

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA  
OPERACIÓN AUTOMÁTICA DE SEPARADORES DE PETRÓLEO  
TRIFÁSICOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**MARIELA FERNANDA VIÑAN ANDINO**

[marivinan@gmail.com](mailto:marivinan@gmail.com)

**DIRECTOR: ING. MIGUEL ÁNGEL CEDEÑO GUDIÑO**

[mcedeno@aceroandes.com](mailto:mcedeno@aceroandes.com)

**CODIRECTOR: DR. LUIS ANÍBAL CORRALES PAUCAR**

[lcorrales@epn.edu.ec](mailto:lcorrales@epn.edu.ec)

**Quito, Mayo 2013**

## DECLARACIÓN

Yo Mariela Fernanda Viñan, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Mariela Fernanda Viñan Andino

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mariela Fernanda Viñan Andino, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Miguel Ángel Cedeño Gudiño**

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

**Dr. Luis Aníbal Corrales Paucar**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser mi guía y mi ejemplo, lo que me ha permitido alcanzar mis metas.

A mi hermano Mauro, quien ha sido mi amigo y apoyo.

A mi pequeña hermanita Vivi, que con su alegría ha sido mi inspiración.

A toda mi familia, por sus palabras de apoyo y ánimo.

A Alex, por su apoyo incondicional.

A todos mis amigos que me han acompañado con risas y consejos durante este camino.

Agradezco a Industria Acero de los Andes y de manera especial al Ing. Miguel Cedeño por la apertura dada al desarrollo del presente proyecto.

Al Dr. Luis Corrales por su guía y disposición que me han permitido culminar de la mejor manera esta tesis.

Mari

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia,

Ellos han sido mi motivo y motor.

Mari

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO .....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>ix</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>x</b>
<b>1.CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROCESO DE SEPARACIÓN DE PETRÓLEO.....	1
1.1.1 PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN.....	2
1.1.2 DISOCIACIÓN DE AGUA Y CRUDO.....	3
1.1.3 DISOCIACIÓN DE GAS Y CRUDO .....	3
1.2 SEPARADORES DE CRUDO .....	4
1.2.1 SEPARADORES DE CRUDO DE ACUERDO AL NÚMERO DE FASES.....	4
1.2.2 SEPARADORES DE CRUDO DE ACUERDO A SU FORMA Y GEOMETRÍA .....	5
1.3 SEPARADORES DE PETRÓLEO TRIFÁSICOS .....	6
1.3.1 SECCIONES DEL SEPARADOR TRIFÁSICO .....	7
1.4 DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SEPARADORES TRIFÁSICOS.....	11
1.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS Y VÁLVULAS DE CONTROL .....	12
1.5 NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SEPARADORES DE CRUDO (CÓDIGOS, ESTÁNDARES, ESPECIFICACIONES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS). .....	19
1.5.1 NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE SEPARADORES DE CRUDO. ....	23

1.5.2	NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA DE SEPARADORES DE CRUDO. ....	24
1.5.3	NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE SEPARADORES DE CRUDO. ....	25
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO 2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE .....</b>	<b>27</b>
2.1	VARIABLES A MEDIR Y CONTROLAR EN LOS SEPARADORES TRIFÁSICOS DE CRUDO .....	27
2.2	INSTRUMENTOS Y VÁLVULAS DE CONTROL NECESARIOS PARA EL ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE SEPARADORES TRIFÁSICOS.....	29
2.2.1	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS Y EL DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL PARA UN SEPARADOR TRIFÁSICO DE CRUDO.....	29
2.2.2	INSTRUMENTOS Y VÁLVULAS DE LOS LAZOS DE CONTROL DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE CRUDO. ....	31
2.2.3	INSTRUMENTOS PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE CRUDO. ....	47
2.3	DISEÑO DEL MÓDULO DEMOSTRATIVO .....	53
2.4	ESQUEMA GENERAL DEL MÓDULO.....	54
2.5	PLC TWIDO TWDLCAA16DRF.....	56
2.5.1	CABLE DE PROGRAMACIÓN TSXPCX1031 .....	57
2.5.2	ADAPTADOR DE COMUNICACIÓN RS485 MINI DN TWDNAC485T .....	57
2.6	PLACAS ELECTRÓNICAS PARA LA VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	58
2.6.1	MICROCONTROLADORES PIC 16F873A Y 16F877A.....	59
2.6.2	CONVERTIDOR DE RS232 A RS485 MAX485 .....	62
2.6.3	LCD 8X2 .....	63
2.6.4	MATRIZ DE LEDS .....	64

2.6.5 ENSAMBLAJE DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS.....	66
2.7 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS .....	69
2.7.1 MODOS DE TRANSMISIÓN EN MODBUS.....	69
2.8 ELECTROVÁLVULA 110V .....	70
2.9 FUENTE DE PODER .....	71
2.10 INTEGRACIÓN DEL HARDWARE.....	72
<b>3. CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL Y HMI .....</b>	<b>76</b>
3.1 DESARROLLO DEL CONTROL PARA EL SEPARADOR.....	76
3.1.1 LABVIEW.....	76
3.1.2 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN TWIDOSUIT.....	77
3.1.3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL .....	79
3.1.4 SISTEMA DE CONTROL INTEGRADO .....	100
3.2 DESARROLLO DE LA HMI DEL SISTEMA DE CONTROL.....	102
3.2.1 MENÚ DE SELECCIÓN.....	104
3.2.2 ESPECIFICACIONES 12J API .....	105
3.2.3 PANTALLA PRINCIPAL DE CONTROL .....	108
3.2.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS.....	116
3.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC TWIDO TWDLCAA16DRF .....	125
3.3.1 MANEJO DE LAS LOCALIDADES DE MEMORIA DEL PLC .....	127
3.3.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	128
3.3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA FINAL EN EL PLC.....	131
3.4 PROGRAMACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES PIC .....	137
<b>4. CAPÍTULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>140</b>
4.1 PRUEBAS INICIALES DE FUNCIONAMIENTO .....	140



4.1.1 LAZO DE CONTROL DE CAUDAL DE INGRESO DE FLUIDO .....	141
4.1.2 LAZO DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA.....	142
4.1.3 LAZO DE CONTROL DE PRESIÓN .....	143
4.1.4 LAZO DE CONTROL DE NIVEL DE CRUDO.....	145
4.1.5 MATRIZ CAUSA – EFECTO.....	146
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO INTEGRANDO LOS LAZOS DE CONTROL.....	149
4.2.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN MODO MANUAL .....	150
4.2.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN MODO AUTOMÁTICO .....	150
4.3 PRUEBAS DE SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE INSTRUMENTOS.....	154
<b>5. CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>159</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	159
5.2 RECOMENDACIONES .....	160
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>162</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>163</b>

## RESUMEN

Industria Acero de los Andes diseña y construye Separadores Trifásicos de Crudo y generalmente contrata los servicios de otras empresas para la realización del sistema de control.

El presente proyecto tiene como propósito el diseño e implementación de un sistema de control para Separadores Trifásicos de Crudo, lo que permitirá a Acero de los Andes tener un parámetro de referencia al momento de designar el desarrollo del sistema de control a empresas externas, con lo que se optimizará la puesta en marcha de los equipos utilizados en dicho proceso.

El sistema de control es desarrollado por medio de la utilización de un PLC y de un software dedicado a control (Labview), lo que promueve el uso de diversas herramientas de control.

Para la implementación del sistema de control, se crea un proceso de separación de crudo simulado, el cual se basa en las características del fluido expuestas en las Especificaciones 12J del separador. El proceso de separación se muestra por medio de un módulo demostrativo. El módulo se encuentra formado por placas electrónicas que representan a los instrumentos y válvulas del sistema de control; esta característica permite que este proyecto pueda ser utilizado como un prototipo.

Para el manejo del sistema de control y del proceso se crea una interfaz, que está desarrollada en Labview y permite el ingreso de valores en la pantalla de Especificaciones 12J, además admite la configuración de los lazos de control.

## PRESENTACIÓN

El proceso de separación de crudo debe ser controlado por un sistema que permita obtener de manera segura y eficiente el volumen de crudo, agua y gas.

De manera preliminar al diseño del sistema de control, se debe obtener el conocimiento necesario acerca del proceso de separación y de los recipientes de separación. Los antecedentes requeridos para el diseño del sistema de control del proceso de separación de crudo se encuentran detallados en el primer capítulo.

En el segundo capítulo se determinan las válvulas e instrumentos necesarios para la implementación del sistema de control, además muestra las características de los elementos empelados en la construcción del módulo demostrativo.

El tercer capítulo abarca el diseño del sistema de control, el desarrollo de la HMI, los diagramas de flujo del sistema y la lógica de programación.

Cuando el sistema está integrado, se somete al mismo a un determinado número de pruebas para comprobar si su funcionamiento es el adecuado. Estas pruebas se encuentran descritas en el capítulo cuatro denominado Pruebas y Resultados.

En base a la experiencia adquirida en el desarrollo del sistema de control automático para separadores de crudo, se plantean en el capítulo cinco las conclusiones y recomendaciones más relevantes.

Finalmente después de establecer el conjunto de referencias bibliográficas se anexan a este trabajo escrito documentos que sustentan el presente proyecto.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detalla la base teórica necesaria para el desarrollo del sistema de control automático para separadores de crudo.

### 1.1 PROCESO DE SEPARACIÓN DE PETRÓLEO

El petróleo crudo es una sustancia oleosa de color oscuro compuesto de hidrógeno y carbono, por este motivo se lo llama hidrocarburo. Puede hallarse en estado líquido o en estado gaseoso; en estado líquido se denomina aceite “crudo”, y en estado gaseoso, gas natural. Su origen es de tipo orgánico y sedimentario. Se formó como resultado de un complejo proceso físico químico en el interior de la tierra, que, debido a la presión y a las altas temperaturas las materias orgánicas que se fueron depositando en el pasado en lechos de los grandes lagos, mares y océanos se van descomponiendo. A través del tiempo se transformó esta sedimentación en petróleo y gas natural [1].

Al ser extraído, el crudo se presenta como un fluido compuesto principalmente de agua, gas, sedimentos y de petróleo, donde cada uno presenta diferente densidad y otras características físicas y químicas. Pero para obtener del petróleo sus diferentes derivados, previamente se necesita aislarlo de estos elementos, para esto se realiza un proceso de separación.

La separación del petróleo se realiza en diferentes etapas y se lo desasocia del agua y del gas en diferentes contenedores, esto se determina de acuerdo a las condiciones de operación y a las características del petróleo crudo, que son

obtenidas al realizar análisis físicos y químicos a los yacimientos donde se realizará la extracción.

## **1.1.1 PRINCIPIOS DE SEPARACIÓN**

### **1.1.1.1 Cantidad de movimiento**

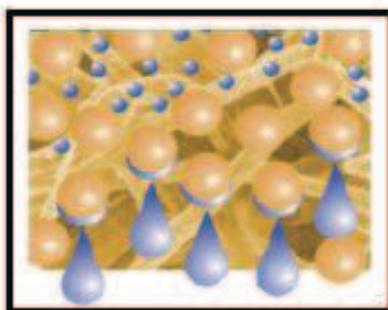
El cambio brusco de dirección del fluido provoca que las partículas de las fases pesadas y livianas, que lo conforman, se muevan a diferentes velocidades, produciéndose una separación de estas fases.

### **1.1.1.2 Fuerza de gravedad**

Las gotas líquidas se separan de la fase gaseosa, gracias a la fuerza gravitacional que actúa sobre las mismas; esto se debe a que la densidad del líquido es mucho mayor que la del gas.

### **1.1.1.3 Coalescencia**

Las gotas muy pequeñas no pueden ser separadas por gravedad. Estas gotas se unen por medio de un fenómeno llamado coalescencia, para formar gotas mayores, las cuales se acercan lo suficientemente como para superar las tensiones superficiales individuales y poder de esta forma separarse por gravedad. [2]



**Figura 1.1** Coalescencia

### **1.1.2 DISOCIACIÓN DE AGUA Y CRUDO**

El agua asociada al crudo se presenta en forma emulsionada o libre. Una parte del agua que el pozo petrolero produce es llamada agua libre y se separa fácilmente del crudo gracias a la acción de la gravedad. La otra parte del agua está combinada con el crudo en forma de una emulsión de gotas de agua dispersas en el aceite (petróleo). El agua y el crudo son inmiscibles; es decir, no poseen la capacidad para mezclarse, se necesita un medio que provoque la agitación de estos agentes para dar paso a una emulsión. Este medio se produce en el recorrido que realiza el crudo para su transportación a través de bombas válvulas, codos, etc., además se necesita de emulsionantes que pueden ser compuestos naturales, sólidos divididos finamente, entre otros.

### **1.1.3 DISOCIACIÓN DE GAS Y CRUDO**

El crudo dentro del yacimiento puede estar presente en una o dos fases (líquida y/o gaseosa) a una presión y temperatura de confinamiento. Si el fluido se encuentra en una sola fase y se producen cambios de presión y de temperatura, el fluido experimenta variaciones en sus características físicas y químicas lo que produce la liberación de gas, una parte del gas es liberado como consecuencia de la extracción, la parte restante será extraída dentro de los separadores bifásicos o trifásicos.

En casos donde la cantidad de gas es considerablemente alta, después de pasar por el separador se somete al fluido a procesos de destilación, donde el petróleo crudo empieza a vaporizarse a una temperatura algo menor que la necesaria para hervir el agua.

Otro aspecto importante en la separación del crudo es el tiempo de retención, que es el tiempo necesario que debe permanecer el crudo dentro del separador, para permitir que las tres fases se separen eficientemente, este puede tener una variación entre 3 segundos y 30 minutos, el cual dependerá de las características del fluido y

de los resultados obtenidos en los estudios de laboratorio; cuando no se cuenta con esta información generalmente se establece un tiempo de 10 minutos. [3]

## **1.2 SEPARADORES DE CRUDO**

Para llevar a cabo el proceso de separación se utiliza una serie de elementos, el primero de estos es un recipiente metálico cerrado llamado separador, por el cual circula el crudo.

Los separadores son dimensionados de acuerdo a las características de los fluidos y a las condiciones de producción y de separación.

Para establecer las condiciones de separación adecuadas, de acuerdo a las características de los fluidos producidos, se tiene que considerar los siguientes aspectos: el tipo, el tamaño y los dispositivos internos del separador, el tiempo de residencia del petróleo crudo, las etapas de separación, las presiones y temperaturas de operación y el lugar de instalación de los separadores, entre otros.

Se puede clasificar a los separadores tomando en cuenta los siguientes aspectos:

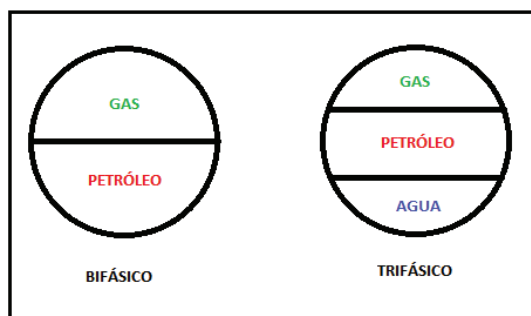
### **1.2.1 SEPARADORES DE CRUDO DE ACUERDO AL NÚMERO DE FASES**

#### **1.2.1.1 Separadores bifásicos**

Se consideran bifásicos cuando separan dos fases, como petróleo y gas o agua y petróleo. El Gas Scrubbers es un separador bifásico que se utiliza cuando la proporción del caudal del gas al caudal del líquido es mucho mayor. El Slug Catcher es comúnmente usado en líneas de recolección de gas, es un caso especial de separador bifásico diseñado para manejar grandes capacidades de gas y líquido.

### 1.2.1.2 Separadores trifásicos

Son diseñados para separar tres fases (agua, petróleo y gas.)



**Figura 1.2** Tipos de separadores

## 1.2.2 SEPARADORES DE CRUDO DE ACUERDO A SU FORMA Y GEOMETRÍA

### 1.2.2.1 Separadores horizontales

Son más eficientes para manejar grandes cantidades de gas que los verticales, además son relativamente más económicos que éstos. Son muy adecuados para manejar aceite con alto contenido de espuma. Para esto, donde queda la interface gas-líquido, se instalan placas rompedoras de espuma. No manejan sólidos tan bien como los separadores verticales. Tienen menos capacidad de oleada líquida, esto quiere decir que para un cambio dado en la elevación de la superficie del líquido, típicamente hay un incremento mayor en el volumen del líquido para un separador horizontal que para un separador vertical, cuando ambos tienen el tamaño adecuado a la misma tasa de flujo. [4]

Por otro lado, las oleadas en recipientes horizontales pueden crear olas internas que activen el dispositivo de cierre.



### **1.2.2.2 Separadores verticales**

Son más costosos que los horizontales, es fácil mantenerlos limpios, por lo que se recomiendan para manejar flujos de pozos con alto contenido de lodo, arena o cualquier material sólido. Tienen la ventaja de manejar baches de líquido sin llevarlo a la salida del gas, y la acción del controlador del nivel del líquido realmente no es crítica. Son frecuentemente utilizados en flujos de fluidos con una relación de gas/petróleo baja; es decir, cuando se maneja más líquido que gas.

### **1.2.2.3 Separadores esféricos**

Estos separadores ofrecen un arreglo del recipiente barato y compacto; sin embargo, este tipo de recipiente tiene una limitada área de reposo y de sección de suspensión. La colocación y acción de los controladores de nivel en este tipo de recipientes es muy crítico.

## **1.3 SEPARADORES DE PETRÓLEO TRIFÁSICOS**

Los separadores trifásicos son recipientes metálicos que trabajan a una temperatura y presión específica y son utilizados para separar los tres elementos principales que conforman el crudo al ser extraído; agua, petróleo y gas.

Para esto se diseña el separador adecuado para cada tipo de crudo, así se pueden utilizar separadores horizontales que son los más utilizados para la separación de tres fases y en el cual se ha enfocado este proyecto y los verticales que se emplean cuando la cantidad de gas es elevada.



Figura 1.3 Separadores trifásico horizontal y vertical

### 1.3.1 SECCIONES DEL SEPARADOR TRIFÁSICO

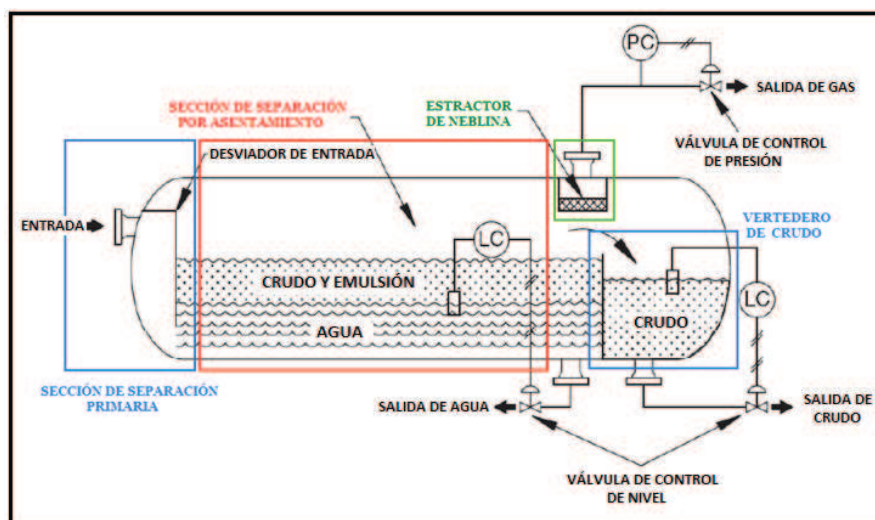
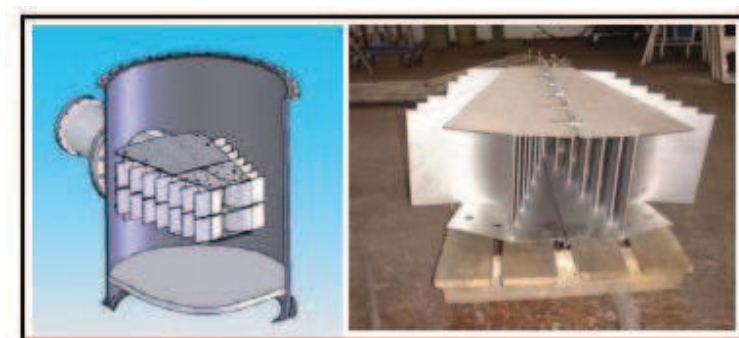


Figura 1.4 Secciones del separador trifásico

El proceso de separación dentro del recipiente se realiza en algunas etapas, cada etapa corresponde a una sección que se detalla a continuación:

### 1.3.1.1 Sección de separación primaria

La separación primaria se realiza a la entrada del separador y se da gracias al cambio brusco de dirección del fluido, lo que produce que las fases de diferentes densidades se separen; para esto se utiliza un elemento llamado difusor de entrada (intel diverter). Con este elemento se consigue obtener una separación inicial del crudo y gas.

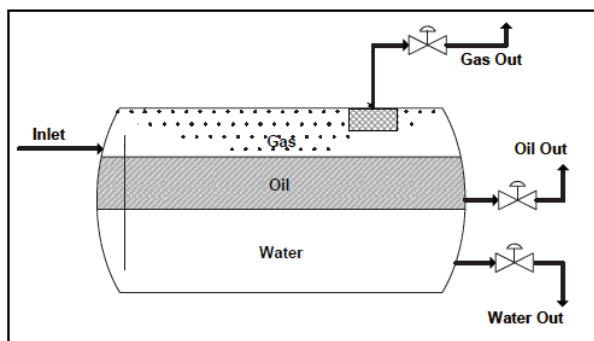


**Figura 1.5** Difusor de entrada <sup>[5]</sup>

### 1.3.1.2 Sección de asentamiento "por gravedad" secundaria

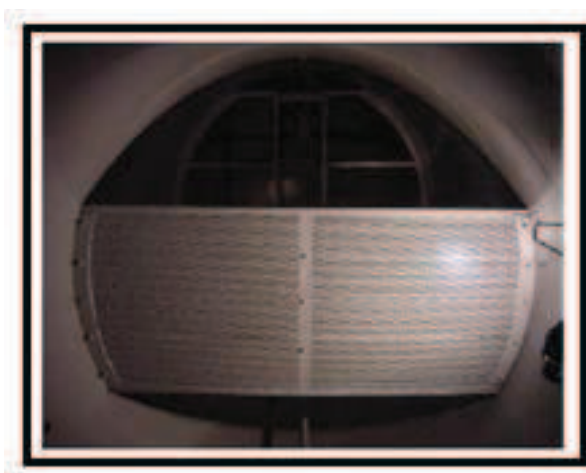
Durante el proceso de separación, el gas se eleva a la parte superior del recipiente y las partículas de líquido tienden a descender al fondo gracias a la influencia de la gravedad. Para que esto suceda se necesita establecer el tiempo adecuado de permanencia dentro de esta sección.

Como resultado se obtienen diferentes fases: agua libre en la parte inferior, luego una emulsión de agua y aceite, después una fase oleosa y finalmente el gas, como se indica en la Figura 1.6.



**Figura 1.6** Asentamiento por gravedad

En esta sección se encuentran placas rompe olas que se instalan perpendicularmente a la dirección del flujo para evitar la propagación de las ondulaciones y los cambios de nivel en dirección longitudinal que son producidos por la entrada súbita de líquido dentro del separador. Son de especial importancia en los separadores horizontales, donde un cambio momentáneo de nivel puede disparar alarmas de “nivel máximo” sin que éste se haya producido realmente, lo que altera el proceso regular de separación.



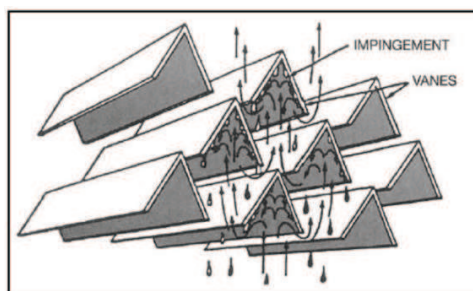
**Figura 1.7** Wave Breakers

### 1.3.1.3 Sección terciaria

Las gotas finas de la fase pesada son arrastradas en la fase liviana, en esta sección se logra por coalescencia que esas gotas demasiado pequeñas alcancen un tamaño lo suficientemente grande para separarse por gravedad.

En esta sección se instala un eliminador de neblina que opera bajo principios mecánicos, como el asentamiento por gravedad, la fuerza centrífuga, el choque y la filtración.

Algunos de estos dispositivos constan de placas metálicas paralelas formando un laberinto, como se indica en la Figura 1.8. Cada una de estas placas cuenta con varias bolsas para retener el líquido, cuando el gas pasa a través del extractor cambia de dirección varias veces y es centrifugado, provocando que las gotas de líquido se muevan hacia el exterior, donde son retenidas por las bolsas colectoras.



**Figura 1.8** Extractor de neblina tipo veleta <sup>[6]</sup>

### 1.3.1.4 Sección vertedero de crudo

Todos los separadores deben proporcionar un área para depositar todo el líquido recogido de la sección de separación primaria, de la sección secundaria y del extractor de niebla, esta área es denominada vertedero en la que permanecerá el petróleo el tiempo suficiente para llegar a un equilibrio y permitir el desnatado y la salida del crudo hacia las siguientes fases de refinación.

## **1.4 DIMENSIONAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SEPARADORES TRIFÁSICOS**

Los fluidos originados en los pozos son compuestos, que poseen diferentes densidades, presiones de vapor y otras características físicas. El diseño de un separador tiene como función separar de una corriente de hidrocarburo, los componentes líquidos y gaseosos que existen a una temperatura y presión. El diseño mecánico del tanque es crucial para que el proceso se desarrolle adecuadamente; si este diseño es mal realizado no se puede garantizar una buena separación, produciéndose un embotellamiento del producto o una estadía muy corta que no permitiría la separación, por lo tanto, el sistema de control no sería eficiente.

A continuación se describe de forma general los puntos principales a considerar para el dimensionamiento y construcción de separadores trifásicos horizontales, ya que éstos son los de mayor demanda en nuestro medio.

Cuando el agua y el crudo están mezclados con alguna intensidad y se lo deja reposar, una capa de agua relativamente limpia aparece en el fondo de la manera descrita anteriormente, el crecimiento de esta capa evoluciona en función del tiempo. Después de un periodo de tiempo, en un rango de entre tres y treinta minutos, es importante separar el agua antes de tratar las siguientes capas de crudo y emulsiones.

Las características del flujo afectan el diseño y la operación del separador, por esto se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Tasas de flujo de gas y líquido (mínimos, máximos y picos).
- Presión y temperaturas operativas y de diseño.
- Tendencias de sustancias lodosas en las corrientes de alimentación.
- Propiedades físicas de los fluidos.
- Presencia de impurezas.
- Tendencias espumosas del crudo.

- Tendencias corrosivas del líquido o gas.

## 1.4.1 DIMENSIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS Y VÁLVULAS DE CONTROL

### 1.4.1.1 Selección de instrumentos

Una vez que el proceso ha sido analizado y la parte mecánica se ha diseñado, se puede especificar las variables que intervendrán en el proceso de control y monitoreo.

Para cada variable se debe establecer características o requerimientos de magnitud, eléctricas, mecánicas, ambientales y de fiabilidad.

- Requerimientos de magnitud

De acuerdo a las características del proceso se puede determinar el rango, alcance, precisión y sensibilidad de los instrumentos.

Para la obtención de medidas de una variable se utilizan elementos primarios que tienen diversos principios de medición (mecánicos y eléctricos); de acuerdo al entorno de la variable y de sus propias características se debe escoger el principio más conveniente.

MAGNITUD	PRINCIPIO DE MEDICIÓN	ELEMENTO PRIMARIO
TEMPERATURA	Rotación de dos metales de diferente coeficiente de dilatación	termómetros bimetálicos
	Salida de voltaje- Principio Seebeck	termopares
	Variación de resistencia eléctrica	rtd
	Variación de resistencia eléctrica	termistor
	Radiación	pirómetros
NIVEL (LÍQUIDOS)	Medición directa	regla
	Medición directa	cinta y plomada
	Desplazamiento - variación de resistencia eléctrica	flotadores

<b>NIVEL (LÍQUIDOS)</b>	obtención de nivel en función de la variación de presión	medidor manométrico, medidor de membrana, burbujeo, presión diferencial
	Tiempo de retorno de las ondas reflejadas sobre la superficie del líquido	radar de onda guiada
	El nivel está en función del tiempo de la onda al llegar a un detector de ultrasonido	sensor de ultrasonido
	La capacitancia varía en función del nivel	sonda de capacitancia
<b>CAUDAL (LÍQUIDOS)</b>	Variación de la presión diferencial es proporcional al flujo	placa orificio, tobera, venturi, tubo pitot
	Medición de volúmenes de fluido conocido en un lapso de tiempo	medidor por desplazamiento positivo
	La velocidad de la rotación de la turbina es proporcional al flujo	medidor de turbina
	Variación del área de flujo	rotámetro
	La velocidad del flujo está relacionado con el tiempo de viaje de la onda	medidor ultrasónico
	La velocidad del fluido es proporcional con la cantidad de tiempo entre las ondas sinusoidales provocadas por la deformación de tubos	medidor coriolis
	Medición de la frecuencia de oscilación de los vórtices	medidor tipo vortex
El voltaje inducido es proporcional a la velocidad del fluido	medidor magnético	
<b>FLUJO (GASES)</b>	Medición de la velocidad de propagación de calor en el gas y efecto coriolis	sensores de temperatura
<b>PRESIÓN</b>	Deformación elástica de Tubo Bourdon(medición de presión estática)	tubo Burdon
	Tubo Burdon en forma de espiral	tubo en espiral
	Deformación de una o varias cápsulas	Diafragma
	Pieza flexible que puede dilatarse o contraerse	fuelle



<b>PRESIÓN</b>	Variación de capacitancia al desplazarse una de sus placas	condensador
	La deformación de materiales piezoeléctricos generan una señal eléctrica	materiales piezoeléctricos
	elemento elástico que varía la resistencia de un potenciómetro	potenciómetro /sensor resistivo
	Núcleo móvil que se desplaza dentro de una bobina aumentando la inductancia	bobina magnética/sensor magnético de inductancia variable
	Hilo resistivo sometido a un cambio de longitud que genera un cambio de su resistencia	galgas extensiométricas
	Variación de la resistencia eléctrica por efecto de la presión	elemento piezoresistivo

**Tabla 1.1** Magnitudes, principios de medición y elementos primarios de medición de Instrumentos <sup>[7]</sup>

- Características eléctricas y electrónicas

Se determinan los tipos de instrumentos a utilizarse por cada variable; éstos pueden ser: indicadores, transmisores, registradores o controladores. Además se especifica el tipo de señal de salida, alimentación, tierras, etc.

- Características mecánicas

Permiten el manejo y montaje adecuado del instrumento y depende del lugar de instalación, y del tamaño del instrumento.

- Características ambientales

Se establecen las condiciones en las que el instrumento se desempeña con normalidad y sin fallas, como son: la presión, temperatura, humedad, etc. Con estos factores se consideran los niveles de protección de los instrumentos.

- Características de fiabilidad

Se considera la vida operativa y tipo de servicio del instrumento (continuo o intermitente).

Además de estos requerimientos se debe tomar en cuenta factores como la disponibilidad y costo del instrumento.

#### **1.4.1.2 Dimensionamiento de válvulas de control**

Cada válvula de control debe ser dimensionada y seleccionada de tal manera que ésta proponga una operación y control confiable; para esto se necesita considerar los siguientes criterios:

##### *1.4.1.2.1 Tipo de acción de la válvula de control*

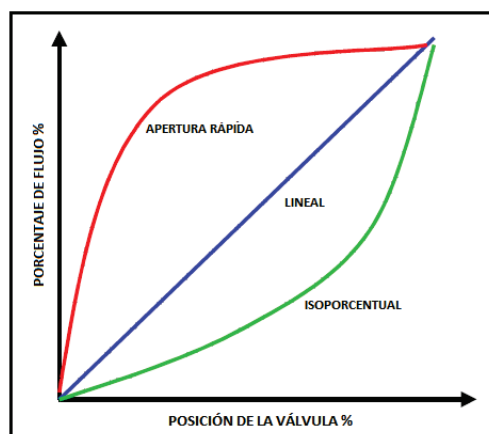
Se deben determinar las condiciones de seguridad apropiadas, cuando existe una falla, para que la válvula adopte el estado menos desfavorable. Existen dos opciones: abierto en falla o cerrado en falla; la elección de uno de estos estados dependerá del proceso.

##### *1.4.1.2.2 Característica de flujo*

La característica de flujo se define como la relación entre el flujo que circula a través de la válvula y la posición de la misma conforme varía de 0 a 100%. Esta característica puede variar de acuerdo a la aplicación. De manera general se pueden encontrar tres tipos de características de flujo:

- Característica de flujo lineal. Produce un flujo directamente proporcional al desplazamiento o posición de la válvula.
- Característica de flujo apertura rápida. En aplicaciones donde se produce un gran flujo con un pequeño desplazamiento de la válvula.

- Característica de flujo igual porcentaje. Produce un cambio muy pequeño en el flujo al inicio del desplazamiento de la válvula, pero aumenta considerablemente a medida que ésta se acerca a su apertura máxima.



**Figura 1.9** Tipos de característica de flujo <sup>[8]</sup>

#### 1.4.1.2.3 Definir el tipo de válvula

Los tipos de válvulas se determinan por la forma o tipo de su cuerpo; los tipos más utilizados en aplicaciones petroleras, se presentan a continuación:

TIPO DE VÁLVULA	APLICACIÓN
<b>VÁLVULAS RECÍPROCANTES</b>	
Globo simple asiento	Procesos que requieren altas caídas de presión/caudales medios a bajos / actuador con tolerancia a mayores presiones
Globo doble asiento	Procesos que requieren altas caídas de presión/caudales medios a bajos / actuador de menor tamaño/mayor costo
Jaula	Procesos que requieren altas caídas de presión/No para fluidos sucios o muy viscosos

Cuerpo Dividido	Procesos que requieren cambios frecuentes de asiento o tapón o mantenimiento constante
Válvula angular	Procesos que requieren alta caída de presión
Tres vías	Procesos que requieren separar una corriente en dos / mezclar dos corrientes en una sola /on-off
Saunders	Procesos que requieren servicios químicos/ aceite lodoso/ líquido con partículas sólidas
Aguja	Procesos que requieren caudales muy bajos/dosificación de productos químicos /control de flujo preciso
<b>VÁLVULAS ROTATIVAS</b>	
Bola	Procesos que requieren caudales altos/no para altas caídas de presión/propensa a la cavitación/alta hermeticidad/plantas de gas de alta presión/costo alto
Mariposa	Procesos que requieren alta capacidad de flujo con mínima caída de presión/para servicios de baja presión/sistemas de venteo/transferencia de gas en baja presión /económica
Mariposa de alto desempeño	Procesos que requieren aplicaciones similares a la válvula de bola/alta hermeticidad/actuador de menor tamaño o potencia
Tapón excéntrico rotativo (Masoneilan International Inc.)	Procesos que requieren aplicaciones de baja presión/aplicaciones petroleras

**Tabla 1.2** Tipos de válvulas empleadas en aplicaciones petroleras <sup>[9]</sup>

#### 1.4.1.2.4 Rango de presión estática

Se considera presión estática a cualquier presión realizada por un fluido, la cual no es ejercida por el movimiento o velocidad del fluido. Estos rangos de presión se encuentran definidos en libras/in<sup>2</sup> (psi) por los estándares ANSI.

#### 1.4.1.2.5 Coeficiente de flujo $C_v$ o $C_g$

Uno de los valores más importantes que caracteriza a las válvulas es el coeficiente de flujo,  $C_v$ , este se determina, en el caso de líquidos, mediante la siguiente expresión:

$$C_v = q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}} \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

Donde;

$q$  = Flujo de líquido, en gpm

$\Delta P$  = Caída de presión en la válvula, en psi

$G_f$  = Gravedad específica del líquido a la temperatura que fluye

Este coeficiente de flujo está dado para una apertura del 100% de la válvula y es utilizado de manera general para flujo de líquidos.

En el caso de los gases:

$$C_v = \frac{Q \sqrt{GTZ}}{834 C_f P_1 (y - 0.148 y^3)} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Donde;

$Q$  = flujo de gas, scfh

$T$  = Temperatura del fluido, en °R

$G$  = gravedad específica del gas

$Z$  = Factor de compresibilidad

$$y = \frac{1.63}{C_f} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}} \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

El término “y” determina los efectos de la compresibilidad sobre el fluido. Donde

$C_f$  = factor de flujo crítico, valor entre 0,6 y 0,95.

Los demás términos se encuentran descritos en el párrafo anterior.

#### *1.4.1.2.6 Determinar en tablas el diámetro de la válvula*

Una vez determinado el coeficiente de flujo  $C_v$ , se debe buscar en catálogos o bases de datos que se tengan a disposición, el modelo que mejor se adapte a las condiciones establecidas.

Es importante tomar en cuenta todas las propiedades físicas del fluido y determinar previamente si existe flujo crítico.

## **1.5 NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SEPARADORES DE CRUDO (CÓDIGOS, ESTÁNDARES, ESPECIFICACIONES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS)**

Los separadores de crudo al ser equipos que trabajan en procesos de alto riesgo y en espacios abiertos diversos, necesita que su diseño y construcción responda de manera adecuada a códigos, estándares y especificaciones, con esto se asegura la calidad de los equipos.

Un código es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos.

Una especificación es una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no.

Las normas o estándares son aplicadas de manera indistinta a especificaciones, códigos, métodos y prácticas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos gráficos que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por esta. Los estándares determinan el nivel mínimo y máximo aceptable para un indicador.

Las prácticas recomendadas son métodos o técnicas opcionales no exigidas dentro de una inspección o control excepto si el cliente lo requiere como punto obligatorio para cubrir sus estándares. [10]. La Tabla 1.3 resume los códigos, normas, estándares y prácticas recomendadas más utilizados en el diseño y fabricación de separadores de crudo.

<b>CÓDIGOS, NORMAS, ESTÁNDARES Y PRÁCTICAS RECOMENDADAS PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE SEPARADORES DE CRUDO</b>			
<b>ORGANIZACIÓN</b>		<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>CÓDIGOS</b>			
<b>CÓDIGOS</b>	<b>NFPA</b> National Fire Protection Association	NFPA 30	Código para combustibles y líquidos inflamables
		NFPA 69	Sistemas de prevención de explosiones
	<b>ASME</b> American Society of Mechanical Engineers	ASME BPVC SECCIÓN II	Materiales
		ASME BPVC SECCIÓN VIII DIVISIÓN 1	Construcción y diseño mecánico
		ASME BPVC SECCIÓN V	Exámenes no destructivos
		ASME BPVC SECCIÓN IX	Estándar de calidad para procedimientos de soldadura
		ASME PTC 1	Pruebas de desempeño- Instrucciones generales
		ASME PTC 19.3	Pruebas de desempeño- Medida de temperatura

<b>CÓDIGOS</b>		ASME PTC 19.5.3	Prueba de desempeño- Medida de la velocidad de fluido
		ASME PTC 25	Código de prueba de desempeño- Válvulas de alivio
	<b>NEC</b> National Electrical Code	Artículo 500 - 5004	Áreas peligrosas /Alambrado y equipos instalados en lugares peligrosos
<b>ESTÁNDARES/NORMAS</b>			
<b>ESTÁNDARES/ NORMAS</b>	<b>IEC</b> International Electrotechnical Commission	IEC 60534	Válvulas de control
		IEC 60309	Seguridad eléctrica
		IEC 60204-1	Estaciones de control
		IEC 60079	Zonas de seguridad
		IEC 60529	Protección de dispositivos electrónicos (IP CODE)
		IEC 61131	Controladores programables - PLCs
	<b>DIN</b> Instituto Alemán de Normalización	DIN 3202	Dimensionamiento de válvulas
	<b>ISA</b> Instrument Society of America	ISA S20	Formas de especificación para instrumentos
		ISA S75	Código estándar para válvulas de control
		ISA S5	Instrumentación / P&D
		ISA S7.4	Controladores, transmisores de señales neumáticas
		ISA 70.01	Estándar de calidad para instrumentos de aire
		ISA S82	Seguridad para pruebas de equipos eléctricos y electrónicos
		ISA 99.02.01	Programa de Automatización Industrial y Control de Sistema de Seguridad
	<b>ANSI</b> American National Standards Institute	ANSI MC 6.1	Nomenclatura y terminología para transductores eléctricos
		ANSI MC 11.1	Estándar de calidad para instrumentos
		ANSI C85.1	Terminología para control automático
	<b>API</b> American Petroleum Institute	API STD 598	Inspección y pruebas para válvulas
		API STD 608 / STD 609 / STD 598	Válvulas tipo bola / válvula tipo mariposa / válvula tipo globo
		API STD 2530	Manual de normas de medición del petróleo



<b>ESTÁNDARES/ NORMAS</b>		API STD 2551	Método de medición y calibración para tanques horizontales
	<b>IEEE</b> Institute of Electrical and Electronic engineers	IEEE 141	Distribución de energía eléctrica
		IEEE 446	Energía eléctrica de emergencia y auxiliar
		IEEE C2	Código de seguridad eléctrica
<b>PRÁCTICAS RECOMENDADAS</b>			
<b>PRÁCTICAS RECOMENDADAS</b>	<b>API</b> American Petroleum Institute	API ESPECIFICACIÓN 12J (ANSI)	Construcción y diseño mecánico de separadores
		API RP 520	Dispositivos de alivio de presión en refinerías
		API RP 526	Bridas de acero para válvulas de seguridad
		API RP 550	Manual de instalación de instrumentos de refinería y sistemas de control
		API RP 553	Válvulas de control para refinerías
		API RP 554	Procesos de Instrumentación y control
		API RP 572	Inspección de recipientes a presión
		API RP 683	Manual de Calidad de Mejora de las instalaciones mecánicas en Petróleo
	<b>ISA</b> Instrument Society of America	ISA RP-16.1, 2, 3	Terminología, dimensiones y prácticas seguras para medidores
		ISA RP 4.2	Diseño de válvulas de control Manifold
		ISA RP 60	Centros de Control
	<b>PIP</b> Process Industry Practices	PCC CV 001	Criterio de selección de válvulas de control
		PCC CV 002	Criterio de selección de reguladores de presión
		PCC EL 001	Criterio de diseño de Instrumentación Eléctrica
		PCC LI 001	Criterio de diseño de las medidas de nivel
		PCE TE 001	Guía para las medidas de temperatura

**Tabla 1.3** Códigos, normas, estándares y prácticas recomendadas para el diseño y fabricación de separadores de crudo

### **1.5.1 NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DE SEPARADORES DE CRUDO**

Entre la normativa para el diseño y construcción mecánica de separadores de crudo se puede destacar:

- **API ESPECIFICACIÓN 12J**

Esta especificación cubre los requerimientos mínimos para el diseño, fabricación y pruebas para separadores de crudo, generalmente localizado pero no limitado en un punto de la línea de producción entre la “boca del pozo” y la tubería de transportación de crudo.

Salvo excepciones, la jurisdicción de esta especificación termina con lo determinado en la Sección VIII, División 1 de las normas ASME referidos a recipientes a presión. Los separadores fuera de este alcance incluyen a los separadores centrífugos.

Dentro de esta norma se establecen los cálculos para el diseño de separadores, determinados por la capacidad del recipiente, formación de espuma, tiempo de retención, presencia de sólidos.

Además especifica una tabla normada para establecer la información más importante para el diseño del separador. [11]

- **CÓDIGO ASME SECCIÓN VIII DIVISIÓN 1 [12]**

Esta sección del código establece las exigencias mínimas para el diseño, fabricación e inspección de recipientes a presión. Está dividido en tres subsecciones:

Subsección A parte UG referido a los requerimientos generales.

Subsección B referido a los requisitos para los diferentes métodos de construcción, que consta de las partes UW, para recipientes fabricados por soldadura; UF para

recipientes fabricados por forjado; UB, para recipientes fabricados utilizando “brazing”; Subsección C perteneciente a las exigencias de materiales consta de las partes UCS, para recipientes construidos con acero al carbón y de baja aleación UNF.

Para recipientes construidos con materiales no ferrosos UCI, para los construidos con fierro fundido, entre otros.

- ASME SECCIÓN V

En lo que respecta al control de calidad, la Sección V determina los requisitos y métodos de análisis no destructivos. Estos procedimientos de evaluación tienen por objeto detectar las imperfecciones internas y de superficie en los materiales, soldaduras piezas fabricadas y otros componentes.

### **1.5.2 NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA DE SEPARADORES DE CRUDO**

Existen organismos, que se han encargado de crear y establecer las normas, códigos y estándares correspondientes a instalaciones eléctricas; los adecuados para procesos en refinerías se resumen a continuación:

- API RP 550

Práctica Recomendada para Clasificación de Ubicaciones para Instalaciones Eléctricas en Instalaciones Petroleras.

- IEEE C2

Es un documento para salvaguardar a las personas contra los riesgos eléctricos durante la instalación, operación y mantenimiento del suministro eléctrico y las líneas

de comunicación. Es considerada como la fuente de las buenas prácticas de ingeniería eléctrica.

### **1.5.3 NORMATIVA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE SEPARADORES DE CRUDO**

Para la automatización del proceso se utilizan instrumentos de medida y válvulas de control, un controlador programable que serán instalados en un panel de control; tanto los instrumentos, como las válvulas de control y el PLC debe cumplir con normas de seguridad que eviten el colapso del proceso. Entre estos estándares, especificaciones y normas se encuentran:

- API RP 550

Es un manual acerca de la instalación de instrumentos y sistemas de control en refinerías, abarca sistemas de presión, de temperatura, centros de control, elementos de protección y alarmas, etc.

- ANSI/ISA-RP12.06.01

Establece la seguridad intrínseca en circuitos expuestos a ambientes explosivos o con tendencia a ignición.

- API RP 553

Permite la selección, especificación y aplicación de válvulas de control utilizadas en refinerías.

Además todos los equipos utilizados en el sistema de control deberán tener protecciones de acuerdo al sitio de instalación según lo que establece el Estándar IEC 60529 referente al código IP. [13]

Existen otros códigos, estándares y especificaciones concernientes a la instalación y al impacto ambiental de procesos en refinerías, los cuales no se encuentran dentro del alcance de este proyecto.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

Con el análisis del proceso de separación trifásico de crudo, se pueden definir las variables a controlar y así desarrollar el diseño del recipiente de separación. Con esto establecido, será posible determinar los elementos necesarios (válvulas e instrumentos) para el control de dichas variables.

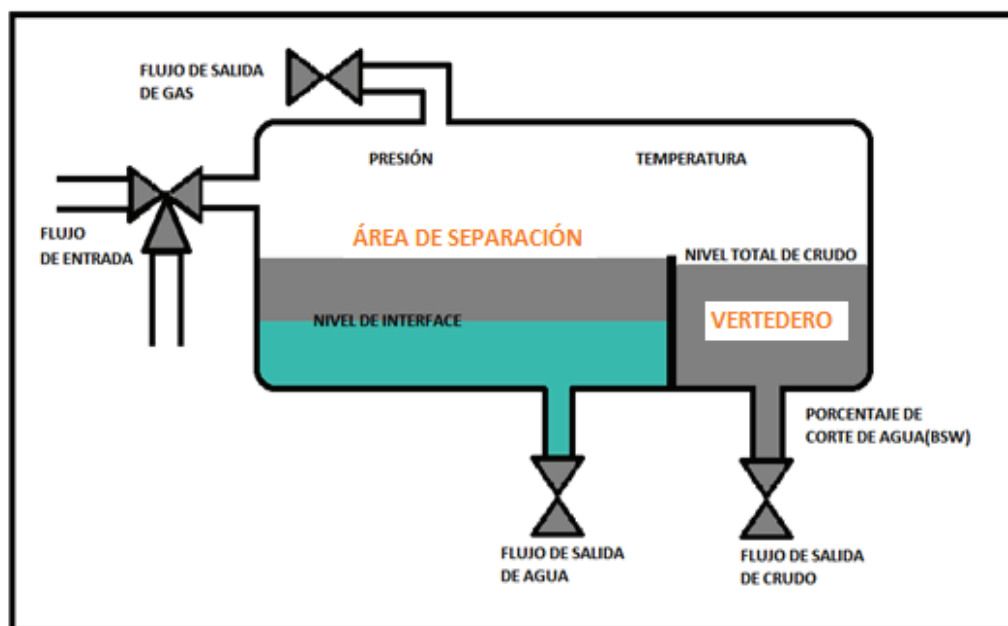
En este capítulo se seleccionan y dimensionan los instrumentos y válvulas adecuados para los separadores trifásicos de crudo. Estos se encuentran representados por medio de un módulo demostrativo que permite visualizar el sistema de control desarrollado en Labview.

#### 2.1 VARIABLES A MEDIR Y CONTROLAR EN LOS SEPARADORES TRIFÁSICOS DE CRUDO

Como las principales variables del proceso, se pueden indicar a las siguientes:

- **Caudal de gas y líquidos:** es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.
- **BSW** (Basic Sediment and Water): determina el contenido de agua libre (no disuelta) y sedimentos (limo, arena) que trae el crudo.
- **Temperatura:** está referida a la temperatura con la que el fluido llega al separador.
- **Presión:** se refiere a la fuerza ejercida en el interior del separador hacia su superficie.
- **Nivel de líquidos:** variación de la altura del líquido dentro del separador.

La Figura 2.1 detalla cada una de las variables del sistema.



**Figura 2.1** Variables que involucran el proceso de separación trifásica de crudo

Las variables del proceso se clasifican en variables a monitorear y variables a controlar. Las variables a controlar son las que se encuentran directamente relacionadas con el sistema de control, y se enumeran a continuación:

1. Caudal de entrada
2. Nivel de interface en el área de separación
3. Nivel de crudo en el vertedero
4. Presión interna en el separador

Controlar estas variables dentro del proceso permite el correcto funcionamiento del separador, al establecer valores adecuados de nivel, caudal de entrada y presión dentro del separador.

## **2.2 INSTRUMENTOS Y VÁLVULAS DE CONTROL NECESARIOS PARA EL ADECUADO FUNCIONAMIENTO DE SEPARADORES TRIFÁSICOS**

Cuando se han definido las variables involucradas en la separación de crudo, se pueden establecer los elementos que se requieren para realizar el control de este proceso. Cada variable demanda para su control, de un sensor que obtenga los valores de magnitud física adecuados, de un transmisor que tome estos valores y los envíe hacia el controlador y de un elemento final de control que en este proceso será una válvula de control.

### **2.2.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS Y EL DIMENSIONAMIENTO DE VÁLVULAS DE CONTROL PARA UN SEPARADOR TRIFÁSICO DE CRUDO**

El presente proyecto se enfoca de manera general en separadores de crudo trifásicos. Para la selección de instrumentos y el dimensionamiento de válvulas se considera las especificaciones del Separador Trifásico de 20000 BFPD fabricado por Industria Acero de Los Andes para Petroproducción, el cual fue instalado en la Estación de Producción Pichincha del Campo Libertador. Este Separador es seleccionado porque la estación en la que se encuentra posee propiedades que caracterizan a la mayoría de pozos en el país.

La siguiente tabla presenta las propiedades que caracterizan al fluido de ingreso al separador de 20000 BFPD de la Estación Pichincha:



<b>CARACTERÍSTICAS DE FLUIDO DE INGRESO AL SEPARADOR TRIFÁSICO DE CRUDO DE 20000 BFPD DE LA ESTACIÓN PICHINCHA- CAMPO LIBERTADOR.</b>		
	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Características volumétricas</b>		
Crudo	12000	BCPD
Agua	8000	BAPD
Gas	1	MMSCFD
Densidad gas	0,208	Lb/ft <sup>3</sup>
<b>Valores de operación</b>		
Temperatura	96	°F
Presión	26	PSIG
<b>Valores de diseño</b>		
Temperatura	200	°F
Presión	100	PSIG
<b>Características físicas</b>		
Diámetro interno del recipiente	100	Pulgadas
caída de presión	2.102	in H2O
<b>Condiciones ambientales</b>		
Temperatura ambiente (promedio)	92	°F
Humedad relativa	85	%

**Tabla 2.1** Características del fluido de ingreso al separador trifásico de crudo de 20000 BFPD de la Estación Pichincha- Campo Libertador

Para la implementación del Sistema de Control se requieren instrumentos que permitan obtener los valores de las variables del proceso y conviertan estos valores en señales estándares para que puedan ser procesadas por el controlador, estas funciones se integran en transmisores de señal que se fabrican actualmente.

Para este proyecto, la selección de instrumentos está fundamentada en las Prácticas Recomendadas API RP 551 Process Measurement y el dimensionamiento de

válvulas se basa en las Prácticas Recomendadas API RP 553 Refinery Control Valves.

Para la realización del sistema de control se han considerado cuatro lazos de control independientes, uno por cada variable a controlar. Cada lazo requiere de un elemento primario de control que permita la obtención de valores de la variable y de un elemento final de control que permita alterar el valor de la variable manipulada, de acuerdo a los requerimientos del controlador. Cada lazo presenta un mecanismo de control específico que será detallado en el siguiente capítulo.

La Estación Pichincha se encuentra ubicada en la Región Amazónica de Ecuador, presentando una temperatura ambiental alta (92°F) y una humedad relativa superior al 85%, como se especifica en la Tabla 2.1. El separador se encuentra instalado en el medio exterior sin ninguna clase de techo protector, por lo tanto los instrumentos y válvulas deberán estar formados con materiales adecuados y cumplir estándares de protección que permitan su funcionamiento.

En lo referente a la comunicación con el controlador, a pesar que para el módulo demostrativo se elige Modbus RTU, para la selección de instrumentos y válvulas se opta por el protocolo de comunicación Hart, ya que permite la transmisión simultánea de datos analógicos y digitales, pues opera superpuesto sobre un lazo de corriente de 4 a 20 mA y utiliza una señal FSK para la transmisión digital binaria; características que han amplificado su utilización en la industria petrolera.

### **2.2.2 INSTRUMENTOS Y VÁLVULAS DE LOS LAZOS DE CONTROL DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE CRUDO**

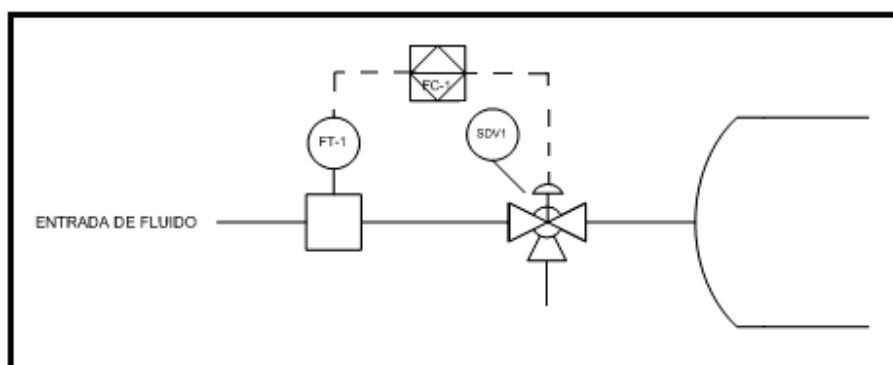
A continuación se describen los elementos necesarios para el control de cada variable del proceso de separación de crudo.

### 2.2.2.1 Instrumento y válvula para el control de Caudal de entrada

Los Separadores de Crudo son diseñados para un caudal y volumen específico de fluido, cuando el caudal de entrada supera el valor de diseño, el separador corre el riesgo de inundarse y posiblemente se podría producir un accidente. Por esta razón es importante controlar el flujo de entrada.

Como se observa en la Figura 2.2 el control del caudal de entrada requiere de:

- 1 Válvula de tres vías (SDV1). Permite variar el caudal a la entrada del separador y redireccionar el flujo restante.
- 1 Transmisor de flujo (FT1). Mide y transmite el flujo de ingreso al separador.



**Figura 2.2** Lazo de control de caudal de fluido de entrada

#### 2.2.2.1.1 Transmisor de caudal de flujo de entrada

- Rango y Rangeabilidad

Los rangos y rangeabilidades para los transmisores de caudal se determinan de acuerdo a las Prácticas Recomendadas API, que considera que el punto de operación normal del instrumento debe estar entre el 50% y 75% de la banda de calibración y no menos del 25%. Además el rango debe ser establecido de tal manera que cubra las condiciones alternas.

Considerando lo expuesto en el párrafo anterior se establece ecuaciones para determinar el rango y la rangeabilidad del transmisor de caudal de entrada.

$$Rango = Lim_{inf} \text{ a } Lim_{sup} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

$$Lim_{sup} = Valor_{max} + 0,25 * Valor_{max} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

$$Lim_{inf} = Valor_{min} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

$$Rangeabilidad = 1: \frac{Lim_{sup}}{Lim_{inf}} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

El flujo de entrada es una mezcla de crudo, agua y gas. De la Tabla 2.1 que presenta las características de este fluido se obtiene un volumen por día de 20000 BFPD como límite superior y de 1000 BFPD como límite inferior

$$Rango = Lim_{inf} \text{ a } Lim_{sup}$$

$$Lim_{sup} = 20000 + 0,25 * 20000 = 25000 \text{ BFPD}$$

$$Lim_{inf} = Valor_{min}$$

$$\mathbf{Rango = 1000 \text{ a } 25000 \text{ BAPD}}$$

$$\frac{Lim_{sup}}{Lim_{inf}} = \frac{25000}{1000} = 25$$

$$\mathbf{Rangeabilidad = 25: 1}$$

- Elemento primario de medición

El elemento escogido para la medición de caudal de entrada debe ser de extrema confiabilidad, ya que éste forma parte del sistema de seguridad del proceso, también se debe tener en cuenta que su instalación no implique tramos rectos de tubería aguas arriba o aguas abajo, ya que el área de instalación es reducida; por estas razones se descartan los medidores tipo Turbina y por Presión Diferencial. El medidor tipo Vortex no es aplicable a este caso, ya que el fluido de entrada

generalmente no se encuentra limpio. Por último y el más adecuado para medir el caudal de este tipo de fluido es el medidor tipo Coriolis, que funciona con rangeabilidades altas, no requiere tramos rectos para su instalación y al ser un medidor másico es independiente de la temperatura y de la presión.

- Protección eléctrica

Protección de encapsulamiento eléctrico NEMA 4X, que indica que un instrumento está sellado contra el agua y polvo, además es resistente a la corrosión y al granizo. Con esto se garantiza que el transmisor no se vea afectado por los efectos medio ambientales.

- Definiendo fabricante y modelo

De acuerdo a los requerimientos del sistema, y a los datos obtenidos en los puntos anteriores se determina el instrumento descrito en la Tabla 2.2 como el más apropiado.

		TRANSMISOR DE CAUDAL ENTRADA
<b>UNIDADES</b>		BFPD
<b>RANGO REQUERIDO</b>	Límite inf	1000
	Límite sup	25000
<b>RANGEABILIDAD REQUERIDA</b>		25:1
<b>PRINCIPIO DE MEDICIÓN</b>		Coriolis
<b>FABRICANTE</b>		MICRO MOTION
<b>RANGO DISPONIBLE</b>	Límite inf	-
	Límite sup	272000 l/h
<b>RANGEABILIDAD DISPONIBLE</b>		-
<b>DIÁMETRO DISPONIBLE</b>		-
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>		4-20 mA
<b>MEDIDOR -MODELO</b>		F300
<b>TRANSMISOR - MODELO</b>		2200S

**Tabla 2.2** Transmisor de caudal seleccionado para el control de caudal de entrada

Ver ANEXO C-3

#### *2.2.2.1.2 Válvula de control de caudal de entrada*

Para el control de caudal de entrada se requiere de una válvula que permita regular el flujo de ingreso al separador, de tal manera que solo ingrese el volumen requerido para que el proceso funcione adecuadamente y el fluido sobrante sea desviado.

- Tipo de acción de la válvula de control

De acuerdo al proceso se establece que la válvula de control de flujo de entrada se encuentre normalmente cerrada en caso de falla, esto permitirá direccionar el fluido por la tercera vía de la válvula y así evitar una posible inundación del separador.

- Característica de flujo

Una válvula con característica de flujo lineal es la elegida para este tipo de control. La relación proporcional produce que con caídas de presión constantes, la ganancia de la válvula será igual en todos los flujos (la ganancia de válvula es el cociente de un cambio incremental en el caudal a un cambio incremental en la posición del tapón de la válvula, permitiendo establecer un sistema de control más sencillo.

- Definir el tipo de válvula

Válvula de control tipo globo doble asiento tres vías. Esta válvula posee un obturador de menor tamaño en comparación a las válvulas de simple asiento especificadas para el mismo flujo, por lo tanto es ideal cuando se emplea para el control de grandes caudales.

- Coeficiente de flujo Cv

$$\Delta p = 1.2 \text{ psi}$$

$$G_f = \frac{141.5}{\text{°API} + 131.5}$$

$$G_f = \frac{141.5}{30 + 131.5} = 0,87$$

$$C_v = q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}}$$

$$q = 20000 \text{ BFPD} \approx 583,3 \text{ GPM}$$

$$C_v = 583,3 * \frac{0,87}{1.2} = 496,6 \approx 500$$

- Tamaño de la válvula

Spirax Sarco dispone válvulas de tres vías con las especificaciones establecidas; para el Cv obtenido se determina un tamaño de válvula de DN200 (200 mm), 8".

- Modelo

El modelo de válvula es el QL43D de Spirax Sarco. Este modelo cumple con las especificaciones requeridas. Ver ANEXO B-1.

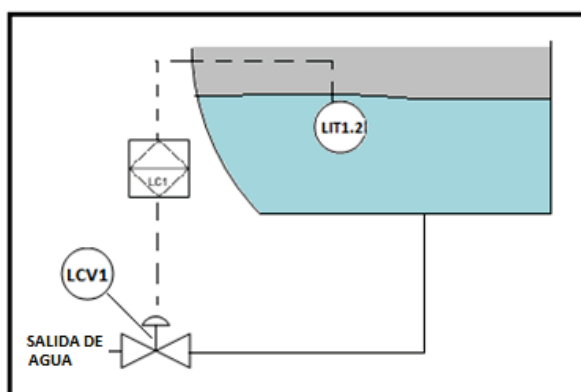
### 2.2.2.2 Instrumento y válvula para el control de nivel de interface en el área de separación

Cuando el fluido ingresa al separador, este se represa momentáneamente en la primera sección del recipiente, permitiendo que los líquidos y el gas se separen, por este proceso el crudo se desprende del agua, siendo este último fluido el que se deposita en la parte inferior del separador. Es necesario desalojar de manera controlada el agua de esta sección para permitir el ingreso de más volumen de fluido.

Para implementar el sistema de control de nivel de agua se necesitan de los siguientes elementos:

- 1 transmisor de nivel de interface (LIT1.2). Permite establecer el valor de nivel de agua que se encuentra debajo de la fase de hidrocarburo.
- 1 válvula de control (LCV1). Limita o permite el paso de agua para mantener un valor de nivel establecido.

En la Figura 2.3 se puede observar el lazo de control de nivel de agua que está conformado por los elementos descritos.



**Figura 2.3** Lazo de control de nivel de interface

#### 2.2.2.2.1 Transmisor de nivel de interface

- Rango

Se establece un rango de 0 a 102", estos valores cubren el diámetro del separador de crudo de 20000 BFPD.

- Tipo de medición

El transmisor usualmente utilizado para medir el nivel de interface en la industria petrolera es el transmisor tipo flotador, el cual opera de acuerdo a la densidad



promedio del crudo y el agua. Este tipo de medidores presentan problemas cuando aumenta el espesor de la capa de emulsión, haciendo que la medición sea poco confiable; por lo tanto es necesario acceder a otros principios de medición de nivel de interface.

La medición del nivel interface por medio del principio de absorción de energía de microondas, resulta una solución adecuada para la medición de interface. Considerando que el agua absorbe mayor cantidad de energía que el crudo, este principio de medición permite controlar la concentración de agua en el crudo en un área del recipiente. La cantidad de energía electromagnética absorbida es directamente proporcional a la concentración de agua en el fluido que rodea a la antena

- Protección eléctrica

Nivel de protección de encapsulamiento eléctrico requerido es el NEMA 4X que indica que un instrumento está sellado contra el agua y polvo, además es resistente a la corrosión y al granizo.

- Definición de modelo y fabricante

Para la medición de nivel de interface se dispone del transmisor descrito en la Tabla 2.3

		TRANSMISOR DE NIVEL DE INTERFACE
<b>UNIDADES</b>		PULGADAS (")
<b>RANGO REQUERIDO</b>	Límite inf.	0
	Límite sup.	102
<b>PRINCIPIO DE MEDICIÓN</b>		Microondas
<b>FABRICANTE</b>		AGAR
<b>RANGO DISPONIBLE</b>	Límite inf.	0
	Límite sup.	102
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>		4-20 mA
<b>MEDIDOR -MODELO</b>		ID 201

**Tabla 2.3** Transmisor para la medición de nivel de interface

Ver ANEXO C-1.

#### 2.2.2.2.2 *Válvula de control de nivel de interface*

- Tipo de acción de la válvula de control

Al presentarse una falla o pérdida de energía, la válvula deberá quedarse cerrada.

- Característica de flujo

Característica de flujo de igual porcentaje. Permite una mejor compensación en la ganancia del sistema.

- Definir el tipo de válvula

Se determina que la válvula tipo Globo es la más conveniente para esta aplicación, ya que permite una estrangulación eficiente y un control preciso de la circulación.

- Coeficiente de flujo Cv o Cg

$$\Delta p = 1.2 \text{ psi}$$

$$G_f = 1,02$$

$$C_v = q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}}$$

$$q = 8000 \text{ BFPD} \approx 222 \text{ GPM}$$

$$C_v = 222 * \frac{1,02}{1.2} = 245 \approx 250$$

- Tamaño de la válvula

De acuerdo a catálogos de válvulas isoporcentuales tipo globo de la marca Samson, se puede determinar que para un Cv de 250 el diámetro de la válvula es de 6”.

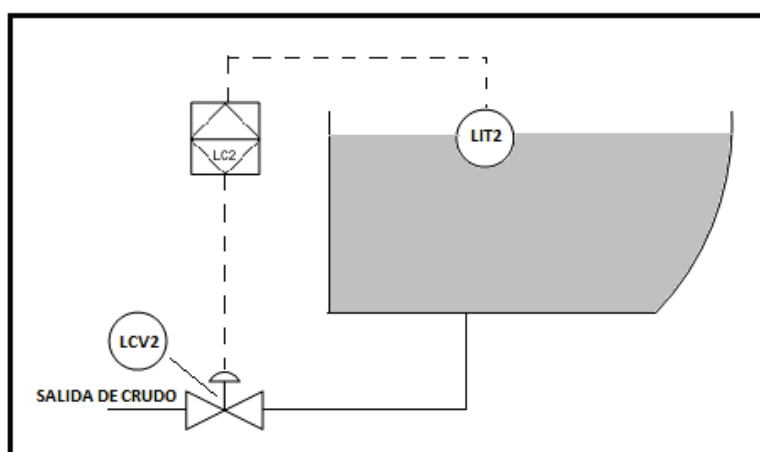
- Modelo

Válvula de control con actuador neumático, Samson modelo 241. Ver ANEXO B-2.

### 2.2.2.3 Instrumento y válvula para el control de nivel de crudo en el vertedero

El nivel de crudo debe ser controlado para evitar que el separador se inunde. Además, este control debe permitir la salida de fluido, de tal manera que el volumen desalojado, sea el suficiente para que el transmisor de caudal de crudo y el BSW funcionen adecuadamente.

Para el funcionamiento de este lazo de control se requiere de 1 válvula de control (LCV2) y de 1 transmisor de nivel (LIT2) como se indica en el lazo de control de la Figura 2.4.



**Figura 2.4** Lazo de control de nivel de crudo

### 2.2.2.3.1 Transmisor de nivel total de crudo

- Rango

El rango está basado en el diámetro del separador de crudo.

$$\text{Rango} = 0 \text{ a } 102''$$

- Elemento primario de medición

Existen varias alternativas para la medición de nivel total de crudo; se deben descartar los medidores tipo radar, ya que en la sección de vertedero puede presentarse una decantación secundaria de agua, lo que altera las mediciones.

Los medidores con flotadores funcionan adecuadamente, pero son susceptibles a errores por el cambio en la densidad del crudo.

La medición indirecta de nivel por medio de presión diferencial resulta la mejor opción, ya que posee una alta precisión.

- Protección eléctrica

Protección de encapsulamiento eléctrico NEMA 4X.

- Definiendo fabricante y modelo

Se determina el instrumento descrito en la Tabla 2.4 como el más apropiado.

Ver ANEXO C-2.

		TRANSMISOR DE NIVEL TOTAL DE CRUDO
<b>UNIDADES</b>		PULGADAS (")
<b>RANGO REQUERIDO</b>	Límite inf	0
	Límite sup	102
<b>PRINCIPIO DE MEDICIÓN</b>		Presión diferencial
<b>FABRICANTE</b>		Rosemount
<b>RANGO DISPONIBLE</b>	Límite inf	-250 "H2O
	Límite sup	250 "H2O
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>		4-20 mA
<b>MEDIDOR -MODELO</b>		3051L

**Tabla 2.4** Transmisor para medición de nivel total de crudo

#### 2.2.2.3.2 Válvula de control de nivel total de crudo

- Tipo de acción de la válvula de control

Por cuestión de seguridad se requiere que la válvula se encuentre cerrada en caso de fallo.

- Característica de flujo

Característica de flujo isoporcentual, ya que permite una mejor compensación en la ganancia del sistema.

- Definir el tipo de válvula

Se opta por una válvula tipo globo, con la que se obtiene una estrangulación eficiente y un control preciso de la circulación.

- Coeficiente de flujo Cv o Cg

$$\Delta p = 1.2 \text{ psi}$$

$$G_f = \frac{141.5}{\text{°API} + 131.5}$$

$$G_f = \frac{141.5}{30 + 131.5} = 0,87$$

$$C_v = q \sqrt{\frac{G_f}{\Delta P}}$$

$$q = 12000 \text{ BFPD} \approx 350 \text{ GPM}$$

$$C_v = 350 * \frac{0,87}{1,2} = 298 \approx 300$$

- Tamaño de la válvula

De acuerdo al Cv obtenido se determina en manuales Samson una válvula de 6" con actuador neumático.

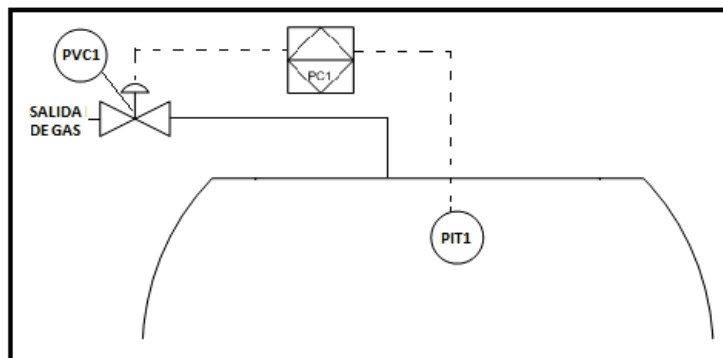
- Modelo

Válvula de control con actuador neumático, Samson modelo 241. Ver ANEXO B-2.

#### 2.2.2.4 Instrumento y válvula para el control de presión interna en el separador

Para mantener un valor de presión adecuado se debe evacuar o retener gas, dependiendo si la presión es más alta o más baja que la establecida.

Para esto, se necesita una válvula de control para manejar su porcentaje de apertura y un transmisor de presión que indique los valores de presión en el interior del recipiente, como se indica en la Figura 2.5.



**Figura 2.5** Lazo de control de presión

#### 2.2.2.4.1 Transmisor de presión

- Rango

La presión de operación máxima es de 26 PSIG

$$\text{Rango} = \text{Lim}_{inf} \text{ a } \text{Lim}_{sup}$$

$$\text{Rango} = 0 \text{ a } 26 \text{ psig}$$

- Elemento primario de medición

Existen varios tipos de medición de presión que responden correctamente a los requerimientos del sistema. Se opta por el diafragma que es un elemento primario de medición elástico, que permite obtener una relación casi lineal en un intervalo de medida.

- Protección eléctrica

Se determina un nivel de protección de encapsulamiento eléctrico NEMA 4X, que indica que un instrumento está sellado contra el agua y polvo, además es resistente a la corrosión y al granizo.

- Definiendo fabricante y modelo

En la Tabla 2.5 se puede observar el instrumento elegido para la medición y transmisión de presión.

		TRANSMISOR DE PRESIÓN
<b>UNIDADES</b>		PSIG
<b>RANGO REQUERIDO</b>	Límite inf	0
	Límite sup	30
<b>PRINCIPIO DE MEDICIÓN</b>		Diafragma
<b>FABRICANTE</b>		ROSEMOUNT
<b>RANGO DISPONIBLE</b>	Límite inf	0
	Límite sup	72
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>		4-20 mA
<b>MEDIDOR -MODELO</b>		FCX-Alle Series
<b>TRANSMISOR -MODELO</b>		3051

**Tabla 2.5** Transmisor para la medición de presión en el separador trifásico de crudo

#### 2.2.2.4.2 Válvula de control de presión

- Tipo de acción de la válvula de control

Se establece que la válvula de control de presión permanezca abierta en caso de falla.

- Característica de flujo

Característica de flujo isoporcentual que permite realizar una compensación eficiente del sistema.

- Definir el tipo de válvula

Válvula de control tipo globo, igual que en los casos anteriores, este tipo de válvula permite realizar un control preciso del flujo de circulación, y por lo tanto permite mantener una presión estable dentro del recipiente de separación.



- Coeficiente de flujo Cv o Cg

$$\Delta p = 1.2 \text{ psi}, \quad P_1 = 26 \text{ psig} = 40,7 \text{ psia}, \quad T = 96^\circ F \approx 555.67^\circ R, \quad Z = 0,6$$

$$G_f = 30$$

$$C_v = \frac{Q\sqrt{GTZ}}{834C_f P_1(y - 0.148y^3)}$$

$$y = \frac{1.63}{C_f} \sqrt{\frac{\Delta P}{P_1}}$$

$$y = \frac{1,63}{0,7} * \frac{1,2}{40,7} = 0,4$$

$$q = 1 \text{ MMSCFD} \approx 41666,6 \text{ SCFH}$$

$$C_v = \frac{41666,6 * \sqrt{30 * 55,67 * 0,6}}{834 * 0,7 * 26(0,4 - 0,148 * 0,4^3)} = 222,5 \approx 223$$

- Tamaño de la válvula

De acuerdo al catálogo de válvulas de control de Samson, el diámetro adecuado es de 4" con actuador neumático.

- Modelo

Válvula de control con actuador neumático, Samson modelo 241. Ver ANEXO B-2.

### 2.2.3 INSTRUMENTOS PARA EL MONITOREO DE LAS VARIABLES DEL PROCESO DE SEPARACIÓN DE CRUDO

Dentro del proceso existen otras variables, que a pesar de que no necesitan ser controladas deben ser monitoreadas, ya que permiten obtener datos del comportamiento del proceso. Especialmente los transmisores de flujo y el BSW brindan valores, que al final de la prueba o proceso de separación, serán comparados con los datos teóricos dados por el operador y así se puede determinar la producción y características de un determinado pozo.

#### 2.2.3.1 Transmisores de caudal de agua, crudo y gas

##### 2.2.3.1.1 Rango y rangeabilidad

Para el caso del transmisor de agua, las características de volumen de la Estación Pichincha (Tabla 2.1) establecen un caudal de agua de 8000 BAPD y un caudal mínimo de 1000 BAPD, entonces, se obtiene:

$$Rango = Lim_{inf} \text{ a } Lim_{sup}$$

$$Lim_{sup} = 8000 + 0,25 * 8000 = 10000 \text{ BAPD}$$

$$Lim_{inf} = Valor_{min}$$

$$Rango = 1000 \text{ a } 10000 \text{ BAPD}$$

$$\frac{Lim_{sup}}{Lim_{inf}} = \frac{10000}{1000} = 10$$

$$Rangeabilidad = 1:10$$

De la misma manera se establecen los valores de rango y rangeabilidad para los transmisores de caudal de crudo y gas; estos datos se muestran en la Tabla 2.6

		RANGO Y RANGEABILIDAD PARA LA SELECCIÓN DE TRANSMISORES DE CAUDAL		
FLUIDO		Agua	Crudo	Gas
VARIABLE		caudal		
UNIDADES		BAPD	BCPD	m3/d
RANGO	LIM INF	1000	1000	1000
	LIM SUP	10000	15000	30000
RANGEABILIDAD		1:10	1:15	1:30

**Tabla 2.6** Rango y rangeabilidad para la selección de transmisores de caudal

#### 2.2.3.1.2 Elemento primario de medición

Para determinar el elemento de medición adecuado se analizan los principios de medición más utilizados en la industria petrolera.

- Elemento primario de medición para el transmisor de caudal de agua

La medición de caudal de agua tiene como fin monitorear el volumen de líquido que se obtiene como resultado del proceso de separación. El medidor tipo Magnético sería conveniente para la medición de agua, pero el agua resultante de la separación contiene un cierto porcentaje de hidrocarburo lo que puede afectar a la medición. Coriolis responde de manera adecuada a este tipo de fluidos, pero posee un costo elevado, el medidor tipo Turbina se afecta por la presencia de sólidos.

Finalmente el más adecuado para esta aplicación es el **medidor tipo Turbina**, que permite una rangeabilidad acorde al valor requerido (13:1); la presencia de sólidos se puede resolver con la instalación de un filtro.

- Elemento primario de medición para el transmisor de caudal de crudo

La medición del caudal de crudo es muy importante, porque refleja los valores reales de producción. Por esto, el **medidor tipo Coriolis** es el más conveniente con una precisión de 0,1%.

- Elemento primario de medición para el transmisor de caudal de gas

Muchos de los separadores instalados en las estaciones de producción utilizan medidores tipo V-cone para la obtención de caudal de gas. En la mayoría de los casos los resultados son satisfactorios, a pesar de tener una exactitud de 0,5 % la repetibilidad 10:1 no es suficiente para esta aplicación. **El medidor tipo Coriolis** al ser un medidor másico pierde dependencia de la temperatura y de la presión, además cumple con la rangeabilidad requerida, por lo que se considera a este tipo de medidor como el más adecuado para la medición de caudal de gas.

#### 2.2.3.1.3 Protección eléctrica

De acuerdo a las condiciones de instalación se determina un nivel de protección de encapsulamiento eléctrico NEMA 4X, que indica que un instrumento está sellado contra el agua y polvo, además es resistente a la corrosión y al granizo.

#### 2.2.3.1.4 Definiendo fabricantes

Con los datos obtenidos se procede a buscar las mejores alternativas. La Tabla 2.7 presenta los instrumentos de caudal que responde a los requerimientos del sistema.

		TRANSMISOR DE CAUDAL DE FLUIDO DE ENTRADA		
FLUIDO		AGUA	CRUDO	GAS
UNIDADES		BAPD	BCPD	m3/d
RANGO REQUERIDO	Límite inf	1000	1000	1000
	Límite sup	10000	15000	30000
RANGEABILIDAD REQUERIDA		1:10	1:15	1:30

<b>PRINCIPIO DE MEDICIÓN</b>		Turbina	Coriolis	Coriolis
<b>FABRICANTE</b>		NUFLO	MICRO MOTION	MICRO MOTION
<b>RANGO DISPONIBLE</b>	Límite inf	1300	-	-
	Límite sup	13000	272000 l/h	1825 m3/h
<b>RANGEABILIDAD DISPONIBLE</b>		1:10	-	-
<b>DIÁMETRO DISPONIBLE</b>		6"	-	-
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>		4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA
<b>MEDIDOR -MODELO</b>		9A-100003538	F300	F050
<b>TRANSMISOR - MODELO</b>		MC-III	2200S	2200S

**Tabla 2.7** Transmisores de caudal seleccionados para el control de agua, crudo y gas

Ver ANEXOS C-3 y C-4.

#### 2.2.3.4 Transmisor de Temperatura

Para la selección del transmisor de temperatura se debe considerar que éste no forma parte del sistema de control, pero se requiere que los valores de temperatura sean accesibles al usuario a través de la HMI.

##### 2.2.3.4.1 Rango de temperatura

Se manejarán temperaturas hasta los 100°F dentro del separador de crudo.

$$\text{Rango} = \text{Lim}_{inf} \text{ a } \text{Lim}_{sup}$$

$$\text{Rango} = 0 \text{ a } 100^{\circ}\text{F} \approx 0 \text{ a } 38^{\circ}\text{C}$$

##### 2.2.3.4.2 Elemento primario de medición

Partiendo del rango de temperatura de medición para el proceso se puede escoger entre RTD o termopar. Continuando con la selección se tiene que otro punto importante es la sensibilidad.

La sensibilidad de un termopar suele definirse como la variación en la salida de voltaje del sensor en función de la temperatura medida; además, la sensibilidad de un termopar aumenta con la temperatura.

La sensibilidad de un RTD se define por la variación de la resistencia con la temperatura.

Normalmente, un RTD tiene una sensibilidad que permanece constante tanto a temperaturas altas como bajas; de  $0.385\Omega/^{\circ}\text{C}$  para el de Platino con un rango de medición de temperatura de  $-200$  a  $950^{\circ}\text{C}$  que es perfecto para la aplicación.

La sensibilidad es un valor relativo dependiendo del proceso y queda a criterio del diseñador la selección del instrumento. El Pt100 cumple con todas las especificaciones para el separador trifásico de crudo.

#### *2.2.3.4.3 Protección eléctrica para el transmisor de temperatura*

De acuerdo a las condiciones de instalación se determina un nivel de protección de encapsulamiento eléctrico NEMA 4X, que indica que un instrumento está sellado contra el agua y polvo, además es resistente a la corrosión y al granizo.

#### *2.2.3.4.4 Definición de fabricante y modelo*

En la Tabla 2.8 se describe el transmisor de temperatura que responde adecuadamente a las condiciones del proceso.

		TRANSMISOR DE TEMPERATURA
UNIDADES		°F (°C)
RANGO REQUERIDO	Límite inf	0
	Límite sup	100 (38)
PRINCIPIO DE MEDICIÓN		RTD pt 100
FABRICANTE		BARTON
RANGO DISPONIBLE	Límite inf	0
	Límite sup	212 (100)
SEÑAL DE SALIDA		4-20 mA
MEDIDOR - MODELO		3940-0-100 DEG C-II2-FX-HA
TRANSMISOR - MODELO		3940

**Tabla 2.8** Transmisor de temperatura para el separador trifásico de crudo

Ver ANEXO C-6.

#### 1.5.3.5 Transmisor de corte de agua BSW

Este instrumento permite determinar la cantidad de agua presente en el crudo.

##### 2.2.3.5.1 Rango

La medida del corte de agua se realiza en porcentaje, generalmente del 0 al 100%.

##### 2.2.3.5.2 Elemento primario de medición

Son pocos los principios de medición para el corte de agua, pero el capacitivo es considerado el mejor principio de medición, ya que permite una alta precisión.

##### 2.2.3.5.3 Protección eléctrica

De acuerdo a las condiciones de instalación se determina un nivel de protección de encapsulamiento eléctrico NEMA 4X, que indica que un instrumento está sellado contra el agua y polvo, además es resistente a la corrosión y al granizo.

#### 2.2.3.5.4 Definición de modelo y fabricante

Para la medición de corte de agua se determina el transmisor descrito en la Tabla 2.9

		TRANSMISOR DE CORTE DE AGUA
<b>UNIDADES</b>		%
<b>RANGO</b>	Límite inf	0
<b>REQUERIDO</b>	Límite sup	100
<b>PRINCIPIO DE MEDICIÓN</b>		Capacitivo
<b>FABRICANTE</b>		NUFLO
<b>RANGO</b>	Límite inf	0
<b>DISPONIBLE</b>	Límite sup	100
<b>SEÑAL DE SALIDA</b>		4-20 mA
<b>MEDIDOR -MODELO</b>		-
<b>TRANSMISOR - MODELO</b>		9A-100079709 135 LB MON, WTRCUT

**Tabla 2.9** Transmisor de corte de agua para la línea de crudo

Es importante mencionar que los instrumentos y válvulas propuestas en esta sección responden adecuadamente cuando las especificaciones reales del pozo y del separador coinciden o se aproximan a los parámetros de diseño, lo que implica que si estas características son diferentes no se asegura la correcta funcionalidad del sistema.

Ver ANEXO C-7.

## 2.3 DISEÑO DEL MÓDULO DEMOSTRATIVO

Para la demostración del sistema de control se diseña un módulo que visualiza los datos de flujo, presión, bsw, nivel, temperatura y porcentaje de apertura de las válvulas. Por medio de este módulo se simula y visualiza el funcionamiento de un separador de crudo de tipo trifásico. Para la implementación se utiliza el protocolo de comunicación Modbus, para conectar el computador con el módulo.



El módulo está formado por trece placas electrónicas, cada una de ellas representa a las válvulas e instrumentos necesarios para el control del separador; consta también de un PLC que permite la comunicación entre las placas y el computador y además realiza el control de dos de los subprocesos del sistema (control de flujo de entrada y control de nivel de crudo), los otros dos subprocesos, control de nivel de agua y el control de presión son realizados por la PC por medio de Labview.

Las placas contienen microcontroladores, los cuales se enlazan con el PLC por medio del protocolo de comunicación Modbus.

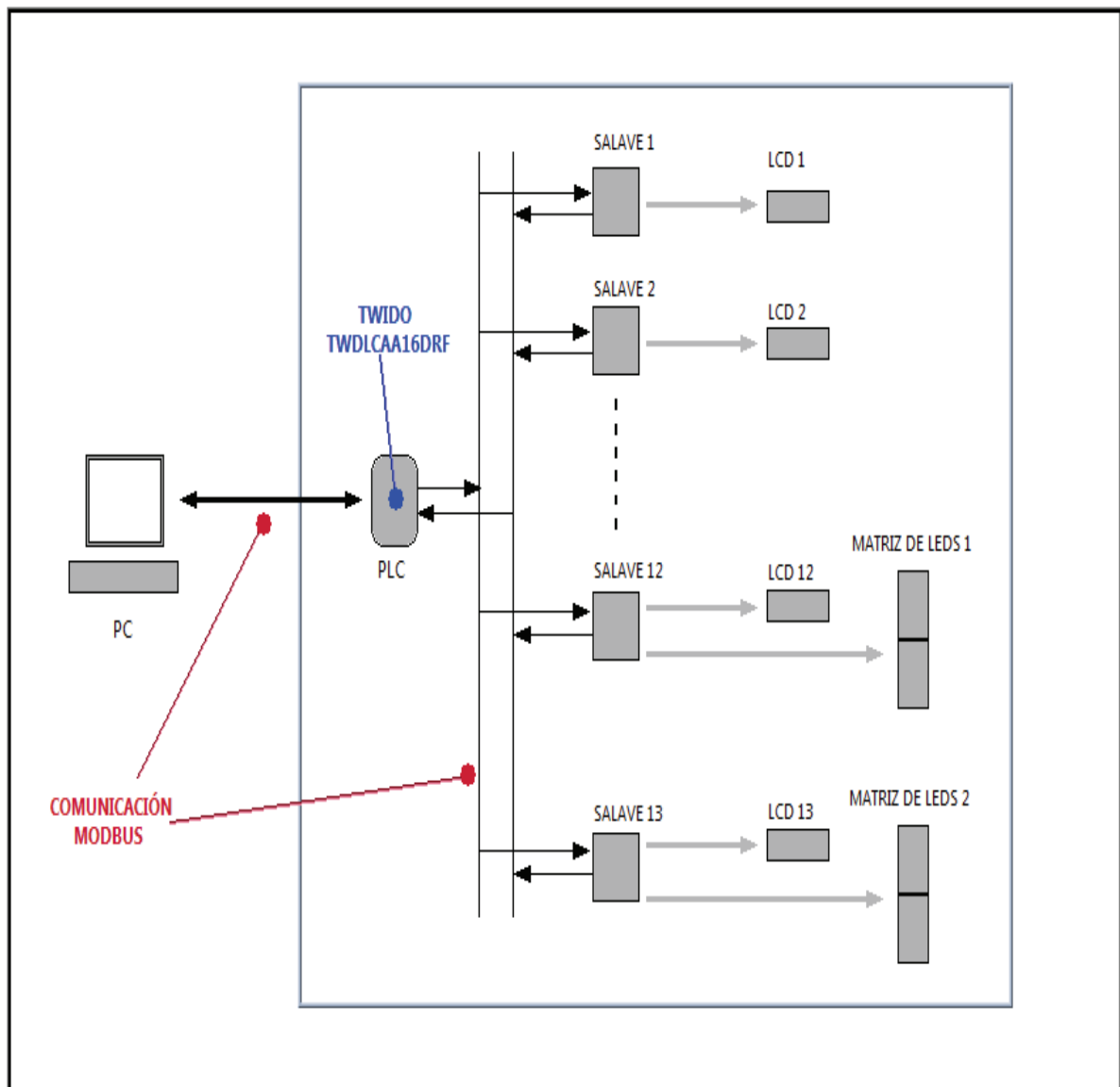
Para la visualización de los datos, cada placa está conectada a un LCD; y en el caso de las placas que representan a los transmisores de nivel se conectan además matrices de LED's que simulan el incremento o decremento de nivel dentro del separador.

## **2.4 ESQUEMA GENERAL DEL MÓDULO**

El módulo está integrado de los siguientes elementos:

- PLC TWIDO TWDLCAA16DRF
- Placas electrónicas con microcontroladores PIC (Slaves)
- Fuente de poder
- Breakers de riel DIN

Estos elementos se integran como indica el esquema de la Figura 2.6.



**Figura 2.6** Esquema general del módulo demostrativo de separador trifásico de crudo

## 2.5 PLC TWIDO TWDLCAA16DRF



**Figura 2.7** PLC Twido TWDLCAA16DRF

La familia de Controladores Programables de Schneider Electric presenta equipos compactos y modulares, cada uno con diferentes características, las que proveen soluciones a diversas aplicaciones.

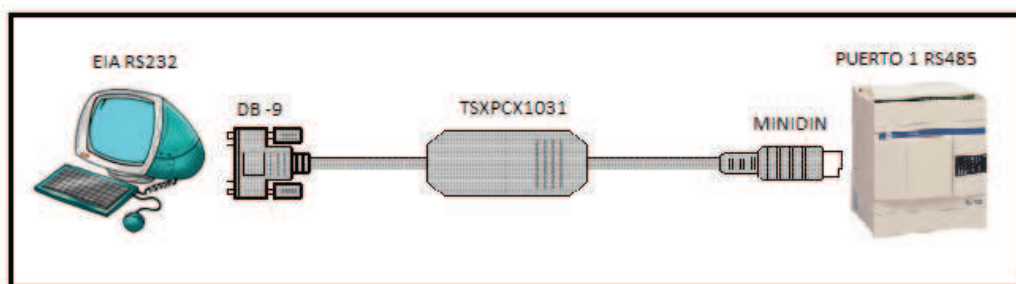
El PLC Twido TWDLCAA16DRF es un Controlador Programable Compacto con medidas de 90x80x4,5 mm. Este controlador posee 16 I/Os, de las cuales 9 son entradas de 24 V y 7 son salidas tipo relé, para su funcionamiento necesita un voltaje de alimentación de 100 a 240 Vac. Posee además un puerto de comunicación Modbus que permite la programación del PLC desde una PC.

Dentro del sistema que conforma el módulo demostrativo, el PLC cumple la función de recibir datos generados en el computador y enviarlos hacia cada uno de los esclavos, para esto se necesita de dos puertos de comunicación tipo Modbus. Además aquí se desarrolló el algoritmo de control para una parte del sistema.

El primer puerto que se encuentra integrado al PLC, es de tipo Modbus master/slave RTU/ASCII RS485 Half dúplex, el cual se utiliza para enviar datos desde la PC hacia el PLC. El medio de conexión entre el PLC y el computador es un cable de programación propio de Schneider Electric y es específico para estos controladores.

Para enviar datos desde el PLC hacia los esclavos se instala un Puerto de comunicación Modbus RS485 adicional que es adaptable a este PLC.

### 2.5.1 CABLE DE PROGRAMACIÓN TSXPCX1031



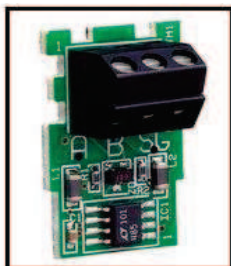
**Figura 2.8** Conexión PLC-PC por medio del cable de programación TSXPCX1031

Tanto para la transferencia del programa como para establecer comunicación con la PC, el PLC Twido necesita del cable de programación TSXPCX1031, el cual comunica el puerto serie RS232 del computador con el puerto RS485 del controlador.

Este cable de programación posee un conmutador rotativo de 4 posiciones para seleccionar distintos modos de funcionamiento; para subir el programa al PLC se utiliza la posición “2”, en cambio para el funcionamiento del sistema se utiliza la posición “3”. El terminal físico para el puerto serie RS232 presenta una configuración DB-9, la cual ya no se encuentra presente en la mayoría de computadores por lo que se adapta un convertidor RS232 a USB.

### 2.5.2 ADAPTADOR DE COMUNICACIÓN RS485 MINI DN TWDNAC485T

El adaptador de interfaz serial TWDNAC485T permite establecer un puerto adicional para comunicación Modbus RS485 y se adapta tanto a controladores modulares como compactos.



**Figura 2.9** Adaptador de comunicación RS485 TWDNAC485T

Este adaptador permite la comunicación entre el PLC y los esclavos, y gracias a su presentación con bornera, facilita la conexión y el cableado.

Presenta tres terminales, donde A es el terminal positivo, B el terminal negativo y SG es tierra.

## 2.6 PLACAS ELECTRÓNICAS PARA LA VISUALIZACIÓN DE DATOS

Se diseñan 2 tipos de placas electrónicas las cuales representan a los 13 instrumentos y válvulas necesarios para el funcionamiento de Separadores Trifásicos de Crudo. Dentro del sistema de comunicación las placas electrónicas han sido configuradas como esclavos y permiten la visualización de datos que provienen de la simulación. Cada placa está conformada por un microprocesador el cual toma los datos enviados desde el PLC y los visualiza por medio de LCD's.

El primer tipo de placa está constituido por:

- Un microcontrolador PIC.
- Un convertidor de RS232 a RS485 MAX485.
- Un pulsador para reset.
- Un LCD de 8x2.
- Una salida tipo LED.
- Un switch.
- Terminales para alimentación para comunicación.

El segundo tipo de esclavo además de tener los elementos antes mencionados posee también:

- Salidas para el manejo de matrices.
- Matrices de LED's 7x5.

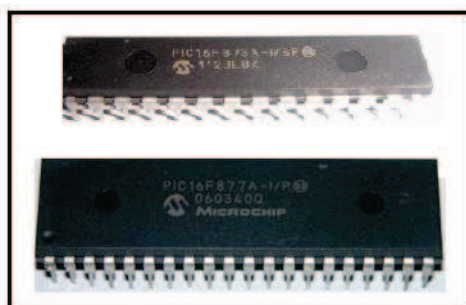
Las diferentes configuraciones de los dos tipos de esclavos se explican con los requerimientos de visualización de datos de cada instrumento. El segundo tipo de placa se utiliza para visualizar el nivel dentro del Separador de Crudo, es decir representa a los transmisores de nivel LIT-1 y LIT-2, en cambio el primer tipo de esclavo visualiza los datos de los once instrumentos y válvulas restantes.

A continuación se detallan los elementos que conforman las placas electrónicas.

### 2.6.1 MICROCONTROLADORES PIC 16F873A Y 16F877A

Dentro del sistema se implementan dos clases de microcontroladores que conforman las placas electrónicas. La primera placa utiliza el microcontrolador PIC16F873A, en cambio el segundo tipo de placa tiene instalado el microcontrolador PIC16F877A. La cantidad de pines necesarios para administrar las salidas y entradas es la razón por la cual se utiliza dos clases de microcontroladores diferentes.

#### 2.6.1.1 Características principales y distribución de pines



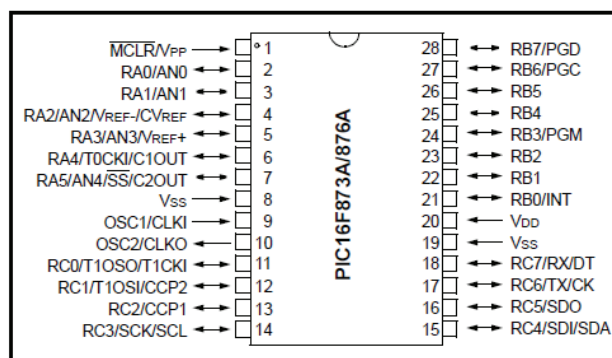
**Figura 2.10** PIC16F873A y PIC16F877A

Estos microcontroladores creados por Microchip Technology Inc, se encuentran dentro de la familia de procesadores tipo RISC (computador con conjunto de instrucciones reducidas) y presentan como características principales las detalladas en la Tabla 2.10.

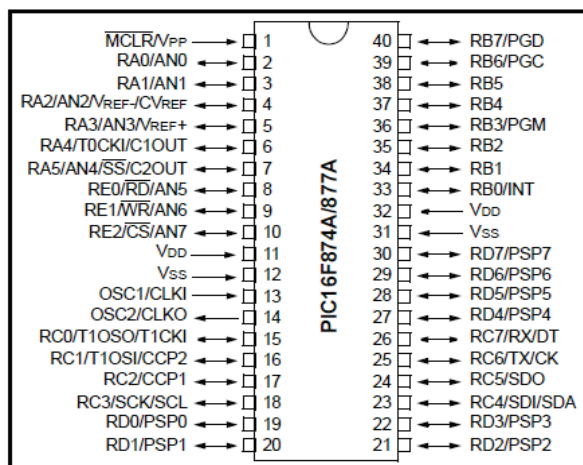
CARACTERÍSTICAS	MICROCONTROLADOR	
	PIC 16F873A	PIC 16F877A
Kbytes de memoria de programa flash	7,2	14,3
Memoria interna SRAM (Bytes)	192	368
Memoria EEPROM (Bytes)	128	256
I/O programables	22	33
Canales ADC de 10 bits	5	8
Canales PWM	2	
Comunicación USART	si	
Interface serial SPI Maestro/Esclavo	si	
Timers de 8 bits	2	
Timers de 16 bits	1	
Voltaje de operación	2 a 5,5 V	
Comparadores análogos	2	

**Tabla 2.10** Características de los microcontroladores PIC 16F873A y PIC 16F877A

La distribución física de pines del PIC 16F873A y del PIC 16F877A, se observa en la Figura 2.11 y Figura 2.12.



**Figura 2.11** Distribución de pines del Microcontrolador PIC 16F873A



**Figura 2.12** Distribución de pines del Microcontrolador PIC 16F877A

### 2.6.1.2 Utilización de los microcontroladores PIC dentro del módulo demostrativo

Los microcontroladores tienen como funciones dentro del sistema los siguientes puntos:

- Obtener datos enviados desde el PLC.
- Visualizar los datos recibidos por medio de LCD's.
- Manejo de entradas y salidas (reset, LED, switch, matrices de LED's).

En las placas donde se necesita manejar matrices de LED's se utiliza el PIC 16F877A, la razón es que este posee una mayor cantidad de salidas programables (33). Para el otro tipo de placas se utiliza el PIC 16F873A, ya que 22 entradas o salidas que este microcontrolador posee, son suficientes para la aplicación requerida.

La Tabla 2.11 y la Tabla 2.12 presentan la distribución de pines utilizados para el manejo del hardware conectado a los microcontroladores.



DESCRIPCIÓN	N° PINES	PIN		PIN DEL MICRO
		ENTRADA	SALIDA	
Max 485	4		x	RB.0 RB.1 RB.2 RB.3
LCD	7		x	RC.1, ... , RC.7
Cristal	2	x		OSC1 OSC2
LED	1		x	RA.1
Switch	1	x		RA.0

**Tabla 2.11** Distribución de pines utilizados - PIC 16F873A

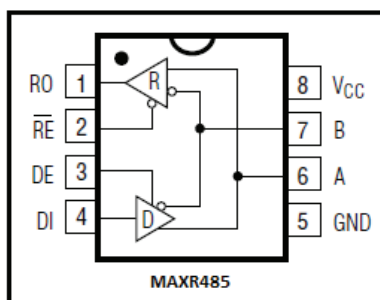
DESCRIPCIÓN	N° PINES	PIN		PIN DEL MICRO
		ENTRADA	SALIDA	
Max 485	4		x	RB.0 RB.1 RB.2 RB.3
LCD	7		x	RC.1, ... , RC.7
Matriz de LED's 1	4		x	RD.0, ... , RD.4
Matriz de LED's 2	4		x	RD.5, RD.6, RD.7 RA.4, RA.5
Cristal	2	x		OSC1 OSC2
LED	1		x	RA.1
Switch	1	x		RA.0

**Tabla 2.12** Distribución de pines utilizados - PIC 16F877A

### 2.6.2 CONVERTIDOR DE RS232 A RS485 MAX485

El MAX485 es un transmisor – receptor de baja potencia para la interfaz de comunicación RS485. Se caracteriza por tener una transmisión de datos de 12 Mbps, funciona con un voltaje diferencial entre 1,5 y 5V. Este dispositivo acopla los voltajes

que se manejan a la salida de los pines rx y tx del microcontrolador con los voltajes que maneja RS485. Posee ocho pines, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

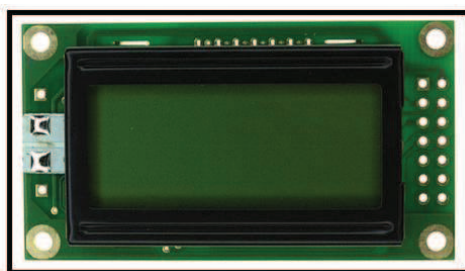


**Figura 2.13** Configuración de pines del MAX485

### 2.6.3 LCD 8X2

Este dispositivo microcontrolado es una pantalla de cristal líquido que permite visualizar 16 caracteres de tipo alfanuméricos distribuidos en dos filas.

Está formado por 16 pines, de los cuales 8 son pines para la entrada y salida de datos, 3 para el control de datos, 1 pin para manejar el contraste de la pantalla, 2 para polarización y finalmente 2 pines para el backlight.



**Figura 2.14** LCD 2x8

En las placas electrónicas los LCD's se encuentran conectados con un bus de 4 bits, es decir que se envían primero los cuatro bits más significativos y luego los 4 bits menos significativos.

Los datos que visualizan los LCD's del sistema son los valores de flujo, nivel, temperatura, presión, porcentaje de apertura y cierre de las válvulas, también indicarán cuando el instrumento salga de funcionamiento.

En la Tabla 2.13 se detallan la distribución de pines del LCD 8x2.

N° PIN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1	VSS	Tierra GND
2	VDD	Alimentación (5V DC)
3	VO	Contraste
4	RS	Registro de control (RS=0)/Registro de datos (RS=1)
5	R/W	Escritura (R/W=0)/Lectura (R/W=1)
6	E	Habilitación del módulo. Módulo desconectado (E=0), Módulo conectado (E=1)
7-14	DB0,..., DB7	Bus de datos, D0 bit menos significativo, D7 bit más significativo
15	LED (+)	Alimentación del backlight
16	LED (-)	Alimentación del backlight

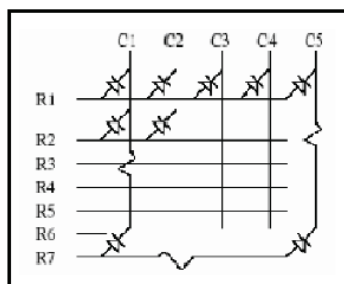
**Tabla 2.13** Distribución de pines del LCD 2x8

#### 2.6.4 MATRIZ DE LED'S

Para los transmisores de nivel LIT-1 y LIT-2 se desarrolla placas, que además de visualizar datos en un LCD, también demuestran el incremento y decremento de nivel por medio de matrices de LED's. Por cada placa se utiliza dos matrices de LED's 5x7.

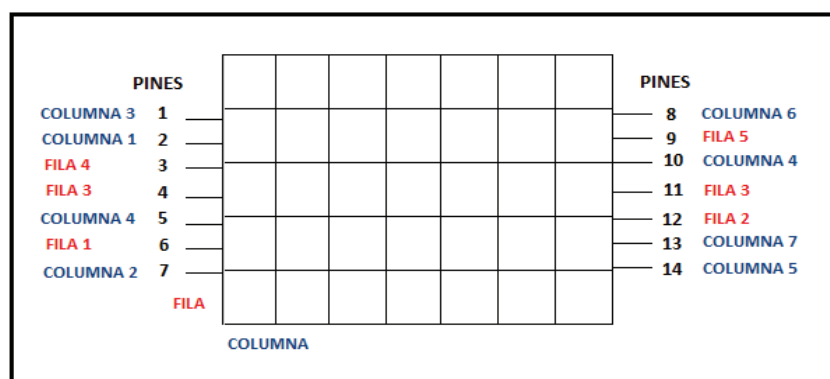
### 2.6.4.1 Características principales y distribución de pines de la matriz de LED's 5x7

El conjunto de LED's que forma la matriz puede tener dos tipos de disposiciones; de cátodo común o de ánodo común. Actualmente existen una variedad de estos dispositivos de acuerdo a la cantidad de LED's y su distribución, entre ellos se pueden destacar, matrices de 5x7, 5x8, 5x9, etc. Las matrices utilizadas en el proyecto son de ánodo común; es decir todos los terminales de ánodo de los LED's son comunes a las filas de la matriz, como se indica en la Figura 2.15; además esta matriz es de 5x7 (5 columnas y 7filas).



**Figura 2.15** Disposición física de LED's – matriz de ánodo común

Cada matriz cuenta con 14 pines, cada uno representa a una columna o a una fila. En la Figura 2.16 se puede observar la distribución de pines.



**Figura 2.16** Distribución de pines de la matriz de LED's 5x7

#### **2.6.4.2 Manejo de la matriz 5x7 dentro del módulo demostrativo**

Para demostrar el incremento y decremento de nivel, tanto en la etapa de separación como en el vertedero de crudo, se instala cuatro matrices de LED's de 5x7; dos por cada placa, que representan a los dos transmisores de nivel. Las matrices se manejan por fila; es decir, cada fila se irá encendiendo de acuerdo al incremento de nivel y cada fila se irá apagando cuando el nivel descienda.

#### **2.6.5 ENSAMBLAJE DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS**

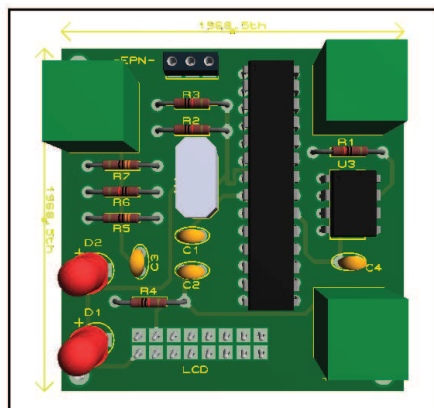
Para facilitar la explicación se ha denominado a la placa electrónica que contiene el microcontrolador PIC 16F873A como "Placa tipo uno"; en cambio a la placa que contiene el PIC 16F877A como "Placa tipo dos". Para la creación de las placas electrónicas se utilizó Proteus 7.8, el cual permite el diseño y simulación de circuitos.

##### **2.6.5.1 Placa final con el PIC16F873A (Placa tipo uno)**

La placa tipo uno está formada de los siguientes elementos:

- Microcontrolador PIC16F873A.
- MAX485.
- Cristal de 20MHZ como oscilador externo.
- Bornera para conexión RS485.
- Bornera para alimentación.
- Pulsador para Reset.
- Conector IDC 2x8 para conexión con LCD.

En la placa estos elementos se encuentran distribuidos como se indica la Figura 2.17.



**Figura 2.17** Visualización 3D de la placa tipo uno

Este diseño de placa se replica once veces para representar a once de los trece instrumentos y válvulas necesarios para el funcionamiento de separadores trifásicos de crudo; estos instrumentos se indican en la Tabla 2.14

NOMBRE DEL INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
FIT-1	Transmisor de flujo de gas
FIT-2	transmisor de flujo de fluido de entrada
FIT-3	Transmisor de flujo de agua
FIT-4	Transmisor de flujo de crudo
PIT-1	Transmisor de presión
TIT-1	Transmisor de temperatura
BSW	Medidor de corte de agua
PSV-1	Válvula de control de presión
LCV-2	Válvula de control de nivel de crudo
LCV-1	Válvula de control de nivel de agua
SDV-1	Válvula de tres vías

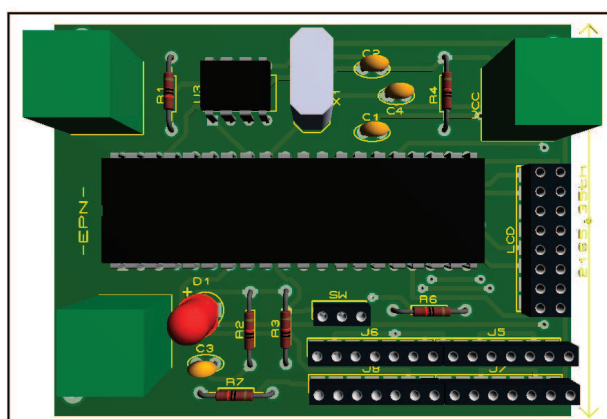
**Tabla 2.14** Instrumentos representados con la placa tipo uno (PIC 16F873A)

### 2.6.5.2 Placa final con el PIC 16F877A (Placa tipo dos)

La placa tipo dos está formada de los siguientes elementos:

- Microcontrolador PIC16F877A.
- MAX485.
- Cristal de 20MHZ como oscilador externo.
- Bornera para conexión RS485.
- Bornera para alimentación.
- Pulsador para Reset.
- Conector IDC 2x8 para conexión con LCD.
- Terminal macho de 28 pines para conectar la placa con las matrices de LED's.

En la placa estos elementos se encuentran distribuidos como se indica la Figura 2.18.



**Figura 2.18** Visualización 3D de la placa tipo dos

El tipo de placa dos es replicado dos veces para representar a los instrumentos que se indican en la Tabla 2.15.

NOMBRE DEL INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
LIT-1	Transmisor de nivel de interface
LIT-2	Transmisor de nivel de crudo

**Tabla 2.15** Instrumentos representados con la placa tipo dos (PIC 16F877A)

## 2.7 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS

Modbus es un protocolo de comunicación de capa de aplicación o nivel 7 del Modelo OSI.

Se selecciona este protocolo porque además de ser público es relativamente sencillo de implementar, además se ha convertido en uno de los protocolos más utilizados en sistemas de automatización y control.

MODBUS funciona siempre en modo maestro-esclavo, donde el maestro es el que controla las comunicaciones con los esclavos, los esclavos se limitan a retornar los datos solicitados por el maestro. [14]

Modbus maneja las siguientes tres capas o niveles fundamentales de la red:

- Capa física (nivel 1): RS485.
- Capa de protocolo (nivel 2). Trama básica del protocolo Modbus: cabecera, funciones, direcciones, datos, CRC. Organización maestro/esclavo.
- Capa de aplicación (nivel 7). Tipos de funciones disponibles en el equipo que se conecta vía Modbus. Datos que se pueden leer del equipo. Información que se puede enviar al equipo.

### 2.7.1 MODOS DE TRANSMISIÓN EN MODBUS

Modbus define dos modos de transmisión en modo ASCII (American Estándar Code for Information Interchange) o en modo RTU (Remote Terminal Unit). En modo ASCII por cada byte a transmitir se envían dos caracteres ASCII (2bytes) con su representación hexadecimal, lo que permite leer las tramas con un simple editor de texto. En modo RTU se envían en binario tal cual. En modo ASCII las tramas comienzan por 3AH que corresponde al carácter ":" y terminan en 0DH-0AH (CR-LF Carrier Return – Line Feed) y cada byte se envía como dos caracteres ASCII. En modo RTU no se utiliza indicador de inicio y final de trama. ASCII utiliza 7 bits de datos y RTU utiliza 8 bits.



En la Tabla 2.16 se describe las tramas de los formatos que Modbus puede adoptar.

MODO ASCII					
COMIENZO DE TRAMA	DIRECCIÓN	FUNCIÓN	DATOS	CONTROL DE ERRORES	FIN DE TRAMA
:	2 bytes	2 bytes	Nx2 bytes	2 bytes	CR + LF
MODO RTU					
Tiempo de 3 bytes	1 byte	1 byte	Nx1 byte	2 bytes	

**Tabla 2.16** Tramas de los formatos de MODBUS

Cabe recalcar que para establecer comunicación, todos los dispositivos integrantes deben adoptar un solo formato, sea este ASCII o RTU.

## 2.8 ELECTROVÁLVULA 110V

Una electroválvula es una válvula electromecánica, que permite controlar el flujo de un fluido. Tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Las electroválvulas pueden ser normalmente cerradas en caso de falla, lo que quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en falla, que significa que se quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Se selecciona esta válvula para demostrar el cierre y apertura que se produce como resultado del lazo de control de nivel de crudo. Dentro del mercado las electroválvulas se encuentran en diámetros pequeños, y a precios asequibles, lo que resulta conveniente para propósitos demostrativos.

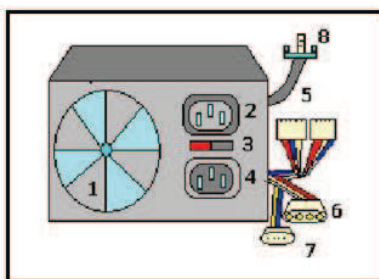


**Figura 2.19** Electroválvula de 110V

Esta válvula está acoplada a la salida de tipo relé del PLC Twido y requiere una alimentación de 110V. Ya que la válvula cumple con fines demostrativos, se opta por el diámetro más pequeño disponible que es de  $\frac{1}{2}$ ".

## 2.9 FUENTE DE PODER

Para energizar el sistema, se opta por la utilización de una fuente de poder AT que pertenecía a un computador en desuso. Este tipo de fuentes generan voltajes de 5, 12 y 24 V, y lo consiguen gracias a la reducción de tensión de entrada por medio de un transformador en bobina. Ya que la fuente recibe corriente alterna, además de transformarlo también se debe rectificarlo y así obtener voltaje en corriente continua.



**Figura 2.20** Fuente de poder AT<sup>[15]</sup>

La fuente de poder AT presenta las siguientes salidas:

- Ventilador: expulsa el aire caliente del interior de la fuente, para evitar el sobrecalentamiento de circuitos.
- Conector de alimentación: permite conectar el cable de poder desde la fuente hacia un enchufe común.
- Selector de Voltaje: define el voltaje principal de entrada, 127V o 240 V.
- Conector de suministro: energiza cierto tipo de monitores.
- Conector AT: alimenta de electricidad a la tarjeta principal.
- Conector de 4 terminales IDE: utilizados para energizar los discos duros y las unidades ópticas.
- Conector de 4 terminales FD: alimenta las disqueteras.
- Interruptor manual: permite encender/apagar la fuente de manera manual.

## 2.10 INTEGRACIÓN DEL HARDWARE

Las trece placas electrónicas están integradas en un tablero central, el cual puede ser retirado con facilidad; también forma parte de este tablero dos placas adicionales; Placa central de alimentación y la Placa de integración para comunicación.

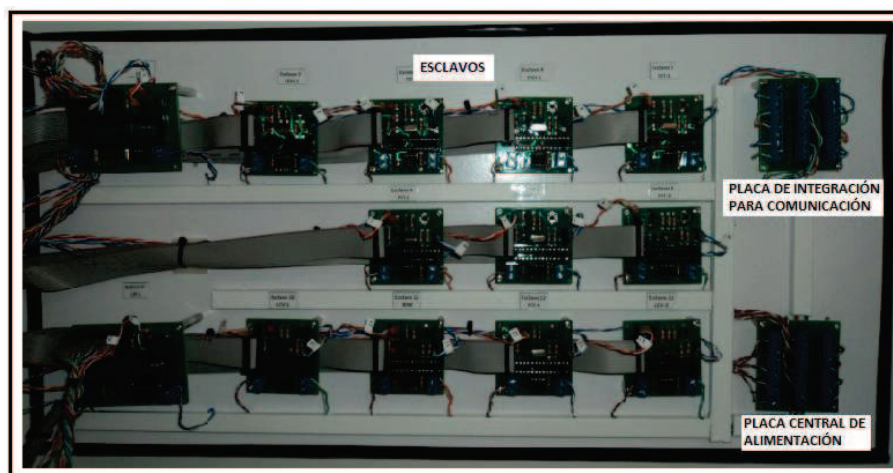


Figura 2.21 Tablero de Esclavos

A las trece placas principales que integran el tablero se les denomina con un número de esclavo y el nombre del instrumento al cual representa, como se indica en la Tabla 2.17.

N° ESCLAVO	NOMBRE DEL INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
1	LIT-2	Transmisor de nivel de crudo
2	SDV-1	Válvula de tres vías
3	FIT-2	transmisor de flujo de fluido de entrada
4	PSV-1	Válvula de control de presión
5	FIT-1	Transmisor de flujo de gas
6	PIT-1	Transmisor de presión
7	TIT-1	Transmisor de temperatura
8	FIT-3	Transmisor de flujo de agua
9	LIT-1	Transmisor de nivel de interface
10	LCV-1	Válvula de control de nivel de agua
11	BSW	Medidor de corte de agua
12	FIT-4	Transmisor de flujo de crudo
13	LCV-2	Válvula de control de nivel de crudo

**Tabla 2.17** Asignación de instrumentos y válvulas a cada esclavo

Para facilitar el enlace de los trece esclavos, se conectan los terminales de alimentación de cada esclavo hacia la “Placa central de alimentación”.

Los conectores para la comunicación de cada esclavo se integran por medio de cableado en la “Placa de integración para comunicación”.

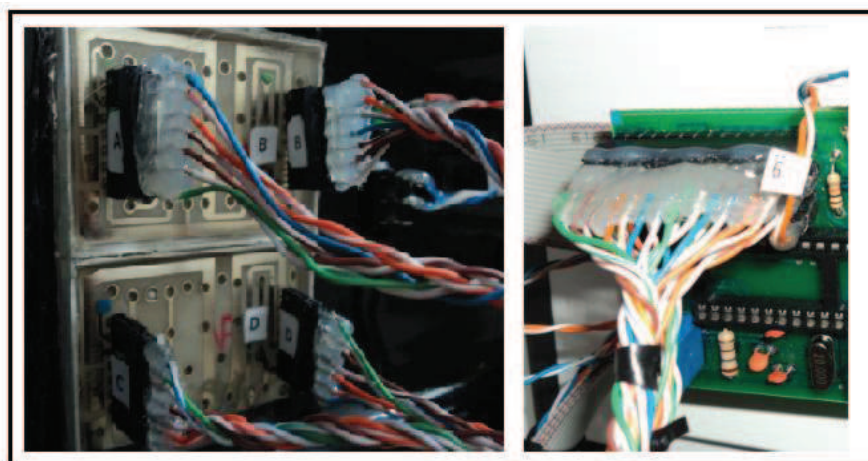
El PLC se ubica en el módulo por medio de rieles DIN de tamaño estándar.

La fuente se encuentra en la parte inferior derecha del módulo, se prefiere esta ubicación para evitar interferir con el cableado que va hacia la parte frontal de módulo.

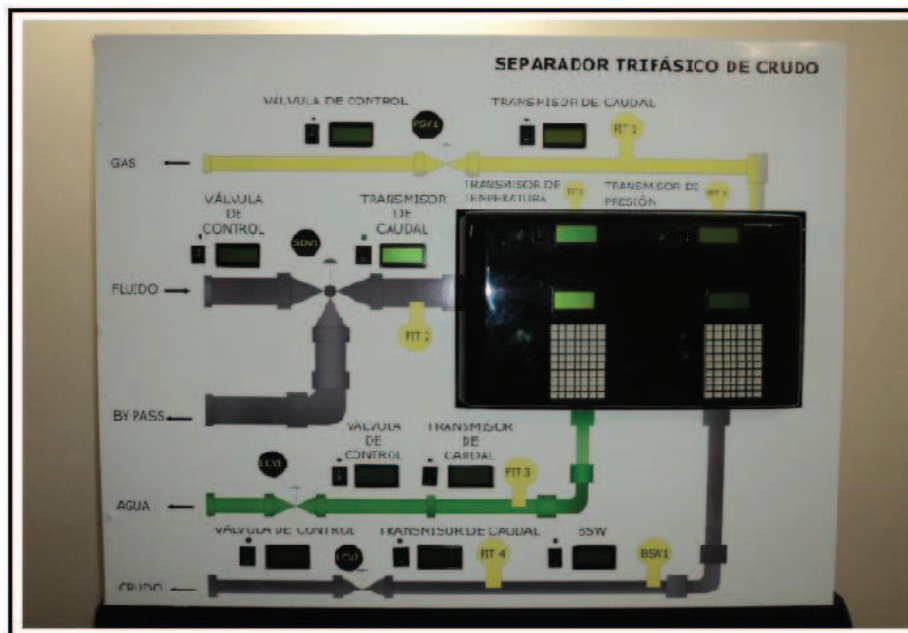


**Figura 2.22** Conexiones del módulo demostrativo

Las conexiones de LED's y switch's se realizan con cable UTP. Para la conexión de los LCD's se utiliza cable plano flexible de 16 conductores. Para la conexión de las matrices de LED's se crea 4 cables con 14 conductores cada uno.



**Figura 2.23** Cable de conexión trenzado para las matrices de LED's



**Figura 2.24** Módulo demostrativo del Sistema de Control de Separadores Trifásicos de crudo

En este capítulo se determinan los instrumentos y válvulas necesarios para implementar un sistema de control para Separadores Trifásicos de Crudo, además se detallan los elementos requeridos para la construcción del módulo demostrativo del proceso de separación.

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL Y HMI**

En este capítulo se detalla la programación tanto para el sistema de control, como para el módulo de simulación.

Se debe indicar que el sistema de control se encuentra implementado sobre un proceso de separación simulado, el cual ha sido creado en Labview.

Para el PLC se utiliza TwidoSuite que es el sistema de programación específico para el tipo de controlador utilizado (PLC TWIDO); para el módulo de simulación en lo referente a los microcontroladores PIC, se utiliza el software PIC Compiler.

#### **3.1 DESARROLLO DEL CONTROL PARA EL SEPARADOR**

El sistema de control se desarrolla tanto en Labview como en TwidoSuite, esto significa que el control del proceso se encuentra dividido entre la PC y el PLC. Esto se hace con el objetivo de demostrar el trabajo con lazos de control utilizando controladores dedicados y lazos de control utilizando un software especializado, como es Labview.

##### **3.1.1 LABVIEW**

Labview es un software creado por National Instruments como una plataforma para el desarrollo de sistemas que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos, ya sean estos simulados o reales. Utiliza un lenguaje de programación visual gráfico que es amigable con el programador y además permite incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Los programas desarrollados con este software se denominan VI's (Virtual Instruments). Los VI's constan de dos partes; el Panel Frontal donde se presenta la parte interactiva con el usuario y el Diagrama de Bloques donde se implementa el programa a través del manejo de librerías, que contienen funciones y estructuras integradas. [16]

### **3.1.1.1 Características principales de Labview**

- Labview se caracteriza por poseer un lenguaje de programación gráfico no tradicional, lo que permite desarrollar programas de alta dificultad sin requerir grandes conocimientos en programación.
- Facilita el manejo de interfaces de comunicaciones, como: Puerto serial, Puerto paralelo, Bluetooth, USB, etc.
- Permite al programador interactuar con otros lenguajes, lo que proporciona mayor versatilidad y amplifica el rango de aplicaciones.
- Presenta herramientas gráficas para el procesamiento de señales, así como para la adquisición y tratamiento de imágenes.

Para el desarrollo de este proyecto se utiliza Labview 9.1

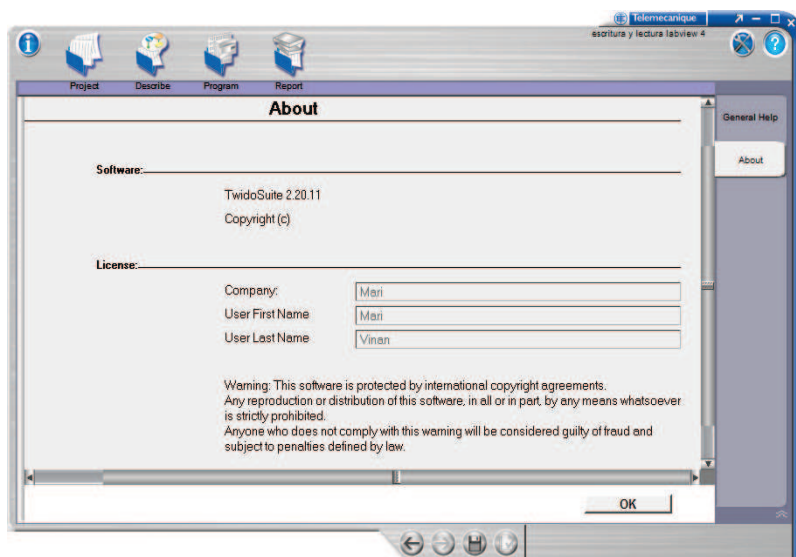
### **3.1.2 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN TWIDOSUIT**

El software de programación TwidoSuite 2.20.11 (Figura 3.1) es un programa basado en Windows de 32 bits, para un computador personal (PC) que se ejecuta en los sistemas operativos Microsoft Windows 2000 y XP Professional.

TwidoSuite permite la programación en lenguaje ladder (escalera) y mediante lenguaje de lista de códigos y líneas de programación. [17]

El lenguaje de programación usado para el presente proyecto es el tipo Ladder o escalera.





**Figura 3.1** Versión del programa TwidoSuite

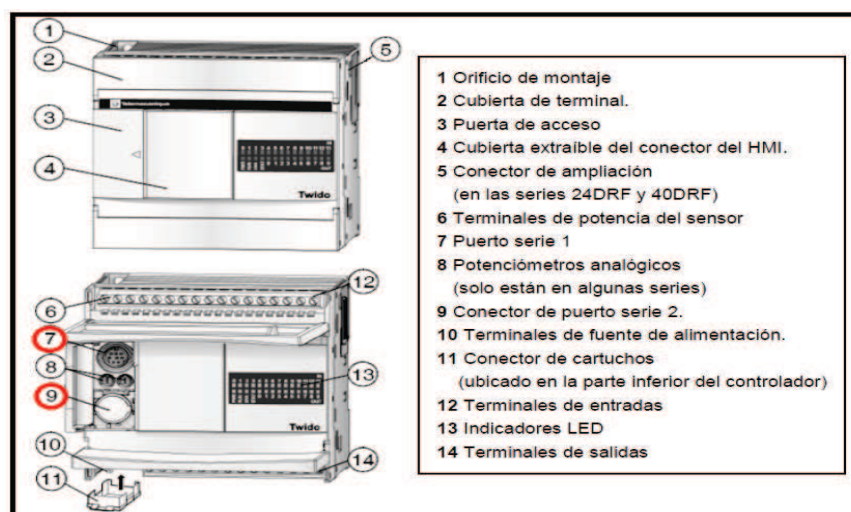
### 3.1.2.1 Características del Programa TwidoSuite

Las principales características que presenta este software son:

- Genera un código de máquina compacto y eficiente al momento de compilar.
- Permite el monitoreo de las localidades de memoria en tiempo real, mediante el cable de programación.
- Presenta un menú de ayuda, en el cual a más de las explicaciones se puede encontrar ejemplos de programación.
- El lenguaje Ladder permite una visualización mucho más amigable y predictiva de los eventos que van ocurriendo.
- Diseño de software sin menús. Las tareas y funciones del paso seleccionado de un proyecto siempre se encuentran visibles.
- Las líneas de programación permiten la adición de comentarios para llevar una cuenta más clara de lo que se está haciendo dentro del programa.

Es importante señalar que cada uno de los puertos de comunicación que presenta el PLC Twido, puede ser configurado de manera independiente como maestro o como esclavo.

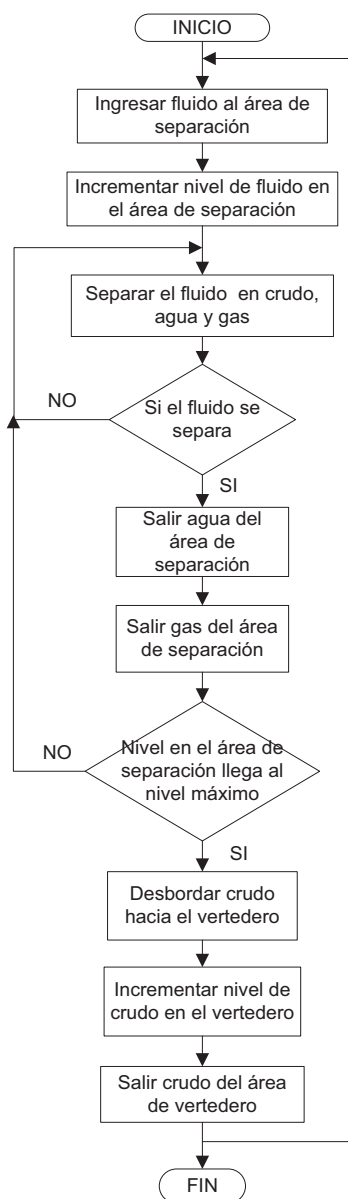
- Modo maestro de Modbus: este modo permite que el controlador pueda iniciar una transmisión de solicitudes Modbus, esperando una respuesta desde un esclavo Modbus.
- Modo esclavo Modbus: el modo esclavo permite que el controlador pueda responder a las solicitudes de Modbus desde un maestro Modbus. Se trata del modo de comunicación predeterminado, si no existe ninguna comunicación configurada.



**Figura 3.2** Identificación de los puertos de comunicación

### 3.1.3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control no se aplica a un Separador de Crudo existente, sino que se crea un sistema simulado en Labview. Para esto se analiza el proceso de separación de crudo. El siguiente diagrama de flujo resume este proceso.



**Figura 3.3** Diagrama de flujo del proceso de separación de crudo

Tal como se explicó anteriormente, el área de separación es el primer contenedor dentro del separador al cual llega el fluido y donde se produce el proceso de separación. Al separarse el agua del crudo, este fluido es evacuado del separador, en cambio el crudo que se encuentra sobre la fase acuosa se desborda hacia un

vertedero desde el cual será desalojado. Los volúmenes de fluido (agua, crudo y gas) obtenidos del proceso de separación son medidos.

En el capítulo anterior se definieron las variables a controlar, éstas son:

- Caudal de fluido de entrada.
- Nivel de interfaz (nivel de agua).
- Presión.
- Nivel de crudo en el vertedero.

El sistema de control general se desarrolla como un conjunto de subsistemas de control puntuales del tipo SISO lineal de lazo cerrado; es decir, se aplica un mecanismo de control para cada variable, como indica la Tabla 3.1

VARIABLE	MECANISMO DE CONTROL
Presión	PID
Caudal de entrada	PROPORCIONAL
Nivel de interfaz	PI
Nivel de crudo	ON/OFF

**Tabla 3.1** Mecanismos de control utilizados en el proceso de separación trifásico de crudo

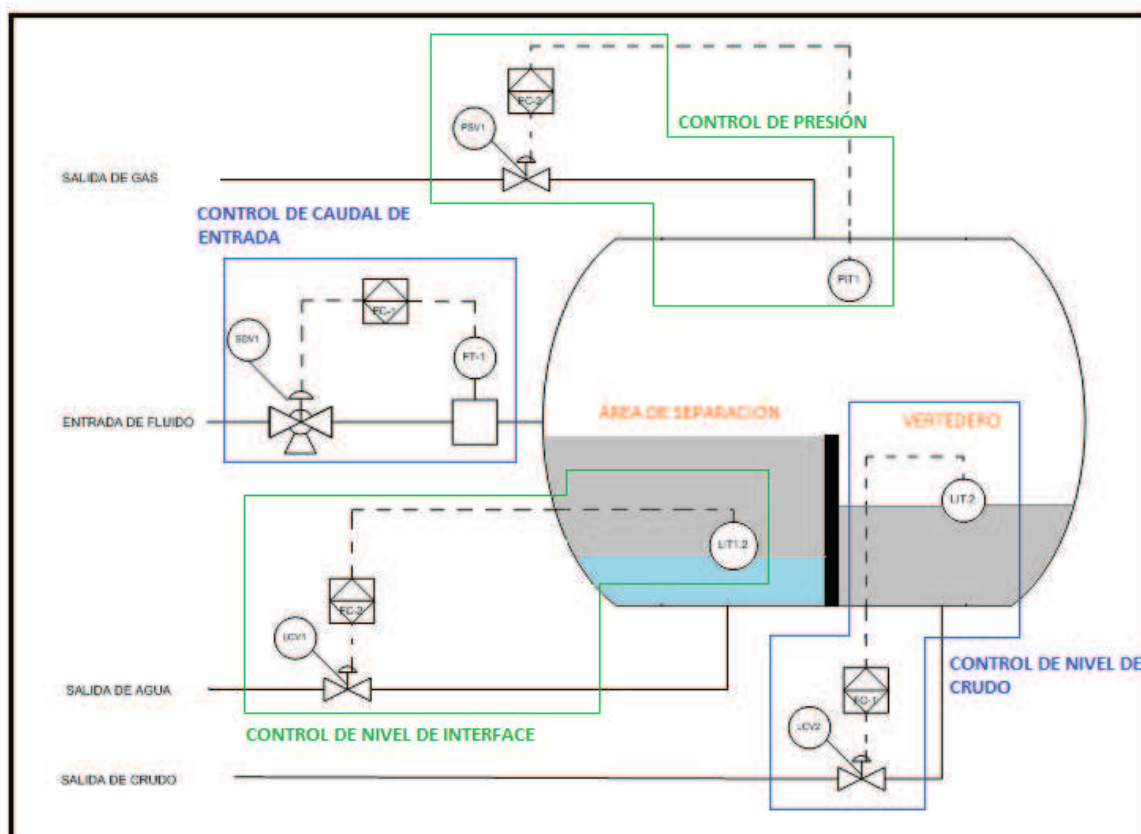
La diferencia en los mecanismos de control se debe a los requerimientos de respuesta del proceso.

Se debe mantener una presión estable dentro del separador, el valor de ésta debe permitir la fluidez del fluido; es decir, la presión debe admitir la salida de fluidos del separador hacia la tubería anexa y evitar inundaciones, pero también debe ser lo suficientemente baja para evitar sobrepresiones dentro del separador; por estas razones se opta por un mecanismo de control tipo PID para la presión, ya que proporciona un control fino y exacto.

Para mantener el nivel de interfaz deseado (nivel de agua) se utiliza un control tipo PI, ya que este tipo de control funciona adecuadamente para procesos de primer orden como es el caso del nivel de agua, además el algoritmo de control PI lleva a cero el error en estado estacionario y da una adecuada respuesta transitoria proporcionada por una acción proporcional.

Por razones de seguridad, para el caudal de entrada se implementa un control de lazo cerrado proporcional, el cual evita caudales superiores a los especificados.

Para controlar el nivel de crudo en el vertedero se usa un mecanismo de control tipo ON/OFF, que busca proporcionar suficiente flujo de crudo por descarga para el correcto funcionamiento del BSW.



**Figura 3.4** Lazos de control en el separador trifásico de crudo

En la Figura 3.4 se observan los lazos de control para el proceso de separación de crudo. El control de flujo de entrada y del nivel de crudo es realizado por el PLC (FC-1). El control de presión y de nivel de la interfaz se realiza en Labview siendo la PC el controlador FC-2. En la Figura 3.5 se presenta la secuencia general del algoritmo de control

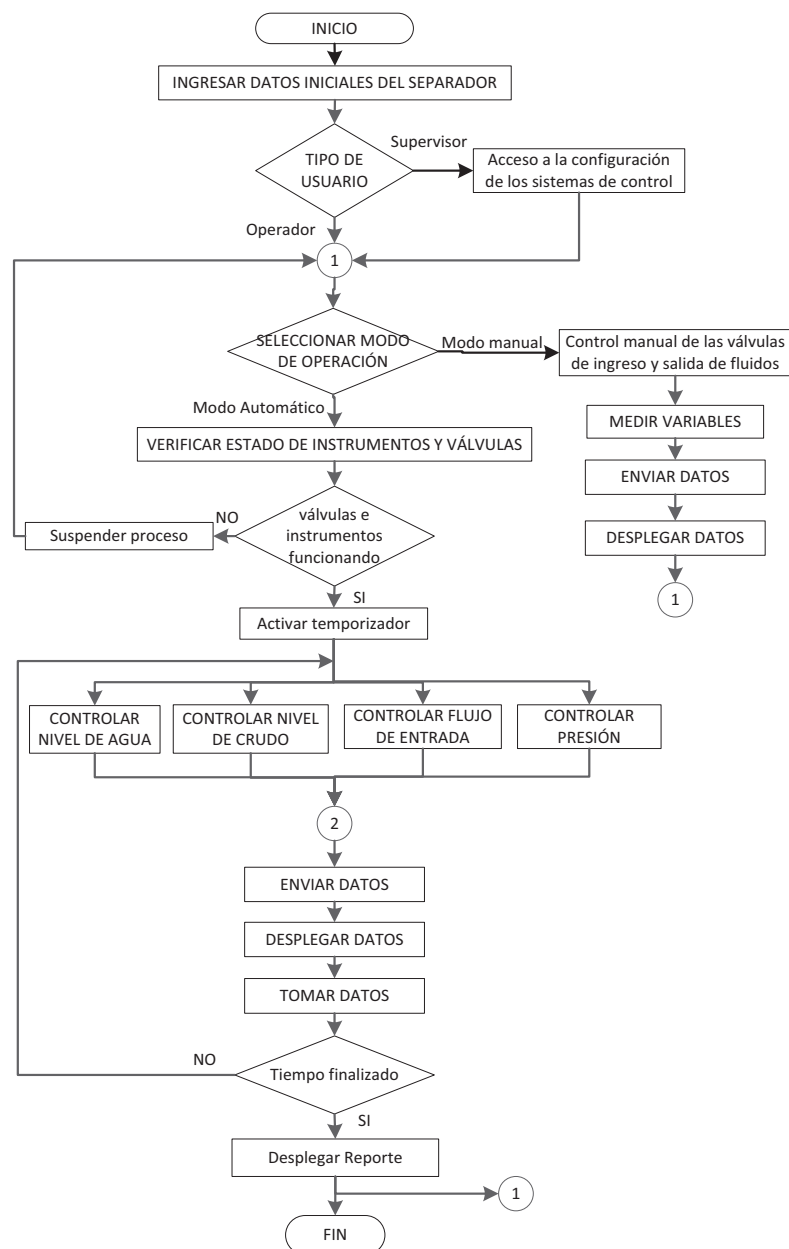


Figura 3.5 Descripción general del algoritmo de control

Como se explicó anteriormente el algoritmo de control general está formado por sistemas de control, cada uno correspondiente con cada variable a controlar, estos sistemas de control se detallan más adelante en este capítulo. Las tareas restantes del algoritmo de la Figura 3.5 se describen a continuación en lenguaje estructurado.

#### **Ingresar datos iniciales del separador**

- Abrir ventana de especificaciones 12J
- Especificar características del proceso
- Guardar información
  - Crear documento a archivar
- Salir
  - Activar ingreso a pantalla principal
  - Activar ingreso a selección de instrumentos

Fin tarea

#### **Seleccionar tipo de usuario**

- Si usuario es operador
  - Bloquear acceso a ventanas de configuración
- Si usuario es supervisor
  - Ingresar clave de entrada
  - Si clave es correcta
    - Permitir acceso a ventanas de configuración
  - Si clave es incorrecta
    - Desplegar //Clave incorrecta. Intente otra vez//

Fin de tarea

#### **Seleccionar modo de operación**

- Modo Automático
  - Activar temporizador
    - Temporizador de 24 minutos que simulan 24 horas (un día)
  - Activar sistema de control de cada variable
    - Si transcurren 24 minutos
    - Desplegar reporte de prueba final

Modo manual

Activar control manual de válvulas

Medición de variables

Fin de tarea

### **Verificar estado de instrumentos y válvulas**

Si la alimentación a los instrumentos y válvulas está bien

Permitir iniciar el proceso

Si no existe alimentación a alguno de los instrumentos o válvulas

No permite iniciar el proceso

Suspender proceso

Fin tarea

### **Enviar datos de la PC al PLC y del PLC a los Microcontroladores**

Enviar valores de variables creadas a “variables globales” en Labview

Asignar registros de almacenamiento en el PLC

Asignar registros de almacenamiento en los microcontroladores

Enviar datos desde PC a PLC

Enviar datos desde PLC a microcontroladores

Fin tarea

### **Desplegar datos en Módulo**

Inicialización del manejo de LCD's

Asignar pines para manejo de matrices

Asignar pines para manejo de LED's indicadores de estado

Asignar pines para lectura de switch on/off

Si el dato es “Porcentaje de apertura de válvula”

Visualizar valor del porcentaje de apertura en LCD

Visualizar barra de incremento o decremento de apertura de la válvula en LCD

Si el dato es “Flujo” o “Temperatura” o “Presión” o “BSW”

Visualizar valor de la variable con sus unidades en LCD

Si el dato es “Nivel de agua” o “Nivel de crudo”

Visualizar valor de la variable con sus unidades en LCD

Mostrar incremento o decremento de nivel por medio de matrices de LED's



Fin tarea

### **Tomar datos de los Microcontroladores, del PLC y de la PC**

Tomar datos desde el microcontrolador

Leer el valor de voltaje que representa al Caudal de Entrada mediante una entrada analógica en el microcontrolador

Almacenar valor de Caudal de Entrada en un registro

Lectura del estado on/off del switch

Almacenar estado on/off en registro asignado

Tomar datos desde el PLC

Leer el registro de Caudal de Entrada (potenciómetro)

Almacenar valor de Caudal de Entrada en un registro

Monitoreo del estado del registro on/off (switch)

Almacenar estado on/off en registro asignado

Tomar datos desde la PC

Leer registros asignados a las variables en el PLC

Almacenar datos en "variables globales" en Labview

Fin tarea

#### **3.1.3.1 Sistema de control de caudal de ingreso de fluido**

Se debe considerar que el comportamiento del proceso está basado totalmente en el ingreso del fluido y de sus características; es decir, de este dependerá la cantidad de agua, gas y crudo resultantes. Por esta razón, para poner a prueba el sistema de control se simula el comportamiento intermitente del ingreso de fluido.

La Figura 3.4 muestra el lazo de control necesario para evitar el paso excesivo de fluido hacia el separador.

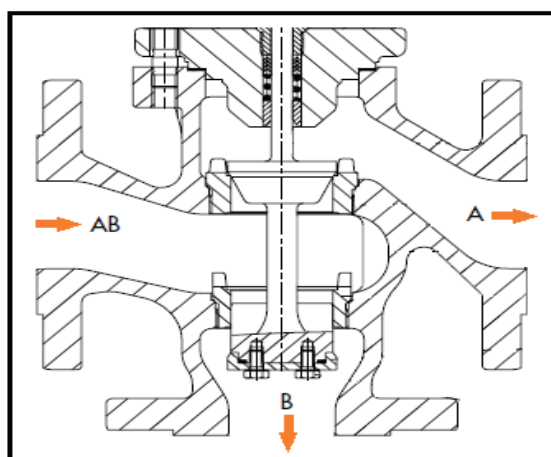
El transmisor de flujo indica el valor de caudal de entrada, cuando este supera el valor nominal establecido, el sistema de control del PLC manda una señal para el cierre proporcional de la válvula y se activa el bypass de la misma. Cabe recalcar que el control de ingreso de fluido se desarrolla específicamente como un medio de seguridad industrial.

En lo referente al control de flujo, desde Labview se envía el valor de flujo nominal de fluido descrito en las Especificaciones 12J API, este dato es multiplicado por el valor que se ingresa por medio de un potenciómetro, el cual está comprendido entre 0 y 1.5, con esto se simula el ingreso de flujo el cual puede ser intermitente, dando como resultado valores entre el 0 y el 150 % del flujo nominal.

La válvula de control de tres vías tiene un comportamiento lineal y proporcional; es decir, cuando la válvula esté al 100% de apertura se permitirá el paso del 100% del flujo. Cuando el flujo real supera el 100% del flujo nominal, la válvula empieza a cerrarse proporcionalmente desviando el flujo excedente.

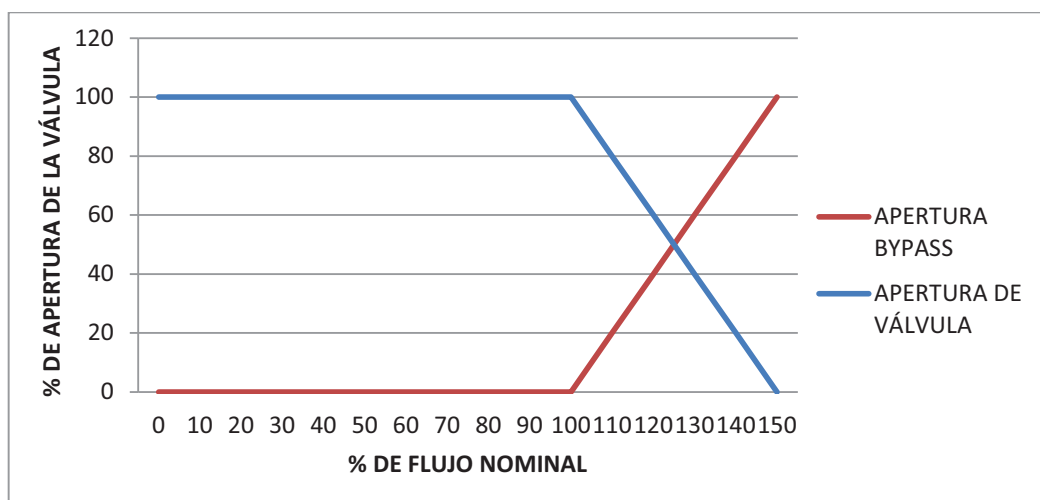
En la Figura 3.6 se muestra la disposición del obturador dentro de la válvula que causa la característica lineal de la misma.

Flujo nominal se denomina al caudal de entrada sobre el cual es diseñado el separador y que se encuentra determinado en las especificaciones API 12J.



**Figura 3.6** Válvula de tres vías

El comportamiento de la válvula de tres vías, como salida del lazo de control, se puede observar en la Figura 3.7.



**Figura 3.7** Comportamiento lineal de la válvula de control de flujo de entrada

En la Figura 3.7 se observa que cuando el flujo de ingreso es menor o igual al 100% del flujo nominal la apertura de la válvula es del 100%, cuando el flujo es mayor al 100% del flujo nominal, la válvula se cierra linealmente. Con estas características se puede establecer el siguiente algoritmo de control.

$$x = 100, f \leq 100 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

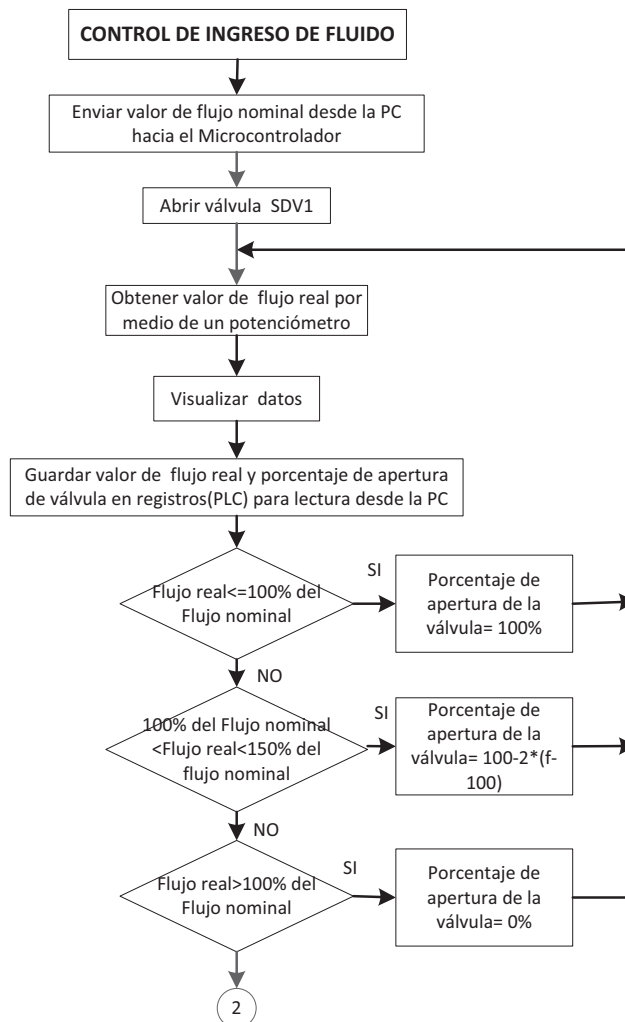
$$x = 100 - 2 * (f - 100), 100 < f < 150 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$$x = 0, f \geq 150 \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Donde, “x” es el porcentaje de apertura de la válvula de control y “f” es el flujo medido por el transmisor de caudal de entrada y corresponde al valor de flujo real. Con este algoritmo se puede obtener un comportamiento lineal de la válvula de control cuando el flujo supera el valor nominal.

Este algoritmo se establece en el PLC por medio del Software TwidoSuit.

En la Figura 3.8 se presenta el algoritmo de control utilizado para limitar el flujo de entrada en el separador.



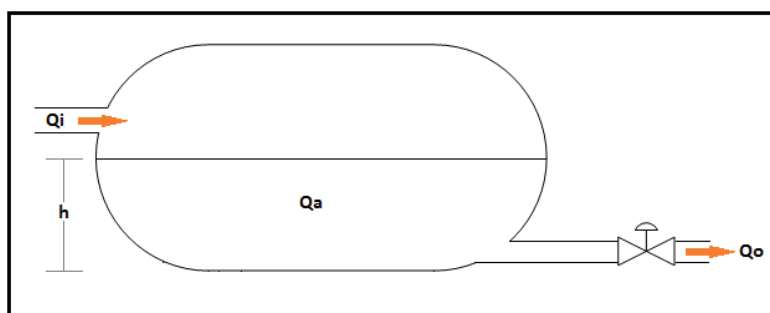
**Figura 3.8** Diagrama de flujo del algoritmo de control de flujo de entrada

La terminación “2” del diagrama de flujo de enlaza en el diagrama de la Figura 3.5.

### 3.1.3.2 Control PI para control del nivel de agua

Cuando el fluido ingresa al recipiente empieza la fase de separación; entonces, el agua se separa del crudo, creando dos niveles de fluidos diferentes, el agua en la parte inferior y sobre ésta se encuentra suspendido el crudo.

El incremento de nivel en el área de separación está directamente relacionado con el flujo de entrada. Para establecer la señal de nivel de la interfaz o nivel de agua se considera un recipiente con un caudal de entrada  $Q_i$  y un caudal de salida  $Q_o$  a través de una válvula de control, como se observa en la Figura 3.9.



**Figura 3.9** Entrada y salida de flujo

Tomando en cuenta la ley de conservación de la energía, se puede establecer:

$$Q_i = Q_a + Q_o ; Q_o = Q_{out} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

El caudal de salida es directamente proporcional al producto del coeficiente de caudal por la raíz de la altura o nivel de líquido en el recipiente.

$$Q_{out} = K_v \sqrt{h} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$K_v$  es el coeficiente de caudal en unidades métricas; para obtener este valor en unidades imperiales, se establece el valor  $C_v$  que se define como el caudal en galones por minuto (gpm) de agua a la temperatura de 60°F con una caída de presión a través de la válvula de 1 psi.  $C_v$  y  $K_v$  se relacionan con la Ecuación 3.7.

$$K_v = 0,86 C_v \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

Entonces;

$$Q_{out} = 0,86C_v \bar{h} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Para el control del nivel de interfaz se escoge una válvula de igual porcentaje que tiene la propiedad de que a iguales incrementos en su abertura producen iguales aumentos relativos o en porcentajes en el coeficiente de la válvula; esta característica se establece mediante la siguiente expresión:

$$C_{v\ x} = C_{vmax} * \alpha^{x-1}, \quad [18] \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

Donde  $C_v(x)$  es el coeficiente de caudal para un porcentaje de apertura  $x$ ,  $\alpha$  es la rangeabilidad,  $C_{vmax}$  es el coeficiente de caudal para una apertura del 100%,  $x$  es el porcentaje de apertura de la válvula.

Si se considera que por cada porcentaje de apertura de la válvula, el caudal de salida variará, se puede deducir:

$$Q_{out(x)} = 0,86C_{v(x)} \bar{h}_{(x)} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Relacionando las expresiones anteriores se obtiene:

$$Q_{out(x)} = 0,86C_{vmax} * \alpha^{x-1} * \bar{h}_{(x)} \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

$$Q_a = Q_i - 0,86C_{vmax} * \alpha^{x-1} * \bar{h}_{(x)} \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

$Q_a$  es el volumen de líquido que permanece dentro del recipiente y se define como:

$$Q_a = \frac{dVa}{dt} = A * \frac{dh}{dt} \quad (\text{Ecuación 3.12})$$

Finalmente se obtiene una expresión que relaciona el incremento/decremento de nivel con el flujo de entrada.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_i - 0,86C_{vmax} * \alpha^{x-1} * \bar{h}_{(x)}}{A} \quad (\text{Ecuación 3.13})$$

Cuando el porcentaje de apertura de la válvula es menor al 5% se puede asumir a la expresión anterior como una ecuación lineal;

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_i - 0,86 C_{vmax} * x * \overline{h(x)}}{A} \quad (\text{Ecuación 3.14})$$

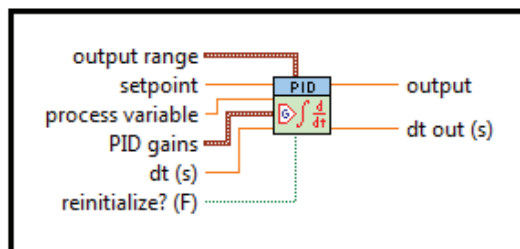
Para la implementación de las expresiones anteriores se toma como base los datos obtenidos en el dimensionamiento de la válvula de control de nivel de agua realizado en el capítulo anterior. Estos datos se indican en la Tabla 3.2.

PARÁMETRO	VALOR
Qi máximo	20000 BFPD
Cvmax	500
hmax	102 pulg
Área transversal	500 ft <sup>2</sup>

**Tabla 3.2** Parámetros del Separador Trifásico de crudo de 20000 BFPD – Caudal de entrada

Para controlar la señal de nivel obtenida con la expresión anterior se implementa un algoritmo de control tipo PI, donde la entrada es la variación de nivel y se obtiene de salida el porcentaje de variación de la válvula. Se opta por este tipo de control, ya que se necesita establecer una salida de agua continua, lo que evita que pequeños sólidos se decanten en el separador, además permite que el transmisor de caudal de agua funcione adecuadamente.

Labview, dentro del Módulo Control Design and Simulation provee una herramienta que permite implementar este algoritmo de control y es la que se indica en la Figura 3.10.



**Figura 3.10** Algoritmo de control PID – Labview

A continuación se describen las funciones de esta herramienta y los valores utilizados para configurar el algoritmo PID para el control de nivel de agua:

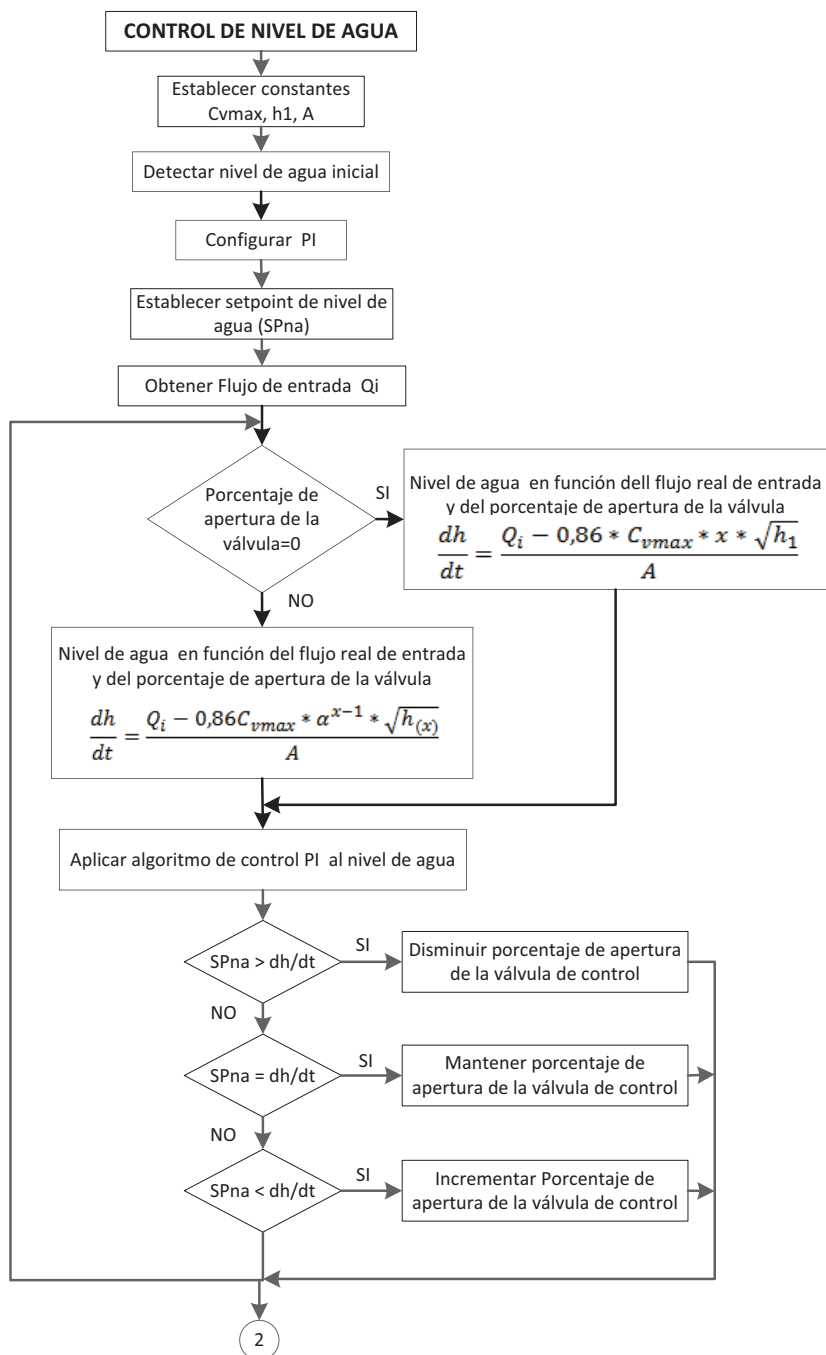
REQUERIMIENTOS DEL ALGORITMO DE CONTROL	DESCRIPCIÓN	VALOR
<b>RANGO DE SALIDA</b>	Establece el valor máximo y mínimo de la salida del controlador PID	0 / 100
<b>SETPOINT</b>	Especifica el valor deseado de la variable de proceso	Valor establecido por el usuario
<b>VARIABLE DEL PROCESO</b>	Variable a ser controlada	Nivel de agua
<b>PID GANANCIAS</b>	Son los valores de ganancia proporcional $K_p$ , tiempo de integración $T_i$ y tiempo derivativo $T_d$	$K_p=0,3$
		$T_d=0$
		$T_i=0,03$
<b>DT</b>	Intervalo en segundos en el este SUBVI es llamado	1
<b>REINICIAR?</b>	Reinicia los parámetros internos del controlador	FALSO
<b>DT OUT (s)</b>	Valor en seg. Del intervalo en el cual el programa llama al subVI	1
<b>SALIDA</b>	Valor de salida del algoritmo	Porcentaje de apertura de la válvula de control

**Tabla 3.3** Datos para el algoritmo de control PID para el control de nivel de agua

Para sintonizar el PID de control de nivel de interfaz se utiliza el método de prueba y error y la herramienta de Labview “Autotunnig”.



En la Figura 3.11 se muestra el algoritmo de control establecido para el control de nivel de agua.



**Figura 3.11** Diagrama de flujo del algoritmo de control de nivel de agua

La terminación “2” del diagrama de flujo se enlaza en el diagrama de la Figura 3.5.

Las tareas establecidas en el diagrama de flujo de la Figura 3.11 siguen una secuencia, tal que permiten obtener el control de nivel de agua, por medio de la correcta configuración de los parámetros del PI.

### **3.1.3.3 Control ON/OFF para el nivel de crudo**

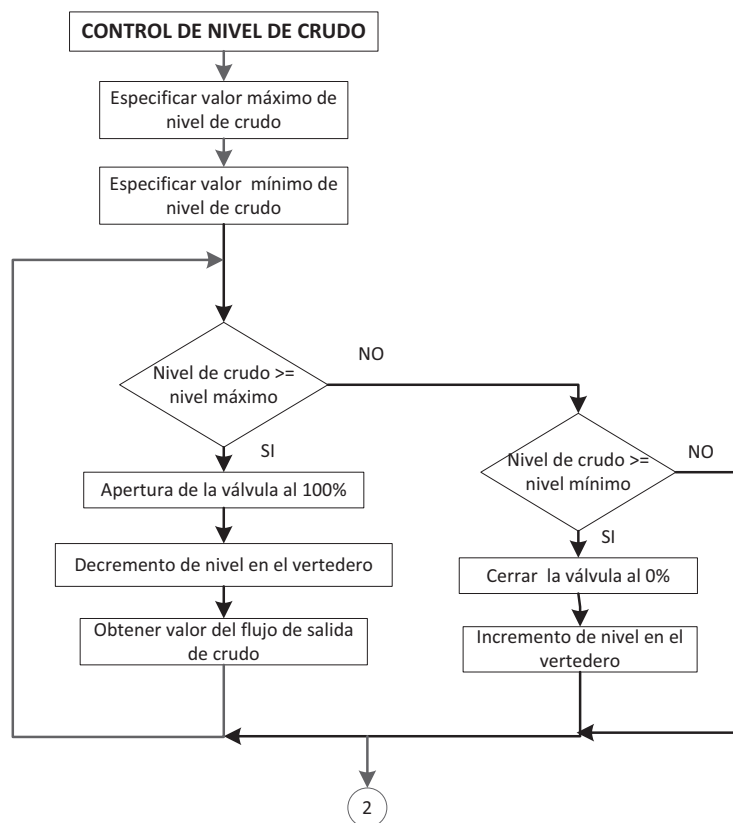
Cuando el nivel de fluido sobrepasa el nivel máximo del área de separación, el crudo empieza a desbordarse y el nivel del vertedero se incrementa. Se establece que el incremento de nivel en el vertedero es lineal y es dependiente del aumento de nivel en el área de separación y por ende del flujo de entrada.

Para controlar el nivel de crudo en el vertedero se opta por un tipo de control ON/OFF. Para esto se necesitan establecer los valores máximo y mínimo de nivel; entonces, cuando el nivel llega a su valor máximo la válvula se abre (100% de apertura), lo que permite el decremento de nivel y cuando el nivel llegue a su valor mínimo la válvula se cerrará (0% de apertura).

Si este mecanismo de control llega a fallar, un sensor de nivel puntual colocado a una distancia de la base, tal que evite que el recipiente se inunde, se activará y una alarma de seguridad detendrá el proceso (este valor es mayor que el valor máximo de nivel en el vertedero).

En la implementación, desde la PC se envía el valor de nivel en el área de separación, cuando este valor supere la altura de la pared del vertedero (60”), empieza el incremento de nivel en el vertedero, el cual fluctuará entre el valor máximo y mínimo de nivel.

En la figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo que corresponde al sistema de control de nivel de crudo.



**Figura 3.12** Diagrama de flujo del algoritmo de control de nivel de crudo

La terminación “2” del diagrama de flujo se enlaza en el diagrama de la Figura 3.5.

### 3.1.3.4 Control PID para el control de presión

El control de presión en el interior del separador está relacionado con el volumen de gas natural, que se produce como resultado del proceso de separación.

Para el desarrollo del sistema de control se considera la expresión que relaciona el caudal de salida de gas a través de una válvula y el porcentaje de apertura de la misma.

$$Q_{out\ gas} = 2,8Cv_{gas} * C_f * x_{gas} * P * \overline{G \frac{520}{T}} * y - 0,148y^3 \quad \frac{lb}{h}, [18], \quad (\text{Ecuación 3.15})$$

$$y = \frac{1,63}{C_f} * \frac{\overline{\Delta p_{gas}}}{p} \quad (\text{Ecuación 3.16})$$

Donde  $Q_{outgas}$  es el caudal másico de salida de gas,  $Cv_{gas}$  es el coeficiente de la válvula de control de gas,  $x_{gas}$  es el porcentaje de apertura de la válvula,  $G$  es la gravedad específica del gas,  $\Delta p_{gas}$  es la caída de presión a través de la válvula de control,  $C_f$  es un dato que caracteriza al tipo de válvula a usar, tiene un valor entre 33 y 38 y  $P$  es la presión en el separador.

Algunos de los valores de los parámetros de la ecuación anterior se toman de los datos obtenidos en el dimensionamiento de la válvula de control de presión y son los siguientes:

PARÁMETRO	VALOR
$Cv_{gas}$	223
$G_G$	0,65
$C_1$	33
$\Delta P_{gas}$ (psi)	1,2

**Tabla 3.4** Parámetros del Separador Trifásico de crudo de 20000 BFPD – Control de presión

Desarrollando las ecuaciones 3.16 y 3.17, se obtiene:

$$y = \frac{1,63}{0,65} * \frac{\overline{0,4}}{p} = \frac{1,58}{p} \quad (\text{Ecuación 3.17})$$

$$Q_{out\ gas} = 1087,41 * x_{gas} * \overline{p} * \left(1 - \frac{0,3694}{p}\right) \quad (\text{Ecuación 3.18})$$

Se obtiene una ecuación donde el caudal de salida de gas a través de la válvula se encuentra en función de la presión interna del separador y del porcentaje de apertura de la válvula.

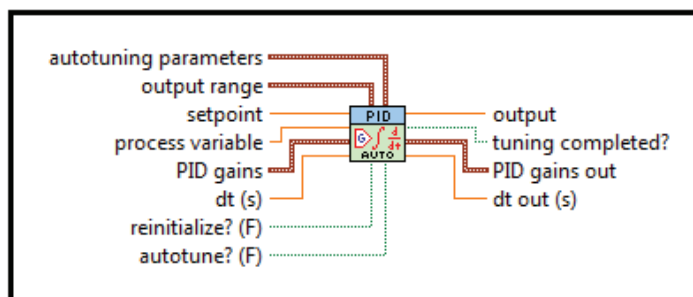
Análogamente al sistema de control de nivel, se formula:

$$Q_{in\ gas} = Q_{acumula\ gas} + Q_{out\ gas} \quad (\text{Ecuación 3.19})$$

De la Ecuación 3.19, el caudal de gas que ingresa “ $Q_{in\ gas}$ ” es un valor conocido y se establece en las Especificaciones 12J, el caudal de salida “ $Q_{out\ gas}$ ”, se reemplaza con la Ecuación 3.18. La presión dentro del separador se encuentra en función del caudal másico de gas que se acumula; es decir, cuanto más gas se acumula en el separador mayor es la presión en su interior.

Para el control de la válvula se opta por un PID, ya que este provee una respuesta rápida y confiable, que es lo que se necesita para mantener un valor de presión adecuado. Este sistema de control se desarrolla en Labview utilizando la herramienta PID, la cual es expuesta en la sección de control de nivel de agua.

Para la sintonización del algoritmo de control se emplea PID Autotuning que es una herramienta de Labview que permite obtener los valores de las ganancias del PID.



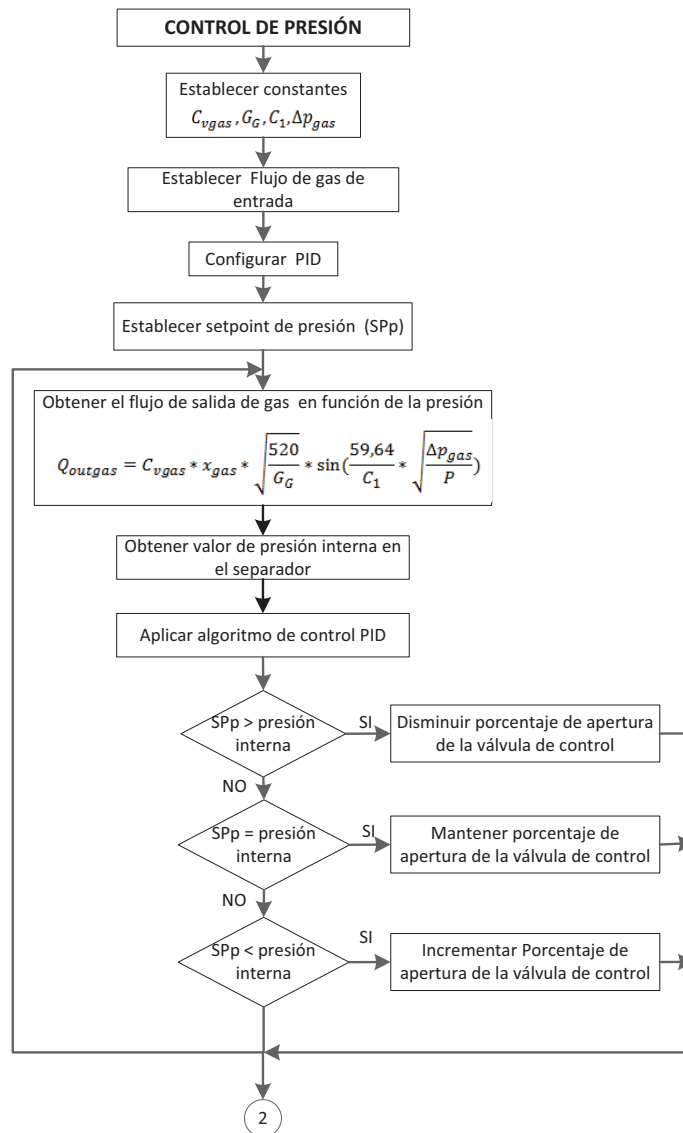
**Figura 3.13** Algoritmo de control PID Autotuning – Labview

Este bloque presenta los mismos parámetros que la herramienta PID convencional pero además presenta la opción “autotune”, que habilita el proceso de sintonización.

Los valores obtenidos con esta herramienta proporcionan una base para definir por medio del método de prueba y error los valores definitivos. Las ganancias del control PID para el control de presión son:

- $K_P=1$ .
- $T_i=0,06$ .
- $T_d=0,001$ .

Si por alguna razón el sistema de control deja de actuar y la presión aumenta a valores peligrosos, se activa una alarma que suspende el proceso. En la figura 3.13 se muestra de manera resumida el algoritmo de control implementado para el control de presión.



**Figura 3.14** Diagrama de flujo del algoritmo de control de presión

La terminación “2” del diagrama de flujo se enlaza en el diagrama de la Figura 3.5.

### 3.1.4 SISTEMA DE CONTROL INTEGRADO

Todos los sistemas de control antes expuestos, deben responder de manera adecuada, cuando interactúen para que el proceso de separación se desarrolle

correctamente, evitando situaciones de peligro. Para asegurar el proceso se implementaron las siguientes acciones:

- Si el caudal de entrada supera el límite máximo establecido, la válvula de tres vías se cierra de manera proporcional y desvía el fluido hacia otra tubería.
- Si el nivel de líquido en el separador supera el máximo establecido, se dispara una alarma y el proceso se suspende.
- Si la presión aumenta a niveles peligrosos, se activa una alarma y el proceso se suspende.

La suspensión del proceso significa que la válvula de tres vías (SDV1) se cierra totalmente, al igual que las válvulas de salida de crudo (LCV2) y agua (LCV1); la válvula de control de presión (PSV1) se mantiene abierta.

Las acciones y reacciones en el sistema de control se pueden observar en la matriz causa efecto que se describe en la Tabla 3.5.



CAUSA			EFECTO					
NOMBRE	TAG	LAZO DE CONTROL	PCV-1	SDV-1	LCV-1	LCV-2	INTERRUPCIÓN DEL PROCESO	ALARMAS
Transmisor de presión	PIT-1.H	PIC 1	O	C	C	C	Y	Y
transmisor de flujo	FIT-1.H	FIC1	L	C	L	L	N	N
transmisor de nivel de interfaz	LIT-1.2.L	LIC1	L	L	L	C	N	Y
transmisor de nivel crudo	LIT-2.L	LIC2	L	L	C	L	N	N
	LIT-2.H.H	LIC2	O	C	L	L	Y	Y

Tabla 3.5 Matriz causa efecto

- Apertura de la válvula: O.
- Cierre de la válvula: C.
- Válvula actúa de acuerdo al lazo de control: L.
- NO: N.
- SI: Y.

La matriz causa–efecto indica los procedimientos de seguridad que el sistema dispone.

Esta matriz está formada de dos secciones; la sección Causa que indica los valores críticos de medida, el lazo de control al que pertenecen y el nombre del instrumento correspondiente. La sección Efecto que establece las reacciones de las válvulas a las medidas críticas, si se presenta o no la interrupción del proceso y la activación de alarmas. Estas reacciones pueden ser de apertura(O), cierre (C) y mantenerse en el lazo de control (L). “N” significa NO y “Y” SI.

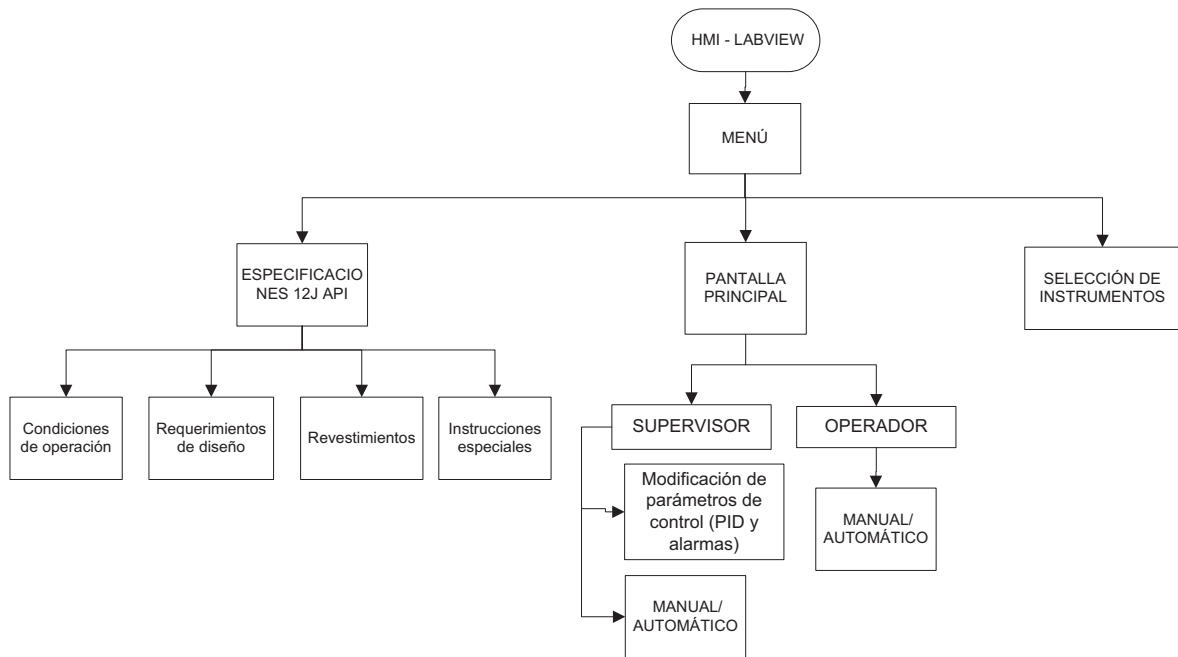
### **3.2 DESARROLLO DE LA HMI DEL SISTEMA DE CONTROL**

Una HMI es una herramienta que permite la interacción entre el usuario y el proceso a través del monitoreo, alarmas y control supervisado de variables.

Para el sistema de control del proceso de separación trifásica de crudo se establece una interfaz, donde el usuario por medio de un menú de selección accede a una de las siguientes aplicaciones:

- Especificaciones 12J API.
- Pantalla principal de control.
- Selección de instrumentos.

En la Figura 3.15 se puede observar el esquema de la HMI desarrollada en este proyecto.



**Figura 3.15** Esquema de la interfaz para el manejo del sistema de control

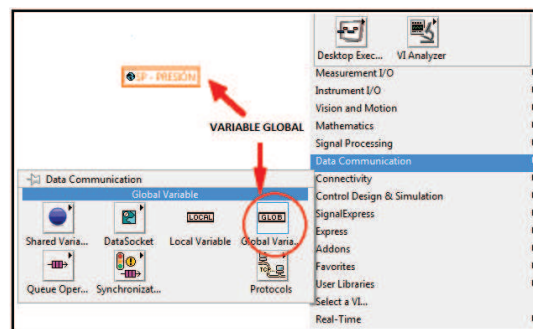
Para la programación se crea un VI principal desde el cual se “llaman” a otros VI’s con distintas funcionalidades. En el VI principal se programa el Menú y la Pantalla Principal de Control. En la Tabla 3.6 se describen los VI’s desarrollados para la creación de la HMI.

VI	DESCRIPCIÓN
1	Menú
	Pantalla Principal
	Sistema de Control
2	Especificaciones 12J API
3	Selección de Instrumentos
4	Parámetros PID para el control de presión
5	Parámetros PID para el control de nivel de agua
6	Parámetros del control ON/OFF de nivel de crudo
7	Selección de Usuario (Password)
8	Reporte de prueba final

**Tabla 3.6** Descripción de los VI’s desarrollados para la HMI

El VI 1 corresponde a la ventana principal, y desde ésta se llaman a los demás VI’s. La razón para distribuir la HMI en diferentes programas es para evitar el consumo de

memoria que se produciría si todos los programas se encontraran activos al mismo tiempo, además de esta manera se reduce el tiempo de ejecución. Para relacionar los diferentes VI's creados para la HMI, se deben compartir entre ellos algunas variables. Para obtener los valores de los datos de un VI en otro VI diferente se utilizan Variables Globales de la carpeta de funciones Data Communication de Labview, como se indica en Figura 3.16.



**Figura 3.16** Variable Global – Labview

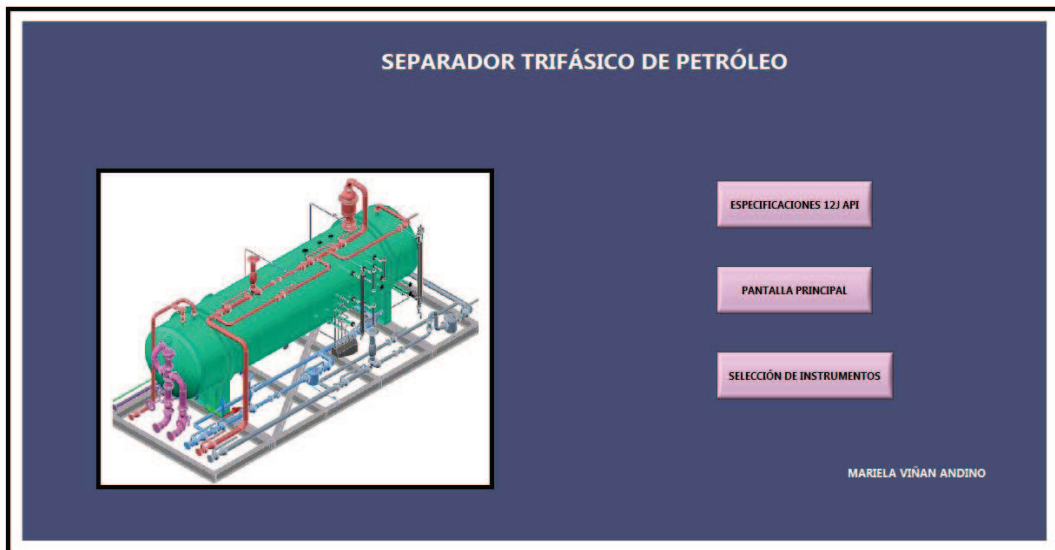
### 3.2.1 MENÚ DE SELECCIÓN

Para facilitar al usuario el manejo de la HMI, se crea como primera pantalla un menú desde el que se puede direccionar a las ventanas principales de la HMI, como se indica en la Figura 3.17. Este menú contiene los siguientes íconos:

- Especificaciones 12J API.
- Pantalla principal.
- Selección de instrumentos.

De las tres opciones que el menú dispone, dos se encuentran deshabilitadas (Pantalla Principal y Selección de Instrumentos) y solo se habilitan cuando en la pantalla de Especificaciones 12J API han sido establecidos todos los datos. Esto se debe a que la información de las Especificaciones es necesaria para el funcionamiento del proceso.

En la Figura 3.17 se observa el Panel Frontal del Menú Principal de la HMI.



**Figura 3.17** Menú principal de la HMI – Panel frontal Labview

### 3.2.2 ESPECIFICACIONES 12J API

Estas especificaciones cubren los requerimientos mínimos necesarios para el diseño y fabricación de separadores de crudo.

Una de las ventanas de la HMI presenta una pantalla donde el usuario debe registrar la información referente al Diseño de Separadores de Crudo, dicha información se encuentra distribuida de la siguiente manera:

- Condiciones de Operación

Para el diseño de separadores de crudo, previamente, se deben establecer los valores que caracterizan al fluido a separar, estos valores son: volumen de crudo, agua y gas, grado API, formación de espuma, problemas de parafina, gravedad específica, temperatura mínima y máxima de operación, presión mínima y máxima de operación, slugflow y el contenido de H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>.

- Requerimientos de Diseño

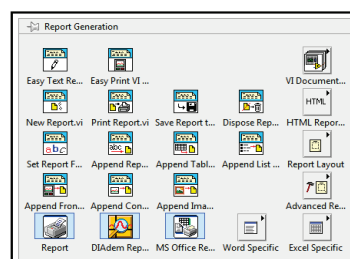
Para la fabricación del recipiente de separación se requiere definir el tipo de recipiente (horizontal o vertical), el número de fases (bifásico o trifásico), la presión y temperatura de diseño, tipo de Mist Extractor, tiempo de retención de líquido, y otros datos que determinan el diseño mecánico del separador.

- Revestimientos e instrucciones especiales

Los materiales con los que se fabrique el separador deben ser los adecuados para el ambiente donde éste vaya a ser instalado, de la misma manera deben responder a la normativa de seguridad industrial correspondiente, para esto se examinan los separadores previo a su instalación en campo.

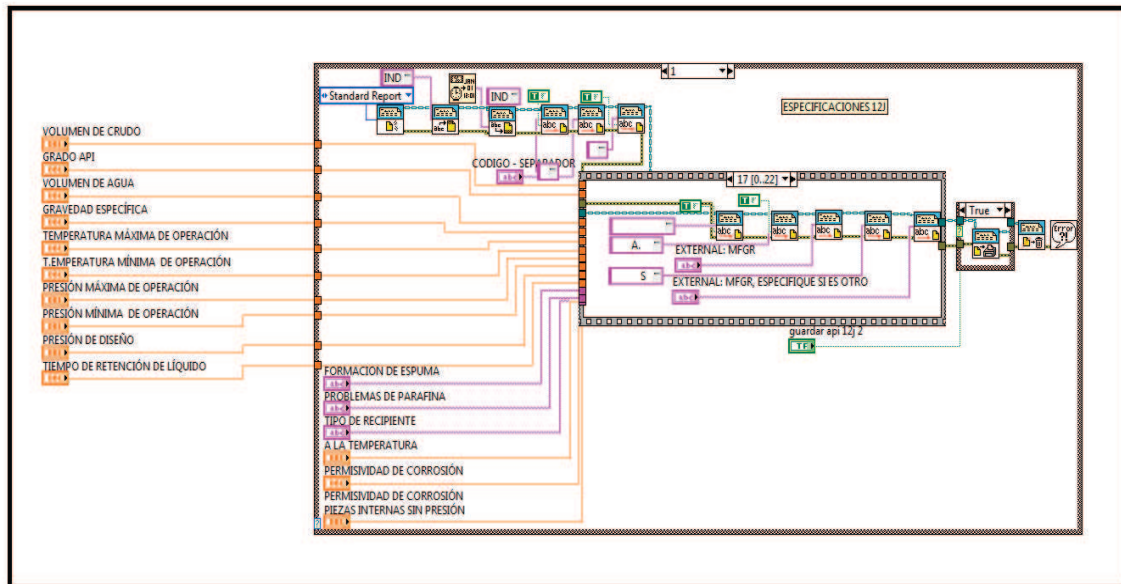
La información detallada en la ventana de Especificaciones es indispensable para el funcionamiento del sistema de control, por esta razón se habilitan todas las opciones del menú, únicamente cuando la ventana de Especificaciones 12J API ha sido llenada con los datos correspondientes.

En lo referente a la programación; esta sección es desarrollada en un VI independiente del VI principal; los datos y valores se ingresan a través de controles numéricos y seleccionadores. Todos los datos recopilados dentro de la ventana Especificaciones 12J pueden ser guardadas o impresas, como un medio para crear un archivo de estas características; para esto se utiliza el Report Generation Toolkit (Figura 3.18) que permite crear reportes o documentos y es compatible con Microsoft Office.



**Figura 3.18** Report Generation Toolkit – Labview

En la Figura 3.19 se puede observar el Diagrama de Bloques del programa desarrollado en Labview, que corresponde a la ventana de Especificaciones 12J API.



**Figura 3.19** Especificaciones 12J API – Diagrama de bloques Labview

El Panel Frontal de la Especificaciones 12J API está compuesto por:

- Zona de datos a registrar. El Usuario debe ingresar los valores que caracterizan al proceso de separación de crudo.
- Ícono Guardar. Permite almacenar o imprimir los datos del proceso.
- Ícono Salir. Cierra la ventana y habilita las dos opciones restantes del menú.

**ESPECIFICACIONES 12J SUBVL.VI**

**CODIGO - SEPARADOR 2**

**CONDICIONES DE OPERACIÓN**

VOLUMEN DE CRUDO: 5000 BFPD

VOLUMEN DE AGUA: 2500 BFPD

GRADO API: 30

FORMACION DE ESPUMA: NINGUNA

PROBLEMAS DE PARAFINA: NO

SLUG FLOW: NO

GOR: 1

GRAVEDAD ESPECÍFICA: 0.6

TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN: 200 °F

TEMPERATURA MÍNIMA DE OPERACIÓN: 70 °F

PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN: 40 PSIG

PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN: 26 PSIG

CONTENIDO DE H2S: 0 MOL %

CONTENIDO DE CO2: 0 MOL %

LOCACIÓN GEOGRÁFICA 2: ECUADOR

**REQUERIMIENTOS DE DISEÑO**

TIPO DE RECIPIENTE: HORIZONTAL

FASES 2: TRIFÁSICO

PRESIÓN DE DISEÑO: 80 A LA TEMPERATURA: 70

TIPO DE MIST EXTRACTOR 2:

TIEMPO DE RETENCIÓN DE LÍQUIDO: 5 MINUTOS

PERMISIVIDAD DE CORROSIÓN: 0

PERMISIVIDAD DE CORROSIÓN PIEZAS INTERNAS SIN PRESIÓN: 0

NACE MR 0175 REQUIRED 2: NO

SPECIAL STRESS RELIEVING 2: NO

API RP 14C SAFETY SYSTEMS REQUIRED 2: NO

EXTERNAL MFGR: ESPECIFIQUE SI ES OTRO

INTERNAL (ESPECIFIQUE):

PROTECCION CATÓDICA:

**INSTRUCCIONES ESPECIALES**

INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA: ASME RT2

HIDROSTATIC TEST PRESSURE:

HARDNESS TESTING REQUERIM:

LIFTING LUGS: YES

SKID MOUNTING: YES

WELDING REQUIREMENT:

SAND REMOVAL SYSTEM: NO

OTHER:

GUARDAR

SALIR

**Figura 3.20** Especificaciones 12J API – Panel frontal Labview

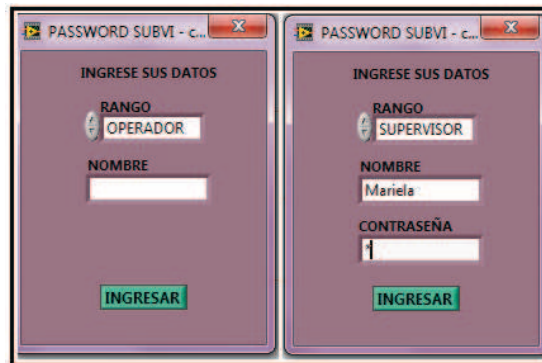
### 3.2.3 PANTALLA PRINCIPAL DE CONTROL

La Pantalla Principal de Control está desarrollada en el VI1 (VI principal).

Después de seleccionar la opción “Pantalla Principal” en el Menú se debe decidir el tipo de usuario a ingresar. Existen dos tipos de usuarios “Operador” y “Supervisor”, como se puede observar en la Figura 3.21.

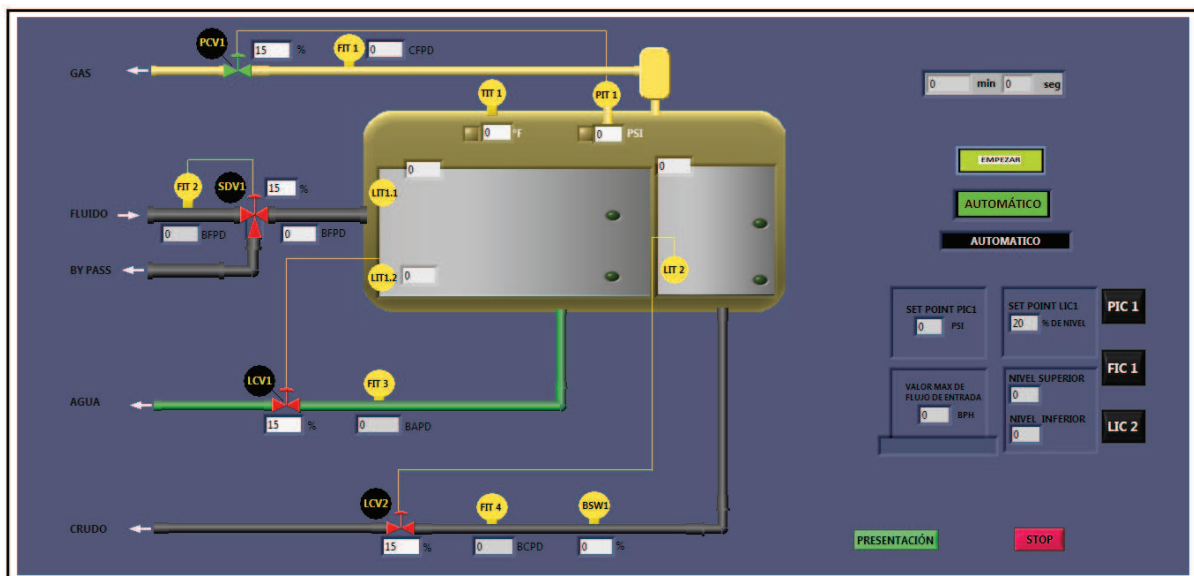
El usuario tipo Operador es de libre ingreso y permite únicamente iniciar o suspender el proceso en modo manual o automático. El tipo de usuario Supervisor es de ingreso restringido y solicita un “Password”. Este inicia o suspende el proceso, ya sea en modo manual o automático y además permite acceder a las ventanas de configuración del sistema de control del proceso.





**Figura 3.21** Selección de Usuario – Panel Frontal

Después de decidir el tipo de usuario a ingresar se despliega la Pantalla Principal de Control que se indica en la Figura 3.22.



**Figura 3.22** Pantalla principal de control – Panel Frontal

La Pantalla principal de control permite al usuario monitorear y controlar el proceso de separación. Para esto esta ventana dispone de las siguientes secciones:

### 3.2.3.1 Sección de monitoreo

En la sección de monitoreo, que integra esta pantalla, se observa el diagrama de un separador trifásico de crudo con las válvulas e instrumentos necesarios para su funcionamiento; sobre este diagrama se encuentran distribuidos indicadores numéricos y gráficos, estos indican los valores de las diferentes variables que intervienen en el proceso. La Tabla 3.7 describe los indicadores que dispone la pantalla principal de control.

INDICADORES	UNIDADES
<b>INDICADORES NUMÉRICOS</b>	
porcentaje de apertura de PCV1	porcentaje
Caudal de gas del transmisor FIT1	MSCFD
Temperatura	°F
Presión	PSI
Nivel de crudo en el área de separación LIT1.1	%
Nivel de agua en el área de separación LIT1.2	%
Porcentaje de apertura de SDV1	%
Caudal de flujo de entrada transmisor FIT2	BFPD
Nivel de crudo en el vertedero LIT2	%
Porcentaje de apertura de LCV1	porcentaje
Caudal de salida de agua FIT3	BAPD
Porcentaje de apertura de LCV2	porcentaje
Caudal de salida de crudo FIT4	BCPD
Porcentaje de BSW	porcentaje
<b>INDICADORES DEL SISTEMA DE CONTROL</b>	
Setpoint PIC1	PSI
Setpoint LIC1	%
Nivel superior en el vertedero	%
Nivel inferior en el vertedero	%
<b>OTROS INDICADORES</b>	
Indicador de estado del proceso	manual
	automático
	proceso suspendido

**Tabla 3.7** Distribución de indicadores de la Pantalla Principal de Control

Las válvulas de la pantalla principal indican la apertura y cierre de las mismas. Cuando las válvulas están de color rojo significa que están totalmente cerradas y

cuando las válvulas están de color verde indica que están abiertas en algún porcentaje.

En la parte superior derecha de la pantalla se encuentra un indicador de tiempo, el cual indica el inicio y el fin del proceso. Además en la parte inferior derecha se encuentran cuatro indicadores numéricos que presentan los valores del sistema de control.

### 3.2.3.2 Sección de control

La pantalla principal establece una sección de control a la que el usuario puede acceder para modificar varios parámetros del proceso. La sección de control se define dependiendo del tipo de usuario a ingresar. La Tabla 3.8 describe el acceso que tiene cada tipo de usuario.

NOMBRE DEL CONTROL	TIPO DE USUARIO	
	OPERADOR	SUPERVISOR
Empezar/suspender	x	x
Manual/automático	x	x
PIC1		x
FIC1		x
LIC2		x
PRESENTACIÓN	x	x
STOP	x	x
Apertura y cierre de válvulas	x	x

**Tabla 3.8** Acceso al control de acuerdo al tipo de usuario

Se presenta a continuación la descripción de los elementos de control de la pantalla principal.

### 3.2.3.2.1 Botones Manual/automático y Empezar/suspender

El usuario puede seleccionar el modo de funcionamiento del separador. Existen dos modos de acción: modo manual y modo automático, las Figuras 3.23 y 3.24 muestran la activación del modo manual y automático, donde intervienen dos botones; Empezar/Suspender y Manual/Automático, estos tipos de botones son biestables; es decir, con un único botón se puede seleccionar dos acciones diferentes.



Figura 3.23 Proceso manual activado

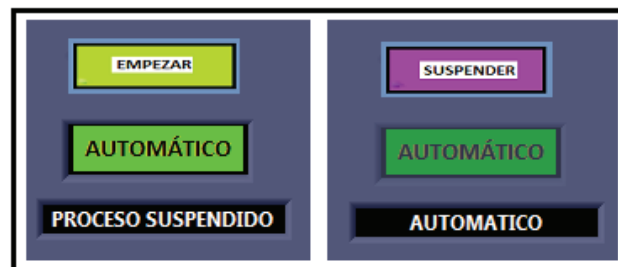


Figura 3.24 Proceso automático activado

Para activar un modo de funcionamiento (manual o automático), se debe suspender previamente el proceso, entonces, el botón Manual/Automático será habilitado únicamente cuando el proceso haya sido suspendido.

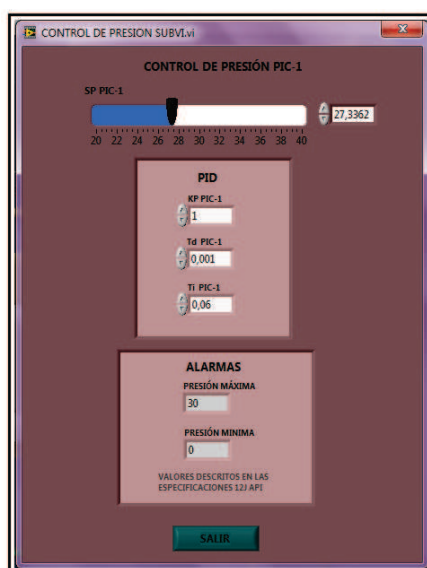
### 3.2.3.2.3 Acceso a PIC1, LIC1 y LIC2

El ingreso a la parametrización de los lazos de control PIC1, LIC1 y LIC2 es de acceso restringido y solo está habilitado cuando el usuario es de tipo Supervisor.

Para la configuración del lazo de control de presión se presenta un VI con los siguientes elementos:

- Slide numérico horizontal para seleccionar el Setpoint de presión.
- 3 controles numéricos para establecer los valores de Kp, Ti y Td.
- 2 controles numéricos para configurar alarmas con los valores de presión máxima y mínima.
- Botón para salir de la pantalla de configuración.

La Figura 3.25 indica la pantalla de configuración del lazo de control de presión.



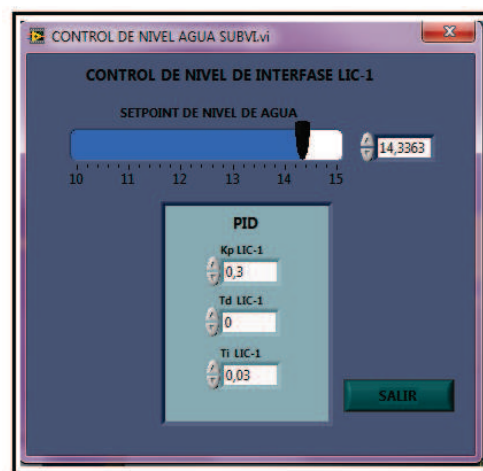
**Figura 3.25** Control de Presión PIC1- Panel Frontal

Otra de las pantallas de acceso restringido es la de configuración del lazo de control de nivel de interfaz, que está conformada por:

- 1 slide numérico horizontal para seleccionar el Setpoint de nivel de agua.

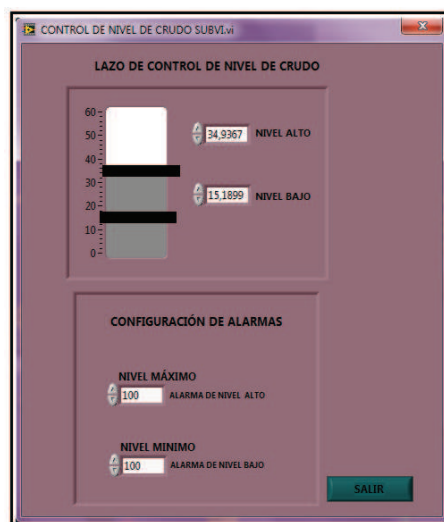
- 3 controles numéricos para establecer los valores de Kp, Ti y Td pertenecientes al PID.
- 1 Botón para salir de la pantalla de configuración.

Estos elementos se distribuyen en la pantalla de configuración como indica la Figura 3.26.



**Figura 3.26** Control de nivel de Interfaz LIC-1 – Panel Frontal

Para configurar los valores de parametrización del lazo de control de nivel de crudo LIC2, se habilita una pantalla en la cual por medio de un slide numérico se pueden determinar los niveles de crudo máximo y mínimo para el funcionamiento ON/OFF de la válvula. La pantalla también permite establecer los valores de nivel máximo y mínimo para la activación de la alarma. (Figura 3.27).



**Figura 3.27** Control de nivel de crudo LIC2– Panel frontal

#### **3.2.3.2.4 Presentación**

Permite al usuario regresar al menú principal para direccionarse a otra aplicación de la HMI.

#### **3.2.3.2.5 Stop**

Suspende totalmente la HMI y el proceso.

#### **3.2.3.3 Modos de Control del Proceso en la Pantalla Principal de Control**

El sistema de control permite dos modos de funcionamiento: manual y automático.

El modo manual desactiva los lazos de control y permite al usuario manejar directamente la apertura y cierre de válvulas. Por seguridad las alarmas de presión y de nivel siguen activas dentro de este modo de control.

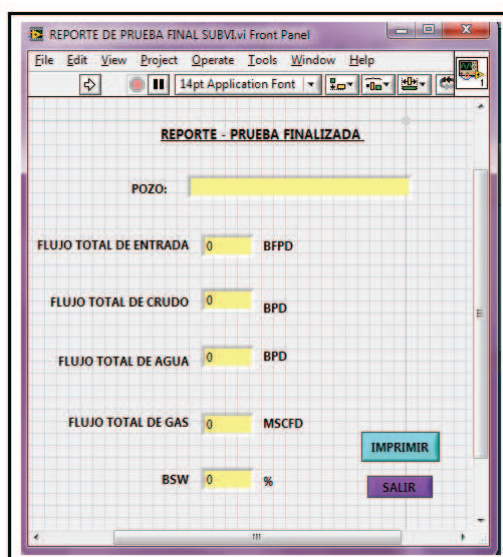
En modo automático, todos los lazos de control y alarmas se activan.

Los datos obtenidos de los separadores de prueba y de producción deben ser comprobados en el transcurso de un día de funcionamiento, por esto, en el modo de

control automático se dispone de un indicador de tiempo que determina el fin del proceso cuando ha transcurrido 24 horas.

#### 3.2.3.4 Reporte de prueba final

Cuando el proceso se ha desarrollado por un día, éste se suspende y despliega una pantalla con los valores obtenidos. Estos valores corresponden al flujo total de entrada, flujo total de crudo, flujo total de agua, flujo total de gas y el porcentaje de BSW. Estos datos pueden ser impresos para crear un reporte de los mismos. En la Figura 3.28 se puede observar la pantalla de reporte de prueba finalizada.



**Figura 3.28** Reporte de Prueba Finalizada – Panel Frontal

#### 3.2.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

La tercera aplicación que presenta el menú principal se desarrolla en Labview y Microsoft Access, y despliega los instrumentos recomendados para la operación automática de los separadores trifásicos de crudo. La selección de los mismos está



basada en las características del proceso (temperatura, volumen del fluido, presión, etc.). La mayoría de éstas son establecidas a partir de las Especificaciones 12J detalladas anteriormente. Con estas características se puede obtener elementos que responden de manera adecuada a los requerimientos de los separadores.

#### **3.2.4.1 Base de Datos de válvulas e instrumentos**

Los nombres de instrumentos y válvulas son obtenidos de una base de datos realizada en Microsoft Access. La base de datos contiene las siguientes tablas:

- Transmisores de presión
- Transmisores de temperatura
- Transmisores de nivel
- Transmisores de flujo
- Medidores de corte de agua
- Válvulas de control de tres vías
- Válvulas de control de dos vías

Cada una de estas tablas contiene datos del instrumento como el tamaño, los rangos de operación, el fabricante, etc., como se observa en la Figura 3.29.

ID	NOMBRE	TIPO	RANGO SUP	RANGO INF BPD	TAMAÑO	OUTPUT	MARCA	APLICACION	TEMP MAX
1	Transmisor de flujo	turbina	120000	12000	8	HART	NUFLO	CRUDO	450
2	Transmisor de flujo	turbina	120000	12000	8	HART	NUFLO	AGUA	450
3	Transmisor de flujo	ultrasonico			6	HART, MODBUS	KROHNE	CRUDO	248
4	Transmisor de flujo	turbina	86000	8600	6	HART	NUFLO	CRUDO	450
5	Transmisor de flujo	turbina	86000	8600	6	HART	NUFLO	AGUA	450
6	Transmisor de flujo	turbina	41000	3400	4	HART	NUFLO	CRUDO	450
7	Transmisor de flujo	turbina	41000	3400	4	HART	NUFLO	AGUA	450
8	Transmisor de flujo	turbina	27500	2750	3	HART	NUFLO	CRUDO	450
9	Transmisor de flujo	turbina	27500	2750	3	HART	NUFLO	AGUA	450
10	Transmisor de flujo	turbina	13000	1300	2	HART	NUFLO	CRUDO	450
11	Transmisor de flujo	turbina	13000	1300	2	HART	NUFLO	AGUA	450
12	Transmisor de flujo	ultrasonico	6000	0	2	HART	ENDRESS & HA	CRUDO	300
13	Transmisor de flujo	ultrasonico	6000	0	2	HART	ENDRESS & HA	AGUA	300
14	Transmisor de flujo	ultrasonico	10000	0	3	HART	ENDRESS & HA	CRUDO	300
15	Transmisor de flujo	ultrasonico	10000	0	3	HART	ENDRESS & HA	AGUA	300
16	Transmisor de flujo	ultrasonico	30000	0	4	HART	ENDRESS & HA	CRUDO	300
17	Transmisor de flujo	ultrasonico	30000	0	4	HART	ENDRESS & HA	AGUA	300
18	Transmisor de flujo	ultrasonico	40000	0	5	HART	ENDRESS & HA	CRUDO	300
19	Transmisor de flujo	ultrasonico	40000	0	5	HART	ENDRESS & HA	AGUA	300
20	Transmisor de flujo	coriolis	50000	0	6	HART	ENDRESS & HA	CRUDO	300
21	Transmisor de flujo	ultrasonico	50000	0	9	HART	ENDRESS & HA	AGUA	300
22	Transmisor de flujo	presión difere	5000	0	6	MODBUS	NUFLO	GAS	300
*	(Nuevo)								

**Figura 3.29** Base de Datos – Instrumentos y Válvulas – Microsoft Access

### 3.2.4.2 Programa para la Selección de Instrumentos en Labview

La interfaz se desarrolla en Labview y forma parte del menú del programa principal.

La interfaz establece una conexión con la base de datos de Access, y para esto se necesita crear en Labview un Data Link, este permite establecer un enlace entre la base de datos y el Labview, para crearlo se requiere ir a la barra de herramientas del panel frontal de Labview, como se muestra en la Figura 3.30.

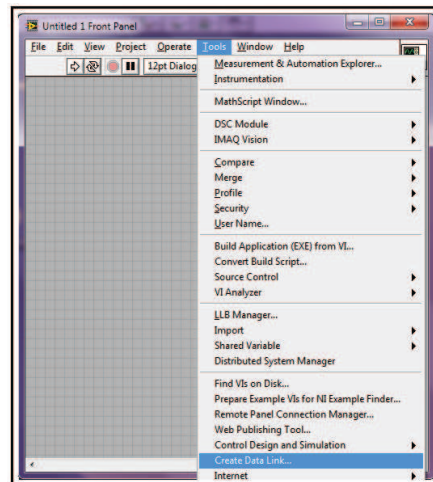


Figura 3.30 Crear Data Link en Labview

A continuación se despliega una ventana donde se establece el proveedor que determina el tipo de datos a los que se requiere enlazar, en este caso Microsoft Office 12.0 Access Database Engine. Luego se deben establecer los datos de conexión, como la ubicación de la base de datos. Finalmente se prueba la conexión, se asigna un nombre al Data Link y se guarda el archivo. Esta ventana se indica en la Figura 3.31.

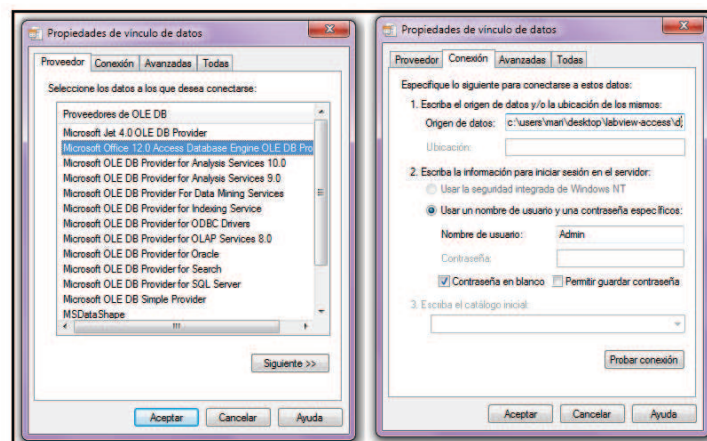
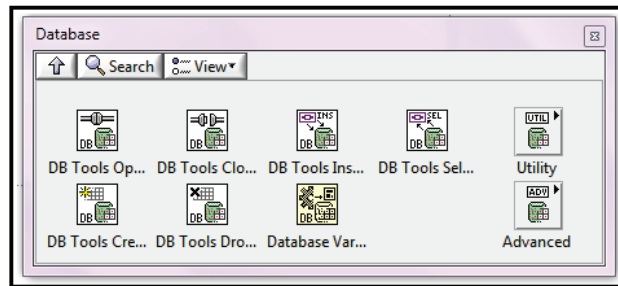


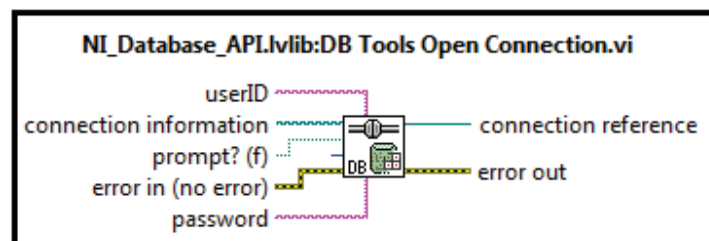
Figura 3.31 Propiedades de vínculo de datos – Labview

Una vez creado el Data Link, se procede con la programación, para lo cual se requiere del “Conectivity Toolkit” de Labview, que permite la vinculación a bases de datos por medio del “Database Palette” (Figura 3.32).



**Figura 3.32** Database Pallette – Labview

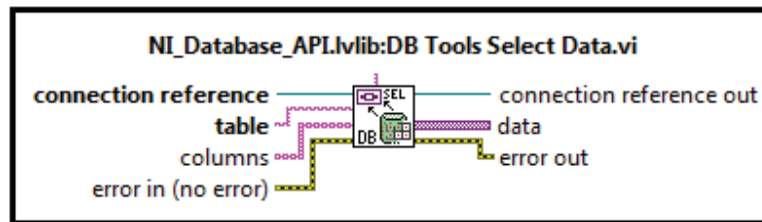
Dentro de la programación primero se debe establecer la conexión con el archivo UDL creado para la vinculación de datos. Para esto se utiliza el VI DB Tools Open Connection (Figura 3.33). Esta herramienta abre una conexión a la base de datos utilizando la ruta de información de conexión y devuelve una referencia de conexión.



**Figura 3.33** DB Tools Open Connection VI – Labview

La ruta del archivo que almacena la información de conexión se ingresa por la entrada “connection information” del VI. Para un archivo de vínculo de datos de Microsoft, éste debe tener una extensión .Udl.

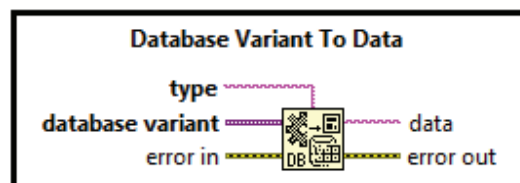
En secuencia con la herramienta anterior se conecta el DB Tools Select Data (Figura 3.34), este VI permite seleccionar los datos de una de las tablas en la base de datos enlazada.



**Figura 3.34** DB Tools Select Data VI – Labview

La entrada “table” establece el nombre de la tabla dentro de la base de datos y la entrada “columns” indica el nombre de la columna de la tabla seleccionada. Con la información del nombre de la tabla y columna se obtiene por la salida “data” el contenido de la columna en un arreglo 2D.

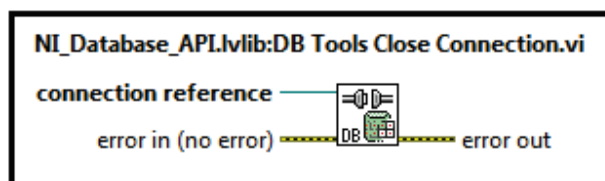
La información contenida en el arreglo 2D debe ser convertida a valores numéricos o a valores tipo string para que puedan ser visualizados o utilizados dentro de la programación, para esto se utiliza la herramienta Database Variant To Data (Figura 3.35).



**Figura 3.35** Database Variant to Data - Labview

Por la salida “data” se obtiene los datos convertidos de acuerdo al tipo de dato escogido para la conversión.

Finalmente se debe cerrar la conexión con la base de datos y para esto se emplea el VI DB Tools Close Connection (Figura 3.36).



**Figura 3.36** DB Tools Close Connection VI – Labview

El panel frontal de la interfaz está compuesto por un arreglo de información de instrumentos y válvulas, distribuidos en dos filas y seis columnas.

Los datos que cada instrumento/válvula presentan en la interfaz, dependen de su función; así los transmisores de caudal despliegan la siguiente información:

- **Tipo.** Se refiere al principio que usa el transmisor para medir el caudal. Por ejemplo tipo turbina, Coriolis, etc.
- **Rango.** Establece los valores máximos y mínimos donde el transmisor es funcional.
- **Tamaño.** Depende del tamaño de la tubería en la que se va a instalar el transmisor.
- **Tipo de salida.** Al ser transmisores estos proveen un tipo de salida electrónica, generalmente para aplicaciones industriales HART o Modbus.
- **Temperatura máxima.** Especifica la temperatura máxima a la que el transmisor puede trabajar.
- **Marca.** Proporciona el nombre del fabricante.

Los transmisores de nivel especifican la misma información que los transmisores de caudal a excepción del tamaño, ya que éstos no son instalados en las tuberías de entrada o salida sino en el cuerpo del separador.

Las válvulas indican como información:

- **Tipo.** En el caso de las válvulas, indica si esta es de dos o tres vías.
- **Tamaño.** Se determina de acuerdo a la tubería en la que va a ser instalada.

- **Tipo de salida.** Salida eléctrica de la válvula para el control.
- **Característica de la válvula.** Característica lineal, isoporcentual, etc.
- **Cv.** Coeficiente que caracteriza a cada válvula.
- **Acción en falla.** Indica si la válvula en caso de falla se encuentra normalmente cerrada o normalmente abierta.

En lo referente a los transmisores de presión y temperatura se indica el rango, el tipo de salida y el tipo de sensor que se utiliza para medir la presión y la temperatura.

Para el BSW se exponen los mismos datos que los transmisores de caudal, excepto el rango y se agrega el principio de funcionamiento del equipo.

En la Figura 3.37 se puede observar el panel frontal de la interfaz para la selección automática de instrumentos.

The image shows a software interface for selecting instruments. It consists of several panels, each representing a different instrument type. Each panel contains fields for configuration parameters. The panels are:

- TRANSMISOR DE FLUJO DE ENTRADA:** Fields for TIPO, RANGO (0 BPD - 0 BPD), TAMAÑO (0), TIPO DE SALIDA, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.
- TRANSMISOR DE FLUJO AGUA:** Fields for TIPO, RANGO (0 BPD - 0 BPD), TAMAÑO (0), TIPO DE SALIDA, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.
- TRANSMISOR DE FLUJO CRUDO:** Fields for TIPO, RANGO (0 BPD - 0 BPD), TAMAÑO (0), TIPO DE SALIDA, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.
- BSW:** Fields for PRINCIPIO, CARACTERÍSTICA, TAMAÑO (0), TIPO DE SALIDA, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.
- VÁLVULA TRES VIAS:** Fields for TIPO, TAMAÑO (0), CV (0), CARACTERÍSTICA, EN FALLA, TIPO DE SALIDA, and MARCA.
- VÁLVULAS DE CONTROL:** Fields for TIPO, TAMAÑO (0), CV (0), CARACTERÍSTICA, EN FALLA, TIPO DE SALIDA, and MARCA.
- TRANSMISOR DE TEMPERATURA:** Fields for RANGO (0 °F - 0 °F), TIPO DE SALIDA, TIPO DE SENSOR, and MARCA.
- TRANSMISOR DE PRESION:** Fields for RANGO (0 PSI - 0 PSI), TIPO DE SALIDA, TIPO DE SENSOR, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.
- TRANSMISOR DE NIVEL 1:** Fields for TIPO, APLICACIÓN, RANGO (0 INCH - 0 INCH), TIPO DE SALIDA, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.
- TRANSMISOR DE NIVEL 2:** Fields for TIPO, APLICACIÓN, RANGO (0 INCH - 0 INCH), TIPO DE SALIDA, TEMPERATURA MÁXIMA (0), and MARCA.

At the bottom right of the interface, there is a large button with a red triangle pointing down and a smaller button labeled "SALIR".

Figura 3.37 Selección de Instrumentos – Panel frontal

Para la selección de cada instrumento se toman en cuenta las siguientes características:

Para seleccionar el BSW:

- Volumen de agua
- Volumen de crudo
- Tipo de separador (bifásico o trifásico)

Para seleccionar el transmisor de flujo de entrada:

- Primera opción: transmisor tipo Coriolis
- Segunda opción: transmisor ultrasónico
- Tercera opción: transmisor tipo turbina
- Diámetro de la tubería de entrada

Para seleccionar el transmisor de nivel de crudo:

- Primera opción: transmisor tipo presión diferencial
- Segunda opción: transmisor tipo flotador
- Diámetro del recipiente

Para seleccionar el transmisor de presión:

- Presión máxima de operación

Para seleccionar el transmisor de temperatura:

- Temperatura máxima de operación

Para seleccionar válvula de tres vías:

- Diámetro de la tubería de entrada del fluido

Para seleccionar válvulas de control:

- Diámetro de tubería de salida de agua



- Diámetro de tubería de salida de crudo
- Diámetro de tubería de salida de gas

Para seleccionar el transmisor de flujo de gas:

- Diámetro de la tubería de salida de gas

Todos los instrumentos son obtenidos de una base de datos compuesta por instrumentos y válvulas aprobadas por Industria Acero de los Andes, y que han sido almacenados por su disponibilidad, calidad y precio.

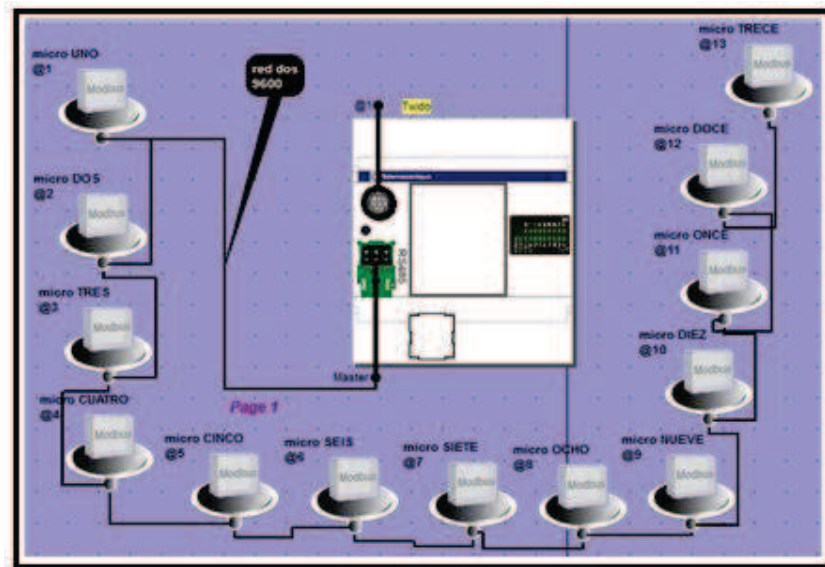
### **3.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC TWIDO TWDLCAA16DRF**

El PLC TWDLCAA16DRF pertenece a la serie Twido de Schneider Electric. El PLC dentro de la estructura del módulo demostrativo cumple con la función de ser enlace entre el computador y los microcontroladores y ejecuta los algoritmos de control para el flujo de entrada y el nivel de crudo.

Como se ha mencionado el PLC tiene un puerto de comunicación que viene por default, que normalmente es el Puerto Uno, el mismo que permite la programación del PLC, así como la comunicación mediante protocolo Modbus RTU. Adicionalmente, se instala un puerto adicional al que se le denomina Puerto Dos (TWDNAC485T), que permite la comunicación mediante protocolo Modbus RTU con los microcontroladores.

Existen dos redes de comunicación entre los elementos que componen el Módulo demostrativo de un Separador Trifásico de Crudo. La primera red es la conformada por el computador con su HMI y el PLC; en la cual el computador actúa como Maestro y el PLC como único esclavo con dirección = 1. Mientras que, la segunda red está conformada por el PLC actuando como Maestro y las trece placas electrónicas con los microcontroladores como Esclavos, direccionados adecuadamente; es decir, los esclavos deben ser designados con direcciones únicas

e irrepetibles. En la Figura 3.38 se puede observar la forma de distribución de la red de los microcontroladores.



**Figura 3.38** Distribución de Esclavos dentro de la Red Dos de Comunicación

Para cada una de las redes implementadas dentro del programa del PLC se deben considerar las velocidades, paridad, número de bits y dirección de cada uno de los esclavos para que exista una correcta comunicación.

Debido al modelo del PLC que se utiliza, para la implementación del programa se puede tener las siguientes opciones para comunicación:

- Leer un bit C\_RD1B
- Leer una palabra C\_RD1W
- Escribir un bit C\_WR1B
- Escribir una palabra C\_WR1W
- Leer múltiples palabras C\_RDNW
- Escribir múltiples palabras C\_WRNW

Lo anteriormente expuesto se puede observar en los Macros de configuración, como se indica en la Figura 3.39.

Function name	Start address	Number of words	Symbols
C_RD1B	0	8	<input type="checkbox"/>
C_RD1W	100	8	<input checked="" type="checkbox"/>
C_WR1B	0	8	<input type="checkbox"/>
C_WR1W	0	8	<input type="checkbox"/>
C_RDNW	0	N+7	<input type="checkbox"/>
C_WRNW	120	N+9	<input checked="" type="checkbox"/>

**Figura 3.39** Macros de configuración del PLC

Para la escritura se utiliza la función C\_WRNW que permite el envío de “n” variables tipo Word, para la lectura se utiliza la función C\_RD1W que permite trabajar con una variable tipo Word.

### 3.3.1 MANEJO DE LAS LOCALIDADES DE MEMORIA DEL PLC

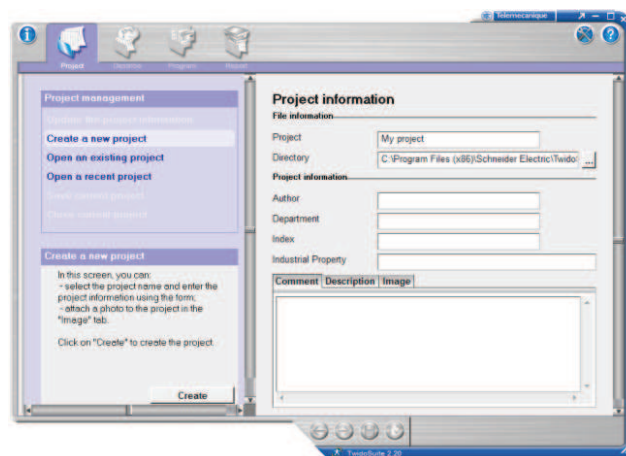
El cable TSXPCX1031 propio de Schneider Electric permite la comunicación con el computador, y por lo tanto desde el computador se tiene acceso a las localidades de memoria del PLC, tanto para la escritura como para la lectura de dichas localidades.

El PLC se encarga de administrar las localidades de memoria pertinentes para la comunicación con cada uno de los trece esclavos. Dichas localidades son designadas previamente por el programador en los macros de comunicación. Las localidades de memoria se encargan de guardar el dato del estado de los microcontroladores.

### 3.3.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC

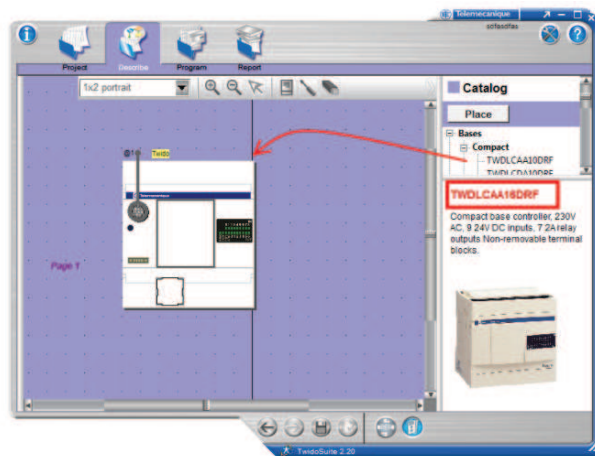
#### 3.3.2.2 Creación de un nuevo proyecto en TwidoSuite

Al momento de abrir el programa aparece un menú con tres opciones, se debe escoger la opción de Programación. A continuación se despliega la pantalla de visualización para la Creación de un Nuevo Proyecto. Al momento de crear un nuevo proyecto se despliega una nueva pantalla con muchos campos para llenar, como se muestra en la Figura 3.40.



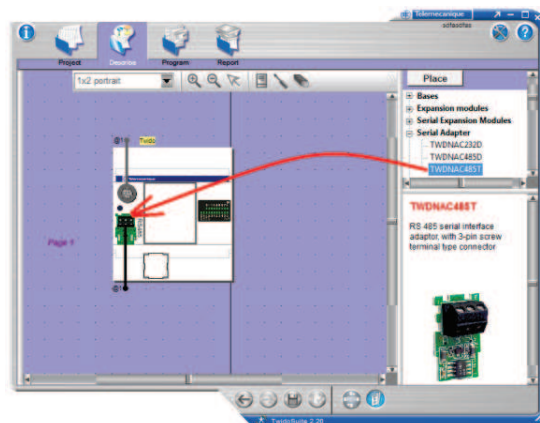
**Figura 3.40** Pantalla para el llenado de la información del programa

A continuación en la ventana “Descripción” se cuenta con el Catálogo de PLC’s que se pueden manejar con este programa. De la lista se escoge el deseado, que para el presente proyecto es el TWDCAA16DRF, como se indica en la Figura 3.41.



**Figura 3.41** Selección del PLC a utilizar

Luego se procede con la selección de los accesorios que se vayan a utilizar. Para este proyecto se añade el segundo puerto de comunicación para el PLC, TWDNAC485T como se indica en la Figura 3.42.

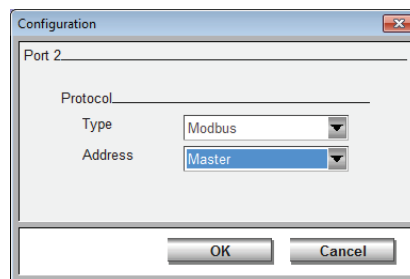


**Figura 3.42** Selección del segundo puerto de comunicación

En el catálogo se busca el ítem Generic Modbus Element que se encuentra dentro de Network Elements, el cual se arrastra hasta el área de trabajo. Se escoge el Genérico y no uno específico porque se comunica con una placa electrónica que no es de propiedad o tiene la marca Schneider Electric.

Se deben colocar trece Generic Modbus Elements, uno por cada placa electrónica o esclavo. Hay que recordar, que para el presente proyecto el Puerto 1 se configura como Esclavo con dirección = 1 para la comunicación con el HMI desde el computador. Mientras que, el Puerto 2 del PLC se lo configura como Maestro de la red de esclavos.

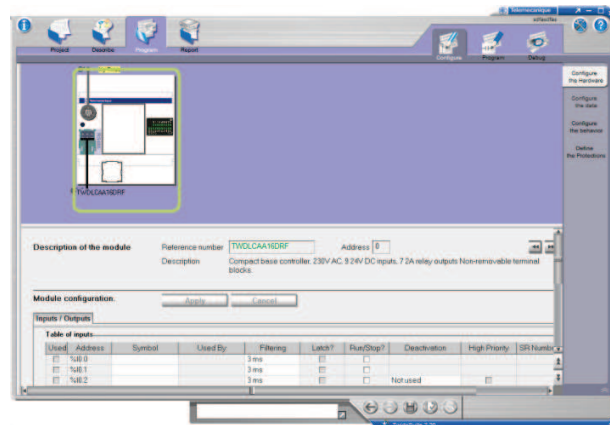
Dando doble clic sobre los puertos se puede escoger el modo deseado para que trabaje cada puerto, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 3.43** Ventana para configuración del Puerto 2

Luego de configurar los puertos de comunicación el programa permite conectar gráficamente los Esclavos con el puerto Maestro configurado. En la Figura 3.44 se puede observar que se conecta el Esclavo 1 con el Puerto 2 del PLC y además el menú para configuración de los parámetros de la red.

Como ocurre en cualquier red de comunicación un paso vital para una comunicación exitosa es el escoger las mismas velocidades, bits de comunicación, etc., para todos los elementos que conforman la red. Con los parámetros configurados se puede proceder al desarrollo del programa que se implementa en el controlador lógico programable. En una primera ventana aparecen las entradas y salidas digitales, nombre del PLC escogido, dirección y características físicas del PLC.



**Figura 3.44** Ventana de Programa, sub-ventana Configuración

La ventana “Programa” cuenta con tres sub-ventanas cada una con características propias. Las sub-ventanas son Configuración, Programa y Depuración.

Dentro de la sub-ventana de Programa se desarrolla el programa que va en el PLC.

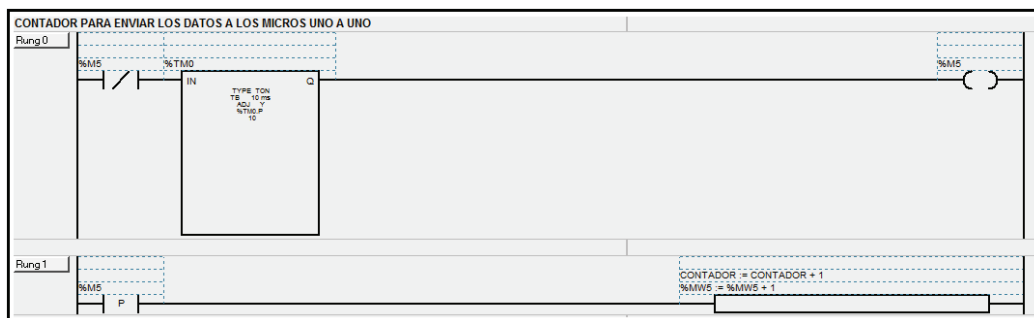
Una vez realizado el programa final se puede “cargar” el programa al PLC por medio de la sub-ventana Debug. En esta área se puede conectar el PLC a la PC, por medio del cable de comunicación TSXPCX1031, para poder trasladar el programa al controlador. Para ello es importante cerciorarse que el puerto de comunicación escogido corresponda al que se encuentra conectado físicamente el dispositivo.

### 3.3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA FINAL EN EL PLC

#### 3.3.3.1 Programa de comunicación en el PLC

Como ya se ha dicho, el programa implementado en el PLC ha sido desarrollado en lenguaje Ladder. Luego de la configuración referente al número de esclavos, configuración de los macros para la comunicación, asignación de las localidades de memoria y un manejo ordenado de dichas localidades dentro del PLC; se puede proceder con el desarrollo del programa final.

Dentro del programa es necesaria la asignación de dos localidades de memoria interna para que actúen como contadores. Para que esto tenga efecto ha sido necesaria la utilización de un temporizador de tipo On Delay. De esta manera se puede controlar el tiempo que el PLC asigna a cada uno de los microcontroladores para llevar a cabo la escritura o lectura de los datos y además permite establecer los algoritmos de control.



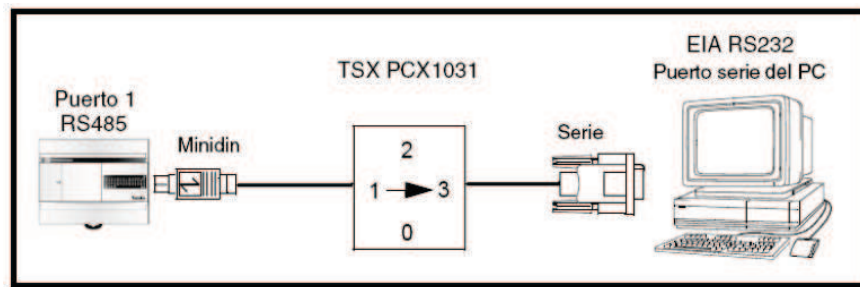
**Figura 3.45** Temporizador y creación de un contador automático

Se debe señalar que en el desarrollo del presente proyecto se utiliza una comunicación tipo half-duplex, entre el Puerto dos del PLC y los trece esclavos. Es por ello que con la ayuda del temporizador On-Delay se puede designar un tiempo específico, para que desarrolle las labores de lectura y escritura con cada uno de los esclavos.

Debe existir una debida coordinación en la asignación de las localidades de memoria que están designadas tanto para la lectura, como para la escritura. Desde el HMI en el computador (Maestro) se escribe y lee las localidades del PLC (Esclavo), y las mismas localidades son las utilizadas para ser enviadas o modificadas cuando se realiza la comunicación por el puerto Dos entre el PLC (Maestro) y los microcontroladores (Esclavos).

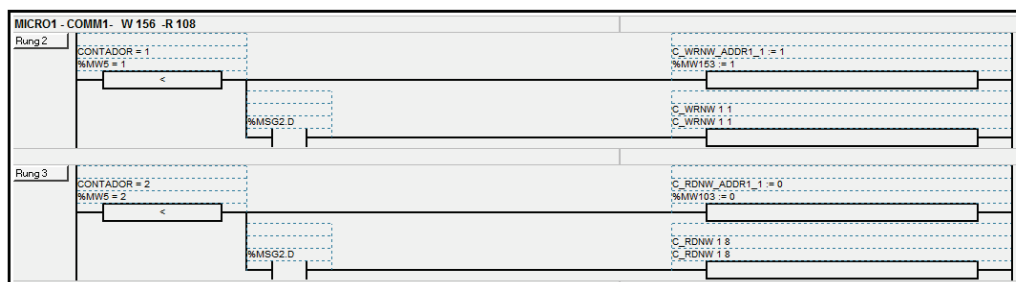
El cable TSXPCX1031 de programación permite también la comunicación y monitoreo desde el computador, siempre y cuando se mueva el dial al punto 3, como se muestra en la Figura 3.46.





**Figura 3.46** Comunicación computador – PLC con el cable TSXPCX1031

Dentro del programa también se utilizan comparadores para poder habilitar la escritura o lectura de variables en los esclavos, evaluando que el comparador tenga el mismo valor que el contador (Figura 3.47).



**Figura 3.47** Programación para la escritura y lectura del esclavo 1- TwidoSuite

Las configuraciones anteriormente expuestas son repetitivas para cada uno de los trece esclavos.

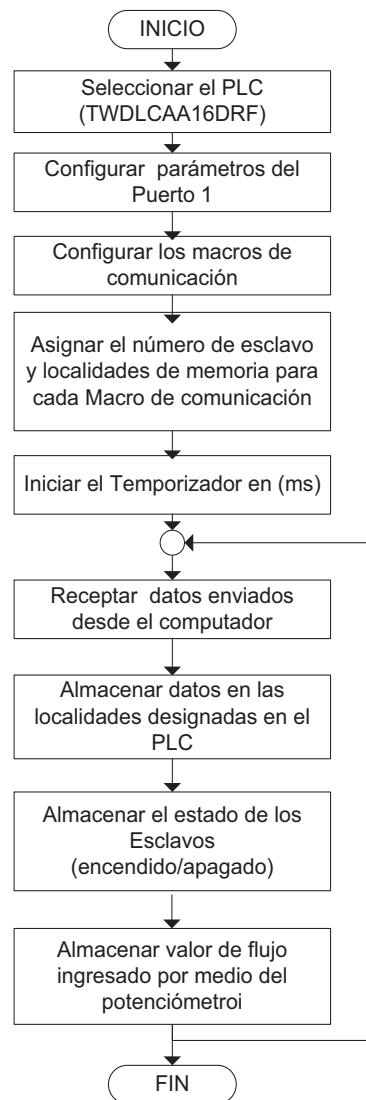
Se puede resumir, que luego de realizar todas las configuraciones que tienen que ver con la comunicación (velocidades, paridad, etc.) dentro del programa, se tiene:

- El temporizador genera un contador automático.
- El contador va cambiando su valor interno aumentándolo de uno en uno.
- Los comparadores habilitan la escritura o lectura dependiendo del valor que presente en ese momento el contador.

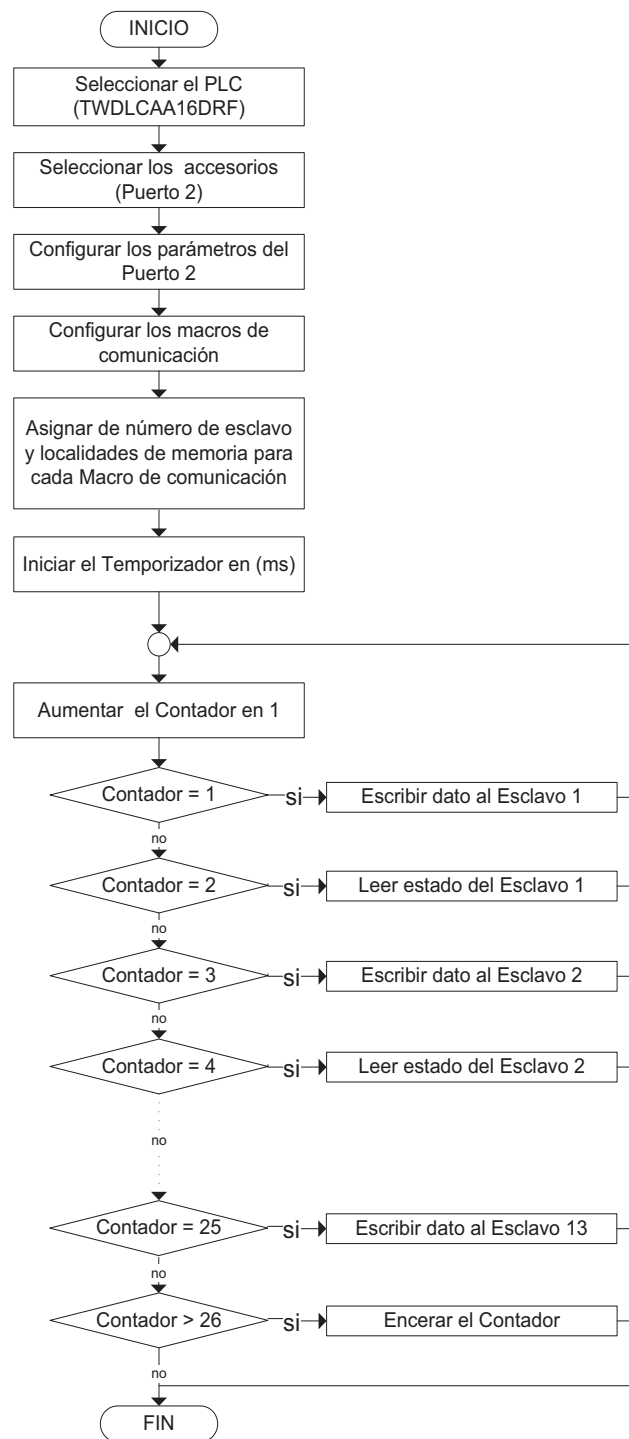
- El temporizador se encarga de asignar un tiempo prudencial para que se realice la escritura o la lectura.
- Cuando ya se han realizado todas las operaciones asignadas a cada valor del contador, el contador vuelve a su valor inicial de cero.

Hay que recordar que la función de escritura desde el PLC a los microcontroladores cumple con la función de visualización de los porcentajes de apertura de las válvulas, nivel, etc. en cada uno de los instrumentos utilizados en el módulo demostrativo. Mientras que, la función de lectura permite el monitoreo del estado de cada una de las placas electrónicas, y en el caso del esclavo que representa al transmisor de flujo de entrada permite la obtención del valor del flujo de entrada por medio de un potenciómetro.

Ya que los puertos de comunicación del PLC Twido trabajan de manera independiente, se presentan a continuación los diagramas de flujo que resumen su funcionamiento.



**Figura 3.48** Diagrama de flujo del funcionamiento del Puerto1-PLC TWIDO



**Figura 3.49** Diagrama de flujo del funcionamiento del Puerto2-PLC TWIDO

### 3.3.3.2 Algoritmo de control de caudal de entrada

Inicialmente es enviado el dato de flujo nominal desde la PC, éste es almacenado en una localidad interna de memoria.

El valor de Flujo de Entrada es almacenado en una localidad de memoria dentro del microcontrolador. El valor en esta localidad es tomado desde el PLC y es utilizado en el algoritmo de control de Flujo de Entrada, explicado anteriormente.

Como resultado del algoritmo de control se obtienen los valores de porcentaje de apertura de la válvula, estos valores son leídos por la PC (que dentro de la red de comunicación es el maestro) y por medio de Labview se despliegan en la HMI.

### 3.3.3.3 Algoritmo de control de nivel de crudo

Para la implementación de este algoritmo el PLC necesita recibir 3 datos provenientes de la PC; nivel en el vertedero, límite de nivel máximo y el límite de nivel mínimo de crudo. Cuando el nivel de crudo sea próximo al valor máximo de nivel de crudo, se activa la válvula de control ON/OFF y un contador descendente simula el decremento de nivel.

## 3.4 PROGRAMACIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES PIC

Los microcontroladores cumplen la función de desplegar los valores enviados, desde el sistema de control por medio de LCD's e indicadores luminosos, todo esto para representar a los instrumentos y válvulas en el módulo demostrativo. Para esto se debe considerar las siguientes sub-funciones:

- Comunicación con el PLC Twido mediante protocolo Modbus RTU.
- Monitoreo del switch de ON/OFF para simular el estado de falla de cada uno de los instrumentos.
- Manejo del led de visualización.

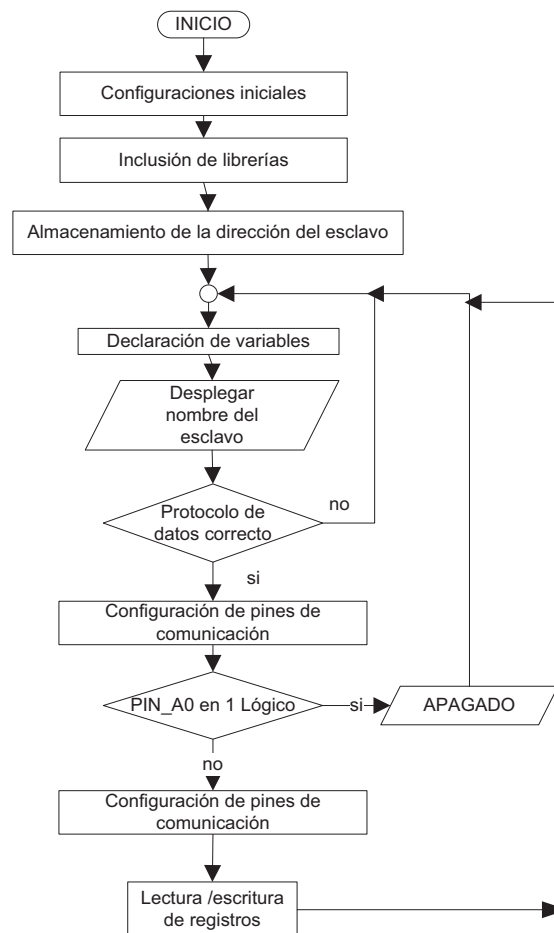
- Almacenamiento del estado de la bobina en una localidad de memoria del microcontrolador, para que dicho dato sea monitoreado por el PLC.
- Almacenamiento del dato actual del estado del instrumento en una localidad interna del microcontrolador enviado por el PLC.
- Visualización del dato actual en porcentaje, estado del instrumento, nombre del instrumento y barras indicadoras de estado; dependiendo del instrumento que se esté representando y subrutina del programa interno del microcontrolador en que se encuentre.
- Habilitación de los pines del MAX485 para la posterior escritura o lectura de las localidades de memoria que realice el PLC.

Cabe recalcar que el protocolo de comunicación que se emplea es Modbus RTU, razón por la cual cada uno de los microcontroladores debe ser asignado con una y solo una dirección de esclavo. En el siguiente cuadro se muestran las direcciones asignadas a cada uno de los esclavos designados a representar a los instrumentos dentro del módulo demostrativo de Un Separador Trifásico de Crudo:

N° ESCLAVO	UBICACIÓN EN EL MÓDULO
1	Transmisor de nivel de crudo
2	Válvula de tres vías
3	transmisor de flujo de fluido de entrada
4	Válvula de control de presión
5	Transmisor de flujo de gas
6	Transmisor de presión
7	Transmisor de temperatura
8	Transmisor de flujo de agua
9	Transmisor de nivel de interfaz
10	Válvula de control de nivel de agua
11	Medidor de corte de agua
12	Transmisor de flujo de crudo
13	Válvula de control de nivel de crudo

**Tabla 3.9** Asignación de número de esclavo a cada placa electrónica

En el caso del esclavo 3 que representa al transmisor de flujo de entrada, además de realizar las funciones descritas anteriormente, recepta el valor de flujo ingresado por medio del potenciómetro y lo almacena en una localidad de memoria para permitirle al PLC leer esta información. En el siguiente diagrama de flujo se muestra, de una manera más sencilla, la estructura del programa interno con el cual cuenta cada microcontrolador:



**Figura 3.50** Diagrama de flujo del programa implementado en los microcontroladores

En el Capítulo 3 se detalló el diseño del sistema de control de separadores trifásicos de crudo y de la HMI necesaria para el manejo del sistema.

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez desarrollada la programación e implementado el hardware, es necesario someter al sistema a diferentes pruebas, con esto se puede determinar si los objetivos planteados en este proyecto han sido alcanzados.

Este capítulo se enfoca en determinar el funcionamiento del sistema de control de un separador trifásico de crudo, tanto en modo manual, como en modo automático.

A demás se realizan pruebas para determinar si la selección automática de instrumentos, se ejecuta correctamente.

#### 4.1 PRUEBAS INICIALES DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas iniciales, se ensayan individualmente cada lazo de control, con el fin de comprobar la respuesta de cada uno. Además, se comprueba la respuesta del proceso de acuerdo a la Matriz Causa – Efecto.

Para la realización de las pruebas iniciales se utiliza un fluido de ingreso con las siguientes características:

VARIABLE	VALOR
FLUJO DE AGUA (BPD)	12000
FLUJO DE CRUDO (BPD)	8000
FLUJO NOMINAL (BPD)	20000
TEMPERATURA (°F)	150
GOR (%)	60

**Tabla 4.1** Parámetros para realización de pruebas iniciales



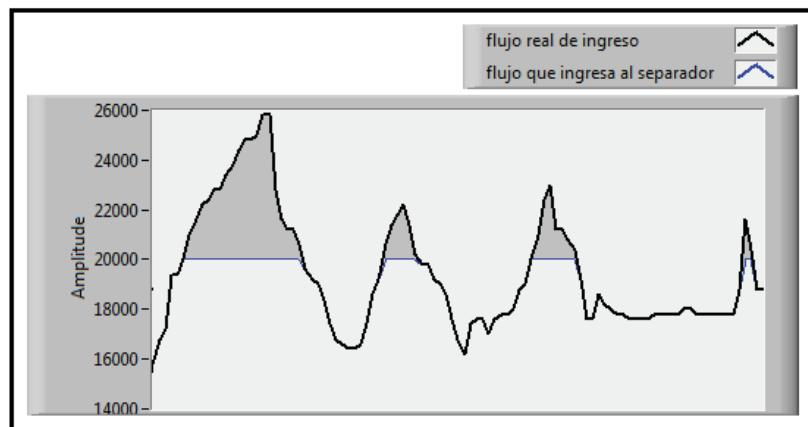
#### 4.1.1 LAZO DE CONTROL DE CAUDAL DE INGRESO DE FLUIDO

El control de flujo de ingreso se realiza por medio de una válvula proporcional, la que permite regular el ingreso de fluido, evitando que éste supere el 100% del flujo nominal.

Cuando el flujo supera el valor nominal establecido, la válvula proporcional debe cerrarse desviando el exceso de fluido y permitiendo el ingreso al separador únicamente de caudales menores o iguales al nominal.

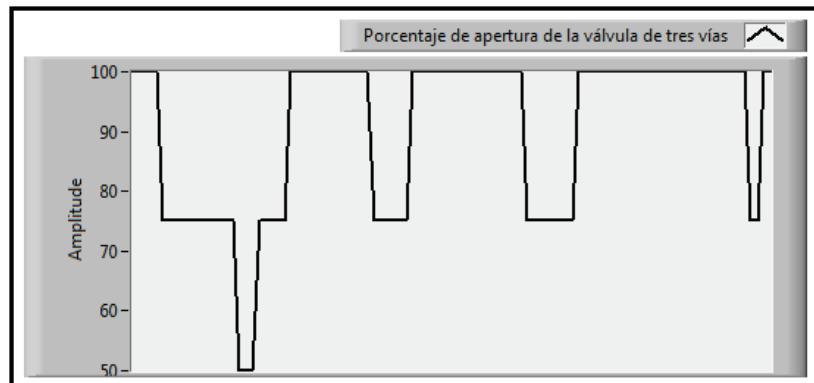
Como ya se indicó, para realizar esta prueba se determina un valor de flujo nominal de entrada de 20000 BFPD.

Con la ayuda del potenciómetro ubicado en el módulo se puede simular el ingreso de fluido desde 0 hasta el 150% del flujo nominal. Como se muestra en la Figura 4.1 se establece un flujo variable (flujo real de ingreso), que permite poner a prueba el sistema de control.



**Figura 4.1** Flujo variable de ingreso al separador

Como resultado del lazo de control se obtiene un flujo que ingresa al separador, el mismo que tiene como valor máximo el flujo nominal. El área sombreada de la Figura 4.1 corresponde al fluido que la válvula de tres vías desvía fuera del separador.



**Figura 4.2** Porcentaje de apertura de la válvula de tres vías

La Figura 4.2 muestra el porcentaje de apertura de la válvula de tres vías y permite observar que la válvula se mantiene abierta al 100% cuando el flujo real de ingreso es menor al flujo nominal. Para valores mayores, la válvula se cierra proporcionalmente para evitar la sobrecarga del separador.

#### 4.1.2 LAZO DE CONTROL DE NIVEL DE AGUA

Para el control de nivel de agua se establece un controlador tipo PI con los siguientes parámetros:

$$K_p=0,3$$

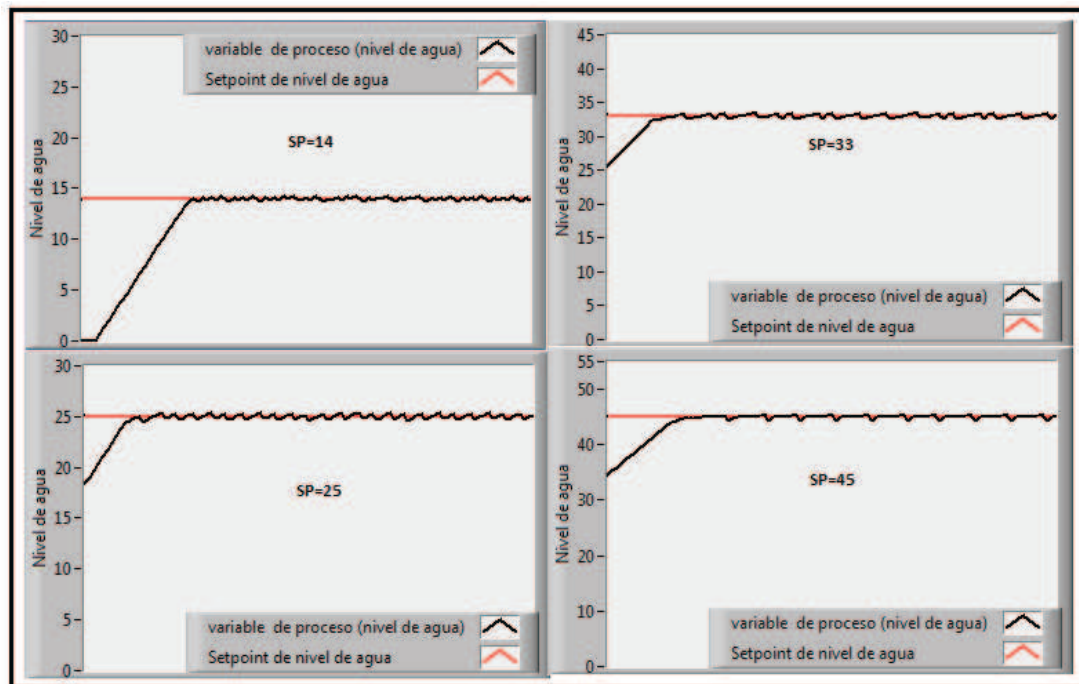
$$T_i=0,03$$

$$T_d=0$$

Para determinar el correcto funcionamiento de este lazo de control se realiza una prueba modificando el Setpoint de nivel de agua.

En la Figura 4.3 se observa el comportamiento del lazo de control tipo PI, para diferentes valores de Setpoint de nivel.

Se determina que el lazo de control de nivel de agua posee una respuesta adecuada para los requerimientos del proceso.



**Figura 4.3** Respuestas del lazo PI para el control de nivel de agua a diferentes valores de Setpoint

#### 4.1.3 LAZO DE CONTROL DE PRESIÓN

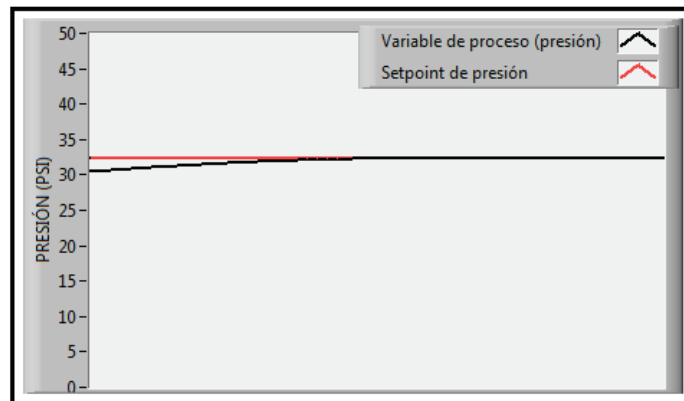
Para el control de presión se establece un controlador tipo PID, con los siguientes parámetros:

$$K_p=122$$

$$T_i=0,056$$

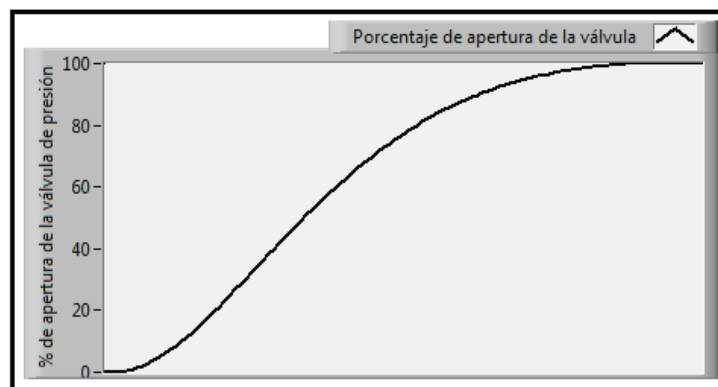
$$T_d=0,009$$

Para un Setpoint igual a 32 PSI, el sistema responde de acuerdo a la Figura 4.4



**Figura 4.4** Respuesta del lazo PID para el control de presión

La salida del controlador permite obtener una curva de apertura de la válvula semejante a una función logarítmica (Figura 4.5). Cuando el Setpoint es mayor al valor de la variable de proceso, la válvula se mantiene cerrada y se abre paulatinamente para que el valor de la variable del proceso no supere el Setpoint.



**Figura 4.5** Porcentaje de apertura de la válvula de control de presión

#### 4.1.4 LAZO DE CONTROL DE NIVEL DE CRUDO

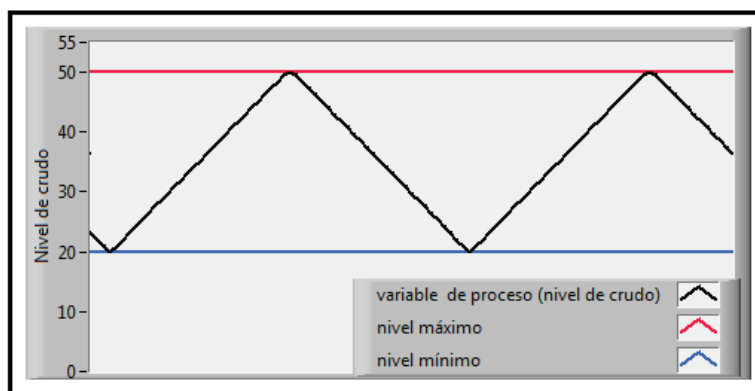
El nivel de crudo se controla por medio de un lazo ON/OFF, el cual permite una descarga adecuada del crudo para que el instrumento de corte de agua pueda determinar el BSW del fluido adecuadamente.

Para la realización de la prueba se determina un nivel máximo y mínimo con los siguientes valores:

Valor nivel máximo= 50

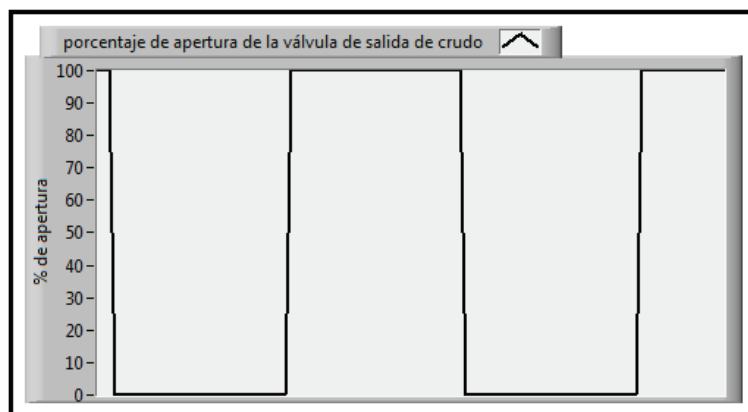
Valor nivel mínimo= 20

La Figura 4.6 muestra el comportamiento del sistema de control, manteniendo la variable del proceso (nivel de crudo) dentro del rango establecido por los valores máximo y mínimo de nivel.



**Figura 4.6** Respuesta del nivel de crudo al lazo de control ON/OFF

En la Figura 4.7 se observa el comportamiento de la válvula de control de nivel de crudo, donde la apertura de la válvula pasa del 0 a 100 % para mantener el nivel de crudo dentro del rango establecido.



**Figura 4.7** Porcentaje de apertura de la válvula de control de nivel de crudo

#### 4.1.5 MATRIZ CAUSA – EFECTO

La Matriz Causa Efecto determina las respuestas adecuadas a diferentes acciones del sistema para garantizar que el proceso se desarrolle de manera segura.

La matriz determina condiciones que pueden llevar al proceso a una situación límite o peligrosa. En estas condiciones se encuentran involucradas variables como la presión, flujo de entrada, nivel de interface y nivel de crudo.

Para realizar las pruebas de funcionamiento de la Matriz Causa Efecto, se establecen parámetros que permitan condicionar al proceso para cada una de las causas de la matriz.

Para verificar la respuesta del sistema a presiones superiores al valor de la presión máxima permitida (presión máxima de operación), se establece un Setpoint superior a la presión máxima de operación, como se indica en la Tabla 4.2.

PARÁMETROS	VALORES
PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (PSI)	36
PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN (PSI)	24
SETPOINT (PSI)	38

**Tabla 4.2** Parámetros para la prueba de presión alta en el separador

Cuando la variable del proceso llega a superar el valor máximo permitido, el proceso es interrumpido inmediatamente, desplegando una alarma visible y dejando la válvula de control de presión abierta al 100% para permitir la salida del flujo de gas y así reducir la presión.

Si el flujo de entrada supera al valor nominal, el sistema de control de flujo de entrada entra en funcionamiento, limitando el ingreso de fluido, las pruebas para determinar la respuesta de este sistema se encuentran detalladas en párrafos anteriores de este capítulo.

El nivel de interface (nivel de agua) no debe ser menor a 8 pulgadas del fondo del separador, ya que se podría enviar crudo por la línea de agua, alterando el proceso de separación, si esto sucede, la válvula de control de agua se cierra, se despliega una alarma visible, pero el proceso no se suspende.

Para realizar esta prueba se establecen los parámetros que muestra la Tabla 4.3.

PARÁMETROS	VALORES
VOLUMEN DE AGUA (BPD)	100
VOLUMEN DE CRUDO (BPD)	9900
SETPOINT DE NIVEL (%)	20

**Tabla 4.3** Parámetros para la prueba de nivel de interfaz bajo

Como se observa en la tabla anterior la cantidad de agua es muy pequeña en comparación a la de crudo. Esta característica hace imposible que el sistema de

control de nivel de interfaz consiga que la variable del proceso se aproxime al valor de Setpoint, ya que el nivel de agua será muy bajo.

El nivel de crudo no debe ser menor al valor mínimo establecido, ya que se puede arrastrar por la línea de salida de petróleo algunos sedimentos que alterarían los datos de caudal y BSW. Para establecer esta condición se establecen los siguientes parámetros:

PARÁMETROS	VALORES
NIVEL MÁXIMO DE CRUDO (%)	50
NIVEL MÍNIMO DE CRUDO (%)	20
ALARMA DE NIVEL MÁXIMO DE CRUDO (%)	40
ALARMA DE NIVEL MÍNIMO DE CRUDO (%)	25

**Tabla 4.4** Parámetros para las pruebas de alarma de nivel máximo y mínimo de crudo

Cuando el nivel de crudo llega a ser menor al de la alarma de nivel mínimo, la válvula de control de crudo se cierra y el proceso no se detiene.

Cuando el nivel de crudo supera el valor de la alarma de nivel máximo se puede producir la inundación del separador. Para evitarla, el sistema detiene el ingreso de fluido, por lo que el proceso queda interrumpido y se despliega un aviso de alarma.

En la Tabla 4.5 se muestra la Matriz Causa Efecto y los resultados obtenidos de las pruebas.



CAUSA	EFECTO						FUNCIONA	
	VÁLVULAS				INTERRUPCIÓN DEL PROCESO	ALARMAS	SI	NO
DESCRIPCIÓN	PCV1	SDV1	LCV1	LCV2				
Presión supera el valor límite	O	C	C	C	Y	Y	x	
Flujo de entrada mayor al flujo nominal	L	C	L	L	N	N	x	
Nivel de interfaz menor al límite inferior permitido	L	L	L	C	N	Y	x	
Nivel de crudo menor al límite inferior permitido	L	L	C	L	N	N	x	
Nivel de crudo mayor al límite superior permitido	O	C	L	L	Y	Y	x	

**Tabla 4.5** Resultados de la prueba de funcionamiento de la Matriz Causa - Efecto

Donde:

- Apertura de la válvula: O
- Cierre de la válvula: C
- Válvula actúa de acuerdo al lazo de control: L
- NO: N
- SI: Y

## 4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO INTEGRANDO LOS LAZOS DE CONTROL

Una vez comprobado el funcionamiento individual de cada lazo de control, se puede poner en funcionamiento el sistema general del proceso.

El Separador trifásico de crudo puede ser controlado de manera automática o manual.

A continuación se detallan las pruebas de los dos modos de funcionamiento que posee el sistema.

#### 4.2.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN MODO MANUAL

En modo manual, el operador es capaz de manipular la apertura y cierre de válvulas, permitiendo o deteniendo el ingreso o salida de fluidos. Generalmente este modo de funcionamiento se utiliza para el mantenimiento del separador.

Para activar el modo manual se debe ingresar a la pantalla principal de la HMI y seleccionar “Manual” en el lado superior derecho de la pantalla, finalmente se pulsa el ícono “Empezar”.

La Tabla 4.6 muestra el resultado del accionamiento de las válvulas del sistema en modo manual.

VÁLVULA	DESCRIPCIÓN	ACCIONAMIENTO	SI	NO
SDV-1	Permite el ingreso de fluido al separador	HMI	x	
PCV-1	Regula la presión dentro del separador	HMI	x	
LCV-1	Regula la salida de agua con lo que permite el control de nivel de interface	HMI	x	
LCV-2	Regula la salida de crudo con lo que permite el control de nivel de crudo	HMI	x	

**Tabla 4.6** Prueba de funcionamiento de las válvulas en modo manual

La apertura y cierre de cada una de las válvulas pudo ser controlada manualmente por medio de la HMI.

#### 4.2.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO EN MODO AUTOMÁTICO

Para el funcionamiento en modo automático, se establecen los parámetros para que cada mecanismo de control funcione adecuadamente.

Para determinar el comportamiento del proceso cuando el sistema de control se encuentra en modo automático se realizan dos pruebas de funcionamiento, la primera con un flujo de ingreso constante y equivalente al 100% del flujo nominal y la segunda con un flujo de ingreso variable.

Los parámetros del proceso que son utilizados en la realización de estas pruebas se muestran a continuación:

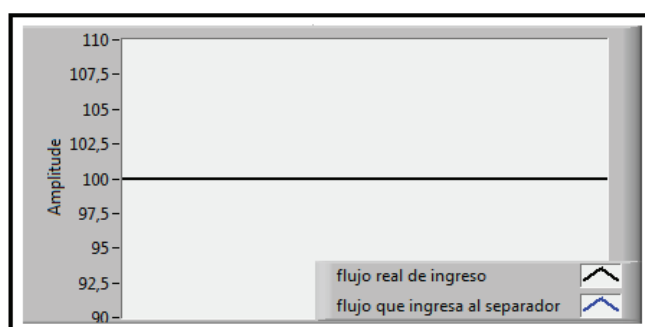
VARIABLE	PARÁMETRO	VALOR
PRESIÓN(PSI)	SETPOINT	32
	VALOR MÁXIMO DE OPERACIÓN	40
	VALOR MÍNIMO DE OPERACIÓN	26
NIVEL DE INTERFACE (%)	SETPOINT	15
	NIVEL MÍNIMO	8
NIVEL DE CRUDO (%)	NIVEL MÁXIMO DE CRUDO	40
	NIVEL MÍNIMO DE CRUDO	20
FLUJO DE INGRESO(BPD)	FLUJO DE AGUA	12000
	FLUJO DE CRUDO	8000
	GOR (%)	60
	FLUJO NOMINAL	20000
TEMPERATURA(°F)	VALOR MÁXIMO DE OPERACIÓN	200
	VALOR MÍNIMO DE OPERACIÓN	70

**Tabla 4.7** Parámetros de configuración para las pruebas en Modo Automático

Para el funcionamiento en modo automático el operador debe ingresar a la pantalla principal y seleccionar “Automático” en el lado superior derecho de la HMI. Mediante el potenciómetro presente en el módulo, se puede establecer un flujo constante o variable. La duración de una prueba en modo automático dura 24 minutos que representan a las 24 horas de un día. Al finalizar la prueba se despliega una pantalla con el reporte final que contiene los datos obtenidos de la misma.

#### 4.2.2.1 PRUEBA CON FLUJO DE INGRESO CONSTANTE

Para esta prueba se establece un flujo de ingreso constante y equivalente al 100% de su valor nominal (20000 BPD). Esto significa que al finalizar la prueba se espera obtener como resultado volúmenes aproximados o equivalentes a los valores dados como datos preliminares.



**Figura 4.8** Flujo de ingreso contante para la prueba en modo automático

Al finalizar la prueba se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 4.9

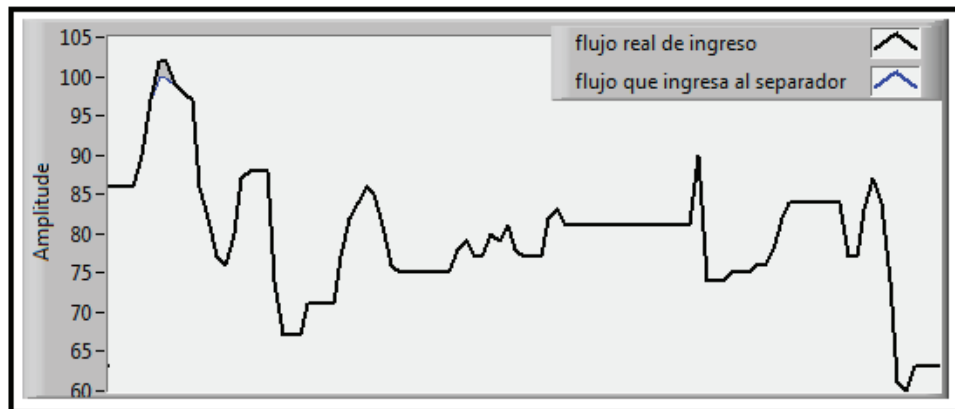


**Figura 4.9** Reporte final – prueba de funcionamiento en modo automático con flujo constante

#### 4.2.2.2 PRUEBA CON FLUJO DE INGRESO VARIABLE

El comportamiento de un pozo real es variable, por lo que el fluido de ingreso al separador con frecuencia se vuelve inestable o fluctúa alrededor del valor nominal. Esta característica hace que los datos reales obtenidos de la prueba sean diferentes a los datos preliminares del fluido de ingreso. Generalmente esta variación no es sustancial.

Para el caso de la prueba se simula un fluido de ingreso muy variable y distante del valor de flujo nominal, como se observa en la Figura 4.10.



**Figura 4.10** Flujo de ingreso variable para la prueba en modo automático

Como resultado de la prueba se obtienen los resultados que muestra la Figura 4.11

REPORTE DE PRUEBA FINAL SUBVI.vi

**REPORTE - PRUEBA FINALIZADA**

POZO: SECOYA 16

FLUJO TOTAL DE ENTRADA 16964 BFPD

FLUJO TOTAL DE CRUDO 6785 BPD

FLUJO TOTAL DE AGUA 10178 BPD

FLUJO TOTAL DE GAS 0,65 MMSCFD

BSW 60 %

IMPRIMIR

SALIR

**Figura 4.11** Reporte final – prueba de funcionamiento en modo automático con flujo variable

### 4.3 PRUEBAS DE SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE INSTRUMENTOS

La selección de instrumentos se basa en las características establecidas en la pantalla de Especificaciones 12J.

Para la comprobación del funcionamiento de la Selección Automática de Instrumentos, se realizan dos pruebas cada una con datos iniciales diferentes, como se muestra en la siguiente tabla.

VARIABLE	VALORES	
	PRUEBA 1	PRUEBA 2
Flujo nominal de ingreso (BPD)	20000	5000
Volumen de agua (BPD)	12000	3000
Volumen de crudo (BPD)	8000	2000
Presión máxima de operación (PSI)	40	50
Temperatura máxima de operación (°F)	200	150

**Tabla 4.8** Datos referenciales para la Selección Automática de Instrumentos

Como resultado, el sistema despliega los datos que muestran la Tabla 4.9 y la Tabla 4.10.

INSTRUMENTO/VÁLVULA	TIPO	RANGO		TAMAÑO	TIPO DE SALIDA	TEMPERATURA MÁXIMA	CARACTERÍSTICA DE LA VÁLVULA	ACCIÓN EN FALLA	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	FABRICANTE
		VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO							
TRANSMISORES DE CAUDAL	FLUJO DE INGRESO	Coriolis	-	700000 l/h	8"	4- 20 mA	-	-	-	MICRO MOTION
	AGUA	Turbina	1300 BPD	13000 BPD	6"	4- 20 mA	-	-	-	NUFLO
	CRUDO	Coriolis	-	272000 l/h	6"	4- 20 mA	-	-	-	MICRO MOTION
	GAS	Coriolis	-	1825 m <sup>3</sup> /h	6"	4- 20 mA	-	-	-	MICRO MOTION
TRANSMISORES DE NIVEL	DE DE INTERFAZ	Microondas	0"	102"	-	4- 20 mA	-	-	-	AGAR
	DE CRUDO	Presión diferencial	-250 "H2O	250 "H2O	-	4- 20 mA	-	-	-	ROSEMOUNT
TRANSMISOR DE PRESIÓN	Diafragma	0 PSI	72 PSI	-	-	4- 20 mA	-	-	-	BARTON
TRANSMISOR DE TEMPERATURA	RTD PT 100	0°F	200°F	-	-	4- 20 mA	200°F	-	-	BARTON
VÁLVULAS DE CONTROL	Globo	0%	100%	6"	-	4- 20 mA	-	Isoporcentual	Neumático	SAMSON
VÁLVULA DE TRES VÍAS	Globo	0%	100%	8"	-	4- 20 mA	-	lineal	Neumático	SPIRAX SARCO
BSW	Capacitivo	0%	100%	6"	-	4- 20 mA	-	-	-	CAMERON

Tabla 4.9 Resultado de la selección automática de instrumentos – Prueba 1



INSTRUMENTO/VÁLVULA	TIPO	RANGO		TAMAÑO	TIPO DE SALIDA	TEMPERATURA MÁXIMA	CARACTERÍSTICA DE LA VÁLVULA	ACCIÓN EN FALLA	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	FABRICANTE
		VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO							
TRANSMISORES DE CAUDAL	FLUJO DE INGRESO	Coriolis	-	180000 l/h	6"	4-20 mA	-	-	-	MICRO MOTION
	AGUA	Turbina	1000 BPD	10000 BPD	4"	4-20 mA	-	-	-	NUFLO
	CRUDO	Coriolis	-	100000 l/h	4"	4-20 mA	-	-	-	MICRO MOTION
	GAS	Coriolis	-	1825 m3/h	4"	4-20 mA	-	-	-	MICRO MOTION
TRANSMISORES DE NIVEL	DE INTERFACE	Flotadores	0	60"	-	4-20 mA	-	-	-	AGAR
	DE CRUDO	Presión diferencial	-100 "H2O	100 "H2O	-	4-20 mA	-	-	-	ROSEMOUNT
TRANSMISOR DE PRESIÓN	Diafragma	0 PSI	72 PSI	-	-	4-20 mA	-	-	-	BARTON
TRANSMISOR DE TEMPERATURA	RTD PT 100	0°F	200°F	-	-	4-20 mA	200°F	-	-	ASHCROFT
VÁLVULAS DE CONTROL	Globo	0%	100%	4"	-	4-20 mA	Isoporcentual	NA	Neumático	SAMSON
VÁLVULA DE TRES VÍAS	Globo	0%	100%	6"	-	4-20 mA	lineal	NC	Neumático	SPIRAX SARCO
BSW	Capacitivo	0%	100%	-	-	4-20 mA	-	-	-	CAMERON

**Tabla 4.10** Resultado de la selección automática de instrumentos – Prueba 2

Se debe considerar que los instrumentos obtenidos de la selección automática de instrumentos están basados en los valores nominales de trabajo, valores límite de funcionamiento, en el análisis previo realizado en el capítulo dos, y de la base de datos que contienen elementos que Industria Acero de los Andes considera adecuados, por su calidad, disponibilidad y costo.

En este capítulo se recolectan datos de las pruebas iniciales de funcionamiento, como de las pruebas realizadas a todo el sistema integrado y a través del análisis de los resultados obtenidos se comprueba el correcto funcionamiento del sistema de control automático para Separadores Trifásicos de Crudo.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Concluido el Diseño e Implementación del Sistema de Control para operación automática de Separadores de crudo, las conclusiones obtenidas de este proyecto se indican a continuación.

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El sistema de control implementado responde de manera adecuada al proceso simulado de separación de crudo, con lo que se puede concluir que el objetivo principal de este proyecto ha sido alcanzado.
- Al implementar sistemas de control coordinados entre la PC (Labview) y el PLC, se demuestra que tanto los controladores programables dedicados, como las herramientas computacionales para sistemas de control, resultan efectivos, siempre y cuando se mantenga la alimentación eléctrica continua y se encuentren instalados en ambientes adecuados de trabajo.
- Las pruebas demostraron que dividir el proceso general de separación de crudo en subprocesos, al permitir determinar un tipo de sistema de control para cada subproceso, facilita el control general del sistema.
- La realización de una matriz de causa y efecto muestra de manera resumida el sistema de seguridad implementado en el proceso, y resulta una herramienta eficiente para la fiscalización del sistema.

- En un sistema de control es importante tener dos modos de operación, modo automático, para que el proceso funcione de manera continua, y modo manual cuando sea necesario realizar mantenimiento al separador, o cuando por motivos de seguridad se necesite operar al separador independientemente del sistema de control.
- Se debe seleccionar el PLC de acuerdo a la aplicación requerida. Puesto que, gamas más avanzadas de PLC tienen mejores prestaciones en cuanto a comunicación y hardware, pero esto, no necesariamente significa que sea la mejor opción para el trabajo a realizar.
- La determinación de las características del fluido a ingresar al separador es importante para el diseñador del separador, ya que de estos parámetros dependen las dimensiones del recipiente de separación y de los instrumentos a instalarse.
- Un proceso simulado permite realizar pruebas de funcionamiento sin poner en riesgo el proceso real y sirve como una herramienta explicativa del proceso y del funcionamiento del sistema de control. En conclusión, la simulación previene posibles accidentes reales en el manejo del separador.
- El sistema desarrollado en Labview es una herramienta útil demostrativa del funcionamiento y control de separadores trifásicos de crudo. Acero de los Andes puede utilizarla como paso inicial en la explicación de proyectos a sus clientes.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- A pesar que los datos estimados en la Matriz Causa Efecto cubren los requerimientos de seguridad mínimos necesarios, se recomienda para

aplicaciones reales aumentar el nivel de seguridad en la operación de separadores trifásicos.

- Para enviar y recibir datos entre las placas electrónicas y el PLC se utiliza comunicación Modbus Half Duplex. Debido a la cantidad de esclavos (instrumentos y válvulas). Se recomienda utilizar un protocolo de comunicación Modbus Full Duplex para optimizar los tiempos de transmisión.
- Para la selección de válvulas se recomienda el uso de software especializado, que generalmente es proporcionado por el fabricante, este procedimiento servirá de apoyo al dimensionamiento previo de la válvula.
- Para que el sistema de control sea aplicado tanto a un proceso real como simulado, se debe realizar un análisis detallado de las variables que interviene en él y los límites de funcionamiento del proceso.
- Se recomienda trabajar de forma estructural al momento de la programación en el computador (Labview), ya que se pueden realizar llamados de subrutinas desde un lazo principal, y así poder realizar modificaciones fácilmente, de ser el caso.
- Se recomienda renovar la base de datos de instrumentos con frecuencia, para mantener una lista actualizada. Además se puede agregar más características de interés para el diseñador, como costos y disponibilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.educar.org/inventos/petroleo.asp>
- [2] Shirley Marfisi y Jean Louis Salager, Deshidratación De Crudo Principios y Tecnología.
- [3] Philip A. Schweitzer, Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, tercera edición.
- [4] [http://pipeisometric.com/tipos\\_de\\_separadores.html](http://pipeisometric.com/tipos_de_separadores.html)
- [5] Poma Diego, Curso de Capacitación Separadores trifásicos, Industria Acero De los Andes, 2010
- [6] [www.separation-process.com/separator-mist-extractor.html](http://www.separation-process.com/separator-mist-extractor.html)
- [7] W.G. Andrew, H.B. Williams, Applied Instrumentation in the Process Industries
- [8] Antonio Creus. Instrumentación Industrial. Alfaomega. Sexta Edición, 1998
- [9] Hutchison, J.W., ISA Handbook of Control Valves, segunda edición.
- [10] PDVSA, Manual de Diseño de Proceso, Separación Física, Tambores Separadores, Principios Básicos
- [11] American Petroleum Institute, Specification for Oil and Gas Separators.
- [12] Jorge Restrepo, Diseño y Construcción de Recipientes a presión, Código ASME SECCIÓN VIII, Colombia, 2010
- [13] Atalla F. Sayda and James H. Taylor, Modeling and Control of Three-Phase Gravity Separators in Oil Production Facilities.
- [14] <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18990/1/AA-p3.pdf>
- [15] [www.slideshare.net/justexz/fuente-de-poder-de-una-pc-4330999](http://www.slideshare.net/justexz/fuente-de-poder-de-una-pc-4330999)
- [16] [www.gte.us.es/ASIGN/IE\\_4T/Tutorial%20de%20Labview.pdf](http://www.gte.us.es/ASIGN/IE_4T/Tutorial%20de%20Labview.pdf)
- [17] SCHNEIDER ELECTRIC, Manual Twido Suit
- [18] Ing. José Roberto Vignoni, INSTRUMENTACIÓN Y COMUNICACIONES INDUSTRIALES

## ANEXOS

- **ANEXO A:** Especificaciones técnicas
  - A-1:** Especificaciones 12J (Especificaciones técnicas de Separadores de Crudo)
  - A-2:** Especificaciones PLC TWIDO TWDLCAA16DRF
  - A-3:** Adaptador de comunicación RS485 MINI DN TWDNAC485T
  - A-4:** Microcontrolador PIC16F873A Y Microcontrolador PIC16F877A
  
- **ANEXO B:** Especificaciones técnicas de válvulas de control
  - B-1:** Válvula de tres vías
  - B-2:** Válvula de control
  
- **ANEXO C:** Especificaciones técnicas de instrumentos
  - C-1:** Transmisor de nivel de Interface
  - C-2:** Transmisor de nivel de crudo
  - C-3:** Transmisor de caudal Coriolis
  - C-4:** Transmisor de caudal tipo turbina
  - C-5:** Transmisor de temperatura
  - C-6:** Transmisor de Corte de agua
  
- **ANEXO D:** Diseño de circuitos impresos

**ANEXO A**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES**



**ANEXO A-1**  
**ESPECIFICACIONES 12J (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE**  
**SEPARADORES DE CRUDO**

ACERO DE LOS ANDES



**API SPECIFICATION 12J**

**Separator Design Information**

**I. Operating Conditions**

**A. Liquid Volumes**

1. Oil/Condensate 12000 bbl/day Gravity 30 °API Viscosity \_\_\_\_\_ cp  
 2. Water 8000 bbl/day Sp. Gr. 1.02 (Water = 1.0)

**B. Oil/Condensate Characteristics**

1. Foaming: Nil  Moderate \_\_\_\_\_ Severe \_\_\_\_\_  
 2. Paraffin Problem: No  Yes \_\_\_\_\_ (if Yes, give cloud point) \_\_\_\_\_ °F  
 3. Slug Flow: No \_\_\_\_\_ Yes  (if Yes, give details such as maximum liquid rate, slug volume, etc., or suggest surge factor.)

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

C. Gas 1.0 MMSCFD Sp. Gr. 30 MW \_\_\_\_\_ (Air = 1.0)

D. Operating Temperature (°F) 98 Max \_\_\_\_\_ Min \_\_\_\_\_

E. Operating Pressure (psig) 28 Max \_\_\_\_\_ Min \_\_\_\_\_

F. H<sub>2</sub>S Content 0 Mole% CO<sub>2</sub> Content 0 Mole%

**G. Geographical Location**

ECUADOR

**II. Design Requirements**

A. Type \_\_\_\_\_ Vertical  \_\_\_\_\_ Horizontal \_\_\_\_\_ Spherical \_\_\_\_\_

**Manufacturer's Recommendation**

\_\_\_\_\_ Two-phase  \_\_\_\_\_ Three-phase \_\_\_\_\_

B. Design Pressure 100 psig at Temperature 200 °F

**C. Type Mist Extractor (Specify)** \_\_\_\_\_

Demister Plus; thk = 8" ; Ø= 18" Vapor Rate 3315 lb/hr;

Proplet Size @ 99.9% Removal = 7.6

micron

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D. Liquid Retention Time \_\_\_\_\_ 10-18 min

E. Corrosion Allowance 0.125 (in.)

F. Corrosion Allowance for Non-pressure Internal Parts 0.125 (in.)

G. NACE MR 0175 Required No  Yes \_\_\_\_\_



H. Special Stress Relieving No  Yes \_\_\_\_\_  
Specify if Yes \_\_\_\_\_

I. API RP 14C Safety Systems Required: No  Yes \_\_\_\_\_

III. Coatings

A. External: Mfg. Std  Other \_\_\_\_\_

Specify if Other \_\_\_\_\_

B. Internal (Specify) \_\_\_\_\_ 10 mils epoxy fenolic

C. Cathodic Protection (Specify) \_\_\_\_\_

IV. Special Instructions

A. Radiographic Inspection: ASME Code  RT2 \_\_\_\_\_ Other \_\_\_\_\_

Specify if Other \_\_\_\_\_

B. Hydrostatic Test Pressure: ASME Code  VIII-1 \_\_\_\_\_ Other \_\_\_\_\_

Specify if Other \_\_\_\_\_

C. Hardness Testing Requirements (Specify) \_\_\_\_\_ N/A  
PT= 100% on all lifting lugs

D. Lifting Lugs (Specify)  yes \_\_\_\_\_ PT= 100% on all beam welds of skid

E. Skid Mounting (Specify)  yes \_\_\_\_\_

F. Welding Requirement: ASME Code  IX \_\_\_\_\_ Other \_\_\_\_\_

Specify if Other \_\_\_\_\_

Sand Jet System ND 2"

150#

G. Sand Removal System (Specify) \_\_\_\_\_

yes

H. Other  ky-flex (liquid-liquid coalescing media ; 20.75" thk; 94.9 % accumulative ef. \_\_\_\_\_

**ANEXO A-2**  
**ESPECIFICACIONES PLC TWIDO TWDLCAA16DRF**

Product data sheet  
Characteristics

TWDLCAA16DRF

extendable PLC base Twido - 100..240 V AC  
supply - 9 I 24 V DC - 7 O relay



Main

Range of product	Twido
Product or component type	Compact base controller
Discrete I/O number	16
Discrete input number	9
Discrete input voltage	24 V
Discrete input voltage type	DC
Discrete output number	7 relay
[Us] rated supply voltage	100..240 V AC
Use of slot	Memory cartridge or realtime clock cartridge
Data backed up	Internal RAM lithium 30 days 10 hrs 10 yr
Integrated connection type	Non isolated serial link mini DIN Modbus/character mode master/slave RTU/ASCII RS485 half duplex 38,4 kbit/s Power supply Serial link interface adaptor RS232C/RS485

Complementary

Discrete input logic	Sink or source
Input voltage limits	20.4...28.8 V

Discrete input current	7 mA I0.2 to I0.8 11 mA I0.0 to I0.1
Input impedance	2100 Ohm I0.0 to I0.1 3400 Ohm I0.2 to I0.8
Filter time	35 µs + programmed filter time for I0.0 to I0.5 at state 1 40 µs + programmed filter time for I0.6 to I0.8 at state 1 45 µs + programmed filter time for I0.0 to I0.5 at state 0 150 µs + programmed filter time for I0.6 to I0.8 at state 0
Insulation between channel and internal logic	1500 Vrms for 1 minute
Insulation resistance between channel	None
Minimum load	0.1 mA
Contact resistance	≤ 30000 µOhm
Load current	2 A 240 V AC resistive 30 cyc/mn relay outputs 2 A 30 V DC resistive 30 cyc/mn relay outputs 2 A 240 V AC inductive 30 cyc/mn relay outputs 2 A 30 V DC inductive 30 cyc/mn relay outputs
Mechanical durability	≥ 20000000 cycles relay outputs
Electrical durability	≥ 100000 cycles relay outputs
Current consumption	6 mA 5 V DC at state 0 30 mA 5 V DC at state 1 40 mA 24 V DC at state 1
I/O connection	Non-removable screw terminal block
Network frequency	50/60 Hz
Supply voltage limits	85...264 V
Network frequency limits	47...63 Hz
Power supply output current	0.25 A 24 V DC sensors
Power supply input current	300 mA
Inrush current	≤ 35 A
Protection type	Power protection internal fuse
Power consumption in VA	22 VA 100 V 31 VA 264 V

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products of the Twido family. It is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific use in applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the products of the Twido family. It is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific use in applications. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither Schneider Electric Industries SAS nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

Insulation resistance	> 10 MOhm at 500 V, between supply and earth terminals > 10 MOhm at 500 V, between I/O and earth terminals
Program memory	2000 instructions
Exact time for 1 K instruction	1 ms
System overhead	0.5 ms
Memory description	Internal RAM 128 internal bits, no floating, no trigonometrical Internal RAM 3000 internal words, no floating, no trigonometrical Internal RAM 64 timers, no floating, no trigonometrical Internal RAM 128 counters, no floating, no trigonometrical Internal RAM double words, no floating, no trigonometrical
Free slots	1
Realtime clock	Without
Counting input number	1 20000 Hz 32 bits 3 5000 Hz 16 bits
Analogue adjustment points	1 point adjustable from 0...1023
Marking	CE
Status LED	1 LED green PWR 1 LED green RUN 1 LED red module error (ERR) 1 LED user pilot light (STAT) 1 LED per channel green I/O status
Product weight	0.25 kg

### Environment

Immunity to microbreaks	10 ms
Dielectric strength	1500 V for 1 minute, between supply and earth terminals 1500 V for 1 minute, between I/O and earth terminals
Product certifications	CSA UL
Ambient air temperature for operation	0...55 °C
Ambient air temperature for storage	-25...70 °C
Relative humidity	30...95 % without condensation
IP degree of protection	IP20
Operating altitude	0...2000 m
Storage altitude	0...3000 m
Vibration resistance	0.075 mm 10...57 Hz 35 mm symmetrical DIN rail 1 gn 57...150 Hz 35 mm symmetrical DIN rail 1.6 mm 2...25 Hz plate or panel with fixing kit 4 gn 25...100 Hz plate or panel with fixing kit
Shock resistance	15 gn 11 ms
RoHS EUR conformity date	0630
RoHS EUR status	Compliant

**ANEXO A-3**  
**ADAPTADOR DE COMUNICACIÓN RS485 MINI DN TWDNAC485T**



Módulos y adaptadores de enlace serie (Modbus, ASCII)				
Designación	Compatibilidad	Nivel Físico	Conexión	Referencia
Adaptadores de interface Serie	Bases compactas	RS 232C	Conector Mini-DIN	TWD NAC 232D
	TWD LCAA 16/24 DRF			
	Módulo Visualizador integrado TWDXCPODM	RS 485	Conector Mini-DIN	TWD NAC 485D
			Bornero a tornillos	TWD NAC 485T
Módulos de interface serie	Bases modulares TWD LMDA 20/40D**	RS 232C	Conector Mini-DIN	TWD NOZ 232D
		RS 485	Conector Mini-DIN	TWD NOZ 485D
			Bornero a tornillos	TWD NOZ 485T

Comunicación Ethernet y CanOpen, As-i			
Designación	Compatibilidad	Características	Referencia
Twido Port	Todas las bases $\geq 3.0$	10/100 Mbits suministrado con cable TWDXCARJPO3P	499TWD01100
Maestro CanOpen	Todas las bases $\geq 3.0$ que admiten extensión	Alimentación externa 24 VCC	TWD NO01
Maestro	2 max por controlador As-i/M3 Todas las bases que admitan extensión $V_{\geq 2.0}$	62 módulos discretos máx. 7 módulos analógicos máx.	TWD NOI 10M3

(1) Las Bases CPU Compactas sólo poseen un slot para cartridge de me

**ANEXO A-4**  
**MICROCONTROLADOR PIC16F873A Y**  
**MICROCONTROLADOR PIC16F877A**



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external  $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$  and  $\overline{CS}$  controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

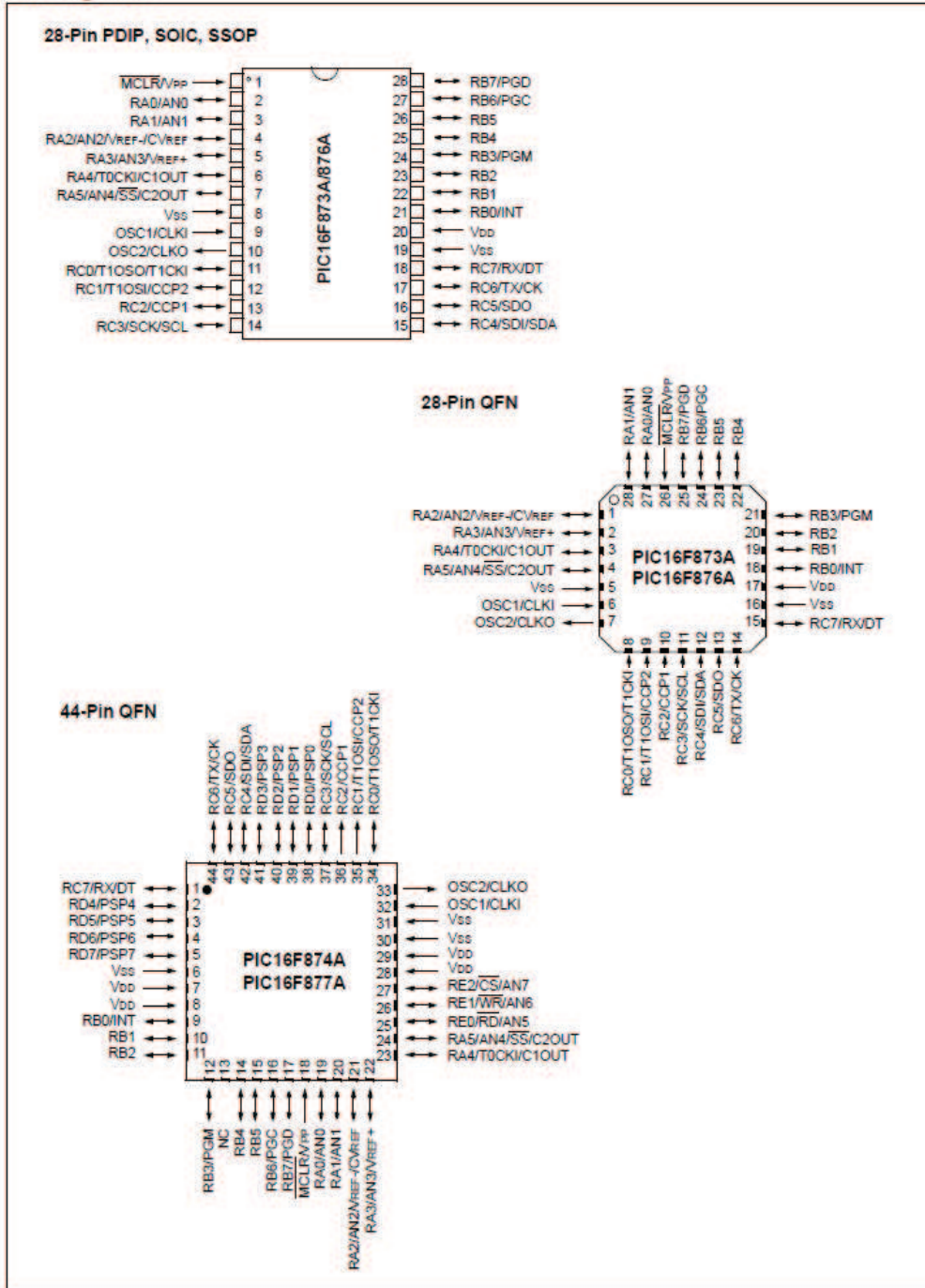
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2



# PIC16F87XA

## Pin Diagrams



# PIC16F87XA

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

**TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES**

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

**ANEXO B**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE VÁLVULAS DE**  
**CONTROL**

## ANEXO B-1

### Válvula de tres vías



Cert. No. LRQ 0963008  
ISO 9001

# spirax/sarco

TI-P359-14  
CH Issue 3

## Válvulas de control de tres vías Series QLM y QLD

### Descripción

Las válvulas QLM y QLD son de tres vías mezcladoras y desviadoras con características lineales. El cuerpo está disponible en cuatro materiales: hierro fundido, fundición nodular, acero al carbono o acero inoxidable. Todas las válvulas se suministran con asiento estándar metal-metal, estrellitado para incrementar la resistencia al desgaste o asiento blando para un cierre hermético. El sellado estándar del vástago es por resorte y PTFE chevrons pero también se pueden especificar empaquetadura de grafito para alta temperatura o fuelle metálico con una empaquetadura de seguridad adicional.

Las válvulas de control de tres vías QLM y QLD pueden usarse con los siguientes actuadores:

Neumáticos:	Serie PN3000
	Serie PN4000
	Serie PN5000
	Serie PN6000
	Serie PN7000
	Serie PN8000
Eléctricos:	Serie EL3500
	Serie EL5600

### Datos técnicos

Diseño obturador	Parabólico/en V	
Flow characteristics	Lineal	
Pérdida	Asiento metal-metal	ANSI/FCI 70/2 Clase IV
	Strellitado	Máximo de 0,005% de $K_v$
	Asiento blando PTFE	ANSI/FCI 70/2 Clase VI
Rango	30:1	
Carrera	DN15 - 50	20 mm
	DN65 - 100	30 mm
	DN125 - 200	50 mm



### Tamaños y conexiones

Todas las bridas mencionadas en este documento son de acuerdo con EN 1092-1.

	Tipo	Material cuerpo	Conexión	Tamaños
QLM: Mezcladora	QL33M	Hierro fundido	PN16	DN15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
	QL43M*	Acero al carbono	PN25/PN40	DN15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
	QL63M*	Acero inoxidable	PN25/PN40	DN15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
	QL73M	Fundición nodular	PN16/PN25	DN15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
QLD: Desviadora	QL33D	Hierro fundido	PN16	DN25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
	QL43D*	Acero al carbono	PN25/PN40	DN25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
	QL63D*	Acero inoxidable	PN25/PN40	DN25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200
	QL73D	Fundición nodular	PN16/PN25	DN25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150 y 200

\* Nota: Las válvulas de control de tres vías QL43M, QL43D, QL63M y QL63D también están disponibles bajo pedido con bridas PN16.

### Condiciones límite

	QL33M y QL33D	PN16	
Condiciones de diseño del cuerpo	QL43M, QL43D, QL63M y QL63D	PN40	
	QL73M y QL73D	PN25	
Presión diferencial máxima	Ver hoja técnica del actuador.		
Sellado del vástago:	Tapa estándar	PTFE	Máximo 232°C
		Grafito	Máximo 250°C
	Tapa extendida	PTFE	Máximo 250°C
		Grafito	Máximo 400°C

### Operating limit conditions

#### QL33M y QL33D (hierro fundido)

	Cuerpo		Tapa										
			Estándar				Extendida				Fuelle		
			PTFE		Grafito		PTFE		Grafito		PN16	PN25	
Presión (bar)	16	13	16	13	16	13	-	-	-	-	16	13	-
Temperatura (°C)	-5/+120	200	-5/+120	200	-5/+120	200	-	-	-	-	-5/+120	200	-

#### QL73M y QL73D (fundición nodular)

	Cuerpo		Tapa											
			Estándar				Extendida				Fuelle			
			PTFE		Grafito		PTFE		Grafito		PN16		PN25	
Presión (bar)	25	15	25	18.7	25	18	25	18	25	15	16	11	25	15
Temperatura (°C)	-10/+120	300	-5/+120	232	-5/+120	250	-10/+120	250	-10/+120	300	-10/+120	300	-10/+120	300

#### QL43M y QL43D (acero al carbono)

	Cuerpo		Tapa											
			Estándar				Extendida				Fuelle			
			PTFE		Grafito		PTFE		Grafito		PN16		PN25	
Presión (bar)	40	21	40	33	40	32	40	32	40	21	16	10	25	16
Temperatura (°C)	-29/+120	400	-5/+120	232	-5/+120	250	-29/+120	250	-29/+120	400	-10/+120	350	-10/+120	350

#### QL63M y QL63D (acero inoxidable)

	Cuerpo		Tapa											
			Estándar				Extendida				Fuelle			
			PTFE		Grafito		PTFE		Grafito		PN16		PN25	
Presión (bar)	40	22.1	40	26.8	40	26.2	40	26.2	40	22	16	10	25	16
Temperatura (°C)	-29/+120	400	-5/+120	232	-5/+120	250	-29/+120	250	-29/+129	400	-10/+120	350	-10/+120	350

### Presión Diferencial

Para máximas presiones diferenciales, ver hoja técnica específica del actuador neumático o eléctrico.

## ANEXO B-2

### Válvula de control

#### Series 3240

#### Globe Control Valve Type 3241 (241)

#### Pneumatic Control Valves Type 3241/3271 (241-1) and Type 3241/3277 (241-7)



#### Application

Control valve for process engineering and plants with industrial requirements.

Nominal valve sizes ½" to 10" (15 to 250 mm)

Pressure ratings ANSI Class 125 to 300

Temperatures -320 °F to +800 °F (-196 °C to +427 °C)

The control valves consist of a body with trim, bonnet and pneumatic actuator, optionally with metal bellows or insulating extension. The valves may be also equipped with electric, electrohydraulic, or hand-operated actuators, as well as control accessories and other instrumentation.

#### Features

- Modular design, rugged and heavy duty construction, full range of body and trim materials
- One-piece ultra-rigid valve bonnet and yoke up to size 6"
- Field retrofittable extension bonnets and metal bellows seals
- Many configurations, e.g. Cryogenic or 'Lethal service'
- Self-adjusting, live-loaded PTFE V-ring stuffing box
- Port-guided V-port asymmetric plugs above Cv 20 standard
- Excellent dynamic response and high trim stability
- Self-locking seats, exchangeable for various Cv values
- Low height, reversible, multi-spring/rolling diaphragm actuator
- NAMUR (IEC 534-6) accessory mounting standard
- Complete selection of actuators options, positioners and control accessories

Standard versions – available combinations: see Table I

- Body ASTM Cast A 126 Cl. B, A 216 WCB, A 351 CF8M, other
- End connections ANSI Class 125 with FF-Flanges, Class 250 Female threaded NPT, Class 150 or 300 with RF-Flanges
- Packing PTFE V-ring spring-loaded/self-adjusting, temperature range 15 °F to 430 °F (-10 °C to +220 °C)
- Trim equal percentage characteristic, metal-to-metal seal

#### Options

- Body materials · optionally A 352 LCB, LC3, A 351 CF8, CF3, Hastelloy, Monel, and others · On request
- Packing · Adjustable PTFE, graphite or others · On request
- Extension bonnet module · For extreme temperatures -328 to +842 °F (-200 to +450 °C) with PTFE packing
- Metal bellows seal module · For complete seal between process and atmosphere, with test connection and PTFE packing
- Characteristic · Linear (quick-opening on request)
- Trim materials · Hardened, Hast. C, Monel, other versions
- Plug seal · PTFE soft seal or lapped-in metal seal
- Flow dividers · For noise reduction · See Tech. Data Sheet T 8081
- Pressure-balanced version · For high differential pressures
- Heating jacket, double stuffing box, micro trim, versions for sour gas according to NACE · On request

DIN Versions · See Data Sheet T 8015 · JIS · On request

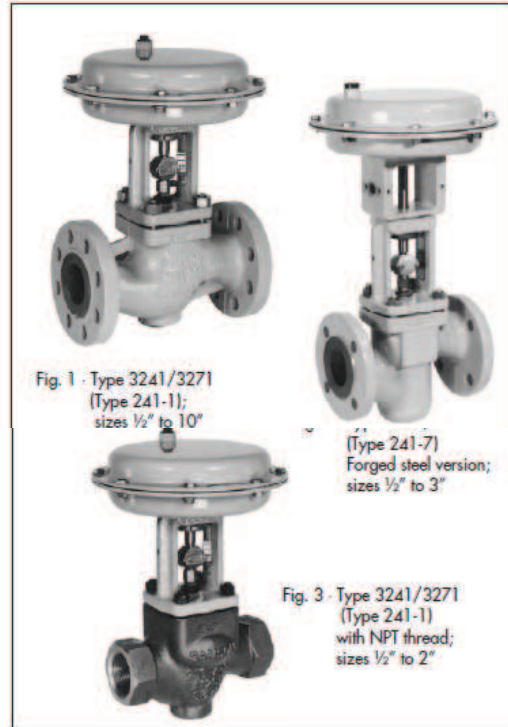


Fig. 1 · Type 3241/3271 (Type 241-1); sizes ½" to 10"

(Type 241-7) Forged steel version; sizes ½" to 3"

Fig. 3 · Type 3241/3271 (Type 241-1) with NPT thread; sizes ½" to 2"

#### Actuator combinations

Type 3241/3271 (241-1) (Fig. 1) · With Type 271 Actuator (see T 8310)

Type 3241/3277 (241-7) (Fig. 2) · With Type 3277 Actuator for integral positioner attachment (see T 8311)

Type 3241/3273 (241-3) · With Type 3273 (273) Hand-operated Actuator (see T 8312)

Type 3241/3274 (241-4) · With Type 3274 Electrohydraulic Actuator (see T 8340)

Associated Information Sheets

Valves	T 8000
Actuators	T 8300
Accessories	T 8350

Edition July 1998

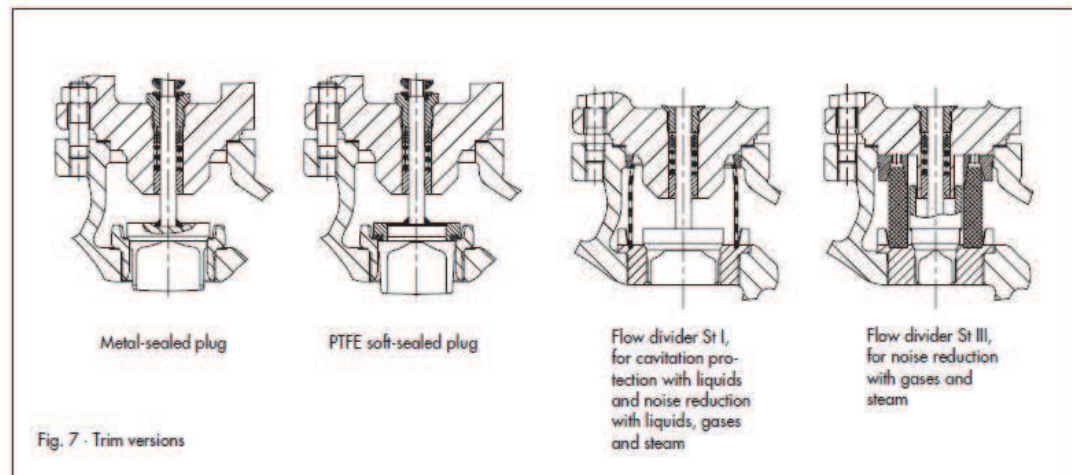
ANSI Version

Technical Data Sheet

T 8012

**Table 1 · Technical data**

Nominal valve size	in	1 ... 6	½ ... 2	½ ... 10	½, 1, 1½, 2, 3	½ ... 10	½, 1, 1½, 2, 3	
Body material, ASTM (also see Table 2)		A 126 Class B		A 216 Grade WCB	A 105	A 351 Grade CF8M	A 182 Grade F316	
End connection		Flange	Thread	Flange		Flange		
Form of connection		Flat Face	NPT-F	Raised Face <sup>1)</sup>		Raised Face <sup>1)</sup>		
Pressure rating, ANSI (B16.34) Class		125	250	150 or 300	300	150 or 300	300	
Face-to-face dimension		According to ANSI/ISA S-75.03 (Flanges according to ASME/ANSI B16.5)						
Seat/plug seal		Metal, soft or lapped-in metal						
Packing design		V-ring, spring-loaded, self-adjusting						
Flow direction (standard)		Flow to open (FTO)						
Seat bore diameter, rated travel, Cv/Kvs		See Table 3						
Characteristic		Equal percentage or linear						
Terms for valve sizing according to ISA-S75.02 and IEC 60 534, parts 2-1 and 2-2		$F_L = 0.95, x_T = 0.75$ (at 75% rated travel)						
Rangedability		50:1 for sizes ½" ... 2" · 30:1 for sizes 2½" ... 10"						
Dimensions and Weights		See Tables 7, 8 and 9						
<b>Temperature ranges °F (°C) · Max. operating pressures acc. to pressure-temperature diagram (see Information Sheet T 8000-2)</b>								
Body without insulating section		15 ... 430 °F (-10 ... 220 °C)						
Body with	Insulating section	Short	-20 ... 445 °F (-29 ... 230 °C)	-20 ... 800 °F (-29 ... 427 °C)	-58 ... 800 °F (-50 ... 427 °C)			
		Long	-	-	-325 ... 800 °F (-198 ... 427 °C)			
	Bellows section	Short	-20 ... 445 °F (-29 ... 230 °C)	-20 ... 800 °F (-29 ... 427 °C)	-58 ... 800 °F (-50 ... 427 °C)			
		Long	-	-	-325 ... 800 °F (-198 ... 427 °C)			
Valve plug	Un-balanced	Metal sealing	-325 ... 840 °F (-196 ... 450 °C)					
		Soft sealing	-325 ... 428 °F (-196 ... 220 °C)					
	Balanced	With PTFE ring	-325 ... 428 °F (-196 ... 220 °C)					
		With graph. ring	+430 ... 800 °F (+220 ... 450 °C)					
<b>Leakage rate class according to ANSI/FCI F70-2 (IEC 60 534 Part 4)</b>								
Valve plug	Un-balanced	Metal seal	Class IV					
		PTFE soft sealed	Class VI					
	Balanced	Lapped-in metal s.	Class VI (IEC: IV-S2 · For 4" or above, Class IV-S1)					
		Metal sealed	With PTFE balancing seal: Class IV · With graphite balancing seal: Class III					



**Table 3 - Cv and Kvs values**

**Table 3a - Overview**

<b>Cv</b>	0.12	0.2	0.3	0.5	0.75	1.2	2	3	5	7.5	12	20	30	40	70	75	95	120	190	290	305	420	735
<b>Cv I</b>	-						1.7	2.6	4.2	7	10.5	17	26	36	62	67	85	105	170	265	275	375	650
<b>Cv III</b>	-										9	-	23	30	-	55	-	140	220	-	315	-	
Seat ID, Ø in	0.12		0.24			0.47			0.95			1.22	1.5	1.9	2.48		3.15		3.94	4.92	5.12	5.91	7.87
Travel in	0.6															1.2	0.6	1.2	2.4	1.2	2.4		
<b>Kvs</b>	0.1	0.16	0.25	0.4	0.63	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25	35	60	63	80	100	160	250	260	360	630
<b>Kvs I</b>	-						1.45	2.2	3.6	5.7	9	14.5	22	31	54	57	72	90	144	225	234	320	560
<b>Kvs III</b>	-										7.5	-	20	26	-	47	-	120	190	-	270	-	
Seat ID, Ø mm	3		6			12			24			31	38	48	63		80		100	125	130	150	200
Travel mm	15															30	15	30	60	30	60		

**Table 3b - Standard versions (without flow divider)** - Versions in shadowed fields are also available with balanced valve plugs.

<b>Cv</b>	0.12	0.2	0.3	0.5	0.75	1.2	2	3	5	7.5	12	20	30	40	70	75	95	120	190	290	305	420	735
<b>Kvs</b>	0.1	0.16	0.25	0.4	0.63	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25	35	60	63	80	100	160	250	260	360	630
Size in mm	15																						
1/2	15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3/4	20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	25	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1 1/2	40			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	50			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2 1/2	65														*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	80														*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	100														*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	150														*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	200														*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	250														*	*	*	*	*	*	*	*	*

**Table 3c - Versions with St I flow divider (CvI/KvsI)** - Versions in shadowed fields are also available with balanced valve plugs.

<b>CvI</b>	-						1.7	2.6	4.2	7	10.5	17	26	36	62	67	85	105	170	265	275	375	650
<b>KvsI</b>	-						1.45	2.2	3.6	5.7	9	14.5	22	31	54	57	72	90	144	225	234	320	560
Size in mm	15																						
1/2	15						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3/4	20						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	25						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1 1/2	40									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	50									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2 1/2	65														*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	80														*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	100														*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	150														*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	200														*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	250														*	*	*	*	*	*	*	*	*

**Table 3d - Versions with St III flow divider (CvIII/KvsIII)** - Versions in shadowed fields are also available with balanced valve plugs.

<b>CvIII</b>	-										9	-	23	30	-	55	-	-	140	220	-	315	-
<b>KvsIII</b>	-										7.5	-	20	26	-	47	-	-	120	190	-	270	-
Size in mm	15																						
1/2	15																						
3/4	20																						
1	25																						
1 1/2	40																						
2	50									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2 1/2	65														*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	80														*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	100														*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	150														*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	200														*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	250														*	*	*	*	*	*	*	*	*



## **ANEXO C**

### **Especificaciones técnicas de instrumentos**

## ANEXO C-1

### Transmisor de nivel de Interface



# AGAR CORPORATION

Process Measurement & Control Solutions

## NOTE 1: DEWATERING OF STORAGE TANKS, AUTOMATIC DRAW WATER CONTROL, & MANUAL TANK GAUGING

### INTRODUCTION

Storage tanks containing hydrocarbon feedstocks, intermediates and finished products will, over time, accumulate a water layer in the bottom of the tank (exceptions are water-soluble hydrocarbons such as alcohols and ethers). Standard industry practice is to periodically drain the water from storage tanks so that the water does not adversely impact specifications of the hydrocarbon. Water removal also reduces corrosion problems on the floor of the tank and the risk of "Boil-Overs" in case of fire.

Manual control of water draw-off can result in HC product in the discharge. The loss of this HC product means less product available for sale and increases the cost of wastewater treatment. Additionally, environmental regulation trends (e.g., USA Benzene/NESHAP and SOCM/HON) may impose large economic penalties for designing water draw conveyance and treatment systems that allow HC product in the water draw-off discharge.

Two types of water draw-off control approaches use the AGAR ID-200 Series Interface Detector. Each water draw discharge control strategy has its own advantages and disadvantages.

The control strategies are:

- Using In-Tank Interface/Concentration Detectors
- Using Insertion Hydrocarbon/Water Monitors in the Effluent Water Draw-Off Line

AGAR applications specialists can assist in identifying the optimum strategy for controlling water discharge.



Agar ID System 1 & 2 Tank Installation

### I. IN-TANK INTERFACE DETECTOR

In-Tank measurement of the hydrocarbon/water interface gives the best results for eliminating the discharge of hydrocarbons. Usually, AGAR ID-201 probes are inserted into the tank through AGAR's patented seal housing, as shown in the photo above. Special installation may require the use of the AGAR ID-202 for extended length.

## APPLICATION NOTE 1

All Agar Corporation Instruments are covered by one or more of the following U.S. Patents: 4,503,383; 4,774,680; 5,099,697; 5,101,163; 5,101,367; 5,263,363; 5,503,004; 5,551,305; 5,589,642; 5,741,977, RE 36,597. Other patents pending in the USA and other countries.

## APPLICATION NOTE 1 - Dewatering

The two probe system can operate under two strategies. A main control/safety strategy - **System #1** shown in Figure 1 and a high-low control strategy - **System #2** shown in Figure 2.

### System #1

When the AGAR ID-201 probe detects HC free water, the water discharge valve is opened. As water is drained off the bottom of the tank, the hydrocarbon/water interface begins to drop. When the AGAR ID-201 probe detects the hydrocarbon/water interface, the signal is sent to close the discharge valve. Output options to control the valve can be 4-20 mA, relay and/or pneumatic. Local indicating lights are also available. If the hydrocarbon floats, the ID-201 will prevent it from being discharged with the waste water.

Figure 1 shows an upper probe used for control, with the lower probe used for low-level alarm and positive shutdown of the water discharge valve.

SYSTEM 1 CONTROL LOGIC			
Hi Probe	WATER	OIL	Water or Oil
Low Probe	WATER	WATER	OIL
Local Indicating Light	WATER	OIL	ALARM
Valve Position	OPEN	CLOSED	CLOSED

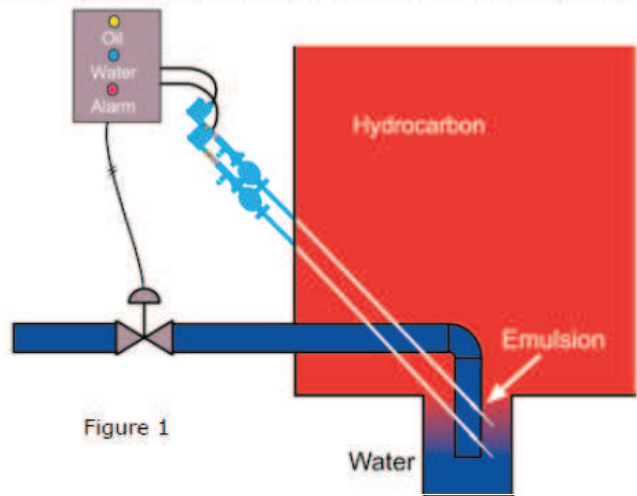


Figure 1

### System #2

Figure 2 shows the high-low control logic in which the valve would close only after both probes have detected hydrocarbon. Figures 1 and 2 also show how to overcome tank bottom sludge build-up problems by placing the active part of the AGAR ID-201 probe over the sump in the bottom of the tank. It is nearly impossible for sludge to build-up and cover the probes in this configuration.

SYSTEM 2 CONTROL LOGIC					
ID-201 PROBES		VALVE STATUS	LIGHTS		
HIGH	LOW		OIL	WATER	ALARM
WATER	WATER	OPEN	OFF	ON	OFF
OIL	WATER	OPEN	OFF	ON	OFF
OIL	OIL	CLOSED	ON	OFF	OFF
OIL	WATER	CLOSED	ON	OFF	OFF
WATER	WATER	OPEN	OFF	ON	OFF
WATER	OIL	CLOSED	OFF	OFF	ON

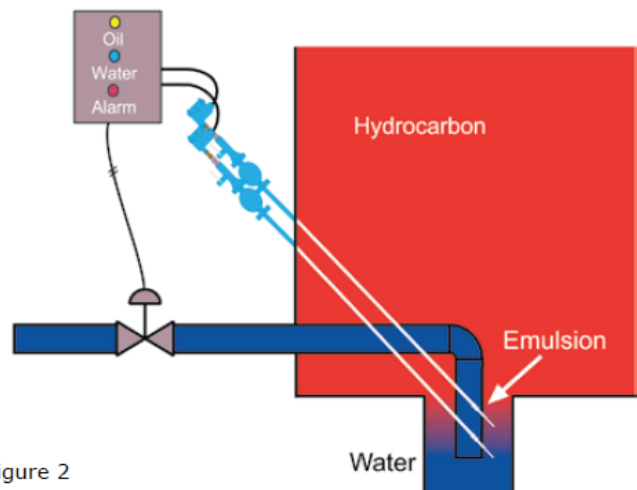


Figure 2

# ANEXO C-2

## Transmisor de nivel de crudo

Product Data Sheet  
00813-0100-4051, Rev BA  
March 2008

### Rosemount 3051

## Setting the Standard for Pressure Measurement

Industry's best-in-class total performance, a flexible *Coplanar* platform, and installed five-year stability, has made the Rosemount 3051 the standard in pressure measurement.

#### Industry's best-in-class total performance of $\pm 0.15\%$

Total performance is the true measure of "real-world" transmitter performance. Using superior sensor technology and engineered for optimal performance, the 3051 delivers unprecedented  $\pm 0.04\%$  reference accuracy, resulting in total installed operating performance of  $\pm 0.15\%$ . Superior total performance equates to reduced variability and improved plant safety.

#### Installed five-year stability of $\pm 0.125\%$

Transmitter stability is a critical measure of transmitter performance over time. Through aggressive simulation testing beyond standard IEC 770 testing, the 3051 has proven its ability to maintain performance over a five year period under the most demanding process conditions. Superior transmitter stability reduces calibration frequency to save operation and maintenance costs.

#### Unmatched dynamic performance

In dynamic applications, speed of measurement is as important as repeatability. The 3051 responds up to eight times faster than the typical pressure transmitter to detect and control variations quickly and efficiently. Superior dynamic response yields more accurate measurements to reduce variability and increase profitability.

*Coplanar* platform enables integrated solutions. The versatile *Coplanar* platform design enables the best process connections for pressure, flow and level applications. Right out of the box, the solution arrives factory calibrated, pressure-tested, and ready to install. The flexible 3051 design reduces engineering and inventory costs.

#### Advanced *PlantWeb* Functionality



The 3051 Powers *PlantWeb* architecture or any digital automation architecture with the best sensor / transmitter, the best implementation practices, and best field intelligence including process alerts, configurable alarms, and *PlantWeb* alerts. And it delivers all its value to any host using open and interoperable standards.

#### Safety Certified to IEC 61508

The 3051 is certified to IEC 61508 for non-redundant use in SIL 1 and SIL 2 Safety Instrumented Systems and redundant use in SIL 3 Safety Instrumented Systems.

## Rosemount Pressure Solutions

#### Rosemount 3051S Series of Instrumentation

Scalable pressure, flow and level measurement solutions improve installation and maintenance practices.

#### Rosemount 3095MV Mass Flow Transmitter

Accurately measures differential pressure, static pressure and process temperature to dynamically calculate fully compensated mass flow.

#### Rosemount 304, 305 and 306 Integral Manifolds

Factory-assembled, calibrated and seal-tested manifolds reduce on-site installation costs.

#### Rosemount 1199 Diaphragm Seals

Provides reliable, remote measurements of process pressure and protects the transmitter from hot, corrosive, or viscous fluids.

#### Orifice Plate Primary Element Systems: Rosemount 1495 and 1595 Orifice Plates, 1496 Flange Unions and 1497 Meter Sections

A comprehensive offering of orifice plates, flange unions and meter sections that is easy to specify and order. The 1595 Conditioning Orifice provides superior performance in tight fit applications.

#### *Annubar*<sup>®</sup> Flowmeter Series: Rosemount 3051SFA, 3095MFA, and 485

The state-of-the-art, fifth generation Rosemount 485 *Annubar* combined with the 3051S or 3095 MultiVariable transmitter creates an accurate, repeatable and dependable insertion-type flowmeter.

#### Compact Orifice Flowmeter Series: Rosemount 3051SFC, 3095MFC, and 405

Compact Orifice Flowmeters can be installed between existing flanges, up to a Class 600 (PN100) rating. In tight fit applications, a conditioning orifice plate version is available, requiring only two diameters of straight run upstream and two downstream.

#### *ProPlate*<sup>®</sup> Flowmeter Series: Rosemount *ProPlate*, Mass *ProPlate*, and 1195

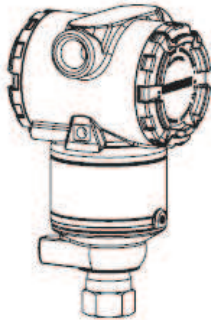
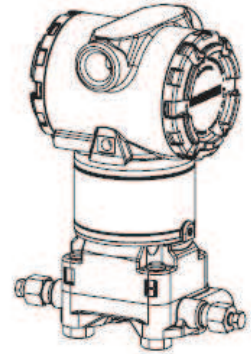
These integral orifice flowmeters eliminate the inaccuracies that become more pronounced in small orifice line installations. The completely assembled, ready to install flowmeters reduce cost and simplify installation.

## Product Offering

### Rosemount 3051C - Differential, Gage, and Absolute

See ordering information on page 23.

- Performance up to 0.04% accuracy
- Installed five-year stability of 0.125%
- *Coplanar* platform enables integrated manifold, primary element and diaphragm seal solutions
- Calibrated spans/ranges from 0.1 inH<sub>2</sub>O to 4000 psi (0,25 mbar to 276 bar)
- 316L SST, *Hastelloy*<sup>®</sup> C276, *Monel*<sup>®</sup>, Tantalum, Gold-plated *Monel*, or Gold-plated 316L SST process isolators



### Rosemount 3051T - Gage and Absolute

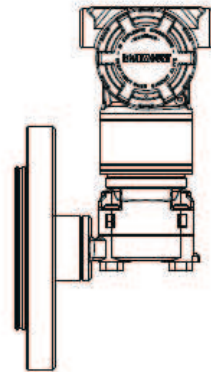
See ordering information on page 27.

- Performance up to 0.04% accuracy
- Five year installed stability of 0.125%
- Calibrated spans from 0.3 to 10000 psi (10,3 mbar to 689 bar)
- Multiple process connections available
- 316L SST and *Hastelloy* C-276 process isolators

### Rosemount 3051L - Liquid Level

See ordering information on page 29.

- Performance up to 0.075% accuracy
- Welded fill fluid system provides best-in-class system reliability
- Flush, 2, 4, and 6-in. extended diaphragms
- Multiple fill fluids and wetted materials available



## ANEXO C-3

### Transmisor de caudal Coriolis

#### Hoja de datos del producto

PS-00601, Rev. H  
Septiembre 2011

### Medidores de caudal y densidad Coriolis higiénicos serie H de Micro Motion®

Los medidores Coriolis de la serie H de Micro Motion® brindan medición muy precisa en caudal y densidad para casi cualquier fluido de proceso y son más fáciles de limpiar que cualquier otro medidor de caudal tipo Coriolis de dos tubos.



#### La mejor medición de caudal y densidad en un medidor de caudal compacto higiénico

- La mayor sensibilidad en un diseño compacto para reducir la variabilidad en el control de procesos
- Garantice la consistencia y la calidad del producto con la mejor medición de densidad

#### Amplia cobertura de aplicaciones higiénicas

- Fácil de limpiar y esterilizar in situ (CIP y SIP) con el diseño certificado por EHEDG y autorizado por 3-A
- Disponible con transmisor FMT para aplicaciones batch y de dosificación de llenado rápido
- Baja frecuencia operativa para una mejor medición en aplicaciones continuas de gas y de caudal en dos fases
- El diseño autodrenante y la mejor estabilidad de temperatura permiten el cambio rápido de producto
- Superficie muy bien pulida para fluidos ultra puros

#### Excelentes fiabilidad y seguridad

- Construcción en acero inoxidable 316L para compatibilidad con soluciones de limpieza exigentes

ELITE® Medidor Coriolis de máximas prestaciones

ELITE HC Medidor de alta capacidad y máximas prestaciones

Serie F Medidor Coriolis compacto drenable de alto rendimiento

Serie H Medidor Coriolis higiénico compacto drenable

Serie T Medidor Coriolis de tubo recto de paso total

Serie R Medidor Coriolis de aplicación general sólo para caudal

Serie LF Medidor Coriolis de caudal muy bajo



## Medidores de caudal y densidad higiénicos serie H de Micro Motion

---

Los medidores Coriolis de Micro Motion satisfacen una amplia gama de necesidades de aplicación, desde líneas de caudal muy bajo hasta caudal alto y de alta capacidad. Aplicaciones criogénicas, higiénicas, de alta temperatura y de alta presión: los medidores Micro Motion pueden utilizarse en todas ellas. Los medidores Micro Motion están disponibles con una variedad de partes húmedas para garantizar la mejor compatibilidad de los materiales.

**Medidores Coriolis.** Los medidores Coriolis ofrecen sorprendentes beneficios sobre las tecnologías de medición volumétrica tradicionales. Medidores Coriolis:

- Proporcionan datos del proceso precisos y repetibles a través de un amplio rango de caudales y condiciones del proceso.
- Proporcionan medición directa en línea para caudal másico y densidad, y también miden caudal volumétrico y temperatura, todo desde un solo dispositivo.
- No tienen partes en movimiento, así que los costes de mantenimiento son mínimos.
- No tienen requisitos para el acondicionamiento de caudal o colocación de tubos rectos, así que la instalación se simplifica y es menos costosa.
- Proporcionan herramientas de diagnóstico avanzadas para el medidor y el proceso.

**Medidores Coriolis de la serie H.** Los medidores de la serie H de Micro Motion tienen un acabado superficial interno de 0,8  $\mu\text{m}$  (32 Ra) autorizado por 3-A y certificado por EHEDG. Se tiene disponible un acabado superficial interno opcional de 0,4  $\mu\text{m}$  (15 Ra). Todos los medidores de la serie H se pueden instalar para que sean autodrenantes.

Los medidores de la serie H de Micro Motion están aprobados por el Grupo Europeo de Diseño de Equipo Higiénico (EHEDG), están autorizados conforme a los estándares sanitarios 3-A para leche y productos lácteos y están diseñados de acuerdo a estrictas recomendaciones de ASME para equipo de bioprocesamiento.

Los medidores de la serie H de Micro Motion se pueden comprar con una contención secundaria opcional clasificada. Esta clasificación es soportada por una prueba de fuga neumática de la cubierta del sensor, junto con la documentación que describe

cómo se ha verificado la seguridad del sensor de acuerdo a los estándares ASME B31.3.

## Características de caudal para líquido

		Masa	Volumen <sup>(1)</sup>
		kg/h	l/h
Caudal máximo	H025	2720	2720
	H050	8160	8160
	H100	32650	32650
	H200F	63960	63960
	H200S	87100	87100
	H300	272000	272000
Precisión de caudal másico <sup>(2)</sup>		±0,10% del caudal <sup>(3)</sup>	
Precisión de caudal volumétrico <sup>(2)</sup>		±0,15% del caudal <sup>(4)</sup>	
Repetibilidad		±0,05% del caudal <sup>(3)</sup>	
		kg/h	l/h
Estabilidad del cero	H025	0,1765	0,1765
	H050	0,544	0,544
	H100	2,177	2,177
	H200	6,965	6,965
	H300	21,76	21,76

(1) La medición de volumen se basa en una densidad de fluido de proceso de 1000 kg/m<sup>3</sup> (1 g/cm<sup>3</sup>). Para fluidos con densidad diferente de 1000 kg/m<sup>3</sup> (1 g/cm<sup>3</sup>), el caudal volumétrico máximo es igual al caudal másico máximo dividido por la densidad del fluido.

(2) La precisión de caudal establecida incluye los efectos combinados de repetibilidad, linealidad e histéresis.

(3) Cuando el caudal < (estabilidad del cero / 0,001), entonces precisión de caudal másico = ±[(estabilidad del cero / caudal) × 100]% del caudal y repetibilidad = ±[½(estabilidad del cero / caudal) × 100]% del caudal. Cuando se pide con la opción de calibración de ±0,15%, precisión de caudal másico en líquido = ±0,15% cuando caudal ≥ (estabilidad del cero / 0,0015) y precisión = ±[(estabilidad del cero / caudal) × 100]% del caudal cuando el caudal < (estabilidad del cero / 0,0015).

(4) Cuando el caudal < (estabilidad del cero / 0,001), entonces precisión de caudal volumétrico = ±[1,5 × (estabilidad del cero / caudal) × 100]% del caudal y repetibilidad = ±[½(estabilidad del cero / caudal) × 100]% del caudal. Cuando se pide con la opción de calibración de ±0,15%, precisión de caudal volumétrico en líquido = ±0,25% cuando caudal ≥ (estabilidad del cero / 0,0017) y precisión volumétrica en líquido = ±[1,5 × (estabilidad del cero / caudal) × 100]% del caudal cuando el caudal < (estabilidad del cero / 0,0017).



## ANEXO C-4

### Transmisor de caudal tipo turbina



MEASUREMENT SYSTEMS

NUFLO™

## Liquid Turbine Flowmeters

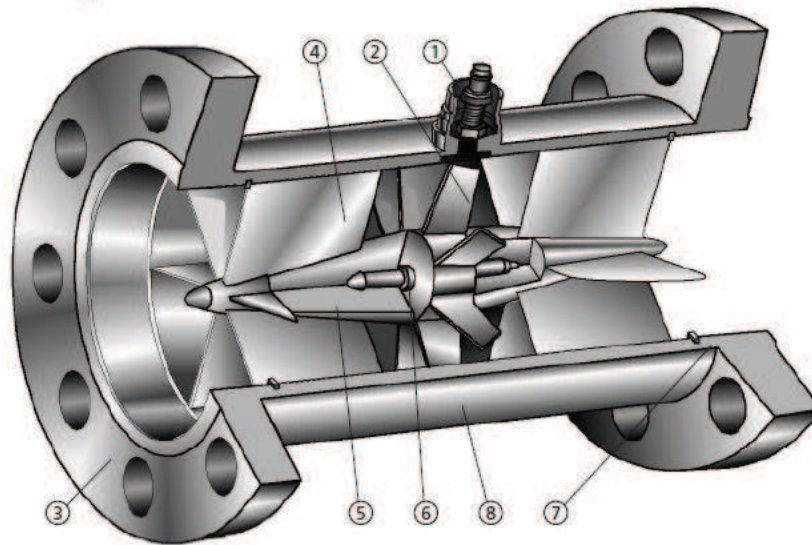
*Accurate Flow Measurement*



In 1957, this flowmeter was developed with a tungsten-carbide shaft and bearing to withstand the rugged conditions of the oil field. Over the years, it has earned an unsurpassed reputation for withstanding severe punishment while maintaining operational and measurement integrity. Today, it remains a bestseller among Cameron's NuFlo liquid measurement products.

NuFlo turbine flowmeters indicate flow rate and measure total throughput of a liquid line. As liquid flows through the meter and over the rotor, the rotor turns at a speed that is directly proportional to the flow rate. A magnetic pickup senses the rotor blades as they pass and generates an electrical (sine wave) signal. These electrical pulses are then transmitted to the flow measurement readout equipment.

First Class Design Delivers First Class Performance



- 1. Permanent conduit connection is standard.
- 2. ROTOR is pitched and pre-calibrated to determine accuracy.
- 3. END CONNECTIONS available, flanged or threaded, standard or special.
- 4. FLOW VANES increase performance at low rates.
- 5. FLOW VANE HUB supports rotor assembly.
- 6. ROTOR SHAFT, BEARINGS, AND THRUST BALL are made of tungsten carbide for long service without lubrication other than by the liquid being measured.
- 7. RETAINING RINGS make disassembly easy.
- 8. FLOWMETER BODY is sturdy, one-piece construction, precision finished.

**Applications**

Cameron offers turbine flowmeters in a variety of end connections and accuracy levels. Typical applications are:

- Water-injection measurement
- Heater treaters
- Test and production separators
- Disposal wells
- CO2 injection
- Steam generator fuel and feed water
- Metering liquid fertilizer
- Water, fuel, and chemical measurement in plant settings
- Chemical tank loading and unloading
- Measuring liquid propane
- Insitu mining and leaching

**Accuracy**

NuFlo meters are classified as Standard Grade and Industrial Grade, based on the linearity of the meter. The Standard Grade meter provides a cost-effective measurement solution

for applications where higher accuracy is not required. For higher accuracy applications, an Industrial Grade meter can be used. Such meters can achieve even greater accuracy if the range of the flow through the meter is specified.

Meter Grade	Linearity	Repeatability
Standard*	± 1% of reading	± 0.05%
Industrial*	± 0.5% of reading	± 0.02%
Enhanced accuracy	Consult factory	Consult factory

\* For 3/8 in. meters, linearity is ± 2% of reading (standard) and ± 1% of reading (industrial).

**Temperature Range (magnetic pickup)**

	Temperature Range		Flowmeter Size
Standard	-67 to 225°F	-55 to 107°C	3/8 in. through 3/4 in.
Standard	-67 to 250°F	-55 to 121°C	7/8 in. through 8 in.
Medium	-67 to 450°F	-55 to 232°C	all sizes

Note: Consult Cameron's Measurement Systems division for any use of turbine flowmeters above 450F (232°C).

## ANEXO C-5

### Transmisor de temperatura



MEASUREMENT SYSTEMS

BARTON®

## Model 3940 *Temperature Transmitter with Hart Communications*

The Barton® 3940 Temperature Transmitter is a smart, HART compatible, isolated, two-wire, transmitter that accommodates any one of eleven types of thermocouples, six types of RTD's, millivolt or ohm inputs. Once input type is selected the 3940 is precision linearized over the entire usable range of the selected sensor. This transmitter is simple to configure and operates like a high performance analog transmitter.

Numerous advanced features are achieved through the use of digital signal processing and micro-controller technologies. Typical of these features are the precision linearization, the independent zero and full-scale settings as well as digital filtering. Other advanced features, such as automatic self-diagnostics and exceptional stability, are continuously active and transparent to the user.

#### Features

- Stable
  - Continuous self-diagnostics
  - < 0.1% per year
- Accurate
  - < 0.1%
  - Rapid response
- Versatile mounting options
  - DIN Rail
  - Explosion proof
- Easy to use
  - Calibrate without handheld
- HART Communications
  - Set up, configuration & calibration



The 3940 transmitter can also accept one of two optional plug-in displays. One, an inexpensive, single line display provides low-cost, local indication of the measured temperature. The other is a two-line display that provides a local indication of the process value and alarms. Both displays facilitate local configuration and ranging of the transmitter.

The standard configuration includes a 3-wire 100 ohm platinum RTD. This element is installed in a 6.3 mm (0.25-in.) OD, 316 SS sheath and connected to the thermowell with a 12.7 mm (1/2-in.) NPT. The Barton® 3940 Temperature Transmitter can communicate with any HART Communicator for various setup, configuration and calibration procedures.

## Ordering Information – RTD Temperature Transmitter

### Model 3940

- 0°C to 100°C (32°F to 212°F)
  - Model 3940 is a Smart, Hart Compatible Temperature Transmitter.
  - Standard features include: 4-20 analog output, 3-wire RTD input, output linear with temperature.

#### 1. Temperature Range:

- Specify range, minimum to maximum and °C or °F – X-X°C/°F 7

#### 2. Housing:

- None, Electronic Module Only, Aluminum (No probe supplied) GP – MBL
- None, Electronic Module Only, Indicating 1 line display w/o probe GP – MI1
- None, Electronic Module Only, Indicating 2 line display w/o probe GP – MI2
- Integral, Hazardous Location, Blind – IBL
  - Integral, Hazardous Location, Indicating, 1 line display – II1
  - Integral, Hazardous Location, Indicating, 2 line display – II2

- Remote, Hazardous Location, Wall Mount, Blind – WBL
- Remote, Hazardous Location, Wall Mount, Indicating, 1 line display – WI1
- Remote, Hazardous Location, Wall Mount, Indicating, 2 line display – WI2
- Remote, Hazardous Location, 2-in. Pipe Mount, Blind – PBL
- Remote, Hazardous Location, 2-in. Pipe Mount, Indicating, 1 line display – PI1
- Remote, Hazardous Location, 2-in. Pipe Mount, Indicating, 2 line display – PI2

#### 3. Sensors:

- 100 Ohm Fixed RTD – FX
- 100 Ohm 3 Spring Loaded RTD – SL
- Thermocouple: Fixed or Spring Loaded – TC
- No Probe Supplied (For Integral Configurations) – NP
- No Probe Supplied (For Remote Configurations) – NP

#### 4. Special Requirements:

- CSA Group B Explosion-proof housing (applicable to remote housings only)
- Union Nipple 3-in. (IBL, II1, or II2 only) – N3

- Union Nipple 6-in. (IBL, II1, or II2 only) – N6
- High Accuracy RTD (IBL, II1, or II2 only) – HA
- Long Length RTD (over 12-in.) (IBL, II1, or II2 only) – LL
- Temperature Bath Calibration (4 points between -25 to 260°C (31 to 500°F) – TB
- Ceramic Terminal Block (required temperatures in excess of 290°F – applicable to remote housing)
- Other, Submitt drawings and/or Specifications – SR

1. Non-indicating transmitter require HART HC275 Hand Held Communicator or equivalent for setup and configuration purposes.

2. Hazardous Location housings are CSA Explosion Proof, Class I, Div I, Groups B, C, D; Class II, Groups E, F, G; Class III; CSA Enclosure 4.

3. Remote Transmitters required for temps. in excess of 120°C (250°F).

4. Spring loaded probes require thermowell for

CSA approval.

5. Probe length or Thermowell dimension must be specified.

6. Consult Factory when ordering transmitters with thermocouple input.

Sensor Input	Range, °F	Accuracy	Range, °C	Accuracy
Thermocouple Type B	+109 to +3,308°F	+/- 0.99°F	+43 to +1,820°C	+/- 0.55°C
Thermocouple Type C	+32 to +4,208°F	+/- 0.72°F	0 to +2,320°C	+/- 0.40°C
Thermocouple Type E	-454 to +1,832°F	+/- 0.18°F	-270 to +1,000°C	+/- 0.10°C
Thermocouple Type J	-346 to +2,129°F	+/- 0.27°F	-210 to +1,200°C	+/- 0.15°C
Thermocouple Type K	-454 to +2,502°F	+/- 0.27°F	-270 to +1,372°C	+/- 0.15°C
Thermocouple Type L	-328 to +1,652°F	+/- 0.27°F	-200 to +900°C	+/- 0.15°C
Thermocouple Type N	-454 to +2,372°F	+/- 0.36°F	-270 to +1,300°C	+/- 0.20°C
Thermocouple Type R	-58 to +3,214°F	+/- 0.81°F	-50 to +1,768°C	+/- 0.45°C
Thermocouple Type S	-58 to +3,214°F	+/- 0.90°F	-50 to +1,768°C	+/- 0.50°C
Thermocouple Type T	-454 to +752°F	+/- 0.18°F	-270 to +400°C	+/- 0.10°C
Thermocouple Type U	-328 to +1,112°F	+/- 0.18°F	-200 to +600°C	+/- 0.10°C
100Ω Platinum RTD DIN Curve (α = 0.00385)	-328 to +1,000°F	+/- 0.09°F	-200 to +540°C	+/- 0.05°C
100Ω Platinum RTD SAMA Curve (α = 0.003923)	-328 to +1,000°F	+/- 0.09°F	-200 to +540°C	+/- 0.05°C
Call Factory for 100Ω Ni, 120Ω Ni, and 10Ω Cu				
Millivolt	-15 to 115mV	+/- 0.006 mV		
Ohm	0 to 500 Ω	+/- 0.002 Ω		

# ANEXO C-6

## Transmisor de Corte de agua



MEASUREMENT SYSTEMS

NUFLO™

### Watercut Monitor

The NuFlo Watercut Monitor is a solid state electronic instrument that determines the percent watercut in an oil emulsion without requiring the physical separation of the fluids. The capacitance probe technique employed by the Watercut Monitor allows the emulsion stream to be continuously surveyed. The frequency generated by the capacitance probe oscillator is determined by the watercut of the emulsion stream in the probe. The Watercut Monitor compensates for the non-linear relationship between frequency and watercut by strictly digital techniques. The result is a 4-20mA output signal which varies linearly with watercut. The 4-20mA output of the Watercut Monitor may be a completely floating signal because of the use of opto-isolating circuitry. This mode of operation requires the optional isolating power supply board or the use of two external power supplies.

The Watercut Monitor may be operated with a single external power supply if a floating output signal is not required.

#### Specifications

##### Power Supply

- Watercut Monitor: 12-30 VDC, 150mA Max., 5mV peak to peak Max. ripple
- Analog Output: 24-48 VDC, 20 mA Max., 5mV peak to peak Max. ripple (Refer to Table 1)
- Temperature Range: 0-158°F
- Probe Size: 2-in.- 6-in. (Refer to Table 2)
- Probe End Connections: 2-in.- 6-in. (Refer to Table 2)
- Watercut Range: 0-100% Standard, other ranges available be special request
- Output: 4-20mA linear signal representing 0-100% watercut (standard)
- Accuracy: 1% over 0-100% range with homogeneous emulsion



#### Approvals

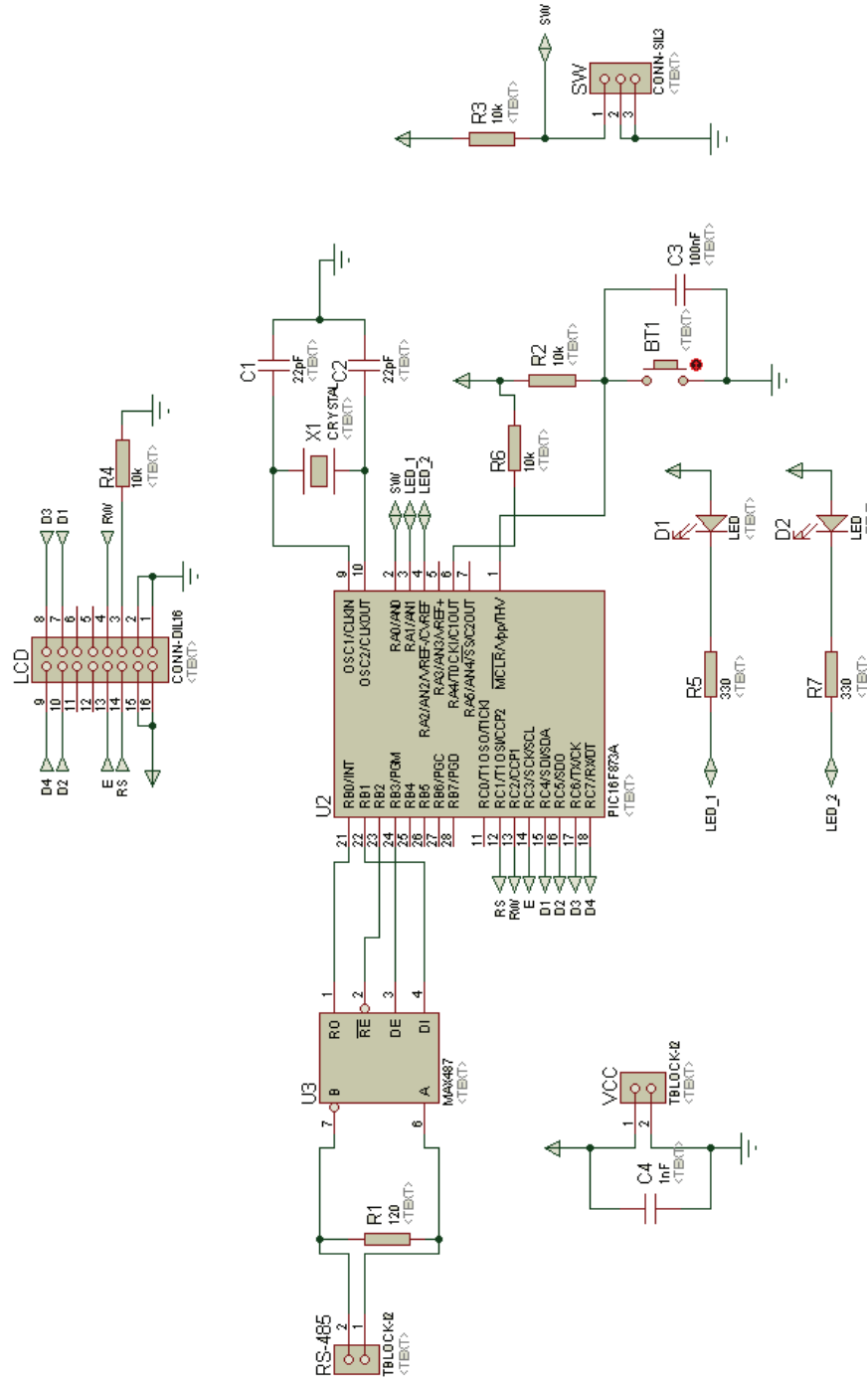
- Explosion Proof CSA
- EExia IIB T3

Table 1 – Current Loop Specifications

Supply Voltage	Maximum Load
24 VDC	450 ohm
28 VDC	600 ohm
32 VDC	700 ohm
40 VDC	800 ohm
48 VDC	1000 ohm

**ANEXO D**  
**Diseño de circuitos impresos**

# RAMA DE CONEXIONES – PLACA TIPO 1



## DIAGRAMA DE CONEXIONES – PLACA TIPO 2

