

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Refinería Costarricense de Petróleo

RECOPE

“Diseño e implementación de un sistema alternativo capaz de controlar presión, caudal y succión en el oleoducto para RECOPE”.

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el Grado de Bachiller en
Ingeniería Electrónica**

Ingrid Otero González

Cartago, 2001

Dedicatoria

Si en mis manos estuviera entregarte el mundo lo haría.

*Si mi pequeñez no fuese notoria alcanzaría una estrella y te la regalaría como
símbolo de amor y agradecimiento.*

*Si todos los años entregados tuvieran un precio, creo que no podríamos estar
caminando de lado como lo hacemos ahora.*

*Tu entrega me hace merecedora del éxito y tu amor me da la fuerza necesaria para
seguir por su camino.*

Porque me enseñas a valorar el momento.

Porque tienes confianza en mí, en el valor que poseo.

*Porque tu valentía me muestra que sólo hace falta coraje para realizar con éxito una
labor.*

*Pero sobre todo por mostrarme que el éxito está en mi interior, en mi corazón y en mi
alma, que es lo único por lo que vale la pena darlo todo.*

A ti, mi amor, porque el éxito es todo tuyo al regalarme el don de la vida.

Agradecimientos

Agradezco en primera instancia a mi amigo celestial, por sujetar mi mano en esta inmensa travesía. Por estar a mi lado a cada instante y por hacer posible el milagro del amor.

Agradezco al personal de la Unidad de Instrumentación por hacer mío el conocimiento y la experiencia con que cuenta cada una de las personas que labora allí.

A mis compañeros de carrera por regalarme tantos y tan buenos momentos, sin los cuales esto no sería posible.

A mi familia incondicional por enseñarme el valor del desprendimiento. Por demostrarme que los lazos van más allá de la sangre y por preocuparse sinceramente ante la aparición de cada obstáculo.

A mis amigos de siempre... mi mejor bastón.

A Heme, recuerda que ese cielo es por el que vamos las dos y que sin vos, esto no tendría sentido.

A las pirulinas del 12, por cada sonrisa, por cada palabra de aliento y por añorar mi compañía. Gracias por permitirme conocerlas.

Y a vos, Ale, por cada segundo de mi sueño y por hacer de mí una persona mejor.

RESUMEN

El adecuado control de la cantidad de combustible que se envía o se recibe por el oleoducto de la Refinadora Costarricense de Petróleo, permite disminuir las pérdidas que se producen al detener el proceso de bombeo de los diferentes productos.

Este proceso de control es efectuado por el controlador modular MICRO DCI™ y por la conexión de éste con las válvulas o con los motores de bombeo de frecuencia variable. Dicha conexión es posible por el controlador lógico programable al que ambos están conectados. Al fallar el controlador modular se debe paralizar el proceso de bombeo de combustible.

El objetivo del proyecto fue el desarrollo de otro sistema que permitiera llevar a cabo el proceso de control de las variables del oleoducto desde una computadora, que se ejecutara sobre una plataforma de monitoreo de procesos industriales llamada RSView32, y que usara la red de área local industrial DH+ para conectar a la computadora con el controlador lógico programable de la válvula o del motor de bombeo de frecuencia variable. Además el sistema debía contar con la misma presentación física y con las mismas opciones que posee el controlador modular MICRO DCI™. Este objetivo fue alcanzado al finalizar el proyecto.

Dentro de las principales actividades que se desarrollaron en el proyecto se encuentra el estudio del funcionamiento de las válvulas y de los motores de bombeo de frecuencia variable, el aprendizaje de la programación de los controladores lógicos programables y de la plataforma de monitoreo RSView32. Además de la investigación del estándar de comunicación DH+.

Palabras claves: Controlador modular MICRO DCI™; RSView32; RECOPE; controlador lógico programable; DH+; válvulas; motores de bombeo de frecuencia variable, proceso de control.

ABSTRACT

The right fuel quantity control that is sent or received by pipeline of Refinadora Costarricense de Petróleo; allows to diminish the losses that are generated when the bombing process of different products are stopped.

This control process is made by MICRO DCI™ modular controller and its connection with the valves or with variable frequency bomb motors. That connection is possible using a programmable logical controller. When the modular controller fails the fuel bomb process has to be stopped.

The purpose of the project was to develop another system that allow the control the process from a computer. This system runs over a monitor platform of industrial process called RSView32, and use the industrial local area network (LAN) DH+ to connect the computer with the programmable logical controller of the valve or the variable frequency bomb motor. Also, the system must to be a mirror of the existing controller, the same options and the same physical presentation. This was achieved at the end of the project.

The main activities developed in the project were analysis of valve operation and the study of bomb motors operation; the learning of programmable logical controller programming, language and the monitor platform RSView32 and the research of DH+ standard.

Key words: MICRO DCI™ modular controller; RSView32; Programmable logical controller; valves; bomb motors; control process.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Descripción de la empresa	2
1.1.1 Descripción general	2
1.1.2 Descripción del Departamento	4
1.2 Definición del problema y su importancia	5
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
Capítulo 2: Antecedentes	10
2.1 Estudio del problema a resolver	11
2.2 Requerimientos de la empresa	17
2.3 Solución propuesta	19
Capítulo 3: Procedimiento metodológico	22
Capítulo 4: Descripción del hardware utilizado	25
4.1 Controlador lógico programable	26
4.2 Red DH+	30
Capítulo 5: Descripción del software del sistema	31
5.1 RSView32	32
5.1.1 RSView32 Works	32
5.3 RSLinx	35
5.3.1 RSLinx Lite	36
5.3.2 RSWho	36
Capitulo 6: Análisis y resultados	37
6.1 Explicación del diseño	38
6.1.1 Proceso general	38
6.1.3 Definición del programa del controlador lógico programable para ejecutar procedimiento de control	46
6.2 Alcances y limitaciones	49

capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	50
7.1 Conclusiones	51
7.2 Recomendaciones	52
Bibliografía	53
Apéndices	55
Apéndice 1. Antecedentes teórico - prácticos	56
a) MICRO-DCI™, Controlador Modular	56
b) Válvulas Fisher	61
c) Motores variadores de frecuencia	63
Apéndice 2. Interfaces gráficas del sistema diseñado en RSView32	65
Apéndice 3. Programación en escalera	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fotografía de los transductores de presión de descarga y de presión de succión	6
Figura 1.2 Proceso de control establecido en los planteles de RECOPE	7
Figura 2.1 Dibujo de la vista frontal de un Controlador Modular Micro-DCI™	12
Figura 2.2 Fotografía del motor de bombeo de frecuencia variable utilizado en el plantel de Moín para el bombeo de producto.	13
Figura 2.3 Fotografía de la válvula Fisher de control utilizada en el plantel del Alto de Ochomogo.	14
Figura 2.4 Fotografía del controlador lógico programable utilizado en el diseño del sistema de control.	16
Figura 2.5 Diagrama de bloques de la solución propuesta por la empresa	21
Figura 4.1. Imagen de la vista frontal de un controlador lógico programable PLC-5/20	26
Figura 4.2. Proceso de comunicación entre el procesador y el módulo analógico	29
Figura 5.1 Icono encontrado en Windows para acceso directo de RSView32 Works	32
Figura 5.2 Icono encontrado en Windows para acceso directo de RSLogix5	33
Figura 5.3. Pantalla del editor de programas para controladores lógicos programables Allen Bradley, RSLogix5	34
Figura 5.4 Icono encontrado en Windows para acceso directo de RSLinx	35
Figura 6.1. Diagrama de flujo general	39
Figura 6.2 Diagrama de flujo del manejo de opciones del controlador para cada variable	45
Figura 6.3. Diagrama de flujo de control	46
Figura 6.4 Dibujo de un proceso de control de lazo cerrado con retroalimentación	47
Figura A1.1 Dibujo de la vista frontal del Controlador modular MICRO-DCI™	56
Figura A1.2 Fotografía de la válvula Fisher de control utilizada en el plantel del Alto de Ochomogo.	62
Figura A1.3 Fotografía del motor de bombeo de frecuencia variable utilizado en el plantel de Moín para el bombeo de producto	64

Figura A2.1 Pantalla de inicio del sistema de control PID implementado en RSVIEW32	65
Figura A2.2 Pantalla de interfaz de control de la variable de succión	66
Figura A2.3 Pantalla resumen del estado de la succión, descarga y caudal.	67
Figura A3.1 Ejemplo de programación usando lógica de escalera	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Requerimientos de la empresa	18
Tabla 4.1	Tipos de datos existentes en la memoria del controlador lógico programable 5/20	27
Tabla A3.1	Instrucciones básicas de un controlador lógico programableC típico	69

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la empresa

1.1.1 Descripción general

La Refinadora Costarricense de Petróleo, RECOPE, es la empresa que se encarga de refinar, transportar y comercializar a granel el petróleo y sus derivados, siguiendo la política de abastecer el producto con calidad y seguridad. Para ese fin se requiere mantener y desarrollar las instalaciones adecuadas para poder llevar a cabo su función. A esto se le aúne la necesidad imperiosa de ejercer, en la medida en que corresponda, previa autorización de la Contraloría, los planes de desarrollo del sector energía, conforme al Plan Nacional de Desarrollo.

Inicialmente, en el año 1961 un grupo de costarricenses fundó la sociedad anónima “Refinadora Costarricense de Petróleo S.A.”, previendo la posibilidad de fundar una refinadora de este tipo en el país presentaron ante el Ministerio de Industria una propuesta, que terminó siendo aprobada mediante la Ley 3126. Así fue como se construyó el primer plantel de la refinadora en el puerto de Limón, el cual contaba con una capacidad de 795 m³. Posterior a eso, se empezó a construir planteles y oleoductos que permitieran el transporte del petróleo y sus derivados.

Hoy, RECOPE cuenta con un oleoducto que traslada los productos terminados de la refinería a las distintas terminales, recorriendo un trayecto de aproximadamente 352km y sus planes de crecimiento y modernización se hacen cada vez más frecuentes, con el fin de abastecer el producto con calidad y seguridad.

Un 68% de los ingresos de la empresa se destinan a la compra de hidrocarburos en el exterior (crudo y productos terminados) y comercializa el 70% de la energía que demanda Costa Rica. Esto convierte a RECOPE en una de las instituciones más importantes para el desarrollo nacional.

1.1.2 Descripción del Departamento

La Unidad de Instrumentación, adscrita al Departamento de Mantenimiento de la Gerencia de Distribución, tiene como misión principal el mantener en óptimas condiciones de operación, y en su mayor grado de eficiencia los equipos de instrumentación y sistemas de medición que utiliza la red de oleoductos y planteles de distribución de RECOPE, así como de colaborar en los procesos de modificación y mejora de los sistemas existentes.

1.2 Definición del problema y su importancia

El mantener el control sobre la presión en el oleoducto, es una de las tareas de importancia en cada uno de los planteles pertenecientes a la Refinadora Costarricense de Petróleo.

El bombeo del producto se inicia en el plantel de puerto Moín, pasando luego a los diferentes planteles. Al entrar a un determinado plantel por las líneas, el producto tiene una presión de succión característica, a la cual hay que prestarle atención especial, ya que si supera un nivel umbral ya establecido, podría dañar dispositivos existentes en la tubería.

La cuantificación de la presión en la tubería se realiza mediante transductores de 4-20mA que entregan una proporcionalidad en bares de presión. Esto es, si el transductor es de 100 bares¹, entrega 4mA en proporción a la presión mínima y 20mA en proporción a 100 bares como presión máxima, escalando el valor de la presión en el rango de 4-20mA. En la figura 1.1 se muestran estos transductores.

El producto ingresa al plantel con una presión de succión determinada, continúa su recorrido, ya sea que se bombee a otro plantel o que se distribuya a los tanques. Sin embargo antes de continuar con el recorrido la variable de succión debe ser controlada para que la presión de descarga esté regulada y no se produzcan daños.

¹ Unidad de medida para la presión, ya sea de succión o de descarga

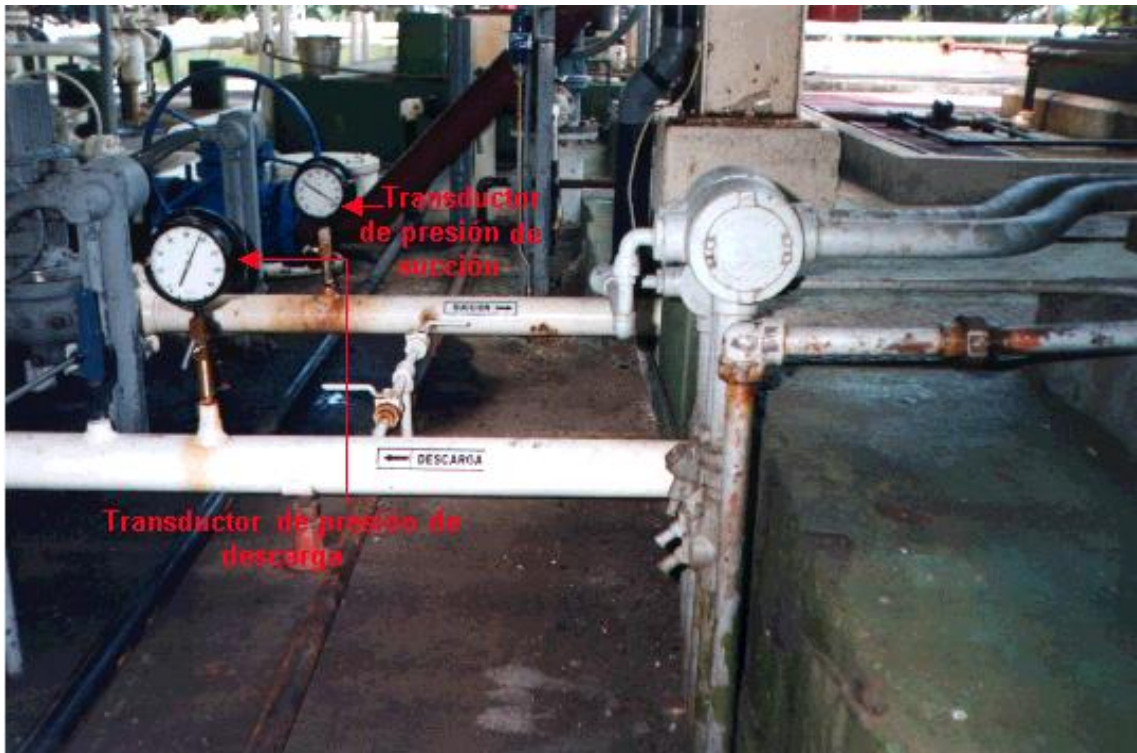


Figura 1.1 Fotografía de los transductores de presión de descarga y de presión de succión

En la figura 1.2 el ingreso del producto al plantel, está señalado por una flecha en la parte inferior. El producto pasa por un transductor que entrega una señal analógica al dispositivo controlador, esta señal es la presión de succión del producto, por ende una de las señales de entrada del sistema y la variable de proceso de interés.

Luego las variables son reguladas por un motor de bombeo o por una válvula, como ya se ha dicho, pasando a un segundo transductor. Este transductor entrega la señal analógica concerniente a la presión de descarga del producto al controlador.

Si se le aúne la señal de flujo o caudal se tiene un proceso de control de tres lazos. La guía de control va a ser por supuesto la variable crítica o aquella que se encuentre cerca de los umbrales, en este caso la presión de succión.

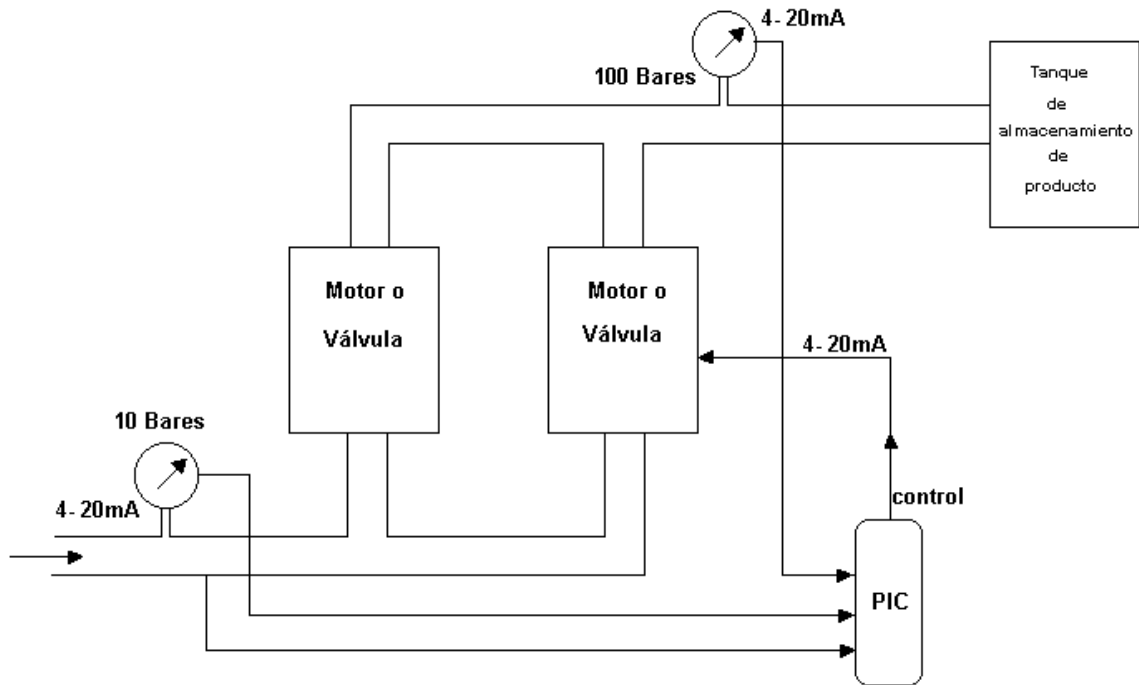


Figura 1.2 Proceso de control establecido en los planteles de RECOPE

Entonces si la succión aumenta, con respecto a un punto determinado, se debe buscar disminuirla para que no se sobrepase ese punto. Si por el contrario disminuye, entonces se busca un aumento. Lo anterior se logra inyectando corriente en un rango de 4-20mA a una válvula(o motor de bombeo), esta abre o cierra en proporción a la señal de control.

Cuando el dispositivo de control se daña se paraliza la producción en esa línea y por ende se producen pérdidas económicas para la empresa.

Se requiere entonces un sistema de control capaz de realizar las mismas funciones del dispositivo controlador existente pero implementado en software que pueda entrar en funcionamiento cuando se le indique.

El usuario da la orden de activar sistema de control mediante la computadora, donde un programa con interfaz amigable le permite la fácil manipulación del nuevo sistema.

RECOPE pasa por una transición en sus procesos de automatización. Actualmente estos procesos están manejados por ControlView, un software regido por DOS. Con la incursión del ambiente Windows y del fácil manejo de este, se presenta la necesidad de un software regido por este ambiente, siendo el elegido RSView32. RSView32 posee una gran cantidad de herramientas en aplicaciones de Windows que lo hace adecuado para los propósitos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema alternativo con el cual se puedan controlar las variables de presión de descarga, caudal y presión de succión del oleoducto, mediante el uso de la computadora y su respectiva comunicación con un controlador lógico programable Allen Bradley para disminuir el tiempo muerto en una tubería en RECOPE.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Elaborar un marco teórico a partir de la información concerniente a controladores PID.
- b. Elaborar un resumen sobre el cómo funcionan las válvulas y los motores de bombeo en un plantel de distribución de RECOPE.
- c. Esquematizar aspectos importantes de la programación de controladores lógicos programables Allen Bradley.
- d. Hacer un resumen de las herramientas que posee RSView para la comunicación con los controladores lógicos programables Allen Bradley.
- e. Simular mediante un programa en el controlador lógico programable las entradas y salidas que se pueden presentar en el proceso de control de una válvula.
- f. Diseñar el software, en RSView, necesario para controlar las variables del oleoducto.
- g. Implementar el programa diseñado en la computadora.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Estudio del problema a resolver

El oleoducto de la Refinadora Costarricense de Petróleo 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 sola tubería une a todos los planteles, iniciando la distribución en el plantel existente en Limón que es donde se recibe el crudo del exterior. De ahí es bombeado a los otros planteles usando las estaciones de bombeo citadas anteriormente.

Durante la travesía del producto al plantel destino, algunos parámetros del oleoducto, como es el caso de la presión de succión del producto (gasolina, diesel, o cualquier otro derivado del petróleo), se ve afectada a causa de factores físicos como el cambio de altura que se presenta al pasar de un lugar a otro, el clima, la temperatura, entre otros.

Al llegar el producto al plantel podría causar daños en los diferentes dispositivos de “recepción de producto”, los cuales trabajan en un rango máximo permisible que de ser rebasado causaría destrucción del dispositivo. Con el fin de evitar esos daños se debe controlar la presión de succión del producto.

Para controlar la variable de proceso enunciada se utiliza un controlador PID que constituye un dispositivo electrónico cuya función es la generación de señales analógicas encargadas de mantener estables (dentro de un rango de operación) los parámetros del oleoducto. En la figura 2.1 se presenta un dibujo de la vista frontal del controlador PID ó Controlador Modular Micro-DCITM, el cual es un controlador de tres lazos, esto quiere decir que intervienen tres variables del oleoducto, la presión de succión, el caudal y la presión de descarga del producto.

Sin embargo como se ha venido citando con anterioridad, la salida de control está determinada por el parámetro crítico que en este caso resulta ser la presión de succión del producto.

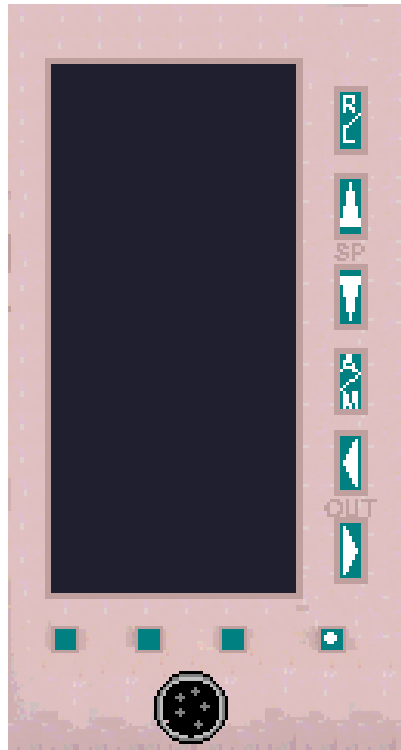


Figura 2.1 Dibujo de la vista frontal de un Controlador Modular Micro-DCI™

El controlador PID es utilizado en RECOPE para controlar dos dispositivos en el oleoducto, el primero lo constituyen una serie de válvulas que se abren o se cierran según se requiera y el segundo se refiere al control de un motor de bombeo de producto.

La ubicación de válvulas o de motores de bombeo en los diferentes planteles depende de si se quiere bombear o recibir producto. Si se quiere enviar producto de un plantel a otro, de Limón a Siquirres por ejemplo, se debe utilizar un motor de bombeo. Pero si lo que se quiere es recibir producto se coloca una válvula, que simplemente regule la entrada de producto al plantel.

En el plantel de puerto Moín se controla el motor de bombeo de frecuencia variable que se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Fotografía del motor de bombeo de frecuencia variable utilizado en el plantel de Moín para el bombeo de producto.

El proceso de control del motor consiste en mantener estable la variable de proceso (presión de succión del producto). Para esto, la corriente de salida del controlador aumenta o disminuye la frecuencia del motor.

El proceso de control del motor de bombeo de frecuencia variable es proporcional directo, esto quiere decir que si se desea disminuir la presión de succión del producto bombeado se debe disminuir la corriente de salida del controlador, y si lo que se quiere es aumentar la presión de succión del producto, entonces lo que se debe hacer es aumentar la corriente de salida del controlador.

En el plantel del Alto de Ochoмого el Controlador Modular Micro-DCI™ se utiliza para abrir o cerrar válvulas, en un proceso de control proporcional inverso. Si aumenta la presión de succión del producto entrante, sobrepasando el rango máximo permisible, se disminuye el valor de la corriente de salida del controlador modular haciendo que la válvula cierre y manteniendo a la variable de proceso en el rango deseado. De igual manera, hay una acción correctiva, abriendo la válvula si se presenta una disminución de la presión de succión del producto.

En la figura 2.3 se muestra la válvula a ser controlada en el plantel del Alto de Ochoмого. La fotografía muestra en primer plano a la válvula de control, con un color verde agua característico.



Figura 2.3 Fotografía de la válvula Fisher de control utilizada en el plantel del Alto de Ochoмого.

El problema de utilizar sólo el controlador modular para el control de las variables del oleoducto se presenta cuando el dispositivo controlador sufre un desperfecto ocasionando la paralización de la operación del oleoducto y por lo tanto del transporte del producto. Esto produce pérdidas a la empresa, en tiempo, en dinero y en eficiencia. Pérdidas en tiempo porque al fallar el controlador se paraliza el transporte del producto de un plantel a otro. Pérdidas en dinero porque si no hay transporte de producto, no hay producto para comercializar. Pérdidas en eficiencia porque no se tiene un buen funcionamiento del plantel.

Por todo lo anterior, resulta que es necesario para la empresa contar con un sistema alternativo o sea otro sistema que realice el control de las válvulas y de los motores, lo que permitiría la continuidad del proceso de manejo del oleoducto al disponer de un cambio de sistema de control.

El sistema diseñado en este proyecto, cuenta con las mismas opciones de control del dispositivo existente. Estas opciones son: configuración remota o local, aumentar el punto de referencia, disminuir el punto de referencia, configuración automática o manual, aumento manual de la salida, disminución manual de la salida, ver pantalla de caudal, ver pantalla de presión de succión, ver pantalla de presión de descarga o ver pantalla de estado de todas las variables.

Mediante la comunicación de la computadora con el controlador lógico programable mostrado en la figura 2.4, se pueden producir las señales analógicas necesarias para el manejo de los motores de bombeo.

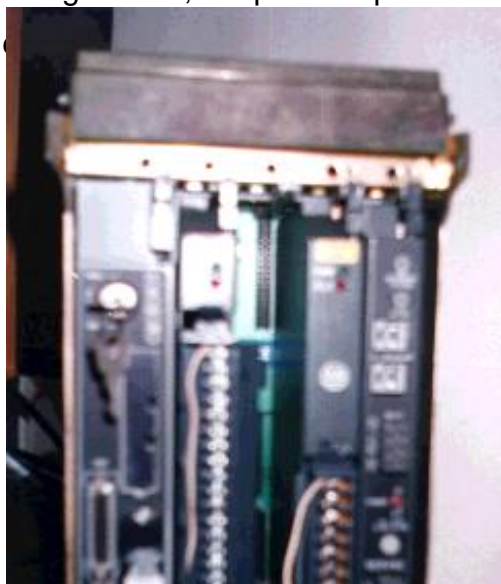


Figura 2.4 Fotografía del controlador lógico programable utilizado en el diseño del sistema de control.

En el sistema de control diseñado en este proyecto, se utiliza un lenguaje de alto nivel, el RSView. El RSview32 es un software basado en Windows, por lo que facilita el uso de herramientas de dicho ambiente, como copiar, cortar, pegar, entre otras. Además RSView32 es sumamente efectivo en la creación y puesta en marcha de aplicaciones en adquisición de datos, monitoreo y control, al permitir la creación de una interfaz humano - máquina que incluye despliegues gráficos animados en tiempo real, resúmenes de alarmas e informes. Con la ventaja adicional de que RSView tiene facilidades de comunicación con los controladores lógicos programables Allen Bradley. Es por las ventajas que ofrece, que se escogió RSView32 para el diseño del nuevo sistema de control.

Con el desarrollo del proyecto la empresa espera poder contar con un dispositivo de control opcional que puedan utilizar cuando falle el controlador modular ya existente.

2.2 Requerimientos de la empresa

El software de control debe utilizar RSview32 para monitorear las variables del proceso. Esto se debe a que Rsviiew32 se está instalando como nueva plataforma para los sistemas de RECOPE.

Se debe utilizar la red DH+ que es el protocolo de comunicación seguido para la comunicación del controlador lógico programable y la computadora que posee el nuevo sistema de control.

El software de control debe tener una interfaz amigable con el operador. RSview32, tiene herramientas para el despliegue gráfico que pueden ser utilizadas con facilidad y que permiten diseñar la interfaz deseada.

La señal de activación del sistema alternativo es dada por el operario desde su computadora, ya que el programa diseñado cuenta con esa opción. Esto es posible porque RSview32 permite escribir ordenes al controlador lógico programable desde la computadora.

Todos los pasos de control son monitoreados desde la computadora.

Se implementa una interfaz similar a la que el operador conoce con el dispositivo de control electrónico, manejando los botones para insertar parámetros de control como lo es el punto de referencia, o para elegir si el control es manual o automático, para pasar de menú a menú, entre otras.

En la tabla 2.1 se muestra un resumen de los requerimientos de la empresa con respecto a los resultados del proyecto.

Tabla 2.1 Requerimientos de la empresa

1	Usar RSview32.
2	Usar la red DH+.
3	Tener una interfaz amigable.
4	Dar la orden de activar sistema desde la computadora.
5	Monitorear el controlador.

2.3 Solución propuesta

Para llevar a cabo el control de la presión, caudal y succión en el oleoducto, se pretende que desde la computadora instalada en la estación sea dada la señal analógica de manejo, o de inicio de operación del software de control, de tal forma que en el momento en el que se da la orden desde la computadora se empiece a controlar sólo mediante el software y el controlador colocado en la tubería deje de funcionar, esto debido a que el dispositivo de control existente se va a seguir utilizando en el proceso de control normal.

Una vez indicado el cambio de sistema utilizado para el control en la tubería, se da una continua comunicación entre la computadora y el controlador lógico programable Allen Bradley. A través de comandos específicos se realizan las tareas de control determinadas en dispositivos tales como válvulas o motores de bombeo según sea lo existente en el plantel.

El controlador lógico programable toma y entrega información de la interfaz creada en RSView32 para que se hagan las modificaciones correspondientes en cuanto a configuraciones o en cuanto a aumento o disminución de parámetros como la salida o el punto de referencia, puesto que es a partir de esa información que se realiza el proceso de control.

La idea es tener el control de las variables del oleoducto para lograr un excelente mantenimiento de los dispositivos existentes en la tubería.

El software que se debe instalar en la computadora debe ser en ambiente Windows, por lo tanto se pretende usar el lenguaje RSView32 para su desarrollo. Esto por la simple razón de que este software tiene una gran capacidad para comunicarse con los controladores lógicos programables Allen Bradley.

La conexión entre la computadora y el controlador lógico programable se hará utilizando la red DH+ de Allen Bradley que es un protocolo ya establecido por la empresa.

En la figura 2.5 se muestra un diagrama de bloques que presenta la solución proyectada por la empresa. Primero se da una señal de inicio de sistema que indica al controlador lógico programable que hay un cambio en el sistema de control.

Mediante la comunicación entre dispositivos se da un proceso de adquisición de datos influenciado por las variables del oleoducto y por la respuesta de control. Finalmente estas señales de respuesta llevan a cabo la acción correspondiente, ya sea en las válvulas o en los motores de bombeo.

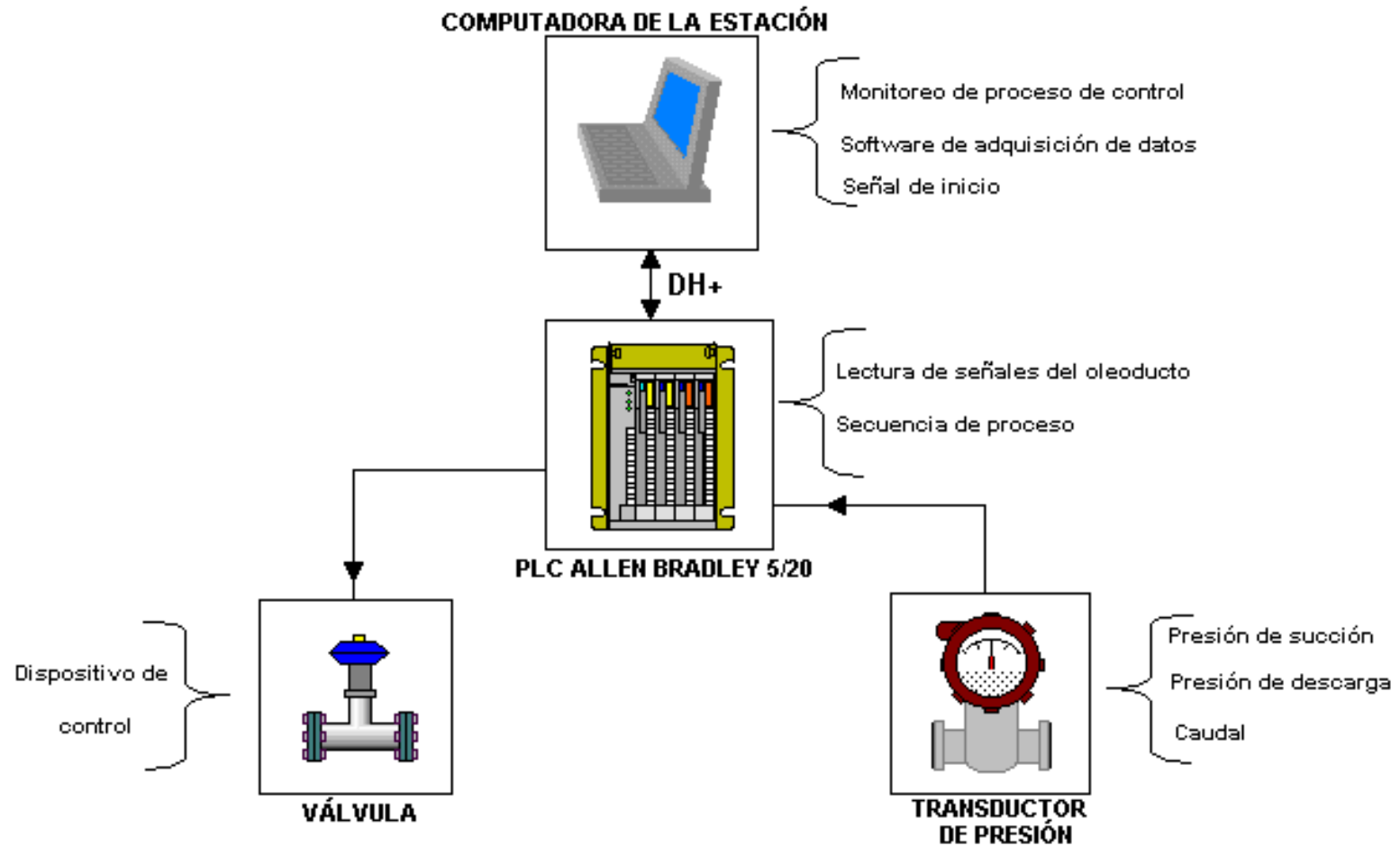


Figura 2.5 Diagrama de bloques de la solución propuesta por la empresa

CAPÍTULO 3
PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para alcanzar el cumplimiento de los objetivos se siguió el siguiente procedimiento metodológico:

1. Búsqueda de información

Este fue uno de los pasos fundamentales para la elaboración del proyecto, ya que se convirtió en la base del conocimiento necesario para elaborar la solución del problema presente en la empresa. Además a partir de esta información se llevó a cabo la elaboración del marco teórico del informe escrito del proyecto.

2. Diseño de programas en software

Una vez obtenida la información sobre los dispositivos que intervinieron en la elaboración del proyecto, se estuvo en capacidad de realizar programas que ejecuten las tareas que se deseaban, tales como el control de válvulas o como la generación de señales analógicas a partir de un controlador lógico programable.

3. Simulación de procesos

Posterior al diseño de los programas, se hizo necesario simular el proceso de control que se da en un oleoducto. Para esto se utilizaron los programas elaborados en el paso anterior. Es mediante esta simulación que se pudo probar si el diseño realizado funcionaba de la manera adecuada.

4. Rediseño

Después de realizar pruebas se descubrieron fallas del sistema diseñado, y así se procedió a rediseñar dicho sistema con el fin optimizar el desempeño que el mismo va a tener. En los casos en los que el sistema funcionaba adecuadamente, este paso se ignoraba.

5. Implementación

Una vez ejecutados los pasos anteriores se llevó a cabo el montaje del sistema completo y con la implementación se pudo elaborar la documentación correspondiente al proyecto.

CAPÍTULO 4
DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

4.1 Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable puede ser utilizado en un sistema que está diseñado para control centralizado o en un sistema que es diseñado para control distribuido. El control centralizado es jerárquico o un sistema estrella donde el control sobre el proceso entero está concentrado en un procesador de control, tal y como es el caso del presente proyecto. El control distribuido es un sistema en el cual las funciones de control y de manejo son expandidas a través de la planta. Múltiples procesadores manejan las funciones de control y manejo y usa sistemas de comunicación “Data Highway Plus” o buses.

El controlador lógico programable usado para realizar la prueba es un controlador lógico programable 5/20. En la figura 4.1 se observa la vista frontal de un controlador lógico programable de este tipo.



Figura 4.1. Imagen de la vista frontal de un controlador lógico programable PLC-5/20

El controlador lógico programable PLC-5/20 tiene una memoria de datos de 16 kbytes, dentro de la cual se encuentran diferentes tipos de datos estructurados tal y como se muestra en la tabla 4.1, incluyendo sus respectivas características.

El tener la posibilidad de manejar diferentes tipos de datos permite realizar cálculos con punto flotante o con enteros, verificar el estado del controlador lógico programable y del proceso, entre otros.

Tabla 4.1 Tipos de datos existentes en la memoria del controlador lógico programable
5/20

Descripción del archivo	Número (archivo predeterminado)
Imagen de salida O	0
Imagen de entrada I	1
Estado S	2
Bit (binario) B	3-999 (3)
Temporizador T	3-999 (4)
Contador C	3-999 (5)
Control R	3-999 (6)
Entero N	3-999 (7)
Punto flotante F	3-999 (8)
ASCII A	3-999
BCD D	3-999
Transf. en bloques BT	3-999
Mensaje MG	3-999

Se le aúne al PLC-5/20 la característica de poder ser utilizado en modo adaptador (esclavo), o en modo escáner (maestro).

Para la comunicación tiene un canal exclusivo para red DH+ y un puerto serie RS-232, RS-422 o RS-423.

El PLC-5/20 puede ser residente en un chasis de 4 ranuras (1771-A1B) o de 8 ranuras 1771-A2B, dependiendo de las necesidades.

El juego de instrucciones del controlador lógico programable cuenta con opciones para activar o desactivar relés, programar temporizadores y contadores. Existe la posibilidad de manejar instrucciones lógicas, instrucciones para cálculo y comparación, control de programa y transferencia de memoria por bloques, entre otras.

Al controlador lógico programable están conectados los módulos que reciben información necesaria para llevar a cabo el proceso de control. El primer módulo que interviene en el proceso es el de entradas analógicas. A este módulo se conecta la señal conocida como variable de proceso, succión. Además se recibe la señal cuantificadora de caudal y la de presión de descarga. Estas señales analógicas son corrientes que se encuentran en un intervalo de 4 a 20mA entregadas por transductores colocados en la tubería.

El otro módulo es también analógico, pero representativo de las señales de salida. Este va a entregar a las válvulas o a los motores de bombeo la señal de control procesada por el controlador lógico programable. Señal que también se encuentra en el rango de 4 a 20mA.

Para transferir la información desde estos módulos al controlador lógico programable, se utiliza la transferencia de memoria por bloques que está disponible en el PLC-5/20.

El procesador transfiere datos al módulo y del módulo usando las instrucciones BTW y BTR en el programa de configuración, tal y como se observa en la figura 4.2. Estas instrucciones permiten al procesador enviar valores de salida al módulo, estableciendo el modo de operación de los módulos y recibe a la vez la información de estado del módulo. La transferencia se ejecuta cada vez que el controlador lógico programable así lo solicite a los módulos.

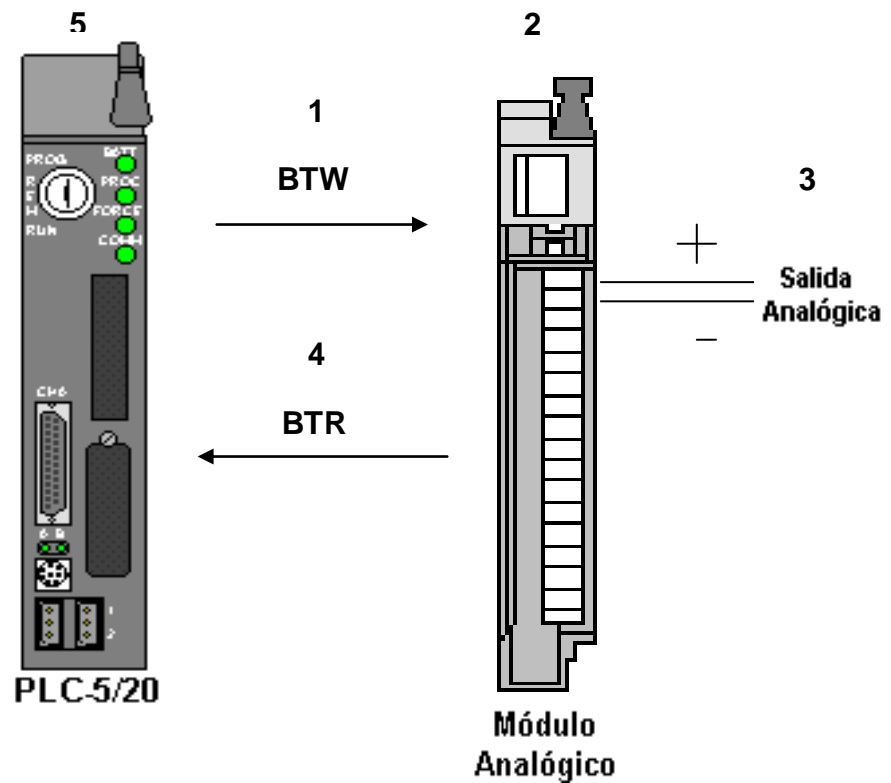


Figura 4.2. Proceso de comunicación entre el procesador y el módulo analógico

4.2 Red DH+

Los sistemas DH+ (Data Highway Plus) de Allen Bradley son redes de área local (LAN) industriales. Mediante estas redes se conectan controladores programables, estaciones de trabajo y otros dispositivos que puedan comunicarse e intercambiar datos entre ellos.

La interconexión de los dispositivos es llevada a cabo mediante un cable, que constituye el medio físico de transmisión de datos entre nodos. En las redes DH+ un nodo es una interfaz de hardware.

La red DH+ permite comunicaciones a velocidades de 57.6 k, 115.2 k y 230.4k baudios. El largo máximo del cable red es de 3048 m a 57.6k baudios².

La red es utilizada por los PLC de la serie 5 de *Allen Bradley* y por el SLC 5/04 para el monitoreo de datos y estado del proceso, también permite programar cualquier dispositivo conectado a la red desde una estación de trabajo.

La red DH+ usa el protocolo de paso del testigo (*token-passing*), para permitir que los nodos en la red transmitan mensajes por el cable. Con el protocolo de paso del testigo, solo el nodo que posee el testigo puede transmitir mensajes. Un nodo es el maestro durante todo el tiempo que posee el testigo.

El acceso en la red DH+ se hace de manera individual, de tal forma que si se produce un fallo en un módulo, los otros módulos continúan comunicándose en la red.

² Unidad de símbolo por segundo

CAPÍTULO 5
DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

5.1 RSView32

RSview32 es un software basado en Windows para creación y puesta en marcha de aplicaciones en adquisición de datos, monitoreo y control (SCADA³).

Diseñado para usar en ambientes Windows 2000, Windows NT y Windows 9x, contiene las herramientas necesarias para crear todos los aspectos de una interfaz humano - máquina (MHI), incluyendo despliegues gráficos animados en tiempo real, resúmenes de alarmas e informes.

Integra *Rockwell Software* y *Microsoft*, para maximizar el desempeño. Contiene editores para crear interfaces humano - máquina.

5.1.1 RSView32 Works



Figura 5.1 Icono encontrado en Windows para acceso directo de RSView32 Works

La figura 5.1 muestra el icono del editor de proyectos en RSView32.

RSView32 Works contiene editores para crear aplicaciones(interfaces) y el software para poner en marcha esas aplicaciones cambiando al modo runtime.

Con RSView32 se puede usar tecnología avanzada Visual Basic, conocido como un componente ActiveX, extendiendo capacidades, así como también se pueden utilizar herramientas de Microsoft como lo son las opciones de cortar y pegar.

Además posee una librería de gráficos y facilidad para importar archivos de otros paquetes de dibujo como el CorelDraw y el Adobe Photoshop.

³ Siglas de *Supervisory Control and Data Acquisition*, Control de Supervisión y Adquisición de Datos

Esto con el propósito de elaborar un despliegue gráfico que represente la vista operativa de una actividad de planta, en este caso el control de la presión de succión.

El despliegue gráfico se crea mediante un editor gráfico que puede plasmar desde figuras geométricas hasta figuras importadas, asignándoles control en caso de ser requerido. El tipo de control referido trata de animación ligada con una acción del proceso, cambio de apariencia del valor, enlace de una tecla o botón del ratón para desarrollar una acción.

La más importante característica de RSView32 es que importa información (base de datos) de un controlador lógico programable usando el controlador lógico programable Database Browser. RSView32 usa una conexión directa con los manejadores en RSLinx.

En este software se pueden usar las alarmas monitoras de incidentes de proceso, para que con ellas se tomen acciones correctivas en el proceso.

RSView32 crea direccionamientos que muestran la relación de la variable del proceso versus el tiempo, para la generación de gráficas representativas del proceso de control.

5.2 RSLogix5



Figura 5.2 Icono encontrado en Windows para acceso directo de RSLogix5

La figura 5.2 muestra el icono para acceder RSLogix5. RSLogix5 es un editor de programas para controladores lógicos programables Allen Bradley, que permite mediante instrucciones ya establecidas controlar un proceso.

RSLogix5 es un paquete para programación en escalera⁴ basado en Windows, 32 bits, especial para procesadores de controladores lógicos programables de la serie 5. Trabaja en ambientes Microsoft Windows 2000, Windows NT y Windows 9x. Es compatible con programas creados con cualquier otro software para controladores lógicos programables de la serie 5.

La interfaz con el usuario provee de algunas herramientas tales como: barra del menú, barra de instrucciones, barra "Online", árbol del Proyecto, barra de estado, ventana de resultados y vista del programa en escalera; básicas para lograr una adecuada programación, tal y como se observa en la figura 5.3:

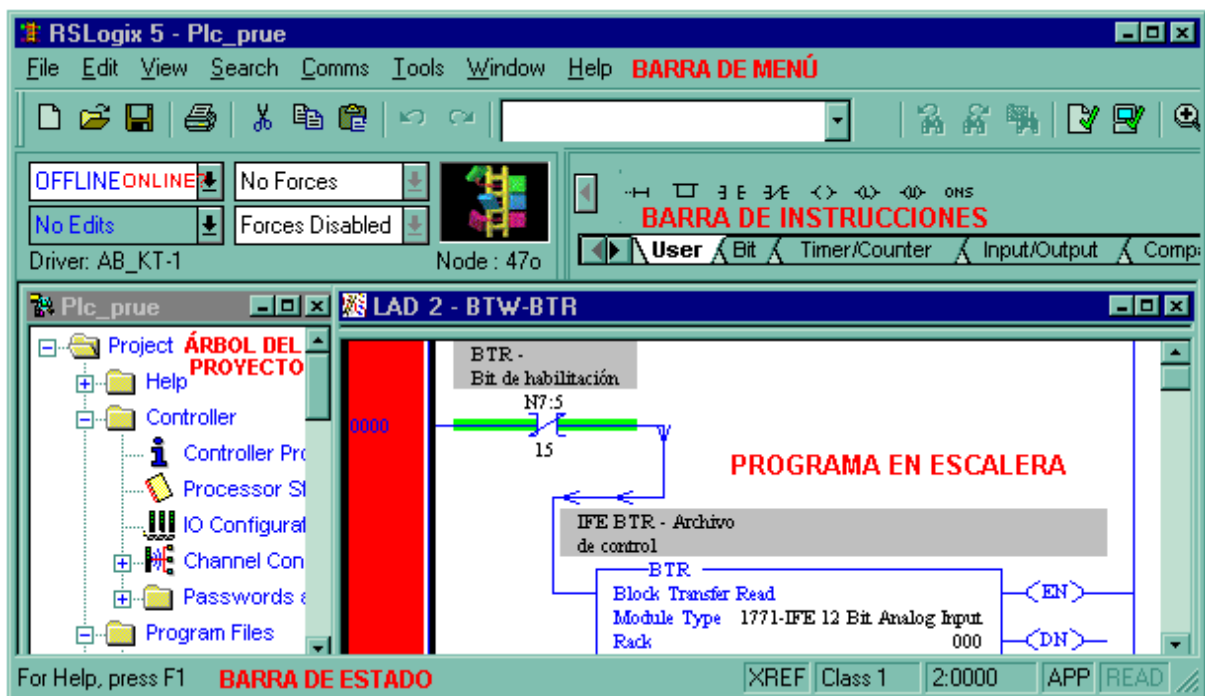


Figura 5.3. Pantalla del editor de programas para controladores lógicos programables Allen Bradley, RSLogix5

⁴ Esta técnica de programación se explica en el [Apéndice 3](#).

Las principales características de RSLogix 5 son:

- a. Un editor de diagramas de escalera.
- b. Verificar errores.
- c. Posibilidad de observar las tablas de datos simultáneamente con el programa en escalera.
- d. Búsqueda y sustitución de valores en una determinada dirección.
- e. Posibilidad de incluir comentarios dentro del diagrama en escalera.

5.3 RSLinx



Figura 5.4 Icono encontrado en Windows para acceso directo de RSLinx

La figura 5.4 muestra el icono del software encargado de enlazar la comunicación del controlador lógico programable, RSLinx.

RSLinx es un software que provee comunicación para un amplio rango de aplicaciones. Soporta Rockwell Software y programación de dispositivos Allen-Bradley.

Sirve para comunicar datos en el ámbito comercial mediante el intercambio dinámico de datos (DDE). Puede utilizar aplicaciones tales como Microsoft Excel y Access. Esto permite datos de tiempo real, en lo referente al despliegue o a la realización de gráficos en función del tiempo.

5.3.1 RSLinx Lite

RSLinx Lite provee la mínima funcionalidad requerida para el manejo de Rockwell software y Allen Bradley. Esta versión está disponible en productos que requieren sólo acceso directo a los drivers de red RSLinx.

5.3.2 RSWho

RSWho es un árbol gráfico de una red. Al ser activado inicia una búsqueda del dispositivo seleccionado para la puesta en marcha del programa seleccionado.

CAPITULO 6
ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Explicación del diseño

Este apartado contiene una descripción detallada de la forma en la que se ha desarrollado el sistema de control alternativo para la succión en el oleoducto en los diferentes planteles de Recope.

El diseño para el sistema de control se puede dividir en tres partes:

- a) Proceso general.
- b) Interfaz con el usuario.
- c) Definición del programa del controlador lógico programable para ejecutar procedimiento de control.

6.1.1 Proceso general

La función de importancia del sistema diseñado es la de mantener la variable de succión controlada para evitar que un exceso provoque daños en los dispositivos del oleoducto. Sin embargo, al existir una gama de opciones modificables para el usuario, hubo que definir un programa general que contempla el manejo de las opciones mencionadas y de la interrelación de estas con el proceso de control de la variable concerniente, de tal forma que se optimice el funcionamiento del controlador.

La [figura 6.1](#) muestra el diagrama de flujo general del sistema.

El programa general inicia con la indicación de activar el sistema alternativo de control. El usuario indica esa activación presionando el [botón de inicio](#) en la interfaz gráfica de RSView32.

Al activarse el sistema se despliega la pantalla de control de la presión de succión, en la cual se puede ver el valor de la presión de succión, el valor de la salida de control, la configuración en la que se encuentra el lazo de control y los botones necesarios para cambiar dicha configuración.

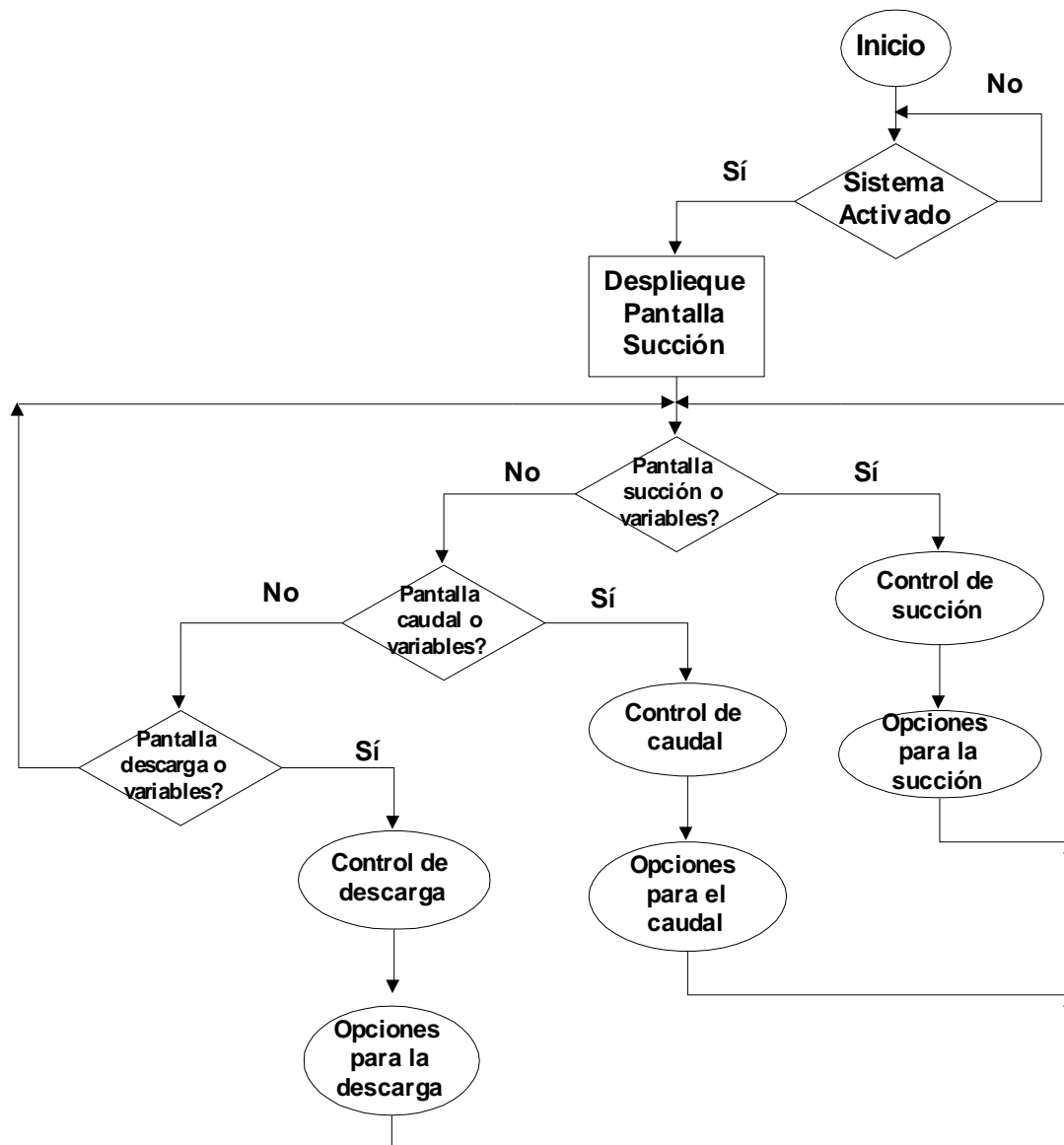


Figura 6.1. Diagrama de flujo general

Una vez que el usuario se encuentra en la pantalla de la presión de succión, tiene la posibilidad de escoger entre múltiples opciones, desde modificar el punto de referencia o la salida hasta escoger entre un sistema remoto o uno local.

Con cada opción seleccionada el programa pasa a una subrutina de control en donde busca colocar a la variable de proceso en un valor o en un rango de valores.

Si el usuario decide monitorear otra variable, ya sea el caudal o la presión de descarga del producto, cuenta con un botón para solicitar esa acción. Con esto obtiene el despliegue gráfico de la pantalla de la variable.

Al igual que como sucede con la presión de succión, se observa en la pantalla características de importancia como la variable de proceso y la salida de control. Así con el valor de referencia⁵ y con el valor de la variable de proceso se ingresa al procedimiento de control y posteriormente al manejo de las opciones del sistema.

Cada pantalla tiene la posibilidad de acceder las opciones de configuración ya citadas. Por lo que el proceso de control sigue la lógica procedimiento de opciones – procedimiento de control, lo que quiere decir que lee una opción e inmediatamente después realiza el lazo de control para la variable actual.

La secuencia procedimiento de control – manejo de opciones ya fue explicada, pero es necesario mencionar que se repite para todas las variables, ya sea la presión de succión, la presión de descarga o el caudal del producto. Por lo que sólo es indispensable explicarlo para un caso, particularmente el de la presión de succión.

⁵ Valor de referencia ó Setpoint

El procedimiento general es cíclico, lo que quiere decir que se queda leyendo opciones y tratando de igualar la variable de proceso con el punto de referencia hasta que el usuario decida salir del programa. Esto sucede porque se tiene un lazo de control cerrado, o un proceso de control retroalimentado.

Mientras el usuario no presione el botón de salida, lo que importa es la pantalla que se está leyendo en el momento, el estado y el modo del sistema, configuración y modificación manual de la salida.

Como se muestra en el diagrama de flujo del proceso general, [figura 6.1](#), se da una sucesión de preguntas sobre la pantalla de estudio actual, y dependiendo de la pantalla se modifican parámetros y se realiza un proceso de control. Se repite la sucesión de preguntas hasta que en la elección de opciones el usuario presione el botón de salida.

El procedimiento general es el encargado de seguir una secuencia entre los procedimientos de control y de selección de opciones.

6.1.2 Interfaz con el usuario

El objetivo principal de esta parte del diseño es dar la posibilidad al usuario de definir los parámetros de control deseados.

La [figura 6.2](#) muestra el diagrama de flujo de opciones de control.

Primero se puede elegir entre sistema remoto o local. El sistema local permite realizar cambios en la configuración usando los botones existentes en la ventana principal. Es así como se permiten cambios en el valor del punto de referencia ó en la salida si se escoge el modo de control manual. Además de que se puede acceder a las pantallas que resumen la información de control de las otras variables. Ahora si el sistema es remoto, implica que hay un dispositivo de funcionamiento remoto que va a realizar dicha configuración, por lo que los botones de la pantalla están desactivados.

El estado del sistema, ya sea remoto ó local, es indicado en la pantalla de interfaz de cada variable. Si el sistema es REMOTO, entonces aparece una **R** en la parte inferior derecha de la pantalla; pero si es LOCAL, entonces aparece una **L** en el mismo lugar. Esto se puede verificar al presionar el botón R/L, ya que al presionarlo se varía el estado del sistema y se puede ver dicho cambio.

Para darse una mejor idea de la forma en la que se presenta el estado del sistema, refiérase al [Apéndice 2](#), " Interfaces gráficas del sistema diseñado en RSVIEW32".

La segunda y tercera opción permite al usuario aumentar y disminuir correspondientemente el valor del punto de referencia para el proceso de control. Como el programa utilizado para el diseño del software está basado en el concepto de tiempo real, se puede ver con facilidad como al presionar el botón de aumentar SP⁶, el valor aumenta. Igual sucede al presionar el botón de disminuir SP, pero en este caso el valor disminuye en el instante.

⁶ Punto de referencia ó Setpoint

La cuarta realiza una transición entre el modo de control automático y el modo manual. El modo de control automático hace que la salida siga al parámetro de referencia sin necesidad de intervención de un operario, esto es, el fin es mantener la variable de proceso igual a la referencia. En el modo manual es el usuario que indica si se aumenta o no la salida para tratar de equilibrar la variable de proceso según el punto de referencia, punto fijo ó setpoint.

El modo de control del sistema, ya sea automático ó manual, se indica en la pantalla de interfaz de cada variable. Si el sistema es AUTOMÁTICO, entonces aparece una **A** en la parte inferior derecha de la pantalla; contiguo al estado del sistema; pero si es MANUAL, entonces aparece una **M** en su lugar. Esto se puede verificar al presionar el botón A/M, ya que al presionarlo se varía el modo del sistema y se puede ver dicho cambio. Tal y como sucede al presionar el botón R/L.

La quinta y la sexta opción son hábiles en el modo manual, pues son las que permiten al usuario aumentar y disminuir la salida analógica de control. Esta variación en la salida se representa en porcentaje y se visualiza cada vez que el usuario presione los botones destinados para cambiar tal valor.

Las opciones, siete, ocho y nueve, permiten la visualización del estado de las variables del oleoducto. Presión de succión, presión de descarga y caudal correspondientemente.

El hecho de que se tenga acceso a las pantallas de las otras variables, hace posible un proceso de información actualizado en todo momento, permitiendo al operador del plantel llevar a cabo con éxito su labor.

Finalmente el usuario puede elegir salir del sistema, dando por acabada la intervención del sistema alternativo de control. Esto lo logra simplemente presionando el botón de salida.

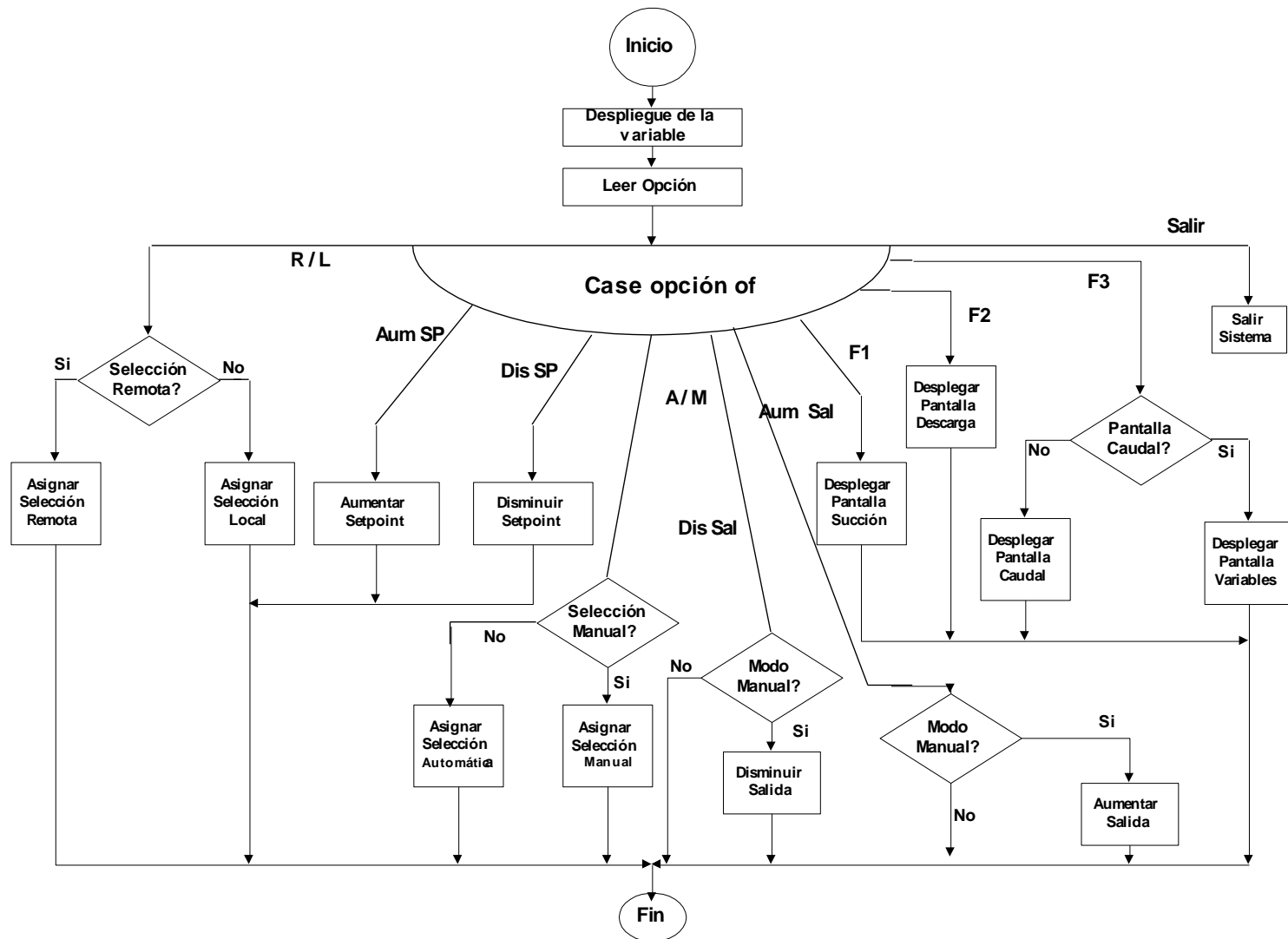


Figura 6.2 Diagrama de flujo del manejo de opciones del controlador para cada variable

6.1.3 Definición del programa del controlador lógico programable para ejecutar procedimiento de control

La figura 6.3 muestra el proceso de control seguido en el sistema alternativo.

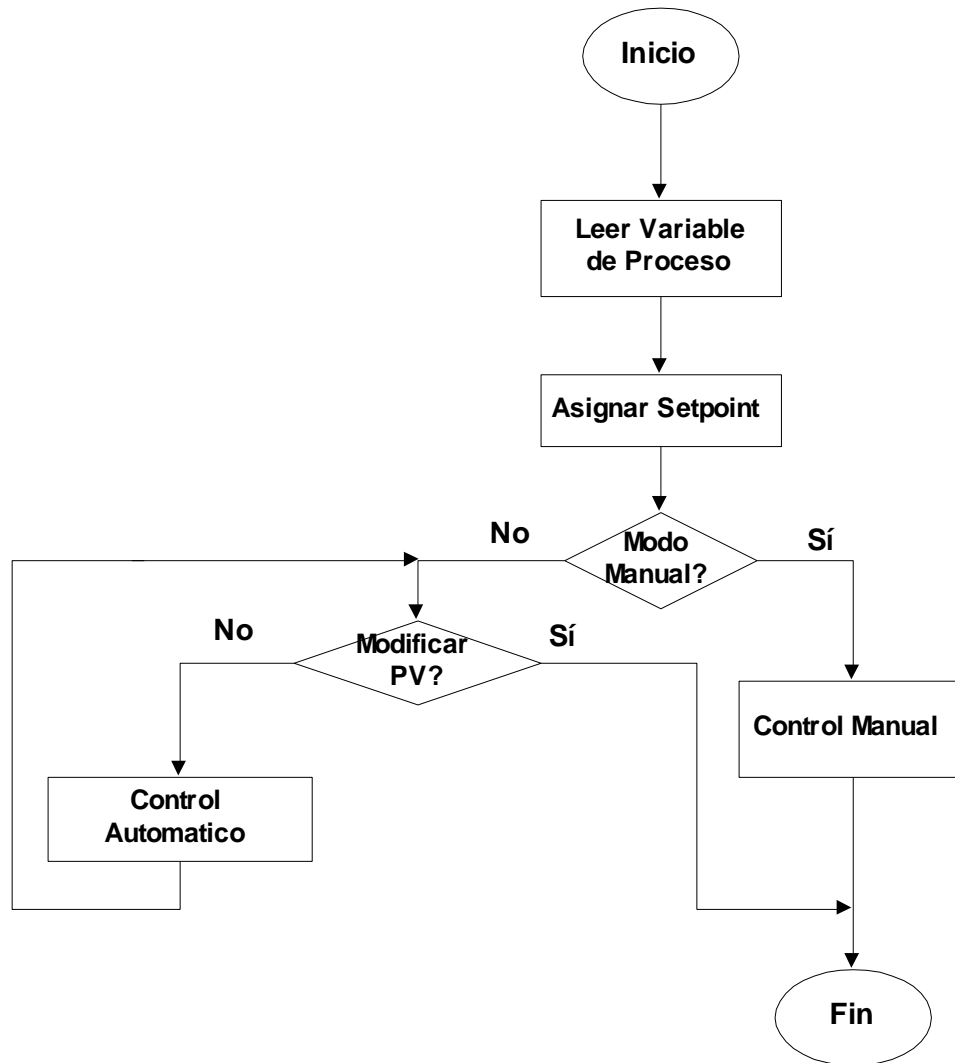


Figura 6.3. Diagrama de flujo de control

El proceso de control es la base del contexto de este proyecto, y tiene como propósito, conservar una variable en un punto determinado ó dentro de un rango determinado.

Para llevar a cabo el proceso de control se hace uso de un sistema retroalimentado que permite saber cuando se ha alcanzado el punto deseado a través de comparaciones.

La siguiente figura muestra un sistema de lazo cerrado con retroalimentación.

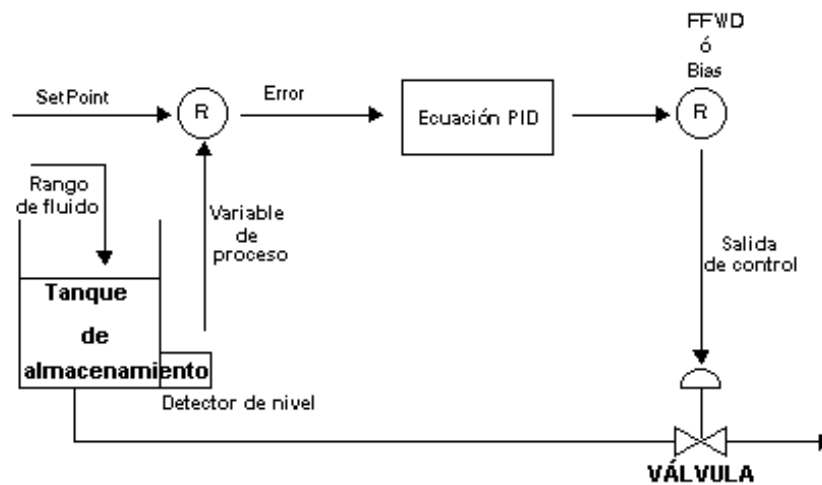


Figura 6.4 Dibujo de un proceso de control de lazo cerrado con retroalimentación

De la figura 6.4 se puede deducir que a partir del punto de referencia y de la variable de proceso, se calcula el error. Este error es corregido por una ecuación PID y entrega una salida de control.

Se tiene entonces que para realizar ese proceso de control se deben realizar varias cosas, las cuales son realizadas por el programa diseñado en el presente proyecto.

Como primer paso se lee el valor analógico de corriente mediante el módulo entradas analógicas. Se digitaliza la información y se almacena en un espacio de memoria del controlador lógico programable. Este es el valor de la variable de proceso, *succión*.

El valor del punto de referencia es asignado por el usuario mediante la manipulación de los botones de aumentar y disminuir dicho punto de referencia. Al establecer el punto de referencia deseado o aquel punto en el que se desea que se mantenga el valor de la variable de proceso, la instrucción PID empieza a realizar una serie de cálculos matemáticos para corregir el error existente entre la variable de proceso y el punto de referencia.

Si el controlador está en modo manual, se configura la instrucción PID para realizar un proceso de control manual, modificando entonces la salida del módulo analógico a través de las opciones presentadas en la interfaz gráfica. Se configura el proceso y luego espera la elección del usuario, esto es, pasa a la ventana de opciones.

Si el controlador está en modo automático, se realizan una serie de comparaciones entre el valor de la variable de proceso y el punto de referencia, haciendo modificaciones a la salida hasta que se logre el control, esto es que el valor de la variable de proceso se mantenga muy cercano al punto de referencia.

6.2 Alcances y limitaciones

El desarrollo del proyecto ha cumplido con los requisitos impuestos por la empresa. De tal forma que la solución propuesta permite:

- a) Fácil conexión de una computadora portátil con el controlador lógico programable, de tal forma que el proceso de control se pueda llevar a cabo desde la computadora, a través de la red DH+.
- b) Implementación gráfica de un dispositivo electrónico de fácil manejo. Es ventajosa la interfaz amigable con la que cuenta el sistema controlador, pues el operador de la empresa ya tiene conocimiento del manejo del controlador.
- c) La configuración del controlador se lleva a cabo durante la implementación del sistema, por lo cual los parámetros del dispositivo no pueden ser variados.

Sin embargo el sistema diseñado presenta ciertas limitaciones, las cuales son citadas a continuación:

- a) La plataforma de monitoreo vigente en las estaciones de trabajo debe ser RSView32. Actualmente RECOPE realiza el proceso de monitoreo en ControlView, por lo que se tiene el nuevo sistema subutilizado hasta que cambie tal plataforma de monitoreo.
- b) Probar el sistema se hace difícil sin el montaje de la nueva plataforma de monitoreo, por lo que las pruebas realizadas al dispositivo se limitan a respuestas del sistema ante diferentes entradas.
- c) La configuración de la instrucción PID se hace en el programa, por lo que el programador debe tener un buen conocimiento del lenguaje de programación.

CAPÍTULO 7
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegaron al finalizar el proyecto:

- a. La información referente al controlador modular MICRO-DCI™ permitió al diseñador conocer acerca del proceso de control que rige en los planteles de RECOPE.
- b. El estudio de los controladores lógicos programables utilizados para el control de las variables del oleoducto le hizo posible al diseñador el aprendizaje de la programación de estos dispositivos, así como la programación de los diferentes módulos que sirven como interfaz con dispositivos externos.
- c. La comunicación entre el controlador lógico programable y una computadora portátil se llevó a cabo mediante la conexión a la red DH+. Siendo esta conexión posible por la tarjeta 1784 KT .
- d. La comunicación existente entre el controlador lógico programable y la computadora permitió llevar a cabo la manipulación de entradas y salidas.
- e. La esquematización de las herramientas de RSVIEW32 permitió tener conocimiento sobre la manipulación del programa que se ha elaborado.
- f. El sistema diseñado en este proyecto presenta la posibilidad de ponerse a funcionar desde una computadora.
- g. La presión de succión existente en el oleoducto puede ser modificada a través de dispositivos como motores de bombeo y válvulas colocados en el oleoducto.

7.2 Recomendaciones

La principal recomendación es la implementación pronta de RSView32 como plataforma del sistema SCADA de RECOPE. Esto con el fin de que el sistema pueda ser instalado y puesto en funcionamiento en caso de ser necesario.

De no ser así, en RECOPE se seguirán sufriendo pérdidas cada vez que el dispositivo de control existente se dañe. Además se tendrá una herramienta eficiente inutilizada, un sistema de control actualizado e implementado en ambiente Windows.

El contar con el equipo adecuado, entiéndase controlador lógico programable, computadora y software de programación, facilitó el desarrollo del proyecto, por lo que se recomienda seguir teniendo dicho equipo al alcance. A lo que se le aúne la disposición del personal tanto técnico como profesional y el poder contar con el material didáctico necesario como es el caso de los manuales de los dispositivos.

Finalmente se recomienda llevar a cabo una simulación del sistema en un circuito como el mostrado en la [figura 1.2](#)⁷, para verificar el funcionamiento de dicho sistema. Esto mientras no se pueda poner a funcionar el sistema en la estación por la no puesta en práctica de la plataforma RSView32.

⁷ Referirse al capítulo 1.

BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía que fue consultada para la elaboración del proyecto es:

1. Fischer&Porter Company. **MICRO-DCI™ Modular Controller, Instruction Bulletin**. Pennsylvania, USA. 1992.
2. Fischer&Porter Company. **MICRO-DCI™ Modular Controller, Customization Guide**. Pennsylvania, USA. 1992.
3. Allen-Bradley Corporation. **PLC-5 Programing Software, Instruction Set Reference**. Milwaukee, USA. 1993.
4. Allen-Bradley Corporation. **Enhanced an Ethernet PLC-5 Programable Controllers, User Manual**. Milwaukee, USA. 1994.
5. Allen-Bradley Corporation. **1785 PLC-5 Programable Controllers, Design Manual**. Milwaukee, USA. 1992.
6. Allen-Bradley Corporation. **1785 PLC-5 Family Programable Controllers, Hardware Installation Manual**. Milwaukee, USA. 1993.
7. Rockwell Software. **Getting Results with RSView32**. Milwaukee, USA. 2000.
8. Rockwell Software. **RSView32, User Guide**. Milwaukee, USA. 1997.

APÉNDICES

Apéndice 1. Antecedentes teórico - prácticos

a) MICRO-DCI™, Controlador Modular

El controlador modular **MICRO-DCI™** es un dispositivo electrónico que contiene despliegue gráfico de matriz de puntos, teclado, fuente de poder, terminales de entrada / salida, instalación eléctrica y un procesador de control entrada / salida. La figura A1.1 muestra el controlador modular.

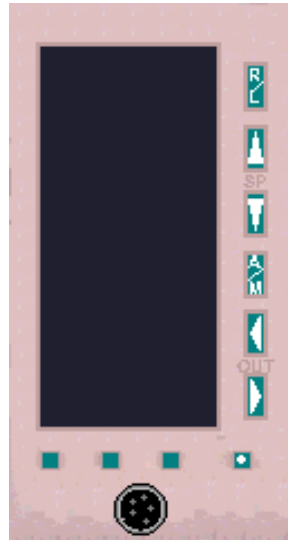


Figura A1.1 Dibujo de la vista frontal del Controlador modular MICRO-DCI™

El procesador de control está conformado por dos unidades: la memoria y el sistema inteligente. La unidad de control o sistema inteligente desarrolla algoritmos de proceso y cálculo; controla el despliegue gráfico, el manejo de teclado, el enlace de datos y la comunicación HHC⁸.

El controlador tiene la facilidad de manipular tanto datos analógicos como digitales, entrada / salida; ya que cuenta con la circuitería necesaria para conversiones A/D-D/A (analógico / digital – digital / analógico).

⁸ Siglas de *Hand Held Configurer*: configurador manual

Además el dispositivo cuenta con la opción de interfazar señales de comunicación y la operación del reloj exacta.

El controlador hace un muestreo de las señales de entrada A/D 20 veces por segundo. Estas señales son convertidas y procesadas digitalmente según sea necesario. En un intervalo de $1/20 - 1 \frac{1}{2}$ segundos las señales se vuelven a procesar mediante el algoritmo seleccionado. Cuando los cálculos se completan los resultados son convertidos y usados para actualizar las salidas con nuevos valores.

El controlador compara la variable de proceso con el punto de referencia y deriva una señal de desviación. Luego actúa sobre esa desviación para ajustarla, produciendo una salida que va a operar el elemento de control final. El fin es minimizar la duración y la magnitud de la señal de desviación que puede resultar en el cambio de carga o cambio en el punto de referencia.

El instrumento provee una indicación visual del punto de referencia y de la salida del proceso.

El controlador acepta una señal de voltaje cd o una corriente directa del proceso de transmisión convertido a voltaje cd por un resistor de rango⁹ y lo compara con el punto de referencia.

El punto de referencia puede establecerse en el controlador o en un dispositivo conectado remotamente, como en una estación de carga manual o en otro controlador (cascada).

El controlador es un dispositivo de balance y desplazamiento, lo que significa que cuando se pasa de un modo de operación a otro presionando un único botón no se presenta ningún cambio instantáneo en la salida del controlador. No es requerido el balance.

⁹ Resistor de valor variable encargado de convertir un voltaje a una corriente en un intervalo.

La variación de las acciones del controlador se obtienen ajustando los parámetros asociados con los modos de control, conocidos como: modo proporcional, modo integral y modo derivativo.

La acción proporcional produce una salida proporcional a la desviación de la variable controlada con respecto al punto de referencia. La desviación, en porcentaje requerida para mover el elemento de control final a través del rango final es conocido como *banda proporcional*. Un controlador con mucha banda proporcional, porcentaje alto, es un controlador con ganancia baja, un controlador con una escasa banda proporcional, porcentaje bajo, es un controlador de ganancia alta.

La acción integral, también conocida como reset automático, produce una señal correctiva proporcional a la desviación y a la longitud de tiempo en el cual la variable controlada ha sido alejada del punto de referencia. Se expresa como la longitud de tiempo requerido para producir un cambio en la salida producido por la acción proporcional.

La acción derivativa, también conocida como acción de rango, produce una señal proporcional correctiva al rango en el que la variable de control es cambiada. La acción derivativa, expresada en minutos, es el monto de tiempo por el cual la acción proporcional avanza.

Para determinar los parámetros de control óptimos (% PB¹⁰, TR¹¹, TD¹²), se configura el fondo del programa con el módulo en modo manual. Después de un periodo, se aplica un paso de cambio en la salida del controlador y se observa la respuesta. A esto se le denomina una ejecución de fácil configuración (EASY-TUNE), y una vez satisfecha la ejecución el controlador regresa a su estado original, con o sin los nuevos parámetros.

¹⁰ Banda proporcional.

¹¹ *Reset Time*. También conocido como reset automático.

¹² *Rate Time*. También conocido como acción de rango.

Estrategias de control flexible (FCS¹³)

Las estrategias de control flexible son simples técnicas de software, donde la mayoría de los requisitos de control general caen dentro de un estrecho grupo de configuraciones operacionales ó son una variación minoritaria de este grupo.

En el controlador se encuentran grupos de listas de conexión prefijadas, referidas como estrategias de control. El ámbito de las estrategias y su disponibilidad elimina la necesidad de conocer detalladamente el contenido de estas listas o del funcionamiento del diagrama de bloques.

Entre las estrategias de control con las que cuenta el controlador están:

CS1 Controlador proporcional, integral, derivativo (PID), lazo único

Se utiliza en procesos de control automático de lazo cerrado, con una sola variable de proceso y un determinado punto de referencia. Los términos proporcional, integral, derivativo pueden ser activados según la necesidad. Las señales esenciales son la variable de proceso y la salida de control.

CS2 Controlador suplente analógico

En este arreglo el controlador actúa como un selector de control y como un suplente automático. Como un suplente automático el controlador asumirá el proceso cuando una falla es indicada por la computadora. Mientras es suplente y automático, el controlador continuamente ajusta su salida para marcar la señal de realimentación del elemento a controlar.

CS3 Controlador radial

Esta estrategia es usada cuando una variable debe ser automáticamente mantenida en proporción definida a otra variable, ya sea que se encuentre en control radial o local.

¹³ Siglas de *Control Flexible Strategies*.

El aspecto esencial de divergencia en este controlador es el cómo las acciones de botón de punto de referencia son interpretadas. En control radial, el botón modifica el radio deseado indirectamente afectando el valor del punto de referencia. En control local, el botón modifica el valor del punto de referencia directamente.

CS4 Estación automática / manual

Configura el controlador en una estación única convencional, con selector automático / manual. Entonces en la transferencia puede haber carga manual de la salida manipulando los botones de salida.

CS5 Estación radial automática / manual

Configura el controlador como una estación de radio versátil con carga manual. Opera como un selector auto / manual, cargador manual y estación de radio.

CS20 Controlador de dos lazos

Consiste en dos controladores PID idénticos, conformando una unidad equivalente a dos controladores individuales. Cada lazo contiene un grupo individual de parámetros, el cual dicta su operación. Esto permite a los lazos ser totalmente independientes.

CS21 Controlador cascada de dos lazos

Dos controladores de dos lazos en cascada. La principal característica de este arreglo es que la salida del primero viene a ser el punto de referencia para el segundo. Esto provee choque y balance en una transferencia en cascada.

CS22 Controlador de sobre - escritura de dos lazos

Dos lazos de control PID. Es usado donde dos variables independientes son controladas vía un elemento de control y ninguna variable puede exceder el límite de seguridad. Entonces los dos lazos son arreglados como salidas de control, y son dirigidas a través de un selector ALTA / BAJA. La salida es realimentada a ambos lazos esperando que el lazo no seleccionado este cerca del control activo del rango de salida.

CS40 Controlador doble cascada de dos lazos

Arreglo en pares de dos controladores de dos lazos en cascada. Cuatro lazos de control PID.

CS41 Controlador de cuatro lazos

Cuatro controladores PID independientes, equivalentes a una unidad de cuatro controladores individuales. Cada lazo contiene un grupo individual de parámetros el cual dicta su operación. Esto permite a los lazos ser totalmente independientes.

b) Válvulas Fisher

Las válvulas neumáticas y electro-neumáticas de la serie 3582 de la compañía Fisher & Porter, son usadas con activación del diafragma, con los ensamblajes de las válvulas de control deslizando el cañón.

Las válvulas neumáticas reciben una señal de entrada neumática de un dispositivo de control y modula la presión al actuador de la válvula de control. El posicionador ajusta el actuador de presión para mantener el cañón de la válvula en proporción a la señal neumática de entrada.

La válvula electro-neumática contiene un convertidor electro-neumático instalado en la válvula. El posicionador de la válvula provee un movimiento proporcional exacto a una corriente de entrada directa.

El convertidor electro-neumático es una unidad modular que puede venir instalada o que va a ser instalada en la empresa.

El convertidor recibe la corriente cd de entrada a través de un arreglo de boquillas y entrega una señal de salida proporcional. Esta señal de salida se convierte en la señal de entrada de la válvula neumática, eliminando así la necesidad de usar un transductor remoto.

La válvula Fisher es el dispositivo que debe controlar el sistema de control diseñado en este proyecto y que se ve en primer plano en la siguiente fotografía:



Figura A1.2 Fotografía de la válvula Fisher de control utilizada en el plantel del Alto de Ochomogo.

c) Motores variadores de frecuencia

Se utiliza el sistema SIMOVERT de Siemens, para diferentes propósitos. Algunos de los modos de operación del dispositivo mencionado se presenta a continuación.

Modos de operación:

1. *Frecuencia - lazo de control abierto.*

El voltaje es prefijado vía características V/f. En grupo se manejan motores asíncronos y simples manejan motores asíncronos.

2. *Frecuencia – lazo de control cerrado.*

Control vectorizado sin tacómetro. Manejo simple con motores asíncronos.

3. *Velocidad – lazo de control cerrado.*

Control vectorizado con tacómetro. Alta velocidad asegurada del manejo simple con motores asíncronos.

4. *Torque – lazo de control cerrado.*

Control vectorizado con tacómetro. Manejo simple con motores asíncronos.

En el caso particular de estudio, el SIMOVERT es utilizado como variador de frecuencia.

Modo de control de frecuencia

Se inyecta una corriente cd de control al motor. La frecuencia del motor cambia en proporción directa a dicha corriente, de ahí el nombre de variador de frecuencia. Así, si la corriente inyectada aumenta, la frecuencia aumenta y si la corriente disminuye, entonces la frecuencia también disminuye.

El motor es acoplado al dispositivo de control modificando continuamente la señal de alimentación según los propósitos.

Para configurar el modo de control de frecuencia se deben programar los parámetros P548, según las hojas de datos del SIMOVERT.



Figura A1.3 Fotografía del motor de bombeo de frecuencia variable utilizado en el plantel de Moín para el bombeo de producto

Apéndice 2. Interfaces gráficas del sistema diseñado en RSVIEW32

El sistema diseñado es un controlador de tres lazos con características similares al controlador modular MICRO DCI™.

El usuario debe indicar el inicio del programa usando la siguiente pantalla:



Figura A2.1 Pantalla de inicio del sistema de control PID implementado en RSVIEW32

Una vez que el usuario inicia el sistema de control diseñado en este proyecto, aparece la pantalla de control de la variable de succión, que es la variable crítica o la variable a la que hay que poner atención especial pues podría destruir dispositivos de la tubería.

La figura A2.2 presenta la interfaz gráfica de la pantalla de control de la variable de succión.

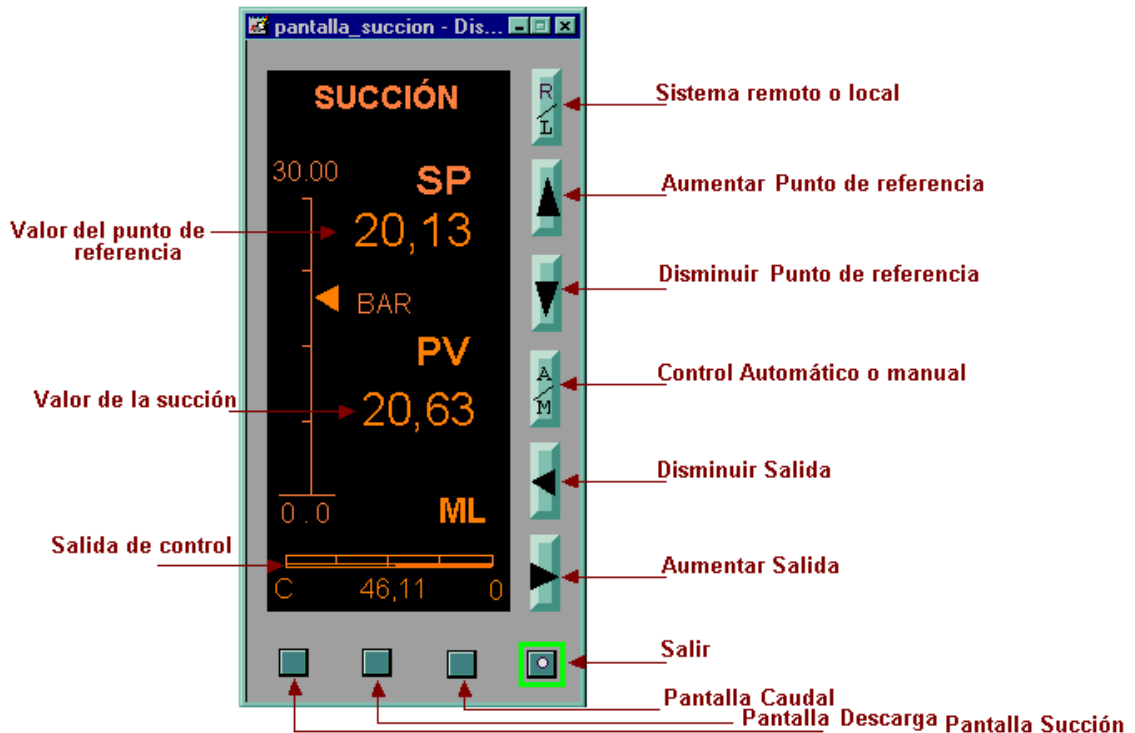


Figura A2.2 Pantalla de interfaz de control de la variable de succión

En la figura anterior se presentan todas las opciones que tiene el dispositivo controlador para cada una de las variables.

Para pasar a las pantallas de las otras variables se utilizan los botones de la parte inferior del controlador.

Si se elige el botón de la pantalla actual se despliega un resumen de las tres variables de control. Donde se ve información sobre el valor de la variable de proceso, del punto de referencia y de la configuración del sistema.

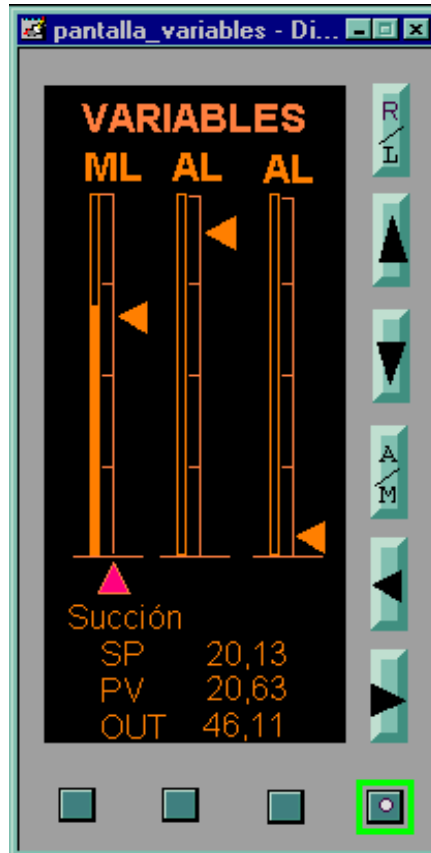


Figura A2.3 Pantalla resumen del estado de la succión, descarga y caudal.

Las pantallas de interfaz gráfica de la presión de descarga y del caudal son idénticas a la pantalla de succión, inclusive contiene las mismas opciones. Lo único en lo que se diferencian es en los límites del punto de referencia, por lo que no se considera necesario la presentación de las demás pantallas.

Para salir del programa se utiliza el botón enmarcado en verde en la figura anterior.

Apéndice 3. Programación en escalera

Un programa es una serie de instrucciones o comandos desarrollados por el usuario que indican al controlador lógico programable que ejecute acciones. Un lenguaje de programación proporciona reglas para combinar las instrucciones de manera que produzcan las acciones deseadas.

El lenguaje de programación más usado para los controladores lógico programables es la lógica de escalera. La programación en escalera consta de una serie de pasos establecidos en cada renglón usando diferentes instrucciones. Estos pasos son el reflejo de un diagrama de flujo que resuelve una problemática. Se le llama diagrama de escalera, porque cada renglón asemeja a un peldaño de una escalera.

El lenguaje de programación de lógica de escalera es una adaptación de un diagrama de cableado eléctrico de relés, también conocido como un diagrama de escalera. La lógica de escalera es un sistema gráfico de símbolos y términos, que utiliza expresiones mnemónicas para facilitar aún más su uso.

La figura A3.1 presenta un ejemplo de una instrucción en lógica de escalera.

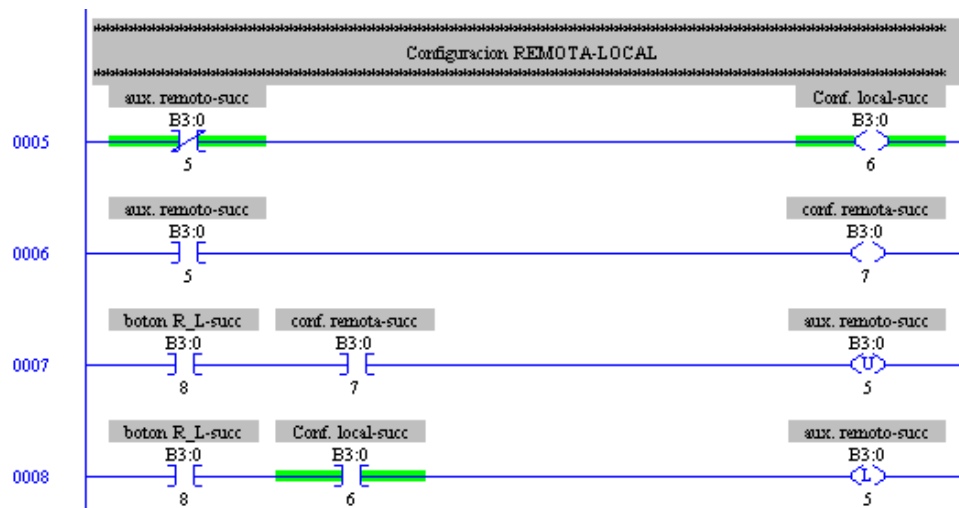


Figura A3.1 Ejemplo de programación usando lógica de escalera

Una expresión mnemónica es un término sencillo y fácil de recordar que representa una instrucción compleja (ejemplo: "TON" que significa "temporizador a la conexión"). Los diferentes controladores lógicos programables utilizan instrucciones ligeramente diferentes, presentando una tendencia por conservar algunas instrucciones básicas.

La siguiente tabla muestra un resumen de las instrucciones básicas de un controlador lógico programable típico, las cuales pueden ser accedidas mediante el lenguaje en escalera.

Tabla A3.1 Instrucciones básicas de un controlador lógico programable típico

Instrucción	Descripción
Instrucciones de lógica de relé	<ul style="list-style-type: none"> – Examina si cerrado (contactos normalmente abiertos) – Examina si abierto (contactos normalmente cerrados) – Activación de salida (bobinas) – Enclavamiento de salida – Desenclavamiento de salida – Un flanco ascendente (detector de flanco positivo)
Temporizadores	<ul style="list-style-type: none"> – Temporizador a la conexión – Temporizador a la desconexión – Temporizador retentivo
Contadores progresivos y regresivos	<ul style="list-style-type: none"> – Esto es, que cuentan en forma ascendente o descendente
Contador de alta velocidad	<ul style="list-style-type: none"> – Monitoreo de señales a alta frecuencia
Matemáticas	<ul style="list-style-type: none"> – Suma – Resta

	<ul style="list-style-type: none"> - División - Multiplicación - Borrar - Raíz cuadrada
Lógica booleana	<ul style="list-style-type: none"> - AND, OR, OR exclusivo, NOT y cambio de signo
Comparación	<ul style="list-style-type: none"> - =, ≠, <, < ó =, >, > ó = - límite
Manejo de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Transferencia, transferencia con máscara - FIFO y LIFO (primero en entrar, primero en salir; último en entrar, primero en salir) - Conversión de BCD a binario - Conversión de binario a BCD
Instrucciones específicas de la aplicación	<ul style="list-style-type: none"> - Secuenciador - Desplazamiento de bits
Flujo del programa	<ul style="list-style-type: none"> - Subrutina - MCR (establecimiento del control maestro) - Entrada o salida inmediata con máscara - Interrupción temporizada seleccionable - Saltos