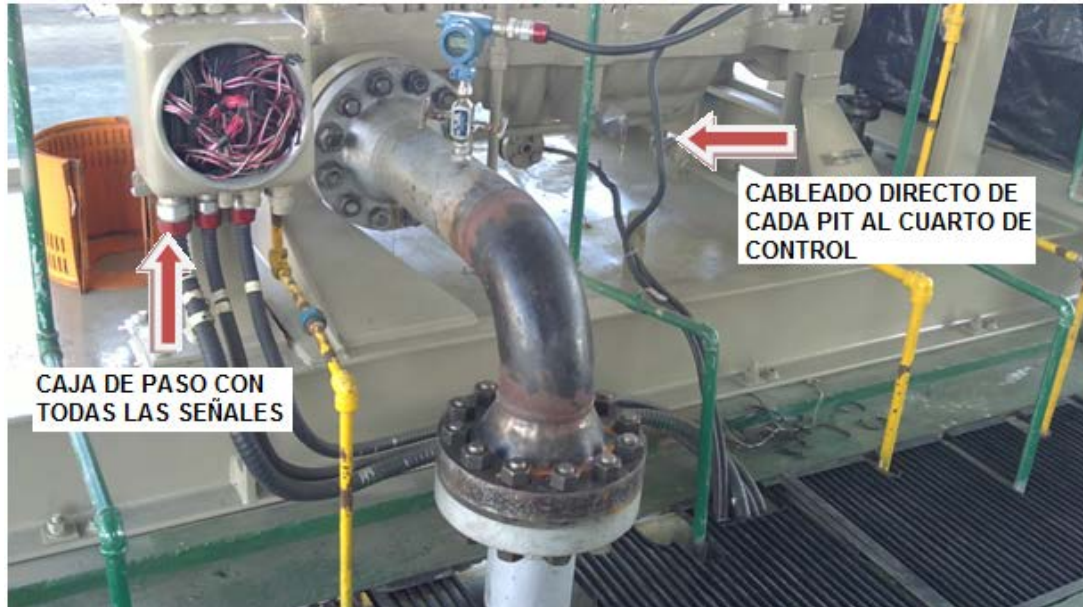


Figura 4.1. Caja de paso Anterior al Proyecto

Adicionalmente, dado que la documentación de dicho sistema estaba incompleta y en varias ocasiones no correspondía a lo que en realidad estaba físicamente instalado, el levantamiento de la información se vio agravada. De manera que la ejecución del presente proyecto implicó un rediseño y reinstalación casi completa de los componentes del grupo de bombeo, para lo cual se consideró recomendaciones y normativas referidas a sistemas de control electrónico, instalaciones eléctricas y mecánicas, que aseguren un correcto funcionamiento del grupo de bombeo eléctrico.

Las normas consideradas en la instalación del proyecto son las siguientes:

- Normativa interna de EP Petroecuador: Seguridad e higiene Industrial.
- Norma NEC (NFPA70): Instalaciones eléctricas, para cableado e instalación de dispositivos.

- Norma IEC 60204-1: Sistemas de seguridad de maquinaria y personas, sistemas de control.
- Norma IEC 1082: Realización de diagramas eléctricos.
- Norma ISA: diagramas de instrumentación y control.
- Norma API 610 y API 682.
- Recomendaciones de instalación y uso de los dispositivos, dadas por cada fabricante.

4.2. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA SOLUCIÓN

Una vez que se analizó el sistema de control inicial y sus inconvenientes, fue necesario realizar el planteamiento de la solución que más se adapte a las necesidades y recursos de la empresa.

El sistema de control del PQAR, está construido en base a PLCs Quantum de la marca Modicon de Schneider Electric, siendo el único dispositivo disponible para la implementación del nuevo sistema. Por lo tanto, se investigaron todas las posibilidades de conexión que brindan estos equipos, las cuales están descritas en el tema 2.2 ARQUITECTURAS DE ENTRADA Y SALIDA. Al analizar las características de cada arquitectura se concluyó que la indicada para esta instalación es la “Arquitectura de entradas y salidas remotas (RIO)”, ya que posee las siguientes ventajas:

- Reducción del número de cables desde el campo al cuarto de control, mediante el uso de un solo canal de transmisión de datos.

- Separación del proceso de bombeo a cargo del grupo eléctrico, de esta forma se puede realizar mantenimiento únicamente del área afectada sin intervenir en los procesos contiguos.
- Implementación de una derivación (drop) del PLC principal, en campo, que actúa como concentrador de entradas y salidas, reduciendo la distancia de cables hasta la instrumentación de campo. De esta manera se minimizan errores que se pueden presentar en las medidas de ciertas variables, tales como la temperatura proveniente de una RTD que requiere compensación debido a la longitud del cable.
- Utilización de cable coaxial como medio de transmisión de datos, el cual gracias a sus características de construcción presenta alta inmunidad en ambientes peligrosos, tanto en ruido electromagnético como en robustez ante inclemencias del medio.
- Opción de escalabilidad mediante una red RIO entre varios concentradores ubicados en diferentes máquinas.
- Facilidad de instalación, mantenimiento y escalabilidad del sistema, dado que en caso de incorporar un nuevo dispositivo de instrumentación, no se requiere un cambio en la infraestructura fundamental ni un cableado hacia el cuarto de control.

En la Figura 4.2 se muestra un diagrama de bloques, en el que se plantea la solución general de la arquitectura de control a implementarse.

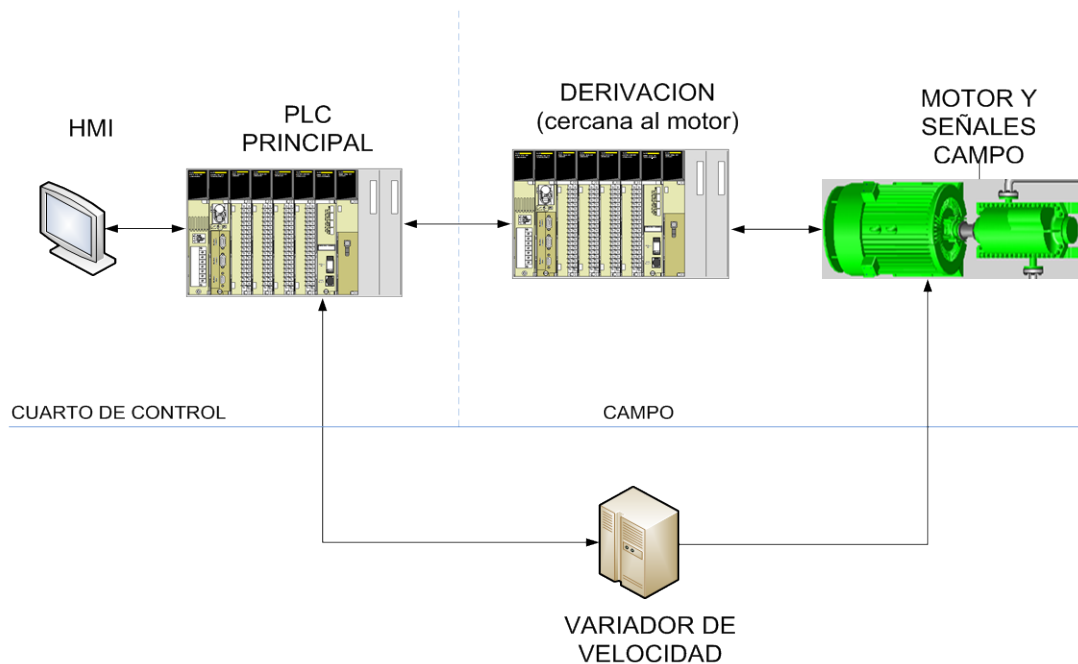


Figura 4.2. Diagrama de bloques planteamiento general

Como se puede observar en la figura anterior, las señales de campo van a la derivación que se encuentra cerca al motor, la información recolectada es enviada por cable coaxial hacia el PLC principal. Este último se encuentra ubicado en el cuarto de control en conjunto con un computador y una pantalla táctil que contienen la interfaz gráfica HMI para control y monitoreo de la estación.

El variador de velocidad se ubica en un cuarto independiente, y se conecta directamente con el motor del proceso y con el PLC principal de donde provienen las señales de control.

4.3. INGENIERÍA DE DETALLE

Después de que han sido descritas las necesidades de la planta, y que se ha generado un diagrama de bloques contemplando la solución general, es necesario

enfocarse en los componentes que forman parte del nuevo sistema de control detallando su propósito y parámetros de instalación.

Por lo tanto, se ha desarrollado un nuevo diagrama de bloques, el cual se muestra en la Figura 4.3, que considera, de manera más específica, los elementos del rediseño de la arquitectura de control.

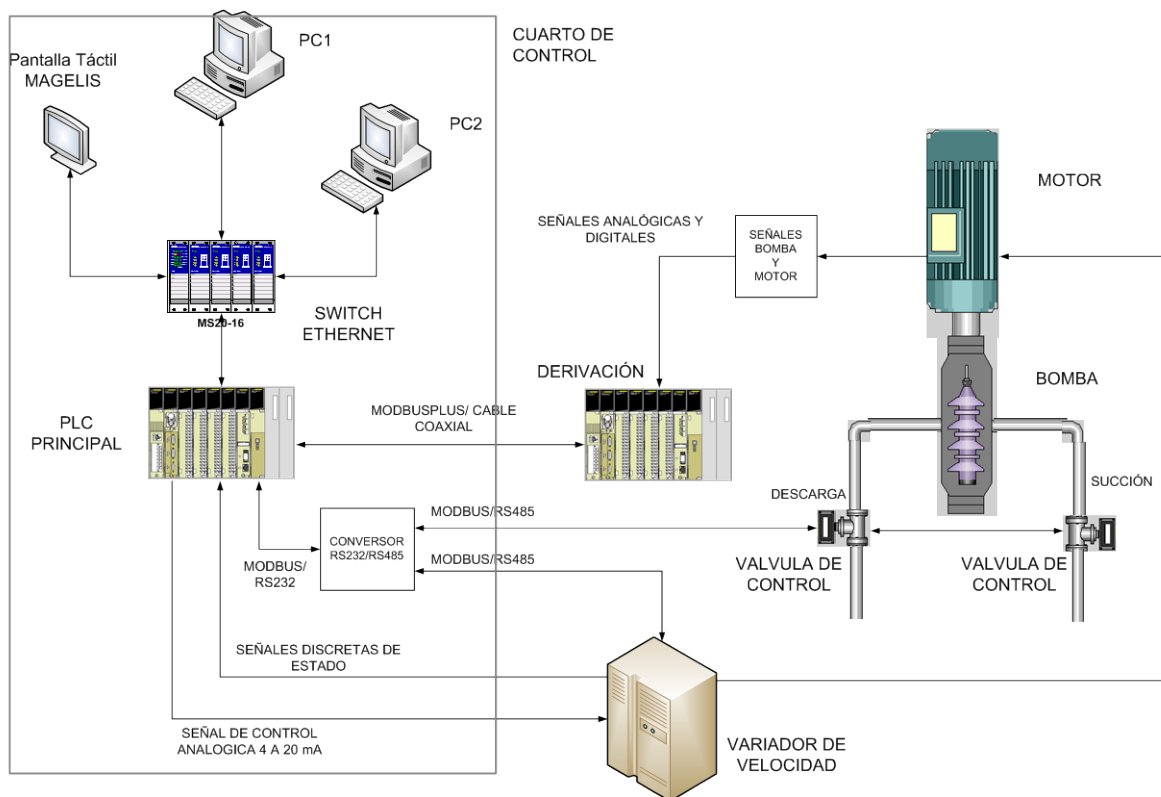


Figura 4.3. Diagrama de bloques específico

El lugar donde se desarrolla el proyecto es un área de riesgo, debido a que maneja productos inflamables durante su operación. De acuerdo a la norma de EP Petroecuador SHI 21 y NEC, se ha catalogado el área como CLASE 1 DIVISIÓN 1, por lo tanto todos los dispositivos a utilizarse deben ser aptos para trabajar bajo estas condiciones. Para más detalle de la clasificación, ver la sección 2.3.3 CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS.

4.3.1. EVALUACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE MOTOR Y BOMBA

Antes del desarrollo del proyecto se identificaron las fallas que presentaba el grupo eléctrico de bombeo, por lo que es necesario analizar el dimensionamiento de los elementos de la planta, con el fin de descartar la posibilidad de anomalías debido a errores en el diseño original. Entre los puntos más importantes a analizar están:

- Dimensionamiento de la bomba y su motor correspondiente.
- La compatibilidad motor – variador de velocidad.
- El sistema de enfriamiento de sellos de bomba.

4.3.1.1. EVALUACIÓN DE LA BOMBA. Como se mencionó anteriormente, el grupo eléctrico de bombeo tiene una bomba centrífuga horizontal multi-etapa marca Goulds Pumps¹⁴.

Dentro de los parámetros para evaluar si la bomba se ajusta a las necesidades del proceso, es necesario conocer las características hidráulicas del Poliducto Q-A-R. Las mismas que se detallan en la Tabla 4.1¹⁵.

Tabla 4.1. Características del PQAR

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Estación de Bombeo	Msnm	2910
Punto más Alto (KP35)	Msnm	3555
NPSHa	Psi	70
Cabeza total requerida	Pies	3470
Caudal de operación mínimo	GPM	300
Caudal de operación medio	GPM	360

¹⁴ Las características técnicas de la bomba, se describen en la Tabla 3.4. Referencia Cap. 3.

¹⁵ PARRA, Rony. Optimización de la operación en el Transporte de Derivados de Petróleo – Análisis y Estudio Hidráulico del Poliducto Quito – Ambato Operado por Petrocomercial: Análisis Hidráulico. Quito, 2010, 101p. Ingeniero de Petróleos. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Caudal de operación máximo	GPM	400
Presión a la salida requerida	GPM	1240

Una vez obtenidos los datos de la planta, se los compara con las curvas características de la bomba Goulds Pumps modelo 3600 3X6 – 10 utilizada por la estación de bombeo del Poliducto Q-A-R.

La Figura 4.4 indica las variables de cabeza de empuje de la bomba (pies y metros), eficiencia (%), NPSHr (pies y metros) en función del caudal (gpm y m³/hr) a 3560 rpm con un rodete de 9”.

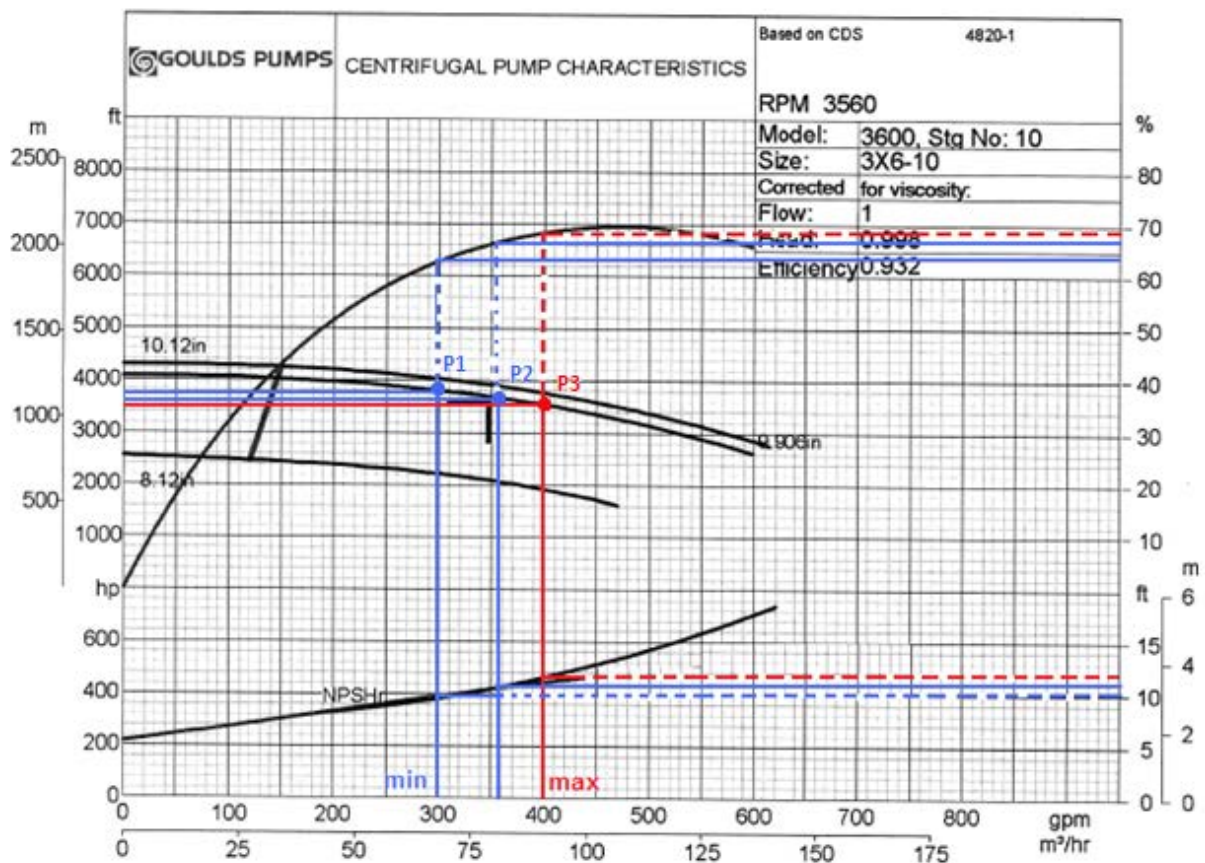


Figura 4.4. Curva característica de la Bomba

De donde se obtienen los siguientes datos:

Tabla 4.2. Datos de la Curva Característica de la Bomba

	CAUDAL			
	Mínimo (P1)	Medio (P2)	Máximo (P3)	Necesidades Planta
Cabeza de empuje (pies)	3700	3600	3500	3470
NPSHr (pies)	10	11	12	181 (NPSHa)
Eficiencia (η) (%)	64	67	69	--

Se puede concluir que la bomba utilizada en el proceso, cumple con las condiciones necesarias de trabajo, ya que la cabeza de empuje para sobrepasar el punto más alto (KP35), es menor a la capacidad máxima de la bomba. Adicionalmente cumple con la relación $NPSHa > NPSHr$, guardando un margen de seguridad adecuado para protección del equipo.

Por último, para asegurar un correcto funcionamiento de la bomba, se define la velocidad específica de succión (N_{ss}), definida en la Ecuación 2.12.

$$N_{ss} = \frac{3600 [rpm] \times (400 [gpm])^{\frac{1}{2}}}{(181 [pies])^{\frac{3}{4}}} = 1459$$

Ecuación 4.1. Velocidad Específica de Succión PQAR

Como se puede verificar, el N_{ss} para este proceso es menor a 8500, cumpliendo con las recomendaciones del Instituto Hidráulico de los Estados Unidos.

4.3.1.2. EVALUACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO. El motor eléctrico es el encargado de transmitir la energía hacia la bomba y consecuentemente al fluido. Por lo tanto, es importante disponer de un equipo que cumpla con los requerimientos para obtener el flujo necesario, en condiciones nominales.

De acuerdo con la cabeza de empuje calculada en el dimensionamiento de la bomba ($H = 1057.66[m]$), se procede a obtener la potencia necesaria del motor. Para el cálculo se consideró el caudal máximo ($Q = 0.0252 \left[\frac{m^3}{s} \right]$) con el producto más denso que actualmente es Diesel2 ($\rho = 900 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$). La Ecuación 2.7 determina la potencia que brinda el motor en función de las variables de bombeo, entonces:

$$P = \frac{\rho * g * H * Q}{1000 * \eta}$$

$$P = \frac{900 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] x 9.8 \left[\frac{m}{s^2} \right] x 1057.66[m] x 0.0252 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{1000 x 0.69} = 340.7 [KW]$$

$$P = 340.7 [KW] = 457[HP]$$

Como se indicó en el capítulo 3, el motor que se encuentra instalado, tiene una potencia nominal de 450 [KW] a 40 [°C] y 1000 [msnm]. A fin de conocer la potencia real, se debe corregir el valor de potencia nominal de acuerdo a las condiciones de trabajo del motor. Puesto que la Estación de bombeo “El Beaterio”, está a 2910 [msnm] y a 25 [°C], le corresponde un factor de derrateo de 0.84 respecto a la altura. En tanto que para la temperatura le corresponde un factor de 1.07¹⁶. Por lo tanto, la potencia derrateada real sería:

$$P_{derrateada} = P_{nominal} * FD_H * FD_T$$

$$P_{derrateada} = 450KW * 0.84 * 1.07$$

$$P_{derrateada} = 404.5 Kw$$

Donde:

$P_{derrateada}$: Potencia Real Corregida.

¹⁶ ABB MOTORS. Guía del motor: Diseño eléctrico. Vaasa – Finlandia: ABB, 1999. Página 50

$P_{nominal}$: Potencia Nominal del Motor a 1000 [msnm] y 40 [°C].

FD_H : Factor de Derrateo por Altura.

FD_T : Factor de Derrateo de Temperatura.

La potencia real debe tener un margen de seguridad del 5 al 30 % por sobre la potencia requerida por el proceso. La potencia derrateada del motor es de 404.5 [KW] y la requerida por el proceso es de 340.7 [KW], por lo que sobrepasa con un margen de seguridad de 16%. Adicionalmente la velocidad nominal del motor (3586 [rpm]), es superior a la velocidad de giro de la bomba (3560 [rpm]). Por lo tanto, se puede verificar que el motor satisface las necesidades de la bomba¹⁷.

El motor eléctrico, al tener un sistema de enfriamiento por ventilador acoplado directamente al eje, no produce el flujo de aire necesario para mantener baja su temperatura a una velocidad inferior a la nominal. Para garantizar la temperatura adecuada del motor se recomienda instalar un sistema independiente de ventilación (NEC 430 artículo 10), asegurando su desempeño en torque dentro de todo el rango de frecuencias, sin provocar excesos de calor que posteriormente deterioren al equipo y disminuyan su vida útil.

La Figura 4.5, contiene una gráfica comparativa de la respuesta del torque del motor con y sin un sistema de enfriamiento independiente.

¹⁷ Los datos nominales de motor y bomba se observan en la Tabla 3.2 y la Tabla 3.4 respectivamente. Referencia Cap. 3.

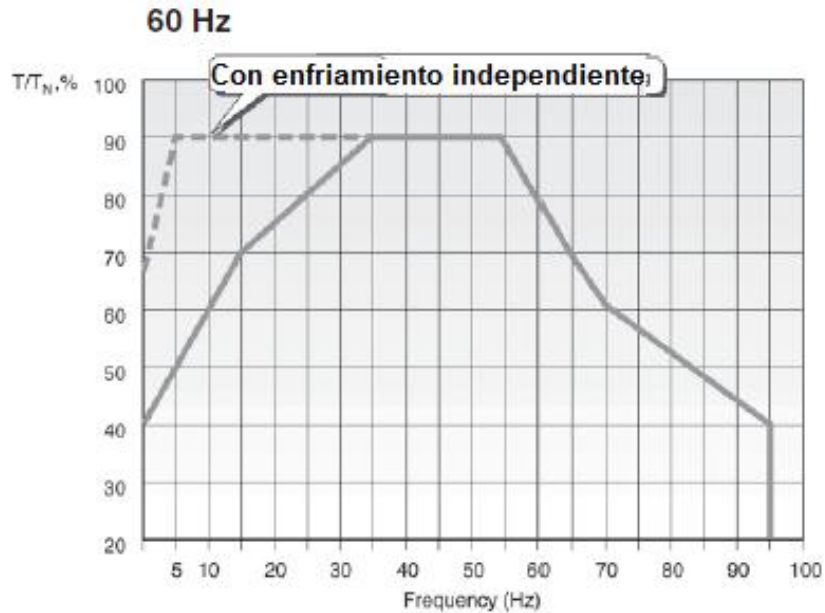


Figura 4.5. Respuesta del Motor con un Sistema de Enfriamiento Independiente

4.3.1.3. EVALUACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD. El proceso de bombeo requiere que el flujo del producto sea controlado. Por lo que se utiliza un variador de velocidad, el cual será el encargado de proveer alimentación al motor, además omitir el uso de protecciones adicionales y otros equipos de arranque. El control de flujo permite:

- Garantizar que producto bombeado llegue a la Estación reductora Ambato.
- Mantener la presión de la línea.
- Proteger la tubería y los equipos que se encuentren en la línea.

El variador de velocidad que está instalado es de la marca ABB y su modelo es el ACS800-07-0610-5¹⁸.

¹⁸ Las características del mismo se las puede encontrar en la Tabla 3.5.

Al comparar las características del Variador de Velocidad con el Motor Eléctrico (analizado en la sección 4.3.1.2.), se puede concluir que el dispositivo de control satisface las necesidades del proceso. Según su hoja técnica, el motor ha sido probado con variadores ACS800, que incluyen DTC, siendo favorable su desempeño y sin mostrar algún tipo de incompatibilidad entre estos dispositivos.

4.3.1.4. EVALUACIÓN DEL PLAN DE ENFRIAMIENTO API. Toda bomba centrífuga cuenta con sellos mecánicos, los cuales deben utilizar un sistema de refrigeración para asegurar su correcto funcionamiento y vida útil de los mismos. La norma API 682 describe los sistemas de enfriamiento para los diferentes tipos de bomba y sus respectivas aplicaciones. En este caso, el fabricante de la bomba (Goulds Pumps), recomienda tres tipos de plan API que pueden ser aplicados en sus productos: Plan API 11, Plan API 61 y Plan API 52.

La estación de bombeo “El Beaterio”, como se había indicado, se encuentra catalogada como CLASE 1, División 1. Con estos antecedentes, la instalación anterior pretendía implementar el Plan API 52 para evitar cualquier fuga del producto al exterior. Sin embargo, este sistema no fue instalado en su totalidad y omitió algunos elementos vitales para su correcto funcionamiento.

Después de comparar la instalación con la norma, se pudo observar que los únicos elementos instalados son los sensores de nivel bajo en cada uno de los tanques. Dado que el lubricante puede fugar hacia la bomba, solamente se puede identificar niveles bajos de lubricante lo que indica una fuga del mismo, más no del producto. Cabe indicar que el éxito del PLAN API 52A, es detectar la fuga del producto en los sellos mecánicos mediante el aumento de presión y/o nivel en los tanques de reserva, por lo tanto, sería indispensable implementar sensores de nivel alto, o en su defecto sensores de presión alta, para indicar que el nivel de los

tanques ha aumentado debido a la mezcla de lubricante con el producto fugado. La configuración planteada se muestra en la Figura 4.6:

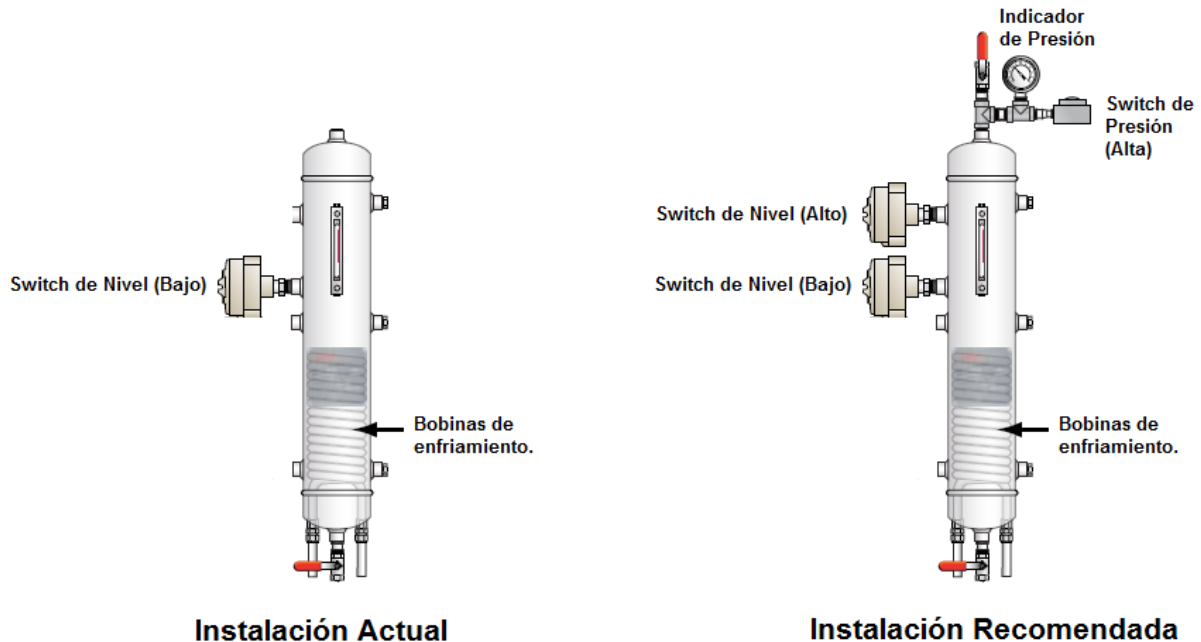


Figura 4.6. Recomendación para Plan API 52

4.3.2. DISPOSITIVOS

A partir de la Figura 4.3 se procede a ampliar la información requerida en función de las diferentes secciones que componen el sistema de control.

4.3.2.1. SEÑALES DE BOMBA Y MOTOR. Las variables críticas que presenta el proceso se localizan en los actuadores principales del proyecto, bomba y motor, por lo que, con el fin de realizar mantenimiento y evitar daños, es importante dotar al proceso de la instrumentación necesaria para monitorear los elementos sensibles de los mismos. La ubicación de los elementos se describen en el Anexo D.2: Diagrama P&ID.

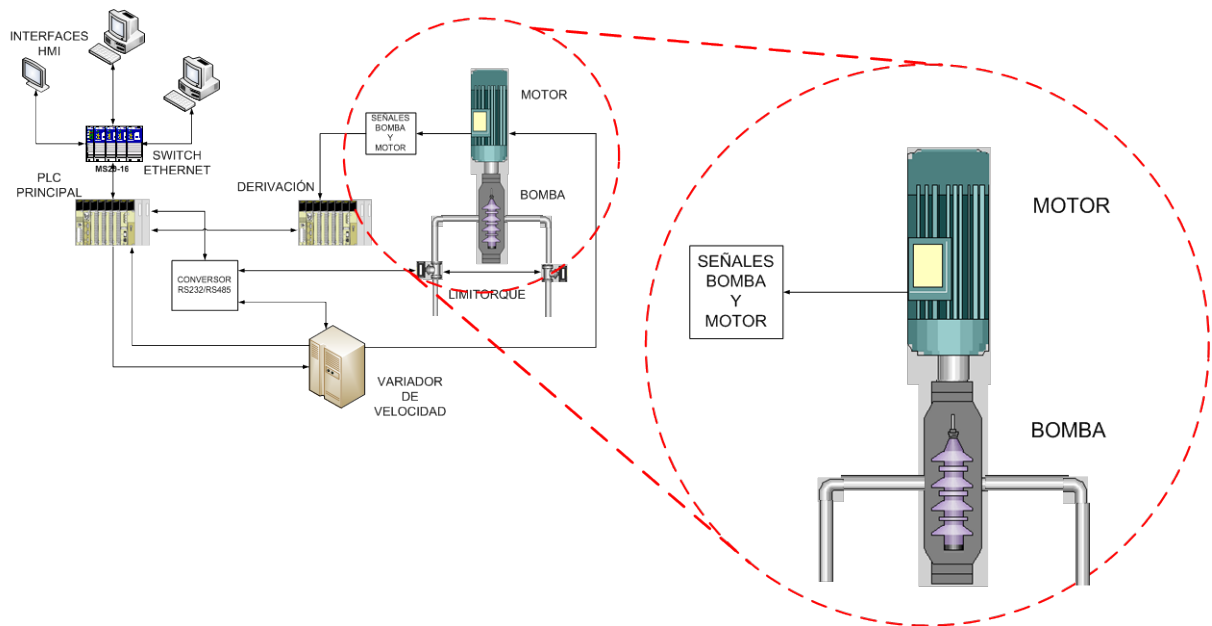


Figura 4.7. Señales de Motor y Bomba

Las variables que intervienen en el proceso son las siguientes:

TEMPERATURA. La temperatura de operación sobre los parámetros nominales especificados por el fabricante indica un desgaste por rozamiento (elementos mecánicos), o por sobrecorriente (elementos eléctricos). Estas anomalías resultan en una disminución de la vida útil de los elementos.

PRESIÓN. Debido a que se trata de un proceso de bombeo, es primordial conocer la presión de descarga de la bomba, de esta manera se asegura que el producto alcanzará y pasará el punto más alto de la línea. Además, garantizar una presión adecuada en la succión de la bomba que ayuda a prevenir el fenómeno de la cavitación y calentamiento de los rodetes por falta de producto mínimo requerido en la entrada.

Por lo tanto, es necesaria la implementación de sensores de presión antes de la válvula de succión y después de la válvula de descarga. De este modo, se puede sensar la presión de la línea

VIBRACIÓN. La medición de vibraciones en un sistema, ayuda a prevenir el desgaste de los elementos mecánicos y un consecuente sobrecalentamiento de los mismos. Debido a que se trata de un sistema acoplado, motor – bomba, es necesaria la instalación de sensores de vibración en los cojinetes de la bomba.

El objetivo es evitar los niveles de vibración excesivos que pueden dañar los cojinetes, la cámara de sellado y el sello mecánico; causando una disminución del rendimiento.

En la Tabla 4.3 se describe las variables importantes del proceso con su elemento de medición y características correspondientes.

Tabla 4.3. Variables a medir en motor y bomba

VARIABLE	DISPOSITIVO	TIPO SEÑAL	# CABLES	RANGO / ESTADO	NOMENCLATURA P&ID
Temperatura Cojinete exterior bomba	RTD Pt100	Analógica	2	49 – 82°C	TE 160104 - A
Temperatura Cojinete interior bomba	RTD Pt100	Analógica	2	49 – 82°C	TE 160104 - C
Temperatura carcasa bomba	RTD Pt100	Analógica	2	Max 135°C	TE 160104 - B
Temperatura Cojinete exterior motor	RTD Pt100	Analógica	2	Max 85 °C	TE 161001 - B
Temperatura Cojinete interior motor	RTD Pt100	Analógica	2	Max 85°C	TE 161001 - A
Temperatura devanado 1 A	RTD Pt100	Analógica	2	Max 155°C	TE 161001 – C
Temperatura devanado 2 A	RTD Pt100	Analógica	2	Max 155°C	TE 161001 – D

VARIABLE	DISPOSITIVO	TIPO SEÑAL	# CABLES	RANGO / ESTADO	NOMENCLATURA P&ID
Temperatura devanado 3 A	RTD Pt100	Analógica	2	Max 155°C	TE 161001 – E
Temperatura devanado 1B	RTD Pt100	Analógica	2	Max 155°C	TE 161001 – F
Temperatura devanado 2B	RTD Pt100	Analógica	2	Max 155°C	TE 161001 – G
Temperatura devanado 3B	RTD Pt100	Analógica	2	Max 155°C	TE 161001 – H
Presión succión bomba	Sensor transmisor indicador	Analógica	3	30 – 70 psi	PIT 160104 – A
Presión descarga bomba	Sensor transmisor indicador	Analógica	3	Max 1300 psi	PIT 160104 – B
Presión succión bomba línea	Sensor transmisor indicador	Analógica	3	30 – 70 psi	No Instalado
Presión succión bomba línea	Sensor transmisor indicador	Analógica	3	Max 1300 psi	No Instalado
Sensor de nivel bajo tanque de enfriamiento, cojinete exterior bomba	Conmutador de nivel	Digital	4 (2 para 110 VAC)	Definido en el tanque	LSL 160104 – A
Sensor de nivel alto tanque de enfriamiento, cojinete exterior bomba	Conmutador de nivel	Digital	4 (2 para 110 VAC)	Definido en el tanque	No Instalado
Sensor de presión alta tanque de enfriamiento, cojinete exterior bomba	Conmutador de presión	Digital	2	20 psi	No Instalado
Sensor de nivel bajo tanque de enfriamiento, cojinete interior bomba	Conmutador de nivel	Digital	4 (2 para 110 VAC)	Definido en el tanque	LSL 160104 – B
Sensor de nivel alto tanque de enfriamiento, cojinete interior bomba	Conmutador de nivel	Digital	4 (2 para 110 VAC)	Definido en el tanque	No Instalado
Sensor de presión alta tanque de enfriamiento, cojinete interior bomba	Conmutador de presión	Digital	2	20 psi	No Instalado

VARIABLE	DISPOSITIVO	TIPO SEÑAL	# CABLES	RANGO / ESTADO	NOMENCLATURA P&ID
Sensor de vibración, cojinete exterior bomba	Conmutador de vibración	Digital	2	Calibración en campo	VSH 160104 – A
Sensor de vibración, cojinete interior bomba	Conmutador de vibración	Digital	2	Calibración en campo	VSH 160104 – B
Sensor de temperatura interior del tablero exterior	RTD Pt100	Analógica	2	Max 60°C	TE 161001 – I
Paro de Emergencia en Campo	Pulsador con Enclavamiento	Digital	2	ON-OFF	-

Los límites mínimos y máximos permitidos para cada variable del proceso han sido tomados de las respectivas hojas técnicas, tanto del motor como de la bomba. Los dispositivos de medición que dispone la estación de bombeo, cumplen con los parámetros requeridos para su instalación.

4.3.2.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS DEL PLC. El PLC es el encargado de realizar las acciones de control necesarias en función de las variables que llegan al dispositivo. Para realizar dichas acciones, es necesario definir los módulos de comunicación, entrada y salida para cumplir con el propósito del proyecto.

Como se ha mencionado anteriormente, la arquitectura a implementarse será la de entradas y salidas remotas (RIO). En este caso se utilizarán dos backplanes para su desarrollo, el primero contiene la CPU por lo tanto será el backplane principal. El segundo se convierte en el backplane secundario o derivación, aquí se encuentra la CRA.

En este caso, el dimensionamiento de los módulos de entrada y salida, tendrá que basarse en la disponibilidad¹⁹ de la Bodega del Terminal “El Beaterio”. Solicitar

¹⁹ Los módulos disponibles se encuentran en la Tabla 3.9. Referencia Capítulo 3

diferentes módulos a los que se encuentran en stock, implicaría un retraso innecesario en el desarrollo del proyecto y gastos adicionales para la empresa.

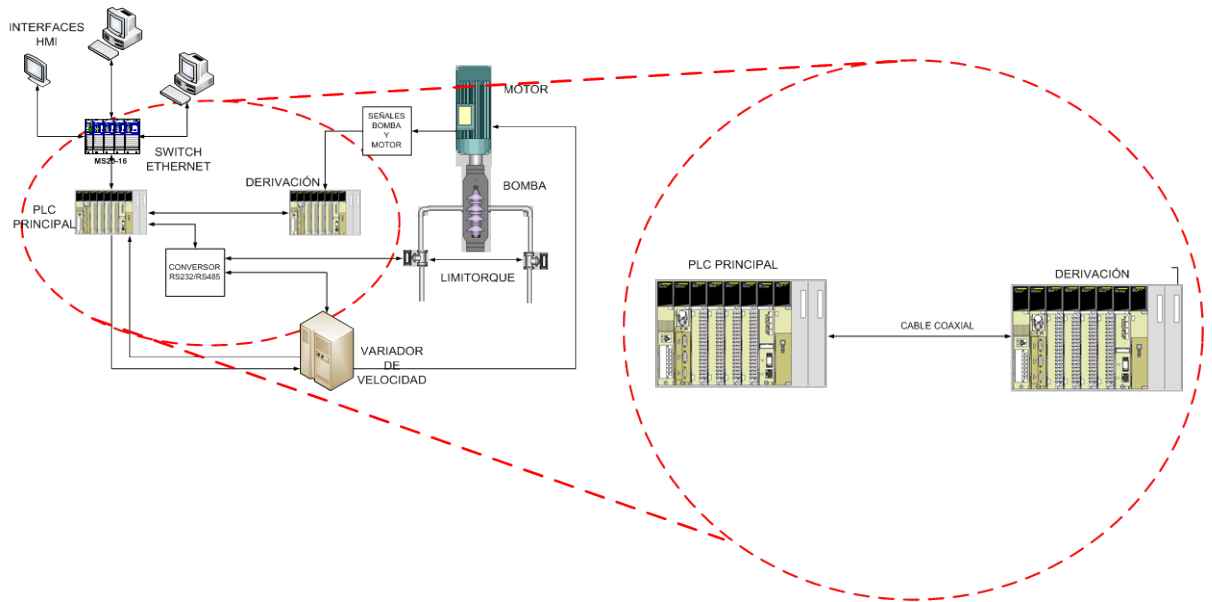


Figura 4.8. PLC Principal y Derivación

BACKPLANE PRINCIPAL. El backplane principal está ubicado en el cuarto de control y al contener la CPU, será defenido como el cerebro del proceso.

Este backplane manejará 10 entradas digitales, 4 salidas digitales, 1 señal analógica de entrada, 1 señal analógica de salida, comunicación Modbus, cabecera RIO y comunicación Ethernet.

ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES: De acuerdo al número de entradas y salidas digitales necesarias, el módulo óptimo que se ajusta al proyecto es el 140DDM39000, que maneja 16 entradas y 8 salidas. Dado que, este módulo no se encuentra disponible en el terminal, se utilizarán 2 módulos:

- Para entradas el 140DDI35300 (32 entradas 24VDC)

- Para salidas el 140DDO35300 (32 salidas 24 VDC)

En la Tabla 4.4 se encuentra la señal correspondiente para cada una de las entradas de la DDI y la DDO.

Tabla 4.4. Entradas y Salidas Digitales

	MÓDULO	CANAL	ESTADO INICIAL	DESCRIPCIÓN
ENTRADAS	140DDI35300	1	0	Estado "READY" del Variador de Velocidad
	140DDI35300	2	0	Estado "RUN" del Variador de Velocidad
	140DDI35300	3	1	Estado "FAULT" del Variador de Velocidad
	140DDI35300	4	1	Relé de Falla de Fase
	140DDI35300	5	0	Reconocimiento Estado Bomba Booster 1
	140DDI35300	6	0	Reconocimiento Estado Bomba Booster 2
	140DDI35300	7	0	Reconocimiento Estado Bomba Enfriamiento de Sellos GBE
	140DDI35300	8	0	Reconocimiento Estado Bomba Enfriamiento GBD
	140DDI35300	31	1	Paro de Emergencia Local GBE
	140DDI35300	32	1	Paro de Emergencia Local General
SALIDAS	140DDO35300	1	0	Activación del Variador de Velocidad
	140DDO35300	2	0	Activación Bombas de Enfriamiento GBE y GBD
	140DDO35300	3	0	Activación Bomba Booster 1
	140DDO35300	4	0	Activación Bomba Booster 2

ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS: Para el caso de las entradas analógicas, el módulo que se utilizará es el 140ACI04000 (16 entradas analógicas), y para las salidas analógicas, se utilizará el módulo 140ACO13000 (8 salidas analógicas).

Tabla 4.5. Señales de Entrada y Salida Analógicas

MÓDULO	CANAL	RANGO	DESCRIPCIÓN
140ACI04000	1	4-20 mA.	Lectura de la Velocidad del Motor desde el Variador
140ACO13000	2	4-20 mA.	Señal de Control de Velocidad hacia el Variador

COMUNICACIONES: Para realizar la comunicación entre la cabecera de la RIO con su derivación (CRA), se utilizará el módulo 140CRP93100.

Para compartir información con las computadoras de la sala de operaciones y el servidor del Terminal, es necesaria una red Ethernet. Por lo tanto se utilizará el módulo 140NOE77111, que brinda comunicación TCP/IP. Además para la comunicación con actuadores y variador de velocidad, se utilizará protocolo MODBUS disponible en el CPU.

UNIDA CENTRAL DE PROCESO: Para el dimensionamiento de este módulo, es necesario conocer el número de palabras de entrada y salida que debe manejar, ya que no es posible sobrepasar la memoria del dispositivo. El número de palabras varía de acuerdo al módulo, en este caso sería el siguiente:

Tabla 4.6. Número de Palabras por Módulo

MÓDULO	PALABRAS ENTRADA/SALIDA (1palabra = 16 bits)
140DDI35300	2 Palabras de Entrada
140DDO35300	2 Palabras de Salida
140ACI04000	17 Palabras de Entrada
140ACO13000	8 Palabras de Salida
Suma =	19 Palabras de Entrada / 10 Palabras de Salida

Al comparar la Tabla 4.6 con la 140CPU43412A, la cual está disponible en el Poliducto QAR, se puede observar que esta cumple con los requerimientos de memoria necesarios, ya que tiene 64 palabras de entrada y 64 palabras de salida. Además, esta CPU tiene 2 puertos Modbus RS232 y soporta programación con el software Concept, satisfaciendo las necesidades de comunicación.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: En el caso del dimensionamiento de la fuente de alimentación, se debe tomar en cuenta que la sumatoria de potencia disipada por cada uno de los módulos debe ser inferior a la salida máxima de la fuente. En la Tabla 4.7 se presentan las cargas de cada módulo:

Tabla 4.7. Máxima Potencia Disipada por Módulo Backplane Principal

MÓDULO	MÁXIMA POTENCIA DISIPADA [W]
140DDI35300	13.22
140DDO35300	8.15
140ACI04000	5
140ACO13000	5
140NOE77111	3.8
140CRP93100	3
140CPU43412A	9
Suma =	47.17

La fuente de alimentación elegida es la 140CPS11420, que soporta hasta 55 W. de carga máxima y se alimenta con 115 VAC.

DIMENSIONAMIENTO BACKPLANE: Finalmente después de haber determinado el número de módulos que están en esta parte del proceso, se debe elegir el tamaño del backplane adecuado para contenerlos. En este caso en total se tienen 8 módulos, por lo que es necesario ubicarlos en un backplane de 10 ranuras (slots), modelo 140XBP01000. La distribución se presenta en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Distribución Backplane Principal

MODULOS	RANURA	CAPACIDAD	UTILIZADO	DISPONIBLE
140CPS11420	1	55 [W]	47.17 [W]	7.83 [W]
140CPU43412A	2	64 words IN 64 words OUT	19 words IN 10 words OUT	45 words IN 54 words OUT
140DDI35300	3	32 Canales	10 Canales	22 Canales
140DDO35300	4	32 Canales	4 Canales	28 Canales

MODULOS	RANURA	CAPACIDAD	UTILIZADO	DISPONIBLE
140ACIO4000	5	16 Canales	1 Canales	15 Canales
140ACO13000	6	8 Canales	1 Canales	7 Canales
140NOE77111	7	-	-	-
140CRP93100	8	31 Derivaciones	1 Derivación	30 Derivaciones
LIBRE	9	-	-	-
LIBRE	10	-	-	-

BACKPLANE SECUNDARIO O DERIVACIÓN. Se ubica en campo junto al grupo de bombeo eléctrico. Para el montaje del backplane es necesaria una caja de conexiones que cumple con las condiciones de instalación en zonas de riesgo Clase 1 División 1.

A este backplane llegan las señales de los sensores del motor y bomba descritos en la Tabla 4.3. Cabe recalcar que no se dispone de ciertos sensores tomados en cuenta en el diseño. Sin embargo serán consideradas y se dejará el espacio para su posterior instalación. Estos sensores son:

- Un sensor de nivel alto en cada uno de los tanques de enfriamiento de sellos.
- Un sensor de presión alta en cada uno de los tanques de enfriamiento de sellos.
- Dos sensores de presión en la línea.

La derivación o drop es la encargada de concentrar las señales de campo, las mismas que se detallan como: 5 entradas digitales, 2 entradas analógicas de 4 a 20 mA y 12 señales analógicas de RTDs. En caso de futuras expansiones del sistema, existen entradas adicionales disponibles.

MÓDULOS DE ENTRADA Y SALIDA: Se utilizarán los siguientes módulos:

- Para las entradas digitales se cuenta con el módulo 140DDI35310.
- Para las señales analógicas un modulo 140ACI04000.
- Dos módulos 140ARI03010, que manejan sensores RTD.

COMUNICACIONES: Para enviar estas señales al backplane principal es necesario un adaptador de derivación RIO, es cuál es el 140CRA93100. Este módulo se comunica con la CRP del backplane principal mediante Modbus plus sobre cable coaxial.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN: La alimentación de estos módulos se dimensiona de igual manera que en el caso del backplane principal. En la Tabla 4.9 se presentan las cargas de cada módulo:

Tabla 4.9. Máxima Potencia Disipada por Módulo Backplane Secundario

MÓDULO	MÁXIMA POTENCIA DISIPADA [W]
140DDI35310	10
140ACI04000	5
140ARI03010	1
140ARI03010	1
140CRA93100	3
Suma =	20

La fuente de alimentación elegida es la 140CPS11420, que soporta hasta 55 W. de carga máxima y se alimenta con 115 VAC.

DIMENSIONAMIENTO BACKPLANE: Se implementarán 6 módulos, para lo cual se utilizará un backplane de seis ranuras, modelo 140XBP00600. La distribución se presenta en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Distribución Backplane Secundario

MÓDULOS	RANURA	CAPACIDAD	UTILIZADO	DISPONIBLE
140CPS11420	1	55 [W]	20 [W]	35 [W]
140CRA93100	2	64 words IN 64 words OUT	37 words IN 0 words OUT	26 words IN 64 words OUT
140DDI35310	3	32 Canales	5 Canales	27 Canales
140ACI04000	4	16 Canales	2 Canales	14 Canales
140ARI03010	5	8 Canales	8 Canales	0 Canales
140ARI03010	6	8 Canales	4 Canales	4 Canales

4.3.2.3. ACTUADORES LIMITORQUE. Son actuadores electromecánicos con control electrónico, que permiten la automatización de válvulas manuales a través de un acople. En el proceso están ubicados a la succión y descarga del Grupo Eléctrico de Bombeo.

El control de los actuadores se lo realiza mediante una red Modbus RS-485, directamente conectada al PLC principal, de esta manera se puede abrir o cerrar las válvulas.

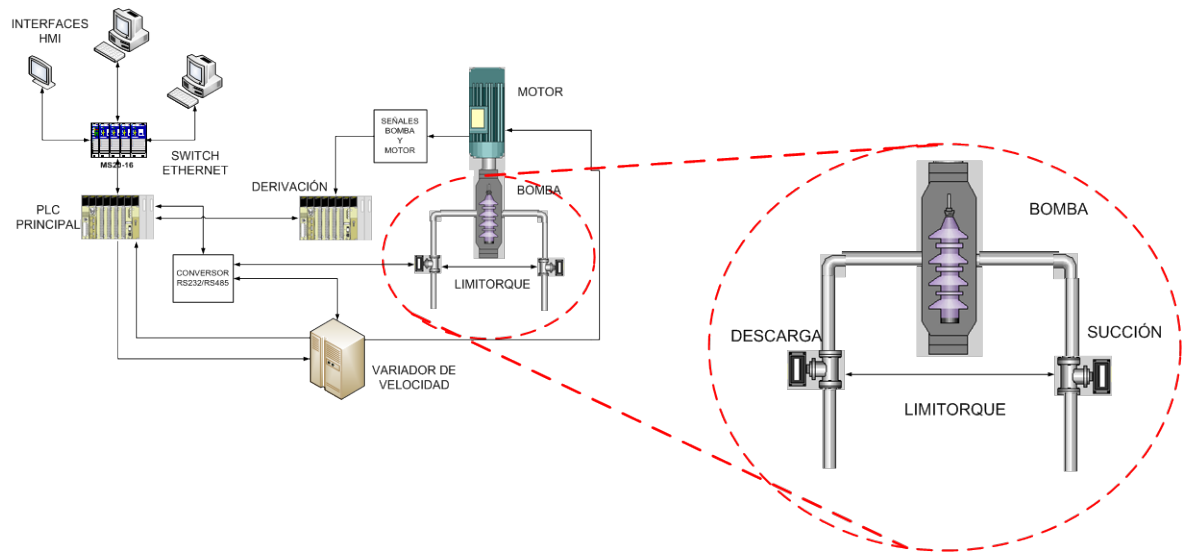


Figura 4.9. Actuadores Limitorque

4.3.2.4. RED MODBUS. Con el objetivo de conocer o controlar el estado de los actuadores, se implementará una red de campo MODBUS.

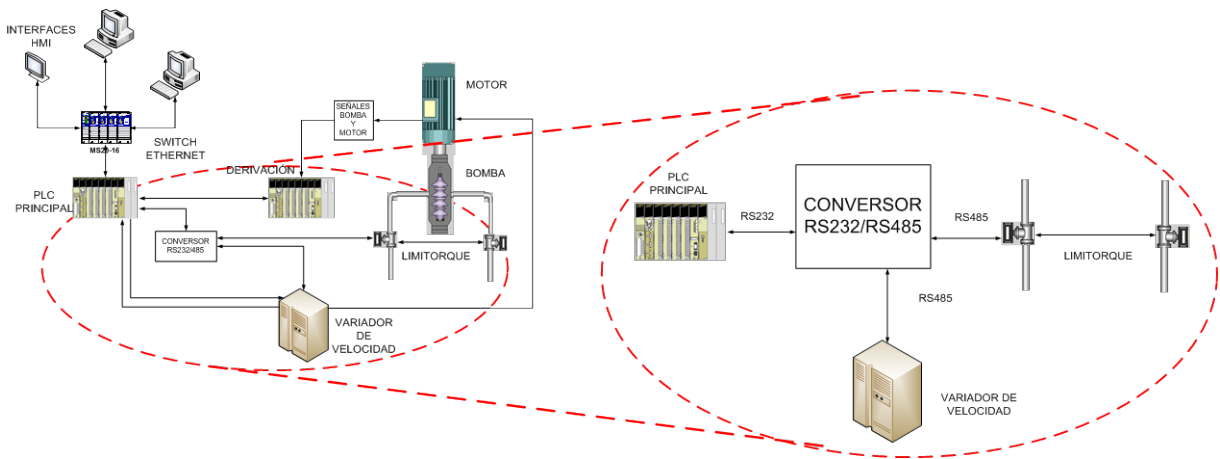


Figura 4.10. Red Modbus

Se ha creado una red exclusiva para el Grupo de Bombeo Eléctrico. Los dispositivos dentro de la red son: el variador de velocidad, a través de su módulo RMBA01 que posee MODBUS RS-485, los Limitorques mediante su tarjeta de red

DDC – 100 que utiliza MODBUS RS-485 y el PLC principal con dos puertos de comunicación MODBUS RS-232 en su CPU. A fin de establecer la comunicación entre los dispositivos de la red, es necesario un conversor de RS-485 a RS-232, en este caso es de la marca B&B electronics modelo 485LDRC9.

Cada dispositivo de la red tiene una dirección ID única que sirve para direccionar los registros de lectura y escritura. El detalle de la conexión se puede observar en el plano 20 del Anexo D.3: Diagramas Eléctricos, además la configuración de los dispositivos se detalla en el Anexo B.2: Manual Red Modbus.

4.3.2.5. RED ETHERNET. La comunicación entre el PLC y los dispositivos de monitoreo y supervisión (computadoras, pantalla táctil y servidor), se realizó mediante una red Ethernet TCP/IP. Considerando que el switch de comunicaciones disponible en el cuarto de control estaba saturado, se optó por la adquisición e instalación de un nuevo equipo de red, que es un switch industrial modular marca Hirschmann modelo MS20 con 4 módulos MM2-4TX1 de cuatro puertos Ethernet 10/100 Mbps cada uno.

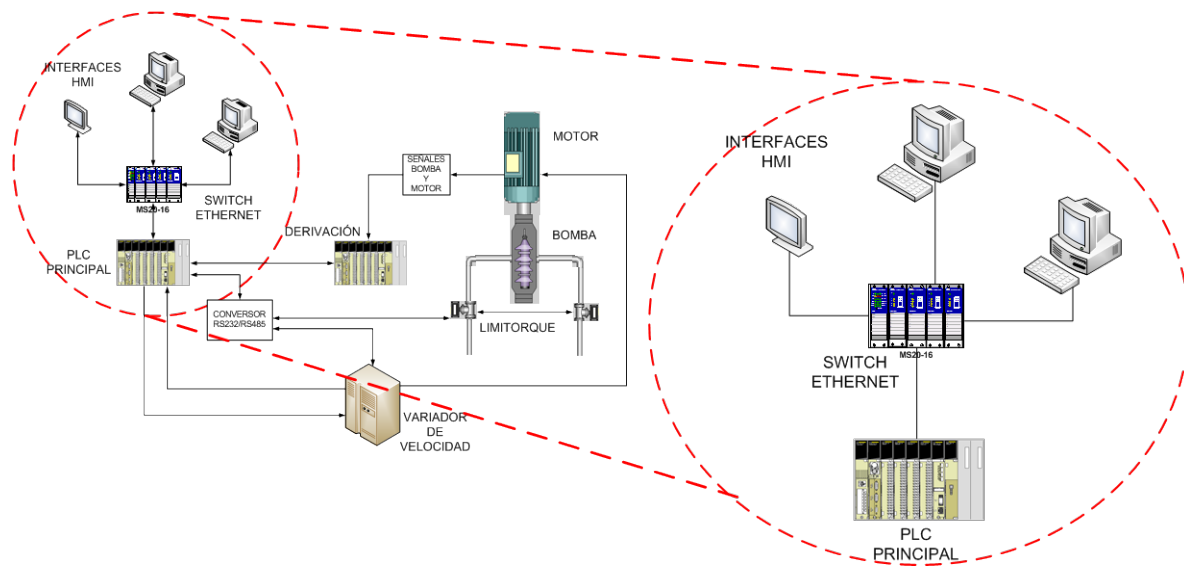


Figura 4.11.Red Ethernet

La configuración de la red Ethernet y del dispositivo MS20, se encuentra descrito en el plano 19 del Anexo D.3: Diagramas Eléctricos y Anexo B.1: Manual red Ethernet.

4.3.3. CONSIDERACIONES PARA EL CABLEADO E INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Para el diseño del cableado e interconexión de dispositivos, se tomó en cuenta las normas del NEC para instalaciones eléctricas e instalaciones en lugares de riesgo, IEC 60204-1 y recomendaciones de instalación descritas por el fabricante.

Todo el cableado del proyecto se realizó con conductores aislados con una capa resistente a aceite y gasolina con calibres de 18 AWG para señales de control y 14 AWG para alimentación. Por otra parte, para dispositivos de señal analógica se utilizó cable de instrumentación blindado de 4 hilos marca Belden tipo 9402.

Tabla 4.11. Características del Cable a Implementarse

TIPO DE CABLE	CALIBRE AWG	ÁREA TRANSVERSAL (mm ²)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (A)
TFF	18	5.81	7
THHN	14	13.66	25
Belden 9402	20 x hilo	45	3.1 x hilo

La tubería, que lleva los cables, es de tipo conduit rígida y flexible, con sus respectivas cajas de paso, sellos y conectores a prueba de explosiones (explosionproof), apto para áreas de riesgo CLASE 1 División 1 y 2. Según la norma NEC artículo 348, el área transversal máxima a ocuparse en una tubería no debe ser mayor al 40% del área total. Por lo tanto se debe considerar que en el caso de tubería de ½" el área es de 78 mm², para ¾" el área es 137 mm² y de 1" es 211 mm².

A fin de visualizar la trayectoria de tubería en campo referirse al Anexo D.1: Diagrama de planta.

4.3.3.1. CABLEADO DE MOTOR Y BOMBA. Como ya se describió anteriormente en la sección 4.3.2.1, se instalaron 17 dispositivos de medición repartidos entre el motor y la bomba.

SEÑALES DE LA BOMBA. En la bomba se ubicaron 9 sensores, distribuidos en 3 grupos de acuerdo a su localización física. La Tabla 4.12 describe cada grupo con sus respectivas señales:

Tabla 4.12. Distribución de Señales de Bomba

	SEÑAL	# DE CONDUCTORES UTILIZADOS	CALIBRE AWG	ÁREA OCUPADA mm ²
Grupo 1	Vibraswitch cojinete exterior	2	18	11.62
	Vibraswitch cojinete exterior	2	18	11.62
	PIT en la descarga	3	BELDEN 9402	45
Grupo 2	Switch de nivel bajo cojinete exterior	4	18	23.24
	PIT en la succión	3	BELDEN 9402	45
	RTD cojinete exterior	2	18	11.62
Grupo 3	RTD carcasa	2	18	11.62
	RTD cojinete interior	2	18	11.62
	Switch de nivel bajo cojinete interior	4	18	23.24

Por lo tanto:

- La tubería del grupo 1 requiere un área de 68.24 mm^2 , además se dejó una reserva de dos cables 18AWG, por lo tanto el área total es 79.9 mm^2 . De esta manera se determina el uso de tubería de $\frac{3}{4}$ ".
- La tubería del grupo 2 requiere un área total de 79.86 mm^2 , por lo tanto se emplea tubería de $\frac{3}{4}$ ".
- La tubería del grupo 3 requiere un área de 46.48 mm^2 , además se aumentaron dos cables 18AWG de reserva, por lo tanto el área total es 58.1 mm^2 . De esta manera se determina el uso de tubería de $\frac{3}{4}$ ".
- Los tres grupos de cables se unen en una sola tubería para llegar a la caja de conexiones exterior del grupo eléctrico de bombeo. El área total requerida es de 147.86 mm^2 , por lo que se utiliza tubería de 1".
- Con el fin de facilitar la manipulación de cables, cada grupo posee una caja de paso circular a prueba de explosiones, de la cual salen los cables hacia los sensores mediante tubería conduit flexible tipo BX de $\frac{3}{4}$ ".

En la Figura 4.12 se presenta la distribución física de las tuberías desde la bomba hacia la caja de conexiones en donde se concentran las señales.

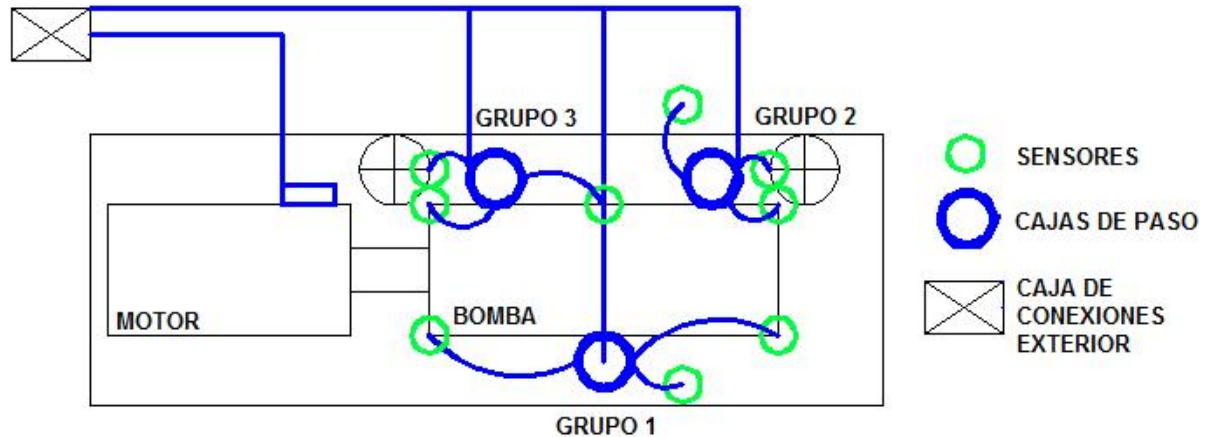


Figura 4.12. Distribución de Grupos de Cableado

La Tabla 4.13 indica la longitud de cable a emplearse para las señales de la bomba. Cabe destacar que los valores se basan en los planos de planta y están comprobados en campo. En el dimensionamiento de la longitud se consideró un factor de seguridad del 30%.

Tabla 4.13. Longitud de Cables para Señales de Bomba

	SEÑAL	# DE CABLES	LONGITUD POR CABLE (m)	LONGITUD TUBERÍA FLEXIBLE (m)	LONGITUD TUBERÍA RÍGIDA (m)
Grupo 1	Vibraswitch cojinete interior	2	8.9	0.8	2.4 ($\frac{3}{4}$ "
	Vibraswitch cojinete exterior	2	9.4	1.32	
	PIT en la descarga	1	8.5	0.5	
	Adicional	2	9.4	--	
Grupo 2	Switch de nivel bajo cojinete exterior	4	9.23	1	1 ($\frac{3}{4}$ "
	PIT en la succión	1	8.58	0.5	
	RTD cojinete exterior	2	8.38	0.3	
Grupo 3	RTD carcasa	2	7.45	0.8	1.7 ($\frac{3}{4}$ "
	RTD cojinete interior	2	7.4	0.7	

	SEÑAL	# DE CABLES	LONGITUD POR CABLE (m)	LONGITUD TUBERÍA FLEXIBLE (m)	LONGITUD TUBERÍA RÍGIDA (m)
	Switch de nivel bajo cojinete interior	4	8.94	2.1	
	Adicional	2	8,9	--	
TUBERÍA 1" GENERAL	unión de las señales	24	--	--	4.8 (1")

Los materiales que se emplearon para la adquisición de señales desde la bomba son:

- 192.5 m de cable AWG 18.
- 17 m cable Belden 9402.
- 5.1 m de tubería conduit rígida de $\frac{3}{4}$ ".
- 4.8 m de tubería conduit rígida de 1".
- 8 m tubería conduit flexible BX de $\frac{3}{4}$ ".
- 18 conectores para tubería flexible de $\frac{3}{4}$ ".
- 3 cajas de paso circulares de 4 tomas.
- 3 sellos conduit.
- 1 unión conduit tipo L.
- 2 uniones conduit tipo T.
- 1 acople universal de 1".
- 3 acoples de $\frac{3}{4}$ " a 1".

SEÑALES DEL MOTOR. El motor eléctrico ABB viene provisto de 8 sensores internos de temperatura RTD Pt100 de 2 hilos. Estas señales se encuentran listas para ser conectadas en borneras en una caja de conexiones propia del motor, montada en la carcasa del mismo que posee salidas para tubería de ½". La Tabla 4.14 indica el cableado de las señales mencionadas.

Tabla 4.14. Señales de Motor: Cableado

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	AREA OCUPADA DE LA TUBERÍA (mm ²)
Temperatura cojinete exterior	2	18	11.62
Temperatura cojinete interior	2	18	11.62
Temperatura devanado 1A	2	18	11.62
Temperatura devanado 2A	2	18	11.62
Temperatura devanado 3A	2	18	11.62
Temperatura devanado 1B	2	18	11.62
Temperatura devanado 2B	2	18	11.62
Temperatura devanado 3B	2	18	11.62

Por lo tanto:

- Se utilizaron dos mangueras flexibles de ½" para llegar a la caja de conexiones. Por cada manguera pasa un grupo de 4 señales que en conjunto ocupan un área de 46.48 mm², valor permitido para la tubería.
- Las dos mangueras se conectaron a una caja de paso. A su salida se concentran todas las señales del motor ocupando 92.96 mm², por tanto la tubería de ¾" es la apropiada.

Tabla 4.15. Longitud de Cables para Señales de Motor

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	LONGITUD POR CABLE (m)	LONGITUD TUBERÍA RÍGIDA ¾" (m)
Temperatura cojinete exterior	2	18	5.2	2
Temperatura cojinete interior	2	18	5.2	
Temperatura devanado 1A	2	18	5.2	
Temperatura devanado 2A	2	18	5.2	
Temperatura devanado 3A	2	18	5.2	
Temperatura devanado 1B	2	18	5.2	
Temperatura devanado 2B	2	18	5.2	
Temperatura devanado 3B	2	18	5.2	

Los materiales empleados para la adquisición de señales desde el motor eléctrico son:

- 83 m de cable AWG 18.
- 2 m de tubería conduit rígida de ¾".
- 2 mangueras flexibles a prueba de explosiones.
- 1 caja de paso circular de 3 tomas de ¾".
- 1 Acople universal de ¾".
- 2 reducciones de ¾" a ½".
- 1 reducción de 1" a ¾".

4.3.3.2. CABLEADO E INSTALACIÓN DE BACKPLANE SECUNDARIO. En esta sección se describirá la caja de conexiones en campo. En ella se ubica el backplane secundario al cual llega el cableado de alimentación eléctrica y de comunicaciones, así:

CAJA DE CONEXIONES. En este tablero se ubican:

- El backplane secundario.
- Las borneras de conexiones para recoger las señales que llegan de campo.
- Los elementos de protección para los equipos.

Como recomendación brindada por Schneider Electric, cualquier backplane de la gama Quantum, debe tener las siguientes separaciones entre los módulos y el armario que los contiene:

Tabla 4.16. Separaciones Montaje PLC

ESPACIO MÍNIMO (mm)	UBICACIÓN
101.6	Entre la parte superior del armario y la parte superior de los módulos.
101.6	Entre la parte inferior del armario y la parte inferior de los módulos.
25.4	De cada lado entre las paredes del armario y de los módulos finales.
25.4	Entre la parte inferior de los módulos y el conducto de cableado o borneras.

Por lo tanto es necesario que las dimensiones de la caja de conexiones sean las adecuadas.

La caja disponible para el montaje del backplane secundario, es de la marca Adalet, modelo XJF181808, está diseñada para ambientes CLASE 1, División 1 y 2, además es a prueba de explosiones. Sus dimensiones interiores son: 404.82 mm en altura, 374.65 mm en ancho y 149.35 mm en profundidad.



Figura 4.13. Caja de Conexiones ADALET

Con el fin de cumplir con las recomendaciones de separación en el montaje del PLC (Referencia Tabla 4.16), las borneras y los elementos de protección se ubicaron en la parte inferior y a la derecha del backplane sobre rieles DIN. La distribución física de los elementos se encuentra en el plano número 22 del Anexo D.3: Diagramas Eléctricos.

Se colocó la caja de conexiones sobre un pedestal de 2.2 m de alto con cuatro tomas de 1" para el ingreso de los cables de los diferentes lugares: señales de motor, señales de bomba, alimentación y comunicación.

CABLEADO DE ALIMENTACIÓN. La alimentación para la caja de conexiones exterior se tomó desde el cuarto de control. Fue necesario el diseño de tres circuitos eléctricos, cada uno con su respectivo dispositivo de protección:

- Un circuito de 110 VAC con un breaker de 2 [A], para alimentación de la CPS y sensores de nivel.

- Un circuito de 110 VAC con un breaker de 10 [A], para las resistencias de calentamiento del motor eléctrico.
- Además un circuito de 24 VDC, con un breaker de 3 [A], para la alimentación de instrumentación. (Ver Anexo D.3: Diagramas Eléctricos.).

En la Tabla 4.17 se detallan los requerimientos de cables y tubería para la alimentación. Adicionalmente se consideró cableado de reserva.

Tabla 4.17. Señales de Alimentación Backplane Secundario: Cableado

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	AREA OCUPADA (mm ²)
FASE 110 VAC	2	14	13.66
NEUTRO 110 VAC	2	14	13.66
TIERRA 110 VAC	1	14	13.66
24 VDC	2	14	13.66
0 VDC	1	14	13.66
TIERRA VDC	1	14	13.66

De acuerdo a la Tabla anterior, el área total requerida es de 122.94 mm², por lo que se utilizó tubería de ¾". Cabe indicar que desde la caja de conexiones hasta la canaleta se instaló tubería rígida, el resto del trayecto hasta el cuarto de control fue realizado con tubería flexible BX de ¾". Para mayor descripción ver el Anexo D.1: Diagrama de planta. Las longitudes de cable y tubería se detallan en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Longitud de Cables para Alimentación Backplane Secundario

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	LONGITUD POR CABLE (m)	LONGITUD TUBERÍA RÍGIDA ¾" (m)	LONGITUD TUBERÍA FLEXIBLE ¾" (m)
FASE 110 VAC	2	14	35	5.5	22
NEUTRO 110 VAC	2	14	35		
TIERRA 110 VAC	1	14	35		

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	LONGITUD POR CABLE (m)	LONGITUD TUBERÍA RÍGIDA ¾" (m)	LONGITUD TUBERÍA FLEXIBLE ¾" (m)
24 VDC	2	14	35		
0 VDC	1	14	35		
TIERRA VDC	1	14	35		

Los materiales a emplearse son:

- 315 m de cable AWG 14.
- 5.5 m de tubería conduit rígida de ¾".
- 22 m de tubería conduit flexible de ¾".
- 1 conector para tubería flexible de ¾".
- 2 cajas de paso tipo "L".
- 2 acoples universales de ¾".
- 1 reducción de 1" a ¾".
- 3 abrazaderas de ¾".

CABLEADO DE COMUNICACIONES. Por recomendación del fabricante, la comunicación entre el backplane principal y secundario se realizó a través de cable coaxial de 75 Ohm.

Con el fin de asegurar la disponibilidad de recursos en la adquisición de señales de campo, se ha dispuesto de 3 cables de comunicación. De esta manera, se podrían implementar los módulos 140CRP93200 y 140CRA93200 que poseen dos canales para redundancia y dejando un cable libre de respaldo. Los requerimientos de instalación del medio de comunicación se detallan en la Tabla 4.19:

Tabla 4.19. Señales de Comunicación RIO

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	AREA OCUPADA (mm ²)
Comunicación RIO	3	Belden 3092A	45.36

El área total ocupada por los cables es de 136.08 mm², por tanto se utilizó tubería de $\frac{3}{4}$ ". La distancia a recorrer y la cantidad de cable requerida se encuentra tabulada en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20. Longitud de Cable de Comunicaciones

SEÑAL	# DE CABLES	CALIBRE AWG	LONGITUD POR CABLE (m)	LONGITUD TUBERÍA RÍGIDA $\frac{3}{4}$ " (m)	LONGITUD TUBERÍA FLEXIBLE $\frac{3}{4}$ " (m)
Comunicación RIO	3	Belden 3092A	35	5.5	22

Los materiales a emplearse son:

- 105 m de cable Belden 3092A.
- 2 conectores Macho Tipo "F".
- 5.5 m de tubería conduit rígida de $\frac{3}{4}$ ".
- 22 m de tubería flexible BX de $\frac{3}{4}$ ".
- 1 reducción de 1" a $\frac{3}{4}$ ".
- 2 cajas de paso tipo "L".
- 2 acoples universales de $\frac{3}{4}$ ".

- 1 conector para tubería flexible de $\frac{3}{4}$ ".
- 3 abrazaderas de $\frac{3}{4}$ ".

4.3.3.3. CABLEADO E INSTALACIÓN DE BACKPLANE PRINCIPAL. A continuación se describirá el cableado de alimentación eléctrica y control para el backplane principal.

CABLEADO DE ALIMENTACIÓN. La CPS principal se alimenta desde el UPS, ubicado en el mismo cuarto de control. A fin de protegerlo se colocó un fusible de 2 A (recomendado por el fabricante).

La alimentación de corriente continua es proporcionada por una fuente de 24 VDC a 10 A, modelo CP SNT 250W, marca Weidmüller. En la línea de alimentación tiene un breaker de 5 A que está conectado al UPS, y a la salida de la fuente está ubicado un breaker de 10 A para seccionar toda la alimentación de 24 VDC.

CABLEADO DESDE VARIADOR. Para la conexión de las señales digitales y analógicas del variador de velocidad se utilizaron 12 cables, instalados desde la implementación anterior. De esta manera se cumplen con los requerimientos, se disminuyeron costos y tiempo de instalación.

Cabe destacar que la anterior instalación únicamente utilizaba 3 pares, los cuales correspondían a comunicación Modbus, a la señal de control de velocidad y al encendido del variador, respectivamente. A fin de cumplir con la norma IEC 60204, que indica la importancia del monitoreo directo de las señales de comando y control para la seguridad de las personas, se conectaron las señales de realimentación de la velocidad del variador y señales de estado Ready, Run y Fault.

OTRAS SEÑALES. El resto de señales que maneja el backplane principal son cableadas directamente debido a la proximidad entre el tablero de control y el tablero de fuerza, el cual maneja la activación de algunos actuadores. La longitud promedio de cada uno de los cables es de 6 metros, por lo tanto se utilizarán 96 metros de cable 18 AWG. Las señales conectadas son:

- Un relé de falla de fase, que indica errores en la alimentación del motor eléctrico. Utiliza 2 cables los cuales enviarán una señal al PLC en caso de que exista alguna falla.
- Estados de bombas Booster y de refrigeración, se emplearon 4 contactos adicionales normamente abiertos (NO), para cada contactor, utilizando un total de 8 cables.
- Accionamiento de los sistemas de enfriamiento que utilizan 2 cables desde el PLC hacia un relé de 24 VDC, el cual activa 2 contactores, uno para enfriamiento de grupos Diesel y el segundo para enfriamiento de sellos del grupo eléctrico.
- Dos pulsadores para emergencia con un total de 4 cables.

4.3.3.4. CABLEADO LIMITORQUES. Los actuadores Limitorque, utilizan 460 VAC trifásico para su operación, a través de un cable armado (previamente instalado) de una acometida diferente a la del grupo eléctrico de bombeo. Para su protección utiliza un guardamotor a 1.4 [A]. Referencia Plano 5 del Anexo D.3: Diagramas Eléctricos.

4.3.3.5. CABLEADO DE LA RED MODBUS. La red modbus se monta sobre par trenzado con protección a tierra. El cableado desde los equipos en campo hasta el cuarto de control, se encontraba disponible desde la instalación anterior.

A diferencia del proyecto anterior, se propone una red única del grupo eléctrico de bombeo, con el fin de facilitar la identificación de fallas y realizar mantenimiento por zonas sin afectar la planta en general.

Por otro lado, el PLC se conecta al convertidor mediante un cable serial con conector DB9 macho. En el caso de la comunicación entre el maestro y los dispositivos esclavos, se implementó, para conectar el PLC principal con el convertidor de RS485 a RS232. El convertidor 485LDRC9 se alimenta con 24 VDC y cuenta con una protección tipo breaker de 1 [A].

4.3.3.6. CABLEADO DE LA RED ETHERNET. La interconexión entre equipos Ethernet utiliza 4 cables de red directos, tipo UTP cat5e bajo norma EIA/TIA 568B, de 5 [m] de longitud cada uno, marca Amphenol.

El dispositivo de interconexión es un switch marca HIRSCHMANN que se alimenta con 24 VDC, y cuenta con un breaker de protección y seccionamiento de 1 [A].

4.3.3.7. DISPOSITIVOS DE VISUALIZACIÓN Y MONITOREO. Para la implementación de las interfaces HMI, se dispone de dos computadores y una pantalla táctil.

Los computadores o estaciones de trabajo tienen las siguientes características:

Tabla 4.21. Características de los Computadores

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	DELL
Sistema Operativo	Windows XP Professional
Memoria RAM	1 Gb
Espacio Disco Duro	320 Gb
Procesador	Core 2 duo

La pantalla táctil es de marca Telemecanique de Schneider Electric, modelo Magelis XBTGT5330 a la cual se colocó un breaker de protección de 1 [A]. Sus características se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.22. Características Pantalla Táctil

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Marca	Telemecanique
Pantalla	10.4"
Resolución VGA	640 x 480
Comunicación	Ethernet
Alimentación	24 VDC
Consumo	0.84 A
Software	Vijeo Designer

4.3.3.8. UBICACIÓN DE LOS PAROS DE EMERGENCIA. Para el diseño de la ubicación y forma de los pulsadores de paro de emergencia, se utilizaron las recomendaciones de la norma IEC 60204 artículo 10.7, que puede resumirse en lo siguiente:

- Los dispositivos de paro de emergencia deben ubicarse en cada estación de operadores y en lugares donde puede ocurrir una emergencia. Tomando en cuenta dichas recomendaciones, se tienen 2 paros de emergencia en el cuarto de control y uno en campo en el panel de conexiones exterior.
- El dispositivo de accionamiento debe ser tipo hongo de color rojo.

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE HARDWARE.

Después de evaluar las necesidades del grupo eléctrico de bombeo, realizar una lista de materiales planteados en este nuevo diseño (Ver Anexo H: Lista de Materiales) y realizar los diagramas eléctricos y de instrumentación, se procedió a la

instalación de todos los dispositivos que comprenden el sistema de control planteado.

4.4.1. ADECUACIONES PREVIAS.

Antes de dar paso a la instalación del sistema de control, fue necesario, realizar mejoras en la parte mecánica del sistema. De esta manera se puede asegurar un correcto funcionamiento de los equipos a largo plazo y disminuir las vibraciones excesivas de motor y bomba. Los cambios realizados son descritos a continuación:

- Refuerzo de la base de motor y bomba por parte de los mecánicos de la estación.



Figura 4.14. Refuerzo Base de Bomba

- Alineamiento de las tuberías de succión y descarga, con respecto a sus correspondientes en la bomba.



Figura 4.15. Alineación de Tubería

- Alineación de Motor y Bomba con equipo Láser.



Figura 4.16. Alineación Motor - Bomba

4.4.2. REMOCIÓN DEL CABLEADO ANTERIOR.

Como primer paso de la instalación del nuevo sistema de control, se desmontó todo el cableado correspondiente a la instrumentación de bomba y motor. Como resultado de la eliminación del cableado, se obtuvieron módulos libres y mayor espacio en el tablero de control principal.

En la implementación anterior las señales eran enviadas por cable armado, el cual salía del grupo eléctrico de bombeo y viajaba de manera subterránea hasta una columna de hormigón, para de allí subir a la canaleta que las llevaría hacia el cuarto de control. Para desmontar este tramo fue necesario picar la plataforma con el fin de acceder al cable armado.



Figura 4.17.Ubicación del Cableado Anterior



Figura 4.18. Remoción de Cable Armado

4.4.3. CABLEADO E INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Se inició con el montaje de la caja de conexiones (contigua al motor eléctrico). Como se explicó anteriormente, a esta caja llegarán todas las señales de campo y se colocará el backplane secundario encargado de adquirirlas y enviarlas al PLC principal.



Figura 4.19. Caja de Conexiones

La distribución para la instalación de la tubería de señales de motor y bomba, se realizó en base a lo planteado en la sección 4.3.3.1, el montaje se describe de acuerdo al orden con el que fue realizado, así:

- Corte, roscado y doblado de tubería desde la bomba hacia la caja de conexiones. En esta etapa se ubicaron, sellos, cajas de paso y acoples en dicho tramo.



UBICACIÓN DE LA TUBERÍA



ENTRADA A LA BASE DE LA CAJA

Figura 4.20. Tubería Señales de Bomba

- Corte, roscado y doblado de tubería desde el motor hacia la caja de conexiones. En esta etapa se ubicaron, mangueras flexibles tipo boa, caja de paso y acoples en dicho tramo.

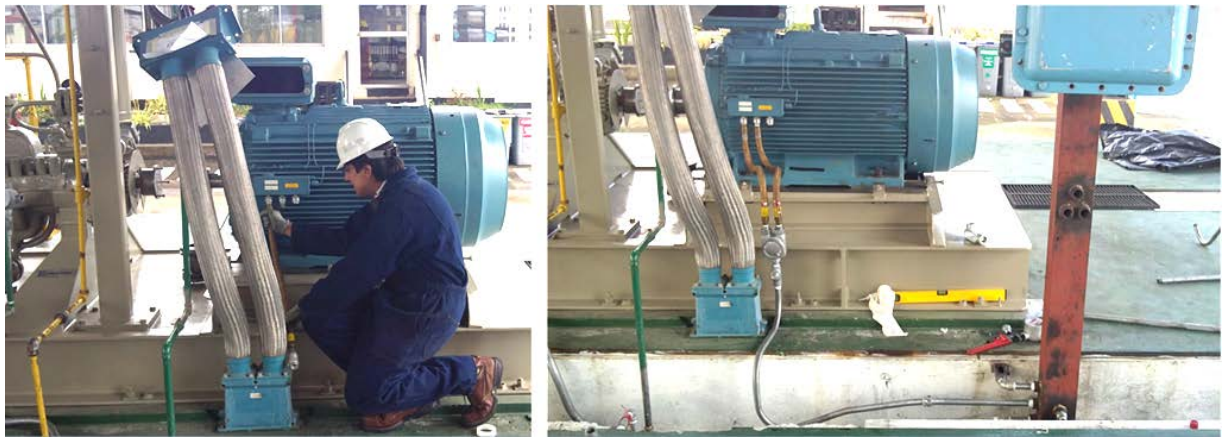


Figura 4.21. Tubería Señales de Motor

- Se instaló el número necesario de cables desde la bomba y desde el motor hacia el pedestal, para de ahí salir hacia la caja de conexiones.

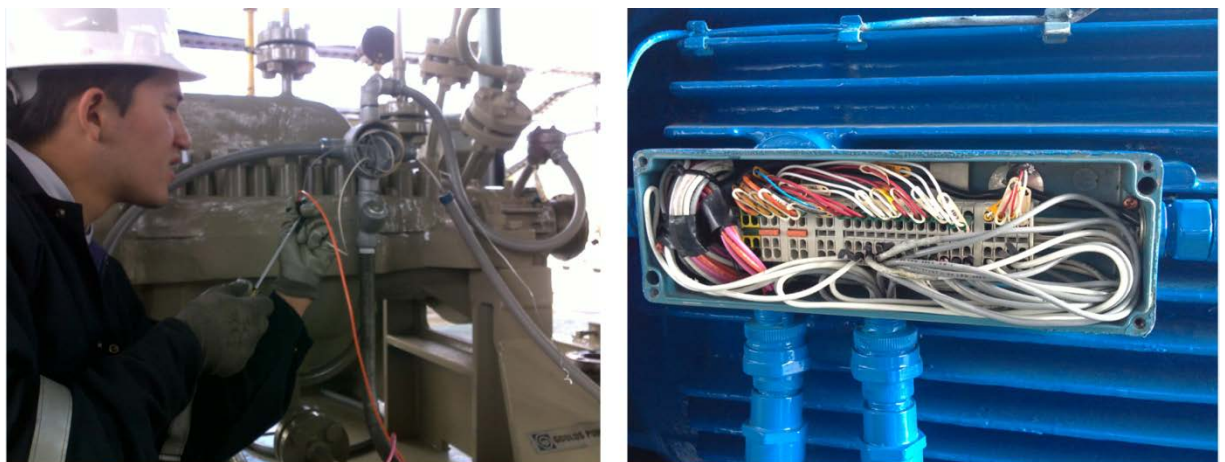


Figura 4.22. Instalando Cable desde la Bomba y Motor

- Se instaló la tubería dimensionada para los cables de comunicaciones y alimentación provenientes del cuarto de control. Esta tubería va desde la caja de conexiones en campo hasta la columna detrás del grupo.



Figura 4.23. Instalación de Tubería: Comunicaciones y Alimentación

- Los cables de alimentación y comunicaciones se colocaron sobre la canaleta para llevarlos al cuarto de control. Cada grupo de cables, a lo largo de la canaleta, se encuentran a su vez dentro de manguera flexible tipo BX.



Figura 4.24. Instalando cable sobre Canaleta

- Todos los cables de motor y bomba llegan a la entrada de la caja de conexiones exterior, para proceder a montar el backplane secundario.



Figura 4.25. Cableado en el Pedestal y en Caja de Conexiones

- En base a los diagramas de diseño se armó el backplane secundario, el mismo que incluye la derivación CRA, módulos de entradas digitales y analógicas, borneras de conexión y breakers de protección, todos estos montados en rieles DIN sobre una plancha de tol.



Figura 4.26. Armado del Backplane Secundario

- Se realizó el montaje del backplane secundario en la caja de conexiones de campo. Posteriormente se conectaron todas las señales del motor, bomba, comunicaciones y alimentación, a fin de dejar operativo el sistema.

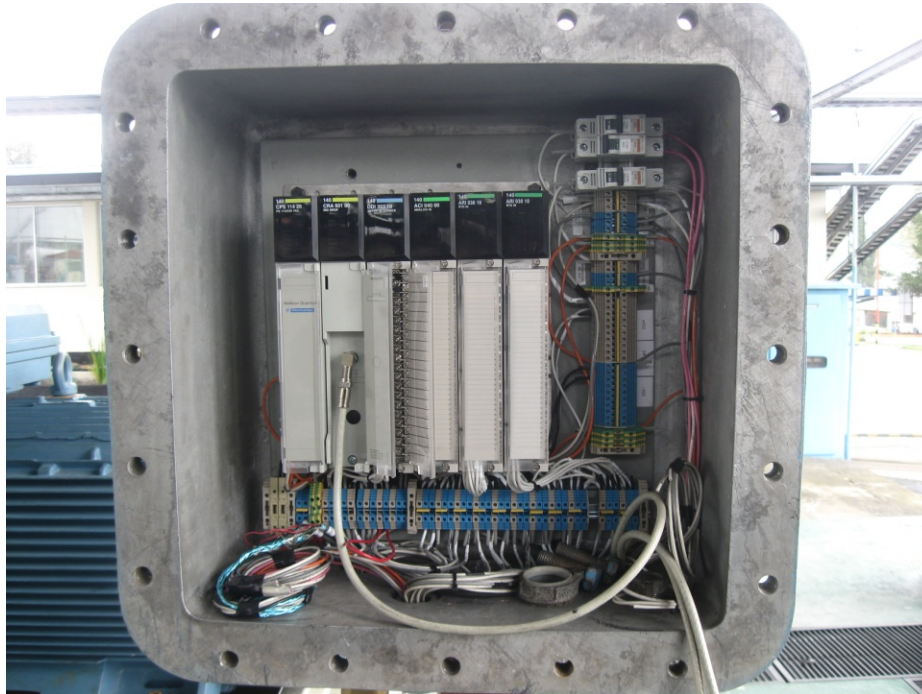


Figura 4.27. Montaje del Backplane Secundario

- En el cuarto de control se instaló:
 - Backplane principal. (Ver Figura 4.28.A)
 - Fuente Weidmuller de 24VDC. (Ver Figura 4.28.D)
 - Protecciones para los diferentes circuitos planteados. (Ver Figura 4.28.B)
 - Dispositivos de comunicación Ethernet. (Ver Figura 4.28.B)
 - Dispositivos de comunicación Modbus.

- Borneras de conexión marca Weidmuller modelo wdu4n, las mismas que requieren un torque de ajuste mínimo de 0.5 [Nm] y máximo de 1 [Nm]. (Ver Figura 4.28.C)

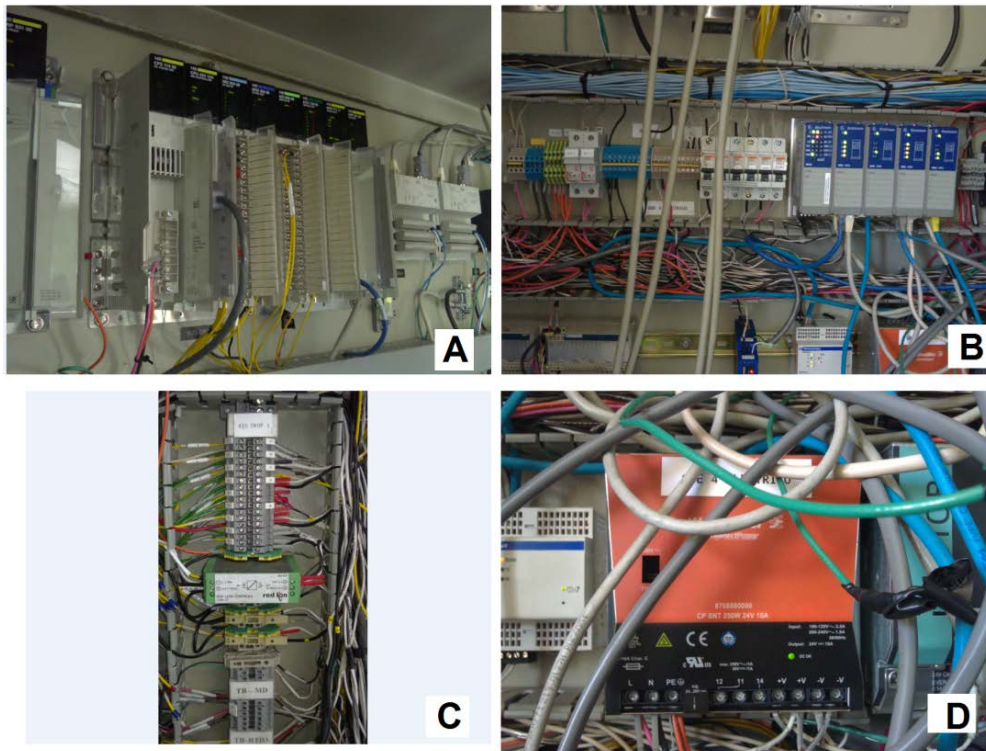


Figura 4.28. Dispositivos del Cuarto de Control Principal

- En la puerta del tablero principal, se colocaron dos paros de emergencia tipo hongo de la marca Schneider Electric y un paro de emergencia en campo, en el centro de la caja de conexiones, con las mismas características.

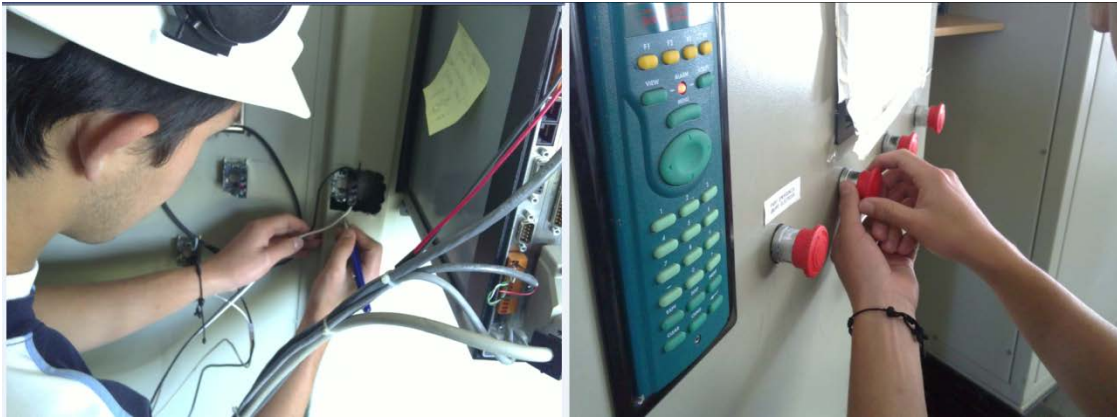


Figura 4.29. Montaje Paros de Emergencia

- En el Variador de velocidad se colocaron borneras para realizar las conexiones con el módulo de entradas y salidas RMIO.

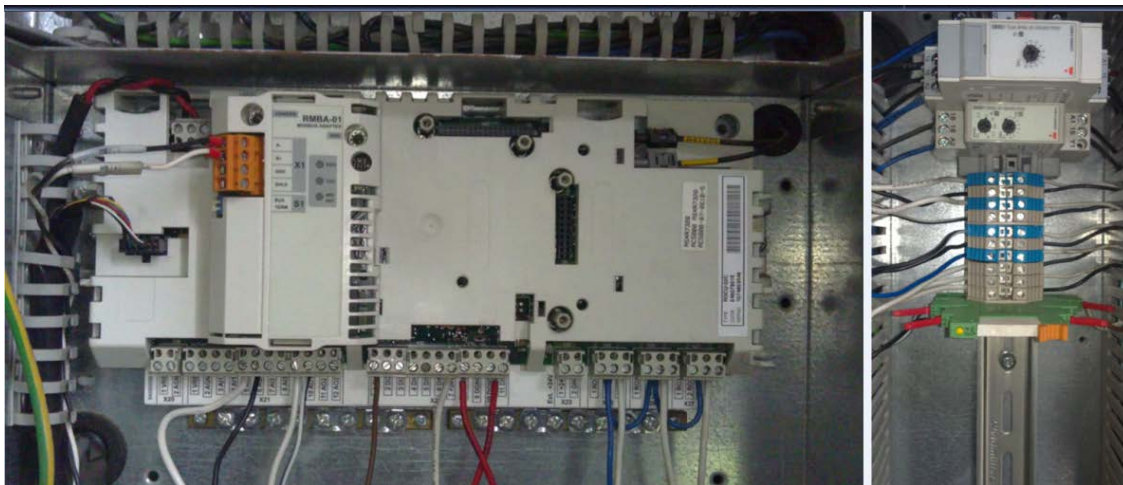


Figura 4.30. Conexiones del Variador de Velocidad

- En el cuarto de control, se identificaron y conectaron los cables provenientes del backplane secundario y del variador de velocidad al PLC principal. Todo en base a los diagramas eléctricos diseñados.



Figura 4.31. Conexiones Panel de Control






- En el cuarto de control, se procedió a la instalación de los computadores de operación y de la pantalla táctil magelis dentro de la red LAN.



Figura 4.32. Computadores de Operadores

- Durante el proceso de instalación de hardware, se pintaron los elementos del grupo eléctrico de bombeo, en base a normas internas de EP-Petroecuador, con el fin de identificar la función, el riesgo de cada dispositivo y áreas de trabajo, así:

Tabla 4.23. Colores para Áreas de Trabajo y de Riesgo.

COLOR		DESCRIPCIÓN
Verde		Tuberías de agua fría y pisos para áreas hábiles de trabajo.
Azul		Tuberías, dispositivos y cajas de conexión eléctricas. Piso de áreas de Mantenimiento.
Café		Dispositivos mecánicos, combustibles y sistemas de lubricación.
Amarillo con franjas blancas		Tránsito peatonal.
Amarillo con franjas negras		Bordes, previenen peligro de colisión.

4.4.4. MEJORAS REALIZADAS

A continuación se muestran las mejoras obtenidas después de instalar todos los dispositivos anteriormente descritos.



Figura 4.33. Vistas Laterales de la Bomba

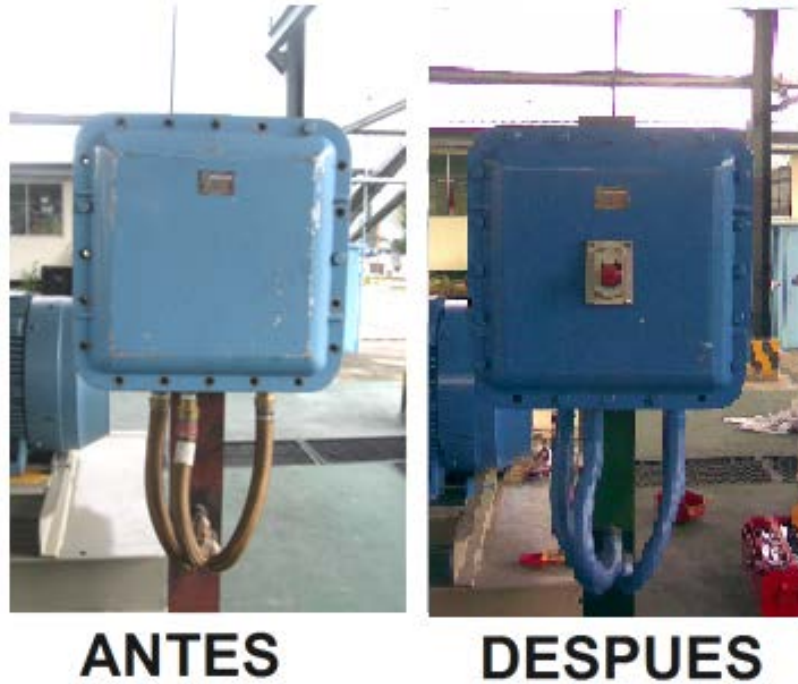


Figura 4.34. Vista Final de la Caja de Conexiones

Se pintó el motor eléctrico y se incorporó un alerón concentrador de aire para reducir la temperatura del cojinete interior. Para mayor detalle referirse a la Sección 6.3.



Figura 4.35. Vista Final del Motor Eléctrico

En el cuarto de control, la instalación final se encuentra como indican las siguientes fotografías:

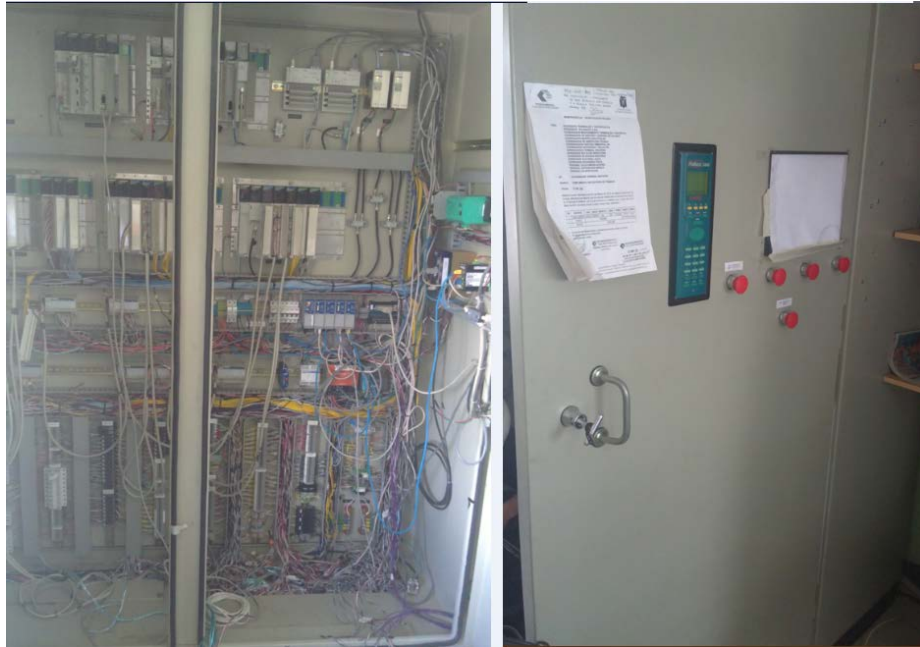


Figura 4.36. Vista Final del Tablero de Control

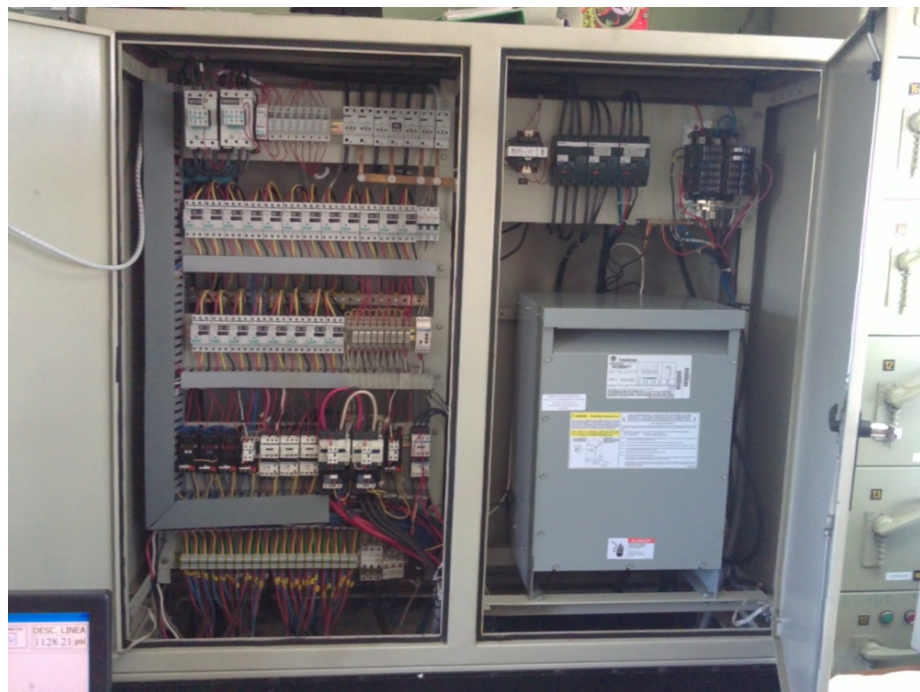


Figura 4.37. Vista Final del Tablero de Fuerza

También se realizó la señalización del cuarto del variador de velocidad, indicando lugares de tránsito para personas, pintando el piso y colocando rejillas en las canaletas de acometidas para evitar lesiones al personal de trabajo, como se indica en las siguientes figuras:



Figura 4.38. Vista Exterior del Cuarto del Variador de Velocidad



Figura 4.39. Vista Interior del Cuarto del Variador de Velocidad

Es importante que la preparación de un ingeniero se complemente con el trabajo práctico, donde se puedan reforzar los conocimientos recibidos en la

universidad y adquirir nuevas experiencias técnicas que se van generando en el campo de trabajo. A lo largo del proceso de implementación se presentaron varios inconvenientes como consecuencia de las limitaciones de recursos del taller de mantenimiento electromecánico. Dichos inconvenientes fueron superados exitosamente, dejando así un sistema correctamente instalado y documentado.

Por lo tanto, una vez finalizada la etapa de implementación de hardware y en base a la experiencia adquirida se recomienda, iniciar con el estudio de las necesidades de la planta, diseñar, documentar y planificar las tareas a realizarse, asignar responsabilidades a los miembros del equipo de trabajo y desarrollar toda actividad en base a normas de seguridad industrial con el fin de precautelar la integridad física del personal involucrado en la misma.

CAPITULO 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL GRUPO ELÉCTRICO: SOFTWARE

5.1. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DEL PLC

A continuación se describe el proceso de diseño e implementación del software del controlador PLC Quantum de la marca Schneider Electric.

5.1.1. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES

Se utilizará el software “Concept 2.6 XL SR3” para la programación del PLC, ya que este es compatible con la 140CPU43412A. Como se mencionó en el Capítulo 2, Concept provee las librerías de programación para los cinco lenguajes IEC 61131-3. Estos son:

- Ladder (LD).
- Texto Estructurado (ST).
- Diagrama de bloques de función (FBD).
- Diagrama de función secuencial (SFC).
- Lista de Instrucciones (IL).

Para el desarrollo del proyecto se emplearán los lenguajes gráficos de programación SFC y FBD, dependiendo de las necesidades del programa de control. Ambos lenguajes son de fácil comprensión e interpretación ya que tienen la particularidad de mostrar de manera explícita las rutinas y funciones que realiza el PLC. Sin embargo, por tratarse de lenguajes y entorno de programación desconocidos se estudió su estructura, parámetros de configuración y elementos que componen cada uno de ellos. Las consideraciones generales para la programación del PLC son las siguientes:

- La lógica de activación de las alarmas del sistema y los límites de funcionamiento se podrán modificar únicamente accediendo al programa del PLC. De esta manera solamente un técnico calificado y autorizado podrá manipularlas.
- El departamento de mantenimiento electromecánico del Poliducto Q-A-R de EP Petroecuador, solicitó que el encendido de las bombas booster, manejo de las válvulas del manifold de entrada y el control de velocidad del motor del grupo eléctrico de bombeo, sea realizado por los operadores de la estación desde la HMI y no de manera automática por el PLC, con el fin de aumentar la seguridad en la planta.

5.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DEL PLC

El proyecto contempló un cambio en la infraestructura física del grupo eléctrico, tanto en el montaje de los dispositivos como en el cableado de las señales, por lo tanto se debe crear un nuevo programa de control acorde con las necesidades actuales y la nueva arquitectura planteada.

Previo a la programación del PLC, se definió el proceso que debe cumplir el grupo eléctrico de bombeo para entrar en la línea. El diagrama de flujo de la secuencia de arranque se muestra en la Figura 5.1.

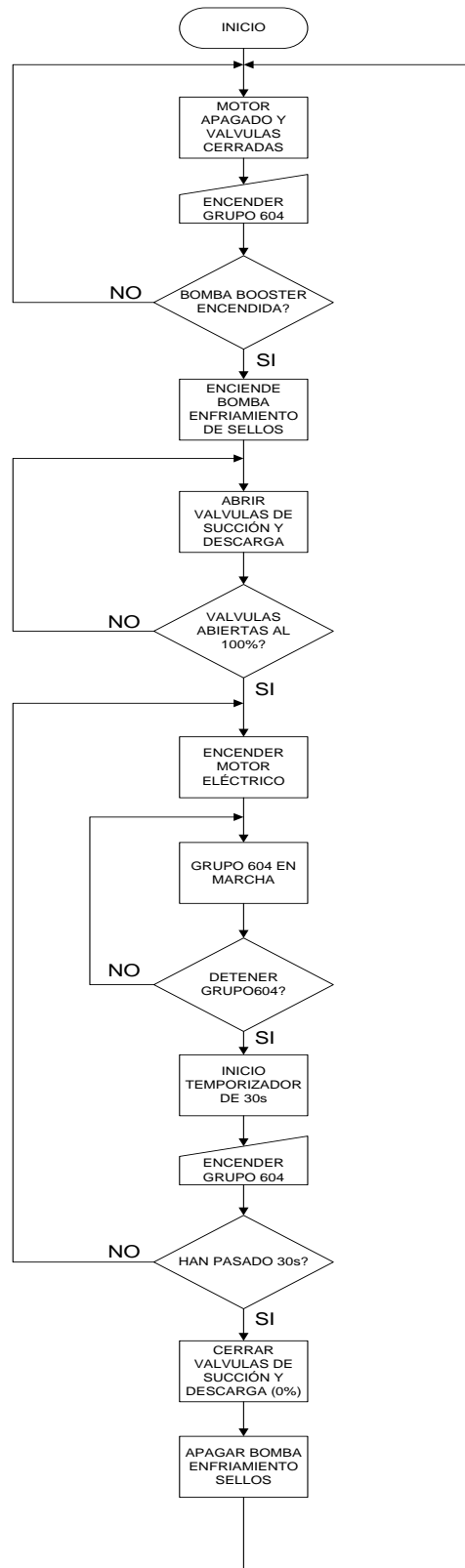


Figura 5.1. Diagrama de Flujo de Secuencia de Arranque

Adicional a la lógica de arranque del grupo eléctrico de bombeo, se tomaron en cuenta ciertas consideraciones específicas dentro de la programación del PLC:

- Ante la activación de alarmas y paros de emergencia, el motor eléctrico se detiene regresando a su estado inicial de reposo. Podrá operar nuevamente siempre y cuando se reconozcan las alarmas presentes y se reinicien las señales de alerta en el PLC mediante la HMI.
- Una vez que el grupo eléctrico de bombeo se detiene, ya sea por paro normal o por emergencia, la bomba de enfriamiento de sellos deberá permanecer encendida por cinco minutos más, para mantener la temperatura adecuada de funcionamiento de los sellos.

5.1.3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC

El programa del PLC se compone de cinco secciones interdependientes:

- Configuración
- G4_Horómetro
- G4_ACT_VAR
- G4_Alarmas
- G4_Arranque

Una sección corresponde a un subprograma que realiza sus acciones de manera cíclica durante el modo RUN del PLC y puede ser programada con cualquiera de los lenguajes de la IEC 61131-3. Las cuatro iniciales están destinadas

para la configuración y alarmas. Estas, se encuentran realizadas en lenguaje FBD debido a que el software Concept contiene las librerías para la configuración de los módulos conectados al backplane principal y secundario, y además permite de manera rápida y sencilla la elaboración de rutinas basadas en operaciones lógicas. Su estructura consta de Entradas, Proceso (bloque) y Salidas (resultado).

Por otro lado, la sección de arranque del grupo eléctrico, se realizó en lenguaje SFC porque permite la programación de un proceso secuencial mediante el uso de etapas y transiciones asegurando así, el cumplimiento de cada acción en forma ordenada y evitando cualquier anomalía en la operación.

5.1.3.1. SECCIONES EN LENGUAJE FBD. Las siguientes secciones fueron programadas en FBD:

CONFIGURACION. Esta sección inicia con la confirmación del estado de arranque y funcionamiento del PLC. Además, contiene todas las configuraciones de escalamiento de las señales analógicas del backplane principal y secundario.

G4_HOROMETRO. Se utiliza el bloque SYSCLOCK, para generar un pulso a 5Hz, los mismos que son acumulados en una variable durante el funcionamiento del grupo eléctrico de bombeo. Esta variable pasa a un grupo de contadores, los cuales al cabo de 5 pulsaciones, registran un segundo, 300 un minuto y a 1800 una hora, obteniendo así el tiempo de operación del grupo. Finalmente la sección permite configurar una hora de inicio de la cuenta.

G4_ACT_VAR. Esta sección realiza la comunicación MODBUS entre los actuadores limitorque, el variador de velocidad y el PLC principal. Con el bloque XMIT se realiza un barrido de los dispositivos leyendo y almacenando los registros de estado o escribiendo un dato en los esclavos para realizar una operación.

Finalmente, a partir de los registros obtenidos, se separan los bits de estado de los esclavos.

G4_ALARMAS. Contiene todas las alarmas y prealarmas que se pueden presentar en el sistema. Utilizando funciones lógicas de Concept, se fijan los límites de las mismas y sus parámetros de activación. Finalmente los estados de alarma tienen que ser reconocidos para volver a la operación normal del grupo eléctrico de bombeo.

5.1.3.2. SECCIÓN EN LENGUAJE SFC. La sección G4_ARRANQUE define la secuencia de arranque del grupo eléctrico de bombeo en SFC, así como se muestra en la Figura 5.2.

Adicionalmente para comprender la lógica del programa se explican los diferentes pasos y transiciones definidas. La Tabla 5.1 contiene la descripción de los pasos y la Tabla 5.2 la lógica de las transiciones²⁰.

²⁰ El código en lenguaje SFC se encuentra en el Anexo 6.6. Sección_G4_Arranque.pdf.

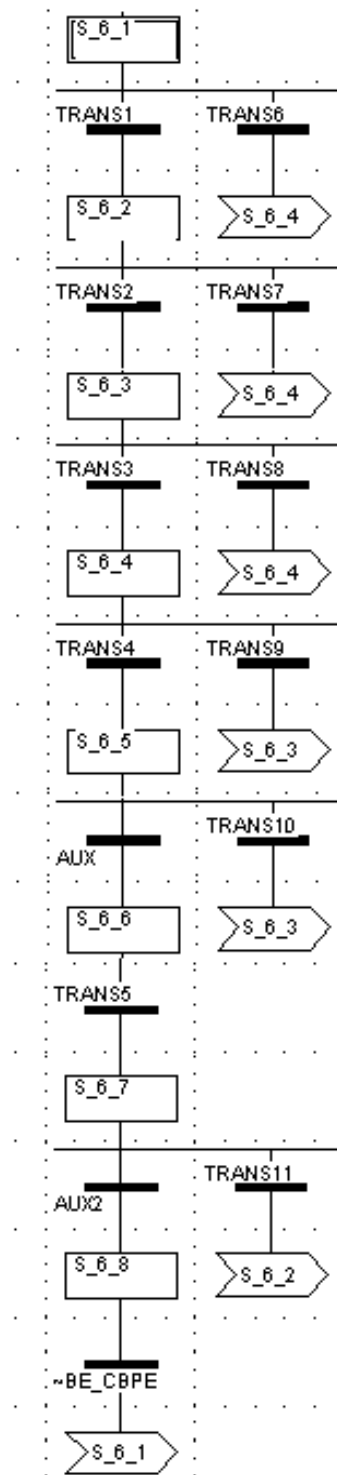


Figura 5.2. Sección G4_ARRANQUE

Tabla 5.1. Descripción de los Pasos del Programa

PASO	CALIFICADOR	TIEMPO	VARIABLES	DESCRIPCIÓN
S_6_1	R	--	G4_STARTVAR	Paso inicial.
	R	--	BE_BEAA	Estado inicial del motor
S_6_2	S	--	G4_VSUC	Abrir válvula succión
	S	--	G4_VDES	Abrir válvula descarga
	S	--	BE_BEAA	Encender enfriamiento de sellos
S_6_3	S	--	G4_STARTVAR	Encender Motor
S_6_4	R	--	G4_STARTVAR	Detener Motor
	R	--	G4_STARTPC	Encerar señal de inicio
S_6_5	DS	30 s	AUX	Retardo previo al cierre de válvulas
S_6_6	R	--	G4_VDES	Cierre Válvula descarga
	R	--	G4_VSUC	Cierre Válvula succión
	R	--	AUX	Reinicio variable auxiliar
S_6_7	DS	5 min	AUX2	Retardo previo al apagado de enfriamiento de sellos
S_6_8	R	--	BE_BEAA	Apagado de enfriamiento de sellos
	R	--	AUX2	Reinicio variable auxiliar

Tabla 5.2. Descripción de las Transiciones del Programa

TRANSICIÓN	OPERACIÓN	VARIABLES	DESCRIPCIÓN		
TRANS1	AND	G4_STARTPC	Inicio de secuencia desde HMI.		
		G4_BOOSTER1 ó G4_BOOSTER2	Estado bomba booster 1. Estado bomba booster 2.		
		~G4_ALARMA	Estado de alarmas del grupo		
		G4_READY	Variador listo		
TRANS2	AND	G4_VSUC_ABIERTA ~G4_VSUC_CERRADA	Válvula de succión abierta		
		ESTATUS1_V1 = 100 G4_VDES_ABIERTA ~G4_VDES_CERRADA	Válvula de descarga abierta		
		ESTATUS1_V2 = 100			
		G4_BOOSTER1 ó G4_BOOSTER2	Estado bomba booster 1. Estado bomba booster 2.		
		BE_CBPE	Estado bomba enfriamiento sellos		
		~G4_ALARMA	Estado de alarmas del grupo		
		G4_READY	Variador listo		
		G4_STARTPC	Señal de encendido activa		
		TRANS3	AND	~G4_STARTPC ~G4_ALARMA	Fin secuencia desde HMI Estado de alarmas del grupo
		TRANS4	MENOR O IGUAL	G4_VEL_AI ≤ 10	Motor detenido
AUX	VARIABLE	AUX = 1	Después de retardo de cierre de válvulas		

TRANSICIÓN	OPERACIÓN	VARIABLES	DESCRIPCIÓN
TRANS5	AND	~G4_VSUC_ABIERTA	Válvula de succión cerrada
		G4_VSUC_CERRADA	
		ESTATUS1_V1 = 0	
		~G4_VDES_ABIERTA	Válvula de descarga cerrada
		G4_VDES_CERRADA	
		ESTATUS1_V2 = 0	
		~G4_ALARMA	Estado de alarmas del grupo
AUX2	VARIABLE	AUX2 = 1	Después de retardo de apagado de enfriamiento de sellos.
~BE_CBPE	VARIABLE	BE_CBPE = 0	Verificación de estado de sellos
TRANS6	AND	G4_ALARMA = 1	Estado de alarmas del grupo activado
TRANS7			
TRANS8			
TRANS9	AND	G4_VSUC_ABIERTA	Válvula de succión abierta
		~G4_VSUC_CERRADA	
		ESTATUS1_V1 = 100	
		G4_VDES_ABIERTA	Válvula de descarga abierta
		~G4_VDES_CERRADA	
		ESTATUS1_V2 = 100	
TRANS10	AND	G4_BOOSTER1 ó G4_BOOSTER2	Estado bomba booster 1.
			Estado bomba booster 2.
		BE_CBPE	Estado bomba enfriamiento sellos
		~G4_ALARMA	Estado de alarmas del grupo
		G4_READY	Variador listo
		G4_STARTPC	Inicio de secuencia desde HMI.
TRANS11	AND	~G4_VSUC_ABIERTA	Válvula de succión abierta
		G4_VSUC_CERRADA	
		ESTATUS1_V1 = 0	
		~G4_VDES_ABIERTA	Válvula de descarga abierta
		G4_VDES_CERRADA	
		ESTATUS1_V2 = 0	
		G4_BOOSTER1 ó G4_BOOSTER2	Estado bomba booster 1.
			Estado bomba booster 2.
		BE_CBPE	Estado bomba enfriamiento sellos
		~G4_ALARMA	Estado de alarmas del grupo
		G4_READY	Variador listo
G4_STARTPC	Inicio de secuencia desde HMI.		

5.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HMI PARA PC

5.2.1. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES

Para la realización de la interfaz gráfica HMI, se empleará el programa de desarrollo Intouch 9.5 de Wonderware®, debido a que este software es utilizado por la estación de bombeo “El Beaterio”.

Toda la estructura y distribución de los elementos dentro de las pantallas de la interfaz, se realizarán en base a recomendaciones del Coordinador de Mantenimiento Electromecánico del Poliducto Q-A-R. Además, la nueva interfaz deberá mantener ciertas características de la interfaz anterior, con el fin de que el operador se encuentre familiarizado con el entorno.

Cabe indicar que el objetivo de la interfaz gráfica HMI a implementarse, es controlar y monitorear todos los elementos de la estación de bombeo “Beaterio”. En la fase que corresponde al presente proyecto, se desarrollaron las pantallas concernientes a la operación y supervisión del grupo eléctrico de bombeo. Adicionalmente, se creó un menú de navegación que considere todos los elementos de la estación de bombeo, línea y estación reductora, con el fin de aumentarlos en un futuro.

5.2.2. DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI

La pantalla de la nueva interfaz gráfica HMI, se dividirá en tres ambientes, como se observa en la Figura 5.3.

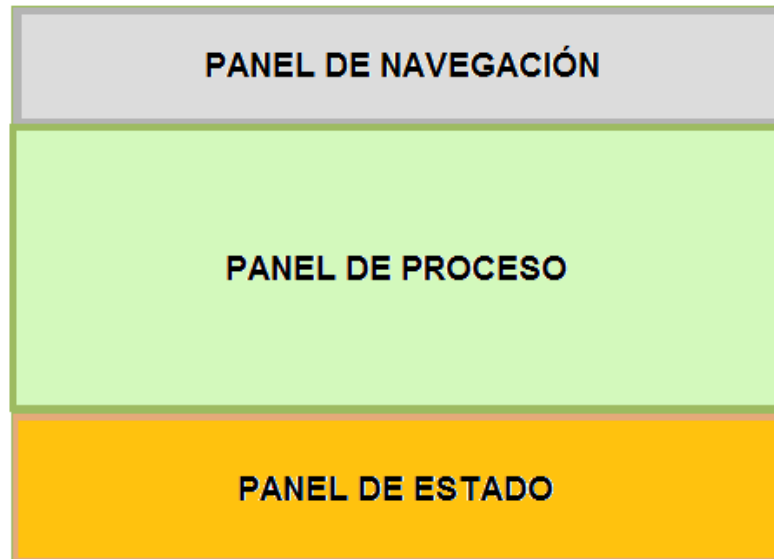


Figura 5.3. Estructura de la Pantalla

El panel de navegación, permite desplegar las diferentes pantallas del proceso. Este panel permanecerá visible en todo momento, de tal forma que el operador pueda desplazarse por todo el sistema de una manera rápida.

El panel de proceso, muestra la información de la pantalla que ha sido seleccionada mediante el panel de navegación, en este sector se incluirá información necesaria del proceso, así como el estado de los dispositivos de campo a través de colores y figuras animadas.

El panel de estado, también permanecerá fijo en la pantalla puesto que contendrá información referente a alarmas, estado de comunicaciones con los dispositivos y el producto que se encuentre en la línea al momento del bombeo.

Una vez definida la plantilla principal, se describen las pantallas que deberá contener la interfaz y también la estructura de navegación, mediante un diagrama de árbol que se observa en la Figura 5.4.

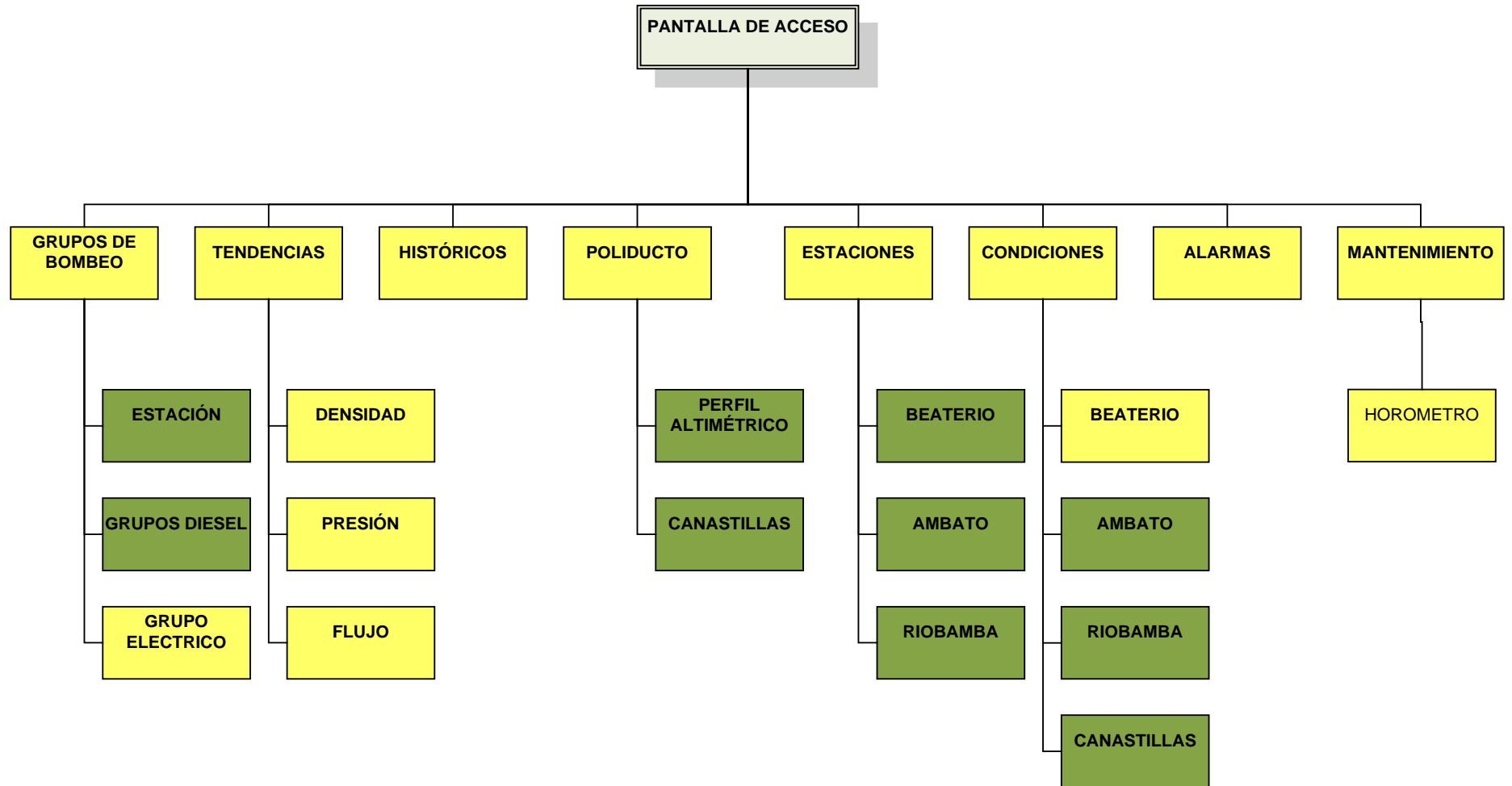









Figura 5.4. Diagrama de Árbol de la HMI

El diagrama de árbol anterior contiene todas las pantallas que formarían parte de la HMI. Para el caso del presente proyecto las pantallas a desarrollar son las siguientes:

- Panel de navegación.
- Panel de estados.
- Grupos de bombeo
 - ↳ Grupo Eléctrico.
- Tendencias.
 - ↳ Densidad.
- Tendencias.
 - ↳ Presión.
- Tendencias.
 - ↳ Flujo.
- Condiciones.
 - ↳ Beaterio.
- Alarmas.
- Mantenimiento.

La HMI presenta diferentes colores en sus elementos, de acuerdo al estado de operación, con el fin de indicar de manera gráfica lo que sucede en la estación. En la Tabla 5.3 se describen los colores y su función.

Tabla 5.3. Colores Empleados en HMI

COLOR		DESCRIPCIÓN
Verde		Activado o en funcionamiento
Rojo		Desactivado (botones), válvulas cerradas, alarma sin reconocer
Amarillo		Proceso de apertura o cierre de válvulas, pre alarma sin reconocer
Gris		Dispositivo Apagado
Blanco		Alarma o pre alarma reconocida
Azul		Botones de reinicio de variables
Rojo, Amarillo		Dispositivo con Alarma Activada

Los elementos que se encuentren alarmados presentarán animación de parpadeo para alertar a los operadores de una falla en el proceso.

Finalmente, los valores numéricos se presentan en color amarillo sobre un fondo negro, de manera que el contraste permita una lectura clara de los mismos.

5.2.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HMI.

La HMI se implementó en función de la plantilla previamente diseñada, como se observó en la Figura 5.3.

PANEL DE NAVEGACIÓN. Ubicado en la parte superior de la pantalla (Figura 5.5), permite la navegación por toda la interfaz gráfica, de acuerdo al diagrama de árbol descrito en la Figura 5.4.

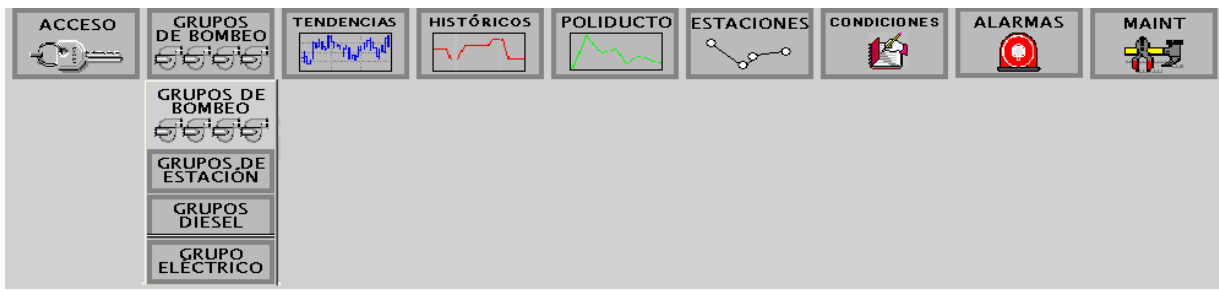


Figura 5.5. Panel de Navegación

PANEL DE ESTADO. Se ubica en la parte inferior de la pantalla HMI (Ver Figura 5.6), en este panel se muestra de manera permanente, lo siguiente:

1. Resumen de las alarmas del sistema y activación de alarma sonora.
2. Estado de Comunicaciones con los dispositivos de la red. PLCD (PLC grupos diesel), PLCE (PLC grupo eléctrico), VAR (Variador de velocidad), REDL (Actuadores Limitorque) y MAS (Medidor Másico).
3. Botones de reinicio de entradas/salidas y alarmas del sistema.
4. Información de la partida en proceso: Presiones succión y descarga, grados API del producto, número de Partida y usuario.

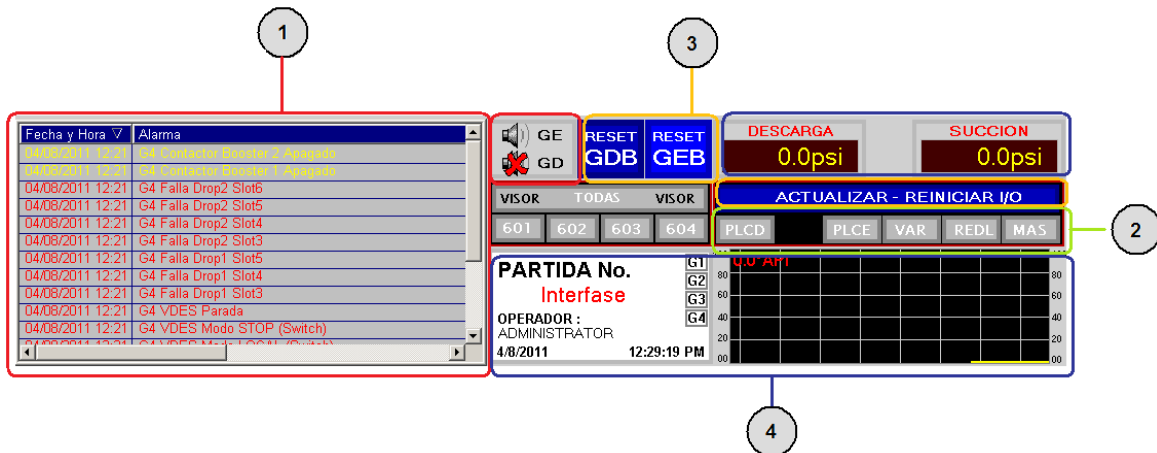


Figura 5.6. Panel de Estado

PANELES DE PROCESO. Los siguientes paneles de proceso fueron diseñados e implementados para la HMI de la Estación de bombeo “El Beaterio”:

1. Acceso: Pantalla de inicio, permite la identificación para acceso del personal.
2. Grupo Eléctrico de Bombeo: Permite el control y supervisión del grupo de bombeo eléctrico.
3. Tendencias: Contiene las gráficas en tiempo real de Densidad, Flujo y Presión.
4. Condiciones: Muestra las variables del proceso en forma tabulada.
5. Alarmas: Contiene la tabla de registro de alarmas del sistema.
6. Mantenimiento: Permite el control manual de los dispositivos del proceso.
7. Horómetro: Permite igualar o encerar el contador de horas de trabajo.

PANELES DE PROCESO: ACCESO. Esta pantalla es la primera que se muestra al iniciar la HMI. Dentro de la misma el operador debe ingresar su nombre de usuario y contraseña para habilitar la barra de navegación. Si los datos son correctos, se marcará un visto verde junto al campo ingresado, caso contrario una cruz roja. Existen tres niveles de usuario que son:

- Operador: acceso limitado, solo puede entrar a ventanas de grupos de bombeo y no puede cerrar la aplicación.
- Mantenimiento: puede acceder a la ventana de mantenimiento.
- Administrador: acceso total, puede cerrar la aplicación y crear usuarios.



Figura 5.7. Paneles de Proceso: Acceso

PANELES DE PROCESO: GRUPO ELÉCTRICO DE BOMBEO. En esta ventana se muestran las variables de presión y temperatura distribuidas de igual manera que su ubicación en campo, Figura 5.8. También se muestran las horas de funcionamiento del grupo eléctrico de bombeo (horómetro). Adicionalmente en la parte izquierda, se encuentra el estado del variador de velocidad. Con el fin de satisfacer las necesidades del departamento de operaciones se incluyeron los valores de flujo y presión de la estación reductora Ambato, para facilidad del usuario mientras trabaja con el grupo eléctrico.

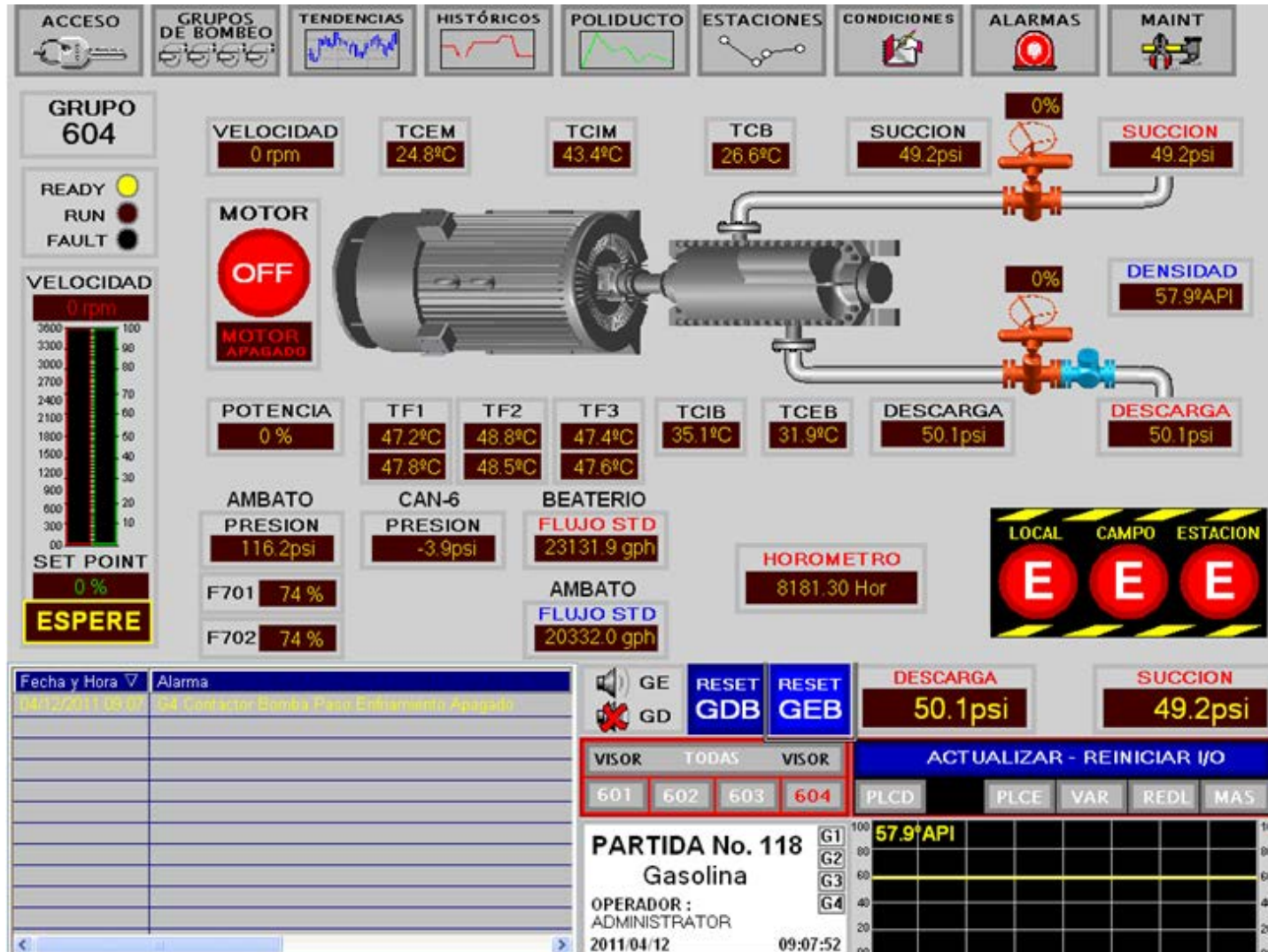


Figura 5.8. Paneles de Proceso: Grupo Eléctrico de Bombeo

Al lado izquierdo de la imagen del motor, se encuentra un botón para encender el grupo. Al momento de hacer click sobre el mismo, aparecerá un interruptor que confirma la acción de arranque, como medida de seguridad al iniciar operaciones. Cuando el motor se encuentra operando cambia su color a verde. En la Figura 5.9 se observa el proceso de encendido del grupo eléctrico de bombeo.

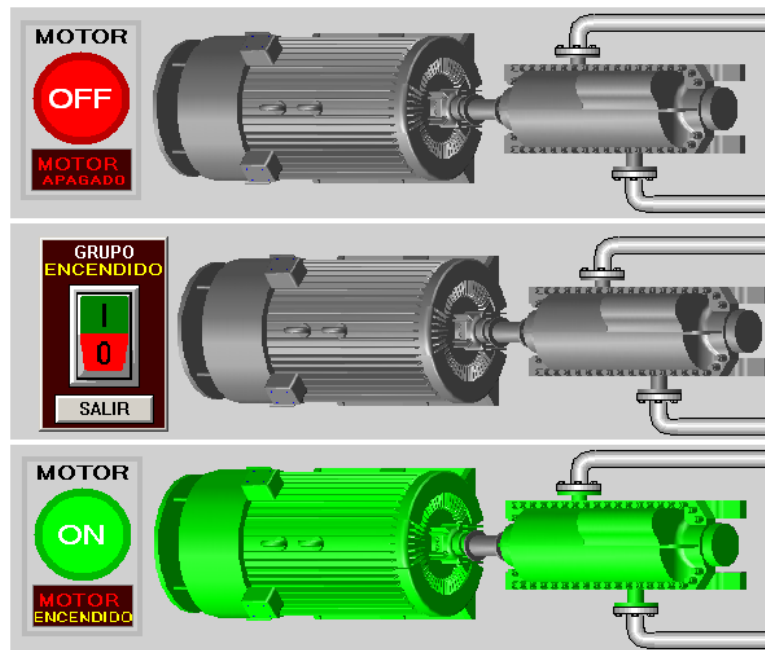


Figura 5.9. Proceso de Encendido del Grupo de Bombeo Eléctrico

Una vez encendido el motor eléctrico, es posible controlar su velocidad utilizando la barra ubicada en la parte inferior izquierda del panel de proceso. Debajo de dicha barra existen dos botones para aumentar o disminuir las revoluciones del motor, que se habilitan cuando el sistema está encendido. Como medida de seguridad si se mantiene un segundo aplastado el botón de control se aumentará solamente en 1% la velocidad del motor.

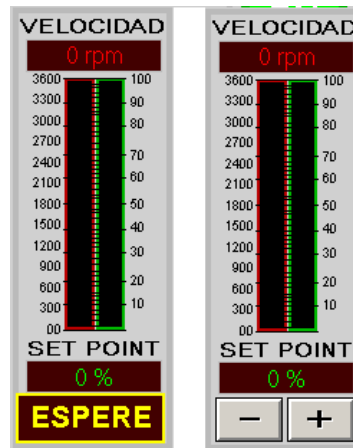


Figura 5.10. Control de Velocidad

PANELES DE PROCESO: TENDENCIAS. El menú “Tendencias” contiene las graficas en tiempo real de la densidad, presión y flujo del sistema de bombeo. Estos tres paneles cuentan con dos ejes de coordenadas, dispuestos de la siguiente manera:

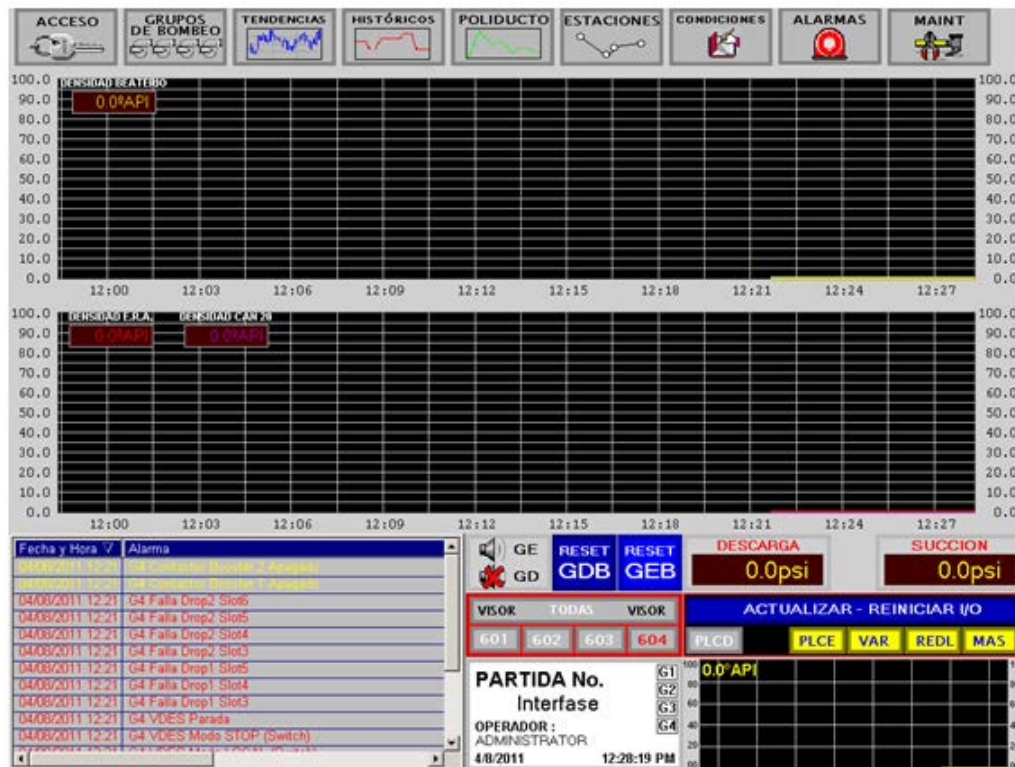


Figura 5.11. Paneles de Proceso: Tendencias

Cada panel presenta la siguiente información:

- **GRÁFICA DE DENSIDAD**
 - Curva 1: Densidad del producto en Estación de bombeo Beaterio.
 - Curva 2: Densidad en Estación Reductora Ambato.

- **GRÁFICA DE PRESIÓN**
 - Curva 1: Presión en la succión, Presión en descarga y Presión CAN 6 (punto más alto).
 - Curva 2: Presión llegada a Ambato.

- **GRÁFICA DE FLUJO**
 - Curva 1: Flujo Beaterio.
 - Curva 2: Flujo Ambato.

PANELES DE PROCESO: CONDICIONES. Esta ventana muestra la información del grupo eléctrico de bombeo de forma tabulada. Específicamente contiene la información de temperaturas (motor y bomba), presión de succión y descarga y finalmente los parámetros del variador. Esta pantalla ayuda a los operadores a registrar de manera ordenada y rápida los valores del proceso cuando lo requieran. Figura 5.12.

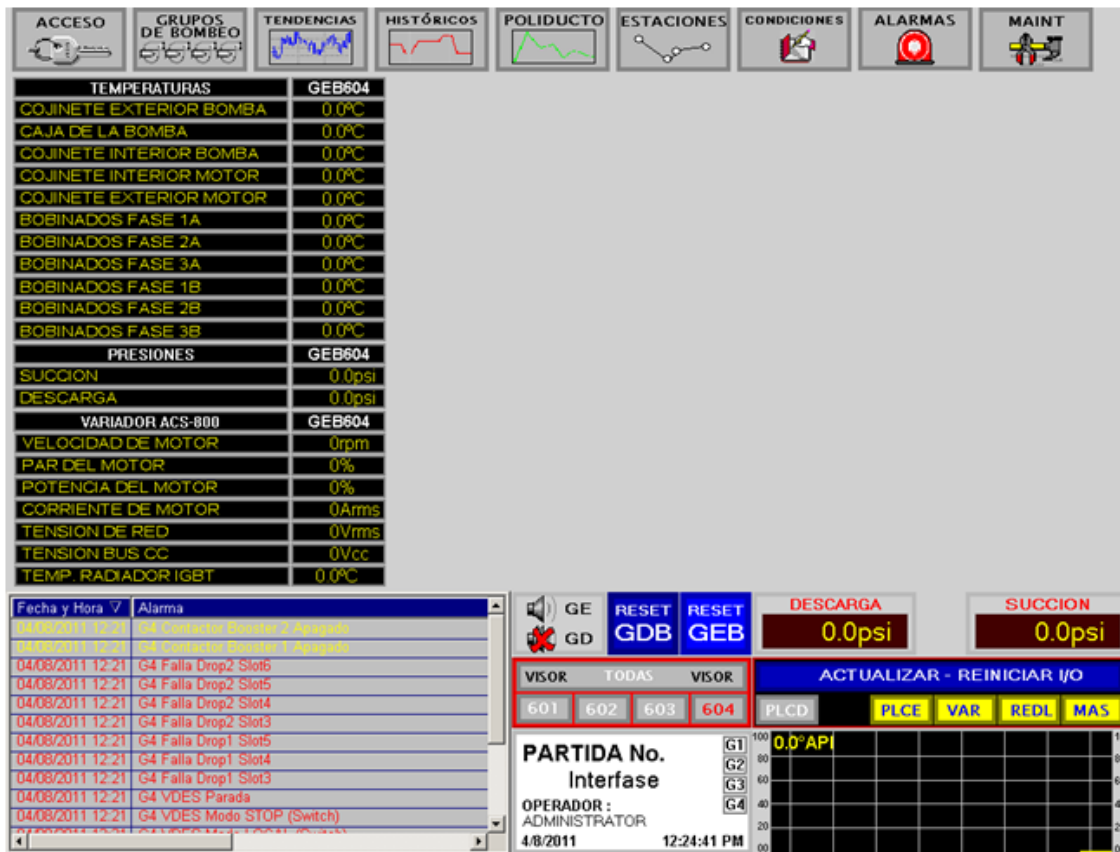


Figura 5.12. Paneles de Proceso: Condiciones

PANELES DE PROCESO: ALARMAS. Una vez que se han asignado las variables de alarma, es necesario visualizarlas. Con este propósito se ha creado esta pantalla, la cual muestra un registro de las alarmas del sistema, Figura 5.13. El registro de alarmas indica:

- Hora y fecha de activación.
- Nombre de la variable en estado de alarma.
- Personal a cargo en el momento de la falla.
- Mensaje de alarma.

El color del texto indica la gravedad de la falla y también si ha sido o no reconocida.

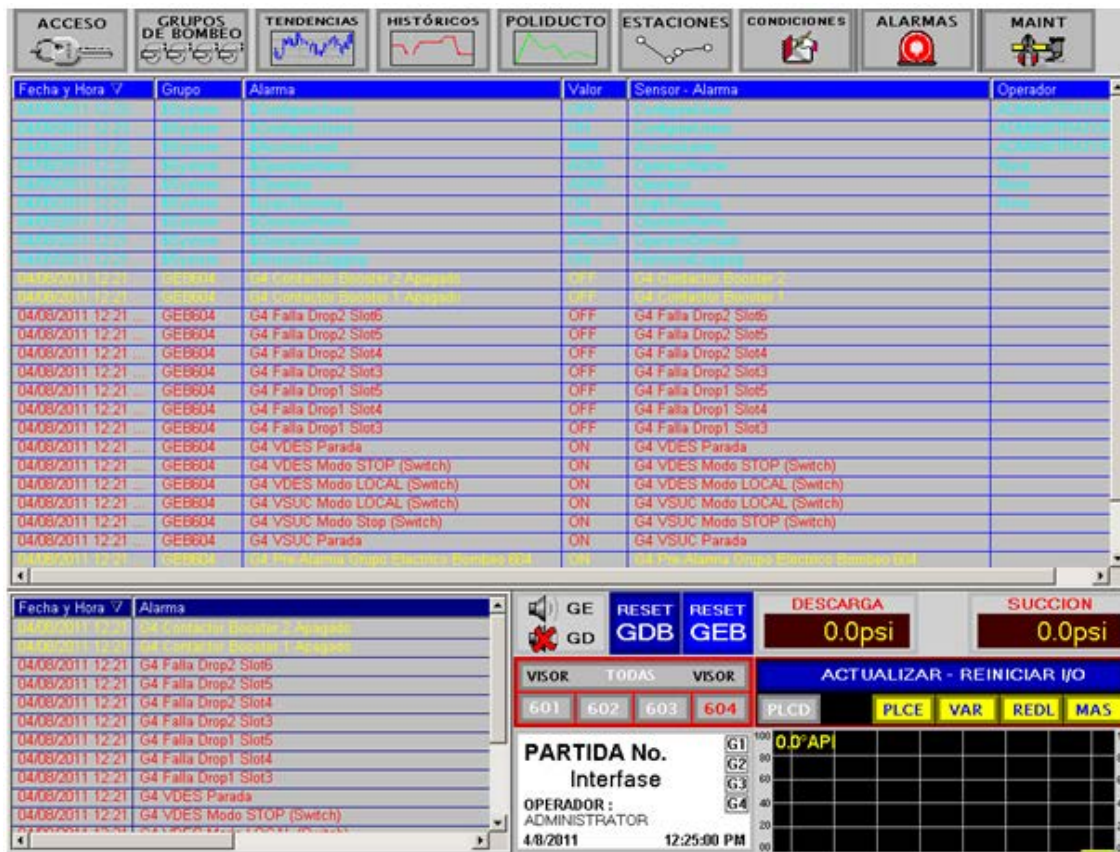


Figura 5.13. Paneles de Proceso: Alarmas

PANELES DE PROCESO: MANTENIMIENTO. A esta pantalla solo se podrá ingresar con un nivel de acceso: “mantenimiento” o “administrador”. Dentro de ésta, es posible inhibir las alarmas de los dispositivos con el fin de realizar trabajo en campo, de esta manera el resto del sistema sigue operando normalmente. Adicionalmente permite la activación del control manual de las válvulas de succión y descarga.

Una característica particular de ésta pantalla es el acceso a la configuración de los horómetros de los motores (botón con figura de cronómetro). Únicamente desde el panel de mantenimiento se puede cerrar la aplicación con el uso del botón “EXIT”. Ver Figura 5.14.

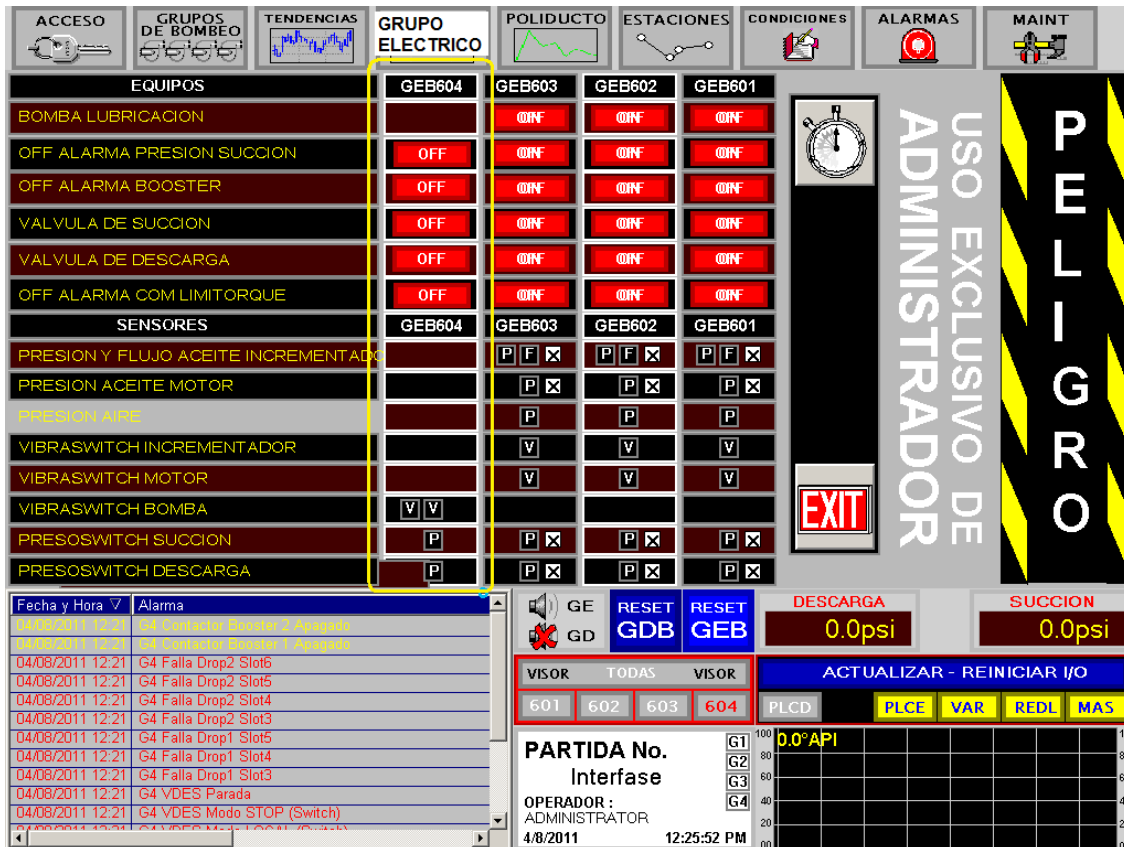


Figura 5.14. Paneles de Proceso: Mantenimiento

PANELES DE PROCESO: HORÓMETRO. Esta pantalla muestra la tabla que se observa en la Figura 5.15. Desde ésta el usuario ingresa las horas de funcionamiento de los grupos de bombeo con el fin de establecer un punto de partida para el conteo del PLC.

HOROMETROS						
GRUPOS DE BOMBEO		IGUALAR				
GDB601	#### ## h	SETh	#### h	SETm	## m	####h :##m
GDB602	#### ## h	SETh	#### h	SETm	## m	####h :##m
GDB603	#### ## h	SETh	#### h	SETm	## m	####h :##m
GEB604	0.00 h	SETh	0 h	SETm	0 m	0h : 0m

Figura 5.15. Tabla de horómetros

5.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ HMI TÁCTIL

5.3.1. CRITERIOS Y CONSIDERACIONES

Como se mencionó en la sección 4.3.3.7, se instaló una pantalla táctil Magelis para la supervisión y control del proceso. El fabricante de la misma provee el software de desarrollo de aplicaciones Vijeo Designer 4.5 para poderla programar.

A pesar de ser un software desconocido, Vijeo Designer tiene una interfaz intuitiva y similar a Intouch, por lo que su manejo no implicó mayores retrasos durante el desarrollo del proyecto.

Por pedido del departamento de mantenimiento electromecánico del Poliducto Q-A-R y para familiarizar a los operadores, la interfaz de la pantalla táctil deberá ser similar a la interfaz en PC. Sin embargo, a diferencia de la HMI en PC, la pantalla táctil presentará la información únicamente de la estación de bombeo “Beaterio”.

La pantalla táctil Magelis es una herramienta de respaldo en caso de que las PCs estén fuera de funcionamiento, por esto deberá permitir el control de todo el proceso de bombeo, es decir, la manipulación del manifold de entrada, control de las bombas booster y encendido de los grupos de bombeo. Dentro del proyecto, solo se considera el grupo eléctrico de bombeo, pero se crearán los menús necesarios para la futura implementación de los grupos diesel.

5.3.2. DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI

A diferencia de la HMI desarrollada en Intouch y debido a que la resolución de la pantalla táctil es menor que el monitor de una PC, la interfaz se dividirá en dos ambientes, lo cuales se muestran en la Figura 5.16.

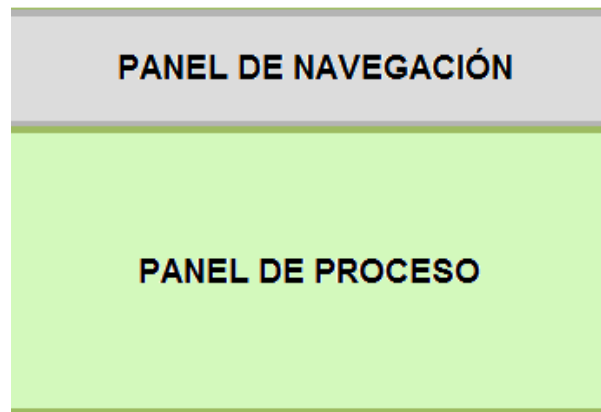


Figura 5.16. Estructura de la Pantalla HMI táctil

El panel de navegación, ayuda al usuario a desplazarse entre las diferentes ventanas del proceso. En tanto que el panel de proceso contiene la información de los dispositivos de campo, en valores numéricos como en representaciones gráficas, para facilidad de visualización.

Una vez definida la plantilla principal, se describen las pantallas que deberá contener la interfaz y también la estructura de navegación mediante un diagrama de árbol como se observa en la Figura 5.17.

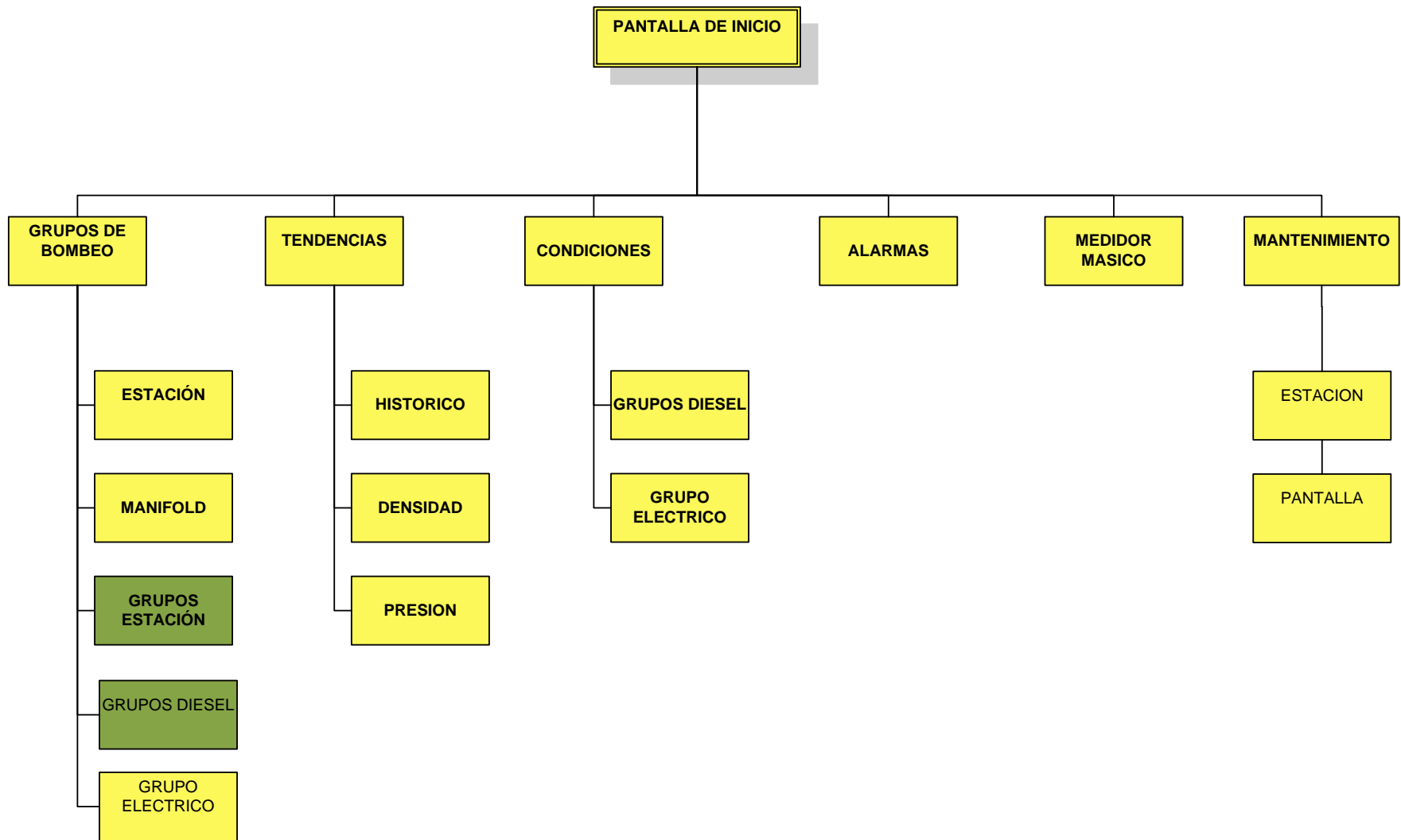


Figura 5.17. Diagrama de Árbol de HMI táctil

En este caso las pantallas que no se desarrollaron son: “Grupos Estación” y “Grupos Diesel”.

Los colores asignados para el entendimiento de la interfaz gráfica serán los mismos que la HMI de las PCs que se encuentran en la Tabla 5.3. En caso de presentarse alguna alarma, los elementos de la pantalla parpadearán para llamar la atención del operador.

5.3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ GRÁFICA HMI TÁCTIL

La HMI de la pantalla táctil se implementó en función de la plantilla previamente diseñada, como se observó en la Figura 5.16.

PANEL DE NAVEGACIÓN. Ubicado en la parte superior de la pantalla, permite la navegación por toda la interfaz gráfica, de acuerdo al diagrama de árbol descrito en la Figura 5.17.



Figura 5.18. Panel de Navegación

PANELES DE PROCESO. Los siguientes paneles de proceso fueron diseñados e implementados para la HMI táctil de la Estación de bombeo “El Beaterio”:

1. Inicio: Pantalla de principal, contiene información general.

2. Estación: Presenta el estado de toda la estación de bombeo en forma gráfica.
3. Manifold: Permite controlar y supervisar el manifold de entrada.
4. Grupo Eléctrico: Permite el control y supervisión del grupo de bombeo eléctrico.
5. Históricos: Contiene la información de las variables de presión y velocidad, con un registro de 7 días.
6. Tendencias: Contiene las gráficas en tiempo real de Densidad y Presión.
7. Condiciones: Presenta en forma tabulada la información de las variables del proceso.
8. Alarmas: Contiene la tabla de registro de alarmas del sistema.
9. Mantenimiento Estación: Permite el control manual de los dispositivos del proceso.
10. Mantenimiento Pantalla: Es propia del dispositivo y permite modificar las características de la misma.

PANELES DE PROCESO: INICIO. Es la pantalla principal, que aparece al arrancar la pantalla Magelis, Figura 5.19. Para continuar la navegación por la interfaz no se requiere un usuario y contraseña a diferencia de la HMI de Intouch.

Presenta los valores de las presiones de succión y descarga de la estación, el estado de las comunicaciones con los dispositivos, botones de reinicio de alarmas y la hora – fecha del día.



Figura 5.19. Pantallas de Proceso (Magelis): Inicio

PANTALLAS DE PROCESO: ESTACIÓN. Esta pantalla es de carácter informativo, es decir, no permite manipular los equipos de la estación. En esta pantalla se presenta una visión general del proceso y mediante animaciones informa al operador si los equipos que se encuentran en funcionamiento, Figura 5.20.

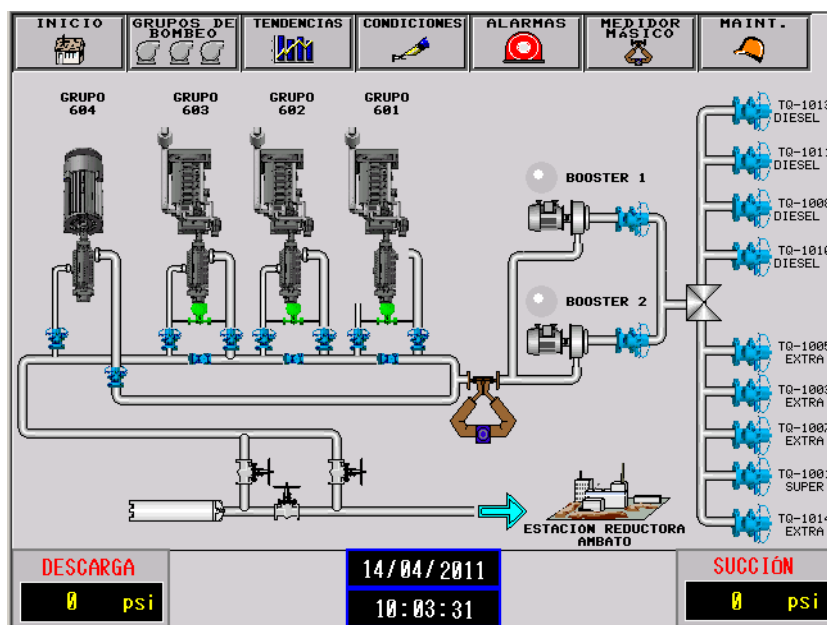


Figura 5.20. Pantallas de Proceso (Magelis): Estación

PANTALLAS DE PROCESO: MANIFOLD. Esta pantalla permite controlar el manifold de entrada, válvula de tres vías y accionamiento de las bombas booster.

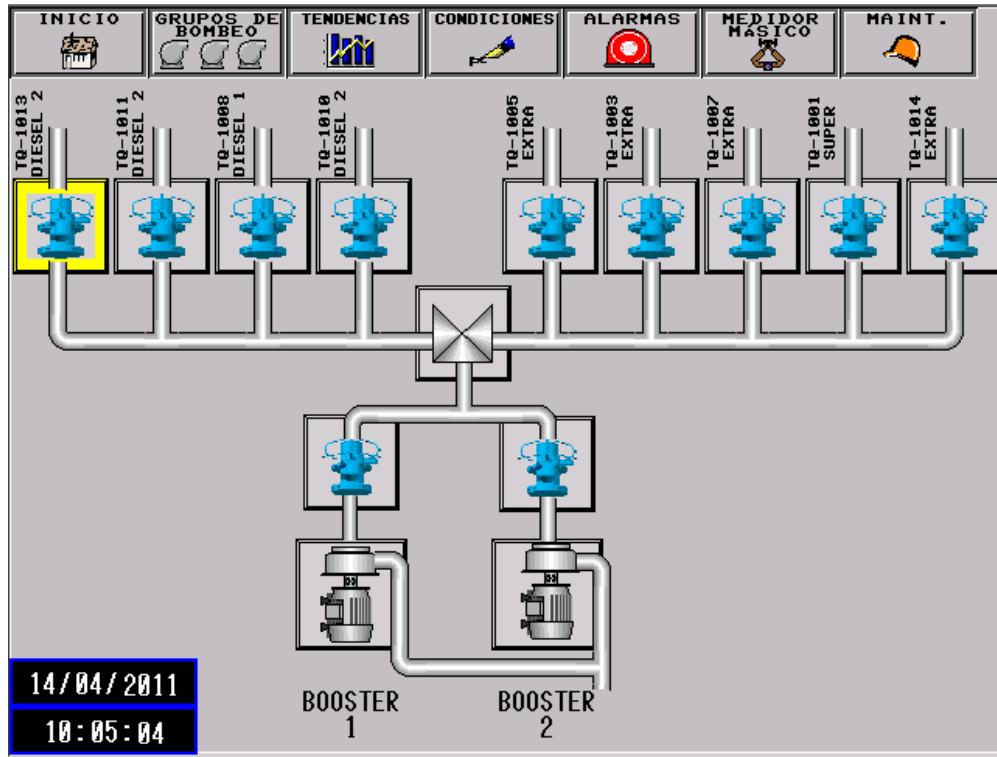


Figura 5.21. Pantallas de Proceso (Magelis): Manifold

En caso de manipular un dispositivo de la pantalla, se debe presionar la figura deseada. A continuación se despliega en la parte inferior derecha, una ventana que indica el estado del equipo elegido y un pulsador para controlarlo.

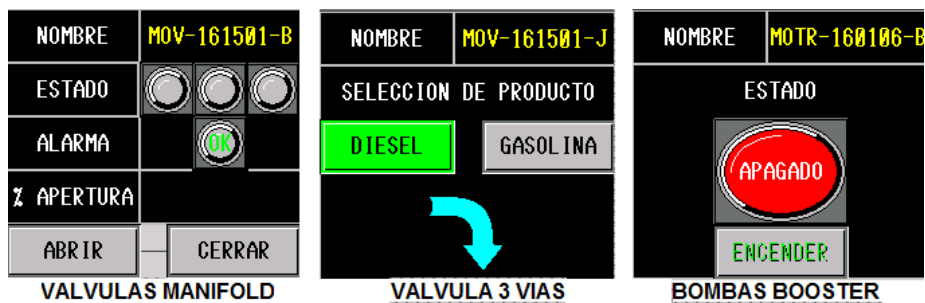


Figura 5.22. Ventanas de Estado y Control en Manifold

PANTALLAS DE PROCESO: GRUPO ELÉCTRICO. En esta ventana se muestran las variables de presión, temperatura, velocidad, estado del variador y de los componentes del grupo eléctrico de bombeo.

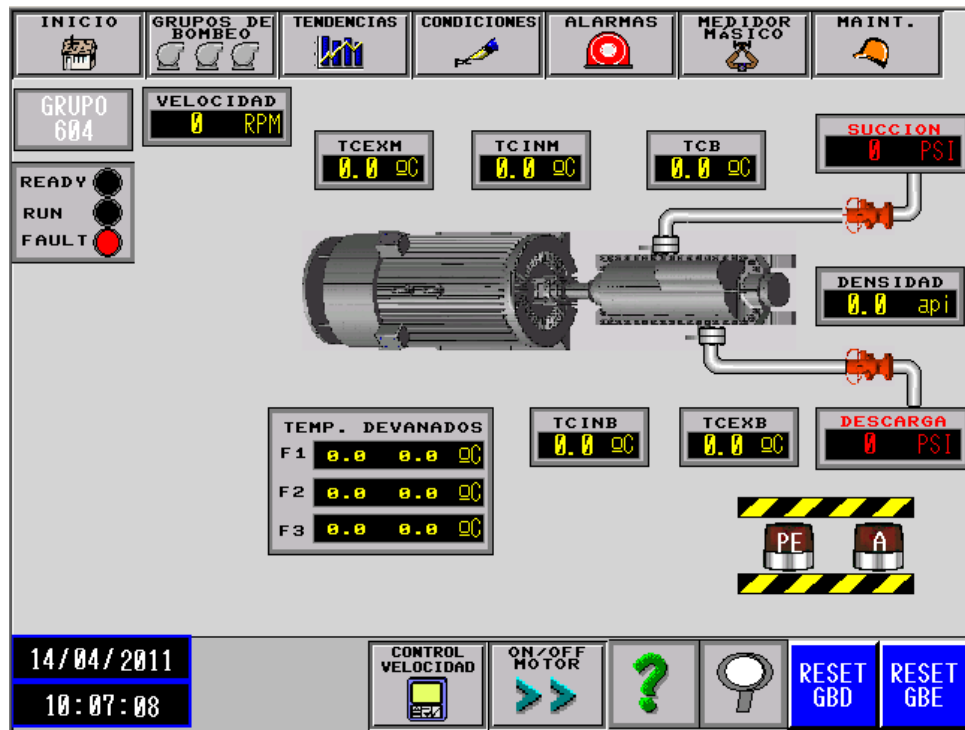


Figura 5.23. Pantallas de Proceso (Magelis): Grupo Eléctrico

En la parte inferior de la Figura 5.23 está la barra de control del grupo eléctrico (Figura 5.24), en donde se encuentran seis botones que realizan las siguientes acciones respectivas:

1. Abrir la barra de control de velocidad del motor eléctrico.
2. Habilitar el botón de arranque del grupo eléctrico de bombeo.
3. Permitir al operador identificar las variables de la pantalla, para utilizarlo debe pulsar la incógnita y luego el campo del cual desee información.

4. Permitir al operador agrandar los valores de las variables de la pantalla, para utilizarlo debe pulsar la lupa y luego el campo del cual desee información.
5. Botones de reinicio de alarmas de los grupos de bombeo.

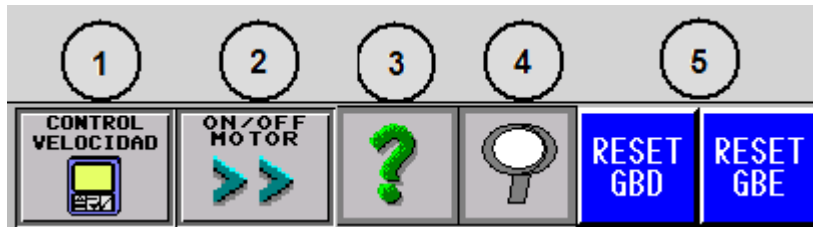


Figura 5.24. Barra de Control

Al activar los botones de control y arrancar el motor (ON/OFF MOTOR) la pantalla presenta el siguiente aspecto, según la Figura 5.25.

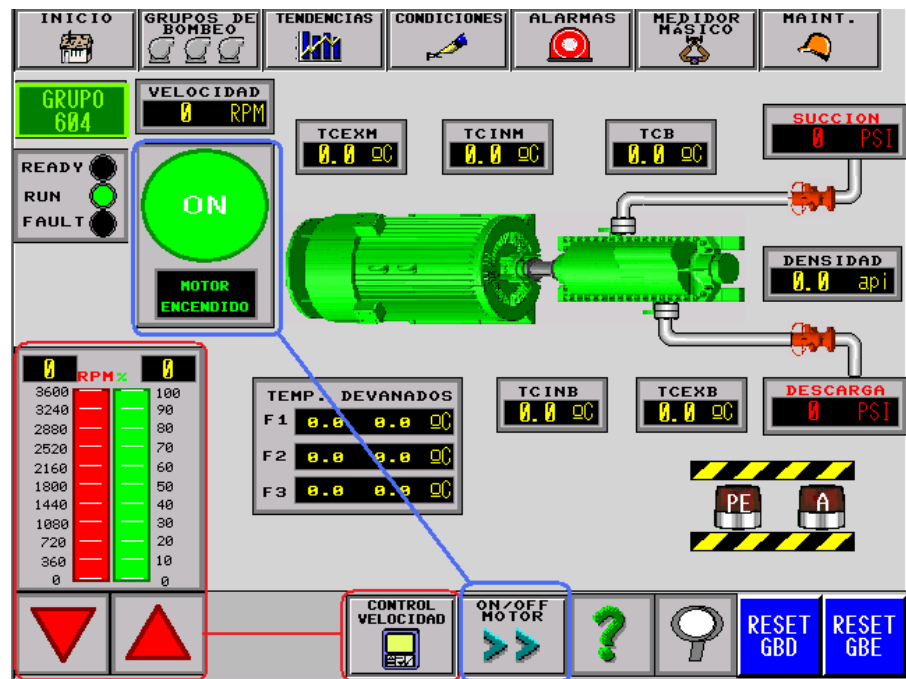


Figura 5.25. Botones de control del Grupo Eléctrico de Bombeo

PANELES DE PROCESO: HISTÓRICOS. En esta pantalla se muestra la variación de la presión de succión, descarga y velocidad con respecto al tiempo. Al tratarse de un histórico, es posible verificar los datos en fechas anteriores. Para elegir la fecha en la que se desee visualizar la información se presiona el calendario ubicado en la parte superior izquierda.

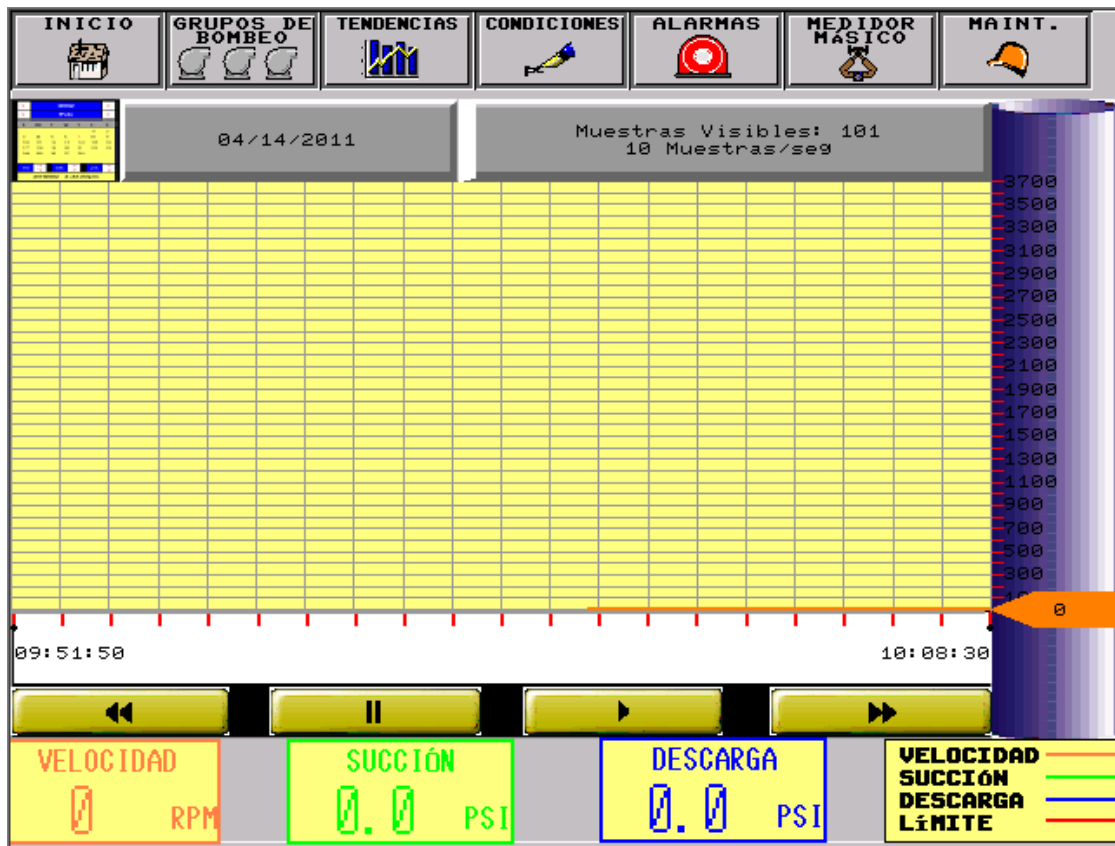


Figura 5.26. Paneles de Proceso (Magelis): Históricos

PANELES DE PROCESO: TENDENCIAS. Las gráficas de tendencias muestran la variable en tiempo real. Se tienen dos pantallas de tendencias: Densidad del producto y Presiones de succión y descarga. En la parte inferior de la gráfica se presenta el valor numérico actual de la variable que está siendo graficada.

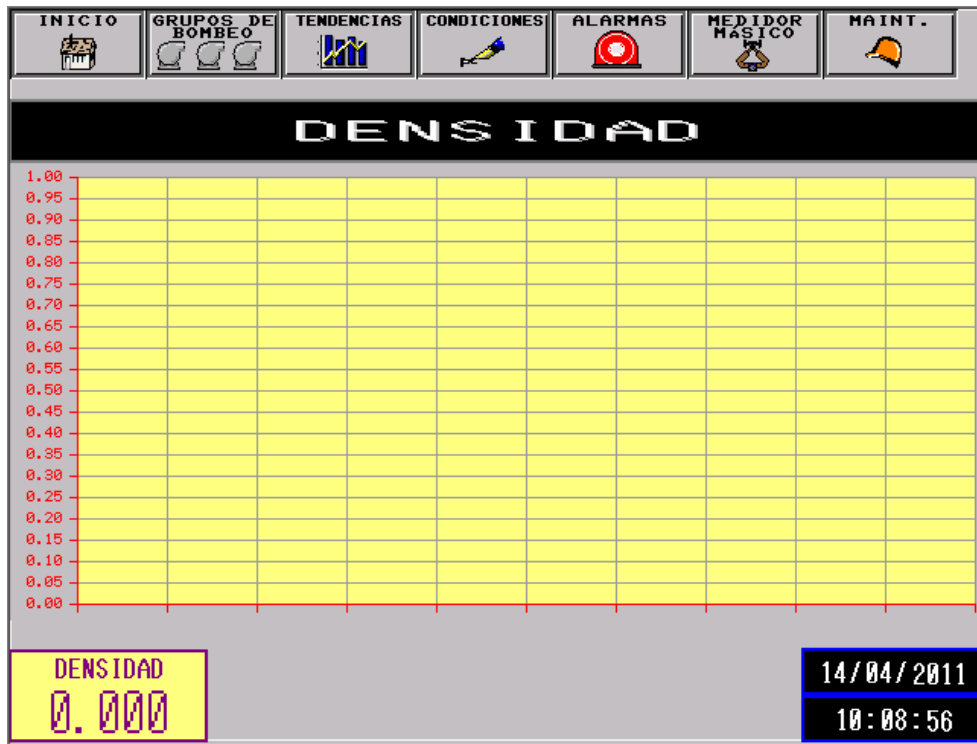


Figura 5.27. Paneles de Proceso (Magelis): Densidad

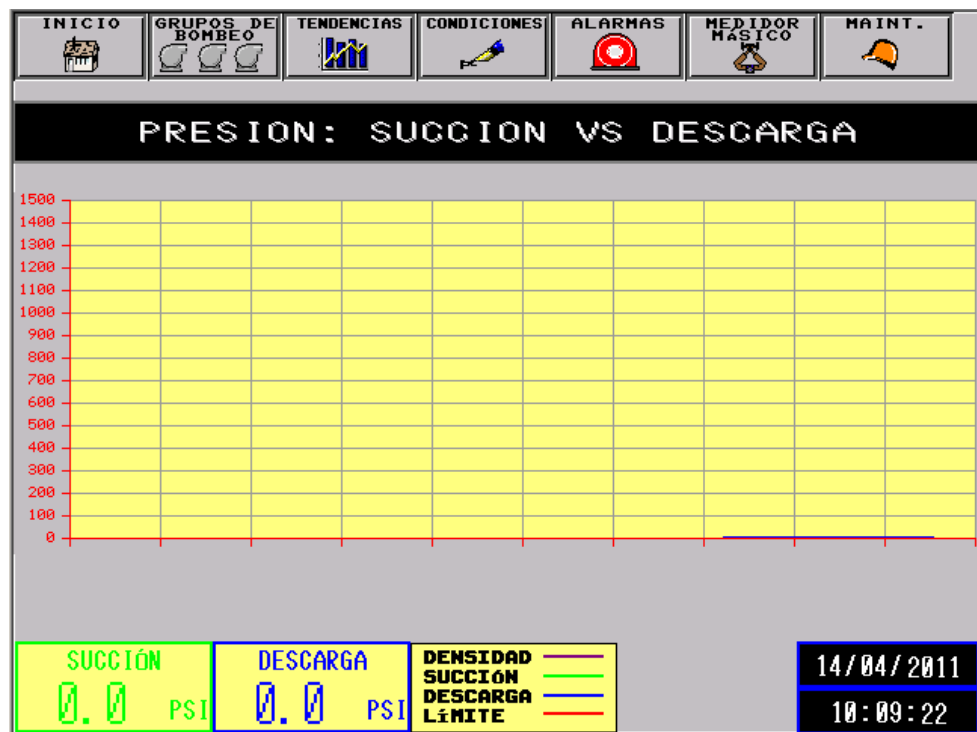


Figura 5.28. Paneles de Proceso (Magelis): Presiones

PANELES DE PROCESO: CONDICIONES. En la pantalla de condiciones se presenta un resumen tabulado de los valores actuales de las variables de los grupos de bombeo Diesel (Figura 5.29) y Eléctrico (Figura 5.30).

SEÑALES GRUPO DE BOMBEO DIESEL		Unds.	GRUPO 601	GRUPO 602	GRUPO 603
TEMPERATURA COJINETE EXTERIOR BOMBA	±C				
TEMPERATURA CARCASA BOMBA	±C				
TEMPERATURA COJINETE INTERIOR BOMBA	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 1	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 2	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 3	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 4	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 5	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 6	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 7	±C				
TEMPERATURA GASES DE DESCARGA CULATA 8	±C				
TEMPERATURA MULTIPLICADOR B.V.	±C				
TEMPERATURA MULTIPLICADOR A.V.	±C				
TEMPERATURA AGUA DE ENFRIAMIENTO MOTOR	±C				
TEMPERATURA ACEITE DE MOTOR	±C				
VIBRACION EXCESIVA	Z				
PRESION DE SUCCION	psi				
PRESION DE DESCARGA	psi				
VELOCIDAD DE BOMBEO GBD	RPM				

Figura 5.29. Paneles de Proceso (Magelis): Condiciones GBD

GRUPO 604			
TEMPERATURA	°C	PRESION	psi
COJINETE EXTERIOR BOMBA	0.0	SUCCION	0
CARCASA DE LA BOMBA	0.0	DESCARGA	0
COJINETE INTERIOR BOMBA	0.0		
COJINETE INTERIOR MOTOR	0.0	VARIADOR DE VELOCIDAD	
COJINETE EXTERIOR MOTOR	0.0	VELOCIDAD DEL MOTOR	0 RPM
DEVANADOS FASE 1A	0.0	PAR DEL MOTOR	0 Z
DEVANADOS FASE 2A	0.0	POTENCIA DEL MOTOR	0 Z
DEVANADOS FASE 3A	0.0	CORRIENTE EN EL MOTOR	0 Arms
DEVANADOS FASE 1B	0.0	TENSION DE LA RED	0 Vrms
DEVANADOS FASE 2B	0.0	TENSION DE BUS CC	0 Vcc
DEVANADOS FASE 3B	0.0	TEMPERATURA RADIADOR IGBT	0 ±C

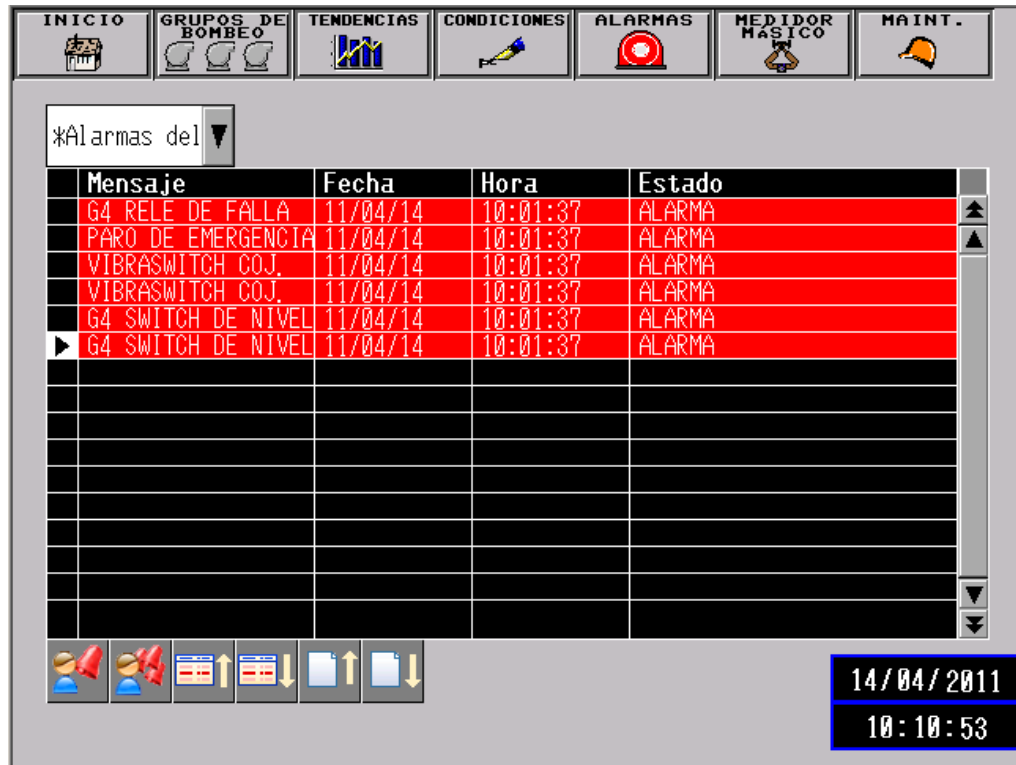
14 / 04 / 2011 10 : 10 : 34

Figura 5.30. Paneles de Proceso (Magelis): Condiciones GBE

PANELES DE PROCESO: ALARMAS. Esta pantalla muestra un registro de las alarmas del sistema con la hora, fecha de activación, así como la información de donde ha ocurrido una falla. El color del texto indica la gravedad de la falla y también si ha sido o no reconocida. Figura 5.31.

En la parte superior izquierda se tiene un menú desplegable, el mismo que permite seleccionar el grupo de alarmas a visualizarse en el cuadro de resumen. Existen tres grupos de alarmas:

- Alarmas del grupo eléctrico.
- Alarmas de manifold
- Pre-alarmas del grupo eléctrico.



The screenshot shows a software interface for monitoring alarms. At the top, there is a navigation bar with icons for 'INICIO', 'GRUPOS DE BOMBEO', 'TENDENCIAS', 'CONDICIONES', 'ALARMAS', 'MEDIDOR HÁSTICO', and 'MAINT.'. Below this is a dropdown menu labeled '*Alarmas del'. The main area contains a table with the following data:

Mensaje	Fecha	Hora	Estado
G4 RELE DE FALLA	11/04/14	10:01:37	ALARMA
PARO DE EMERGENCIA	11/04/14	10:01:37	ALARMA
VIBRASWITCH COJ.	11/04/14	10:01:37	ALARMA
VIBRASWITCH COJ.	11/04/14	10:01:37	ALARMA
G4 SWITCH DE NIVEL	11/04/14	10:01:37	ALARMA
G4 SWITCH DE NIVEL	11/04/14	10:01:37	ALARMA

At the bottom of the interface, there are several icons for alarm management and a status box showing the date '14/04/2011' and time '10:10:53'.

Figura 5.31. Paneles de Proceso (Magelis): Alarmas

PANELES DE PROCESO: MANTENIMIENTO ESTACIÓN. Mediante esta pantalla se puede observar el estado de las bombas booster, bombas de refrigeración y porcentaje de apertura de las válvulas de succión y descarga del Grupo Eléctrico de Bombeo. Además, utilizando el botón “CONTROL”, se pueden manipular los equipos manualmente en caso de requerir mantenimiento.

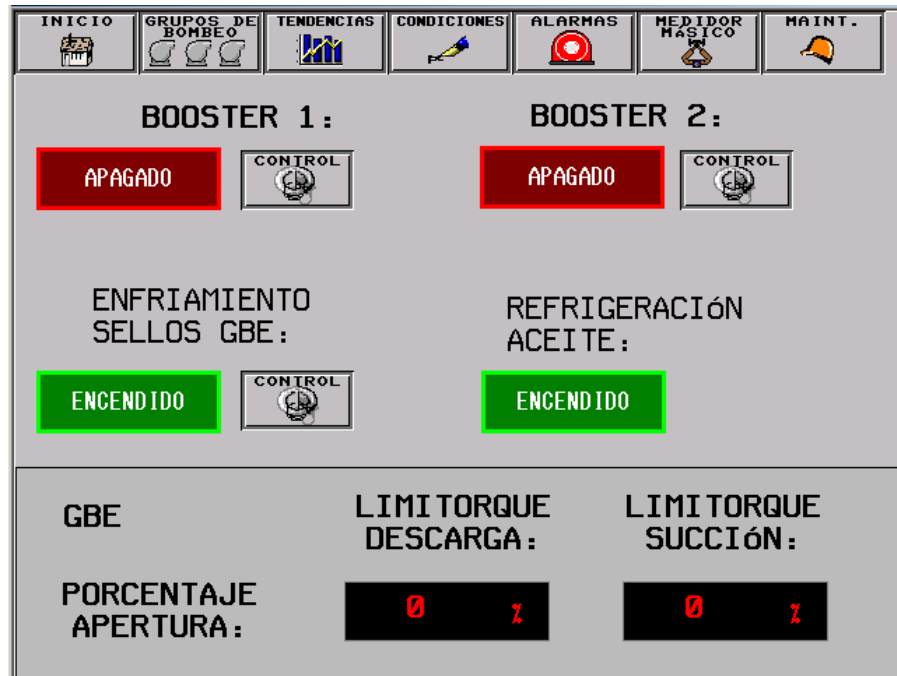


Figura 5.32. Pantallas de Proceso (Magelis): Mantenimiento Estación

PANELES DE PROCESO: MANTENIMIENTO PANTALLA. En esta pantalla se muestran las características de funcionamiento del equipo Magelis XBTGT5330, dentro de la misma se pueden definir los parámetros de: iluminación, fecha, hora, estado de la memoria, dirección IP, entre otros. Ver Figura 5.33. Se recomienda el uso de esta pantalla sólo por personal calificado.

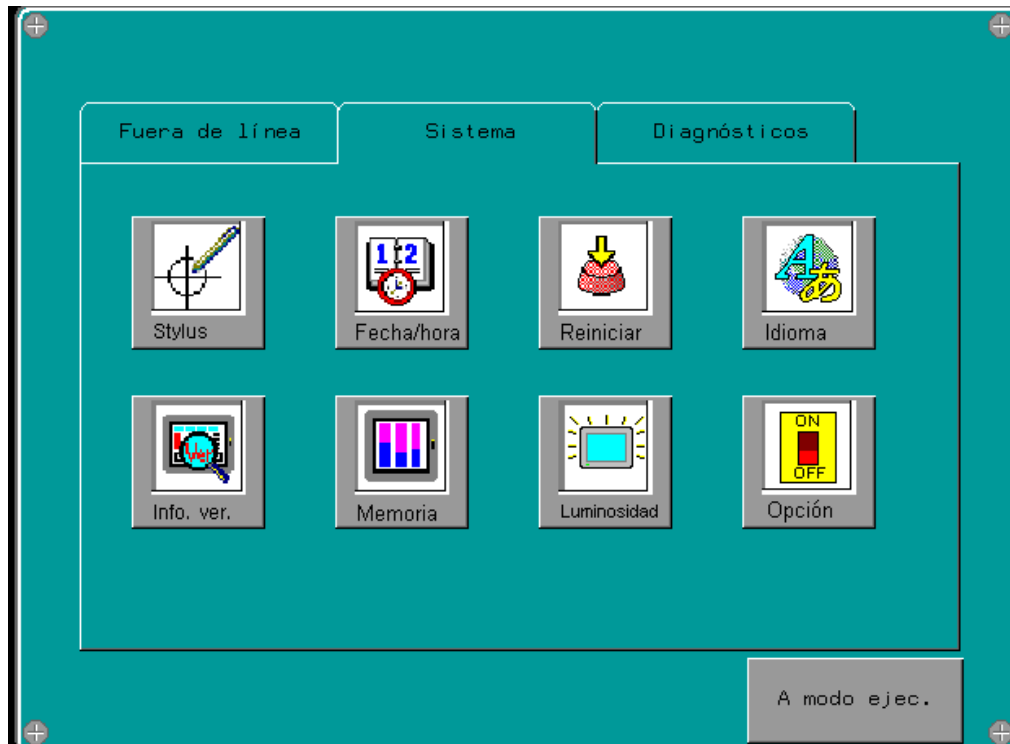


Figura 5.33. Pantalla de configuración de Magelis

Al finalizar la etapa de implementación de software, se ha conseguido reforzar los conocimientos de programación en Intouch, así como conocer nuevos programas de desarrollo tanto de interfaces gráficas (Vijeo Designer) y PLC (Concept). De esta manera la experiencia ha sido enriquecedora al permitir abrir la mente e investigar varias posibilidades que brindan otros lenguaje como en el caso del PLC, ya que se pueden ajustar de mejor manera a las necesidades del proceso a automatizar.

CAPITULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

Luego de concluir la etapa de implementación del proyecto, es necesario realizar varias pruebas que validen el funcionamiento del mismo. En este capítulo se realizaron pruebas a los equipos instalados y además el análisis de algunos parámetros que son consecuencia de la puesta en marcha del grupo eléctrico de bombeo.

6.1. VERIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES REALIZADAS

Para realizar la hoja de control del sistema se verificaron los siguientes parámetros:

- Alimentación de los dispositivos.
- Continuidad del cableado.
- Estado de las conexiones en bornera y terminales.

Después de las pruebas mencionadas anteriormente, se comprobó el funcionamiento correcto al encender los dispositivos, para lo cual fue necesario:

- Observar el despliegue de información en el respectivo indicador LCD.
- Leer los datos desde las interfaces HMI.
- Comprobar que el valor de resistencia de las RTDs, a temperatura ambiente se encuentre en el valor especificado por el fabricante.
- Comprobar continuidad en los conmutadores, ya sean normalmente cerrados o normalmente abiertos.

La Tabla 6.1 contiene los resultados de la verificación de todos los dispositivos instalados que forman parte del sistema de control del grupo eléctrico de bombeo. Esta tabla verifica que los elementos en campo funcionen correctamente, muestren valores localmente y que puedan ser visualizados en las interfaces gráficas.

Tabla 6.1. Tabla de Control Dispositivos de Campo

N°	NOMBRE	TIPO	ESTADO		
			CAMPO	HMI PC	HMI MAGELIS
BOMBA					
1	PIT Succión	Indicador LCD	OK	OK	OK
2	PIT Descarga	Indicador LCD	OK	OK	OK
3	Temperatura Cojinete Exterior	RTD	OK	OK	OK
4	Temperatura Carcasa	RTD	OK	OK	OK
5	Temperatura Cojinete Interior	RTD	OK	OK	OK
6	Switch de nivel bajo lubricante cojinete exterior	Contacto	OK	OK	OK
7	Switch de nivel bajo lubricante cojinete interior	Contacto	OK	OK	OK
8	Switch de vibración	Contacto	OK	OK	OK

N°	NOMBRE	TIPO	ESTADO		
			CAMPO	HMI PC	HMI MAGELIS
	cojinete exterior				
9	Switch de vibración cojinete interior	Contacto	OK	OK	OK
MOTOR					
10	Temperatura cojinete interior	RTD	OK	OK	OK
11	Temperatura cojinete exterior	RTD	OK	OK	OK
12	Temperatura Devanada 1 A	RTD	OK	OK	OK
13	Temperatura Devanada 2 A	RTD	OK	OK	OK
14	Temperatura Devanada 3 A	RTD	OK	OK	OK
15	Temperatura Devanada 1 B	RTD	OK	OK	OK
16	Temperatura Devanada 2 B	RTD	OK	OK	OK
17	Temperatura Devanada 3 B	RTD	OK	OK	OK
CAJA DE CONEXIONES DE CAMPO					
18	Temperatura Caja exterior	RTD	OK	OK	OK
20	Pulsador de Paro de Emergencia	Contacto	OK	OK	OK
VARIADOR DE VELOCIDAD					
21	Estado READY	Contacto	OK	OK	OK
22	Estado RUN	Contacto	OK	OK	OK
23	Estado FAULT	Contacto	OK	OK	OK
24	Lectura Velocidad Motor	Indicador LCD	OK	OK	OK
25	Control Velocidad Motor	Indicador LCD	OK	OK	OK
26	Comunicación MODBUS	Indicador LCD	OK	OK	OK
ACTUADORES LIMITORQUE					
27	Comunicación MODBUS	Indicador LCD	OK	OK	OK
28	Apertura de válvulas al 100%	Indicador LCD	OK	OK	OK
29	Apertura de válvulas al 0%	Indicador LCD	OK	OK	OK
TABLERO DE CONEXIONES EN CUARTO DE CONTROL					
30	Relé de Falla de Fase	Contacto	OK	OK	OK
31	Relé Auxiliar Bomba Booster 1	Contacto	OK	OK	OK
32	Relé Auxiliar Bomba Booster 2	Contacto	OK	OK	OK
33	Relé Auxiliar Bomba Enfriamiento de Sellos	Contacto	OK	OK	OK

N°	NOMBRE	TIPO	ESTADO		
			CAMPO	HMI PC	HMI MAGELIS
34	Contacto de contactor Booster 1	Contacto	OK	OK	OK
35	Contacto de contactor Booster 2	Contacto	OK	OK	OK
36	Contacto de contactor Bomba Enfriamiento de Sellos	Contacto	OK	OK	OK
37	Contacto de contactor Bomba de refrigeración Diesel	Contacto	OK	OK	OK
38	Pulsador de Paro de Emergencia	Contacto	OK	OK	OK

En la Tabla 6.2 se muestran las pruebas de funcionamiento realizadas en los dispositivos de control y comunicaciones.

Tabla 6.2. Estado de Equipos de Control y Comunicaciones

N°	NOMBRE	ESTADO
1	PLC Principal y Módulos	OK
2	PLC Secundario y Módulos	OK
3	Módulo Conversor RS485 – RS232	OK
4	Cable Comunicación RIO	OK
5	Switch Ethernet Hirschman	OK
6	Pantalla táctil Magelis	OK
7	Fuente de 24VDC	OK

En conclusión, todos los elementos evaluados presentan un correcto funcionamiento, adicionalmente la implementación de la arquitectura RIO permitió una reducción de la cantidad de cables, desde campo hasta el cuarto de control, del 85%.

6.2. EVALUACIÓN Y ANALISIS DE LAS HMI MEDIANTE LA GUÍA GEDIS

Para evaluar la HMI, se utilizó la guía GEDIS (Guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión). Esta es una herramienta de evaluación que recoge

pautas y las aplica a casos industriales, con el fin de realizar mejoras en el funcionamiento de interfaces humano-máquina.

Las pautas a evaluar, se sintetizan en una lista de diez indicadores que pretenden cubrir el diseño completo de la interfaz gráfica HMI. La Tabla 6.3 muestra las diez pautas a evaluar junto a su definición. Cabe destacar que cada indicador puede subdividirse, con el fin de realizar una evaluación más objetiva y detallada del sistema.

Tabla 6.3. Indicadores de la Guía GEDIS

Indicador	Definición
Arquitectura	Organización Jerárquica de las pantallas
Distribución	Plantillas de los diferentes tipos de pantallas
Navegación	Navegación equilibrada en anchura y profundidad
Uso del Color	Uso del color adecuado en el contexto
Información Textual	Estándares de fuentes, acrónimos y abreviaturas
Símbolos y Representación de Equipos	Símbolos e íconos gráficos para representar el estado de la planta y los cambios de estado
Valores de Proceso	Presentación de los datos analógicos digitales en las pantallas
Tablas y Grupos de Tendencias	Presentación y agrupación de valores, en gráficos de tendencias (históricos) y tablas
Comandos e Ingreso de Datos	Accesibilidad a la manipulación de parámetros y consignas
Alarmas	Estado de alarmas, clasificación por prioridades

En el Anexo F: Guía GEDIS, se encuentran las hojas de evaluación con las calificaciones dadas por los operadores de la Estación de Bombeo “El Beaterio”. La calificación obtenida a partir de la evaluación es de 4.65 / 5 (Pc) y 4.93 / 5 (Magelis), valores dentro de los parámetros de la guía GEDIS. A partir de este valor se puede concluir que la interfaz cumple con los requerimientos de los operadores y personal de mantenimiento de la estación.

A partir de las observaciones generadas por el personal evaluador, se realizaron correcciones en las interfaces. Dichas observaciones se centran en:

-
- La distribución de los elementos en pantalla.
 - La necesidad de aumentar datos de importancia para el proceso provenientes de la Estación Reductora “Ambato” y de la línea.
 - La presentación de los límites de operación en las pantallas de alarma.

De manera que si se realizara una nueva evaluación, se obtendría un grado de satisfacción alto.

6.3. ANALISIS DE TEMPERATURA Y ACCIONAMIENTO DE ALARMAS

Al finalizar la instalación y realizar las primeras pruebas con el equipo en funcionamiento, se pudo observar, después de algunas semanas de trabajo, que la temperatura del cojinete interior del motor se incrementaba, acercándose al nivel de pre-alarma de temperatura alta. A pesar de que el problema no era crítico ni representaba ningún daño para el motor, con el fin de precautelar el correcto funcionamiento de la máquina, se investigó una solución de tipo mecánica para corregir el problema.

Se determinó que el problema era causado por la transferencia de calor desde los devanados, hacia el cojinete interior y se complementaba con la falta de flujo de aire, en dicho sector. Para compensar esta falta de aire y aprovechar el flujo de aire generado por la auto ventilación del motor, en conjunto con el personal de mantenimiento mecánico, se implementaron dos alerones que direccionan el aire hacia el cojinete interior, enfriándolo de manera significativa y solucionando el inconveniente anteriormente expuesto.

Previo a la implementación del alerón, durante el mes de Enero de 2011, el motor alcanzó temperaturas máximas de 72 [°C] y generó múltiples señales de pre

alarma durante la operación. La Figura 6.1, muestra la temperatura del cojinete interior del motor eléctrico (línea azul) y activación de pre-alarmas (línea roja).

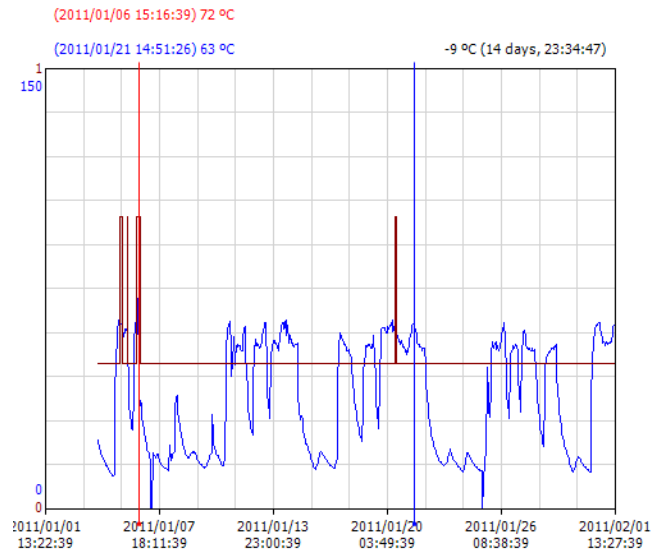


Figura 6.1. Temperatura Cojinete Interior Motor Enero 2011, Previo Instalación de Alerón.

Después de la instalación del alerón, durante el mes de Febrero de 2011, el motor alcanzó temperaturas máximas de 61 [°C] y no generó señales de pre alarma durante la operación. La Figura 6.2, muestra la temperatura del cojinete interior del motor eléctrico (línea azul) y activación de pre-alarmas (línea roja), durante este período.

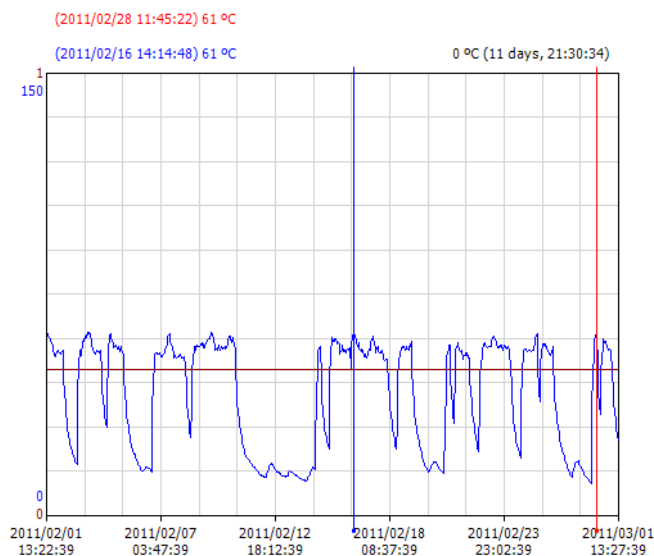


Figura 6.2. Temperatura Cojinete Interior Motor Febrero 2011, Posterior Instalación de Alerón.

El 31 de Marzo de 2011, surgió un problema mecánico en la bomba, lo que provocó un calentamiento excesivo en su cojinete interior, una vez detectada la falla el grupo eléctrico se detuvo automáticamente. Con el fin de demostrar el funcionamiento correcto del sistema de control actual, se procedió a recuperar la información de dicho día. En la Figura 6.3 se muestra la activación de la alarma (línea amarilla) por temperatura alta en el cojinete interior de la bomba (línea azul).

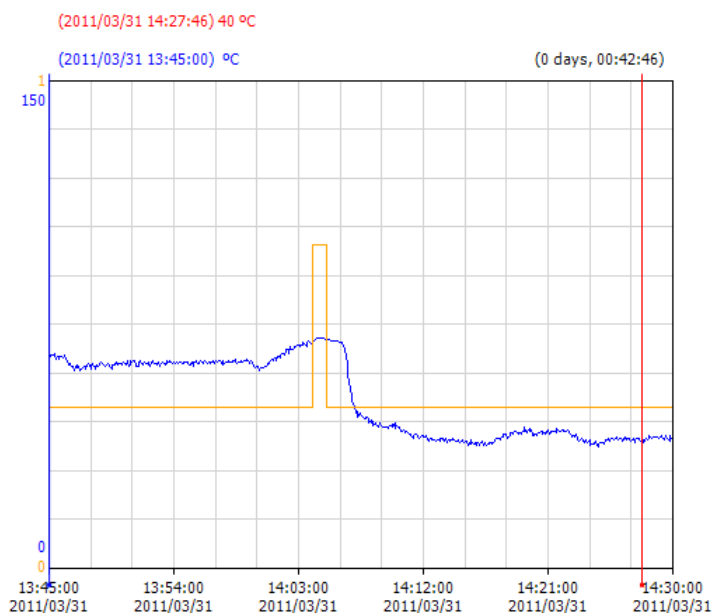


Figura 6.3. Alarma de Temperatura Alta Grupo de Bombeo Eléctrico

Los históricos de temperatura, la Figura 6.1, la Figura 6.2 y la Figura 6.3, han sido tomados del servidor de datos de la estación de bombeo del Poliducto Q-A-R a través del programa “ActiveFactory Trend”²¹.

6.4. ANALISIS AMBIENTAL

A fin de realizar el análisis ambiental, se acudió a la Unidad de Seguridad y Medioambiente del Terminal “El Beaterio”, quienes facilitaron la siguiente información:

²¹ ActiveFactory Trend.- Herramienta de software para la visualización gráfica en tiempo real o de históricos de datos almacenados mediante IndustrialSQL.

- Datos.
- Normas.
- Equipos de Medición.

6.4.1. ANALISIS DE EMISIONES AL AIRE

Los análisis de emisiones de gases se basan en los datos provistos por la empresa ABRUS en sus estudios durante el primer trimestre de 2011. Estos se encuentran documentados en el “Informe Técnico de Monitoreo Ambiental en el Terminal El Beaterio”.

Los datos relevantes presentados en el informe se muestran en la

Tabla 6.4 y la Tabla 6.5. En donde son comparados con los límites permitidos según la Ordenanza Municipal N° 213 y el acuerdo Ministerial N°91.

Tabla 6.4. Resultados para Motores de Combustión Interna a Diesel, Corrección según Norma Técnica de Ordenanza Municipal N° 213

	PARÁMETROS			
	MP	CO	NOx	SO2
	Material Particulado	Monóxido de Carbono	Óxidos de Nitrógeno	Dióxido de Azufre
Límite máximo Según Ordenanza Municipal N° 213	150	250	500	1650
	Concentraciones (mg/m³)*			
Motor Diesel 1	53.9	553.4	1585.1	251.7
Motor Diesel 2	18.9	1532.5	1356.0	180.3
Motor Diesel 3	51.1	834.6	2156.5	279.5

* Corregidas al 7% de oxígeno, en condiciones normales y base seca.

Tabla 6.5. Resultados para Motores de Combustión Interna a Diesel, Corrección según Acuerdo Ministerial N° 91

	PARÁMETROS			
	MP	CO	NOx	SO2
	Material Particulado	Monóxido de Carbono	Óxidos de Nitrógeno	Dióxido de Azufre
Límite máximo Según Acuerdo Ministerial N° 91	100	1500	2000	700
	Concentraciones (mg/m³)			
Motor Diesel 1	53.9	237.2	679.3	107.9
Motor Diesel 2	18.9	656.8	581.1	77.3
Motor Diesel 3	51.1	357.7	924.2	119.8

* Corregidas al 15% de oxígeno, en condiciones normales y base seca.

Como se puede observar en las tablas anteriores, las concentraciones de CO y NOx no están dentro de los parámetros de la Ordenanza N° 213.

A diferencia de los motores a diesel, el motor eléctrico no produce gases nocivos al ambiente reduciendo las emisiones en un 100%. De esta manera se cumplen las normas ambientales Municipales y Ministeriales.

6.4.2. ANALISIS DE RUIDO

Las mediciones de ruido se realizaron en conjunto con la unidad de Seguridad y Medio Ambiente del Terminal “El Beaterio”, con un sonómetro marca Cirrus Research, modelo CR:832B.

Para realizar las mediciones de ruido se consideraron los procedimientos internos de EP Petroecuador²², que se resumen en:

²² Subía C. Procedimiento 011: Evaluación del Ruido Industrial en Ambientes Laborales. EP-Petroecuador. Código: GA-IMP-PTR-011.

- El ruido es estable, ya que la diferencia entre los picos máximos y mínimos de la medición son menores a 6 dB.
- Para determinar el nivel de presión sonora equivalente (L_{eqt}), se realizarán las medidas por un período de un minuto en cada punto de control.
- Debe utilizarse la unidad “dB A”, ya que representa una medida estándar para las frecuencias audibles que reflejan la respuesta del oído humano al ruido.
- El instrumento de medición debe localizarse a 30° de la fuente sonora, a 1.5 metros de altura y a 3 metros de las paredes del local en estudio.
- Utilizar un filtro en el micrófono para reducción de ruido por el viento.

Los resultados de medición del grupo de bombeo diesel se encuentran en la Tabla 6.6. Para ubicar los puntos de control, se tomó como referencia el radiador. Para definir el tipo de ambiente, se consideró el Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador.

Tabla 6.6. Resultados de Medición de Ruido Grupos de Bombeo Diesel

LUGAR	L_{eq} (dbA)	AMBIENTE
Entre dos grupos de bombeo Diesel	98.5	Molesto
A la izquierda del GBD602	96.3	Molesto
A la derecha del GBD603	96.3	Molesto
Ruido Promedio en Campo	97.03	Molesto
Cuarto de Control	66.2	Poco Ruido

Los resultados de medición del grupo de bombeo eléctrico se encuentran en la Tabla 6.7. Para ubicar los puntos de control, se tomó como referencia el radiador. Para definir el tipo de ambiente, se consideró el Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador.

Tabla 6.7. Resultados de Medición de Ruido Grupos de Bombeo Eléctrico

LUGAR	Leq (dbA)	AMBIENTE
Detrás del Motor Eléctrico	87.6	Ruidoso
A la izquierda del GBE604	82.5	Ruidoso
A la derecha del GBE604	85.3	Ruidoso
Ruido Promedio en Campo	85.13	Ruidoso
Cuarto de Control	61.8	Poco Ruido

Al comparar los niveles de ruido entre los dos grupos de bombeo, se obtuvo que con grupos de bombeo Diesel el nivel de ruido promedio en campo es 12 [dBA] mayor. En tanto que en el cuarto de control, la diferencia es de 6 [dBA]. En conclusión, el grupo eléctrico de bombeo genera menor ruido que los grupos diesel, lo que permite un mayor número de horas de trabajo en campo. Cabe indicar que el oído humano aprecia el doble de ruido, con un aumento de 3dBA en la fuente sonora.

El personal de la Estación de Bombeo “El Beaterio”, debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Utilizar protección auditiva.
- Permanecer máximo una hora al día expuesto al ruido generado por los grupos diesel.
- Permanecer máximo 8 horas al día con el ruido producido por el grupo de bombeo eléctrico.

6.5. ANALISIS ECONÓMICO

Con la ayuda del Técnico encargado del software “Maintracker”²³ del Poliducto Q-A-R se realizó un análisis económico que comprende:

- Presupuesto para la Implementación del Nuevo Sistema de Control.
- Análisis de costos de mantenimiento a 6000 horas de trabajo para los grupos de bombeo Diesel y eléctrico.
- Análisis de costos en consumo de energía a 6000 horas de trabajo.

En base a los equipos utilizados en el proyecto, se procedió a realizar un presupuesto de la implementación, el cual tiene un valor de \$39002,15. Dado que se utilizaron elementos existentes en la bodega del Terminal “El Beaterio” el costo real de implementación, considerando los equipos adquiridos por el Departamento de Mantenimiento Electromecánico del Poliducto Q-A-R, es de \$9334,70. El presupuesto y lista de materiales se encuentran en el Anexo H: Lista de Materiales.

A continuación se presenta un análisis de costos de mantenimiento y consumo de energía entre los grupos de bombeo diesel y el grupo de bombeo eléctrico. Los datos están en función del mantenimiento preventivo a 6000 horas de operación. La Tabla 6.8 contiene la información de costos de dos grupos de bombeo diesel, y la Tabla 6.9 del grupo de bombeo eléctrico. Esto ha sido considerado ya que el grupo de bombeo eléctrico realiza el trabajo de dos diesel.

²³ Maintracker: Software para gestión de mantenimiento.

Tabla 6.8. Costos de Mantenimiento y Consumo Grupos de Bombeo Diesel a 6000 horas

DETALLE	CANTIDAD A 6000 H	PRECIO POR UNIDAD (USD)	TOTAL A 6000 H (USD)
Mantenimiento	1	7557.44	7557.44 ²⁴
Consumo Diesel	136000 gal	1.03	140080 ²⁵
Consumo Aceite	360 gal	6.58	2368.8 ²⁸
TOTAL	--	--	150006.24

Tabla 6.9. Costos de Mantenimiento y Consumo Grupo de Bombeo Eléctrico a 6000 horas

DETALLE	CANTIDAD A 6000 H	PRECIO POR UNIDAD (USD)	TOTAL A 6000 H (USD)
Mantenimiento	1	1508.60	1508.6 ²⁷
Consumo Electricidad	1800000 Kwh	0.068 + imp	154249.40 ²⁶
Consumo Aceite	24 gal	4.36	104.64 ²⁸
TOTAL	--	--	155862.64

Como se puede observar en las tablas anteriores; los costos de consumo de energía del grupo eléctrico son similares a los grupos diesel, mientras que su costo de mantenimiento es cinco veces menor.

A pesar de que aparentemente los costos de operación con los grupos Diesel son menores, no se puede establecer dicha comparación, dado que estas tablas presentan valores comerciales actuales que contemplan los subsidios brindados por el Estado a los Hidrocarburos y a la Energía Eléctrica. A fin de obtener el valor real se debería realizar un estudio económico más profundo, que no forma parte de este proyecto.

²⁴ Dato obtenido de los informes anuales de mantenimiento del PQAR, años 2008, 2009 y 2010.

²⁵ Dato obtenido de las bitácoras de operación del PQAR

²⁶ Dato tomado de Plan Tarifario Vigente de la EEQ para el período de consumo 1 al 30 de abril de 2011, Tarifa G5.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Se han alcanzado todos los objetivos planteados en el proyecto, dentro del tiempo establecido y con la conformidad del departamento de Mantenimiento Electro-Mecánico del Poliducto Quito – Ambato – Riobamba de EP Petroecuador.
- En la industria es importante e indispensable el uso de normas que regulen la instalación de los elementos de la planta. De esta manera se asegura el óptimo funcionamiento del sistema, garantizando la disponibilidad de los equipos y brindando seguridad al personal de la planta.
- Con el fin de conocer el proceso, requerimientos de la planta y equipos disponibles, fue importante iniciar el proyecto con el levantamiento de información de campo. De esta manera se pudo observar que era necesario cumplir con ciertas normas de instalación de cableado no consideradas, un cambio completo de la infraestructura del sistema de control, mejoramiento del sistema de enfriamiento de sellos, programación de una nueva interfaz gráfica HMI y nueva lógica de control en el PLC.
- Se realizó una investigación de normas técnicas aplicables para el rediseño e implementación del sistema de control del grupo eléctrico de bombeo. Dado que Ecuador no posee normativas acerca de instalaciones industriales, fue necesario el análisis de normas internacionales afines, que contemplen las áreas eléctricas,

mecánicas y de seguridad industrial. Entre las normas empleadas se pueden citar: NEC500, API610, API682, IEC 60204-1 y la normativa interna de EP Petroecuador (recopilación de normas internacionales).

- El grupo de bombeo eléctrico, se encuentra en un área de riesgo debido a la presencia de sustancias inflamables, por lo que toda la implementación se ha realizado con equipos a prueba de explosiones cumpliendo con la norma SHI021 de EP Petroecuador.
- El variador de velocidad es esencial para el control del motor eléctrico del sistema de bombeo, debido a que de esta manera se logra regular la presión que lleva el producto en la línea.
- En este proyecto es importante el control del motor eléctrico mediante el uso de DTC (Control Directo de Torque), dado que independiente de la velocidad de trabajo, el torque se mantiene constante, cumpliendo con las exigencias de carga del sistema que varían según el producto a transportar (Diesel y Gasolina).
- Para seguridad del personal y debido a que el variador de velocidad es un elemento de riesgo al controlar el componente principal del proceso, se realizó su reconfiguración con el fin de habilitar las señales de estado (Ready, Run y Fault) y velocidad (control y realimentación 4-20[mA]), para que pueden ser cableadas directamente hacia el cuarto de control, cumpliendo con la norma IEC60204-1.
- La Arquitectura RIO es adecuada para la estación de bombeo “El Beaterio”, ya que permitió minimizar costos y tiempo de implementación mediante el uso de equipos existentes en el terminal. Además se consiguió optimizar el espacio en el panel de conexiones del cuarto de control, disminuyendo la cantidad de cables de señales en un 85% y redistribuyendo los módulos existentes para uso en futuras instalaciones.

-
- Para asegurar la comunicación entre el PLC principal y su derivación se utilizó cable coaxial, que por construcción es apropiado para transmisión a largas distancias y atenúa el ruido externo del ambiente industrial.
 - El nuevo sistema de control implementado, independiza al grupo eléctrico de bombeo del resto de equipos del proceso, ya que la red MODBUS y la alimentación de los equipos de control son exclusivas y la derivación RIO contiene solo los elementos del grupo eléctrico de bombeo. De esta manera, es posible realizar tareas de mantenimiento en el grupo eléctrico sin detener el proceso e interferir con los grupos de bombeo Diesel.
 - Se realizó un análisis de los lenguajes de programación IEC disponibles en el PLC Quantum, y se concluyó que se utilizará FBD para la configuración y programación de alarmas del sistema, ya que permite realizar operaciones lógicas a través de bloques de función siendo estos de fácil comprensión. Por otra parte, el proceso de arranque del grupo eléctrico de bombeo debe cumplir un orden establecido, por lo que es ideal el uso del lenguaje de programación SFC, que gracias a su estructura, se puede emplear en procesos secuenciales que requieran la activación o desactivación de sus componentes en un momento determinado y bajo ciertas condiciones de operación.
 - En la etapa inicial del proyecto, se analizó la interfaz gráfica con la que contaba la estación, de la cual se pudo observar que para conocer las condiciones de los grupos de bombeo, era necesario pasar primero por las ventanas de cada uno, retrasando el acceso a las mismas. Además, la ventana del grupo eléctrico de bombeo, no presenta los nombres de las variables como nemónicos sino en nomenclatura P&ID y la distribución de los elementos en la pantalla no corresponde con la distribución en campo, lo que dificulta el reconocimiento de la información por parte del operador. Estas observaciones fueron tomadas en cuenta para el diseño de la nueva interfaz HMI.

-
- Con el fin de facilitar el trabajo a los operadores, las interfaces gráficas HMI de computadora y pantalla táctil, tienen una estructura visual similar entre sí. Sin embargo, cada una fue realizada con un diferente software, lo que requirió investigación para su desarrollo.
 - La interfaz gráfica implementada presenta una navegación intuitiva de arquitectura horizontal poco profunda, que ayuda a ubicarse dentro del entorno y trasladarse entre las ventanas del proceso de manera rápida evitando que se pierda en la misma. Además, las animaciones y colores de los elementos que presentan las pantallas, ayudan a tomar decisiones inmediatas en la planta, dependiendo de los sucesos que se presentan. Así los operadores cometen menos errores ya que la información se muestra clara y concisa.
 - Para validar la interfaz HMI implementada, se hizo uso de la guía GEDIS, que es una herramienta de evaluación para interfaces humano máquina, que permite al programador atender a las necesidades de los operadores mediante un análisis cuantitativo de la HMI. Al aplicar la guía GEDIS se obtuvo una calificación de 4.65 / 5, lo que indica que la interfaz cumple los requerimientos del proceso y además satisface las necesidades de los operadores.
 - Uno de los mayores inconvenientes que presentaba el grupo eléctrico de bombeo, era el calentamiento excesivo del cojinete interior del motor; por lo que en conjunto con el personal de mantenimiento mecánico, se instaló un sistema de enfriamiento por alerones que se encarga de concentrar el aire proveniente del ventilador hacia el cojinete interior del motor eléctrico. De esta manera se logró, un descenso de 10°C en la temperatura del cojinete interior durante operación continua.
 - Uno de los beneficios obtenidos al trabajar con el grupo eléctrico de bombeo es la reducción en los costos de mantenimiento en cinco veces con respecto a los grupos de bombeo diesel. Pero el consumo de electricidad y la calidad del servicio interconectado del país, no asegurarían la disponibilidad del grupo; lo que hace

necesario tener en óptimas condiciones de funcionamiento los dos sistemas de bombeo (eléctrico y diesel), para que cada uno de ellos sea un respaldo del otro y así no detener el proceso de la Estación “Beaterio”.

- Con la realización del presente proyecto, se logró rehabilitar el grupo eléctrico de bombeo, dejando así disponibles a los grupos de bombeo Diesel, para su respectivo mantenimiento preventivo ya que habían sobrepasado las 6000 horas de operación programadas.
- Para facilitar la identificación de los elementos del grupo eléctrico de bombeo, lugares de tránsito y zonas de peligro; se procedió a pintar cada uno de ellos, en base a normas internas de la empresa, aportando además a la seguridad del personal de la estación.
- En conjunto con la unidad de seguridad industrial y medio ambiente del terminal “El Beaterio”, se realizó un análisis comparativo del impacto ambiental del grupo eléctrico de bombeo con respecto al grupo de bombeo Diesel, de donde se concluye que: El grupo eléctrico de bombeo es un sistema limpio que no emite gases a la atmósfera reduciendo emisiones en un 100%. También, se observó una reducción de 12 dB(A) en el nivel de ruido promedio presente en la estación pudiendo así aumentar de una a ocho las horas de trabajo del personal en presencia de la fuente sonora.
- Para el diseño e implementación del sistema de control del grupo eléctrico de bombeo, fue necesario conocer la planta y el proceso de bombeo completo; lo que implicó adquirir conceptos mecánicos, que complementan la preparación de un Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control.

7.2. RECOMENDACIONES

- Para aumentar la confiabilidad del sistema de control basado en la arquitectura RIO, se recomienda reemplazar los módulos 140CRA93100 y 140CRP93100 por los módulos 140CRA93200 y 140CRP93200; estos últimos disponen de dos canales de comunicación para tener redundancia en la adquisición de datos.
- Con el fin de ahorrar dinero y reducir espacio en los tableros de control, se recomienda adquirir módulos de entradas y salidas mixtos, ya que en algunos casos los módulos disponibles en el terminal están sobredimensionados con respecto al número de señales utilizadas.
- Implementar la arquitectura RIO en los grupos de bombeo Diesel para liberar espacio en el tablero de control principal e independizar las señales de cada grupo de bombeo de manera que no se interfiera con el resto de procesos de la estación.
- Se recomienda ubicar un transmisor - indicador de presión y temperatura antes de las válvulas de succión y otro después de las válvulas de descarga; con el fin de tener la información de presión para protección de la línea.
- Los conmutadores de vibración que se encuentran implementados son de accionamiento mecánico y solo presentan dos estados, por lo que sería adecuado reemplazarlos por acelerómetros de tres ejes que brinden información detallada del movimiento de la bomba. Con un acelerómetro se puede realizar un análisis más completo y se podría determinar la falla que produce una vibración excesiva.
- Para mejorar la respuesta del motor eléctrico y evitar un sobrecalentamiento del mismo a bajas revoluciones, se recomienda implementar un sistema de enfriamiento externo para el motor.

-
- Implementar un sistema de enfriamiento de sellos Plan API 52A porque se cuenta con parte de los equipos necesarios, cumple con las necesidades de la planta y permite detectar de manera eficiente cualquier fuga que se presente en los sellos mecánicos de la bomba. Las especificaciones técnicas de implementación se encuentran en la sección 4.3.1.4.
 - En la bomba, reemplazar los sellos mecánicos por unos nuevos y evaluar el estado del conjunto rotativo, debido a que los actuales han estado trabajando durante un largo período de tiempo bajo condiciones anormales.
 - Debido a que el ruido en campo puede ser excesivo, es necesario instalar en campo sistemas de notificación visual para reconocer situaciones de emergencia o de alarma en la Estación de Bombeo.
 - Luego de realizar el análisis de ruido en la Estación se recomienda al personal: utilizar protección auditiva, no permanecer por más de una hora al día alrededor de los grupos Diesel y máximo 8 horas al día cuando se opere con el grupo eléctrico. Recomendaciones según el Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador.
 - Añadir las herramientas de control y supervisión de los grupos de bombeo Diesel en las interfaces humano máquina del computador y pantalla táctil, de acuerdo a las recomendaciones realizadas en la sección 5.2 y sección 5.3.
 - Para la implementación de un nuevo sistema de control de los grupos de bombeo diesel, se recomienda basarse en los criterios de diseño expuestos en este proyecto de tesis, con el fin de ahorrar tiempo en recolección de información, estandarizar las instalaciones de la estación de bombeo y aprovechar las interfaces HMI actualmente implementadas que están en funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENRÍQUEZ, HARPER. El ABC de las Máquinas Eléctricas: Motores de Corriente Alterna. México DF: Editorial Limusa, 2004. ISBN 968-18-2687-6.
- MARCHEGANI, ARIEL. Bombas Centrífugas. Comahue – Argentina: Universidad Nacional de Comahue, Año 2004.
- ARIAS, LUIS. Aplicaciones de sellos mecánicos en bombas de la industria petrolera ecuatoriana: Categorías, arreglos y tipos de sellos mecánicos según la norma API 682. Quito, 2008, 50p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- PARRA, RONY. Optimización de la operación en el Transporte de Derivados de Petróleo – Analisis y Estudio Hidráulico del Poliducto Quito – Ambato Operado por Petrocomercial: Análisis Hidráulico. Quito, 2010, 101p. Trabajo de Grado (Ingeniero de Petróleos). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental.
- PONSA, PERE / DÍAZ, MARTA. Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión. Barcelona-España: Universidad Politécnica de Catalunya, 2006.
- PONSA, PERE / GRANOLLERS, ANTONI, Diseño de Pantalla. Bcelona-España: Universidad Politécnica de Catalunya, 2008.
- MODICON. Modbus Protocol Reference Guide. Rev. J. North Andover, Massachusetts: Modicon Inc, Julio 1996. PI-MBUS-300.

-
- SCHNEIDER ELECTRIC. Modicon Quantum Catálogo 2007: Arquitecturas de E/S. Barcelona – España: Schneider Electric España, 2007. Código: 440020 A07
 - SCHNEIDER ELECTRIC. Concept 2.6 Manual de Usuario. Tomo 1 y 2. Barcelona – España: Schneider Electric España, 2007. Código: 33002207
 - ABB MOTORS. Guía del Motor: Diseño eléctrico. Vaasa – Finlandia: ABB, 1999. Página 50.
 - ABB. Motores de baja tensión para áreas peligrosas: Manual de instalación, funcionamiento, mantenimiento y seguridad. Zurich: ABB, 2007.
 - ABB. Technical Guide N1: Direct Torque Control. Helsinki: ABB, 2002.
 - ABB. ACS800: Manual de Firmware Programa de control estándar 7.x del ACS800. Barcelona-España: ABB, 2009. Código: 3AFE64526979 REV K.
 - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Centrifugal Pumps for Petroleum, Heavy Duty Chemical, and Gas Industry Services: General. Washington DC: API, 1995 (API610-1)
 - NEC (National Electrical Code). NEC Handbook 2005: Wiring and protections. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2005.
 - FLOWSERVE. Installation Instructions: Seal Support Reservoir. Oklahoma:Flowserve, 2008.
 - ITT GOULD PUMPS. Manual de instalación, funcionamiento y mantenimiento. Seneca Falls:Goulds Pumps, 2009.

-
- MAGNETROL.ECHOTEL Model 910: Installation and operating manual.USA: Magnetrol International, 2010.
 - ROBERTSHAW INDUSTRIAL CONTROLS. Sales Manual section 140: Product specification model 365A/E365A. Maryville,Tennessee: Invensys.
 - EP-PETROECUADOR. Terminal Beaterio. [En línea]. <http://www.petrocomercial.com/wps/portal/ne_gst_pqa>. 2008
 - MENÉNDEZ GONZALES, MERCEDES. Selección de Motores. [En línea]. <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia29/HTML/articulo05.htm>>
 - JIMENEZ, MANUEL. Comunicaciones Industriales: Protocolo Modbus. Cartagena: Departamento de Tecnología Electrónica de Universidad Politécnica de Cartagena. <http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%207.pdf>
 - UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES. Protocolo Modbus. [En línea]. <<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/transparencias%5Cmodbus.pdf>>
 - WEG. Selección y Aplicación de Motores Eléctricos. [En línea]. <<http://www.weg.net/files/products/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-motores-electricos-articulo-tecnico-espanol.pdf>>
 - WATERGY MEXICO. Curso Básico de Eficiencia en Sistemas de Bombeo. [En Línea]. <<http://www.watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Sistemas%20de%20bombeo%20y%20motores/CURSO%20BASICO%20DE%20EFICIENCIA%20EN%20SISTEMAS%20DE%20BOMBEO.pdf>>

-
- SALVATORI, MARCO. Diseño de un control de velocidad para motores de inducción por relación voltaje/frecuencia: Motores de Inducción. Cholula – México, 2003. Trabajo de grado (Licenciado en Ingeniería en Electrónica en computadoras). Universidad de Las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería electrónica. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/salvatori_a_m
 - PENA REINOSO, ANTONIO. El Motor Eléctrico Asíncrono. [En línea]. http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com_content&task=view&id=81&Itemid=1. Año 2008.
 - EP-PETROECUADOR. Transporte y Almacenamiento. [En línea]. <http://www.eppetroecuador.ec/Internet1/LaEmpresa/UNegocios/Transporte/index.htm>
 - EP-PETROECUADOR. Poliducto Quito-Ambato. [En línea]. <http://www.petrocomercial.com/wps/documentos/Infraestructura/Poliductos/QuitoAmbato.html>
 - EP-PETROECUADOR. Transporte de Combustibles. [En línea]. <http://www.petrocomercial.com/wps/documentos/Infraestructura/TransporteCombustibles.html>
 - UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES. Introducción a HMI. [En línea]. <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI/Introduccion%20HMI.pdf>
 - THE ENGINEERING TOOLBOX. NPSH-Net Positive Suction Head. [En línea]. http://www.engineeringtoolbox.com/npsht-net-positive-suction-head-d_634.html

-
- THE ENGINEERING TOOLBOX. Centrifugal Pumps [En línea]. <http://www.engineeringtoolbox.com/centrifugal-pumps-d_54.html>
 - THE ENGINEERING TOOLBOX. Converting Pump Head to Pressure [En línea]. <http://www.engineeringtoolbox.com/pump-head-pressure-d_663.html>
 - THE ENGINEERING TOOLBOX. Pump Power Calculator [En línea]. <http://www.engineeringtoolbox.com/pumps-power-d_505.html>
 - FERNANDEZ DÍEZ, PEDRO. Bombas Centrifugas y Volumétricas. [En línea]. <<http://libros.redsauce.net>>
 - GAUTHIER, RANDALL. What is an RTD? [En línea]. <<http://canteach.candu.org/library/20030701.pdf>>
 - ARIAN. Pt-100, su operación, instalación y tablas. Santiago de Chile: ARIAN, Disponible en: <<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>>
 - TORRES, SUSANA. Sensores de Presión. [En línea]. <<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-presion.pdf>>
 - Conceptos Básicos de Neumática e Hidráulica. [En línea]. <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica30.htm>

ANEXO A

MANUALES DE USUARIO

ANEXO B

MANUALES DE CONFIGURACIÓN

ANEXO C

MANUALES BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN

ANEXO D

DIAGRAMAS

ANEXO E

PROGRAMAS

ANEXO F

RESULTADOS DE LA GUÍA GEDIS

ANEXO G

MEDICIONES DE RUIDO

ANEXO H

PRESUPUESTO Y LISTA DE MATERIALES

ANEXO I

HOJAS TÉCNICAS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Red de Poliductos	5
Figura 1.2. Vista general Terminal "El Beaterio"	7
Figura 1.3. Manifold de válvulas.....	7
Figura 1.4. Bombas Booster.....	8
Figura 1.5. Filtro Horizontal.....	9
Figura 1.6. Patines de Medición de Desplazamiento Positivo.....	9
Figura 1.7. Medidor Másico Tipo Coriolis	10
Figura 1.8. Grupos de Bombeo y Cuarto de Control	10
Figura 1.9. Vista Frontal del Grupo de Bombeo Diesel	11
Figura 1.10. Vista Lateral del Grupo de Bombeo Diesel	12
Figura 1.11. Grupo de Bombeo Eléctrico	12
Figura 1.12. Diagrama esquemático del proceso de Bombeo.....	13
Figura 2.1. Partes del Motor a Inducción.....	15
Figura 2.2. Sentido del Campo Magnético	15
Figura 2.3. Curva característica típica de un motor de inducción.....	19
Figura 2.4. Curva característica par-velocidad de un motor de inducción, que muestra los rangos extendidos de operación (región de frenado y región de regeneración)..	20
Figura 2.5. Bomba Centrífuga	25
Figura 2.6. Curva de la bomba.....	30
Figura 2.7. Curvas de la bomba con variación de velocidad	31
Figura 2.8. Montaje de sello montaje	34
Figura 2.9. Partes del sello mecánico	34
Figura 2.10. Válvula de Bola	35
Figura 2.11. Componentes de un variador de velocidad	38
Figura 2.12. Circuito general de un variador de velocidad	39
Figura 2.13. Diagrama de bloques DTC.....	41

Figura 2.14. Curva característica de una Pt100	43
Figura 2.15. Circuito equivalente RTD 2 hilos	44
Figura 2.16. Circuito equivalente RTD 3 hilos	45
Figura 2.17. Circuito equivalente RTD 4 hilos	45
Figura 2.18. Instrumento de Bourdón.....	46
Figura 2.19. Instrumentos a Diafragma	46
Figura 2.20. Instrumento a Fuelle.....	47
Figura 2.21. Conmutador de nivel: Principio de funcionamiento	49
Figura 2.22. Vibraswitch funcionamiento.....	50
Figura 2.23. Principio de Medidor Másico Coriolis	51
Figura 2.24. Trama de Modbus	55
Figura 2.25. Arquitectura RIO.....	60
Figura 2.26. Arquitectura RIO redundante	61
Figura 2.27. Red DIO	62
Figura 2.28. Ubicación de soportes.....	65
Figura 2.29. Distribución de NEC430	66
Figura 2.30. Separador ciclónico y Plan API 31	73
Figura 2.31. Plan API 52	74
Figura 2.32: Plan API 53A.....	75
Figura 3.1. Diagrama de Bloques del Proceso	77
Figura 3.2: Vista General Motor	78
Figura 3.3: Dimensiones Motor	79
Figura 3.4. Motor Eléctrico ABB	82
Figura 3.5: Bomba Centrífuga	83
Figura 3.6: Protección del acoplamiento	84
Figura 3.7. Matrimonio Bomba - Motor.....	85
Figura 3.8. Cámara de Sellado.....	85
Figura 3.9. Tanque de reserva	86
Figura 3.10. Válvula de Bola Succión.....	88
Figura 3.11. Diagrama de bloques Sistema de Control.....	89
Figura 3.12. Diagrama de Bloques Circuito Interno.....	92

Figura 3.13. Ubicación RTDs Bomba	94
Figura 3.14. Ubicación RTDs Motor	95
Figura 3.15. Ubicación PITs del Grupo de Bombeo Eléctrico.....	96
Figura 3.16. Ubicación manómetros del Grupo Eléctrico de Bombeo	97
Figura 3.17. Sensor de Nivel Magnetrol	98
Figura 3.18. Vibraswitch Robertshaw 365A.....	99
Figura 3.19. Medidor Másico Coriolis	100
Figura 3.20. Actuador Limitorque MX.....	101
Figura 3.21. Ensamble Limitorque.....	102
Figura 3.22. Ambientes HMI.....	106
Figura 3.23. Ventana Principal	108
Figura 3.24. Ventana de Visión General	109
Figura 3.25. Ventanas de Confirmación	110
Figura 3.26. Ventana Grupo Eléctrico de Bombeo	110
Figura 3.27. Parámetros del Variador de Velocidad.....	111
Figura 3.28. Ventana de Parámetros	112
Figura 3.29. Ventana de Grupos de bombeo Diesel	113
Figura 3.30. Ventana de Computadora de Flujo.....	114
Figura 3.31. Ventana de Alarmas.....	115
Figura 3.32. Ventana de Históricos	116
Figura 3.33. Ventana de Mantenimiento	117
Figura 4.1. Caja de paso Anterior al Proyecto.....	120
Figura 4.2. Diagrama de bloques planteamiento general.....	123
Figura 4.3. Diagrama de bloques específico	124
Figura 4.4. Curva característica de la Bomba	126
Figura 4.5. Respuesta del Motor con un Sistema de Enfriamiento Independiente..	130
Figura 4.6. Recomendación para Plan API 52	132
Figura 4.7. Señales de Motor y Bomba	133
Figura 4.8. PLC Principal y Derivación.....	137
Figura 4.9. Actuadores Limitorque	144
Figura 4.10. Red Modbus.....	144

Figura 4.11.Red Ethernet	145
Figura 4.12. Distribución de Grupos de Cableado.....	149
Figura 4.13. Caja de Conexiones ADALET	154
Figura 4.14. Refuerzo Base de Bomba	162
Figura 4.15. Alineación de Tubería	163
Figura 4.16. Alineación Motor - Bomba	163
Figura 4.17.Ubicación del Cableado Anterior	164
Figura 4.18. Remoción de Cable Armado	165
Figura 4.19. Caja de Conexiones	165
Figura 4.20. Tubería Señales de Bomba.....	166
Figura 4.21. Tubería Señales de Motor.....	167
Figura 4.22. Instalando Cable desde la Bomba y Motor.....	167
Figura 4.23. Instalación de Tubería: Comunicaciones y Alimentación	168
Figura 4.24. Instalando cable sobre Canaleta.....	168
Figura 4.25. Cableado en el Pedestal y en Caja de Conexiones	169
Figura 4.26. Armado del Backplane Secundario	169
Figura 4.27. Montaje del Backplane Secundario.....	170
Figura 4.28. Dispositivos del Cuarto de Control Principal	171
Figura 4.29. Montaje Paros de Emergencia	172
Figura 4.30. Conexiones del Variador de Velocidad	172
Figura 4.31. Conexiones Panel de Control.....	173
Figura 4.32. Computadores de Operadores.....	173
Figura 4.33. Vistas Laterales de la Bomba.....	174
Figura 4.34. Vista Final de la Caja de Conexiones.....	175
Figura 4.35. Vista Final del Motor Eléctrico.....	175
Figura 4.36. Vista Final del Tablero de Control	176
Figura 4.37.Vista Final del Tablero de Fuerza.....	176
Figura 4.38.Vista Exterior del Cuarto del Variador de Velocidad.....	177
Figura 4.39. Vista Interior del Cuarto del Variador de Velocidad.....	177
Figura 5.1. Diagrama de Flujo de Secuencia de Arranque.....	181
Figura 5.2. Sección G4_ARRANQUE	185

Figura 5.3. Estructura de la Pantalla	189
Figura 5.4. Diagrama de Árbol de la HMI	190
Figura 5.5. Panel de Navegación	193
Figura 5.6. Panel de Estado.....	193
Figura 5.7. Paneles de Proceso: Acceso	195
Figura 5.8. Paneles de Proceso: Grupo Eléctrico de Bombeo	196
Figura 5.9. Proceso de Encendido del Grupo de Bombeo Eléctrico.....	197
Figura 5.10. Control de Velocidad.....	198
Figura 5.11. Paneles de Proceso: Tendencias.....	198
Figura 5.12. Paneles de Proceso: Condiciones.....	200
Figura 5.13. Paneles de Proceso: Alarmas	201
Figura 5.14. Paneles de Proceso: Mantenimiento.....	202
Figura 5.15. Tabla de horómetros	202
Figura 5.16. Estructura de la Pantalla HMI táctil	204
Figura 5.17. Diagrama de Árbol de HMI táctil.....	205
Figura 5.18. Panel de Navegación	206
Figura 5.19. Pantallas de Proceso (Magelis): Inicio	208
Figura 5.20. Pantallas de Proceso (Magelis): Estación	208
Figura 5.21. Pantallas de Proceso (Magelis): Manifold	209
Figura 5.22. Ventanas de Estado y Control en Manifold	209
Figura 5.23. Pantallas de Proceso (Magelis): Grupo Eléctrico	210
Figura 5.24. Barra de Control.....	211
Figura 5.25. Botones de control del Grupo Eléctrico de Bombeo.....	211
Figura 5.26. Paneles de Proceso (Magelis): Históricos.....	212
Figura 5.27. Paneles de Proceso (Magelis): Densidad	213
Figura 5.28. Paneles de Proceso (Magelis): Presiones.....	213
Figura 5.29. Paneles de Proceso (Magelis): Condiciones GBD	214
Figura 5.30. Paneles de Proceso (Magelis): Condiciones GBE	214
Figura 5.31. Paneles de Proceso (Magelis): Alarmas	215
Figura 5.32. Pantallas de Proceso (Magelis): Mantenimiento Estación.....	216
Figura 5.33. Pantalla de configuración de Magelis.....	217

Figura 6.1. Temperatura Cojinete Interior Motor Enero 2011, Previo Instalación de Alerón.....	224
Figura 6.2. Temperatura Cojinete Interior Motor Febrero 2011, Posterior Instalación de Alerón.....	224
Figura 6.3. Alarma de Temperatura Alta Grupo de Bombeo Eléctrico	225

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Normas NFPA 70 para instalaciones eléctricas	63
Tabla 2.2. Calibre de conductores según el voltaje	65
Tabla 2.3. Normativa para Instalación de Motores	67
Tabla 2.4. Grupos según NEC500	69
Tabla 2.5. Código T según NEC 500.....	70
Tabla 2.6. Equivalencias de Clasificación por Zonas y Clases.....	71
Tabla 2.7. Equivalencias de Grupos según IEC y NEC.....	71
Tabla 2.8. Sistemas de protección según clasificación	71
Tabla 3.1. Dimensiones Motor (mm)	79
Tabla 3.2. Características Eléctricas	80
Tabla 3.3. Tabla de Lubricación en Horas.....	81
Tabla 3.4. Placa de la Bomba	84
Tabla 3.5. Placa Variador de Velocidad	90
Tabla 3.6. Disposición de E/S	91
Tabla 3.7. Parámetros de Temperatura de Bomba y Motor	95
Tabla 3.8. Parámetros de Presión.....	97
Tabla 3.9. Módulos del PLC	103
Tabla 3.10. Distribución E/S.....	105
Tabla 4.1. Características del PQAR.....	125
Tabla 4.2. Datos de la Curva Característica de la Bomba.....	127
Tabla 4.3. Variables a medir en motor y bomba.....	134
Tabla 4.4. Entradas y Salidas Digitales.....	138
Tabla 4.5. Señales de Entrada y Salida Analógicas.....	138
Tabla 4.6. Número de Palabras por Módulo.....	139
Tabla 4.7. Máxima Potencia Disipada por Módulo Backplane Principal.....	140
Tabla 4.8. Distribución Backplane Principal	140

Tabla 4.9. Máxima Potencia Disipada por Módulo Backplane Secundario	142
Tabla 4.10. Distribución Backplane Secundario	143
Tabla 4.11. Características del Cable a Implementarse	146
Tabla 4.12. Distribución de Señales de Bomba.....	147
Tabla 4.13. Longitud de Cables para Señales de Bomba	149
Tabla 4.14. Señales de Motor: Cableado	151
Tabla 4.15. Longitud de Cables para Señales de Motor	152
Tabla 4.16. Separaciones Montaje PLC	153
Tabla 4.17. Señales de Alimentación Backplane Secundario: Cableado	155
Tabla 4.18. Longitud de Cables para Alimentación Backplane Secundario	155
Tabla 4.19. Señales de Comunicación RIO	157
Tabla 4.20. Longitud de Cable de Comunicaciones	157
Tabla 4.21. Características de los Computadores.....	160
Tabla 4.22. Características Pantalla Táctil	161
Tabla 4.23. Colores para Áreas de Trabajo y de Riesgo.....	174
Tabla 5.1. Descripción de los Pasos del Programa	186
Tabla 5.2. Descripción de las Transiciones del Programa	186
Tabla 5.3. Colores Empleados en HMI.....	192
Tabla 6.1. Tabla de Control Dispositivos de Campo	219
Tabla 6.2. Estado de Equipos de Control y Comunicaciones.....	221
Tabla 6.3. Indicadores de la Guía GEDIS	222
Tabla 6.4. Resultados para Motores de Combustión Interna a Diesel, Corrección según Norma Técnica de Ordenanza Municipal N° 213.....	226
Tabla 6.5. Resultados para Motores de Combustión Interna a Diesel, Corrección según Acuerdo Ministerial N° 91	227
Tabla 6.6. Resultados de Medición de Ruido Grupos de Bombeo Diesel	228
Tabla 6.7. Resultados de Medición de Ruido Grupos de Bombeo Eléctrico	229
Tabla 6.8. Costos de Mantenimiento y Consumo Grupos de Bombeo Diesel a 6000 horas	231
Tabla 6.9. Costos de Mantenimiento y Consumo Grupo de Bombeo Eléctrico a 6000 horas	231

GLOSARIO

- **A prueba de explosiones (explosionproof).** Equipos diseñados para contener explosiones y llamas, producidos dentro de ellos sin provocar una ignición en el ambiente de trabajo.
- **Acelerómetro.** Instrumento destinado a medir aceleraciones.
- **API.** American Petroleum Institute, asociación destinada a la investigación, regulación, capacitación y legalización, de procesos en el área petrolera.
- **ASIC.** Application Specific Integrated Circuit, es un circuito integrado desarrollado para una aplicación en particular.
- **Backplane.** Placa de circuito que conecta varios módulos en paralelo.
- **Bombas Booster.** Bomba elevadora de presión, en la Estación “El Beaterio”, aumenta la presión del producto de entrada de 12 [psi] a 60 [psi] para entregar a los grupos de bombeo.
- **Breaker.** Es un interruptor eléctrico automático, diseñado para la protección de un circuito eléctrico por sobrecarga o cortocircuito.
- **Bus DC.** La etapa intermedia del variador de velocidad, localizado entre el rectificador de entrada (AC/DC) y el inversor de salida (DC/AC).

-
- **Cable Coaxial.** Cable utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia que posee dos conductores concéntricos: uno central que lleva la información y un externo que sirve de referencia de tierra; estos dos separados por un aislante o dieléctrico.
 - **Canaletas.** Es un ducto por el cual pasará cable o grupo de cables.
 - **Cavitación.** Es un efecto que ocurre cuando se alcanza la presión de vapor del líquido, de tal forma que las moléculas que lo componen cambian de estado inmediatamente a vapor, formándose burbujas o cavidades. Dichas burbujas viajan a zonas de mayor presión e implotan (regresan a estado líquido de manera violenta), produciéndose una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que se originó el fenómeno.
 - **Clase 1.** Son áreas peligrosas en las que gases o vapores pueden estar presentes en cantidades suficientes para producir una mezcla inflamable.
 - **Clase 2.** Son las zonas de riesgo peligrosas por la presencia de polvo combustible.
 - **Cojinete.** O rodamiento, elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.
 - **Concept.** Software de programación de Schneider Electric, para controladores lógicos programables (PLC).
 - **Tubería Conduit.** Es una canalización metálica de sección circular con acoplamientos, conectores y accesorios integrados o asociados, aprobado para la instalación de conductores eléctricos. Está compuesto de un material

resistente a la humedad, atmósfera química y resistente a prueba de explosiones.

- **Conmutar.** Cambiar de una condición específica por el control de una determinada operación.
- **CPS.** Módulo de Alimentación de los PLC Quantum de Modicon.
- **CPU.** Módulo de procesamiento central de los PLC Quantum de Modicon.
- **CRA.** Módulo de derivación de la arquitectura RIO, para los PLC Quantum de Modicon.
- **CRP.** Módulo cabecera de la arquitectura RIO, para los PLC Quantum de Modicon.
- **DIO.** Arquitectura de entradas y salidas distribuidas, para los PLC Quantum de Modicon.
- **Disyuntor.** O interruptor automático, es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que circula por él excede un determinado valor o se ha producido un cortocircuito.
- **División 1.** Son áreas de riesgo donde, bajo condiciones normales de operación, reparación y mantenimiento, existen fugas de gases o vapores en concentraciones inflamables.
- **División 2.** Son aquellas áreas en las que se manejan, procesan o almacenan, productos inflamables, pero se encuentran en recipientes o sistemas cerrados de los cuales solo puede escapar en caso de ruptura o mal funcionamiento del equipo del proceso.

-
- **Drop o Derivación.** Elemento de la arquitectura RIO que contiene una CRA o CRP. Puede ser su cabecera o un elemento ubicado de manera remota al CPU del PLC.
 - **DSP.** Procesador Digital de Señales (Digital Signal Processor), sistema basado en microprocesador que posee un juego de instrucciones, hardware y software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad.
 - **DTC.** Control Directo de Torque (Direct Torque Control), tecnología propia de ABB para los variadores de velocidad, los cuales realizan un control directo sobre el torque y campo magnético del motor mediante técnicas de identificación y control adaptativo.
 - **Efecto Coriolis.** Nombre que se da a la aceleración relativa que sufre un objeto que se mueve dentro de un sistema de referencia no inercial en rotación cuando varía su distancia respecto al eje de giro.
 - **Ethernet.** Es un estándar de redes de computadoras de área local, que define las características de cableado y señalización a nivel físico de los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.
 - **FBD.** (Function Block Diagram), lenguaje gráfico de programación IEC para PLC que se basa en bloques que realizan operaciones matemáticas simples para determinar una salida.
 - **GEDIS.** Guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión, es un método de diseño y evaluación especializado en sistemas de control supervisor industrial.

-
- **GPM.** Galones por minuto, Unidad de medición de flujo.
 - **Grupo de Bombeo.** Sistema utilizado para aumentar la presión de un fluido, compuesto básicamente por un motor (eléctrico o de combustión interna), bomba, válvula de succión y válvula de descarga.
 - **HMI.** Interfaz Humano Máquina (Human Machine Interface), interfaz de usuario que se utiliza para la interacción con los dispositivos del proceso, aplicado a sistemas de automatización de procesos.
 - **IEC.** Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrothechnical Comission), organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.
 - **IGBT.** Transistor Bipolar de compuerta aislada (Isulated Gate Bipolar Transistor), es un dispositivo semiconductor que generalmente se aplica como interruptor controlado en los circuitos de electrónica de potencia.
 - **Intouch.** Software de Wonderware®, empleado para el desarrollo de HMI en plataforma PC.
 - **LCD.** Pantalla de Cristal Líquido (Liquid Crystal Display), utilizada en equipos electrónicos para visualización de la información.
 - **Manifold.** Parte del sistema de tuberías de carga, descarga o manejo de productos, en el cual confluyen varios tubos y válvulas.
 - **Matrimonio.** Acople mecánico que une los ejes de la bomba y el motor.
 - **NEC.** Código Eléctrico Nacional (National Electrical Code), es un estándar estadounidense para la instalación segura de alambrado y equipos eléctricos.

-
- **NPT.** Rosca americana cónica para tubos.
 - **PLC.** Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), dispositivos electrónicos que controlan la lógica de control de máquinas, plantas y procesos industriales.
 - **Poliducto.** Es el ducto para el transporte de productos derivados del petróleo crudo desde el punto de carga hasta un terminal u otro poliducto, y que comprende las instalaciones y equipos necesarios para dicho transporte.
 - **Potencia Derrateada.** Potencia corregida, con respecto a la potencia nominal, debido a las características ambientales de trabajo de un equipo.
 - **Productos Limpios.** Productos derivados del petróleo tales como gasolina super, gasolina extra, diesel 1, diesel 2, jet fuel, entre otros.
 - **PSI.** Libra por pulgada cuadrada (pound square inch), es una unidad de presión del sistema anglosajón de unidades, cuyo cero es la presión atmosférica.
 - **PWM.** Modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation), es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.
 - **RIO.** Arquitectura de entradas y salidas remotas, para los PLC Quantum de Modicon.
 - **RS-232.** Es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (equipo terminal de datos) y un DCE (Equipo de comunicación de datos).

-
- **RS-485.** Estándar de comunicación serial en bus de la capa física del modelo OSI, ideal para transmitir a altas velocidades, sobre largas distancias y a través de canales ruidosos.
 - **SCADA.** Control y Adquisición de datos de supervisión (Supervisory Control and data acquisition), sistema basado en computadoras que permiten supervisar y controlar variables de proceso a distancia.
 - **SFC.** (Sequential Function Chart), lenguaje gráfico de programación IEC para PLC, empleado para procesos que pueden ser divididos en pasos.
 - **SHI.** Normas internas de EP-Petroecuador, referidas a Seguridad e Higiene Industrial.
 - **UPS.** (Uninterruptible Power Supply), es un dispositivo que gracias a sus baterías puede proporcionar energía eléctrica tras un corte de suministro.
 - **Válvula Check.** Es un dispositivo mecánico que permite a un fluido pasar a través de él en una sola dirección.
 - **Vibraswitch.** Elemento magnético-inercial que señal alarma y/o paro automático cuando la máquina excede el nivel de vibraciones máximo permitido.
 - **Vijeo Designer.** Software de desarrollo de interfaces gráficas para la pantalla Táctil Magelis de Telemecanique de Schneider Electric.

HOJA DE ENTREGA

Este proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____ de 2011.

Sr. Andrés Rodrigo Cepeda Pico
171752033-0

Sr. Fernando Javier Estévez Benítez
171604082-7

Ing. Víctor Proaño
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL