

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



**Detección de fallas en motores trifásicos y control de válvulas por acceso remoto
para la subestación de bombeo en Turrialba.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Aaron Arguedas Vindas

Cartago, Junio de 2010

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Javier Pérez Rodríguez

Profesor lector



Ing. Leonardo Rivas Arce

Profesor lector



Ing. Sergio Morales Hernández

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Junio 2010

Declaración de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Junio 2010



Aaron Arguedas Vindas

Cédula: 4 0186 0046

Resumen

RECOPE S.A se ve en la necesidad de monitorear los motores trifásicos y controlar el estado On/Off de las válvulas de succión y de descarga, del poliducto de 6 pulgadas (conocido como poliducto viejo) en la estación de bombeo de Turrialba. Debido a la falta de este monitoreo, la determinación de las fallas ocasionadas en dicho sistema representan un alto costo para la empresa, por lo cual, se plantea la elaboración del presente proyecto de graduación.

El presente informe contempla los pasos desarrollados para el diseño de un sistema tipo SCADA implementado con la finalidad de supervisar y controlar el estado tanto de los motores trifásicos como de las válvulas correspondientes a cada motor.

La solución contempla tanto un acceso local ubicado en Turrialba como remoto en la estación del Alto en Ochozogo. Para llevar a cabo lo anterior, se hace uso de la comunicación RS-485 por medio del protocolo Modbus, así como del protocolo TCP/IP para el acceso remoto. Se utiliza un PLC 5/20 que se encarga del control del sistema.

Por lo tanto el sistema SCADA realiza un monitoreo del estatus de los motores y las válvulas así como la activación de alarmas cuando ocurra un fallo en cualquiera de las partes. En el caso de los motores también se tiene información acerca de las tensiones de fase, corrientes de línea, factor de potencia, consumo y frecuencia de operación, con el fin de determinar la causa cuando se da un error de operación. Las válvulas además realizan la detección de fallas en su funcionamiento.

Además durante la implementación del sistema se logró hacer un replanteamiento en el sistema de arranque de los motores trifásicos, por medio del uso del módulo 469 Motor Management Relay para que fuese más seguro y encontrar fallas en dicho proceso.

Palabras claves: motores trifásicos, válvulas de succión y descarga, Modbus, SCADA, PLC 5/20, Ethernet.

Abstract

This project was made from the need of RECOPE S.A. to monitor and control the status of the three-phase motors and the suction and discharge valves from the 6-inch pipeline in the pumping station in Turrialba. Currently the lack of this monitoring represents a high cost to the company in regard to determining the cause of failures in the system.

This report provides the steps taken to design a SCADA system in place to monitor and control the state of both three-phase motors and their respective valves.

The solution includes both local and remote access, the first located in Turrialba and the second in Ochomogo. This was done using the RS-485 network using the Modbus protocol and the TCP/IP protocol for the remote access. The SCADA also use a PLC 5/20 as the brain of the system.

Therefore, there is a monitoring of the status from the motors and valves as well as the activation of alarms when a failure occurs in any of those parts. In the case of the engines, there is information about the phase voltages, line currents, power factor, power consumption and operating frequency, in order to determinate the specific cause when there`s an operational error. The valves also include a detection of defects in their operation.

Also during the system implementation there was a redesign of the motors starting process, through the use of the 469 Motor Management Relay module to make it safer and determines failures during the starting.

Keywords: three-phase motors, suction and discharge valves, Modbus, SCADA, Ethernet, PLC 5/20.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a la persona más importante en mi vida, la persona que más he admirado, quien me dio su apoyo incondicional durante tanto tiempo y por quien agradeceré eternamente a Dios por los años que pudimos compartir, aunque ya no estés cerca, esto es para ti abuelo.

Agradecimiento

A Dios por cada día de vida.

A mi familia, especialmente a mi mamá y mi papá.

A mis amigos por los años compartidos en este largo camino.

Al personal de Instrumentos en RECOPE por la ayuda brindada en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	14
1.1 Entorno del proyecto y definición del problema	14
1.2 Enfoque de la solución	16
Capítulo 2: Meta y objetivos	19
2.1 Meta.....	19
2.2 Objetivo General.....	19
2.3 Objetivos Específicos.....	19
Capítulo 3: Marco teórico	20
3.1 Descripción del sistema a mejorar y control	20
3.2 Descripción de los principales conceptos matemáticos y electrónicos relacionados con la solución del problema	23
3.2.1 Sistemas trifásicos	23
3.2.2 Motores trifásicos de inducción	24
3.2.3 Transformadores	26
3.2.4 Transformadores de corriente	27
3.2.5 Autotransformadores	28
3.2.6 Comunicación de datos serial RS-485.....	29
3.2.7 Protocolo Modbus	29
3.2.8 Protocolo TCP/IP.....	30
3.2.9 Ethernet.....	31
3.2.10 Control On/Off [13]	32
Capítulo 4: Procedimiento metodológico	34
4.1 Reconocimiento y definición del problema	34

4.2	Implementación de la solución	34
Capítulo 5:	Descripción detallada de la solución.....	36
5.1	Análisis de la solución.....	36
5.1.1	Diagrama de primer nivel	36
5.1.2	Diagrama de segundo nivel.....	37
5.1.3	Diagrama de tercer nivel	38
5.2	Descripción del Hardware	39
5.2.1	Control del sistema SCADA.....	39
5.2.2	Comunicación del sistema.....	40
5.2.3	Etapa de medición.....	41
5.3	Descripción del Software	43
5.3.1	Software RSLogix5.....	43
5.3.2	Software	48
5.4	Adición del rediseño del arranque de los motores.....	49
Capítulo 6:	Análisis de resultados	52
6.1	Resultados.....	52
6.1.1	Sistema SCADA	52
6.1.2	Arranque de los motores	55
6.2	Análisis	58
Capítulo 7:	Recomendaciones y conclusiones	60
7.1	Conclusiones	60
7.2	Recomendaciones	61
Bibliografía	62
Apéndices	63
A1.	Glosario y abreviaturas.....	63
A.2	Fotografías del control y sistemas instalados	65

A.3	Configuración PLC	67
A.4	Programación 469	69
A.5	Pantallas desarrolladas en RSView32	70
Anexos	71
B.1	Formatos de los datos	71
B.2	Figuras con diagramas y hardware para la comunicación	72
Fórmulas	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama general de bloques de la aplicación de la solución realizada.....	18
Figura 3.1.1 Diagrama del sistema de bombeo a través del poliducto de 6 pulgadas.....	20
Figura 3.1.2 Diagrama de flujo del sistema de bombeo de la estación de Turrialba.....	21
Figura 3.1.3 Diagrama de bloques general del sistema de arranque de los motores trifásicos.	22
Figura 3.2.1 Conexión en estrella con carga resistiva. [1].....	23
Figura 3.2.2 Circuito equivalente motor de inducción. [1].....	25
Figura 3.2.3 Grafica corriente y velocidad del motor de inducción. [1].....	26
Figura 3.2.4 Grafica factor de potencia del rotor y velocidad del motor de inducción. [1].....	26
Figura 3.2.5 Característica par-velocidad resultante. [1].....	26
Figura 3.2.6 Representación eléctrica de un transformador. [1].....	27
Figura 3.2.7 Transformador de corriente. [1].....	28
Figura 3.2.8 Autotransformador reductor. [1].....	28
Figura 3.2.9 Formato de la comunicación asíncrona. [2].....	29
Figura 3.2.10 Representación en el dominio del tiempo de un control On/Off. [13].....	33
Figura 5.1.1 Diagrama modular de primer nivel de la solución.....	37
Figura 5.1.2 Diagrama modular de segundo nivel de la solución.....	37
Figura 5.1.3 Diagrama modular de tercer nivel de la solución. [14].....	38
Figura 5.2.1 Diagrama del rack de 5 slots.....	39
Figura 5.2.2 Diagrama de conexión de los transformadores de tensión con el 469.....	42
Figura 5.2.3 Diagrama de conexión de los transformadores de corriente con el 469.....	43
Figura 5.3.1 Asignación de la memoria del PLC.....	44
Figura 5.3.2 Diagrama de flujo de la rutina BTWR MCM.....	45
Figura 5.3.3 Diagrama de flujo de la rutina VALVE STS y CMDS.....	46
Figura 5.3.4 Diagrama de flujo de la rutina 469 DATOS.....	47
Figura 5.3.5 Diagrama de bloques de las pantallas programadas en RSView32.....	48
Figura 5.4.1 Diagrama eléctrico del sistema de arranque de los motores a rediseñar.....	51
Figura 6.1.1 Reporte de variables eléctricas en un archivo de Excel.....	53
Figura 6.1.2 Respuesta al impulso del control On/Off de las válvulas.....	55
Figura 6.1.3 Curva par-velocidad de los motores trifásicos.....	55
Figura 6.1.7 Diagrama eléctrico del sistema de arranque de los motores con el módulo de motores 469 incorporado.....	57
Figura A.2.1 Rack utilizado con el PLC, fuente de 24V _{DC} , y módulos mencionados en el informe.....	65
Figura A.2.2 Motores trifásicos y bombas del sistema de bombeo.....	65

Figura A.2.3 Transformadores de medición y transformador de control instalados en el sistema de arranque.	66
Figura A.2.4 Transformador de medición Siemens de 480V/120V.	66
Figura A.2.5 Transformadores de corriente FRER de 600A/1A.	66
Figura A.2.6 Vista frontal y trasera del 469.	67
Figura A.2.7 Pantalla LCD del módulo 469 con datos de corriente.....	67
Figura A.3.1 Ambiente de programación RSLogix5.	67
Figura A.3.2 Propiedades del controlador.	68
Figura A.3.3 Configuración canal del sistema punto a punto.	68
Figura A.3.4 Configuración módulo Ethernet 1785-ENET.....	68
Figura A.5.1 Pantalla de los motores con sus respectivos parámetros.	70
Figura A.5.2 Pantalla de las válvulas para cambiar su estado.	70
Figura A.5.3 Pantalla de confirmación para las válvulas del MP-3.	70
Figura B.1.1 Formato de datos.	72
Figura B.2.1 Conexión de dos cables del puerto para RS-485. [8].....	72
Figura B.2.2 Configuración de los jumpers para RS-485. [8]	72
Figura B.2.3 CentreCOM AT-210T.	72
Figura B.2.4 Conexión del PLC 5 con el módulo 1785-ENET. [9].....	73
Figura B.2.5 Cable par trenzado categoría 5.....	73
Figura B.2.6 Cable Belden 9463 Blue Hose.....	73
Figura B.2.7 Cable Belden M 9318.	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.1 Funciones básicas y códigos de operación utilizados. [3].....	30
Tabla 3.2.2 Referencia del protocolo TCP/IP. [4].....	31
Tabla 3.2.3 Tecnologías Ethernet. [5].....	32
Tabla 5.2.1 Ubicación y descripción de los módulos.	40
Tabla 5.4.1 Descripción de los relés a implementar del 469 en el sistema de arranque.	50
Tabla 6.1.1 Información de las alarmas creadas para el sistema SCADA.	52
Tabla 6.1.2 Pruebas de comunicación MODbus a diferentes velocidades	53
Tabla 6.1.3 Iteración de accesos remotos.	54
Tabla 6.1.4 Costos en viáticos de la empresa para dos trabajadores por dos días en Turrialba.	54
Tabla A.4.1 Configuración del módulo 469.	69

Capítulo 1: Introducción

En esta sección se mostrará la definición del problema existente, el entorno que lo rodea y la importancia de su solución así como una breve descripción del procedimiento implementado.

1.1 Entorno del proyecto y definición del problema

RECOPE S.A. (Refinadora Costarricense de Petróleo), es la institución estatal encargada de las operaciones de importación, refinación, mezcla y distribución de los combustibles y derivados del petróleo, los cuales representan alrededor del 70% de la energía necesaria para el desarrollo socioeconómico del país. [11]

Fue fundada en 1961 por un grupo privado, el cual inicia las gestiones para la construcción de la refinería en Moín, Limón la cual finaliza en 1967. Ese mismo año se inicia la construcción del poliducto y se termina también el plantel de distribución en El Alto, Ochomogo, Cartago. Con esto se logra suplantarse la forma en que se transportaba el combustible, pasando de ser por medio del ferrocarril a un sistema de bombeo por el poliducto.

En la primera mitad de la década de los setenta, se inician las gestiones para nacionalizar refinería y ésta pasa a manos del estado en 1974. De esta forma se inician construcciones en los ochentas, para planteles de distribución en La Garita, Alajuela y Barranca, Puntarenas.

A finales de la década de los noventa comienza la construcción del nuevo poliducto, el cual se termina en el 2008. Actualmente la empresa está enfocada en una misión y visión redefinida en los últimos años, para preparar a la empresa a cambios y hacerla más competitiva con miras al futuro.

Por ende, RECOPE cuenta con cuatro planteles de distribución ubicados en Limón, La Garita, Barranca y el Alto de Ochomogo, además de dos estaciones de bombeo ubicadas en Siquirres y Turrialba.

Una tubería (poliducto) une a todos los planteles y traslada los productos terminados desde la refinería hasta las distintas terminales, recorriendo un trayecto de aproximadamente 352 km. El petróleo crudo recibido en Moín, se bombea hasta los depósitos de la refinadora y es sometido a una serie de procesos químicos para transformarlo en productos de usos específicos. RECOPE distribuye cerca de 16 diferentes combustibles: gasolina Súper Eco, Bio-Plus, Diesel, naftas, búnker, asfalto, gas licuado, queroseno, combustibles para barcos y aviones de turbina, entre otros.

El plantel de Turrialba actualmente funciona como un sistema de bombeo de combustibles hacia Ochomogo para su distribución. El sistema para el poliducto de 6 pulgadas (poliducto viejo), consta de cinco motores trifásicos para las bombas y dos válvulas de paso para cada una.

Los motores trifásicos presentan ocasionalmente fallas en su funcionamiento debido a diferentes circunstancias, tales como alta o baja tensión, picos de corriente de línea, desajustes en el factor de potencia o altas vibraciones. Actualmente para solucionar los problemas que se presentan, es necesario el desplazamiento de un ingeniero electrónico del área de Instrumentación del departamento de Mantenimiento, ubicado en el plantel de Ochomogo hacia Turrialba y que realice diferentes pruebas para determinar la causa. En el caso de las válvulas se presentan también defectos en su funcionamiento los cuales pueden ser por falla en la comunicación con la Master Station, por obstrucción, o falta de poder, entre otras.

Lo anterior conlleva, por un lado a que se requiera el traslado de personal hasta Turrialba lo cual acarrea el gasto en viáticos para la empresa, y por otro lado que se pone en riesgo la seguridad de los trabajadores, al tomar en cuenta que se trabaja con combustibles altamente inflamables; además de que se debe destinar en ocasiones hasta

dos o tres días para poder solucionar el problema lo cual provoca un aumento en los costos.

Se tiene que cada bomba cuenta con dos válvulas, una de succión y otra de descarga, ambas de tipo ON/OFF las cuales son para protección de la bomba y para regular el flujo de combustible a través de ellas. Éstas actualmente sólo se pueden manipular a través de un operario, el cual debe abrirlas o cerrarlas de forma manual, lo cual implica un riesgo en la seguridad para el trabajador.

La importancia del proyecto recae en poder detectar la causa en las fallas, manipulación de los motores trifásicos y control On/Off de las válvulas desde el cuarto de control, ya existente, de forma tal que no se necesite de la presencia de personal para dichas actividades, primordialmente por la seguridad de los empleados y que no sea necesario el traslado de personal desde otros planteles debido a las largas distancias entre las estaciones, fomentando un ahorro económico a la empresa en cuanto a costos por viáticos.

1.2 Enfoque de la solución

Como requerimientos de la empresa en cuanto a lo que se espera del proyecto realizado, se detectaron los posibles factores que puedan provocar fallas en cada uno de los cinco motores trifásicos, para ello se adquieren los siguientes datos: factor de potencia, corriente de línea, tensión de fase, frecuencia de operación, consumo y estado de funcionamiento (encendido o apagado). De igual forma se debe obtener el estado del par de válvulas para cada bomba y tener control sobre él (ON/OFF) así como determinar posibles fallas en el funcionamiento de éstas.

Para ambos casos se requiere la posibilidad de tener un acceso tanto local como remoto de los datos y el control de válvulas. Además se deberá visualizar en una pantalla de computadora a través del HMI, por medio de alguno de los softwares que tienen licencia dentro de la empresa.

Como restricción se debe tomar en cuenta que para la adquisición de componentes, sensores o dispositivos de programación, estos deben ser de modelos que sean compatibles y de la misma marca de otros sistemas que se operan dentro de RECOPE S.A., como el caso de Allen Bradley® y Rockwell Software®.

Para obtener las variables establecidas, se implementó una solución de forma que éstas se midieran y guardaran en una memoria. Para lograr lo anterior, se desarrolló un sistema tipo SCADA para la adquisición de datos, almacenamiento y control de las válvulas. Éste opera por medio del software RSView32® para visualizar los parámetros y realizar las operaciones requeridas, como HMI, y donde el sistema completo es manejado por medio de un controlador lógico programable (PLC) de la marca Allen Bradley.

Para adquirir los datos de los motores, se debió tomar en cuenta que éstos son de arranque suave por autotransformador, por lo tanto, se consideraron los valores de las corrientes y tensiones nominales, los valores de operación a medir, se conectaron transformadores para tensión y corriente por medio del módulo 469 (Motor Managment Relay) para manejo de motores, se obtuvieron los parámetros y se guardaron en la memoria del dispositivo PLC para su debida visualización.

Otro punto importante en la solución del problema, es que la instalación del sistema se realizó en el plantel de Turrialba, en el cual se tiene un acceso local del sistema SCADA desde el cuarto de control, sin embargo como el área de instrumentación se encuentra en Ochomogo, se debió realizar un acceso remoto para el sistema SCADA por medio de IP, a través del puerto Ethernet del módulo respectivo para el PLC.

En la figura 1.1 se muestra un diagrama general de bloques de la implementación realizada, sin tomar en cuenta los módulos utilizados los cuales se detallarán en la sección 5 de este documento.

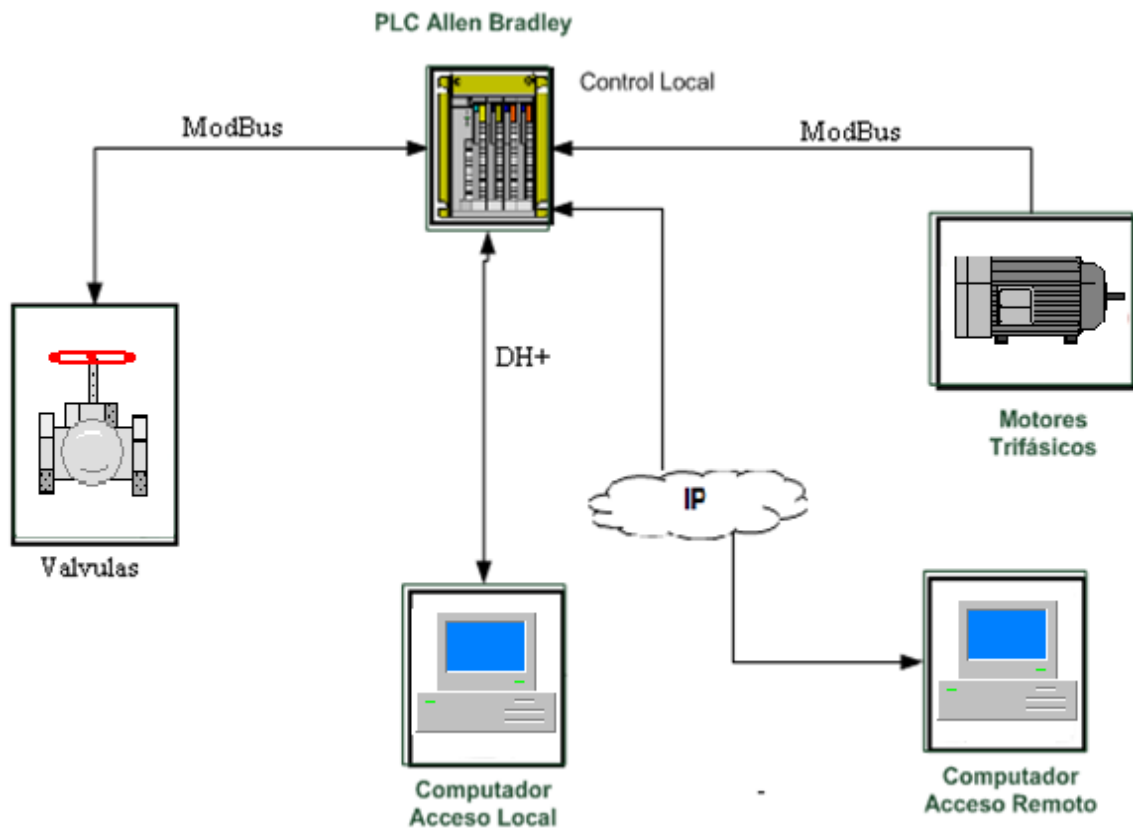


Figura 1.1 Diagrama general de bloques de la aplicación de la solución realizada. [14]

Asimismo, se añadió una parte complementaria al proyecto como alternativa al arranque de los motores. Con el uso del 469 Motor Management Relay, se logró rediseñar parcialmente el arranque de los motores ya que este dispositivo cuenta con la opción de arranque suave. Esto además de sacar un mayor provecho al dispositivo, permitió tener un mejor control en los arranques de los motores por medio de las rutinas adecuadas, lo que simplificó la circuitería al eliminar ciertos elementos del circuito anterior y además brindó mayor seguridad y confiabilidad al sistema de arranque.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

Desarrollar un sistema automatizado que mejore la detección de fallas en los motores trifásicos del sistema de bombeo así como detectar y controlar el estado del par de válvulas de succión y descarga por bomba en las líneas de bombeo de RECOPE S.A.

2.2 Objetivo General

Implementar un sistema de adquisición de datos que permita detectar fallas en el sistema de bombeo por medio de un acceso tanto remoto como local y que tenga un impacto en la seguridad y economía de la empresa.

2.3 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de adquisición y control de datos para realizar su procesamiento en la detección de fallas del sistema de bombeo.
- Detectar las diferentes causas de posibles fallas en los motores trifásicos y válvulas del sistema de bombeo del Plantel de Turrialba.
- Proporcionar información adicional a la detección de fallas acerca del estado y los parámetros de los motores trifásicos con margen de error menor al 5%.
- Prescindir de la presencia de personal en actividades que pongan en riesgo su seguridad, gracias a la operación de un sistema con niveles SIL adecuados a procesos industriales.

- Minimizar en un 30% los gastos que representa para la empresa enviar personal al Plantel de Turrialba para la detección de fallas.

Capítulo 3: Marco teórico

En esta sección se describirán los conceptos teóricos utilizados y aplicados para llevar a cabo el proyecto de graduación y obtener una solución óptima por medio de principios físicos, matemáticos y propios de la Ingeniería Electrónica.

3.1 Descripción del sistema a mejorar

El sistema que se pretende mejorar es para la detección de fallas y control de los motores trifásicos y válvulas correspondientes para el bombeo de producto a través del poliducto de 6 pulgadas en Turrialba. En la figura a 3.1.1 se muestra el poliducto.

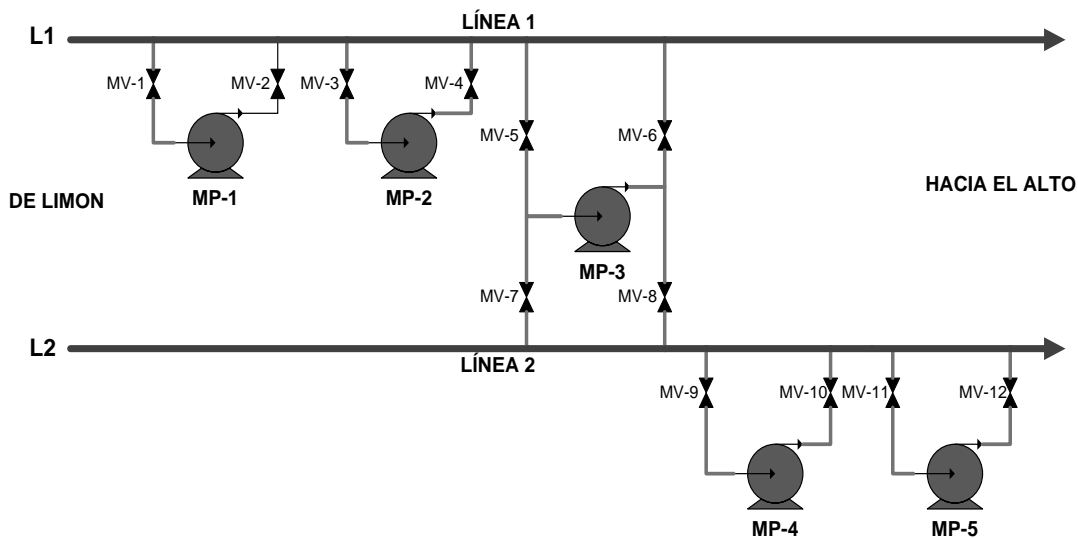


Figura 3.1.1 Diagrama del sistema de bombeo a través del poliducto de 6 pulgadas. [14]

Este sistema de bombeo consta de dos líneas llamadas L1 y L2, las cuales cuentan con cinco bombas que trabajan por medio de un motor trifásico de 480V y 300HP. Además cada bomba consta de dos válvulas, una de succión y otra de descarga, en el caso de la bomba MP-3 se tienen cuatro ya que esta trabaja para ambas líneas. En el diagrama de flujo de la figura 3.1.2 se muestra cómo se da inicio al sistema de bombeo.

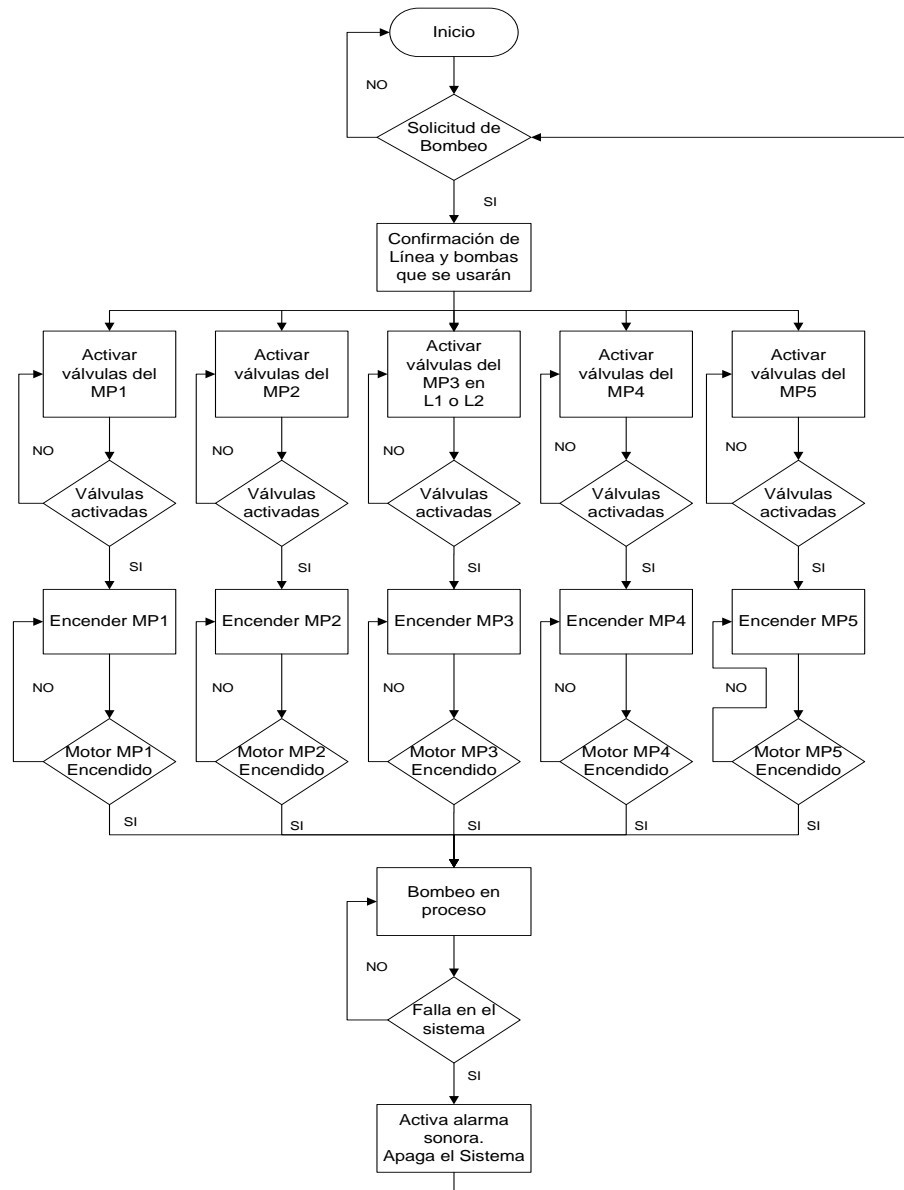


Figura 3.1.2 Diagrama de flujo del sistema de bombeo de la estación de Turrialba.

Tal y como se observa, el proceso inicia con la solicitud del Centro de Control (Central), el cual se ubica en El Alto, Ochomogo. Desde ahí se indica cuando es necesario la utilización de la estación de Turrialba para el bombeo de producto así como del tipo de producto que pasará por las líneas, cuál o cuáles de ellas se usarán y con cuales motores se realizará. Una vez hecha la solicitud se procede a activar el par de válvulas de cada bomba según corresponda y una vez que se haya confirmado la activación, se procede a encender el motor respectivo.

En cuanto se confirme que cada motor necesario está funcionando, el sistema es puesto en marcha y se procede a confirmar a la Central. A partir de este momento si se presenta un defecto en el sistema ya sea relativo al funcionamiento de un motor o una válvula, automáticamente se detiene y se activa una alarma sonora indicando la presencia de un fallo.

Por otro lado, se muestra en la figura 3.1.3 el diagrama de bloques para el arranque de los motores existente.

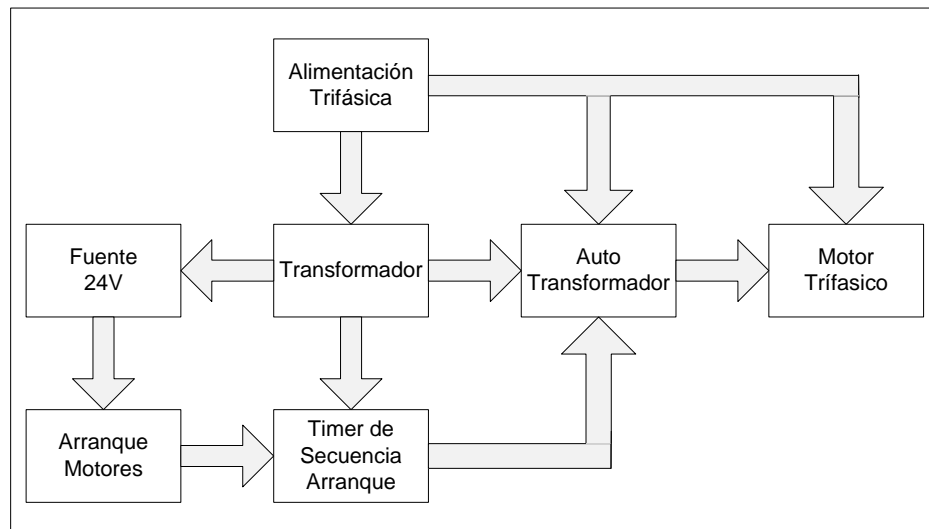


Figura 3.1.3 Diagrama de bloques general del sistema de arranque de los motores trifásicos.

En la figura 3.1.3, se muestra a nivel de bloques el arranque de los motores, iniciando por la alimentación trifásica la cual pasa a través de un transformador de 480V/120V, el cual a su vez alimenta a una fuente que convierte los 120V en corriente alterna a 24V en corriente directa así como a los contactores y el temporizador para la secuencia de arranque. La fuente de 24V alimenta al sistema de arranque ya sea este de forma manual o automática lo cual activa la secuencia de arranque y este permite que la alimentación trifásica pase a los autotransformadores para dar inicio al arranque suave de los motores y una vez terminado dicho proceso alimentarlos a plena tensión. Además en la sección 5.4, se muestra el esquemático de conexión para este sistema de arranque.

3.2 Descripción de los principales conceptos matemáticos y electrónicos relacionados con la solución del problema

3.2.1 Sistemas trifásicos [1]

Son sistemas compuestos de generadores, líneas de transmisión y cargas trifásicas. Estos constan de tres generadores monofásicos, con tensiones de igual magnitud pero diferente fase. Se pueden conectar de dos formas diferentes, en estrella y en delta, en las cuales las relaciones entre las tensiones y corrientes varían.

La conexión estrella se conoce por la forma en Y que tiene, además cuenta con una línea neutra donde se interconectan los negativos de cada generador monofásico. En la figura 3.2.1 se muestra este tipo de generador conectado a una carga resistiva.

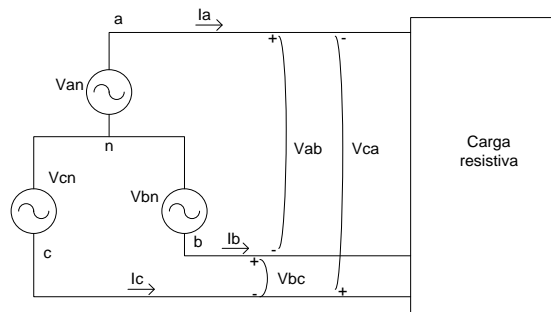


Figura 3.2.1 Conexión en estrella con carga resistiva. [1]
En este tipo de generador las tensiones de fase están dadas por:

$$V_{an} = V_{\phi} \angle 0^{\circ} \quad (3.1)$$

$$V_{bn} = V_{\phi} \angle -120^{\circ} \quad (3.2)$$

$$V_{cn} = V_{\phi} \angle -240^{\circ} \quad (3.3)$$

En el caso de las corrientes de fase, suponiendo una carga resistiva, los ángulos serán los mismos que los de las tensiones, por lo tanto se tiene que:

$$I_a = I_{\phi} \angle 0^{\circ} \quad (3.4)$$

$$I_b = I_\phi \angle -120^\circ \quad (3.5)$$

$$I_c = I_\phi \angle -240^\circ \quad (3.6)$$

De la figura 3.2.1, se puede observar que la corriente de fase es igual a la corriente de línea por lo tanto tenemos:

$$I_L = I_\phi \quad (3.7)$$

En el caso de las tensiones, la relación entre las tensiones de fase y de línea está dada por la ecuación 3.8, tomando en cuenta que existe un desplazamiento de 30° entre ambas

$$V_L = \sqrt{3}V_\phi \quad (3.8)$$

3.2.2 Motores trifásicos de inducción [1]

Los motores de inducción son máquinas que solo tienen devanados de amortiguamiento, su característica distintiva es que no necesita corriente de campo CD. Dentro de los conceptos más importantes que envuelven un motor tenemos el par inducido, la frecuencia del rotor,

$$n_{sinc} = \frac{120 f_e}{P} \quad (3.9)$$

$$f_r = \frac{P}{120} (n_{sinc} - n_m) \quad (3.10)$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{EH}}{\omega_{sinc}} \quad (3.11)$$

Este tipo de motores se puede analizar a través del modelo del circuito equivalente, el cual se muestra en la figura 3.2.2 con las diferentes impedancias y resistencias.

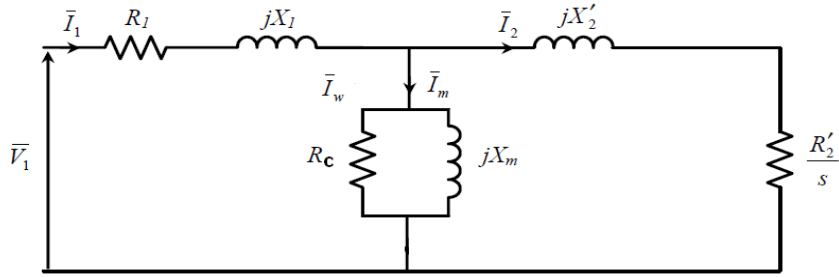


Figura 3.2.2 Circuito equivalente motor de inducción. [1]

De este modelo se obtienen los parámetros por medio de las pruebas de CD (I_{CD} y V_{CD}), pruebas de vacío (V_T , I_A , I_B , I_C , f y P_{entr}) y de rotor bloqueado (V_T , I_A , I_B , I_C , f y P_{entr}). A partir de estos datos y con las siguientes ecuaciones se obtienen dichos parámetros:

Con la prueba de CD:

$$R_1 = \frac{V_{CD}}{2I_{CD}} \quad (3.12)$$

Con la prueba de vacío:

$$Z_{eq} = \frac{V_\emptyset}{I_{1,SC}} \sim X_1 + X_M \quad (3.13)$$

Con la prueba de rotor bloqueado:

$$Z_{RB} = \frac{V_\emptyset}{I_1} = \frac{V_T}{\sqrt{3}I_L} \quad (3.14)$$

$$FP_{RB} = \cos \theta = \frac{P_{ent}}{\sqrt{3}I_L V_T} \quad (3.15)$$

de la cual se obtienen las relaciones:

$$Z_{RB} = R_{RB} + jX'_{RB} \quad (3.16)$$

$$R_{RB} = R_1 + R_2 \quad (3.17)$$

$$X_{RB} = X_1 + X_2 \quad (3.18)$$

El desarrollo del circuito equivalente nos permite tener un conocimiento de las curvas características del par-velocidad. En las figuras a continuación se muestran dichas curvas.

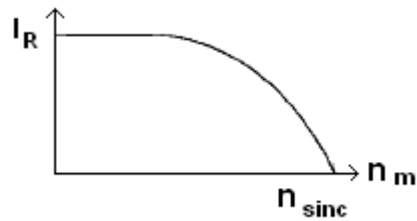


Figura 3.2.3 Gráfica corriente y velocidad del motor de inducción. [1]

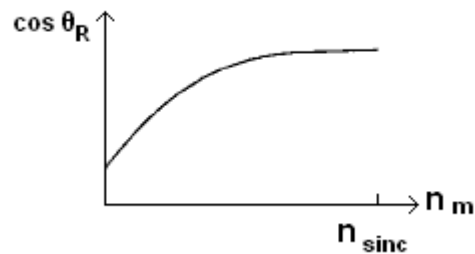


Figura 3.2.4 Gráfica factor de potencia del rotor y velocidad del motor de inducción. [1]

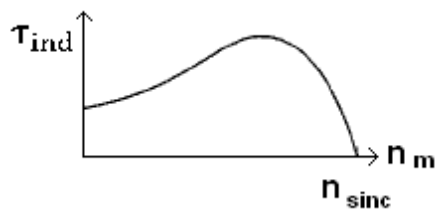


Figura 3.2.5 Característica par-velocidad resultante. [1]

3.2.3 Transformadores [1]

Un transformador, es un dispositivo con el cual se puede convertir energía con un nivel de tensión en energía eléctrica con otro nivel de tensión, a través de un campo magnético.

De las relaciones del transformador, se tiene la razón entre la tensión en el primario causada por el flujo mutuo y la tensión del secundario es igual a la razón de vueltas del transformador:

$$\frac{V_P(t)}{V_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a \quad (3.19)$$

Eléctricamente tenemos que los transformadores se representan de la siguiente forma:

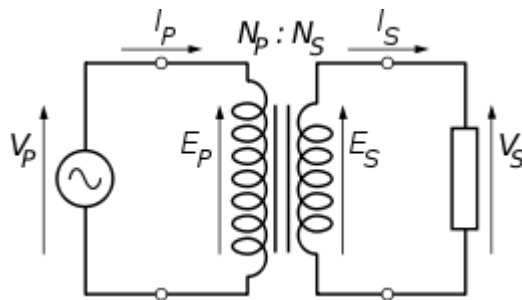


Figura 3.2.6 Representación eléctrica de un transformador. [1]

3.2.4 Transformadores de corriente [1]

Estos son del tipo de transformadores de propósitos especiales. Lo que hacen es tomar una muestra de la corriente de la línea para trabajar a un nivel menor y más seguro. Este tipo de transformador consta de un devanado secundario enrollado alrededor de un anillo ferromagnético, con una sola línea primaria que pasa a través de del centro del anillo. El anillo capta y concentra una pequeña muestra del flujo de la línea primaria. Este flujo induce una tensión y una corriente en el devanado secundario. En la figura 3.2.7 se muestra un transformador de corriente.

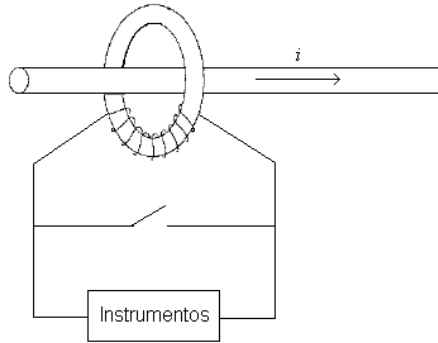


Figura 3.2.7 Transformador de corriente. [1]

3.2.5 Autotransformadores [1]

Este tipo de transformadores corresponden a usos en los cuales sea necesario aumentar o disminuir el nivel de tensión en pequeñas cantidades, por lo tanto se elabora un transformador con solo un devanado. En el proyecto se usan autotransformadores reductores.

En la figura 3.3.8, se puede observar el diagrama del autotransformador reductor. En este caso la tensión de entrada es la suma de las tensiones en el devanado en serie y el devanado común, el de salida es únicamente el de este último.

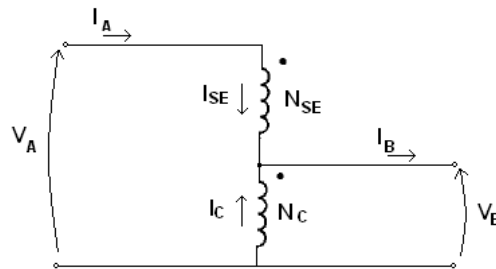


Figura 3.2.8 Autotransformador reductor. [1]

En el autotransformador, la relación entre la tensión y la corriente varía con respecto a los anteriores y está dada por:

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \quad (3.20)$$

$$\frac{I_B}{I_A} = \frac{N_{SE} + N_c}{N_c} \quad (3.21)$$

3.2.6 Comunicación de datos serial RS-485 [2]

La comunicación serial RS-485 también conocido como el estándar EIA-485 el cual es para la capa física del modelo OSI, la cual sirve para una comunicación serie multipunto y half-duplex asíncrona entre dispositivos. Las señales transmitidas son de tipo diferencial, lo cual las hace más inmunes al ruido, con mayor capacidad de distancia comparada con RS-232, y además que permite la conexión de una mayor cantidad de dispositivos, con un total de 32. En este caso la representación binaria de un 1 o 0 lógico viene dada por $R_xD/T_xD+ = -5V$ y $R_xD/T_xD- = +5V$ y $R_xD/T_xD+ = +5V$ y $R_xD/T_xD- = -5V$ respectivamente. En la figura 3.2.9, se muestra el formato de comunicación.

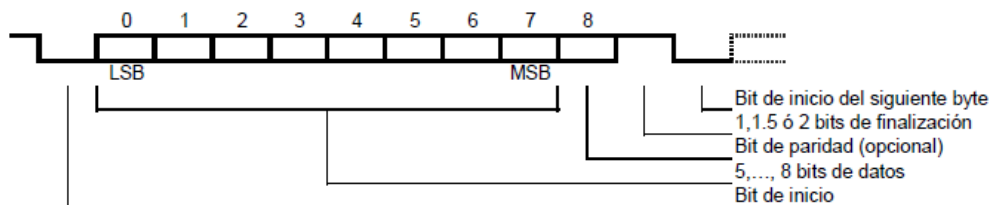


Figura 3.2.9 Formato de la comunicación asíncrona. [2]

De igual manera, en este tipo de comunicación se utiliza cable par trenzado recubierto (shielded twisted pair), con una línea para transmisión y otra para recepción, las cuales utilizan una resistencia entre ambas generalmente de 120Ω. El tipo de conexión con varios nodos y un máximo de 32, es lo que se conoce en inglés como “daisy chain”.

3.2.7 Protocolo Modbus [3]

Este protocolo de la marca registrada Gould-Modicon, es de uso libre y sirve de enlace a nivel de la capa 2 del modelo OSI. Este se puede usar con diferentes interfaces para comunicación ya sea RS-232, 422, 485, fibra óptica, entre muchos más. La

comunicación es asíncrona y cuenta con varias velocidades de transmisión entre los 75 a 19200 baudios, con una máxima distancia de hasta 1200 metros sin repetidoras.

La estructura lógica de este tipo de conexión es maestro-esclavo, la cual puede ser punto a punto o mensajes difundidos. En el proyecto se utiliza una trama de datos RTU en la cual se pueden direccionar hasta 63 esclavos. Además se cuenta con una lógica de chequeo de errores, para lo cual fue utilizada la del tipo CRC.

En la Tabla 3.2.1 se muestra las diferentes funciones utilizadas que este protocolo soporta.

Tabla 3.2.1 Funciones básicas y códigos de operación utilizados. [3]

Función	Código	Tarea
0	00 _H	Control de estaciones esclavas
2	02 _H	Lectura de n bits de entradas
4	04 _H	Lectura de n palabras de entradas
5	05 _H	Escritura de un bit
6	06 _H	Escritura de una palabra

3.2.8 Protocolo TCP/IP [4]

El TCP/IP es un protocolo que permite que la Internet sea una red de redes. Está compuesto de otros protocolos como HTTP, UDP, TCP, ARP, entre muchos más. Este se encuentra en un nivel superior al tipo de red empleado y a un nivel inferior de los diferentes programas de aplicación de cada sistema operativo. En la Tabla 3.2.2 podemos observar un modelo de referencia.

Tabla 3.2.2 Referencia del protocolo TCP/IP. [4]

Capa	Características
Capa de aplicación	http, smtp, telnet, ftp
Capa de transporte	UDP, TCP
Capa de red	IP
Capa de acceso a la red	Ethernet, Token Ring
Capa física	Cable coaxial, par trenzado

La capa de red define en qué forma será transmitido un mensaje a través de distintas tipologías de redes para llegar a su destino final. El principal protocolo de esta capa es el IP, que proporciona el direccionamiento óptimo y determina la ruta óptima a través de los routers.

La capa de transporte no se preocupa por la ruta que siga la información para alcanzar su destino, simplemente considera que la comunicación está establecida y la utiliza, asignando además los puertos.

3.2.9 Ethernet [4]

Ethernet es una tecnología de redes de computadoras que trabajan bajo el estándar IEEE 802.3, este define las características del cableado y señales a nivel físico, en la capa de enlace de datos del modelo OSI. Utiliza el tipo de acceso llamado “Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect” (CSMA/CD), el cual es un protocolo comandado por reglas en caso de accesos compartidos por varios usuarios o dispositivos a los recursos.

El direccionamiento utilizado se establece en una única dirección asignada siempre por el fabricante de hardware, esta es conocida como “Media Access Control” (MAC).

Ethernet posee diferentes conceptos utilizados para funcionar, tales como la velocidad de transmisión, tipo de cable, la longitud máxima y la topología, en la Tabla 3.2.3 se muestran las diferentes tecnologías Ethernet.

Tabla 3.2.3 Tecnologías Ethernet. [5]

Tecnología	Velocidad de transmisión	Tipo de cable	Distancia máxima	Topología
10Base2	10 Mbps	Coaxial	185 m	Bus (Conector T)
10BaseT	10 Mbps	Par Trenzado	100 m	Estrella (Hub o Switch)
10BaseF	10 Mbps	Fibra óptica	2000 m	Estrella (Hub o Switch)
100BaseT4	100Mbps	Par Trenzado (categoría 3UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseTX	100Mbps	Par Trenzado (categoría 5UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseFX	100Mbps	Fibra óptica	2000 m	No permite el uso de hubs
1000BaseT	1000Mbps	4 pares trenzado (categoría 5e ó 6UTP)	100 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseSX	1000Mbps	Fibra óptica (multimodo)	550 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseLX	1000Mbps	Fibra óptica (monomodo)	5000 m	Estrella. Full Duplex (switch)

En la tabla anterior, observamos como existen diferentes tipos de cable, velocidades y distancias así como topologías. Además existen diferentes componentes de hardware que son usados por una red Ethernet, por ejemplo las tarjetas de red, concentradores, puentes, conmutadores, nodos de red o medios de interconexión.

En el caso de los nodos se pueden clasificar en dos grupos, los equipos terminales de datos (DTE) que generan el destino de los datos como servidores de archivos o de impresión y los equipos de comunicación de datos (DCE) los cuales reciben y retrasmiten las tramas dentro de una red, como lo son routers, switches, hubs o repetidores.

3.2.10 Control On/Off [13]

Los controladores de éste tipo tienen dos posiciones estables que conmutan entre uno y otro según el valor de alimentación. Para evitar que el control conmute en forma descontrolada, la variable de control $m(s)$ cambiará de valor sólo cuando la entrada presente valores fuera de un cierto intervalo, de esta manera se define como zona muerta o “brecha diferencial” al intervalo dentro del cual el controlador no conmuta. La brecha diferencial permite que el controlador no conmute indiscriminadamente ante pequeñas variaciones provocada generalmente por ruido.

En la excursión ascendente del error la señal de control pasa a estado alto cuando $e > e_1$ y en la excursión descendente de la señal de control cambia a estado bajo cuando $e < e_0$, el intervalo $[e_0 e_1]$ se denomina brecha diferencial. Representado en el dominio del tiempo se ve así:

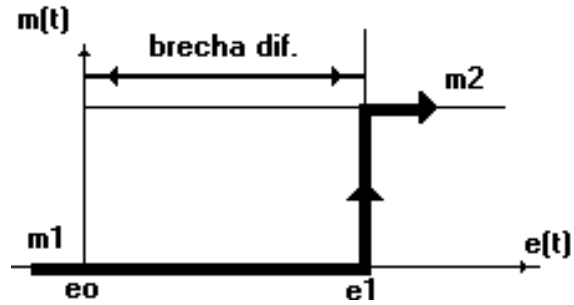


Figura 3.2.10 Representación en el dominio del tiempo de un control On/Off. [13]

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para identificar el problema, se llevó a cabo una reunión con el asesor de la empresa en la cual se dieron los detalles acerca de características del sistema de bombeo y restricciones a considerar en la solución.

Con base en la información obtenida y en la lectura sobre aplicaciones similares, se definió el problema y posibles soluciones, de igual forma los alcances y limitaciones que se deberían tomar en cuenta.

4.2 Implementación de la solución

Para la implementación de la solución se llevaron a cabo una serie de etapas, tales como diseño, simulación y pruebas de funcionamiento para lograr la implementación final. Para llevar a cabo la solución, se hizo un análisis de información, se definieron características de los dispositivos y módulos a utilizar. Se hizo uso de diagramas de flujo y de bloques para organizar los principales módulos y las diferentes programaciones que fueron necesarias, para seguir el orden de diseño de ingeniería.

Antes de implementar el diseño hecho, se llevaron a cabo simulaciones para verificar el funcionamiento del sistema SCADA sin involucrar los transformadores y módulos de medición. Hecho esto se procedió a implementar la solución, ya teniendo los módulos y dispositivos adquiridos.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

En esta sección se describe detalladamente la solución implementada al problema descrito en secciones anteriores. A nivel general esta consiste en el diseño de un sistema SCADA para la detección de fallas, monitoreo y control en motores trifásicos y válvulas del sistema de bombeo en Turrialba del poliducto de 6 pulgadas. En la sección de anexos se adjuntará información de cada módulo del fabricante y datos de importancia.

5.1 Análisis de la solución

A nivel general, la solución del problema consiste en obtener ciertos parámetros de los motores y las válvulas, así como su estatus de forma tal que la información sea significativa para el operador y en caso de que se detecte una falla en el sistema se de la activación de alarmas y estas puedan ser accedidas e interpretadas por un ingeniero, quien pueda dar instrucciones a un técnico o al mismo operador para su solución o valore si es necesario el desplazamiento de personal hasta la estación. Además el sistema deberá brindar la seguridad necesaria al personal y eliminar hasta donde se pueda toda actividad que represente un riesgo.

5.1.1 Diagrama de primer nivel

En la figura 5.1.1 se puede observar el diagrama modular de primer nivel, totalmente general con las principales entradas y salidas del sistema a ejecutar.

Las señales de entrada del diagrama corresponden a los datos que serán necesarios para el sistema así como peticiones de los usuarios u operadores en este caso y a partir de los cuales se obtendrán las respuestas del sistema.

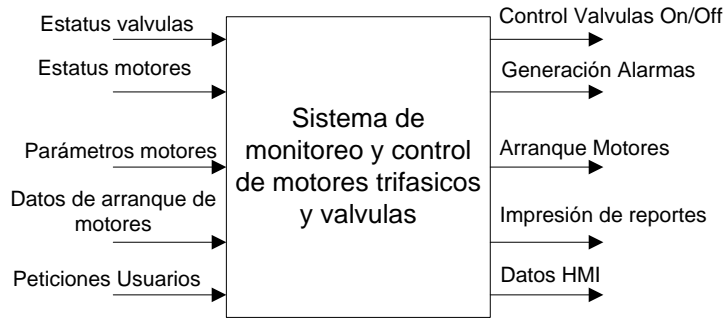


Figura 5.1.1 Diagrama modular de primer nivel de la solución.

5.1.2 Diagrama de segundo nivel

En la figura 5.1.2 se muestra el diagrama modular de segundo nivel de la solución.

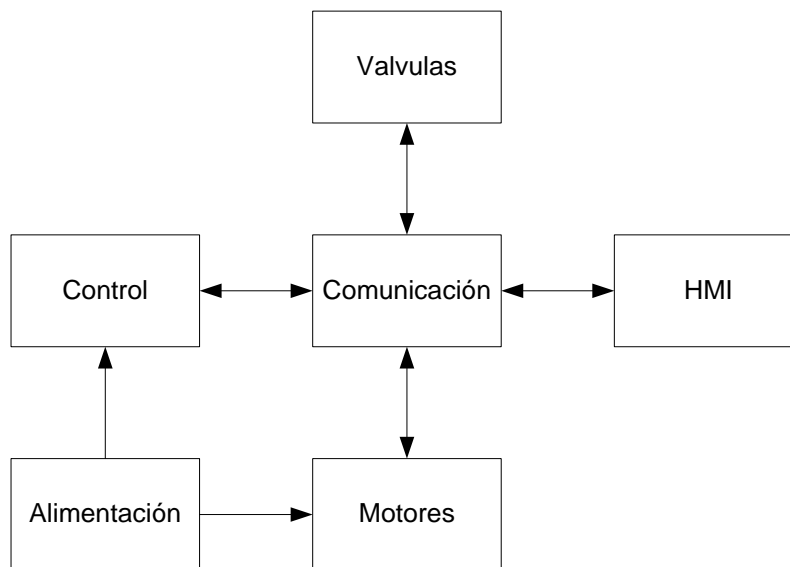


Figura 5.1.2 Diagrama modular de segundo nivel de la solución.

En el diagrama anterior, se pueden observar cinco diferentes bloques, a un nivel general los cuales componen el sistema SCADA de la solución diseñada, estos tienen funciones específicas y se relacionan con los otros bloques tal y como se describe a continuación.

El bloque de control es el principal, contiene las rutinas principales y por medio del bloque de comunicación adquiere los datos de los motores y válvulas además de abrir o cerrar estas últimas. Y por medio del HMI se realiza la monitorización del sistema y la generación de alarmas. Por último, el bloque de alimentación se encarga de proporcionar la energía suficiente a cada bloque, en este caso principalmente al controlador y a los motores trifásicos, los cuales utilizan $24V_{DC}$ y $480V_{AC}$.

5.1.3 Diagrama de tercer nivel

En la figura 5.1.3, se muestra el diagrama modular de tercer nivel, el cual muestra los nombres representativos de cada bloque así como el flujo de datos y la interconexión entre ellos.

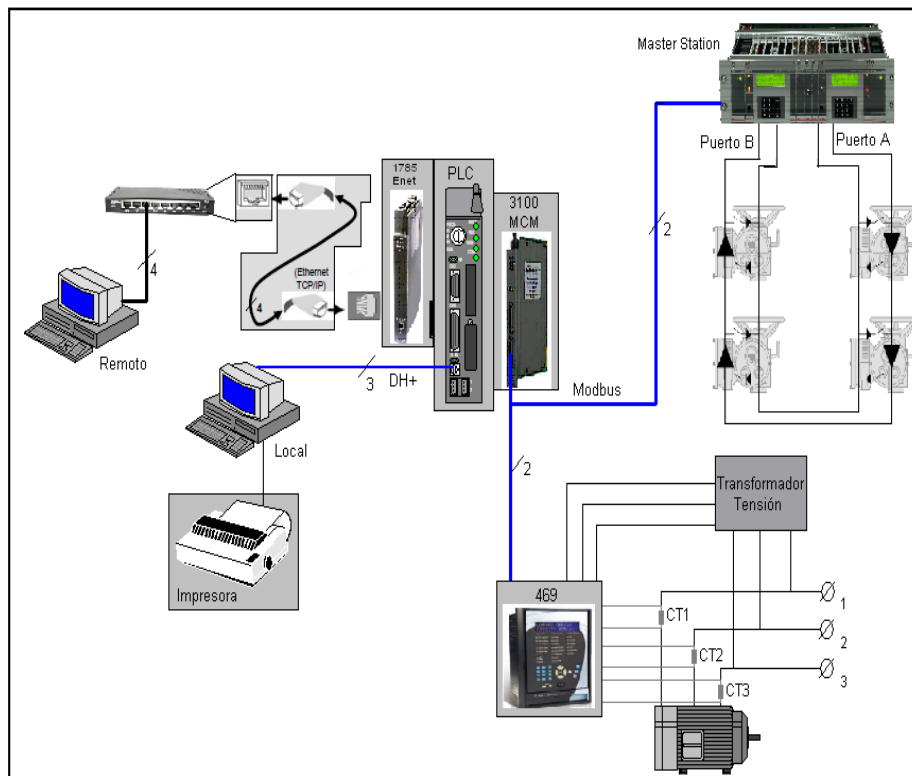


Figura 5.1.3 Diagrama modular de tercer nivel de la solución. [14]

El diagrama modular de la figura 5.1.3, muestra los dispositivos y módulos usados en el diseño de la solución, así como los diferentes tipos de comunicación empleados. Este diagrama esta simplificado para un solo motor y no los 5 que componen el sistema. En él se puede observar la utilización de transformadores de corriente (CT1, CT2 y CT3) y tensión para medir los parámetros por medio del 469.

La Master Station es un dispositivo para monitoreo y control de unidades de campo, en este caso las válvulas que contabilizan 14. En el caso del PLC vemos como este se conecta directamente en el rack, a los módulos 3100-MCM y 1785-Enet.

En el caso de los accesos al sistema SCADA, vemos como el funcionamiento general de sistema cuenta con un acceso local, donde se puede dar un funcionamiento manual o automático y un acceso remoto, el cual se realiza a través de la conexión de un computador a la red IP de RECOPE.

5.2 Descripción del Hardware

5.2.1 Control del sistema SCADA

El diseño de la etapa del control se realizó con un PLC 5/20 de Allen Bradley ®. Este en conjunto con dos módulos de comunicación como lo son el 3100-MCM y el 1785-Enet. Además de una fuente de 24V. En la figura 5.2.1 se muestra un diagrama con la ubicación de los módulos en las ranuras del rack. Además en el anexo A.2 se muestra una foto de dicho rack.

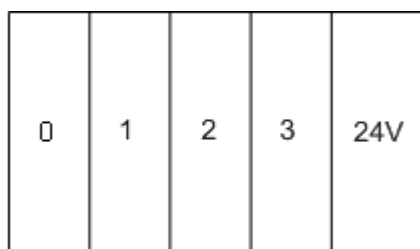


Figura 5.2.1 Diagrama del rack de 5 slots.

En la Tabla 5.2.1, se muestra la ubicación de cada módulo y una breve descripción de cada uno.

Tabla 5.2.1 Ubicación y descripción de los módulos.

Ranura	Módulo	Catalogo	Descripción
0	Procesador PLC 5/20	1785-L20B	Procesador con puertos seriales y 16k de words de memoria
1	PLC-5 EtherNet/IP™ Interface Module	1785-ENET	Puerto Ethernet para comunicación TCP/IP
2	Modbus Master/Slave Communication Module	3100-MCM	2 puertos los cuales se pueden configurar como maestro o esclavo
3	libre	-	-

En la selección del controlador PLC 5/20 influyeron características como la memoria la cual no iba a ocupar más de 16K words pero debía ser mayor a 8K. Otro aspecto importante es que cuenta con puertos DH+ para la comunicación con computadores y puertos seriales como el RS-485, este ultimo necesario para la comunicación Modbus.

Por medio del controlador, se programó y configuró el módulo 3100-MCM, el monitoreo del estatus de los motores y válvulas así como el control del estado de éstas ultimas. En el PLC se almacenan además los datos adquiridos, los cuales se utilizan por la lógica para diferentes procesos de los mismos y para poder visualizarlos y manipularlos por medio de la HMI.

5.2.2 Comunicación del sistema

En el SCADA, se utilizaron dos módulos para la comunicación Maestro/Esclavo (Master Station y los cinco módulos de motor 469). En el anexo B.2, se muestra información adicional a esta sección.

Para la adquisición de datos de los diferentes esclavos, se utilizó el módulo para Modbus (3100-MCM), el cual se configura para trabajar por medio de la conexión RS-485 y el Ethernet/IP para el PLC 5 el cual tiene un conector denominado Canal 3A, de 15 pines conectado a un módulo convertidor de puerto el cual permite un cableado de par trenzado (CentreCOM AT-210T).

Para la conexión entre dispositivos fue necesario utilizar diferentes tipos de cableado según las características de cada caso, para la conexión con la red Ethernet se utilizó un par trenzado de categoría 5e. En el caso de DH+ (DataHighway Plus) se usó un cable Belden 9463 Blue Hose, el cual es de dos hilos y es un par trenzado con blindaje. Esta escogencia de entre las características de este tipo de cable, se basa en que el ruido común en ambos hilos es ignorado. Además este tiene una resistencia terminal de 75Ω , lo cual hace que la propagación de la señal a ciertas distancias no se vea afectada. Y para el alambrado de RS-485 se utiliza el cable de par trenzado Belden M 9318.

5.2.3 Etapa de medición

Para medir los parámetros requeridos, se utilizó el módulo 469 Motor Managment Relay, Este se conecta por medio de las líneas trifásicas, de forma que obtiene la medición de las corrientes y tensiones y a partir de algoritmos internos realiza los cálculos para obtener los otros datos. La programación del dispositivo se adjunta en el apéndice A.4. En el anexo A.1 se muestra la conexión de los diferentes transformadores e información adicional.

Con respecto a las tensiones, como la línea trifásica es de 480V, se requiere de 120V en las entradas AC del dispositivo, por lo tanto se utilizaron dos transformadores de tensión reductores. De los cuales salen las tres líneas hacia el módulo 469. A continuación de muestra un diagrama de la conexión realizada en la figura 5.2.2 basada en el manual de usuario de módulo, que se muestra en el punto 10 de la bibliografía de referencia.

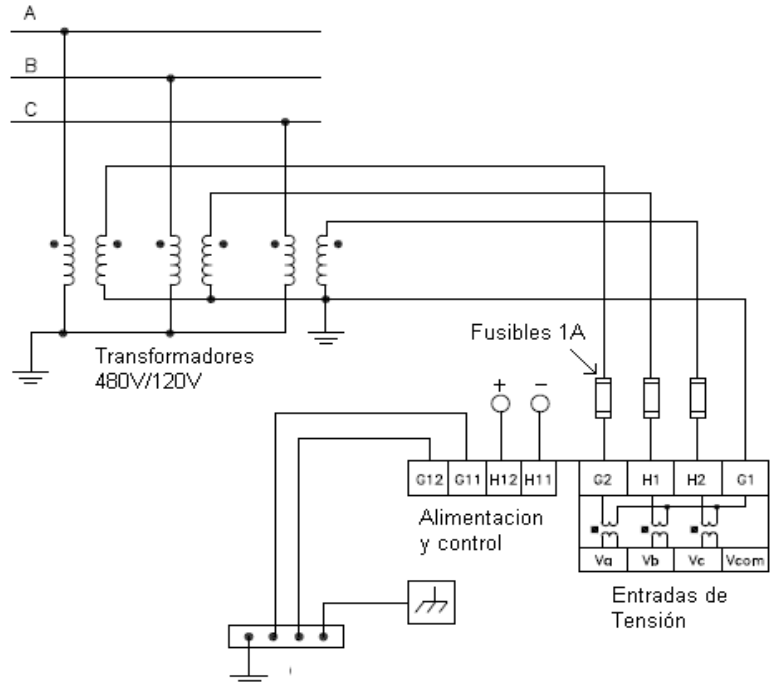


Figura 5.2.2 Diagrama de conexión de los transformadores de tensión con el 469.

En la figura se puede observar cómo se usan fusibles de 1A para protección del dispositivo. Este dispositivo cumple con los diferentes estándares de construcción y características eléctricas de NEMA, ANSI, UL y CSA, que lo hacen proporcionar al menos un 90% de la tensión referenciada en todo momento.

En las líneas trifásicas se tienen corrientes con picos de hasta 400A, y las entradas del módulo 469 son para 1A o 5A. Por tal razón, se utilizaron tres transformadores de corriente los cuales permitieran trabajar con esos valores de amperaje. A continuación se muestra un diagrama de la conexión realizada en la figura 5.2.3 basada en el manual de usuario de módulo, que se muestra en el punto 10 de la bibliografía de referencia.

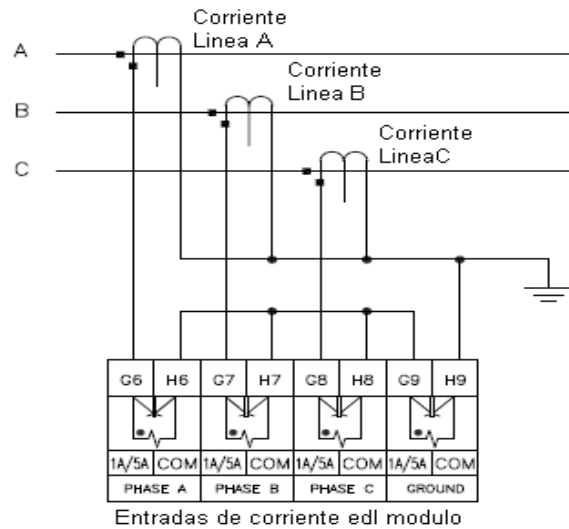


Figura 5.2.3 Diagrama de conexión de los transformadores de corriente con el 469.

En este caso para los transformadores de corriente, se usaron unos de 600A/1A para protección de los dispositivos y a fin de poder trabajar con niveles más bajos y seguros para el personal en general.

5.3 Descripción del Software

5.3.1 Software RSLogix5

Este es el software utilizado para la programación del PLC 5, contiene la división interna de la memoria, las rutinas de lógica de control y estatus del sistema de motores y válvulas, y la lógica de escritura y lectura de datos de los esclavos a través del módulo 3100-MCM. En los apéndices A.3 se mostrará con más detalle la configuración del dispositivo. Además se da una manipulación de los datos ya que vienen en diferentes formatos, los cuales se pueden observar en el anexo B.1.

Para iniciar la programación, primeramente fue necesario hacer una asignación de los espacios de memoria de datos y la memoria de configuración y comunicaciones. Esta asignación se muestra a continuación en la figura 5.3.1.

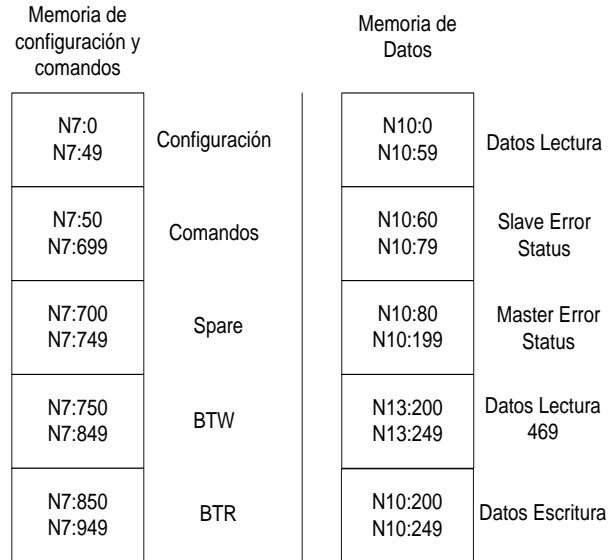


Figura 5.3.1 Asignación de la memoria del PLC.

La asignación se realiza para poder configurar el módulo 3100-MCM y transferir los bloques de datos de lectura y escritura así como su respectivo almacenamiento en memoria.

Para el desarrollo de algunas de las rutinas se utilizaron diagramas de flujo que ayudaran a desarrollar la programación. La primer rutina, que además es la principal, es la encargada de programar el módulo de comunicaciones Modbus,. El diagrama de flujo utilizado para esta rutina de programación se muestra en la figura 5.3.2.

Según el diagrama de flujo, cuando se inicia o se da un reset, se llama al block de configuración, designado como "Block ID 255". En la ejecución de los puertos 1 y 2, dependiendo de si se encuentra en recepción o transmisión, se chequea por mensajes recibidos o si el mensaje enviado ha sido completado respectivamente. Cuando se incrementa el contador, indica que la transferencia de datos ha sido completada, por tanto llama la lógica de bloques para iniciar una nueva comunicación.

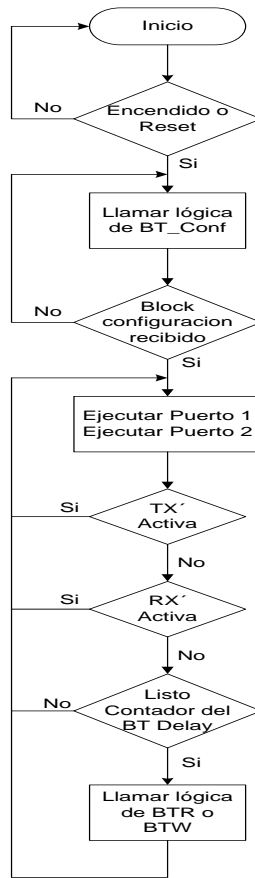


Figura 5.3.2 Diagrama de flujo de la rutina BTWR MCM.

Con la distribución de la memoria, se asignaron registros para almacenar los datos de los estatus de los componentes del sistema. Luego, se realizaron las rutinas para conocer el estado de las válvulas y el control On/Off. Estas se desarrollaron en base al diagrama de flujo de la figura 5.3.3.

Esta rutina comienza con el constante monitoreo de las válvulas. Cuando se quiera cambiar el estado On/Off de una válvula, ya sea para abrirla o cerrarla, se activará una bandera por medio de la cual se envía un valor de “255”. A su vez se iniciará un timer por 2.5 segundos para asegurar que el dato llegue a la Master Station y de ahí a la válvula indicada. Cuando el tiempo termina, se procede a enviar un “0” para borrar el comando y que no quede en alto la señal en la Master Station y se hace un reset en la bandera respectiva.

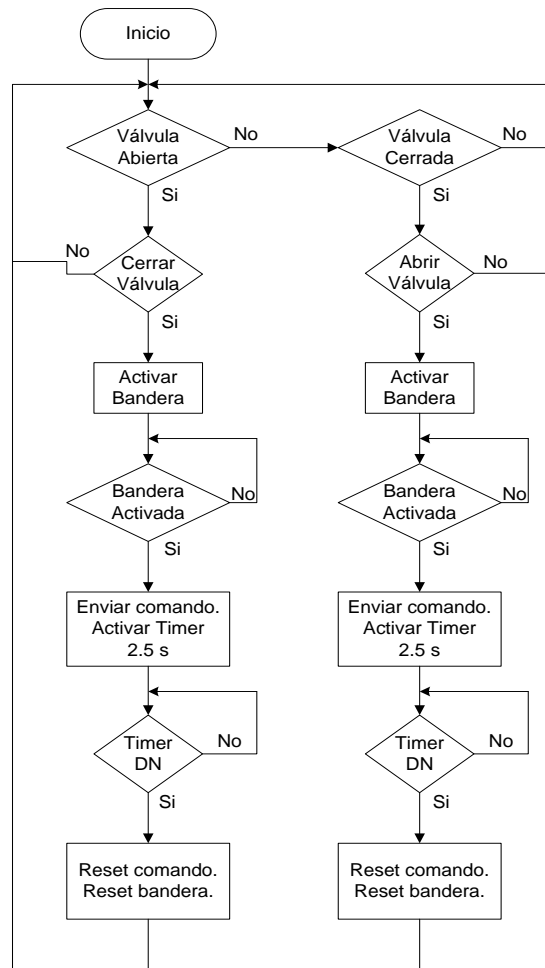


Figura 5.3.3 Diagrama de flujo de la rutina VALVE STS y CMDS.

La última rutina, “469 DATOS”, es la que se encarga de manipular los datos obtenidos de los dispositivos 469 debido a los diferentes formatos que se presentan.

La lógica seguida se muestra en la figura 5.3.4. En la figura se observan los diferentes procesos para cada dato, en el caso de las tensiones y las corrientes se siguen las rutinas indicadas para cada caso respectivo, teniendo en cuenta que serían tres tensiones de fase diferentes, V_{AB} , V_{BC} y V_{CA} y tres corrientes de línea I_A , I_B e I_C .

Los datos que tienen parte alta y baja (long words), guardan los resultados en registros temporales los cuales para este caso son indicados con X_f , X_{c1} y X_{c2} y X_h para poder realizar otro proceso inmediatamente.

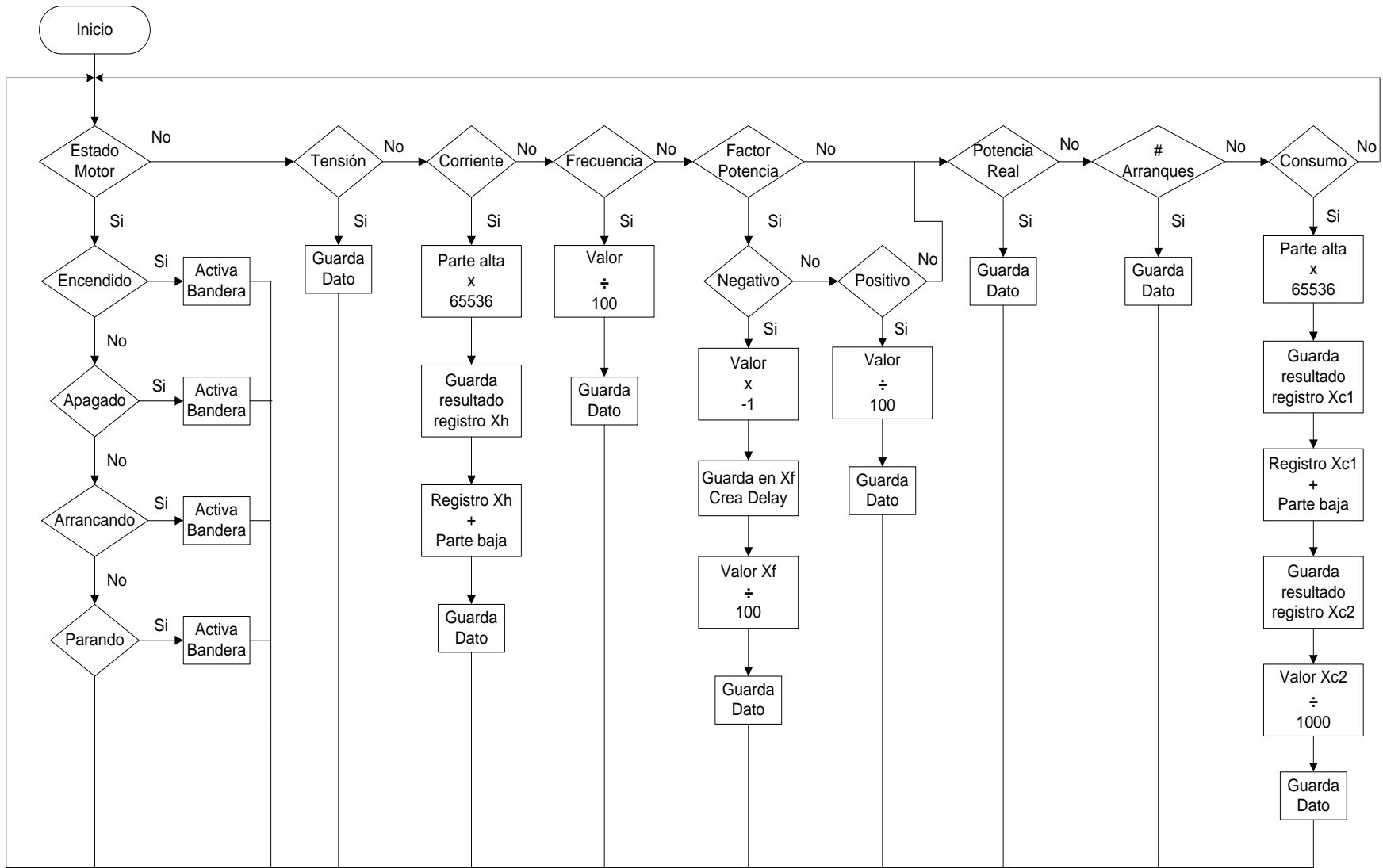


Figura 5.3.4 Diagrama de flujo de la rutina 469 DATOS.

5.3.2 Software

Se utilizó RSVIEW32 ® para desarrollar la interfaz entre máquina y usuario (HMI). En la figura 5.3.5, se muestra el diagrama de bloques para la operación de las pantallas y su desarrollo. Estas se elaboraron a partir de una pantalla ya existente a petición de los operadores la cual se llama “Teclado”.

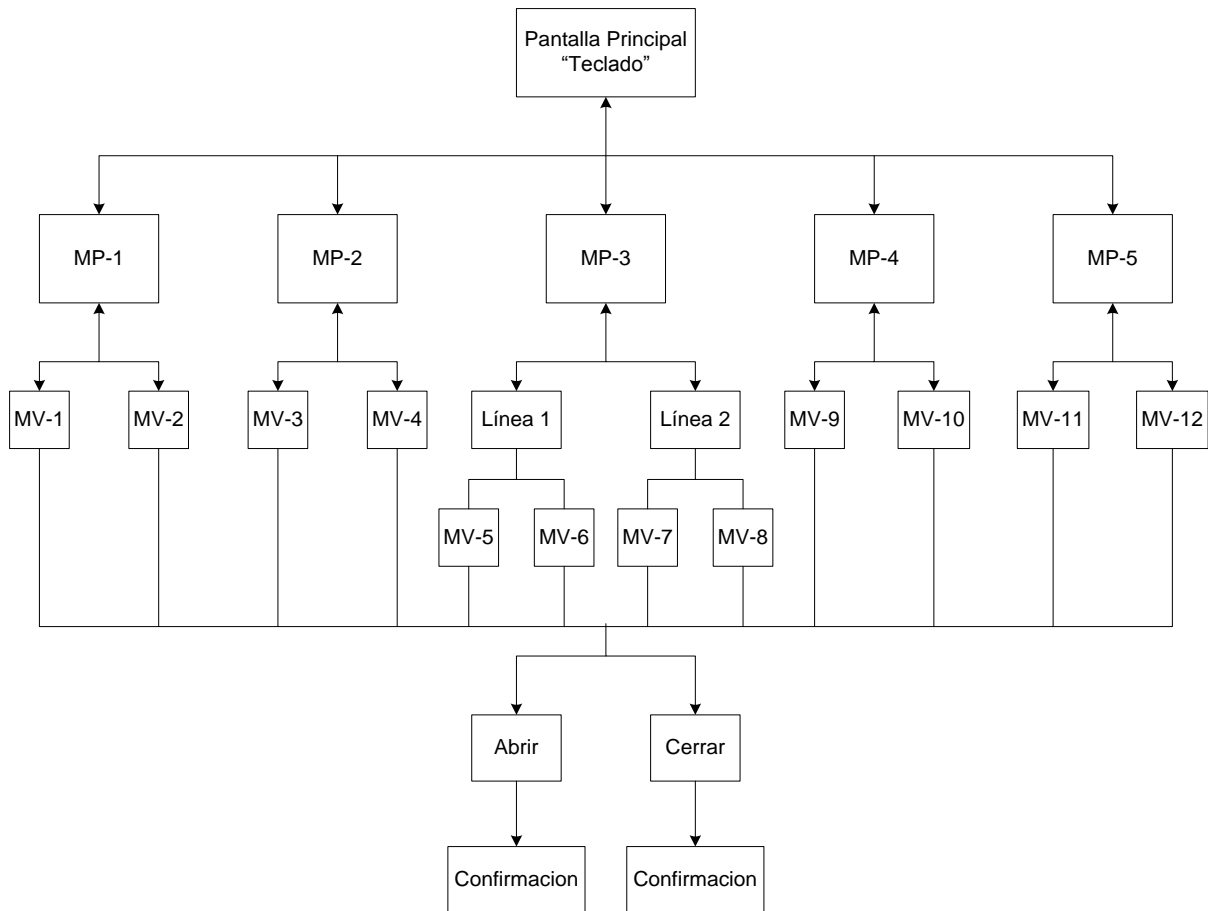


Figura 5.3.5 Diagrama de bloques de las pantallas programadas en RSVIEW32.

Dentro de esta aplicación se utilizó una herramienta de Visual Basic para desarrollar un reporte de una hoja en formato de Excel con los datos de los parámetros al momento en que se dé la indicación.

5.4 Adición del rediseño del arranque de los motores

Como una propuesta de mi parte, comentada y analizada con el ingeniero asesor de la empresa, se utilizó el módulo 469 para rediseñar el sistema de arranque de los motores.

Primeramente, para desarrollar esta parte, se hizo un análisis del circuito existente, para entender su funcionamiento. Seguidamente se analizaron cuales eran las ventajas que podía brindar el hecho de incluir el 469 al sistema de arranque, dentro de ellas se vió mayor protección a los motores y seguridad en el sistema, aparte de la modernización que implica este proceso. Lo cual también implica que se puedan conectar otros sistemas de mediciones como los de temperatura o vibraciones a este dispositivo..

En la figura 5.4.1, se observa el circuito del sistema de arranque a rediseñar. El software utilizado para mostrar el circuito es el Multisim 8 ®, ya que era el único programa en diseño de circuitos al que tenía acceso desde el lugar de trabajo.

Resumiendo el funcionamiento del circuito, primeramente se obtiene una tensión de 480V la cual es reducida a 120v por el transformador T3. Esta alimenta la fuente de poder y los convierte en $24V_{DC}$. A partir de aquí se alimentan un sistema de luces que indican el estado de los motores, se tiene un botón de paro manual y se puede realizar remotamente, estos para cualquier emergencia que se presente.

Según el modo de operación manual o remoto, se presiona el botón de arranque o se da la instrucción respectivamente, la cual energiza las bobinas de un par de contactores CR1 o CR2, que activan un contactor temporizado. A partir de que se inicia el tiempo se alimentan otra serie de bobinas 1S y 2S, las cuales activan los contactos y cierran el circuito en el autotransformador, proveyendo lentamente al motor trifásico hasta en un 65% de la tensión a carga plena. Cuando se cierra el contacto del timer se energiza la bobina R, activando el contacto y alimentando el motor a plena tensión.

Como se puede observar, el sistema no cuenta con la adecuada protección a los motores ni al sistema, apenas si tiene una protección electrónica de sobre carga para el motor, la cual se abre cuando se detecta dicha acción.

Al analizar el 469 Motor Management Relay, el módulo cuenta con varios relés los cuales ayudan a proteger el motor ante cualquier anomalía, de esta forma se pueden detectar fallos en el motor, además de que puede activar la alarma con cualquier fallo. En este caso el 469 brinda una gran cantidad de situaciones que pueden producir un error en el sistema, las cuales se pueden programar para ser activadas las realmente necesarias por medio de relés. En la tabla 5.4.1 a continuación se describen ligeramente dichos relés. Otra opción que trae es la del relé de arranque suave el cual se puede programar para controlar la transición de tensión reducida a plena.

Tabla 5.4.1 Descripción de los relés a implementar del 469 en el sistema de arranque.

Relé	Descripción
R1 – Trip Relay	Relé que se dispara siempre que se detecta un error en el funcionamiento del sistema, ya sea por corriente, tensiones, temperaturas, entre muchas otras opciones más. Todas estas deben ser programadas para que funcionen.
R3 – Reduced Voltage Relay	Este relé puede controlar la transición en el arranque de tensión reducido, entre la tensión reducida y la tensión plena. Puede trabajar en tres modos diferentes: “Current only”, “Current or Timer” y “Current and Timer”.
R4 – Alarm Relay	Este relé se activa siempre que esté presente una falla sea cual sea, trabaja en conjunto con el resto de los relés.
R5 – Block Start Relay	Este se activa cuando un disparo del sistema no ha sido corregido, además bloquea el arranque tras varias fallas seguidas para protección del motor.
R6 – Service Relay	Este se activa cuando la herramienta de diagnóstico interno del 469 detecta un falla interna o perdida en la alimentación de control

Además de estos relés, se agregó al sistema un interruptor principal VL 630N, el cual trabaja para valores de hasta 600A. También se instaló un Relé de tensión trifásico, el cual provee una protección externa contra sobretensión o una caída de tensión.

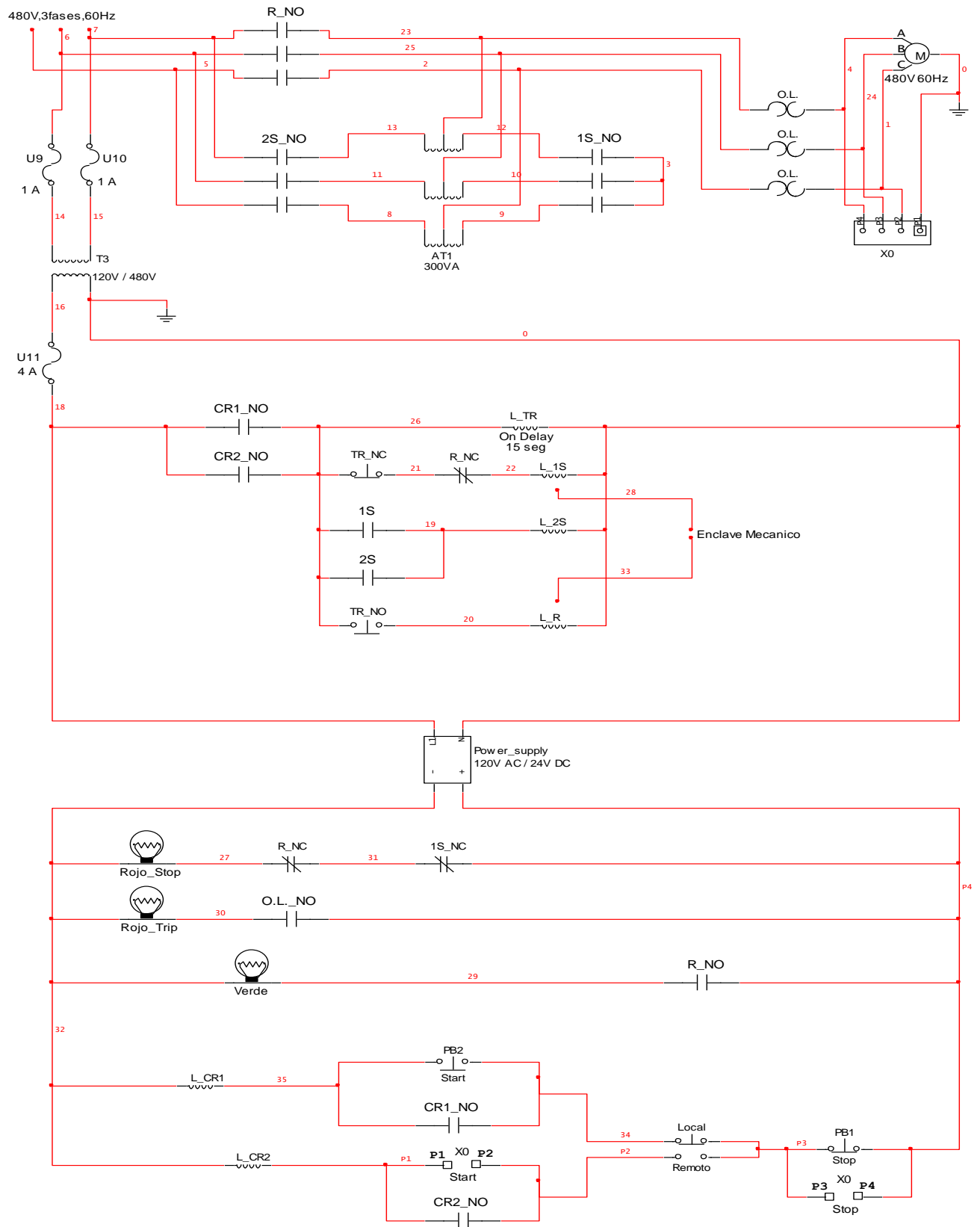


Figura 5.4.1 Diagrama eléctrico del sistema de arranque de los motores a rediseñar.

Capítulo 6: Análisis de resultados

En esta sección se mostrarán los resultados que se han obtenido mediante tablas, gráficos y algunas pruebas efectuadas, así como el impacto de estos en la empresa.

6.1 Resultados

6.1.1 Sistema SCADA

Para el manejo del sistema SCADA se obtuvieron pantallas en RSVIEW32®. Estas muestran los parámetros de los motores y estado de los mismos, además se puede visualizar y controlar el estado de las válvulas. Esta información se muestra en el anexo A.5

Para la detección de fallas se llevó a cabo la lógica según las especificaciones y se generaron alarmas que permiten detectar las fallas que se presentan, las cuales se muestran en la Tabla 6.1.1 a continuación.

Tabla 6.1.1 Información de las alarmas creadas para el sistema SCADA.

Alarma	Mensaje	Prioridad
1	Falla de comunicación de FCU(válvula) con Master Station	Media
2	Actuador de válvula no se encuentra en control remoto	Baja
3	Disparo de termostato de las válvulas	Baja
4	Bajo nivel de presión de válvula	Media
5	Fallo en el comando de abrir/cerrar	Bajo
6	Válvula atorada/atascada	Media
7	Disparo de relé por sobre tensión	Alta
8	Disparo de relé por baja tensión	Media
9	Disparo de relé por sobre carga	Alta
10	Alta diferencia de tensión entre las fases	Media
11	Disparo de relé por sobre corriente	Alta
12	Variación del factor de potencia	Alta

13	Falla en la red Modbus del sistema SCADA	Alta
----	--	------

Además se generó un archivo en Excel, el cual es un reporte de los parámetros de los motores. A continuación se muestra una prueba realizada en la figura 6.1.6.

Planteo Turrialba					
Fecha: 3/06/2010	Hora: 11:21:05 a.m.		Usuario: DSANCHEZ		
Reporte de Variables Electricas de los Motores					
	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5
Corriente IA	236,0	234,0	226,0	243,0	238,0
Corriente IB	236,0	229,0	238,0	252,0	241,0
Corriente IC	249,0	238,0	227,0	243,0	235,0
Tension VAB	472,0	471,0	471,0	471,0	475,0
Tension VBC	475,0	473,0	474,0	474,0	474,0
Tension VCA	471,0	472,0	472,0	472,0	471,0
Consumo en KWh	181,3	185,4	173,9	186,1	188,2
Numero de arranques	67,0	59,0	48,0	66,0	71,0
FP	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94
Frecuencia	59,9	60	60	59,9	60

Figura 6.1.1 Reporte de variables eléctricas en un archivo de Excel.

Se pidió un análisis de riesgos y seguridad del sistema por parte del Departamento de Seguridad Ocupacional y Ambiental de RECOPE, el cual determinó que el sistema y dispositivos utilizados cumplen con un nivel SIL 2, según las normas de la NFPA y la IEC61508, lo cual es aceptable para asegurar la protección del sistema y del personal en procesos industriales en casos de emergencia.

Mediante la realización de pruebas a los sistemas instalados, se obtuvieron datos y curvas tal y como se muestra a continuación. Se realizó una prueba variando la velocidad de transmisión en los datos por el protocolo Modbus, para comprobar la exactitud de los datos. Calificando la calidad de las diferentes velocidades como buena, media o mala.

Tabla 6.1.2 Pruebas de comunicación MODbus a diferentes velocidades

Velocidad (Baud Rate)	Calidad de transmisión
2400	Buena
9600	Buena
19200	Media

38400	Mala
-------	------

Para corroborar la recepción de datos por medio del acceso remoto se realizó una iteración de los valores de las corrientes para corroborar que tanto varían los datos con respecto a los mostrados en la pantalla del módulo 469. En el apéndice se muestra una fotografía con los valores visualizados. Los resultados se muestran en la tabla 6.1.3.

Tabla 6.1.3 Iteración de accesos remotos.

Valor Visualizado (A)	Valor Iteración (A)					
	1	2	3	4	5	6
244	244	241	242	245	244	243
252	253	250	251	255	251	252
243	245	238	243	242	244	243

Se realizaron pruebas para el resto de parámetros al igual que con la corriente, y se obtuvo que en ningún caso hubo un margen de error mayor al 2.5%

Se realizó un análisis económico de los gastos incurridos por viáticos al plantel de Turrialba. La tabla 6.1.4 muestra los resultados para dos trabajadores, por dos días. Se obtuvo que en promedio para detección de fallas se realicen de 5 a 6 visitas al mes.

Tabla 6.1.4 Costos en viáticos de la empresa para dos trabajadores por dos días en Turrialba.

Rubro	Desayuno	Almuerzo	Cena	Hospedaje
1 día	₡2800	₡2500	₡4800	₡12500
2 días	₡5600	₡5000	₡9600	₡25000
2 trabajadores	₡11200	₡10000	₡19200	₡50000
Gasolina	₡15000			
Costo total	₡105400			

Para el control On/Off de las válvulas se analizó la respuesta al impulso enviado por el controlador. En la gráfica de la figura 6.1.2 a continuación se muestra el resultado obtenido.

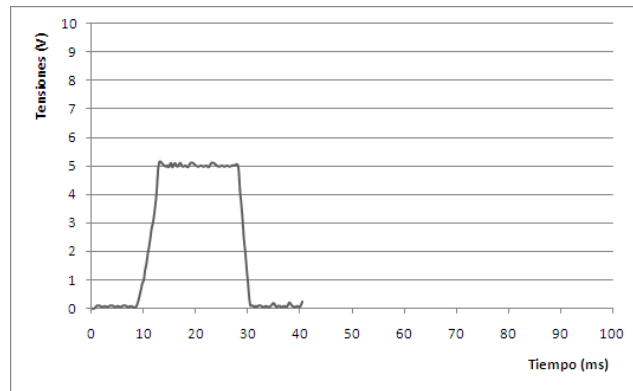


Figura 6.1.2 Respuesta al impulso del control On/Off de las válvulas.

Se obtuvieron los parámetros del circuito equivalente, los cuales permitieron obtener la curva par-velocidad y velocidad contra corriente de los motores trifásicos que se muestra en la figura 6.1.3.

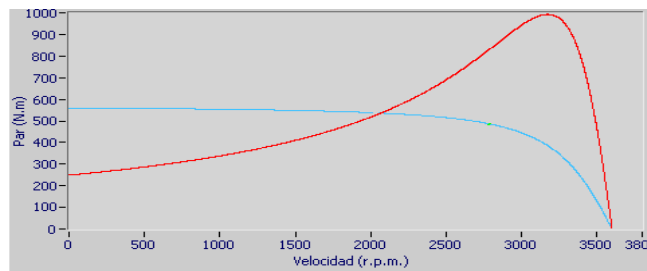


Figura 6.1.3 Curva par-velocidad de los motores trifásicos.

6.1.2 Arranque de los motores

Como se describió en la sección 5.4 de este informe, se añadió al proyecto una parte por medio de la cual se pudiera implementar el módulo de motores 469 en el arranque de los mismos, con el objetivo de hacer más seguro su funcionamiento y de igual forma obtener información acerca de las fallas en éste sistema propiamente.

Una vez entendido el funcionamiento del sistema de arranque, se analizó y estudio el manual de usuario del dispositivo en cuanto a la implementación de los relés mencionados en la Tabla 5.4.1. Con este análisis, se llegó a obtener una ubicación

correcta de los relés en el diagrama eléctrico. Cambiando algunas partes del sistema se obtuvo el siguiente circuito, el cual se implementó y se muestra en la figura 6.1.4.

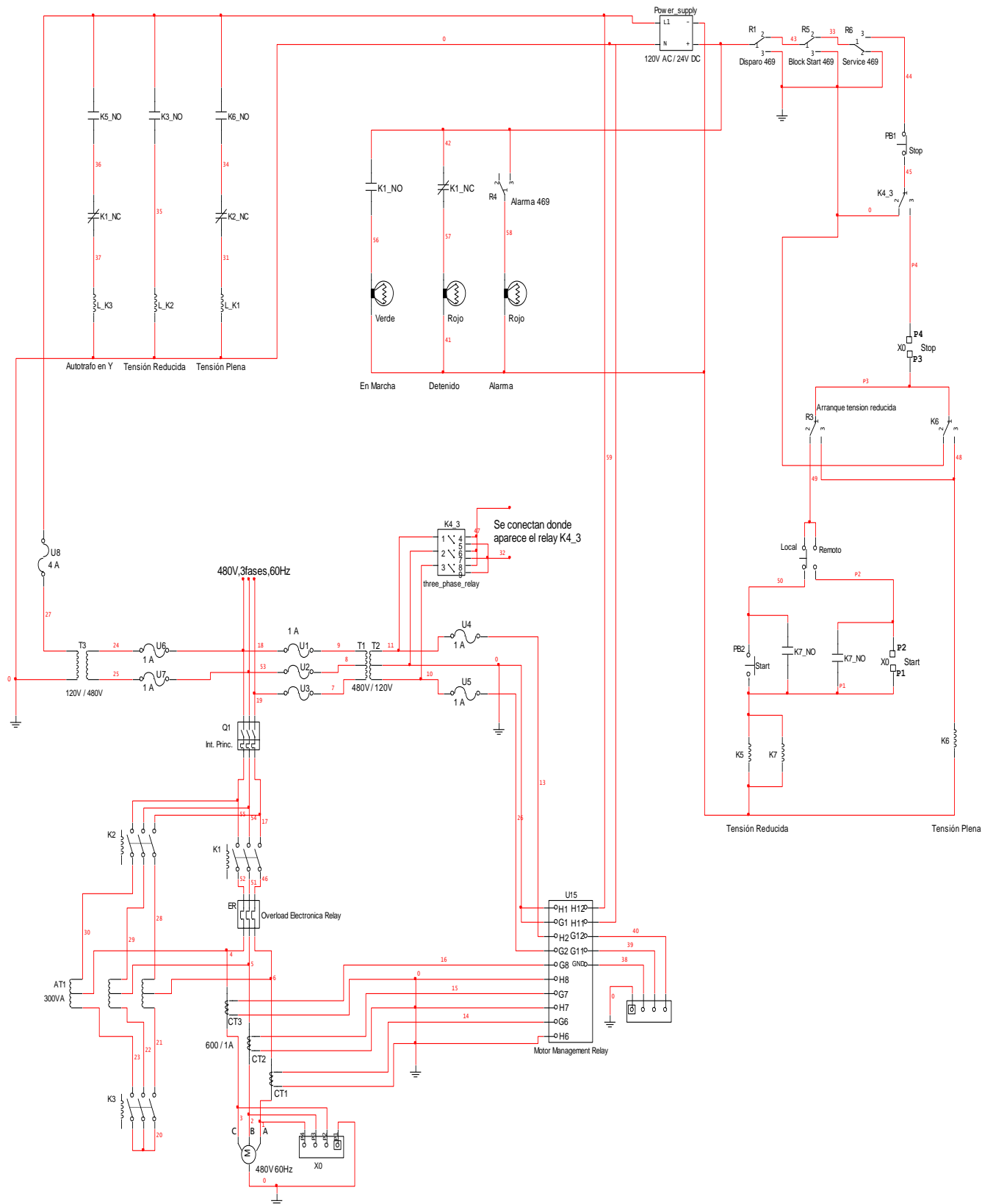


Figura 6.1.7 Diagrama eléctrico del sistema de arranque de los motores con el módulo de motores 469 incorporado.

6.2 Análisis

Con base en los resultados obtenidos, se realizaron las pantallas que sirven de interfaz entre la máquina y el usuario (HMI). Estas muestran información necesaria en cuanto a los parámetros de los motores (tensiones de fases, corrientes de línea, factor de potencia, frecuencia de operación, potencia real y consumo) los cuales ayudan a la interpretación cuando se detectan fallas en dichos dispositivos. Además el reporte de variables eléctricas permite que se adjunte esta información a la solicitud de reparación en caso de ser necesario.

El controlar el estado de las válvulas, ya sea para abrirlas o cerrarlas, desde el cuarto de control, permite prescindir de que esta labor sea realizada manualmente por un trabajador, lo cual brinda seguridad al personal al no exponerse a factores inherentes de peligro.

Otro aspecto en cuanto a seguridad, fue que se pidió un análisis del nivel SIL de seguridad del sistema, en el cual el Departamento de Seguridad Ocupacional y Ambiental de RECOPE, preciso que se cuenta con un nivel SIL 2, según las normas NFPA e IEC 61508 de procesos industriales.

La activación de alarmas, permite detectar las posibles fallas que se presenten en el sistema de bombeo ya sea en los motores trifásicos o en las válvulas. Estas se presentan en la interfaz HMI e indican la causa y permiten su reconocimiento por parte del operador.

El traslado de personal a la estación de bombeo de Turrialba, implica un gasto económico para la empresa. En la sección anterior, en referencia a la tabla 6.1.3, se determinó como un máximo de gastos el monto de ₡105400 en el peor de los casos. Según los reportes del departamento, en dicha estación se presentan fallas alrededor de 5 o 6 veces por mes, en las cuales al menos tres de ellas son causas menores y que pueden ser reparadas por un técnico local, esto representa un ahorro de ₡316200 mensuales, lo cual implica minimizar los costos alrededor de un 50% o 60%.

Ante las pruebas realizadas con la comunicación Modbus, se determinó una de transmisión de datos a 9600 baudios. Con las pruebas realizadas, a velocidades más altas se producían errores en la exactitud de los datos, mientras a 2400 o 9600, el porcentaje de error era mínimo y con muy poca diferencia entre ambas, por lo tanto se escogió la de mayor velocidad.

Por medio de iteraciones se determinó que la exactitud de los datos por medio del acceso remoto desde el plantel ubicado en Ochoмого, no supera un error del 2,5%, lo cual es aceptable ya que las alarmas en el caso de algunos datos se activan cuando se presenta una alteración de los datos mayor al $\pm 5\%$.

El rediseño de la etapa de arranque suave de los motores incluyendo el módulo 469 se logro implementar llevando a cabo un análisis de las deficiencias del sistema anterior. El nuevo diseño cuenta con protecciones a los motores lo cual de igual manera permite detectar algunas fallas no consideradas en los alcances de este proyecto pero que representan un beneficio para RECOPE.

Este nuevo sistema de arranque se basa en la misma lógica del anterior, pero con la inclusión de ciertos dispositivos esenciales en la seguridad de los motores. Teniendo presente que se trabaja en un ambiente de alto riesgo, es importante todo sistema o dispositivo que permita mejorar las condiciones de seguridad y desempeño de los sistemas existentes. En especial el poliducto de 6 pulgadas debido a su vejes.

Por medio de la herramienta "Trend" de RSLogix5, se obtuvo la respuesta en tiempo de la señal de control On/Off de las válvulas, la cual presenta niveles de ruido que no afectan la señal y un tiempo de levantamiento (rise time) de alrededor de 5ms. La forma no obstante es muy similar a la respuesta teórica.

Por otro lado la curva de par-velocidad coincide con las curvas teóricas con pequeñas diferencias debido a los valores propios de las resistencias e inductancias de rotor y estator de cada motor.

Capítulo 7: Recomendaciones y conclusiones

7.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó un sistema SCADA por medio de un PLC para la adquisición y control de datos en la detección de fallas del sistema de bombeo y su debido procesamiento.
- Se logró reducir el gasto en viáticos hasta en un 60%, lo cual generó un ahorro económico para la empresa, al evitar el traslado innecesario de personal al Plantel de Turrialba.
- Se consiguió detectar las posibles fallas en el sistema de bombeo mediante la activación y reconocimiento de alarmas en el sistema de bombeo.
- Se creó un sistema de detección de fallas con niveles de seguridad SIL 2 para procesos industriales y además se evitaron actividades inseguras gracias al control remoto del estado de las válvulas del sistema de bombeo.
- Se proporcionó información adicional a la detección de fallas en el sistema de bombeo y una posible reparación, mediante los parámetros de los motores con márgenes de error inferiores al 2.5%.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo un mantenimiento preventivo del sistema periódicamente para asegurar que trabaje adecuadamente y prevenir posibles fallas en los dispositivos que lo integran.
- En futuros proyectos, si se deseara utilizar la red añadiendo más esclavos en la comunicación con el protocolo Modbus, se debe de tener en cuenta los nodos existentes para no tener problemas.
- La empresa RECOPE realiza actualizaciones en las licencias de software cada dos años, por lo que se debe de verificar la compatibilidad y así no tener problemas con los programas utilizados como el RSLogix o el RSView32.
- En el caso de los niveles SIL de seguridad, se pueden aumentar a nivel 3 o 4 con la implementación de dispositivos controladores de emergencias y fallas existentes en el mercado.
- El sistema diseñado en el Plantel de Turrialba podría extenderse a otros planteles con sus debidas modificaciones con tal de brindar los mismos resultados en cuanto a niveles de seguridad y minimización de gastos inclusive mayores en lugares como Limón o Guanacaste.

Bibliografía

1. Chapman, Stephen J. “**Máquinas Eléctricas**”, 4ª ed, McGrawHill, México, 2005.
2. Schleicher, Manfred. “**Digital Interfaces and Bus Systems, fundamentals and practical advice for the connection of field devices to MODbus, PROFIBUS-DP, ETHERNET, CANopen and Hart**”, 5ta Ed, JUMO, Alemania, 2005.
3. Protocolo Modbus, Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Tecnología Electrónica.
<http://www.dte.upct.es/personal/manuel.jimenez/docencia/GD6_Comunic_Ind/pdfs/Tema%207.pdf>.
4. Tanenbaum, Andrew S. “**Redes de Computadoras**”, 3ª Ed. Pearson, México, 1997
5. Ethernet, Wikipedia
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>.
6. Electrónica Unicrom. “**El Relay - Relevador, partes y funcionamiento**”. Agosto del 2006.
<http://www.unicrom.com/Tut_relay.asp>.
7. Flower Leiva, Luis. “**CONTROLES Y AUTOMATISMOS ELECTRICOS, Teoría y prácticas**”, 7ma edición, Panamericana Formas e Impresiones SA. 2001.
8. Hoja de datos del módulo 3100-MCM de la pagina web:
<<http://www.prosoft-technology.com/layout/set/print/content/view/full/1121>>.
9. Manual de usuario del módulo 1785-ENET de la página de Rockwell Automation
<http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um019_-en-p.pdf>.
10. Hoja de datos del módulo 469 Motor Management Relay de la pagina web
<<http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/469/469man-a9.pdf>>.
11. Página web de RECOPE S.A.
<www.recope.com>.
12. Ethernet, Wikipedia
<<http://es.wikipedia.org/wiki/contactores>>.
13. Página de sistemas de control, 2003.
<<http://materias.fi.uba.ar/6722/acciones%20basicas%20PID.pdf>>.

14. Imágenes tomadas de el programa RSView32®.

Apéndices

A1. Glosario y abreviaturas

Glosario

- ANSI/TIA/EIA-485-A-98: especificaciones eléctricas de la capa física del modelo OSI para comunicación con dos cables, multipunto serie y half-duplex RS-485.
- Byte: estructura compuesta por 8 bits
- Cable cruzado: tipo de cable utilizado para conectar dos computadoras o sistemas directamente (punto a punto) donde no interviene ningún dispositivo intermediario entre el receptor y el emisor.
- CRC16: chequeo de redundancia cíclica. Algoritmo diseñado para el control de errores en las transmisiones digitales.
- Ethernet: Tecnología de redes de computadoras de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3, basada en tramas de datos.
- Half-duplex: comunicación que se puede dar en ambos sentidos: transmisión y recepción, pero no ambos al mismo tiempo.
- *Interfaz*: Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes.
- Mapa MODbus: mapa de la memoria de un dispositivo que tolera comunicaciones tipo MODbus, donde se muestran las direcciones de los registros que contienen la información que puede ser leída o accesada mediante solicitudes estructuradas.
- MODbus (RTU): MODbus (unidad terminal remota). Protocolo desarrollado por la compañía Americana Gould-Modicon especialmente para aplicaciones de visualización de variables de procesos. Es de uso libre y abierto al público en general. Se encuentra posicionado en el nivel 7 del modelo OSI de capas.
- Red: conjunto de dispositivos conectados entre sí, que trabajan bajo un mismo protocolo y cuya finalidad en común es establecer comunicaciones entre todos.

- Relé: bobina de alambre muy fino de cobre arrollado alrededor de un soporte metálico que al circular corriente a través de ella, genera un campo magnético que provoca la atracción de una placa metálica, que cumple la función de contactor.
- Shield: cobertor que poseen algunos cables hecho de material conductor, diseñado para eliminar los ruidos provocados por corrientes inducidas en el cable y que se recomienda conectar a tierra en uno de los extremos del sistema.
- Software: programas o aplicaciones diseñadas para ser ejecutadas en una computadora.
- TCP/IP: "Transport control protocol/Internet protocol". Protocolo de control de transmisión y protocolo de Internet para el envío de tramas por una red.

Abreviaturas

ARP: protocolo de resolución de dirección.

CRC: comprobación de redundancia cíclica.

DH+: data highway plus, es una red de área local.

Estándar ANSI: Instituto Nacional estadounidense de Estándares.

Estándar CSA: Canadian Standart Asociation (Asociación de estándares canadiense).

Estándar NEMA: Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.

Estándar UL: underwriter laboratories. Estándares para seguridad.

IP: protocolo de internet.

HP: caballos de fuerza.

HTTP: hyper text transfer protocol.

HMI: interfaz maquina-usuario.

MAC: Media Access Control.

NA: contacto normalmente abierto.

NC: contacto normalmente cerrado.

OSI: modelo de interconexión de sistemas abiertos.

PLC: controlador lógico programable.

RECOPE: Refinería Costarricense de Petróleo.

RTS: solicitud de envío.

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition.

TCP: protocolo de control de transmisión.

UDP: protocolo de datagramas del usuario

A.2 Fotografías del control y sistemas instalados



Figura A.2.1 Rack utilizado con el PLC, fuente de 24V_{DC}, y módulos mencionados en el informe.



Figura A.2.2 Motores trifásicos y bombas del sistema de bombeo.



Figura A.2.3 Transformadores de medición y transformador de control instalados en el sistema de arranque.



Figura A.2.4 Transformador de medición Siemens de 480V/120V.



Figura A.2.5 Transformadores de corriente FRER de 600A/1A.

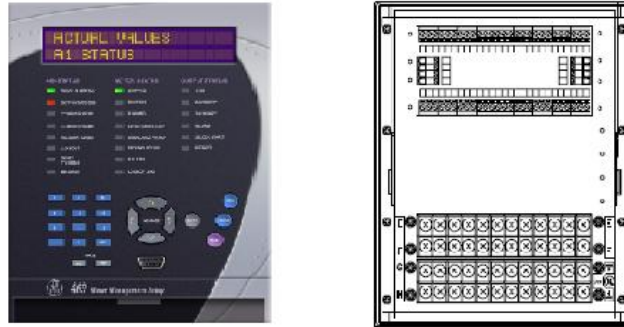


Figura A.2.6 Vista frontal y trasera del 469.



Figura A.2.7 Pantalla LCD del módulo 469 con datos de corriente.

A.3 Configuración PLC

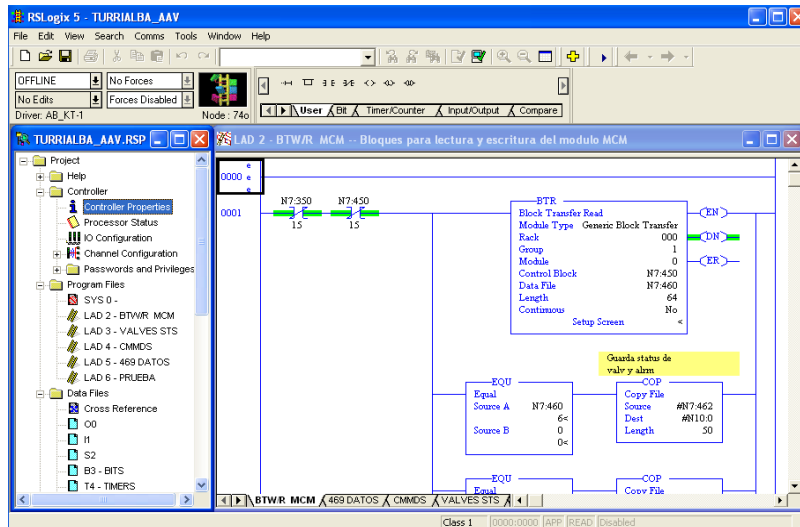


Figura A.3.1 Ambiente de programación RSLogix5.

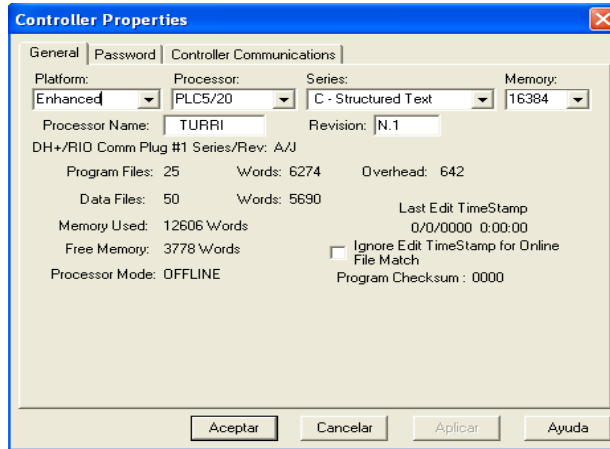


Figura A.3.2 Propiedades del controlador.

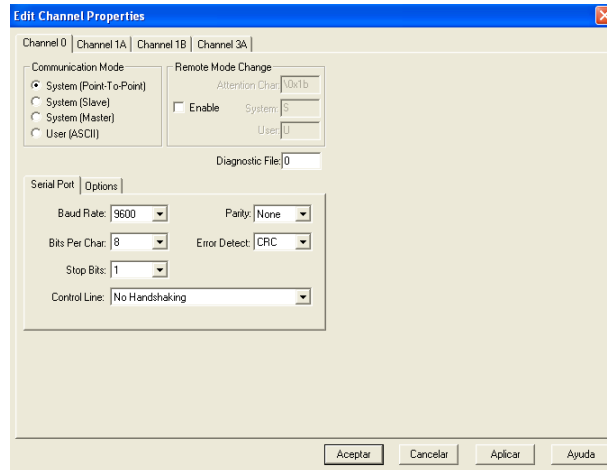


Figura A.3.3 Configuración canal del sistema punto a punto.

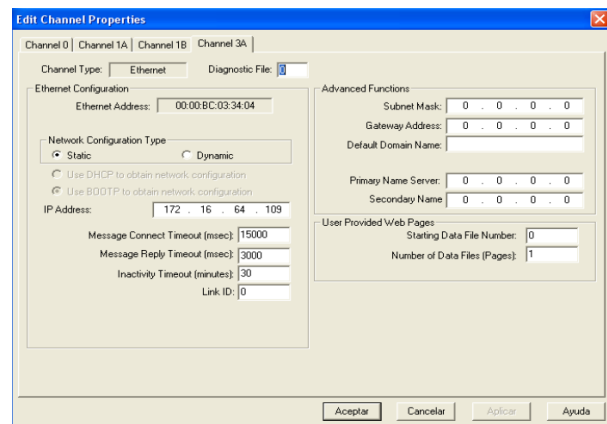


Figura A.3.4 Configuración módulo Ethernet 1785-ENET.

A.4 Programación 469

El módulo 469 se puede programar para que funcione según las preferencias y necesidades, este trae cantidad de opciones sin embargo se muestran las que se relacionan con este proyecto en la tabla a continuación.

Tabla A.4.1 Configuración del módulo 469.

469 Setup Preferences	Valor
Default message cycle time	2.0 s
Default message timeout	300 s
Average motor load calculation period	15 min
Display update interval	0.4 s
System Setup Current Sensing	
Phase CT primary	600 A
Motor Full load amperes	314 A
System Setup Voltage Sensing	
Voltage transformer connection type	Open delta
Voltage transformer ratio	3.54:1
Motor nameplate voltage	480 V
System Setup Power system	
Nominal system frequency	60 Hz
System phase sequence	ABC
System Setup Reduced Voltage	
Reduced voltage starting	On
Control relay for reduced voltage starting	Auxiliary 3
Transition on	Current or timer
Reduced voltage start level	110% FLA
Reduced voltage start timer	9s
Incomplete sequence trip relays	Trip & Aux
Motor Starting Acceleration Timer	
Acceleration Timer Trip	Latched
Acceleration Timer Trip Relays	Trip & Aux 2

Acceleration Timer from Start	15.0 s
-------------------------------	--------

A.5 Pantallas desarrolladas en RSVIEW32

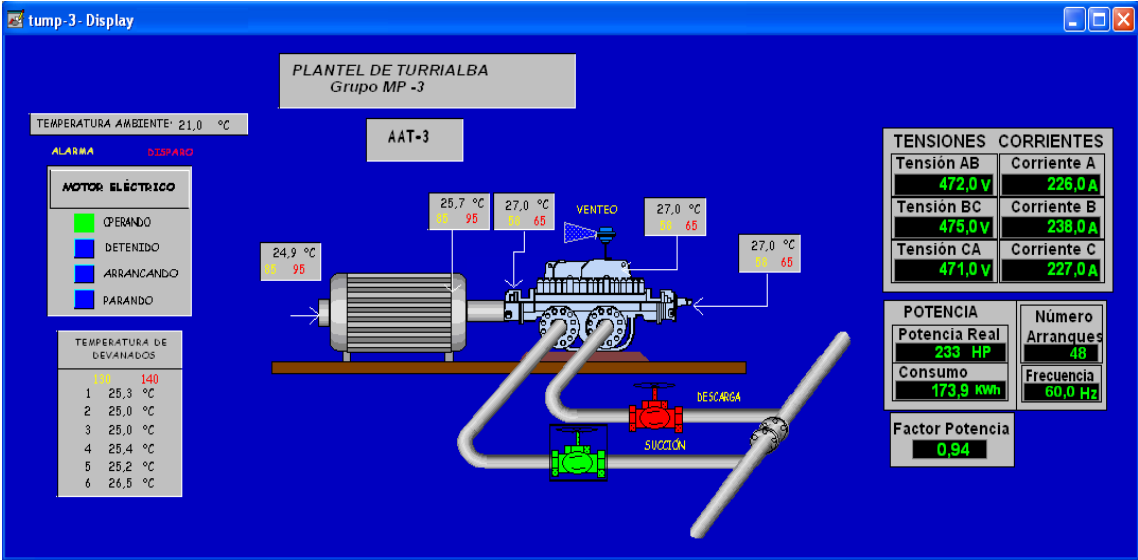


Figura A.5.1 Pantalla de los motores con sus respectivos parámetros.

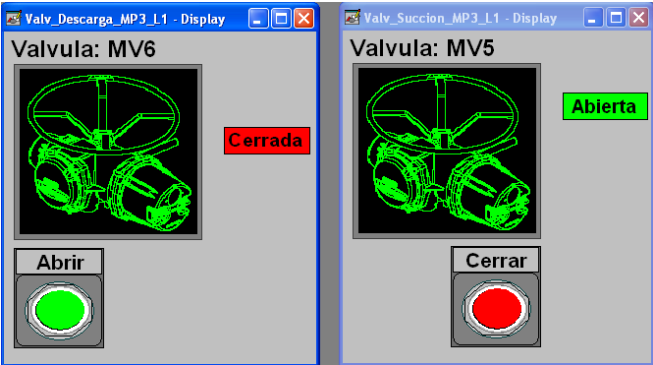


Figura A.5.2 Pantalla de las válvulas para cambiar su estado.

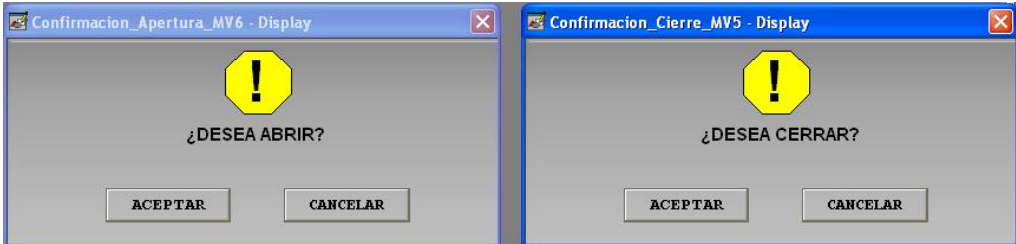


Figura A.5.3 Pantalla de confirmación para las válvulas del MP-3.

Anexos

B.1 Formatos de los datos

Al obtener los datos de lectura del dispositivo, estos vienen con diferentes formatos según el parámetro que sea. Por lo tanto se adjunta a continuación los formatos utilizados de la tabla de memoria Modbus de 469 Motor Management Relay.

	CODE	TYPE	DEFINITION
Potencia Real Tensiones de fase Numero de arranques	F1	16 bits	UNSIGNED VALUE
		Example: 1234 stored as 1234	
	F2	16 bits	UNSIGNED VALUE, 1 DECIMAL PLACE
		Example: 123.4 stored as 1234	
Frecuencia	F3	16 bits	UNSIGNED VALUE, 2 DECIMAL PLACES
		Example: 12.34 stored as 1234	
Corrientes	F9	32 bits	UNSIGNED LONG VALUE
		1st 16 bits	High Order Word of Long Value
		2nd 16 bits	Low Order Word of Long Value
		Example: 123456 stored as 123456 (i.e. 1st word: 0001 hex, 2nd word: E240 hex)	
Consumo	F17	32 bits	UNSIGNED LONG VALUE, 3 DECIMAL PLACES
		1st 16 bits	High Order Word of Long Value
		2nd 16 bits	Low Order Word of Long Value
		Example: 123.456 stored as 123456 (i.e. 1st word: 0001 hex, 2nd word: E240 hex)	
Factor Potencia	F21	16 bits	2's COMPLEMENT SIGNED VALUE 2 DECIMAL PLACES (Power Factor)
		< 0	Leading Power Factor - Negative
		> 0	Lagging Power Factor - Positive
		Example: Power Factor of 0.87 lag is used as 87 (i.e. 0057)	
Estatus del Motor	F133	Unsigned 16 bit integer	MOTOR STATUS
		0	Stopped
		1	Starting
		2	Running
		3	Overloaded
	4	Tripped	

Figura B.1.1 Formato de datos.

B.2 Figuras con diagramas y hardware para la comunicación

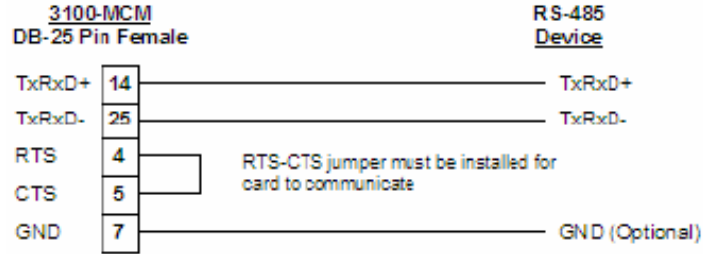


Figura B.2.1 Conexión de dos cables del puerto para RS-485. [8]

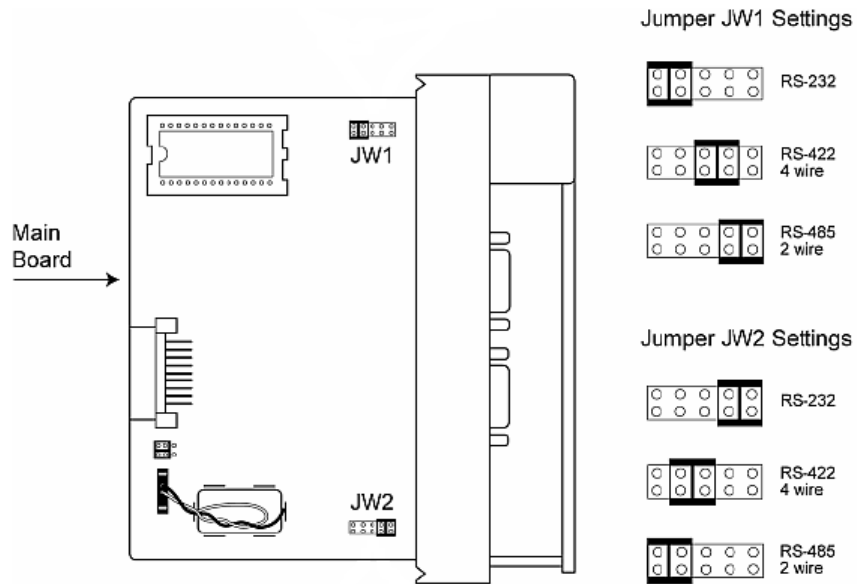


Figura B.2.2 Configuración de los jumpers para RS-485. [8]



Figura B.2.3 CentreCOM AT-210T.

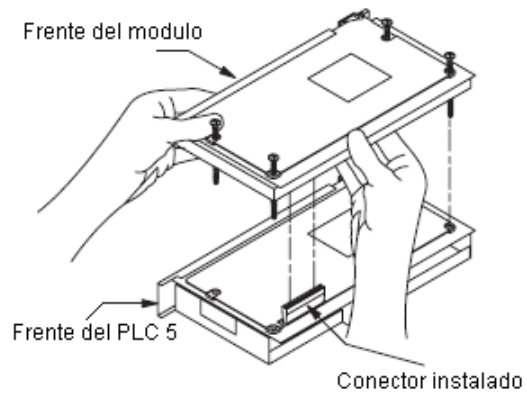


Figura B.2.4 Conexión del PLC 5 con el módulo 1785-ENET. [9]



Figura B.2.5 Cable par trenzado categoría 5.



Figura B.2.6 Cable Belden 9463 Blue Hose.



Figura B.2.7 Cable Belden M 9318.

Fórmulas

$$V_{an} = V_{\theta} \angle 0^{\circ} \quad (1)$$

$$V_{bn} = V_{\theta} \angle -120^{\circ} \quad (2)$$

$$V_{cn} = V_{\theta} \angle -240^{\circ} \quad (3)$$

$$I_a = I_{\phi} \angle 0^{\circ} \quad (4)$$

$$I_b = I_{\phi} \angle -120^{\circ} \quad (5)$$

$$I_c = I_{\phi} \angle -240^{\circ} \quad (6)$$

$$I_L = I_{\phi} \quad (7)$$

$$V_L = \sqrt{3}V_{\theta} \quad (8)$$

$$n_{sinc} = \frac{120 f_e}{P} \quad (9)$$

$$f_r = \frac{P}{120} (n_{sinc} - n_m) \quad (10)$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{EH}}{\omega_{sinc}} \quad (11)$$

$$R_1 = \frac{V_{CD}}{2I_{CD}} \quad (12)$$

$$Z_{eq} = \frac{V_{\theta}}{I_{1,SC}} \sim X_1 + X_M \quad (13)$$

$$Z_{RB} = \frac{V_{\theta}}{I_1} = \frac{V_T}{\sqrt{3}I_L} \quad (14)$$

$$FP_{RB} = \cos \theta = \frac{P_{ent}}{\sqrt{3}I_L V_T} \quad (15)$$

$$Z_{RB} = R_{RB} + jX'_{RB} \quad (16)$$

$$R_{RB} = R_1 + R_2 \quad (17)$$

$$X_{RB} = X_1 + X_2 \quad (18)$$

$$\frac{V_P(t)}{V_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a \quad (19)$$

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{N_C}{N_{SE} + N_C} \quad (20)$$

$$\frac{I_B}{I_A} = \frac{N_{SE} + N_C}{N_C} \quad (21)$$