

**DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA ASIGNATURA DE
INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

DIEGO ANDRÉS AMOROCHO SUÁREZ

WILLIAM VERA PEÑA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011**

**DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA ASIGNATURA DE
INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

DIEGO ANDRES AMOROCHO SUAREZ

WILLIAM VERA PEÑA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

Director:

MIE ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICÓN

Codirector:

MIE JORGE ANDRES REYES VALDÉS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERIAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2011

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones por su espíritu de lucha en la formación de profesionales que aportan en el desarrollo de la región.

A nuestro director MIE Alfredo Acevedo y codirector MIE Jorge Reyes, por su valiosa colaboración, dedicación y orientación en la realización de este proyecto, ya que sus conocimientos en el área de la Instrumentación Electrónica facilitaron el desarrollo de este trabajo.

PhDc Néstor Raúl D´Croz, docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por su colaboración en el área de Mecánica de Fluidos.

Al grupo de estudiantes que conformaron el curso de Instrumentación Electrónica en el primer semestre de 2011, por su aporte en el diseño gráfico de los instrumentos medidores y actuadores del módulo propuesto.

DEDICATORIA.

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis familiares y amigos.

Quienes me apoyaron mutuamente en mi formación profesional y que hasta ahora, los considero a todos una sola familia

*A la **Universidad Industrial de Santander** y en especial a la **Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones** por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva*

Diego Andrés Amorocho Suárez

DEDICATORIA

*A Dios por darme la fuerza para salir adelante,
a mis padres por su incondicional cariño y amor,
por acompañarme y animar en aquellos momentos difíciles,
a mi hermana y a todos aquellos que hicieron
que esto fuera una realidad*

William Vera Peña

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
1. LA INSTRUMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA	17
1.1 Instrumentación de variables físicas.....	17
1.2 Bancos de instrumentación electrónica.....	18
1.3 Metodología de diseño del módulo didáctico	22
2. DEFINICIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO	24
2.1 Modificación del P&ID versión 1.0.....	27
2.2 Lazos de control del módulo didáctico.	31
2.2.1 Lazo de control de nivel [101].....	31
2.2.2 Lazo de control de presión [103 – 107]	32
2.2.3 Lazo de control de caudal [104 – 108].....	32
2.2.4 Lazo de control de temperatura [109].....	33
2.3 Sistema de medición de caudal multivariable [110].....	34
3. CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS Y RANGO DE OPERACIÓN DEL MÓDULO	35
3.1 Características de los fluidos de trabajo del módulo.....	35
3.2 Selección del rango de operación de las condiciones de los fluidos	36
3.3Lista de instrumentos del módulo	36
4. DISEÑO ESPACIAL.....	38
4.1 Selección del diámetro de tubería	38
4.2 Ubicación de los instrumentos.....	40
5. SELECCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL	44
5.1 Factores que determinan la selección de los instrumentos de medida y control.....	44
5.1.1 Características del fluido.....	44
5.1.2 Condiciones de instalación	44
5.1.3 Condiciones del entorno	44
5.1.4 Prestaciones de los instrumentos de medida y control.....	44
5.2 Cálculo de la potencia de las bombas de circulación y retorno del módulo.	45
5.2.1 Pérdidas de carga de energía del sistema.....	46

5.2.1.1 Pérdida de carga por fricción en la tubería.....	46
5.2.1.2 Pérdida de carga en accesorios.....	50
5.3.1 Bomba de circulación y retorno para flujo de agua.....	53
5.3.2 Bombas de circulación y retorno para flujo de aceite	53
5.4 Selección de los instrumentos de medida	57
5.4.1 Medición de presión manométrica.....	57
5.4.2 Medición de nivel.....	60
5.4.3 Detectores de nivel	61
5.4.4 Medición de caudal.....	62
5.4.5 Medición de temperatura	66
5.5 Selección de los actuadores.....	67
5.5.1 Válvulas de control.....	67
5.5.2 Válvulas solenoides.....	69
5.5.3 Variador de velocidad	71
5.6 Selección del sistema de monitoreo y control.....	71
6. Ingeniería de detalle	74
6.1 Presupuesto del módulo	74
6.2 Lista de instrumentación actuadores.....	75
6.3 Diagrama de instrumentos y tubería	76
6.4 Estructura del módulo	77
6.5 Diagrama de flujo de proceso	78
6.6 Hojas de datos.....	79
7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....	95
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96
ANEXOS.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Módulo didáctico Feedback dedicado al control de caudal y nivel en un proceso	19
Figura 2 Módulo didáctico de 4 variables desarrollado por la universidad León de España.....	20
Figura 3 Banco de pruebas para la medición de flujo bifásico agua-aceite.....	21
Figura 4 Diagrama de flujo para el diseño del módulo de Instrumentación Electrónica	23
Figura 5 Diagrama de flujo de procesos (PFD) del módulo a instrumentar.....	25
Figura 6 Diagrama de instrumentos y tubería (P&ID) versión 1.0	26
Figura 7 Manifolds, accesorio necesario para la instalación de un transmisor de presión	28
Figura 8 Esquema de medición de caudal multivariable mediante un caudalímetro Coriolis	28
Figura 9. Diagrama de instrumentos y tubería (P&ID) versión 2.0.....	30
Figura 10. Lazo de control de nivel del módulo	31
Figura 11. Lazo de control de presión del módulo.....	32
Figura 12. Lazo de control de caudal del módulo	33
Figura 13. Lazo de control de temperatura del módulo	33
Figura 14. Sistema de medición de caudal multivariable	34
Figura 15. Curva que relaciona el caudal, la velocidad del fluido con el diámetro de tubería.....	39
Figura 16. Vista superior del diseño estructural del módulo de instrumentación	42
Figura 17. Diseño estructural del módulo de instrumentación realizado en Autocad Plant 3D	43
Figura 18. Curva de factor de fricción vs número de Reynolds y rugosidad relativa.....	49
Figura 19. Factor de corrección de viscosidad para bombas pequeñas	56

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Selección del material de los instrumentos.....	97
Anexo B. Tipos de conexiones al proceso de los instrumentos.....	99
Anexo C. Características de las bombas.....	102
Anexo D. Válvulas de control.....	113

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA ASIGNATURA DE INSTRUMENTACION ELECTRONICA.*

Autor: DIEGO ANDRÉS AMOROCHO SUÁREZ**

WILLIAM VERA PEÑA

Palabras Claves: Controlador Lógico Programable (PLC), actuadores, P&ID, Identificación de Lazos, Planimetría.

En el presente trabajo se diseñó un módulo que permite hacer la medición de variables físicas como caudal, presión, nivel y temperatura de un proceso por medio de medidores de tipo industrial, los cuales, comunicados por medio de un controlador lógico programable, permitirán hacer control sobre dichas variables por medio del accionamiento de actuadores. Para llevar a término el diseño, se identificaron diferentes tecnologías utilizadas en la industria para la medición de cada una de las variables, teniendo en cuenta las características físicas del proceso. Seguido de esto, se analizaron los lazos de control necesarios para realizar acciones sobre el proceso, permitiendo con ello mantener algunas condiciones del proceso en un rango deseado. Posteriormente, se realizó la selección de los medidores y actuadores tipo industrial que permiten obtener las señales eléctricas de acuerdo a la variable medida y realizar acciones sobre el proceso.

Para la selección de los medidores y actuadores, se analizaron los productos de marcas reconocidas mundialmente en el ámbito industrial como Siemens, Emerson, Endress and Hauser y Honeywell debido a que sus productos ofrecen excelente garantía, desempeño y tradición cumpliendo con los requerimientos de la industria. Teniendo la selección de los elementos de medición y actuadores, se realizó el diseño espacial del módulo, teniendo en cuenta la ubicación apropiada de los instrumentos. Por último, se muestran los esquemas técnicos apropiados como los diagramas de instrumentación y tuberías (P&ID), numeración de los instrumentos, identificación de lazos y planimetría del módulo. Como resultado se entrega la ingeniería de detalle para la implementación de un módulo que permitirá acercar al estudiante al ámbito de la instrumentación y procesos industriales

* Proyecto de Grado

** Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico mecánicas, Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Director: Alfredo Acevedo Picón, Codirector: Jorge Reyes V.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A DIDACTIC MODULE FOR THE SUBJECT OF ELECTRONIC INSTRUMENTATION *

Author: DIEGO ANDRES AMOROCHO SUAREZ**

WILLIAM VERA PEÑA

KEYWORDS: Programmable Logic controller (PLC), actuators, (P&ID), identification of links, mapping

In the present study it was designed a module for the measurement of physical variables such as flow, pressure, level and temperature through a process of industrial gauges, which communicated by means of a programmable logic controller, will allow to control over these variables through the drive actuators. To carry out the design we identified different technologies used in industry for measuring the variables mentioned before, given the physical characteristics of the process. Following this, we analyzed the control loops required to perform actions on the process, thereby allowing to maintain certain process conditions in a desired range. Subsequently, makes the selection of gauges and industrial type actuators that allow electrical signals obtained according to the measured variable and perform actions on the process.

The selection of gauges and actuators, we analyzed the brand products in the industrial world as Siemens, Emerson, Endress and Hauser and Honeywell because their products offer excellent security, performance and tradition meet the requirements of the industry. With the selection of measurement instruments and actuators is performed spatial design of the module, taking into account the appropriate placement of the instruments. Finally, is performing the appropriate technical drawings and diagrams, piping and instrumentation (P & ID), numbering of instruments, identification of links and planimetry of the module. As a result, is delivers detailed engineering for the implementation of a module that will allow the student to bring to the field of instrumentation and industrial processes

* degree project

** Universidad Industrial de Santander, School of Mechanical Engineering Physics, School of Electrical Engineering and Telecommunications, Director: Alfredo Acevedo Picón, Codirector: Jorge Reyes V.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la evolución de la electrónica ha incidido notablemente en el avance tecnológico de los sistemas de medición y control industrial. Dicho avance ha permitido el desarrollo de la instrumentación electrónica y a su vez a crear mejores ambientes de trabajo en la industria, el cual es la principal motivación de este trabajo.

El objetivo del módulo es reproducir un proceso real a escala, presente en una planta industrial, donde se enfocará a realizar acciones de medición y control de las variables frecuentemente encontradas en la industria, mostrando una diversidad de tecnologías que se ajusten a las condiciones del proceso, con instrumentos de tipo industrial.

El texto inicia presentado los diversos módulos de instrumentación electrónica dedicados a labores académicas con el fin de ambientar espacios similares de la industria o en otras ocasiones realizar técnicas de medición multivariable, para dar respuesta a situaciones complejas de la industria, terminando esta sección con la metodología de diseño del módulo, donde se describen las actividades a realizar. En el capítulo dos se definen las variables a instrumentar y los lazos de control del modulo, el capítulo tres continua con las características de los fluidos a trabajar y el rango de operación de las variables, consecutivamente en el capitulo 4 se dimensiona el módulo espacialmente, finalizando el diseño en el capitulo 5 con la selección los instrumentos de medida y control. Finalmente el texto culmina en el capitulo 6 donde se realiza la ingeniería de detalle, la cual servirá para realizar las acciones futuras de análisis, compra e implementación por parte de la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

1. LA INSTRUMENTACIÓN EN LA INDUSTRIA

En el comienzo de la era industrial, el operario realizaba un control manual de las variables que regían el proceso, empleando instrumentos sencillos, como válvulas manuales y manómetros, era suficiente su control debido a la sencillez de los procesos. Día a día estos procesos necesitaban un control más ajustado, llevando con ello a la automatización de los procesos por medio de instrumentos de medición y control. Gracias a esto, el operario ha pasado a realizar la tarea de supervisión, mediante paneles ubicados en cuartos de control, la información del proceso es llevada mediante buses decampo que facilitan las comunicaciones entre el control central y los instrumentos ubicados en campo [1].

En la actualidad los procesos industriales demandan un control óptimo en los sistemas de producción mediante la transformación de materias primas, esto a llevado al aumento del campo de acción de la instrumentación en la industria, como lo es en áreas de la producción de los derivados del petróleo, el sector de alimentos, la siderurgica, la industria papelera, etc.

Frecuentemente se presenta en la industria la necesidad de conocer y entender el funcionamiento de los instrumentos y el rol que juega cada uno dentro del control del proceso. Así le ocurre al jefe o al operador del proceso, al proyectista y al ingeniero, al estudiante y a cualquier persona que esté involucrada o vaya a interactuar con el proceso, sin mencionar como es lógico al instrumentista o al técnico en instrumentos para quienes el tema es la esencia de su profesión.

1.1 INSTRUMENTACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS

En toda la diversidad de procesos industriales es absolutamente necesario controlar las magnitudes físicas que rigen el proceso, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, etc. Los instrumentos de medición y control permiten la regulación de estas variables en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar. Dado el avance en el escalamiento de los dispositivos electrónicos en las últimas décadas, ha permitido la evolución de los instrumentos de medida, esto ha llevado a implementar tecnologías de medición basadas en principios físicos que anteriormente no eran posibles, dadas las limitaciones en el procesamiento de la medición.

Aunque la gama de magnitudes físicas a supervisar es amplia y está determinada por la función en particular del proceso, en mayor grado está centrada en el control de caudal, presión, temperatura y nivel, aunque en otros casos la medición sea indirectamente, como lo es la instrumentación de caudal por medio de la caída de presión que relaciona la variación de velocidad producida por la inserción de una platina de orificio.

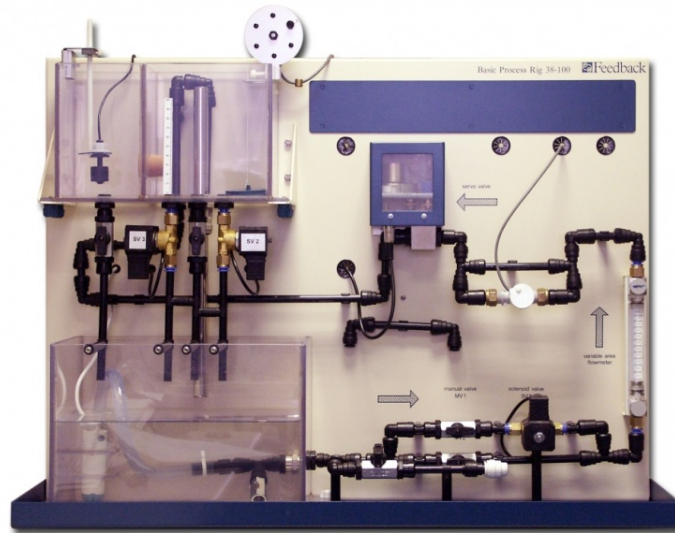
Existen diversas tecnologías que abarcan la medición de la misma variable física a instrumentar, como es el caso del nivel de un líquido en un recipiente, para esta situación es válido instrumentar esta variable por medio de un medidores como: presión hidrostática, presión diferencial o manométrica, ultrasónico, capacitivo, radar guiado o hasta una solución más compleja como un medidor de rayos gamma. Según la aplicación, el entorno de trabajo, la exactitud, la conexión al proceso, las características eléctricas, térmicas y dinámicas del fluido, favorece o no la selección de alguna tecnología.

1.2 BANCOS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Dada la importancia de la instrumentación electrónica en la industria, se han venido desarrollando módulos en el área de instrumentación electrónica para fines didácticos y de investigación, con el ánimo de crear ambientes similares para acercar al estudiante a la realidad industrial mediante el manejo de instrumentos involucrados en una planta industrial, pero también están aquellos módulos que buscan más que acercar al estudiante es analizar situaciones presentes en los procesos y formular alguna solución que satisfaga las necesidades de la industria.

Existen en el mercado compañías dedicadas al diseño de módulos didácticos en el área de automatización y control, como es el caso de Feedback o Festo entre otros, que ofrecen módulos desde el típico sistema de 4 tanques, aplicaciones específicas con PLCs, accionamientos hidráulicos-neumáticos, hasta sistemas de control de presión, nivel, temperatura y caudal en un mismo módulo. En la figura 1 se presenta un módulo dedicado al estudio de control de procesos, utilizando el nivel del líquido o el caudal como las variables a supervisar en el proceso. El módulo dispone sensores de nivel y caudal, válvulas solenoides, una válvula de control de caudal motorizada, además de presentar tanques transparentes para una comparación directa del nivel del líquido del proceso. [2]

Figura 1 Módulo didáctico Feedback dedicado al control de caudal y nivel en un proceso



Fuente:<http://www.feedback-group.com/product/level-and-flow-process-control-6060>

También se pueden encontrar módulos de instrumentación electrónica diseñados por grupos de investigación, como se presenta en la Universidad de León de España, el cual está enfocado a instrumentar variables industriales como: presión, temperatura, caudal y nivel, además de facilitar su operación, supervisando de manera remota mediante el uso de internet. En la figura 2 se presenta el banco de 4 variables diseñado por el Instituto de Automática y Fabricación de la Universidad de León, las características principales de este módulo son la amplia gama de operación, desde un simple control básico hasta un sistema de control avanzado multivariable, la diversidad de supervisión del proceso, desde un acceso en campo mediante la integración por medio de TCP-IP o hasta un acceso remoto mediante Web Server, sin pasar de alto que tanto los accionamientos como la instrumentación son todos de tipo industrial, dándole al módulo la característica de configuración mediante el protocolo HART, dada la calidad de los instrumentos. [3]

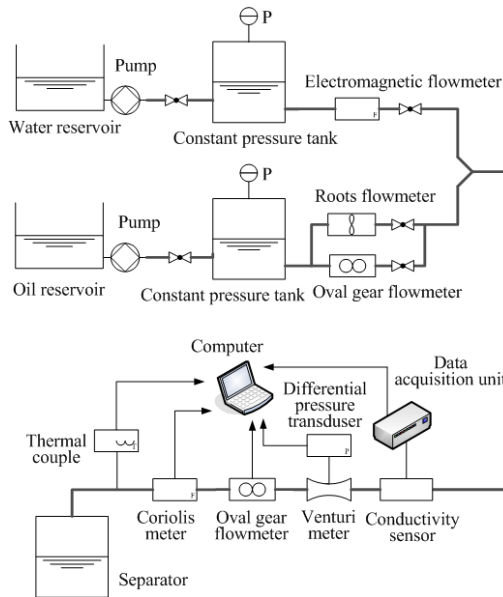
Figura 2 Módulo didáctico de 4 variables desarrollado por la universidad León de España



Fuente: Tomado de [3]

Más allá de módulos didácticos, se pueden encontrar bancos de pruebas, los cuales su principal característica es analizar el comportamiento de los instrumentos y proponer nuevas técnicas de medición para dar solución a situaciones presentes en la industria. En la actualidad se pueden encontrar procesos en industrias químicas, petroleras o farmacéuticas que manejan flujos bifásicos, aunque recientemente el medidor de Coriolis fue desarrollado, proporcionando una propuesta atractiva en la medición de flujo bifásico líquido-líquido. Sin embargo esta clase de medidores son costosos, surge entonces la necesidad de disminuir los costos y desarrollar técnicas de medición de flujo bifásico líquido-líquido más viables y sencillos. En esta área existen una cantidad de grupos de investigación dando respuesta a este problema actual, en la figura 3 se presenta un banco de pruebas dedicado a la medición de flujo bifásico agua-aceite basado en un medidor de flujo híbrido y una identificación de fase dominante, trabajo desarrollado por la Universidad Zhejiang en China. [4]

Figura 3 Banco de pruebas para la medición de flujo bifásico agua-aceite



Fuente: Tomado de [4]

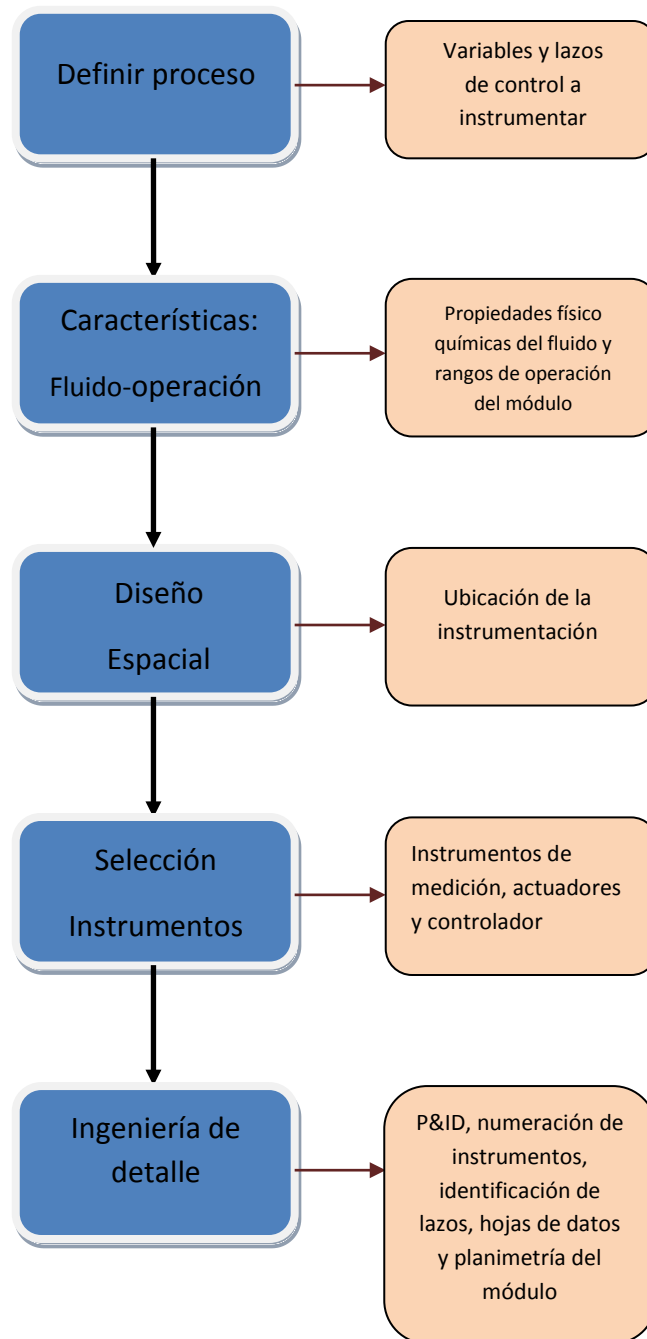
Este sistema de medición de flujo bifásico agua-aceite está compuesto de un medidor de flujo híbrido complementado con un identificador de fase dominante, la idea principal de este esquema de medición de flujo bifásico agua-aceite es esencialmente una combinación de dos medidores de caudal convencionales para determinar la densidad del fluido mediante el ajuste de la constante de medición generada en la identificación de fase dominante. La función de la identificación de la fase dominante es proporcionar la influencia de la fracción de aceite en la medición, esta tarea es desarrollada por un sensor de conductividad.

Dadas las especificaciones particulares de diseño de la instrumentación, la presencia de variaciones del proceso como cambio de la densidad del fluido, temperatura, viscosidad, conductividad o presión, generan un funcionamiento erróneo en menor o mayor grado, llevando con ello a una nueva calibración del instrumento en algunos casos, en otros el reemplazo por instrumentos multivariantes integrados.

1.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL MÓDULO DIDÁCTICO

La metodología de diseño del módulo se plantea en el diagrama de flujo de la figura 4, donde se establecen una serie de aspectos importantes a definir, como lo son las variables que se pretenden instrumentar, las características de operación del módulo, el tipo de instrumentación a realizar, pautas que incidirán en la selección de los instrumentos y por ende en las características que prestará el módulo. A continuación se presentan estos aspectos a tener en cuenta en el desarrollo del diseño.

Figura 4 Diagrama de flujo para el diseño del módulo de Instrumentación Electrónica



FUENTE: Autor

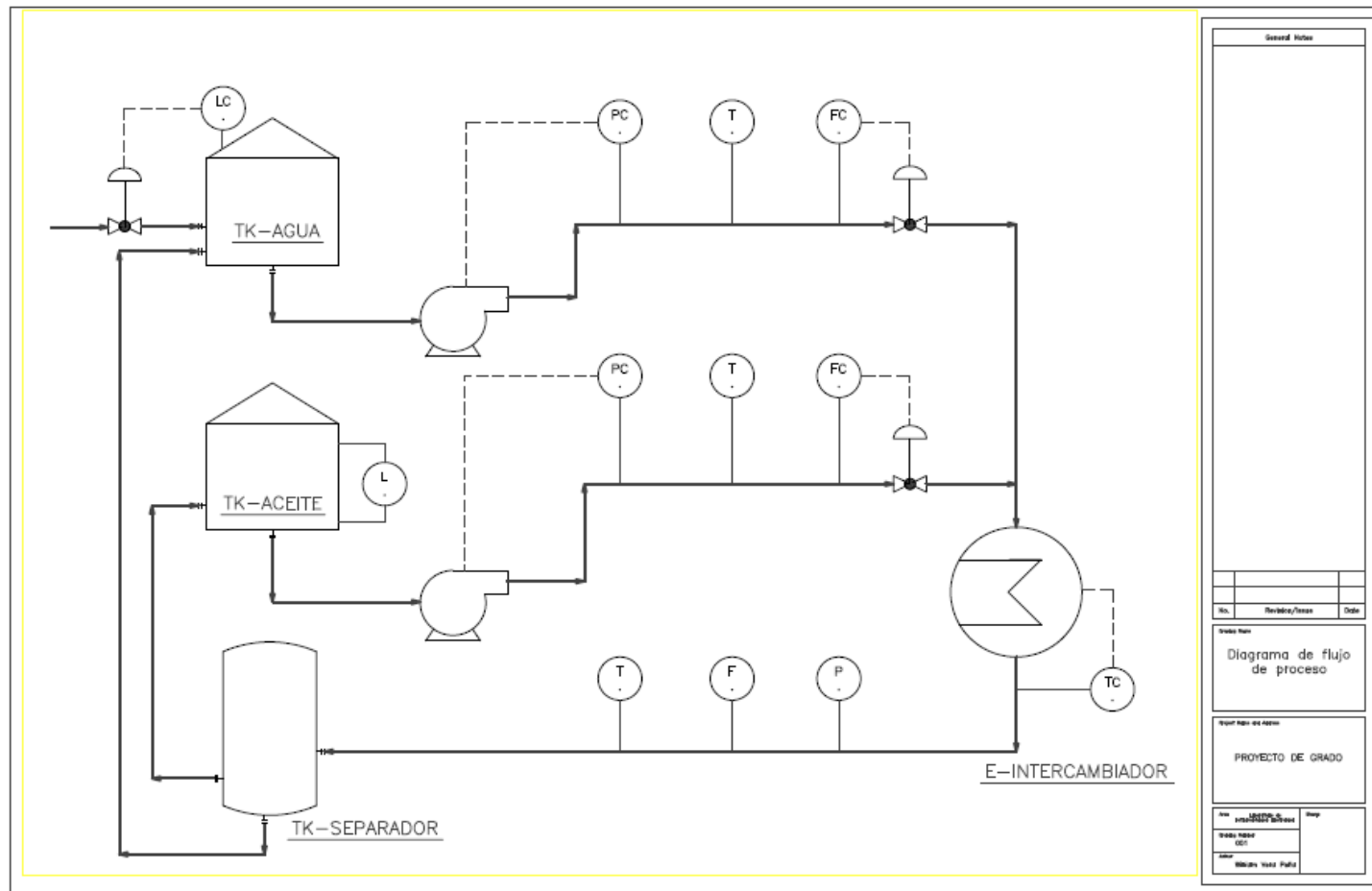
2. DEFINICIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

El criterio de diseño del módulo didáctico para la asignatura de instrumentación electrónica se basa principalmente en dos aspectos generales: en primer lugar ambientar un espacio de trabajo para el laboratorio de instrumentación electrónica lo más cercano a la industria, en el cual estén presentes las acciones de supervisión, control y adquisición de datos de las variables comúnmente encontradas en la industria, como son presión, caudal, temperatura y nivel, y en segundo lugar cambiar las condiciones del fluido con el animo de generar variaciones en la lectura de los medidores de caudal y realizar un ajuste de la medida con instrumentos adicionales. En la figura 5.se presenta el diagrama de flujo de proceso del módulo a instrumentar.

El módulo básicamente cuenta con dos líneas de fluido, agua y aceite antiemulsionante, el cual presenta la posibilidad de seleccionar 3 clases de fluidos, agua, aceite o flujo bifásico, en cada una de ellas se controla el caudal y la presión de manera independiente, el fluido entra a un intercambiador de calor donde se supervisa y controla la temperatura del fluido, luego se realiza una medición de caudal multivariable, gracias a instrumentos que aportan información acerca de las condiciones del fluido en la línea, finalmente el fluido regresa a los tanques de reserva o en el caso de flujo bifásico entrará a un separador, para así regresar a los dos componentes originales del fluido bifásico. Cuenta con la posibilidad de realizar un control SISO (single input single output) en variables como nivel (agua), caudal, presión y temperatura, o MIMO (multiple input multiple output) como es el caso de la presión-caudal variando la frecuencia de alimentación y la apertura de la válvula que controla el caudal.

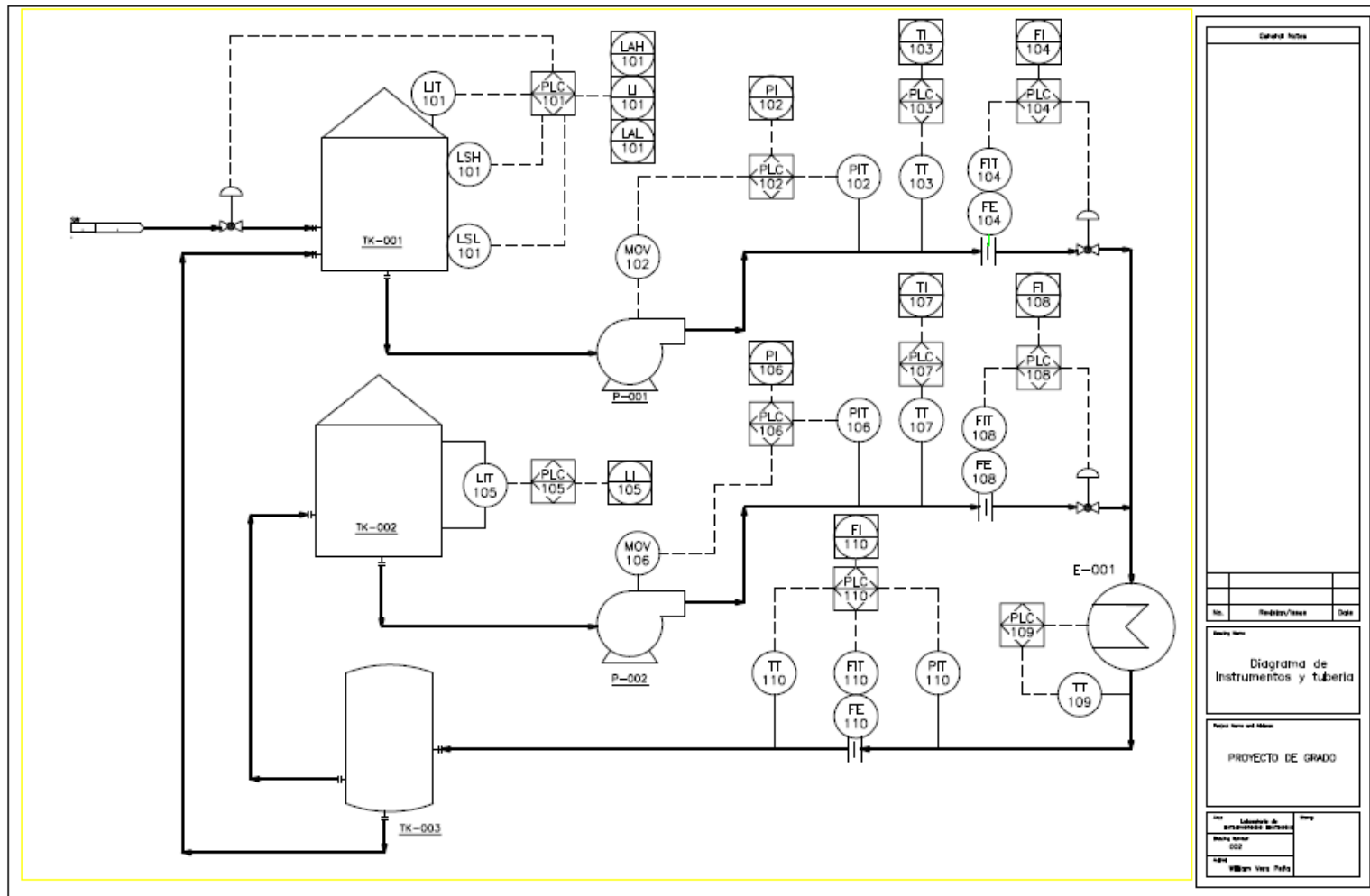
En la figura 6 se presenta el P&ID (Diagrama de instrumentos y tubería) versión1.0, el cual se baso en el diagrama de flujo de procesos mencionado anteriormente, con el animo de seleccionar los instrumentos que satisfagan las acciones del módulo.

Figura 5 Diagrama de flujo de procesos (PFD) del módulo a instrumentar



FUENTE: El Autor

Figura 6 Diagrama de instrumentos y tubería (P&ID) versión 1.0



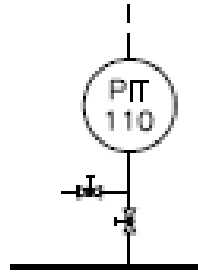
FUENTE: El Autor

2.1 MODIFICACIÓN DEL P&ID VERSIÓN 1.0

En el desarrollo del diseño del P&ID1.0 se pasaron por alto algunos aspectos a tener en cuenta, aunque estos no alteran la estructura mostrada en la primera versión si es importante presentarlos. A continuación se presenta estos aspectos, los cuales son un complemento del diseño inicial.

- Dada la necesidad de realizar un mantenimiento en el módulo, se deben instalar un juego de válvulas, ubicadas en la salida del fluido de los tanques y otro en el trayecto de retorno del fluido, con el animo de poder realizar limpieza a los tanques y a la tubería, para evitar formación de partículas que pueden llevar a la abrasión y corrosión del sistema.
- Capacidad de seleccionar el fluido que entra al separador, para un fluido que no sea bifásico (liquido-liquido) no existe la necesidad que entre al separador, por tal motivo se deben tener presente un juego de electroválvulas instaladas en la entrada y salida del separador.
- Ya que el perfil de velocidad del fluido se altera en menor grado por el transmisor de presión que el presentado por la RTD, utilizada para medir la temperatura del fluido, la cual antecede al caudalímetro, por tal motivo se cambia el orden de estos instrumentos.
- La instalación de transmisores de presión en la línea del proceso, necesita un manifolds, para las acciones de mantenimiento y limpieza del instrumento, esto se presenta a continuación.[5]

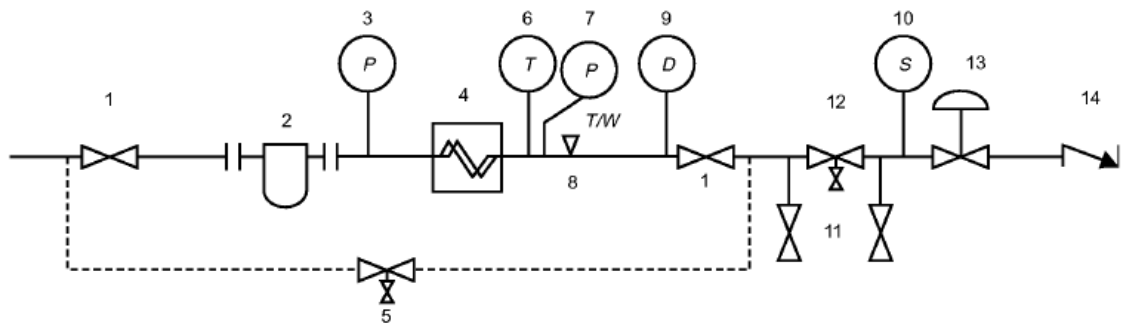
Figura 7 Manifolds, accesorio necesario para la instalación de un transmisor de presión



Fuente: El autor

- La medición de caudal por medio de una instrumentación multivariable tiene un esquema particular, el cual tiene un orden de los instrumentos definido, esta configuración se presenta a continuación, la cual es la recomendada por el Instituto de Petróleo Americano.

Figura 8 Esquema de medición de caudal multivariable mediante un caudalímetro Coriolis



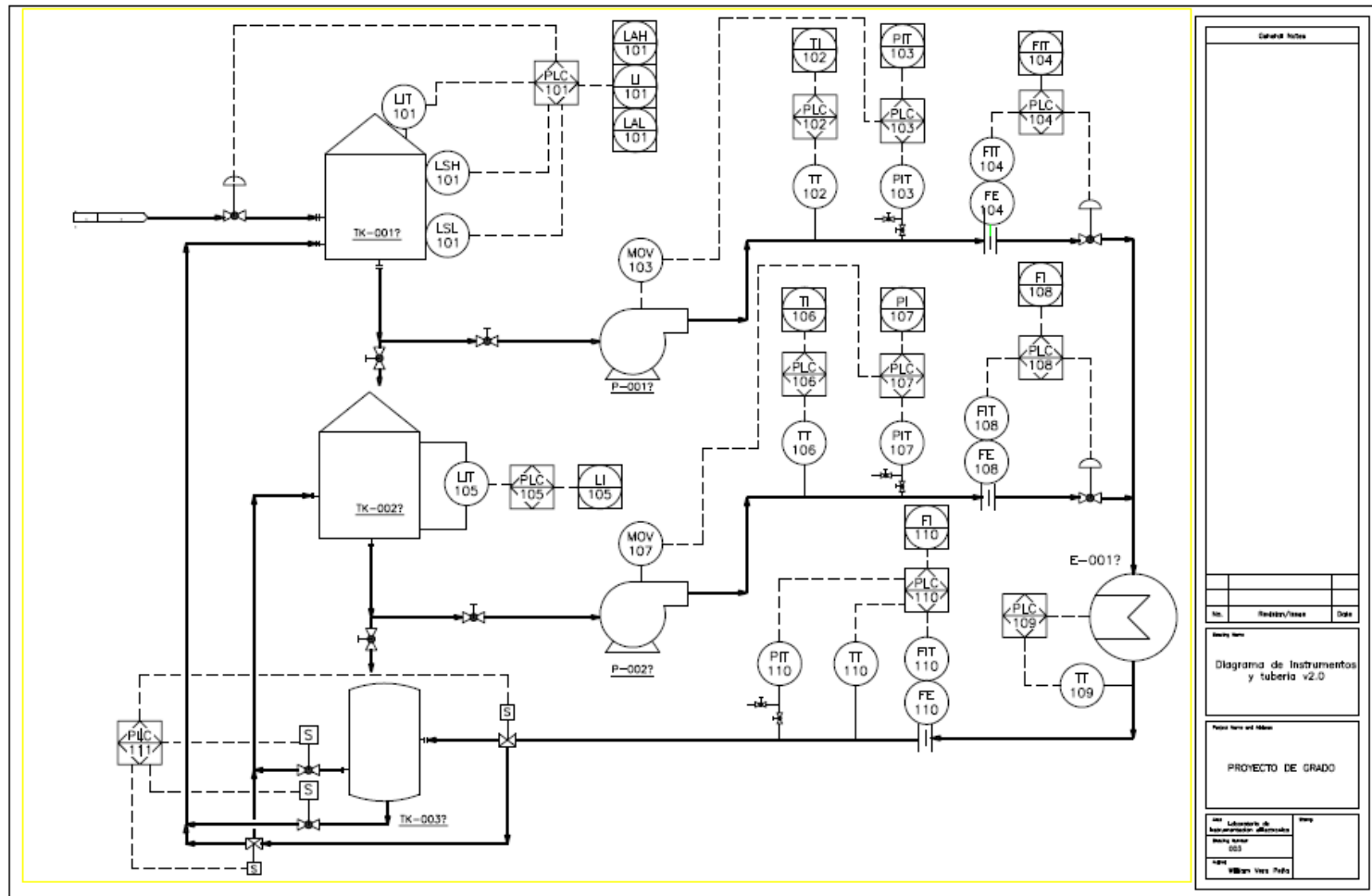
- | | |
|--|--|
| 1. Block valve | 8. Test thermowell (optional) |
| 2. Strainer/air eliminator (optional) | 9. Density measurement/verification point |
| 3. Pressure indicating device (optional) | 10. Manual sample point or autosampler (optional) with probe |
| 4. Coriolis meter | 11. Proving connection, block valves |
| 5. Meter bypass (optional) with block and bleed valve or blind | 12. Block and bleed isolation valve for proving/zeroing |
| 6. Temperature indicating device | 13. Control valve (as required) |
| 7. Pressure indicating device | 14. Check valve (as required) |

Fuente: API (American Petroleum Institute) [5]

- Debido a que el módulo genera condiciones de flujo multifásico, cabe la posibilidad de generar la facilidad para cursos superiores que se dediquen a la instrumentación de este tipo de fluidos y generen un esquema de medición que satisfaga estas necesidades presentes en la industria.

Estos aspectos mencionados anteriormente se encuentran reflejados en el P&ID versión 2.0 que se presenta en la figura 9, con el ánimo de dar mayor durabilidad al banco, efectuar mejor la medición de caudal y presentar un espacio de investigación en estudios superiores.

Figura 9. Diagrama de instrumentos y tubería (P&ID) versión 2.0



Fuente: El Autor

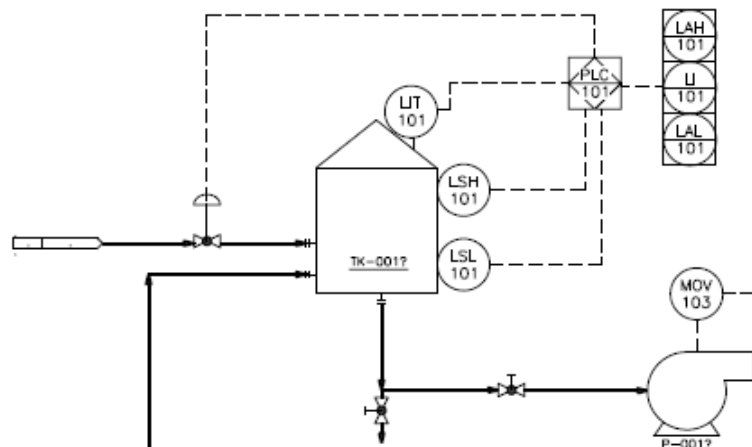
2.2 LAZOS DE CONTROL DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

El módulo cuenta con lazos de control de las variables comúnmente encontradas en el ámbito industrial, a continuación se describen cada uno de estos lazos con la funcionalidad que desempeña cada uno de sus componentes, cabe mencionar que la configuración del sistema de control es el esquema básico realimentado en cascada.

2.2.1 LAZO DE CONTROL DE NIVEL [101]

El sistema de control de nivel cuenta con un transmisor de nivel con salida de 4 a 20 [mA] proporcional al nivel del líquido en el tanque, señal que es recibida por el PLC el cual toma la acción correspondiente, enviando igualmente una señal de corriente a una válvula de control. Además el sistema cuenta con interruptores de alarma para nivel bajo y alto, que son activados mediante una señal de tensión de 10[v]. Tanto el nivel del tanque como las señales de alarma se pueden visualizar en la interfaz. Esta descripción se presente en la figura.10, el lazo de control de nivel esta constituido en el lazo de fluido de agua,

Figura 10. Lazo de control de nivel del módulo

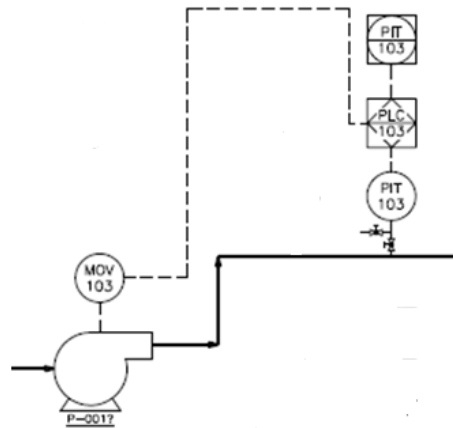


Fuente: El Autor

2.2.2 LAZO DE CONTROL DE PRESIÓN [103 – 107]

El sistema de control de presión esta compuesto de un transmisor de presión manométrico montado sobre la línea, el cual entrega una señal de corriente de 4 a 20 [mA] proporcional a la presión en línea generada por la motobomba, el PLC toma la acción de control y envía una señal de tensión de 0 a 10[v] a un variador, el cual varia la frecuencia de operación de la señal de alimentación de la bomba. El anterior esquema se aprecia en la figura 11, el lazo de control de la presión esta presente tanto en la línea de agua como en la de aceite.

Figura 11. Lazo de control de presión del módulo

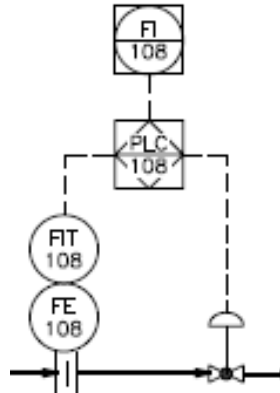


Fuente: El Autor

2.2.3 LAZO DE CONTROL DE CAUDAL [104 – 108]

El sistema de control de caudal esta conformado por un transmisor de caudal, el cual envía una señal de corriente de 4 a 20 [mA] al PLC, este a su vez ejecuta la acción de control y envía una señal de corriente de 4 a 20 [mA] a una válvula de control de caudal, esta última como primera instancia convierte la señal de corriente a presión y ejecuta la acción de control determinada por medio de un posicionador. El valor actual del caudal es visualizado en la interfaz. El lazo de control del caudal de la línea se presenta en la figura 12, tanto en la línea de agua como en la de aceite.

Figura 12. Lazo de control de caudal del módulo

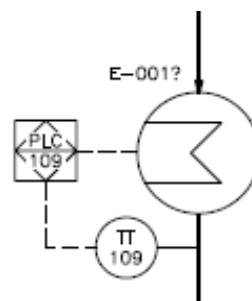


Fuente: El Autor.

2.2.4 LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA [109]

El sistema de control de temperatura está compuesto por un transmisor de temperatura, el cual envía una señal de corriente en lazo de 4 a 20 [mA] proporcional a la temperatura que presente el fluido a la salida del intercambiador, esta temperatura es recibida por el PLC, el cual toma la debida acción de control respectiva, enviando una señal al intercambiador para modificar el punto de operación. En la figura 13 se presenta la descripción anterior, el valor actual de la temperatura es visualizado en la interfaz.

Figura 13. Lazo de control de temperatura del módulo

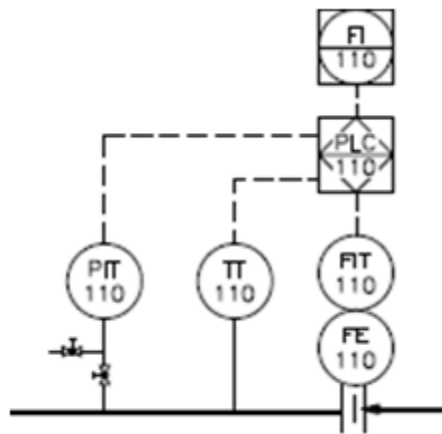


Fuente: El Autor.

2.3 SISTEMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL MULTIVARIABLE [110]

El módulo presenta además de caudalímetros convencionales en el sector industrial, un sistema de medición de caudal para diferentes densidades, efectuando una compensación de la lectura del caudalímetro mediante la toma de medida de temperatura y presión del fluido como se presenta en la siguiente figura.

Figura 14. Sistema de medición de caudal multivariable



Fuente: El Autor

NOTA: “Es preciso aclarar que tanto el diseño y selección del suministro de calor, el intercambiador y el tanque separador no hacen parte de los objetivos de este trabajo, sin embargo los autores tienen presente el efecto de estos en el desempeño del módulo “

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS Y RANGO DE OPERACIÓN DEL MÓDULO

La selección de los instrumentos de medida y control depende de las características del fluido que interviene en el proceso como lo son la densidad, viscosidad, conductividad y corrosión, también es primordial conocer las condiciones de operación del fluido como presión, caudal y temperatura para así tener un criterio de selección que se ajuste a las necesidades del proceso a instrumentar. A continuación se presentan las características físico-químicas de los fluidos, el rango de operación de las variables del modulo y el primer listado de instrumentos.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS DE TRABAJO DEL MÓDULO

Como se presentó en la definición del módulo, los fluidos a trabajar en el módulo son agua y aceite Mobil DTE10 Excel ISO 68, estas características se presenta a continuación a temperatura ambiente [20°C].

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del agua

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA	
Densidad	998,2 [kg/m ³]
Viscosidad dinámica	1.02x10 ⁻³ [Pa.s]
Constante dieléctrica	80

Fuente: Tomada de [8]

Tabla 2. Propiedades físico-químicas del aceite Mobil DTE10 Excel

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL ACEITE MOBIL DTE10 EXCEL	
Densidad	862,6 [kg/m ³]
Viscosidad dinámica	0.152[Pa.s]
Constante dieléctrica	0.02

Fuente: Mobil

3.2 SELECCIÓN DEL RANGO DE OPERACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LOS FLUIDOS

Para la selección del rango de operación de las condiciones del fluido (caudal, presión y temperatura), se tomó como criterio principal un funcionamiento a pequeña escala, fundamentado en dos aspectos: como primera medida la seguridad del módulo (presión y temperatura) y la segunda el tamaño del módulo (caudal), pero sin perder de vista el enfoque industrial del módulo, por tal motivo se realizó una vista previa de los rangos de operación bajos de las variables a instrumentar, esta búsqueda inicial se llevo a cabo en los principales fabricantes que dominan el mercado de la instrumentación electrónica, como lo son: Siemens, Honeywell, Emerson y Endress+Hauser. El rango de estas variables se presenta a continuación:

Tabla 3. Rango de operación de las condiciones del fluido

RANGO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL FLUIDO	
Temperatura	[20 - 70][°C]
Presión	[15 - 120][Psig]
Caudal	[0 - 90][lit./min]

Fuente: El Autor

Cabe mencionar que estos valores no son definitivos, son el punto inicial del diseño, de acuerdo al diseño del sistema hidráulico, la selección de los actuadores como la bomba y accesorios, establecerán las condiciones finales de operación del fluido en el módulo.

3.3 LISTA DE INSTRUMENTOS DEL MÓDULO

De acuerdo al diagrama de instrumentos y tubería del módulo presentados en la figura 9, donde se establecen los lazos de control, equipos y actuadores necesarios para realizar las acciones de supervisión y control, presentadas en el diagrama de flujo de procesos del módulo, presentado en la figura 5. Se presenta a continuación una lista de los instrumentos y actuadores necesarios para realizar las actividades selección y cotización correspondientes.

Tabla 4. Lista de instrumentos de medida

LAZO	DESCRIPCION DEL INSTRUMENTO
101	Transmisor indicador de nivel agua
101	Swicht de nivel bajo agua
101	Swicht de nivel alto agua
102	Transmisor de temperatura flujo de agua
103	Transmisor indicador de presión agua
104	Transmisor indicador de caudal agua
105	Transmisor indicador de nivel aceite
106	Transmisor de temperatura flujo de aceite
107	Transmisor indicador de presión aceite
108	Transmisor indicador de caudal aceite
109	Transmisor temperatura intercambiador
110	Transmisor indicador de caudal
110	Transmisor de temperatura
110	Transmisor indicador de presión

Fuente: El autor

Tabla 5. Lista de actuadores del módulo

LAZO	DESCRIPCION DEL ACTUADOR
101	Válvula de control de agua suministro
103	Bomba flujo de agua
103	Variador de bomba de caudal de agua
104	Válvula de control de caudal de agua
107	Bomba flujo de aceite
107	Variador de bomba caudal de aceite
108	Válvula de control de caudal de aceite
109	Intercambiador de calor
111	2 Válvulas solenoide de 3 vías 2 posiciones
111	2 Válvulas solenoide
X	4 Válvulas manuales
X	2 Válvulas de cheque

Fuente: El Autor

4. DISEÑO ESPACIAL

De acuerdo a las especificaciones de diseño iniciales y la lista de instrumentos, se procede a diseñar espacialmente el módulo, teniendo en cuenta la adecuada ubicación de los instrumentos de medida y generar un entorno de trabajo apropiado.

4.1 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE TUBERÍA

Para efectuar una correcta medición, principalmente caudal, se deben respetar algunas distancias mínimas entre instrumentos y accesorios de tubería, debido a la variación del perfil de velocidad del fluido al entrar en contacto con estos. Estas distancias vienen expresadas en función de diámetros de tubería, por otro lado el desplazamiento de los fluido presentan una disminución de presión, la cual es función de la velocidad media del fluido al cuadrado [7-9], por tal motivo se recomienda manejar fluidos con velocidades bajas, para razones de diseño se determino un intervalo inicial de velocidades entre [1–3] [m/s], a continuación se presenta algunos intervalos recomendados de velocidad.

Tabla 6. Intervalo recomendado de velocidad media del fluido

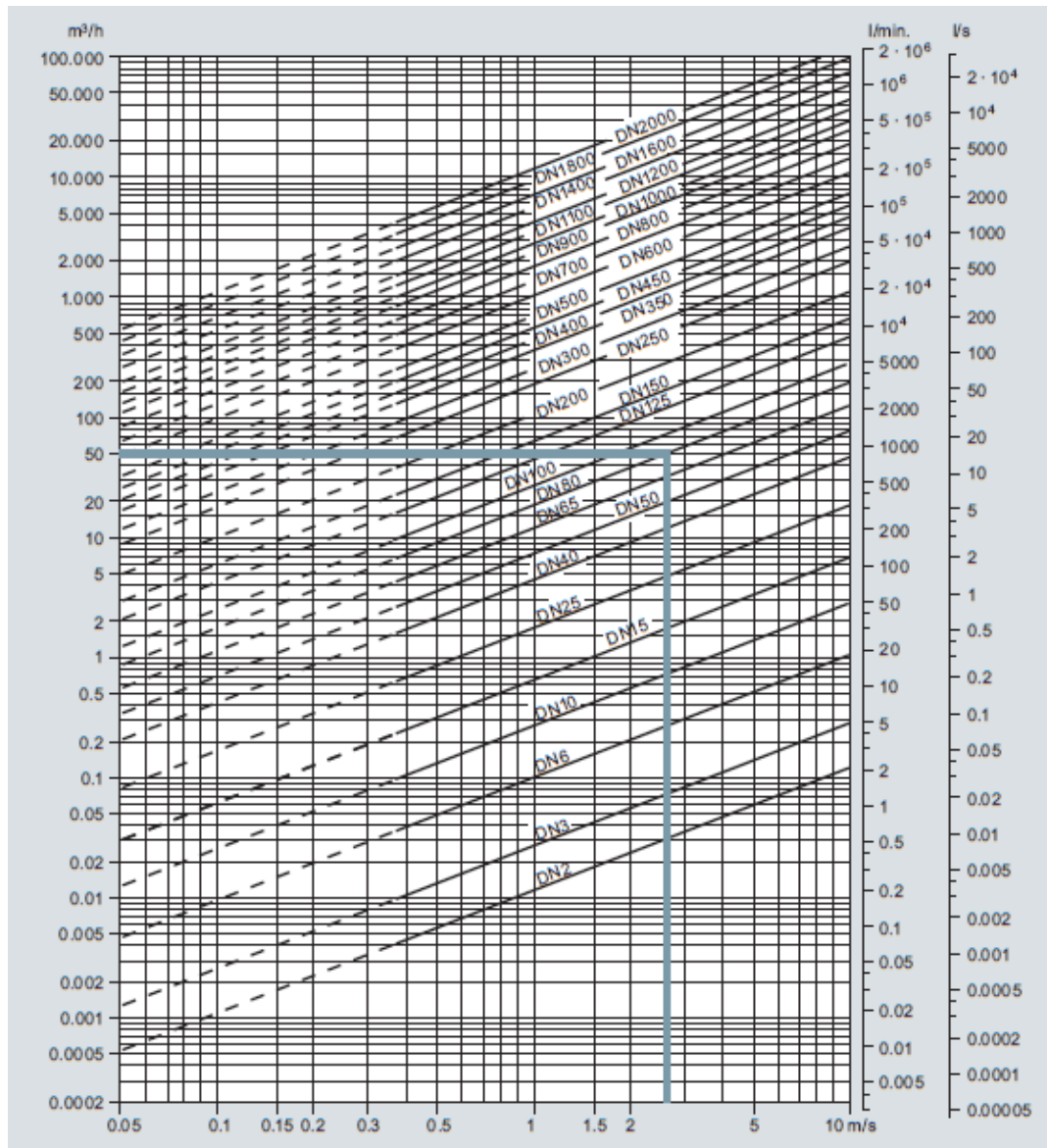
INTERVALO RECOMENDADO DE VELOCIDAD		
Tipo de servicio	ft/s	m/s
Línea de succión	[2 - 4]	[0,6 - 1,2]
Línea de retorno	[4 - 13]	[1,5 - 4]
Línea de descarga	[7 - 18]	[2 - 5,5]

Fuente: Tomado de [7]

Establecido los intervalos de caudal y de velocidad media del fluido en la línea de descarga, fluido impulsado por la bomba, se continúa a seleccionar el diámetro de

tubería, para tal motivo se utiliza la curva que se presenta en la figura 15, la cual relaciona el caudal, la velocidad media del fluido y el diámetro de tubería.

Figura 15. Curva que relaciona el caudal, la velocidad del fluido con el diámetro de tubería



Fuente: Siemens

Con base en esta curva, se determina un diámetro de tubería de 1 pulgada en la línea de descarga. Otra alternativa es mediante la ecuación 1[7] que se presenta a continuación:

$$Q = A \times V \quad \text{Ecuacion 1}$$

Donde Q es el caudal volumétrico, A es el área de la sección transversal de la tubería y V es la velocidad media del fluido.

4.2 UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

Como se menciona anteriormente, la ubicación de los instrumentos de medida generalmente debe mantener una distancia mínima entre instrumentos, actuadores y accesorios de tubería, esto se presenta principalmente en los caudalímetros, de acuerdo al tipo de tecnología varían estas distancias, por tal motivo se presenta a continuación estos valores típicos en valores de diámetros nominales de tubería.

Tabla 7. Distancias recomendadas aguas arriba y abajo de caudalímetros

DISTANCIA TIPICA EN CAUDALIMETROS		
Tipo de caudalímetro	Entrada [DN]	Salida [DN]
Platina de orificio	40	10
Tubo venturi	20	5
Sección variable	0	0
Desplazamiento	3	2
Turbina	20	5
Vortex	25	5
Electromagnético	10	5
Ultrasónico (Doppler)	20	5
Ultrasónico (Tiempo de transito)	15	5
Coriolis	0	0

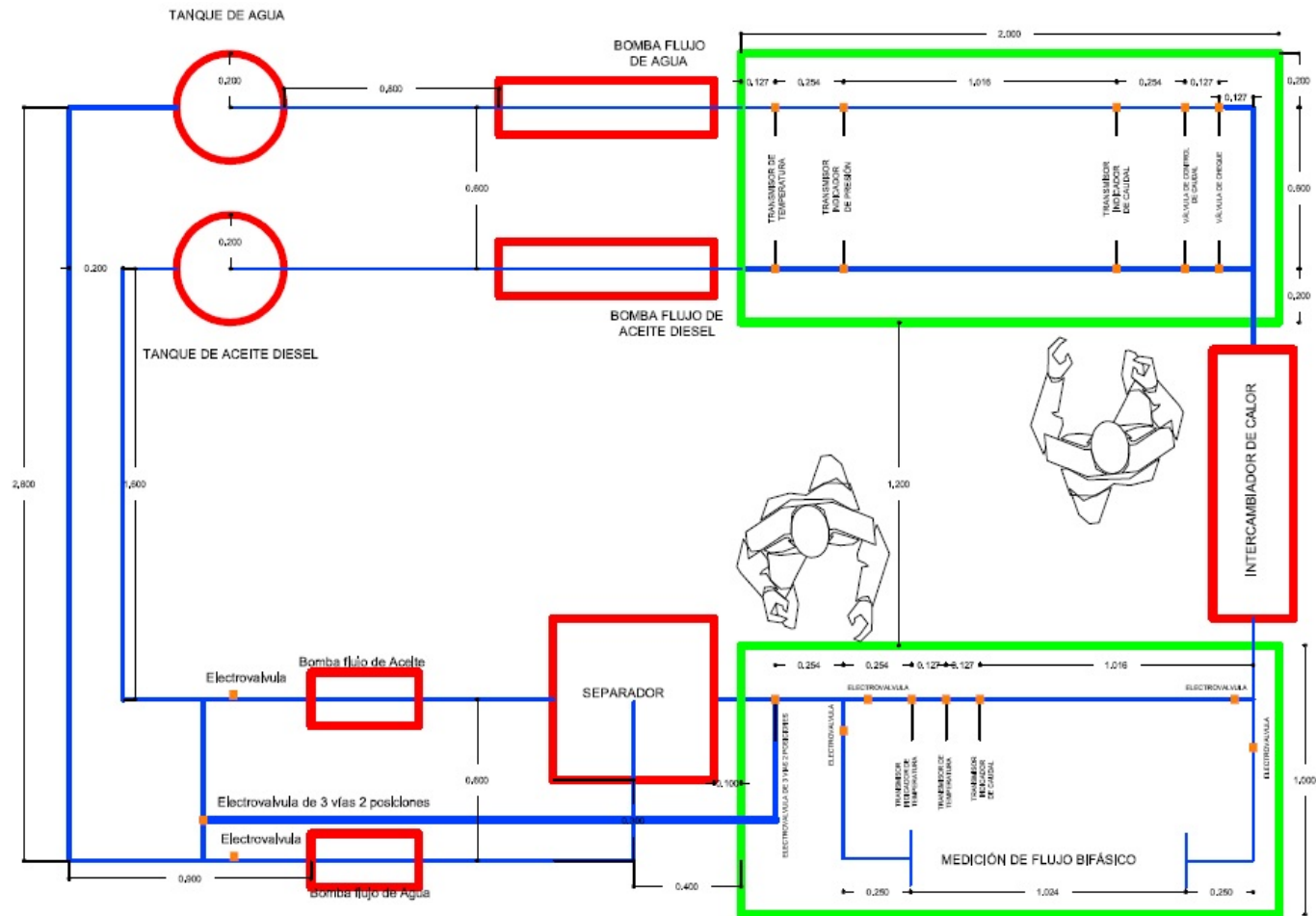
Fuente: Endress+Hauser

La ubicación de las tomas de presión estarán 10 diámetros de tubería aguas abajo de las tomas de temperatura de acuerdo al Instituto de Hidráulica, el cual recomienda que se debe mantener unas condiciones de flujo estable en el punto de conexión del instrumento, por tal motivo debe realizarse sobre un tramo de tubería de sección transversal constante y recta, 5 a 10 diámetros de tubería aguas abajo de cualquier codo, válvula u obstrucción, garantizando con esto condiciones estables del fluido.[10]

Para el caso de tomas de temperatura, válvulas y accesorios de tubería se mantendrán entre ellos 5 diámetros de tubería, y las recomendaciones anteriormente dichas para caudalímetros y manómetros. Tanto el intercambiador de calor como el separador están ubicados en puntos donde no afecte el perfil de velocidades del fluido, Las pautas anteriormente mencionadas se presentan en la vista superior del diseño arquitectónico del módulo en la figura 16 y una vista realizada en Autocad Plant 3D Demo, donde se aprecia de manera mas clara el diseño físico del módulo de instrumentación en la figura 17.

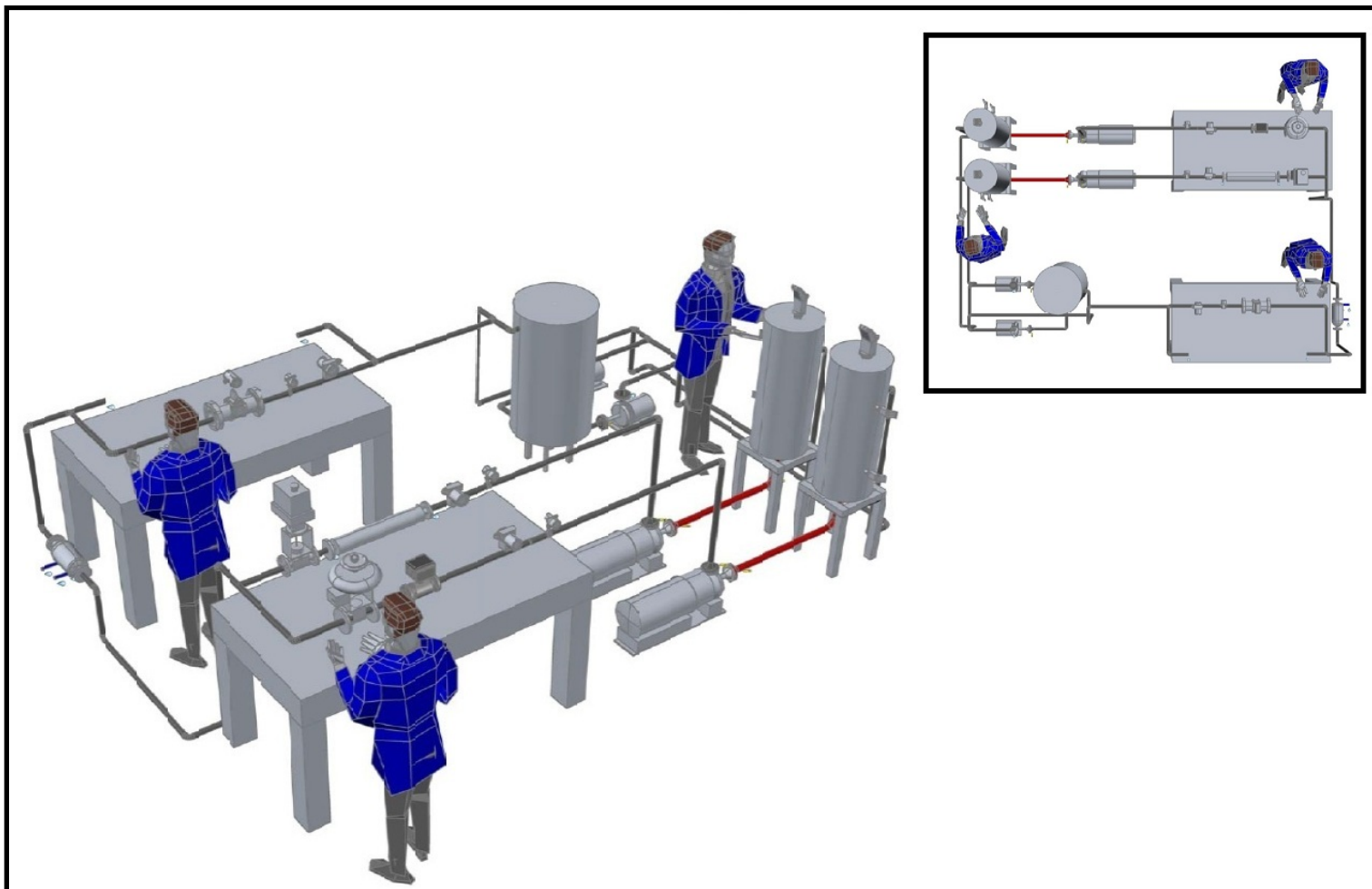
El tamaño de los tanques de reserva cilíndricos tienen un radio de 0.2 m y una altura de 1 m, garantizando con esto la existencia de fluido en e proceso.

Figura 16. Vista superior del diseño estructural del módulo de instrumentación



Fuente: El autor

Figura 17. Diseño estructural del módulo de instrumentación realizado en Autocad Plant 3D



Fuente: El autor

5. SELECCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION Y CONTROL

La selección de los instrumentos de medición y control es afectada por diversos factores como: características del fluido, instalación, condiciones del entorno y las prestaciones necesarias del instrumento de medida o control.

5.1 FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y CONTROL

5.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO

Entre estas características se pueden encontrar: el tipo de fluido (gas, líquido o mixto), presión de trabajo, temperatura de trabajo, densidad, viscosidad, corrosión y abrasividad.

5.1.2 CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Entre las condiciones de instalación están: diámetro nominal, tramos de entrada y salida, tipo de conexión al proceso, conexiones eléctricas, accesibilidad de servicio.

5.1.3 CONDICIONES DEL ENTORNO

Entre estas condiciones se encuentran: la protección y temperatura ambiente.

5.1.4 PRESTACIONES DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA Y CONTROL

En general estas prestaciones son: rangeabilidad, tipo de comunicación, tiempo de respuesta, adicionalmente en los instrumentos de medida: exactitud, deriva instrumental y certificaciones entre otros.

La selección de los instrumentos de medición y control del módulo se hace teniendo en cuenta las características de los fluidos y las condiciones de operación presentadas en las tablas 1-3 respectivamente. Se debe garantizar estas condiciones del fluido, por tal motivo se desarrollo un diseño hidráulico asegurando el retorno del fluido, tomando como base el diseño arquitectónico presentado en la figura 17, ya que el comportamiento de las magnitudes físicas que se instrumentarán depende de los fenómenos de transporte que presentan los fluidos.

5.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LAS BOMBAS DE CIRCULACIÓN Y RETORNO DEL MÓDULO.

El módulo cuenta con un sistema de bombeo de circulación y retorno, los cuales impulsan fluidos como agua y aceite cada uno, la selección de la bomba se hará primero para el fluido de agua en las líneas de circulación y retorno, posteriormente se realizará un factor de corrección para evaluar el desempeño de la bomba para el fluido de aceite. La potencia hidráulica que requiere el sistema, es suministrada por la bomba para satisfacer las condiciones del módulo en un punto de operación de trabajo [8], esta se expresa como:

$$P_A = H_A \gamma Q \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde P_A es la potencia de la bomba en watts, H_A es la altura manométrica en metros, γ es el peso específico del fluido, Q es el caudal en metros cúbicos por segundo y g es la constante de la aceleración de la gravedad. El cálculo de la altura manométrica de la bomba del sistema se realiza utilizando la ecuación general de energía, la cual relaciona las diversas formas de energía que se presenta en la trayectoria de un fluido, de un punto a otro [8], esta ecuación se presenta a continuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_A - H_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde $\left[\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}\right]$ es la energía debido a la presión, $[Z_1, Z_2]$ es la energía potencial y $\left[\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g}\right]$ es la energía cinética para cada punto respectivamente, H_A es la energía que se le agrega al fluido por medio de un dispositivo mecánico como es el caso de una bomba, H_L es la pérdida de carga del sistema debida a la fricción en tuberías y accesorios del sistema. Estableciendo las condiciones del fluido en los puntos A y B respectivamente y evaluando las pérdidas de carga se encuentra la energía que añade la bomba al fluido como:

$$H_A = \left[\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right] + [Z_2 - Z_1] + \left[\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right] + H_L \quad \text{Ecuación 4}$$

El caso de diseño crítico se establece en el punto de operación de caudal máximo, donde las pérdidas de presión debido a la fricción y accesorios son mayores. A continuación se determinan estas pérdidas.

5.2.1 PÉRDIDAS DE CARGA DE ENERGÍA DEL SISTEMA

En la ecuación general de energía, el término H_L se le definió como la pérdida de carga de energía del sistema. Esta pérdida de carga esta compuesta por el efecto de la tubería y accesorios, esto se presenta debido a la fricción y al cambio del perfil de velocidad.

$$H_L = \text{Perdidas}_{TUBERIA} + \text{Perdida}_{ACCESORIOS} \quad \text{Ecuación 5}$$

5.2.1.1 PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN EN LA TUBERÍA.

El cálculo de pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas en tubos cilíndricos, tanto para flujo laminar como para flujo turbulento se realiza mediante la ecuación de Darcy que expresa estas pérdidas en función de el factor de fricción, la energía cinética y la relación entre la longitud y el diámetro [8], esta ecuación se presenta a continuación:

$$H_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde f es el factor de fricción, L es la longitud de la tubería, D es el diámetro de la tubería y $\frac{V^2}{2g}$ es la carga de velocidad. El factor de fricción f depende del comportamiento laminar o turbulento del fluido, determinado por el número de Reynolds. El número de Reynolds determina la naturaleza del fluido, el cual

relaciona la fuerza inercial respecto a la fuerza viscosa. Así, un número de Reynolds grande indica el dominio de las fuerzas inerciales y un número bajo indicara el dominio de la viscosidad [7]. El número de Reynolds se denota como:

$$R = \frac{VD\rho}{\mu} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde V es la velocidad media del fluido, D es el diámetro de la tubería, ρ es la densidad del fluido y μ la viscosidad dinámica. En aplicaciones prácticas en tuberías encontramos que si el número de Reynolds en el fluido es menor a 2000, este será laminar, caracterizado por un flujo lento y ordenado, al contrario un número de Reynolds mayor a 4000, será turbulento y esta caracterizado por un flujo desordenado y rápido.

Factor de fricción en flujo laminar

En la situación de flujo laminar el factor de fricción depende inversamente del número de Reynolds [7], esto viene expresado como:

$$f_L = \frac{64}{R} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde f_L es el factor de fricción y R es el número de Reynolds.

Factor de fricción en flujo turbulento

En presencia de flujo turbulento, el factor de fricción depende de dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación entre relación del diámetro de la tubería D y la rugosidad promedio ε [7].

$$Rugosidad_{RELATIVA} = \frac{D}{\varepsilon} \quad \text{Ecuación 9}$$

La rugosidad dependerá del tipo de material y el método de fabricación. A continuación se presenta una tabla con algunos valores de rugosidad ε para tubos comerciales:

Tabla 8. Rugosidad de tubos comerciales

MATERIAL	RUGOSIDAD ε [m]
Vidrio	liso
Plástico	3.0×10^{-7}
Tubo extruido	1.5×10^{-6}
Acero comercial o soldado	4.6×10^{-5}
Hierro Galvanizado	1.5×10^{-4}
Hierro dúctil recubierto	1.2×10^{-4}
Hierro dúctil no recubierto	2.4×10^{-4}

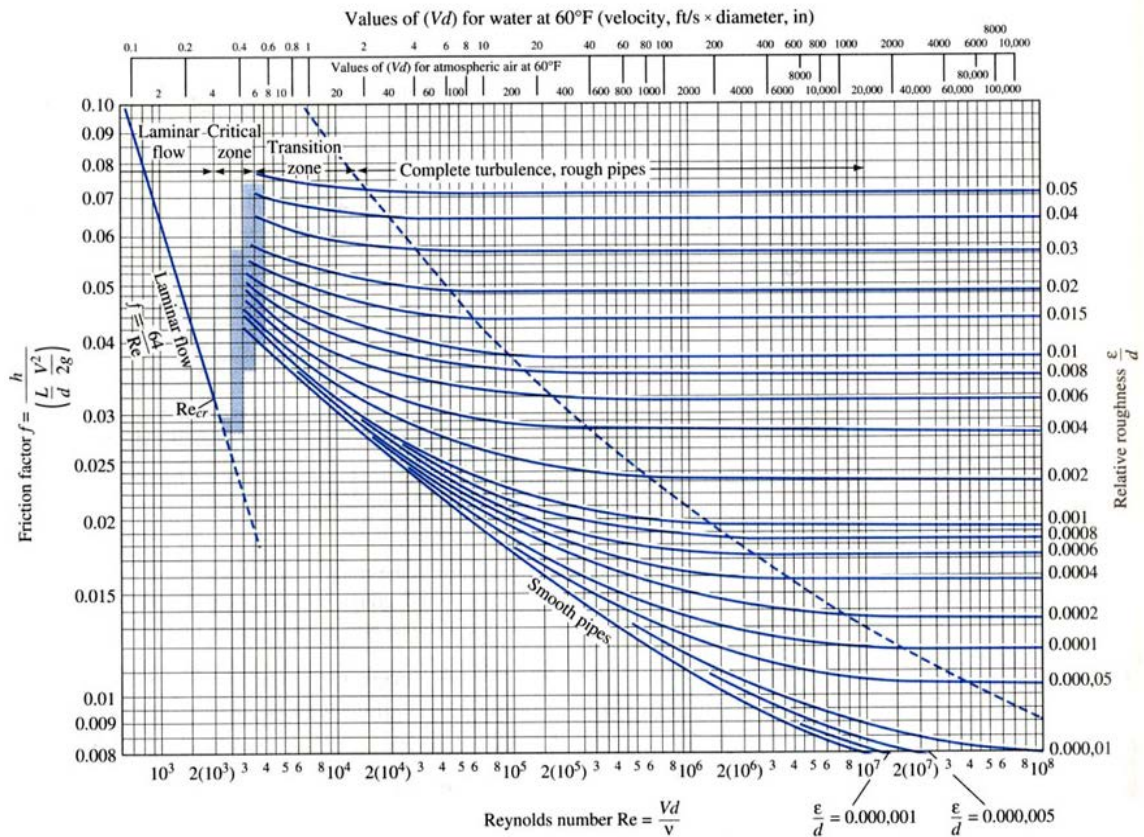
Fuente: Tomado de [7].

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción es emplear el diagrama de Moody, el diagrama muestra la grafica del factor de fricción f_L vs el número de Reynolds R, con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ε o en algunos casos ε/D , el factor de fricción se halla en la intersección del número de Reynolds y la rugosidad relativa, esta curva se muestra en la figura 18.

Un método alternativo para determinar el factor de fricción es por medio de la ecuación de P. K. Swamee y A. K. Jain que permite el cálculo del factor de fricción para flujo turbulento para rangos de rugosidad relativa entre 100 a 1×10^6 y números de Reynolds entre 5000 y 1×10^8 [7], esta ecuación se presenta a continuación:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{\epsilon}} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Figura 18. Curva de factor de fricción vs número de Reynolds y rugosidad relativa



Fuente: Tomada de [8]

Establecidas las características de los fluidos, se selecciona una tubería en acero inoxidable 304 dada su resistencia a la oxidación, factor que asegura la longevidad del sistema, además su baja rugosidad disminuirá las pérdidas producidas por la fricción, dada la presión máxima de diseño, la cual es 120 PSI se determina una clase 150 para la tubería. [10] Al evaluar el número de Reynolds de la ecuación 7 para la condición de pérdidas máximas, encontramos:

$$R = \frac{0.0254 \times 3 \times 998.2}{1.02 \times 10^{-3}} = 74571$$

Denotando el flujo como turbulento, procediendo a calcular el factor de fricción para una rugosidad de 4.6×10^{-5} y un diámetro de tubería de 1 pulgada, por medio de la grafica de Moody se obtiene un factor de fricción de 0.026. Tomando la distancia desde la salida del tanque de abastecimiento hasta la entrada del tanque separador de 6.75 [m] para el tramo de circulación del fluido de agua y 2.6 [m] en el tramo de retorno del fluido que interconecta la salida de la bomba hasta la entrada del tanque de reserva, se procede a evaluar la ecuación de Darcy para encontrar las pérdidas de tubería

$$H_{L-TUBERIA_{CIRCULACIÓN}} = 0.026 \times \frac{6.75}{0.0254} \times \frac{3^2}{2 \times 9.81} = 3.2 [m]$$

$$H_{L-TUBERIA_{RETORNO}} = 0.026 \times \frac{3.6}{0.0254} \times \frac{3^2}{2 \times 9.81} = 1.7 [m]$$

5.2.1.2 PÉRDIDA DE CARGA EN ACCESORIOS

Las pérdidas de carga debido a válvulas, codos y demás accesorios que cambian el perfil de velocidad se determinan similarmente que las pérdidas de carga debido a la fricción, en este caso se realiza mediante una relación de longitud equivalente en diámetros de tubería afectada por el factor de fricción del material del cual esta compuesto el accesorio en la zona de completa turbulencia. En la tabla 8 se presentan algunas longitudes equivalentes en diámetros de tubería para los accesorios más comunes.

De acuerdo a los accesorios presentados en el P&ID versión 2.0 de la figura 9, se presenta las pérdidas de carga debido a los accesorios en la tabla 10 y 11, en las líneas de circulación y retorno respectivamente, estas pérdidas se obtuvieron de manera similar que las pérdidas causadas por la fricción en la tubería, tomando como relación de longitud y diámetro de la tubería los valores mostrados en la tabla 8 y evaluando el factor de fricción en la zona de completa turbulencia. Las pérdidas de cargas debido a los accesorios de las líneas de circulación y retorno se presentan en las tablas 10 y 11 respectivamente.

Tabla 9. Longitud equivalente en diámetros de tubería de accesorios

TIPO	LONGITUD EQUIVALENTE EN DIAMETROS DE TUBERIA L/D
Válvula de globo - 100%	340
Válvula de ángulo - 100%	150
Válvula de compuerta - 100%	8
75%	35
50%	160
25%	900
Válvula de verificación-tipo giratorio	100
Válvula de verificación tipo bola	150
Válvula de mariposa-100% [2"-8"]	45
[10"- 14"]	35
Válvula de pie-tipo vástago	420
Válvula de pie-tipo bisagra	75
Codo estándar a 90º	30
Codo estándar a 90º de radio largo	20
Codo roscado a 90º	50
Codo estándar a 45º	16
Codo roscado a 45º	26
Vuelta cerrada de retorno	50
Te estándar de flujo directo	20
Te estándar de flujo ramal	60

Fuente: Tomado de [7]

Tabla 10. Pérdidas de carga del módulo debida a los accesorios en la línea de circulación

PERDIDA DE CARGA PRODUCIDO POR ACCESORIOS		
Cantidad	Accesorio	Pérdida [m]
3	Codo a 90º roscado	1.7
1	Válvula de globo	3.74
2	Electroválvula	3.3
4	Instrumentos de medida	0.35
1	Intercambiador de tubos	5
	TOTAL	14.09

Fuente: El autor

Tabla 11. Pérdidas de carga del módulo debida a los accesorios en la línea de retorno

PERDIDA DE CARGA PRODUCIDO POR ACCESORIOS		
Cantidad	Accesorio	Perdida [m]
6	Codo a 90º roscado	3.3
1	Válvula de cheque tipo bola	1.7
	TOTAL	5.0

Fuente: El autor

Para realizar el cálculo de la altura manométrica de la bomba en el tramo de circulación, se establecen las condiciones de energía en el punto A mínimas y las condiciones deseadas en la entrada del tanque separador, de igual forma se realizan en el tramo de retorno, con lo cual encontramos:

$$H_{ACIRCULACION} = \left[\frac{275800 - 4890.2}{998 \times 9.81} \right] + [1 - 0] + [3.2 + 14.09] = 45.96 [m]$$

$$H_{ARETORNO} = \left[\frac{9780.4 - 4890.2}{998 \times 9.81} \right] + [0.5 - 0] + [1.7 + 5] = 7.7 [m]$$

NOTA: La línea de retorno se refiere a las bombas que retornan los fluidos después del separador a los tanques.

Con el paso anterior estamos en capacidad de estimar un valor tentativo de la potencia hidráulica necesaria de las bombas que alimentaran los tramos de circulación y retorno que satisfacen las condiciones del sistema.

$$P_{ACIRCULACION} = 45.96 \times [998 \times 9.81] \times 0.0015 = 675 [W]$$

$$P_{ARETORNO} = 7.7 \times [998 \times 9.81] \times 0.0015 = 113 [W]$$

5.3.1 BOMBA DE CIRCULACIÓN Y RETORNO PARA FLUJO DE AGUA.

Teniendo en cuenta las pérdidas mencionadas en la sección 5.1, donde se calcularon las pérdidas de carga de energía del sistema por tubería y accesorios para el tramo de circulación del proceso, el cual da un valor de 45.96 metros el cual corresponde, a las pérdidas de carga de energía máximas requeridas para obtener una presión de 40 PSI en la entrada del separador.

Entre los fabricantes que se encuentran en el mercado industrial, se seleccionaron marcas como Pedrollo, IHM y Barnes, los cuales se consiguen en el mercado local y además ofrecen garantía, desempeño y tradición en la industria. En las tablas 12 y 13 se presenta una selección previa de cada uno de estos fabricantes los cuales cumplen con los requisitos necesarios para el sistema. Aunque la bomba Barnes no es la solución más económica, ofrece la curva de eficiencia, la cual se utiliza para estimar la potencia al freno que requiere la bomba en el sistema de flujo de aceite.

5.3.2 BOMBAS DE CIRCULACIÓN Y RETORNO PARA FLUJO DE ACEITE

Para la selección de estas bombas, se realiza nuevamente el cálculo de la altura manométrica, la potencia hidráulica y la potencia de frenado, para así evaluar el desempeño de la bomba mediante el factor de corrección dada la viscosidad del aceite Móvil DTE10 Excel. La viscosidad del fluido afecta notablemente el desempeño de la bomba, el aceite del modulo tiene una viscosidad de 310 SSU a 25°C, utilizando el factor de corrección mediante la curva presentada en la figura 19 se obtiene: una altura manométrica prácticamente constante, una disminución del 16% del caudal y una disminución notable de la eficiencia en un 44%.

Al evaluar las condiciones del proceso, con las mismas condiciones de caudal y presión a la entrada del tanque separador, se requiere una potencia mayor a la suministrada por la bomba de circulación, por tal motivo se ajusto el proceso para un caudal de 70 [l/min], obteniendo con esto un rango de operación de caudal menor, pero satisface las características de operación del motor que alimenta la bomba. Estos ajustes se presentan en la tabla 14.

Tabla 12. Bombas centrífugas para caudal de circulación de agua y aceite

BOMBAS CENTRIFUGAS PARA CIRCULACION DE FLUJO DE AGUA

Características principales del instrumento



	Pedrollo	Barnes	IHM
Empresa	Pedrollo	Barnes	IHM
Referencia	CP200	MHE 203 -3	3X18-7.5
Caudal máximo (l/min)	150	205	170
Diámetro de entrada de la tubería	1.25"	1.25"	1.5"
Diámetro de Salida de la tubería	1"	1"	1.25"
Temperatura máxima del proceso (°C)	60	70	60
Tensión de alimentación (V) Trifásico	230/400	220/240	220/240
Corriente de alimentación (A)	7.3/4.2	7/3.5	7.3
Potencia (HP)	3	3	7.5
Altura manométrica a 90 [Lit/m]	48	46	57
Precio	\$ 793.000	\$ 1'380.000	\$ 2'180.000

Fuente: El autor

Tabla 13. Bomba centrífuga para caudal de retorno de agua y aceite

BOMBAS CENTRIFUGAS PARA RETORNO DE FLUJO DE AGUA

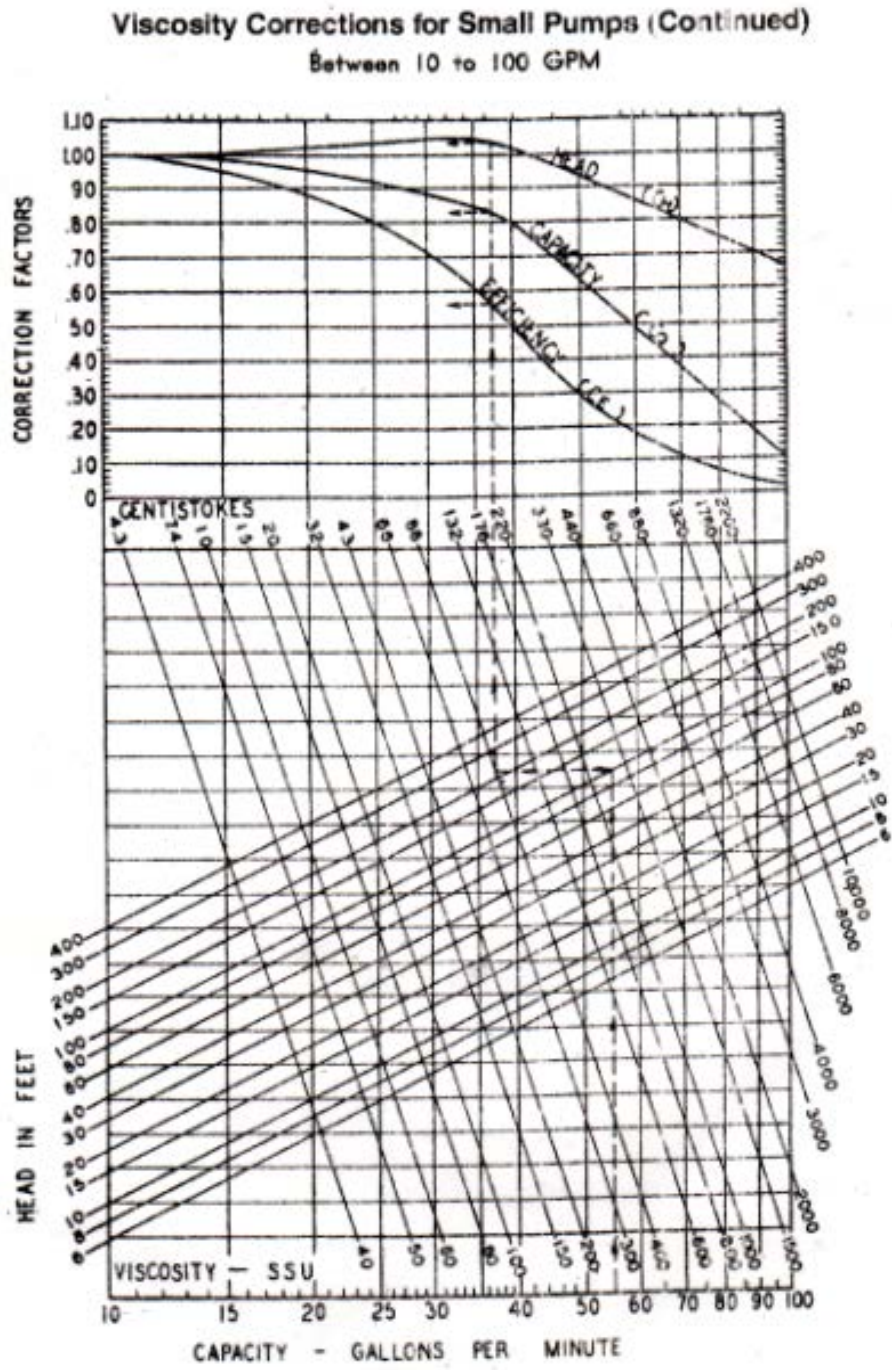
Características principales del instrumento



	Pedrollo	Barnes	IHM
Empresa	Pedrollo	Barnes	IHM
Referencia	CPm130	C-205	CD1-0.5
Caudal máximo (l/min)	80	120	140
Diámetro de entrada de la tubería	1"	1.25"	1.25"
Diámetro de Salida de la tubería	1"	1"	1"
Temperatura máxima del proceso (°C)	60	70	60
Tensión de alimentación (V) Monofásico	115/220	115/230	115/220
Corriente de alimentación (A)	7.3/4.2	10.4/5.2	7.3
Potencia (HP)	0.5	0.5	0.5
Altura manométrica a 90 [l/min]	14	16	14
Precio	\$ 333.000	\$ 288.000	\$ 220.000

Fuente: El autor.

Figura 19. Factor de corrección de viscosidad para bombas pequeñas



Fuente: Hydraulic Institute

Tabla 14. Ajuste de parámetros en la línea de circulación de aceite

PARAMETROS DEL PROCESO FLUJO DE ACEITE [Línea de circulación]		
Caudal [L/min]	90	70
Numero de Reynolds	432,4	335,86
Factor de fricción	0,148	0,19
Perdidas tubería [m]	16,3438	12,73
Perdida accesorios [m]	14,09	14,09
Altura manométrica [m]	59,16	54,46
Potencia hidráulica [hp]	1,02	0,72
Potencia al freno [hp]	3,99	2,86

Fuente: El autor.

5.4 SELECCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA

La selección de los instrumentos de medida se realizó con base en las características del fluido mencionadas en el capítulo 3, las condiciones de instalación presentadas en el capítulo 4, las prestaciones de los instrumentos de medida son de tipo industrial gama baja, dada la necesidad de ambientar un espacio real en el modulo. A continuación se presenta la instrumentación de las variables del módulo: presión, caudal, nivel y temperatura.

5.4.1 MEDICIÓN DE PRESIÓN MANOMÉTRICA.

Al evaluar la caída de presión en las tomas de presión manométrica, en los lazos de control de presión 103 y 107, en el intervalo de caudal definido en las líneas de agua [30-90][l/min] y aceite [30-70][l/min], se encuentra el rango de variación de presión en estos puntos del módulo, además se evaluó el rango de presión en el sistema de medición multifásico 110, estos rangos se presentan en la tabla 13. Dada la similitud de presión máxima en cada uno de estos puntos de medición, se presenta las posibilidades de selección para los transmisores de presión manométrica en la tabla 15.



Tabla 15. Rango de presión de los transmisores de presión manométrica.

RANGO DE PRESIONES EN EL MODULO [Psi]		
Transmisor de presión	Mínimo	Máximo
103	85,3	120,9
107	78,61	117,51
110	40	100.29

Fuente: El autor

Los transmisores de presión montados sobre la línea de proceso, se deben instalar por medio de un manifold, el cual permite el remplazo del instrumento sin necesidad de parar el proceso además de facilitar la calibración del instrumento en campo. A continuación se presenta dos opciones a tener en cuenta:

Tabla 16. Manifolds, sistema utilizado en la instalación de transmisores de presión

MANIFOLDS		
Características		
Fabricante	Siemens	Rosemount
Referencia	7MF9401-7BA	306
Conexión	G ½	1/2 14 NPT FM
Precio	\$ 438.000	\$ 481.152

Fuente. El autor

Tabla 17. Transmisor de presión en lazos 103,107 y 110

TRANSMISOR DE PRESION MANOMETRICO

Características principales del instrumento



Marca	SIEMENS	ROSEMOUNT	HONYWELL	ENDRESS+HAUSER
Modelo	SITRANS P DS III	2088	STG14L	PMC71
Rango	[0 -232] [Psig]	[0 - 150] [Psig]	[0 - 500] [Psig]	[0 – 145.04] [Psig]
Span	100 a 1	20 a 1	100 a 1	10 a 1
Exactitud	± 0,075% UVR	± 0,100% UVR	± 0,100% UVR	± 0,075% UVR
Deriva	±0,25% ×5años	±0,1% ×1 año	±0.01% × año	±0,05% ×1 año
Señal de salida	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART
Conexión al proceso	ROSCA 1/2 NPT FM	ROSCA 1/2 NPT F	ROSCA ½ NPT FM	ROSCA 1/2 NPT FM
Precio	\$ 1'467.400	\$ 3'759.840	\$ 1'727.725	\$ 5'106.270



Fuente: El autor

Entre las cuatro opciones se opto por el transmisor manométrico SIEMENS, presenta excelente exactitud y span además de tener un precio notablemente mas bajo, comparado con instrumentos de características similares

5.4.2 MEDICIÓN DE NIVEL

El módulo cuenta con instrumentos de medición de nivel continua en los tanques de almacenamiento de agua y aceite en los lazos 101 y 105 respectivamente, dadas las características dieléctricas, la ausencia de espuma y la baja viscosidad del agua se selecciona un transmisor de nivel capacitivo para el lazo 101, dada la corta variación de temperatura en el interior del recipiente, la cual no provocará vapor, se selecciona un transmisor de nivel ultrasónico para el lazo 105. Una selección previa de estos instrumentos se presenta en las tablas 16 y 17.

Tabla 18. Transmisores de nivel capacitivo lazo 101

TRANSMISORES DE NIVEL CAPACITIVO			
Características del instrumento			
Fabricante	Siemens	Endress+hauser	Vega
Referencia	LC300	LIQUICAP T FM121	VEGACAL 63
Rango de medida	1.66- 3300 [pF]	0 – 2000 [pF]	0 – 3000 [pF]
Exactitud	± 0,5% de escala	± 1% FS	± [0,25% FS+0,025%S]
Longitud de sonda	0,3 – 5 [m]	0,15 – 2,5 [m]	0,1 – 6 [m]
Conexión	NPT 1"	NPT 1 -1/2"	G 1 ^a
Precio	\$2'683.080	\$ 2'500.848	\$ 3'100.000

Fuente: El autor

Entre las tres opciones se opto por el transmisor de nivel capacitivo SIEMENS, aunque su costo se excede un poco al ofrecido por Endress+Hauser, la exactitud que ofrece es mayor, ya que está en función del valor medido y no de la escala completa.

Tabla 19. Transmisores de nivel ultrasónico 105

TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASÓNICO			
Características del instrumento			
Fabricante	SIEMENS	ENDRESS+HAUSER	EMERSON
Referencia	THE PROBE	FMU30	3101
Rango de medida	0,25-6[m]	0,25-5[m]	0,31-8[m]
Exactitud	± 3 mm	± 1 mm	± 5 mm
Conexión	NPT 2"	NPT 1 1/2"	NPT 2"
Salida	4-20[mA]	4-20[mA]	4-20[mA]
Precio	\$ 2'331.600	\$ 4'030.472	\$ 3'056.256



Fuente: El autor

Entre las tres opciones presentadas, se opto por el trasmisor de nivel ultrasónico marca SIEMENS, el cual presenta un desempeño similar a las otras opciones con la cualidad de ser la alternativa con el menor costo.

5.4.3 DETECTORES DE NIVEL

Además del transmisor de nivel, el sistema de control de nivel del lazo 101 cuenta con interruptores de alarma de nivel bajo y alto. En la tabla 18 se presenta las posibles opciones para satisfacer esta necesidad.

Tabla 20. Interruptor de nivel bajo-alto 101

SWITCH DE NIVEL			
Característica principales del instrumento			
Fabricante	SIEMENS	ENDRESS+HAUSER	ROSEMOUNT
Referencia	LVL100	FTL20	2120
Exactitud	± 2 mm	± 0,5 mm	± 1mm
Conexión	ROSCA NPT 1"	ROSCA NPT 1/2"	ROSCA NPT 3/4"
Precio	\$ 609.000	\$ 908,814	\$ 847.732

Fuente: El autor

Entre las tres opciones se opto por el interruptor de nivel SIEMENS, aunque su exactitud es la mas baja de las presentadas, es suficiente para la aplicación además de ser la alternativa económicamente mas atractiva.

5.4.4 MEDICIÓN DE CAUDAL

Como se menciona anteriormente el módulo cuenta con tres medidores de caudal, ubicados en los lazos 104, 108 y 110 en los cuales se medirá el caudal de agua, aceite y las diferentes combinaciones de estos respectivamente. La selección de cada tecnología de medición se hace teniendo en cuenta las diferentes alternativas de instrumentación que se ajusten de la manera más óptima al proceso, por tal motivo, el caudal de agua se instrumentará con un medidor de caudal electromagnético dadas las cualidades eléctricas del agua. Debido a la alta viscosidad y las condiciones del proceso, es seleccionado un caudalímetro Coriolis para instrumentar el caudal de aceite. Dadas las posibles combinaciones de flujo de agua y aceite, es interesante instrumentar este proceso con un caudalímetro vortex, gracias a su desempeño para fluidos mezclados. Una selección previa es presentada en las tablas 21, 22 y 23 para cada uno de los caudalímetros mencionados anteriormente.

Tabla 21. Transmisores de caudal electromagnéticos [104]

TRANSMISOR DE CAUDAL ELECTROMAGNÉTICO

Características principales de selección



Marca	SIEMENS	ROSEMOUNT	HONEYWELL	ENDRESS+HAUSER
Modelo sensor	MAG 5100	8711	MAG 100	PROMAG 10
Modelo Transmisor	MAG 5000	8732E	TWM 1000	P
Alcance	[33,06 - 330,60]	[33,40 - 424,80]	[29,50 - 353,50]	[33,06 - 330,60]
Exactitud	$\pm 0,4\% \pm 1\text{mm/s}$	$\pm 0,25\% \pm 2\text{mm/s}$	$\pm 0,5\% \pm 1\text{mm/s}$	$\pm 0,5\% \pm 2\text{mm/s}$
Señal de salida	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART
Conexión al proceso	Brida	SANDWICH	SANDWICH	SANDWICH
Tamaño del sensor	DN 25 (1")	DN 25 (1")	DN 25 (1")	DN 25 (1")
Conductividad	>10uS/cm	>5uS/cm	>20uS/cm	>50uS/cm
Precio	\$ 4'225.800	\$ 9'200.184	\$ 6'710.424	\$ 10'566.896

Fuente: El autor

Tabla 22. Transmisores de caudal Coriolis

TRANSMISOR DE CAUDAL CORIOLIS

Características principales del instrumento



Fabricante	SIEMENS	MICRO MOTION	ENDRESS+HAUSER
Sensor	SITRANS FC 2100	F100	40E
Transmisor	MASS 6000	1700	
Exactitud	± 0,1%	± 0,15%	± 0,5%
Rangeabilidad	20 a 1	15 a 1	50 a 1
Conexión	BRIDA DN 25	BRIDA DN 25	BRIDA DN 25
Salida	[4-20][mA]/HART	[4-20][mA]/HART	[4-20][mA]/HART
Precio	\$ 15'854.880	\$ 22'579.200	\$ 29'132.502

Fuente: El autor

Tabla 23. Transmisores de caudal vortex

TRANSMISOR DE CAUDAL VORTEX

Características principales de selección



Marca	SIEMENS	ROSEMOUNT	HONYWELL	ENDRESS+HAUSER
Modelo	SITRANS FX300	8800D	VORTEX 100	72F
Conexión al proceso	BRIDA	BRIDA	BRIDA	BRIDA
Tamaño de conexión	DN25 (1")	DN25 (1")	DN25 (1")	DN25 (1")
Temperatura del fluido	[-40 - 240][°C]	[-40 - 323][°C]	[-40 - 240][°C]	[-40 - 260][°C]
Presión máx. operación	CLASS 150	CLASS 150	CLASS 150	CLASS 150
Velocidad del fluido	[0,4 - 10][m/s]	[0,21 - 7,6][m/s]	[0,3 - 7][m/s]	[0,96 - 9][m/s]
Salida	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART	[4 - 20][mA]/HART
Exactitud	±0,75% Re>20000 ±2% [10000>Re>20000]	±0,65%+0,0025 [Re>20000] ±2% [10000>Re>20000]	±0,75% Re>20000 ±2% [10000>Re>20000]	±0,75% Re>20000 ±0,75% FS [4000<Re<20000]
Alimentación	[14- 36]VDC	[10,8- 42]VDC	[14- 36]VDC	[18- 36]VDC
#Reynolds	>10000	> 5000	> 10.000	> 4000
Precio	\$ 6'494.840	\$ 5'036.724	\$ 9'134.366	\$ 10'155.902

Fuente: El autor

Entre las opciones presentadas para el caudalímetro de agua, la opción más interesante la ofrece SIEMENS, es la opción más económica con unas características que satisface notablemente las condiciones del proceso. Para el caso del caudalímetro Coriolis, la mayor exactitud y el menor precio lo ofrece la marca SIEMENS y para el caso del caudalímetro vortex la marca ROSEMOUNT ofrece límites bajos tanto en velocidad como en número de Reynolds, factores que son de gran importancia en el desempeño del módulo, dadas las características de los fluidos.

5.4.5 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

El módulo cuenta con instrumentos de medida de temperatura, los cuales están ubicados en las los lazos 102,106 y 110. Unas posibles alternativas para instrumentar esta variable se presenta a continuación:

Tabla 24. Transmisores de temperatura con sensor PT100

TRANSMISOR DE TEMPERATURA Y PT 100 2 HILOS			
Características principales del instrumento			
Fabricante	SIEMENS	ROSEMOUNT	ENDRESS HAUSER
Sensor	PT100	68	TR 12
Transmisor	TH 100	644	
Rango	[-50 - 400][°C]	[-200 - 850][°C]	[-50 - 400][°C]
Exactitud	± 0,3%FS	± 0,15°C ± 0,03%	± 0.3 ± 0.5%
Conexión	Rosca 1/2" NPT	Rosca 1/2" NPT	Rosca 1/2" NPT
Salida	4-20[mA]	4-20[mA]/HART	4-20[mA]/HART
Display	NO	SI	SI
Precio	\$ 335.240	\$ 3'911.040	\$ 1'735.635

Fuente: El autor



Como se aprecia en la tabla anterior, el transmisor de temperatura y el sensor SIEMENS, ofrece el menor valor cumpliendo con los requisitos del proceso.

5.5 SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES

5.5.1 VÁLVULAS DE CONTROL

Para la selección de una válvula de control se deben tener en cuenta: el cuerpo de la válvula, el tipo de actuador y dependiendo del tipo de actuador, un posicionador que controle el paso de aire al actuador neumático. Dadas estas características se presenta una selección previa de válvulas de control actuadas neumática y eléctricamente.

Tabla 25. Válvulas de control de caudal con actuador eléctrico

VALVULAS DE CONTROL DE CAUDAL CON ACTUADOR ELECTRICO		
Características principales de selección		
	Serie	24000 C
Fabricante	Fisher	Samson
Tipo de Conexión	Brida	Brida
Diámetro de conexión	1"	1"
Rango de Cv	13	13
Presión máxima que soporta	CLASE 150	CLASE 150
Tipo de actuador permitido	Eléctrico	Eléctrico
Temperatura máxima de operación	-29°C a 232°C	-73°C a 232°C
Material del Cuerpo	Acero al carbón	Acero inoxidable
Precio	\$ 21'136.038	\$ 5'046.603

Fuente: El autor

Tabla 26. Válvulas de control con actuador neumático

VALVULAS DE CONTROL DE CAUDAL

Características principales de selección



Serie	24000 CVF	3241	8802-GB
Fabricante	Fisher	Samson	Burkert
Tipo de Conexión	Brida	Brida	Brida
Diámetro de conexión	1"	1"	1"
Rango de Cv	13	12	14
Presión máxima que soporta	CLASE 150	CLASE 150	PN 25
Tipo de actuador permitido	Neumático	Neumático/3277	Electroneumático
Posicionador	3582i	3730-1	8630
Temperatura máxima de operación	-29°C a 232°C	-10°C a 220 °C	-10°C a 180 °C
Material del Cuerpo	Acero al carbón	Acero al carbón	Acero inoxidable
Precio	\$ 7'461,855	\$ 7'173.243	\$ 3'875,025




Fuente: El autor

Para el caso de la válvula de control con actuador eléctrico, se optó por la marca samson dada la diferencia económica, aunque esta diferencia es considerable, cumple satisfactoriamente con los requisitos del proceso. En el caso de la válvula con actuador neumático las 3 marcas cumplen con los requerimientos exigidos para el proceso, se optó por las marcas que se encuentran más comúnmente en las industrias: samson y fisher, dando como mejor opción el conjunto de cuerpo de válvula, actuador y posicionador la marca samson, debido a que permite hacer una rápida autoconfiguración para cambios en las características del proceso y un mejor control y monitoreo con respecto al paso controlado de fluido.

5.5.2 VÁLVULAS SOLENOIDES

El sistema requiere válvulas solenoides de 2 vías-2 posiciones y 3 vías-2 posiciones para seleccionar el fluido que retornara a los tanques de reserva para el caso de flujo de agua o aceite. A continuación se presentan una selección previa.




Tabla 27. Válvulas solenoide 2 vías – 2 posiciones

VALVULAS SOLENOIDES 2/2			
Características principales			
Fabricante	Burkert	Danfoss	Uni - D
Modelo	0290	EV220B	US - 25
Diametro de conexión	1" G	1" NPT	1" NPT
Material	Latón	Latón	Bronce
Tensión	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Rango de presión (PSIG)	0 - 232	0 - 232	0 - 142
Temperatura	-10 a 90 °C	0 -100° C	-5 a 185°C
Kv	10	11	12
Precio	\$ 823.284	\$ 872.500	\$ 178.300

Fuente: El autor

Para las válvulas solenoides, se tuvo en cuenta la capacidad de paso de la válvula, además de la garantía y confiabilidad de la misma. Con estos criterios se observo que aunque la válvula de marca Uni-D ofrece un muy buen precio en comparación con las demás, no ofrece las mismas garantías que las otras dos válvulas industriales. Por ultimo, el criterio de selección entre las dos válvulas se opto por la que diera una propuesta de compra mas económica, con lo cual se siguiere la válvula Burkert.

Tabla 28. Válvula solenoide 3 vías – 2 posiciones

VALVULAS DE 3 VIAS - 2 POSICIONES			
Características principales			
Fabricante	Bürkert	danfoss	Norgren
Modelo	0340	087N6628	D1036C-CC
Tipo de conexión	G 1	BSP 1"	NPT 1
Kv	10	7.9	17.70
Material	Latón	Bronce	Aluminio
Voltaje	24 VDC	24 VDC	110 VAC
Potencia	8 Watts	6 Watts	8 VA
Presión (PSI)	7.2 - 145	0 -147	29 - 150
Temperatura max	90° C	95° C	49° C
Precio	\$ 2'157.309	\$ 2'457.320	\$ 2'572.835

Fuente: El autor

En el caso de las válvulas de tres vías 2 posiciones se opto por la marca Burkert ya que cuenta con la opción más económica y su tensión de operación es compatible con la que maneja el controlador.

5.5.3 VARIADOR DE VELOCIDAD

El sistema de control de presión, modifica la curva de la bomba gracias a un variador de velocidad ubicado en los lazos 103 y 107, una muestra de estos se presenta a continuación:

Tabla 29. Variador de velocidad

VARIADOR DE VELOCIDAD		
Características principales		
	Fabricante	SIEMENS
Referencia	MICROMASTER BASICO	ALTIVAR 61
Rango de frecuencia	[0.5-650][Hz]	[0.5-1000][Hz]
Potencia	3 HP	3 HP
Alimentación	220 Vac	220 Vac
Corriente nominal	10,4 [A]	11 [A]
Precio	\$ 873.480	\$ 893.500

Fuente: El autor

De las opciones presentadas se optó por la marca Schneider, dada la ventaja que presenta en protocolos de comunicación como: Modbus TCP, Fipio, Modbus/Uni-Telway, Modbus Plus, Ethernet/IP, DeviceNet, PROFIBUS DP, INTERBUS, CC-link.; además cuenta con entradas programables, salidas a relé y 1 salida configurable en tensión o corriente.

5.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

Para el caso del sistema que establecerá el control y monitoreo de las variables del proceso se hace la siguiente propuesta de selección, dado los requerimientos

de adquisición y mando sobre los actuadores, como la debida HMI que interactúa con el usuario.

Tabla 30. Sistema de monitoreo y control basado en un controlador siemens

SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL SIEMENS		
Cantidad	Descripción	precio
1	CPU 224XP, 24VDC, 7 módulos de expansión máximo, 14 IN/D, 2 IN/A, 10 OUT/D, 1 OUT/A	\$ 1'655,320
3	Módulo EM235, 4 IN/A, 1 OUT/A	\$ 2'342,040
1	Módulo EM232, 2 OUT/A	\$ 642,640
1	WINCC/SERVER V7, opción para SIMATIC WINCC V7, licencia individual	\$ 7'243,040
1	CP243-1 Interface Industrial ETHERNET, 10/100 Mbits/s TCP/IP OPC	\$ 1'380,052
1	TP 177micro HMI Panel Táctil de 5.7" 4 tonos de Azul, Representación de gráficos, textos y Barras, Kit de inicio Incluye Panel, Cable comunicación con PLC MPI, Software de Prog. WinCC Flexible 2005 Micro Hsp	\$ 1'925,600
1	SITOP SMART: Entrada 120/230 V AC Monofásica, 10 Amperios	\$ 683,936
8	Reles schrack de 24 Vdc con base y led	\$ 389,760
TOTAL		\$ 16'262,388

Fuente: El autor

Tabla 31. Sistema de monitoreo y control basado en un controlador schneider

SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL SCHNEIDER		
Cantidad	Descripción	precio
1	CPU TWDLCD40DRF, 24VDC, 7 módulos de expansión Máximo, 24 IN/D, 14 OUT/D + 2 PNP	\$ 1'405,700
3	Módulo TM2AMM6HT, 4 IN/A, 2 OUT/A	\$ 2'265,600
1	XBTGT2130 Terminal táctil 5,7" escala de grises 16. Puerto Ethernet	\$ 1'992,900
1	Cable de conexión RJ45a MiniDIN para programación PLC	\$ 138,150
1	Cable conversor USB a RS485 con conector RJ45	\$ 271,900
1	Fuente de alimentación monofásica: Entrada 110/240 V AC Monofásica, 10 Amperios	\$ 540,500
8	Reles de interface tipo bornera, voltaje 24VDC	\$ 234,800
TOTAL		\$ 6'849,550

Fuente: El autor

Al evaluar las alternativas para el sistema de monitoreo y control, se optó por la marca Schneider, ya que se aprecia notablemente el costo inferior, debido al 50% en descuento que ofrece dado el carácter educativo, cumpliendo con los requerimientos del proceso. El protocolo de comunicaciones es TCP/ IP utilizando con esto el software Vijeo Citect como sistema de supervisión.

6. INGENIERÍA DE DETALLE

El proyecto finaliza con la ingeniería de detalle, en la cual hace referencia al presupuesto del módulo, lista de instrumentos y actuadores, diagrama de instrumentos y tubería, diagrama estructural del módulo, diagrama de flujo de proceso y finalizando con las hojas de datos de los instrumentos seleccionados.

6.1 PRESUPUESTO DEL MÓDULO

Tabla 32. Presupuesto del módulo para la asignatura de instrumentación electrónica

PRESUPUESTO DEL MÓDULO		
Cantidad	Descripción	Valor
1	Transmisor capacitivo LC300-siemens	\$2'683.080
1	Transmisor ultrasónico the probe-siemens	\$ 2'331.600
2	Interruptor de nivel LVL100-siemens	\$ 1'218.000
2	Bombas trifásicas MHE 203 -3-barnes	\$ 2'760.000
2	Bombas monofásicas C-205-barnes	\$ 576.000
2	Variador Altivar-61-schneider	\$ 1'787.000
4	Transmisores de temperatura siemens	\$ 1'340.960
3	Transmisores de presión siemens	\$ 4'402.200
3	Manifolds	\$ 1'314.000
1	Transmisor de caudal magnético	\$ 4'225.800
1	Transmisor de caudal Coriolis	\$ 15'854.880
1	Transmisor de caudal vortex	\$ 5'036.724
2	Válvulas de control/ actu eléctrico	\$ 10'093.206
2	Válvulas de control/actu neumático	\$ 14'346.486
6	Válvulas solenoide 2/2	\$ 4'939.704
2	Válvulas solenoide 3/2	\$ 2'157.309
2	Válvula de chequeo	\$ 360.841
1	Sistema de monitoreo y control	\$ 6'849,550
1	Computador personal	\$ 2'000.000
	Tubería, bridas y accesorios	\$ 994.550
	Bancos y bases de soporte	\$ 2'000.000
TOTAL		\$ 84'567.390

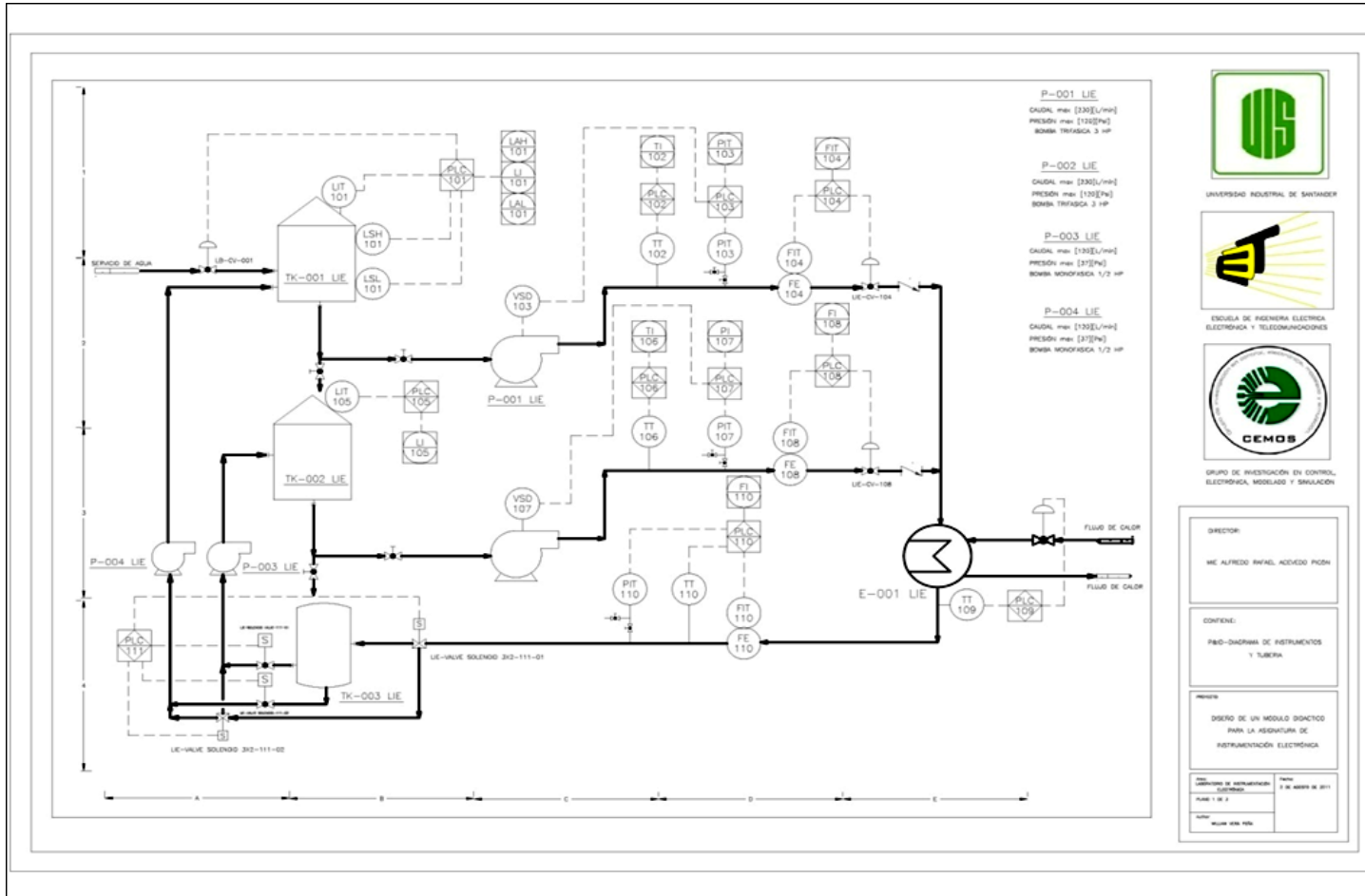
Fuente: El autor

6.2 Lista de instrumentación actuadores

Instrumentos y actuadores	Tag	Lazo	Señal	Fabricante	Modelo	Exactitud
Transmisor de nivel capacitivo	LIT	101	4-20[mA]	Siemens	LC300	± 0,5%
Interruptor de nivel bajo	LSL	101	24 VDC	Siemens	LVL100	± 2 mm
Interruptor de nivel alto	LSH	101	24 VDC	Siemens	LVL100	± 2 mm
Transmisor de temperatura	TT	102	4-20[mA]	Siemens	TH100	± 0,3% FS
Transmisor de presión manométrica	PIT	103	4-20[mA]/HART	Siemens	SITRANS P DS III	± 0,075% UVR
Transmisor de caudal magnético	FIT	104	4-20[mA]/HART	Siemens	MAG5100/MAG5000	± 0,4% ± 1mm/s
Transmisor de nivel ultrasónico	LIT	105	4-20[mA]	Siemens	The probe	± 3mm
Transmisor de temperatura	TT	106	4-20[mA]	Siemens	TH100	± 0,3% FS
Transmisor de presión manométrica	PIT	107	4-20[mA]/HART	Siemens	SITRANS P DS III	± 0,075% UVR
Transmisor de caudal coriolis	FIT	108	4-20[mA]/HART	Siemens	SITRANS FC 2100	± 0,1%
Transmisor de temperatura	TT	109	4-20[mA]	Siemens	TH100	± 0,3% FS
Transmisor de caudal vórtice	FIT	110	4-20[mA]/HART	Rosemount	8800D	± 0,65% ± 0,0025
Transmisor de temperatura	TT	110	4-20[mA]	Siemens	TH100	± 0,3% FS
Transmisor de presión manométrica	PIT	110	4-20[mA]/HART	Siemens	SITRANS P DS III	± 0,075% UVR
Valvula de control eléctrica	CV	101	4-20[mA]	Samson	3241/3374	
Bomba trifásica	P-001	103	220VAC	Barnes	MHE-203-3	
Variador de frecuencia	VSD	103	220VAC	Schneider	ALTIVAR 61	
Valvula de control neumática/eléctrica	CV	104	4-20[mA]	Samson	3241/3730-1	
Bomba trifásica	P-002	107	220VAC	Barnes	MHE-203-3	
Variador de frecuencia	VSD	107	220VAC	Schneider	ALTIVAR 61	
Valvula de control neumática/eléctrica	CV	108	4-20[mA]	Samson	3241/3730-1	
Valvula de control eléctrica	CV	109	4-20[mA]	Samson	3241/3374	
Valvula solenoide 3/2	SV-1	111	24 VDC	Burkert	O340	
Valvula solenoide 3/2	SV-2	111	24 VDC	Burkert	O340	
Valvula solenoide 2/2	SV-3	111	24 VDC	Burkert	O290	
Valvula solenoide 2/2	SV-4	111	24 VDC	Burkert	O290	
Bomba monofásica	P-003	111	110 VAC	Barnes	C-205	
Bomba monofásica	P-004	111	110 VAC	Barnes	C-205	

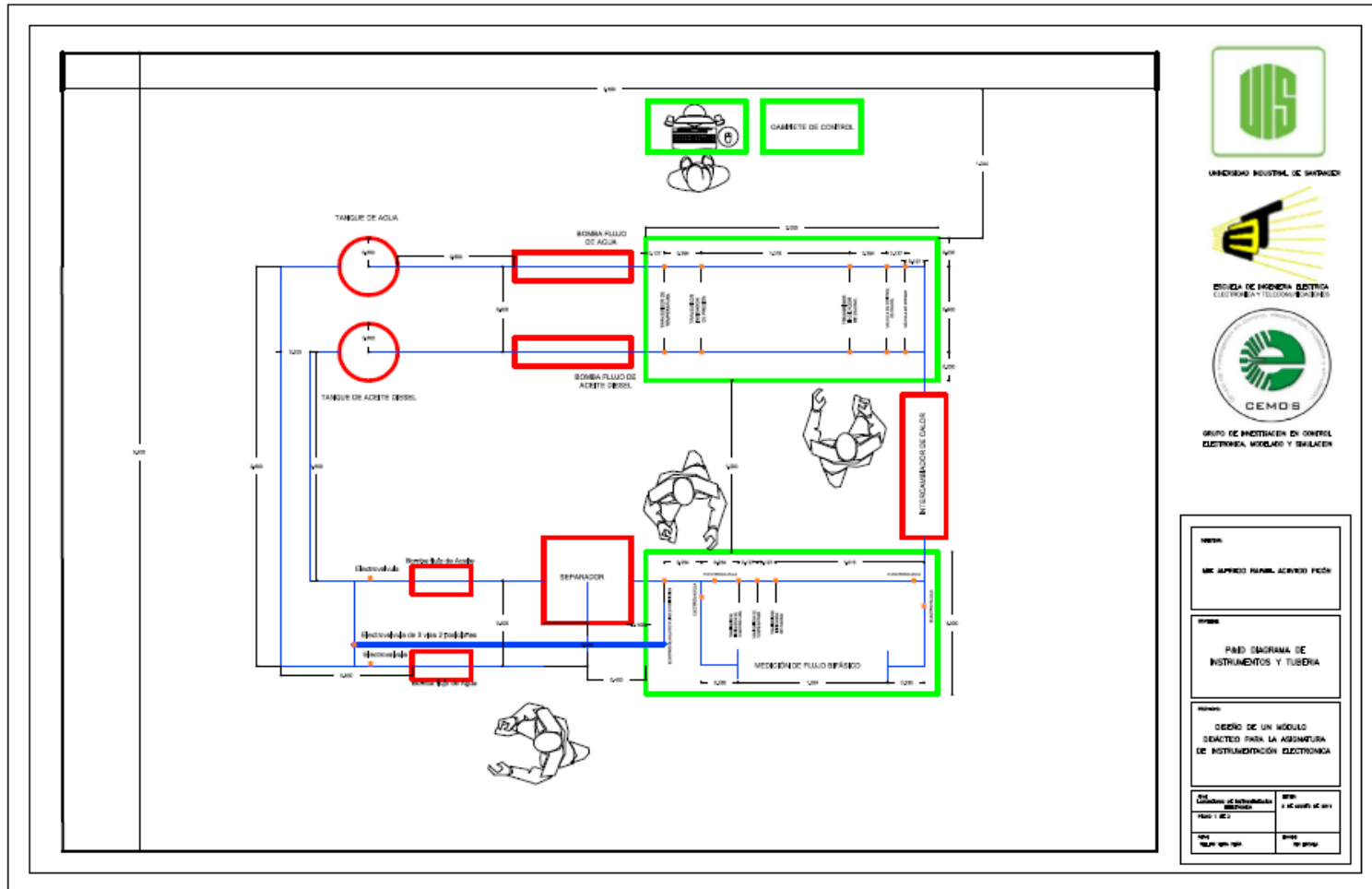
Fuente: El autor

6.3 Diagrama de instrumentos y tubería



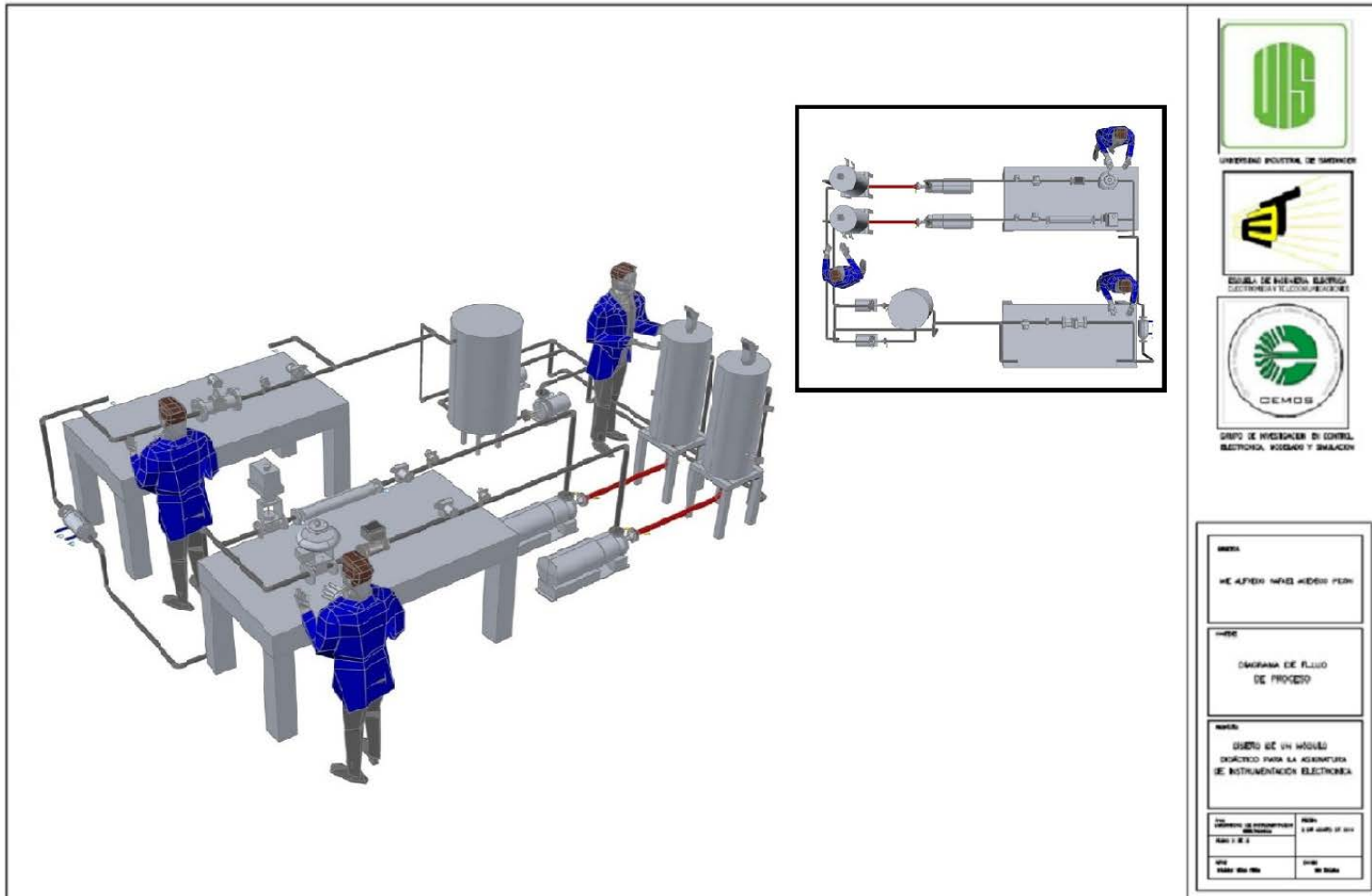
Fuente: El autor

6.4 Estructura del módulo



Fuente: El autor

6.5 Diagrama de flujo de proceso



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



ESCALA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN CONTROL,
ELECTRÓNICA, ROBÓTICA Y SIMULACIÓN

INSTITUCIÓN
ME AYUDARÁ MÁS MEDIO PERÚ

TÍTULO
DIAGRAMA DE FLUJO
DE PROCESO

OBJETO
DISEÑO DE UN MODELO
DIGITAL PARA LA ADQUISICIÓN
DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

AUTOR GONZÁLEZ DE ROSALES ANDRÉS J.	FECHA 2 DE ABRIL DE 2011
TÍTULO DIAGRAMA DE FLUJO	FECHA 02 DE ABRIL

Fuente: El autor

6.6 HOJAS DE DATOS



Bombas Multietapas

Multietapas eléctricas horizontales

MHE-304-1-CENTURY /
MHE-305-1-CENTURY /
MHE-202-3 / MHE-304-3
MHE-305-3

b o m b a s p a r a a g u a

Características de la bomba

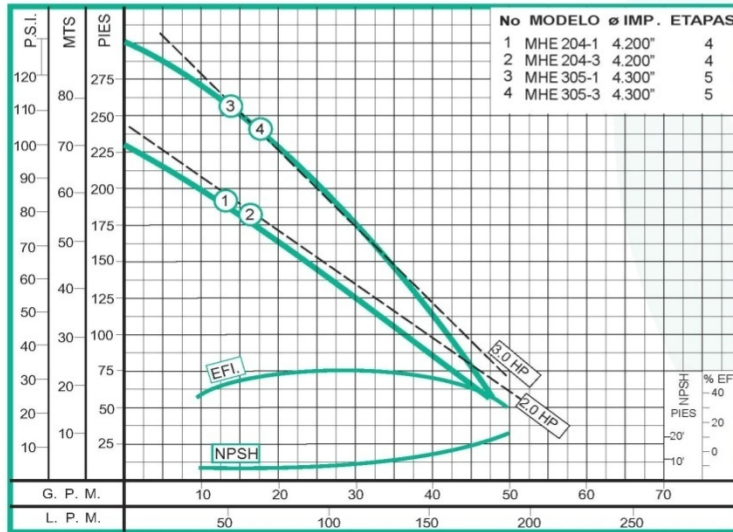
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Tipo de impulsor	Cerrado en plástico
Tipo de cierre	Sello mecánico 1" tipo 21
Temperatura max. del líquido	158° F (70 ° C) Continua

Modelo	Ref.	Potencia (HP)	Fases	Voltaje	Amperaje	H max. (mca) *	Q max. (GPM) **	Etapas	Succión	Descarga
MHE-304-1-CENTURY	1G0084	3,0	Monofásico	230	15,2	73	60	4	1 1/4"	1"
MHE-305-1-CENTURY	1G0093	3,0	Monofásico	230	15,2	84	60	5	1 1/4"	1"
MHE-202-3	1G0102	2,0	Trifásico	220/440	7,1/3,55	40	55	2	1 1/4"	1"
MHE-203-3	1G0100	2,0	Trifásico	220/440	7,1/3,55	52	55	3	1 1/4"	1"
MHE-304-3	1G0101	3,0	Trifásico	220/440	10,8/5,4	73	60	4	1 1/4"	1"
MHE-305-3	1G0103	3,0	Trifásico	220/440	10,8/5,4	84	60	5	1 1/4"	1"

* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada

** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta

Curva de rendimiento



Aplicaciones

- Uso doméstico
 - Llenado de tanques elevados
- Sector agrícola
 - Lavado de establos
 - Lavado de galpones
- Industria
 - Lavado a presión de maquinaria
 - Sistemas Contra Incendio
 - Sistemas de Presión
- Construcción
 - Lavaderos de automóviles
 - Sistemas Contra Incendio
 - Sistemas de Presión

www.barnes.com.co

Nota: Las especificaciones técnicas están sujetas a cambios sin previo aviso.



Caracol Eléctricas C-2 / C-205 / C-207

Bombas Caracol

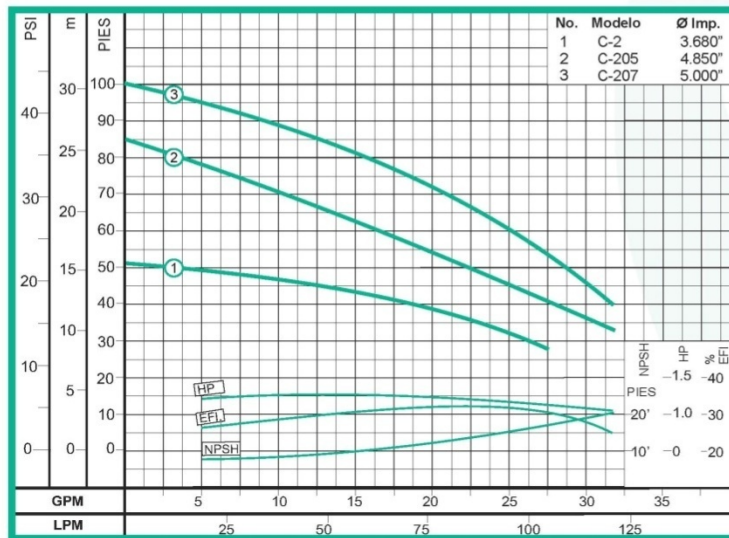
b o m b a s p a r a a g u a

Características de la bomba	
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Tipo de impulsor	Cerrado en plástico
Cantidad de impulsores	1
Tipo de cierre	Sello mecánico 5/8" tipo 6
Temperatura Max. Líquido	158° F (70 ° C) Continua

Modelo	Ref.	Potencia (HP)	Fases	Amperaje		H max. (mca) *	Q max. (GPM) **	Succión	Descarga
				115 V	230 V				
C-2	1A0074	¼	Monofásico	7,8	-	17	28	1"	1"
C-205	1A0077	½	Monofásico	10,4	5,2	26	32	1 ½"	1"
C-207	1A0078	¾	Monofásico	13,6	6,8	28	32	1 ½"	1"

* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada
** El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta

Curva de rendimiento



www.barnes.com.co

Nota: Las especificaciones técnicas están sujetas a cambios sin previo aviso.



C-2



C-205 / C-207

Aplicaciones

Uso doméstico

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Llenado de tanques elevados
- Llenado tanque bajo-tanque alto
- Recirculación de agua en piscinas

Sector agrícola

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Lavado de establos
- Llenado de tanques y bebederos
- Riego por aspersión
- Riego por goteo

Industria

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Recirculación de agua en torres de enfriamiento
- Refrigeración de maquinaria / Circuitos de recirculación
- Sistemas de Presión

Construcción

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Recirculación de agua en piscinas
- Sistemas de Presión

Institucional

- Aprovisionamiento de aguas limpias
- Plantas de tratamiento

Medida de presión

Transmisores para requisitos generales

SITRANS P DS III Descripción técnica

Sinopsis

2



Los transmisores de presión SITRANS P DS III son transmisores de presión digitales que ofrecen un confort muy extenso y alta precisión. La parametrización se realiza con teclas integradas, vía comunicación HART o interfaz PROFIBUS PA o FOUNDATION Fieldbus.

La extensa funcionalidad permite adaptar el transmisor de presión con precisión a los requisitos de la instalación. Pese a multitud de posibilidades de ajuste, el manejo se realiza con gran facilidad.

Los transmisores con modo de protección de "Seguridad intrínseca" y "Envolvente antideflagrante" pueden montarse dentro de zonas con riesgo de explosión (zona 1) o en la zona 0. Los transmisores disponen de certificado de homologación CE y cumplen las correspondientes normas europeas armonizadas (ATEX).

Para aplicaciones especiales como por ejemplo la medida de fluidos de alta viscosidad, los transmisores de presión están disponibles con diferentes tipos de sellos separadores.

El transmisor de presión DS III está disponible en diversas variantes para la medida de:

- Presión relativa
- Presión absoluta
- Presión diferencial
- Nivel
- Nivel de masa
- Nivel volumétrico
- Caudal volumétrico
- Caudal másico

Beneficios

- Alta calidad y longevidad
- Gran fiabilidad, incluso en aplicaciones con solicitaciones químicas y mecánicas extremadas
- Para gases, vapores y líquidos corrosivos y no corrosivos
- Extensas funciones de diagnóstico y simulación
- La célula de medida y la electrónica pueden descambiarse por separado sin posterior calibración
- Desviación de la característica mínima
- Escasa deriva a largo plazo

- Los elementos que entran en contacto con el fluido son de materiales de alta calidad (por ejemplo, acero inoxidable, Hastelloy, oro, Monel, tantalio)
- Alcances de medida ajustables sin escalones en el margen de 0,01 a 700 bares (0.15 a 10153 psi) para DS III con interfaz HART
- Rangos nominales de medida de 1 a 700 bares (14.5 a 10153 psi) para DS III con interfaz PROFIBUS PA y FOUNDATION Fieldbus
- Alta precisión de medida
- Parametrización mediante teclas integradas y comunicación HART o interfaz PROFIBUS PA o FOUNDATION Fieldbus.

Gama de aplicación

Los transmisores de presión de la serie DS III son aptos para la aplicación en sectores industriales con altas solicitaciones mecánicas y químicas. Gracias a la compatibilidad electromagnética en el margen de 10 kHz a 1 GHz, los tipos DS III pueden utilizarse en aplicaciones donde los aparatos están expuestos a altas influencias electromagnéticas.

Los transmisores con modo de protección de "Seguridad intrínseca" y "Envolvente antideflagrante" pueden montarse dentro de zonas con riesgo de explosión (zona 1) o en la zona 0. El transmisor de presión dispone de certificado de homologación CE y cumple las correspondientes normas europeas armonizadas (ATEX).

Los transmisores de presión con modo de protección de "Seguridad intrínseca" para la aplicación en la zona 0 pueden operar con equipos de alimentación de las categorías "Ia" e "Ib".

Para aplicaciones especiales, tales como la medida de fluidos de alta viscosidad, los transmisores de presión son suministrables con diferentes tipos de sellos separadores.

El transmisor de presión puede programarse localmente con las 3 teclas de manejo o externamente vía comunicación HART o a través de la interfaz PROFIBUS PA o Fieldbus Foundation.

Medida de caudal SITRANS F M

Transmisor MAG 5000/6000

Sinopsis



Transmisor MAG 5000/6000 en versión compacta (izda.) y versión de 19" insertable (dcha.)

MAG 5000 y 6000 son transmisores diseñados para ofrecer un alto rendimiento, así como una puesta en servicio y un mantenimiento sin problemas. Los transmisores evalúan las señales de los sensores SITRANS F M de los tipos MAG 1100, MAG 1100 F, MAG 3100, MAG 3100 P y MAG 5100 W.

Tipos de transmisores:

- MAG 5000: Error de medición máx. $\pm 0,4\% \pm 1 \text{ mm/s}$ (incl. el sensor)
- MAG 6000: Error de medición máx. $\pm 0,2 \pm 1 \text{ mm/s}$ del caudal (incl. el sensor; véanse también las especificaciones del sensor). Características adicionales: Módulos insertables de bus del tipo "Plug & Play", funciones de lotes integradas.

Beneficios

- La perfecta resolución de señales para una dinámica óptima
- Procesamiento de señales digitales con muchas posibilidades
- Fácil puesta en servicio gracias a la lectura automática de los datos almacenados en el SENSORPROM
- Menú de servicio configurable por el usuario con protección por contraseña
- Display con 3 líneas de 20 dígitos, en 11 idiomas
- Tasa del caudal en diferentes unidades
- Contador de alimentación, retorno y caudal neto y muchas otras informaciones
- Salidas de funciones múltiples para control del proceso, configuración mínima con salida analógica, de impulsos/frecuencia y de relé (estado, sentido de flujo, límites)
- Extensas funciones de autodiagnóstico para reconocer y registrar errores (ver "Diagnóstico SITRANS F M")
- Modo de operación orientado a lotes (sólo MAG 6000)
- Homologado para transacciones con verificación (transferencia de custodia): PTB, OIML R 75, OIML R 117, OIML R 49, MI-001 y PTB K 7.2 para agua congelada
- MAG 6000 con módulos de bus adicionales para HART, FOUNDATION Fieldbus H1, DeviceNet, Modbus RTU/RS485, PROFIBUS PA y DP

Gama de aplicación

Los caudalímetros SITRANS F M son aptos para medir casi todos los líquidos conductores de electricidad, pastas y lodos. Se aplican en primer lugar en los siguientes sectores:

- Aguas y aguas residuales
- Industria química y farmacéutica
- Industria alimenticia y de bebidas
- Producción de energía y suministro de energía

Diseño

El transmisor está diseñado con carcasa IP67 NEMA 4X/6 para el montaje compacto o en pared, o en la versión de 19", como módulo insertable de 19", para los modos de instalación siguientes:

- Rack de 19"
- Montaje en panel IP20/NEMA 1 (preparado para IP65/NEMA 2/lado de pantalla)
- Montaje en panel posterior IP20/NEMA 1
- Montaje en pared IP66/NEMA 4X

En la versión de 19" hay varias opciones a la disposición:

- Transmisor para caudalímetros homologados según Ex ATEX, montados en una zona segura (con barreras)
- Transmisor con unidad de limpieza de electrodos opcional

Funciones

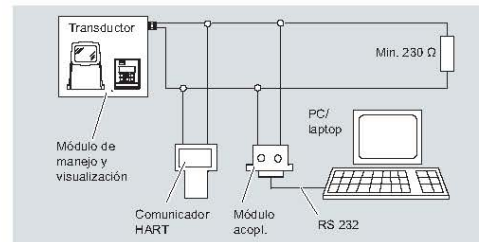
Los MAG 5000/6000 son transmisores con un display alfanumérico incorporado en varios idiomas. Los transmisores evalúan las señales moduladas por los sensores electromagnéticos correspondientes y realizan además la función de una fuente de alimentación que abastece a las bobinas de excitación con corriente constante.

Para más información sobre la conexión, el modo de servicio y la instalación, consulte las hojas de datos de los sensores.

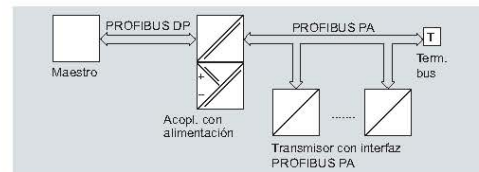
Elementos de visualización y mando

El transmisor puede manejarse usando los siguientes elementos:

- Unidad de mando y visualización
- Comunicador HART
- PC/ordenador portátil y software SIMATIC PDM vía comunicación HART
- PC/ordenador portátil y software SIMATIC PDM vía comunicación PROFIBUS o Modbus



Comunicación HART



Comunicación PROFIBUS PA

Medida de caudal

SITRANS F M

Sensor MAG 5100 W

4

Sinopsis



El SITRANS F M MAG 5100 W es un sensor de caudal electromagnético diseñado para satisfacer las necesidades de las aplicaciones de aguas subterráneas, agua potable, aguas residuales, aguas cloacales y lodos residuales.

Beneficios

- DN 15 a DN 1200/2000 (½" a 48"/78")
- Con el MAG 5100 W los plazos de entrega son muy cortos
- Bridas de unión EN 1092-1 (DIN 2501), ANSI, AWWA, AS y JIS
- Revestimiento de goma dura NBR y goma dura de ebonita para todas las aplicaciones de agua
- Revestimiento EPDM homologado para agua potable
- Electrodo de puesta a tierra y de medición Hastelloy integrados
- Aumento de la precisión de caudal bajo para la detección de fugas de agua, debido al diseño del revestimiento cónico (referencia 7ME6520, DN 15 a 300 mm (½" a 12"))
- Homologaciones para agua potable
- Apto para zanjas e inmersión constante
- Homologación para transacciones con verificación (transferencia de custodia)
- Longitud de instalación según ISO 13359
- Fácil puesta en marcha, unidad SENSORPROM que carga automáticamente los ajustes y valores de calibración.
- Diseñado para poder realizar en el emplazamiento la verificación patentada. Con la huella dactilar SENSORPROM.
- Opción para transferencia de custodia para facturación de consumos de agua, con homologación de tipos según OIML R49 y verificado según MI-001 para DN 50 (2") a DN 300 (12")
 - Homologación OIML R 49 (Dinamarca, Alemania)
 - Conforme a ISO 4064 y EN 14154
 - Homologación para transacciones con verificación MI-001 para facturación de consumos (UE)
- Cumple las directivas CEE: Directiva de equipos a presión 97/23/CE para bridas EN 1092-1
- El sensor de medida estándar puede equiparse de forma sencilla in situ o en fábrica para IP68 / NEMA 6P
- Homologación MCERTS para el mercado medioambiental del Reino Unido

Gama de aplicación

Los sensores electromagnéticos de caudal SITRANS F M se aplican principalmente en los siguientes campos:

- Captación de aguas
- Tratamiento de aguas
- Red de distribución de agua (gestión de detección de fugas)
- Contadores de agua con transacción con verificación
- Riego
- Depuración de aguas residuales
- Plantas de filtración (p.ej. ósmosis inversa o ultrafiltración)
- Aplicaciones de agua industrial.

Modo de operación

El principio de la medición de caudales se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday, según la cual el sensor convierte el caudal en una tensión eléctrica proporcional a la velocidad del mismo.

Integración

El caudalímetro completo consta de un sensor de caudal y el transmisor SITRANS F M MAG 5000, MAG 6000 o MAG 6000 I correspondiente.

El flexible concepto de comunicación USM II permite integrar y actualizar con gran facilidad un sinnúmero de sistemas de buses de comunicación industriales, tales como HART, DeviceNet, PROFIBUS DP y PA, FOUNDATION Fieldbus H1 o Modbus RTU/RS 485.

Medida de caudal

SITRANS F C

Sensor MASS 2100 DI 3 a DI 40

Sinopsis



Los caudalímetros máscicos MASS 2100 de DI 3 a DI 40 son adecuados para efectuar mediciones precisas de caudales en una gran variedad de líquidos y gases.

El sensor proporciona excelentes resultados en cuanto a precisión del caudal, dinámica y exactitud en la medición de densidad. La fácil instalación por medio de las interfaces mecánica y eléctrica tipo "Plug & Play" garantiza un rendimiento y un funcionamiento óptimos.

El sensor ofrece mediciones reales de varios parámetros, es decir: flujo máscico, volumétrico, densidad, temperatura y fracción.

4

Beneficios

- Alta precisión: menos del 0,1% del caudal máscico
- Gran dinámica (relación entre caudal máx. y mín. medible), superior a 500:1.
- El rendimiento del densitómetro presenta una precisión en la medición de la densidad superior a 0,0005 g/cm³ con una repetibilidad superior a 0,0001 g/cm³
- Un único tubo sin soldaduras en el interior, sin reducciones de la sección ni distribuidores de flujo, proporciona el óptimo nivel en higiene, seguridad y limpieza CIP para la industria alimenticia y de bebidas y para las aplicaciones del ramo farmacéutico.
- El espesor de la pared del tubo máximo proporciona una vida útil óptima, una buena resistencia a la corrosión y una alta resistencia a las presiones.
- Baja pérdida de presión, ya que el diámetro interior es el mismo en todo el sensor (dicho con paso integral).
- La equilibrada construcción del tubo con su baja pérdida en energía mecánica garantiza el óptimo rendimiento y una buena estabilidad, también en procesos con condiciones desfavorables e inestables (presión, temperatura, fluctuaciones de densidad etc.).
- La medición de temperatura Pt1000 de 4 cables asegura una precisión óptima en el caudal máscico, la densidad y el caudal fraccionario.
- El enchufe múltiple y el SENSORPROM posibilitan el auténtico "Plug & Play". Montaje y puesta en servicio en menos de 10 minutos.
- La construcción estándar con seguridad intrínseca según Ex la IIC permite efectuar mantenimientos en zonas de peligro, sin necesidad de desmontar el sensor para el mantenimiento de un transmisor Ex d en diseño compacto.
- Para la óptima resistencia a la corrosión, el tubo del sensor está disponible en acero inoxidable de alta calidad AISI 316L, mat. nº. 1.4435, o en Hastelloy C22 mat. nº. 2.4602.
- El concepto del "Centerblock" separa los ruidos del proceso como las vibraciones, las pulsaciones, los golpes de presión etc. del entorno, facilitando así un montaje flexible y adaptable.
- Gracias a su diseño robusto y a sus reducidas dimensiones, el sensor de acero inoxidable es adecuado para la aplicación en cualquier entorno.
- Programa de alta presión como estándar.

- El factor de calibración del sensor también es válido para las mediciones de gas.
- Una interfaz uniforme del sensor para todas las versiones de transmisores al mismo tiempo, ya sea la versión compacta IP67/NEMA 4X, la versión compacta Ex d o la versión remota; un solo sensor vale para todos los transmisores.

Gama de aplicación

Los caudalímetros máscicos según el principio de medición Coriolis son aptos para medir todo tipo de líquidos y gases. La medición se efectúa con independencia de las variaciones de las condiciones y de los parámetros del proceso, tales como la temperatura, la densidad, la presión, la viscosidad, la conductividad y el perfil de flujo.

Debido a su versatilidad, este contador es fácil de instalar y el caudalímetro tipo Coriolis destaca por su alta precisión en un extenso rango de dinámica, una característica decisiva en muchas aplicaciones.

Las principales aplicaciones de los caudalímetros tipo Coriolis se encuentran en todos los ramos industriales, por ejemplo:

Industria química y farmacéutica	Detergentes, materias primas, productos farmacéuticos, ácidos, bases
Industria alimenticia y de bebidas	Productos lácteos, cerveza, vino, refrescos, plato/brix, zumos y néctares, embotellado, dosificación de CO ₂ , líquidos CIP
Industria del automóvil	Comprobación de toberas y bombas de inyección de combustible, rellenado de sistemas de aire acondicionado, consumo del motor, robots de esmaltado
Aceite y gas	Llenado de botellas de gas, control de quemadores, distribuidores de gas natural a presión, separadores de prueba, gas licuado
Aguas y aguas residuales	Dosificación de productos químicos para el tratamiento de agua

Gracias a la gran diversidad de las posibilidades de combinación y de las versiones del sistema modular, podrá encontrar la solución idónea para cualquier tarea de medición.

Diseño

El sensor MASS 2100 consta de un tubo individual, acodado en forma de lazo doble, que se suelda directamente con sus dos extremos a las conexiones del proceso. El "Centerblock" está soldado por fuera en los tubos del sensor y efectúa la función de un filtro pasabajos mecánico.

El sensor está disponible en 2 versiones con diferentes materiales - AISI 316L o Hastelloy C22 - y además con un sinfín de diferentes conexiones del proceso.

La caja consiste en acero inoxidable AISI 316L mat. nº. 1.4404 con un grado de protección IP66/NEMA 4.

En su versión estándar, el sensor es intrínsecamente seguro y está aprobado según EEx ia.

Además, éste puede montarse en posición horizontal o vertical. En caso de posición de montaje horizontal, el sensor se vacía por sí mismo.

Camisa calentadora: para evitar la solidificación de líquidos sensibles durante los tiempos de parada o durante procesos discontinuos, todas las versiones de los sensores MASS 2100 de DI 3 a DI 40 pueden equiparse con una espiral de caldeo. Esta característica le ofrece al usuario una alternativa al uso de una calefacción eléctrica, la que normalmente resultará más cara, y le permite a la vez elegir entre agua caliente, vapor caliente o aceite caliente, para mantener una temperatura constante en el sensor.

Medida de caudal

SITRANS F C

Transmisor MASS 6000 Ex d
Montaje compacto/separado

Sinopsis



4

El MASS 6000 ha sido diseñado usando los últimos adelantos en procesamiento digital de señales y responde a los requisitos de alto rendimiento, cortos tiempos de respuesta y alta inmunidad a ruidos generados en el proceso; además, se caracteriza por su gran facilidad de montaje, puesta en servicio y mantenimiento.

El transmisor MASS 6000 proporciona verdaderas medidas multiparámetro, por ejemplo de caudales máscicos, caudales volumétricos, densidad, temperatura y fracción.

El transmisor MASS 6000 Ex d está fabricado en acero inoxidable (AISI 316L) y responde a las arduas condiciones de montaje en las aplicaciones con riesgos del sector de la industria de procesos y del sector de la industria química. El material, seleccionado con criterios conservadores, garantiza unos costes reducidos para el propietario y una longevidad del aparato con un buen funcionamiento sin perturbaciones.

El transmisor Ex-d puede instalarse de forma compacta en todos los sensores del tipo MASS 2100 DI 3 a DI 40, así como en la versión remota en todos los tipos MASS 2100.

Beneficios

- Óptima relación de gastos para el propietario gracias a la carcasa antideflagrante del tipo EEx d en acero inoxidable macizo
- Teclado y display con seguridad intrínseca y programables directamente en la zona de peligro
- Transmisor con homologación ATEX, adecuado para el montaje en las zonas de peligro 1 ó 2
- Interfaz de sensor y transmisor con seguridad intrínseca según EEx Ia IIC
- Cambio del transmisor directamente en la zona de peligro sin necesidad de parar la tubería del proceso, gracias al interfaz Ia IIC entre sensor/transmisor
- Chip especial de caudal máscico con tecnología ASIC de última generación
- Rápido procesamiento de lotes y cortos tiempos de respuesta con una velocidad de actualización verdadera de 30 Hz
- Excelente inmunidad a interferencias gracias al algoritmo DFT patentado (DFT = Discrete Fourier Transformation)
- Mejor estabilidad del cero y dinámica aumentada de la precisión de medición en caudal y densidad gracias a una resolución de entrada superior a 0,35 ns
- Más facilidad en la localización de errores y en la revisión del aparato gracias al menú especial de diagnóstico y de servicio
- Control de lotes incorporado con compensación y vigilancia así como 2 contadores integrados

- Salidas multiparámetro, configurables individualmente cada una a caudal máscico, caudal volumétrico, densidad, temperatura o caudal fraccionario, p.ej. BRIX o PLATO
- 1 salida de corriente, 1 salida de frecuencia/impulsos y 1 salida de relé en concepto de salida estándar
- Salida de corriente opcional en concepto de salida pasiva o activa
- Entrada digital para el control de lotes, ajuste a distancia del cero o modo de salida forzada
- Todas las salidas pueden ajustarse en modo forzado con valores predefinidos para fines de simulación, revisión o calibración
- Menú configurable por el usuario protegido por contraseña
 - Display con 3 líneas de 20 dígitos, en 11 idiomas
 - Tratamiento autoexplicativo y registro de errores en formato de texto
 - Teclado utilizable para el control de lotes (Start/Stop/Hold/Reset)
- La tecnología SENSORPROM efectúa la configuración automática del transmisor durante la puesta en servicio y ofrece las siguientes funciones:
 - Preprogramación definida en fábrica de los datos de calibración, el tamaño del tubo, el tipo de sensor, los ajustes de salida
 - Almacenamiento automático de todos los valores y ajustes introducidos por el usuario
 - Reprogramación automática de un transmisor nuevo sin pérdida de precisión
 - Cambio del transmisor en menos de 5 minutos. "Plug & Play" verdadero
- La medición de temperatura Pt1000 de 4 cables asegura una precisión óptima en el caudal máscico, la densidad y el caudal fraccionario.
- Cálculo del caudal fraccionario basado en un algoritmo de 5º orden, adecuado para todas las aplicaciones
- Dotación de módulos de bus adicionales sin pérdida de funciones gracias a la plataforma USM II
 - Todos los módulos pueden equiparse con auténtica funcionalidad "Plug & Play"
 - Configuración automática del módulo y del transmisor mediante SENSORPROM
- El transmisor se instala fácilmente a través del zócalo del sensor gracias a la función "Plug & Play".

Gama de aplicación

Los caudalímetros máscicos SITRANS F C son aptos para todas las aplicaciones del sector de la industria de procesos que requieren mediciones de caudal precisas en atmósferas explosivas. Estos caudalímetros permiten medir tanto caudales en líquidos como en gases.

El transmisor MASS 6000 Ex d se utiliza en primer lugar en los siguientes sectores industriales:

- Industria química de procesos industriales
- Industria farmacéutica
- Industria del automóvil
- Industria del petróleo y del gas
- Producción de energía y suministro de energía

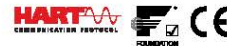
Diseño

El transmisor está alojado en una caja compacta de acero inoxidable del tipo Ex d que, en montaje compacto, puede combinarse con los sensores de la serie MASS 2100 de DI 3 a DI 40 y, en el montaje separado, con toda la serie de sensores.

Rosemount 8800D Series Vortex Flowmeter

HART® AND FOUNDATION™ FIELD BUS PROTOCOLS

- Available with optional MultiVariable output and temperature compensated mass flow for saturated steam.
- Available in wafer, flanged, dual, reducer and high pressure designs.
- Available in Reducer™ Vortex which extends the measurable flow range, reduces installation costs, and minimizes project risk.
- All-welded, non-clog design eliminates ports and gaskets.
- Adaptive Digital Signal Processing (ADSP) provides vibration immunity and the ability to optimize the measurable flow range.
- With the unique isolated sensor design, the CriticalProcess™ Vortex allows for replacement without breaking the process seal.
- Simplified troubleshooting through device diagnostics and meter verification.



Contents

Specifications.....	page 6
Typical Flow Ranges.....	page 11
Product Certifications.....	page 22
Dimensional Drawings.....	page 28
Ordering Information.....	page 44

ROSEMOUNT

www.rosemount.com

EMERSON.
Process Management

Medida de nivel

Medición continua - Transmisores capacitivos

SITRANS LC300

Sinopsis



El transmisor de nivel SITRANS LC300 utiliza la tecnología capacitiva con método de frecuencia inversa para detectar líquidos y sólidos. Es ideal para aplicaciones industriales estándar del sector químico, el procesamiento de hidrocarburos, alimentos/bebidas, minería, áridos y cemento.

Beneficios

- Usa la patentada tecnología Active-Shield para medición fiable incluso en presencia de acumulaciones de material en la sonda
- Sondas de alta fiabilidad y rendimiento con revestimiento de PFA
- Display LCD
- Conexión a 2 hilos, bucle de corriente 4 - 20 mA
- Procesamiento de señales NAMUR NE 43
- Calibrado y programación con botones pulsadores

Gama de aplicación

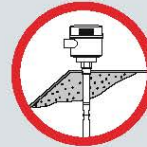
El transmisor de nivel a 2 hilos SITRANS LC300 incorpora un microprocesador perfeccionado de fácil ajuste y sensores apropiados para condiciones extremas. Está disponible con electrodos de varilla o de cable.

El SITRANS LC300 incorpora una conexión de proceso de acero inoxidable y un sensor con revestimiento PFA. Detecta fiablemente productos con diferentes propiedades dieléctricas. La formación de adherencias a proximidad de la boquilla del depósito no tienen influencia alguna sobre la tecnología patentada Active-Shield.

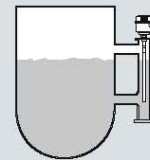
- Principales aplicaciones: productos conductores y no conductores incluyendo líquidos y sólidos en aplicaciones típicas del sector industrial; sólidos a granel con formación de polvo o procesos químicos con vapor

Configuración

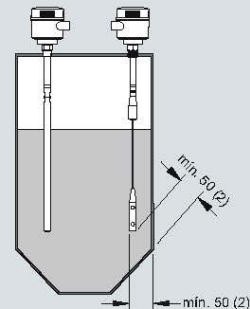
Instalación



La acumulación de producto o la condensación en la protección active shield no afecta al funcionamiento del detector.



Montaje en bypass



Mantener una distancia mínima de 50 mm (2") entre la sonda y la pared del depósito. Tomar en cuenta el ángulo de reposo del material.

Instalación SITRANS LC300, dimensiones en mm (pulgadas)

5

Sinopsis



El transmisor de nivel por ultrasonidos The Probe está diseñado para aplicaciones con líquidos y lodos en depósitos abiertos o cerrados, y rangos cortos.

Beneficios

- Fácil de instalar, programar y mantener
- Precisión y fiabilidad
- Versiones sanitarias disponibles
- Patentada tecnología de procesamiento de señal Sonic Intelligence
- Compensación integrada de temperatura

Gama de aplicación

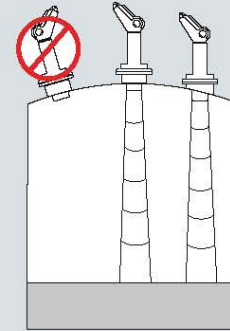
El transmisor mide usando un sensor de copolímero PVDF y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones. The Probe destaca por su fácil instalación y mantenimiento así como rápido desmontaje, y cumple con los requisitos específicos de limpieza en procesos con alimentos, bebidas y productos farmacéuticos.

Este transmisor incorpora la tecnología de procesamiento de señal Sonic Intelligence para garantizar mediciones de nivel muy fiables. Un filtro diferencia entre ecos auténticos procedentes del material y falsos ecos provenientes de obstrucciones, ruido acústico/eléctrico y mecanismos agitadores. El tiempo de propagación de los impulsos ultrasónicos se compensa en temperatura y convierte en distancia para su visualización, y la activación de la salida analógica y del relé.

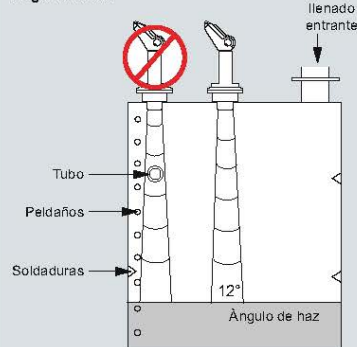
- Principales aplicaciones: tanques de almacenaje de productos químicos o líquidos, lodos, lechos de filtrado, aplicaciones con alimentos

Configuración

Montaje en tapas de depósito parabólicas



Montaje en tapas de depósitos planas, ángulo de haz



Montaje The Probe

Medida de nivel Detección de nivel - Sensores electromecánicos

SITRANS LVL100

Sinopsis



SITRANS LVL100 es un interruptor de nivel vibratorio para aplicaciones con líquidos y lodos. Aplicaciones típicas: protección contra sobrellenado, detección de nivel máximo/mínimo o ajuste específico, protección de bombas. Idóneo para espacios confinados.

Beneficios

- Tecnología probada para detección de nivel de líquidos
- Longitud de inserción de sólo 40 mm (1.57") para espacios confinados
- Monitorea continuamente criterios de corrosión o deterioro de la horquilla, falta de vibraciones o rotura de la línea hacia el piezoaccionamiento
- Función de verificación permite controlar el funcionamiento

Gama de aplicación

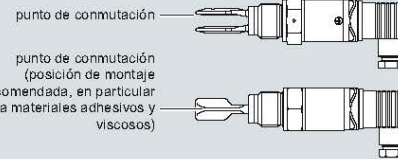
SITRANS LVL100 es un detector de nivel compacto diseñado para el empleo industrial en todas las ramas de la ingeniería de procesos. Se emplea en líquidos y lodos o lechadas. Con una longitud mínima de inserción (sólo 40 mm, 1.57"), SITRANS LVL100 funciona fiablemente incluso en tubos pequeños y espacios limitados. Puede emplearse casi independientemente de las propiedades químico-físicas del líquido. El LVL100 trabaja también bajo condiciones difíciles de medición tales como turbulencias, burbujas de aire, formación de espuma o incrustaciones. Es insensible a vibraciones ajenas.

El elemento vibratorio (horquilla vibratoria) es accionado de forma piezoeléctrica y oscila con una frecuencia mecánica de resonancia de aprox. 1200 Hz. Si el elemento vibratorio se cubre de producto almacenado, cambia la frecuencia de vibración. Este cambio es captado por la pieza electrónica integrada y convertido en una instrucción (conmutación). La electrónica integrada controla la señal de nivel y proporciona una señal de conmutación para accionar los aparatos externos.

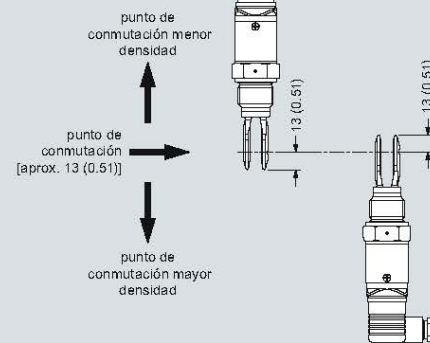
- Principales aplicaciones: Apropiado para la detección de líquidos y lodos, medición de nivel, protección contra sobrellenado y marcha en seco

Configuración

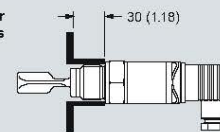
Montaje horizontal



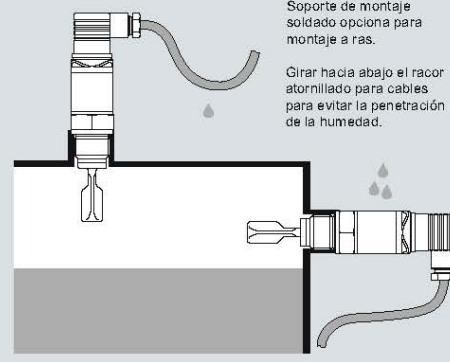
Montaje vertical



Montaje horizontal para detectar productos viscosos o adhesivos



Protección frente a la humedad



NOTA:
Soporte de montaje soldado opcional para montaje a ras.
Girar hacia abajo el racor atornillado para cables para evitar la penetración de la humedad.

Instalación SITRANS LVL100, dimensiones en mm (pulgadas)

5

Serie 240

Válvulas de accionamiento neumático Tipo 3241-1 y Tipo 3241-7 Válvula de paso recto Tipo 3241



Ejecución ANSI

Aplicación

Válvula de control para procesos industriales

Paso nominal 1/2" a 12"

Presión nominal ANSI Class 125 a 300

Temperaturas -320 a 842 °F · -196 a 450 °C



Válvula de paso recto Tipo 3241 con

- accionamiento neumático Tipo 3271 como válvula de control Tipo 3241-1 o con
- accionamiento neumático Tipo 3277 como válvula de control Tipo 3241-7

Cuerpo de la válvula de

- fundición gris
- acero al carbono, acero inoxidable y para bajas temperaturas
- acero forjado o acero inoxidable forjado
- materiales especiales

Parte superior de la válvula de una sola pieza hasta 6"

Obturador

- con cierre metálico
- con junta blanda o
- con cierre metálico lapeado.

Las válvulas de control están construidas en un sistema modular y pueden ir equipadas con diversos accesorios:

posicionadores, finales de carrera, electroválvulas y otros accesorios según la norma IEC 60534-6-1 y recomendaciones NAMUR. Para más detalles consultar la hoja sinóptica T 8350.

Ejecuciones

Ejecución estándar para temperaturas de 15 a 430 °F (-10 a 220 °C)

- Tipo 3241-1 (fig. 1 y 3) · 1/2" a 12" con accionamiento neumático Tipo 3271 (ver T 8310-1/-2)
- Tipo 3241-7 (fig. 2 y 4) · 1/2" a 6" con accionamiento neumático Tipo 3277 para el montaje integrado de un posicionador (ver T 8310-1)

Otras ejecuciones con

- Conexión rosca NPT (fig. 3) · 1/2" a 2", Class 250
- Empaquetadura reajutable · ver hoja sinóptica T 8000
- Diversor de flujo o internos AC-1/AC-2 para la reducción de ruido · ver hojas técnicas T 8081 y T 8082
- Obturador con compensación de presión · ver datos técnicos
- Pieza de aislamiento o fuelle · ver datos técnicos
- Camisa de calefacción · sobre demanda
- Accionamiento de acero inoxidable · ver T 8310-1
- Volante manual adicional · ver T 8310-1/-2



Hojas sinópticas correspondientes
Hojas técnicas correspondientes para
los accionamientos neumáticos

T 8000-1/-2/-3
T 8310-1, T 8310-2

Edición Marzo 2005

Hoja técnica

T 8012 ES

Serie 240

Válvula de accionamiento eléctrico Tipo 3241/3374 Válvula de paso recto Tipo 3241

Válvula de accionamiento eléctrico Tipo 3244/3374 Válvula de tres vías Tipo 3244

Aplicación

Válvula de control con múltiples aplicaciones tanto en la industria como en instalaciones de calefacción, ventilación y climatización, con válvula de paso recto o de tres vías.

Diámetro nominal DN 15 a DN 150 · Presión nominal PN 16 a PN 40 · Temperaturas de -196 °C a +450 °C



Válvula de tres vías Tipo 3244 o de paso recto Tipo 3241 con accionamiento eléctrico Tipo 3374.

Cuerpo de la válvula de

- fundición gris
- acero al carbono fundido o
- acero inoxidable fundido.
- Tipo 3241 también en fundición esferoidal y acero forjado.

Parte superior de la válvula de una sola pieza

El accionamiento eléctrico Tipo 3374 se puede suministrar en varias ejecuciones (para más detalles ver hoja técnica T 8331):

- con mando manual eléctrico
- con equipamiento eléctrico adicional (finales de carrera, potenciómetro, posicionador).

Ejecuciones

Ejecución estándar para temperaturas de -10 °C a +220 °C

- **Tipo 3241/3374** (fig. 1) · válvula de paso recto Tipo 3241 con accionamiento eléctrico Tipo 3374
- **Tipo 3244/3374** (fig. 2) · válvula de tres vías Tipo 3244 con accionamiento eléctrico Tipo 3374

Otras ejecuciones con

- **Pieza de aislamiento** · ver datos técnicos
- **Fuelle de estanqueidad** con prensaestopas de seguridad · ver datos técnicos
- **Camisa de calefacción** · ver datos técnicos

También se pueden suministrar

- Válvulas de control eléctrica con otros accionamientos eléctricos · ver hojas técnicas T 5874, T 8340 y T 8331
- Con accionamiento neumático · ver hoja técnica T 8015
- Ejecuciones homologadas · ver hoja técnica T 5871

Texto para pedidos

Válvula de accionamiento eléctrico

Tipo 3241/3374 o 3244/3374

DN ..., material del cuerpo ..., PN ...

En válvula Tipo 3244 válvula mezcladora o diversora

Accionamiento Tipo 3374

Conexiones eléctricas ... V, ... Hz

Ejecución especial opcional



Fig. 1 · Válvula de control eléctrica Tipo 3241/3374



Fig. 2 · Válvula de control eléctrica Tipo 3244/3374

Series 3730

Electropneumatic Positioner Type 3730-1



Application

Single-acting or double-acting positioner for attachment to pneumatic control valves. Self-calibrating, automatic adaptation to valve and actuator.

Reference variable	4 to 20 mA
Travels	3.75 to 200 mm
Opening angle	24° to 100°



The positioner ensures a predetermined assignment of the valve stem position (controlled variable x) to the input signal (reference variable w). It compares the input signal received from a controller to the travel or rotational angle of the control valve and issues a corresponding output signal pressure (output variable y).

Special features

- Easy attachment to common linear and rotary actuators with SAMSON direct attachment interface (Fig. 1), over NAMUR rib (Fig. 2), to control valves with rod-type yokes according to IEC 60534-6-1, or to rotary actuators according to VDI/VDE 3845 (Fig. 3)
- Any desired mounting position of the positioner
- Simple one-knob, menu-driven operation
- LCD easy to read in any mounted position due to selectable reading direction
- Variable, automatic start-up
- Preset parameters - only values deviating from the standard need to be adjusted
- Calibrated travel sensor without gears susceptible to wear
- Permanent storage of all parameters in EEPROM (protected against power failure)
- Two-wire system with a small electrical load of 300 Ω
- Activatable tight-closing function
- Continuous monitoring of zero point
- Two standard programmable position alarms
- Certified according to IEC 61508/SIL

Version

- **Type 3730-1** · Electropneumatic positioner operable on site with LCD

Additional options

- Stainless steel housing



Fig. 1 · Type 3730, direct attachment to Type 3277 Pneumatic Actuator



Fig. 2 · Type 3730, attachment to NAMUR rib



Fig. 3 · Type 3730, attachment acc. to VDI/VDE 3845

0290



2/2-way Solenoid Valve for gases and fluids

- Universal valve with coupled diaphragm system
- Switches without differential pressure
- For gases and liquids
- Brass and stainless steel bodies
- Seal material NBR, EPDM and FKM

Type 0290 can be combined with...



Type 2508
Cable plug



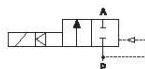
Type 1078
Timer unit
(only for AC version)



Type 2511
ASI cable plug

Pilot-controlled normally-closed valve with servo-diaphragm, forced valve lifting and coupled magnetic system. The valve switches without differential pressure from 0 bar with gases and liquids.

Circuit function A



2/2-way valve,
normally closed
by spring force

Technical data	
Orifice	DN 12 - 50 mm
Body material	Brass, stainless steel 1.4581
Coil material	Epoxy
Coil insulation class	H
Internal parts of valve	Brass, stainless steel 1.4105, 1.4301
Seal material	NBR, FKM, EPDM
Media	NBR FKM EPDM
	Neutral media, compressed air, water, hydraulic oil Per-solutions, hot oils Oil and fat-free media, e.g., hot water
Media temperature	NBR -10 to +80 °C FKM 0 to +120 °C EPDM -30 to +120 °C
Ambient temperature	Max. +55 °C
Voltage tolerance	±10%
Duty cycle	100% continuous cycle
Electrical connection	Cable plug for Ø 7 mm cable, acc. to DIN EN 175301-803 Form A (supplied as standard)
Protection class	IP 65 with cable plug
Installation	As required, preferably with actuator upright

DTS 100024659 EN Version: F Status: RL (released | freigegeben | validé) primect: 06.03.2009

3/2-way Solenoid Valve for gases and liquids



- 3/2-way solenoid valve with manual override
- Seat valve with servo-piston, enlarged outlet
- Circuit function NC or NO
- For neutral gases and liquids
- Pivoted armature pilot drive, media-separated

Type 0340 can be combined with...



Type 2508
Cable plug



Type 1078
Timer unit

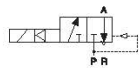


Type 2511
ASI cable plug

DTS: 1000010929 EN Version: D Status: RL (released / freigegeben / validé) / primed: 20.08.2008

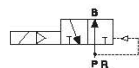
The pilot-controlled 3/2-way solenoid valve Type 0340 with smoothly operating servo-piston requires a differential pressure of 0.5 bar for complete opening and closing. A diaphragm separates the operating medium from the drive. It can be used in many ways, even for dry running. Manual override as standard.

Circuit function C



3/2-way valve, when de-energized outlet port A exhausted, with 3-way pilot control

Circuit function D



3/2-way valve, when de-energized outlet port B pressurized, with 3-way pilot control

Technical data	
Orifice	DN 8.0 - 40 mm
Body material	Brass
Coil material	Epoxy
Coil insulation class	H
Seal material	NBR
Media	Neutral media Compressed air, water, hydraulic oil
Media temperature	0 to +80 °C (90°C short term)
Ambient temperature	Max. +55 °C
Viscosity	Max. 21 mm ² /s
Voltage tolerance	±10%
Duty cycle	100% continuous rating
Electrical connection	Cable plug for Ø 7 mm cable, acc. to DIN EN 175301-803 Form A (supplied as standard)
Protection class	IP 65 with cable plug
Installation	As required, preferably with actuator upright
Flow rate K _v value water [m ³ /h]	measured at +20°C, 1 bar pressure at valve inlet and free outlet
Pressure values [bar]	gauge pressures with respect to the prevailing atmospheric pressure
Response times [ms] Opening Closing	measured with water at valve outlet at 6 bar and +20°C pressure build-up 0 to 90% pressure decay 100 to 10%

7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Se diseñó un módulo didáctico para la asignatura de instrumentación electrónica que permite realizar acciones de medición, supervisión y control de las variables físicas como nivel, presión, caudal y temperatura, las cuales son las más frecuentes en la industria, brindando al estudiante un espacio de trabajo similar al encontrado en el sector industrial.
- Se seleccionó un proceso, descrito en publicaciones arbitradas, similar a los encontrados en industrias de alimentos y refinación de crudo, en el cual se controla el flujo, presión, nivel y temperatura en condiciones que no presenten riesgos de accidentalidades a las personas que operan dicho proceso.
- La selección de los instrumentos del módulo fue realizada buscando cumplir con las condiciones requeridas para la supervisión y control de las variables, teniendo en cuenta la posibilidad de una futura implementación con instrumentos y actuadores utilizados en la industria dado el carácter real que se desea ambientar.
- Por medio de este trabajo, se entrega la ingeniería de detalle, la cual facilita la construcción de un módulo en el nuevo laboratorio de automatización y control, convirtiéndose en un gran aporte a los estudiantes de la escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones.
- Mediante la utilización de modelos simplificados se han dimensionado el separador y el intercambiador de calor. Para la completa definición del módulo se requiere la vinculación de personal asociado a escuelas como ingeniería mecánica y química en el área y transferencia de calor y de mecánica de fluidos dado la naturaleza del proceso.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] CREUS, Antonio. Instrumentación industrial. 6ed. Barcelona. Alfaomega, 1999. 651p.
- [2] DUNN, William. Fundamentals of industrial instrumentation and process control. 1ed. EE.UU. McGraw-Hill, 2005, 337p.
- [3] Dominguez M, FUERTES J J, "Maqueta Industrial para Docencia e investigación" 2003. Madrid, España.
- [4] Zhiyao Huang "Oil-Water Two-Phase Flow Measurement Based on a Hybrid Flowmeter and Dominant Phase Identification," IEEE Technology Conference, 2009.
- [5] API. Process Measurement Instrumentation. First Edition. Washington D.C. May 1993. 68p.
- [6] API. Manual of Petroleum, Measurement Standards, Chapter 5-Metering, First Edition. Washington D.C. October 2002. 54p.
- [7] MOTT, Robert L. Mecanica de Fluidos. 6ed. Mexico. Pearson Educación, 2006. 644p.
- [8] CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. McGraw-Hill, 1992. 235p.
- [9] DICKENSON, T. Christofer. Valves, piping and pipeline handbook. 3ed. Elsevier advanced technology, 1999. 882p.
- [10] SANABRIA, Cesar. SANCHEZ, Ricardo. Diseño de un banco de pruebas para la evaluación de pérdidas de energía en un sistema de transporte de fluidos. Bucaramanga. UIS. 2004
- [11] ULRICH L. Matthias A. Medición de caudal. Handbook 1ed. Endress+Hauser. 2005. 458p.

ANEXOS

ANEXO A. Selección del material de los instrumentos

La selección del material que están fabricados los instrumentos que están en contacto con el fluido es de vital importancia en el desempeño y durabilidad de los mismos, ya que la vida útil de estos depende de factores como: la abrasión, corrosión, presión y temperatura del fluido. A continuación se presentan estos factores:

ABRASIÓN

La abrasión es el desgaste de un material provocado por la acción mecánica de rozamiento que provoca las partículas que se transportan en el fluido, este fenómeno se con frecuencia en flujos bifásicos, el continuo choque de estas partículas generen el deterioro del material.

CORROSIÓN

La corrosión es un proceso natural, es la tendencia que tienen los metales a volver a sus componentes mas estables, por acción de óxidos y/o reacciones químicas o galvánicas, al entrar en contacto con el medio (atmosfera, líquidos, vapores o sólidos). Hay muchos tipos de corrosión, entre los cuales podemos encontrar; la corrosión galvánica o electroquímica, esta se presenta cuando metales de diferente electronegatividad se ponen en contacto, la corrosión atmosférica, ocurre cuando un metal esta expuesto a líquidos, sólidos o gases al aire libre. Algunas fuentes de corrosión atmosférica son la humedad, algunas sales, la suciedad y el acido sulfúrico. La corrosión química tiene lugar cuando un metal entra en contacto directo con una disolución corrosiva, esta se ve influenciada por algunos factores como el nivel de concentración química de la solución, la duración del contacto y la temperatura de trabajo.

Dada la evolución en el campo de la resistencia de materiales, existen polímeros con cualidades de resistencia a la corrosión química mejores que los metales, en el caso de los dos materiales la resistencia a la corrosión se ve disminuida con el aumento de la temperatura. Además de la temperatura se debe tener en cuenta el grado de concentración de la solución, todos estos factores se encuentran en las hojas de datos de los instrumentos, un ejemplo de esto se presenta en la figura A1

en la cual se presenta los materiales resistentes al ácido sulfúrico en diferentes concentraciones.

Tabla A1. Selección de material presentada por los fabricantes de instrumentos.

Process Liquid	Maximum Concentration	Flowtube Liner					Electrode Material					
		PTFE	ETFE	PFA	Polyurethane	Neoprene	Linatex Rubber	316 SST	Hastalloy C-276	Tantalum	Platinum -10% Iridium	Titanium
Sulfuric Acid	70%	A1	A1		N	A3	N	N	B3	B1	A1	N
Sulfuric Acid	80%	A1	A1		N	N	N	B5	A5	B1	A1	N
Sulfuric Acid	90%	A1	A1		N	N	N	B5	A4	B1	A1	
Sulfuric Acid	95%	A1	A1		N	N	N	B3		B1	A1	N
Sulfuric Acid	98%	A1	A1		N	N	N	B3	A5	B1	A1	
Sulfuric Acid	100%	A1	A1		N	N	N	B3	A5	B1	A1	N

Liners		Electrodes (Corrosion Rate per Year)		Temperatures	
A = Resistant		A = Less than 0.002 inches		1 = 248°F (120 °C)	
N = Not Resistant		B = Less than 0.020 inches		2 = 212°F (100 °C)	
Blank =No Information		C = Less than 0.050 inches		3 = 176°F (80 °C)	
Sat = Saturated		N = Greater than 0.050 inches		4 = 140°F (60 °C)	
Legend	Conc = Concentrated	Blank = No information		5 = 68°F (20 °C)	

Fuente: Rosemount

Anexo B. Tipos de conexiones al proceso de los instrumentos

Hoy en día encontramos en la industria instrumentos acoplados al proceso normalmente en conexiones roscadas o bridadas, o en algunas ocasiones menos comunes es posible encontrar conexiones como sándwich o abrazaderas, las cuales dependen de las condiciones del proceso, cada una de estas regidas por estándares que las diferencian unas de otras de acuerdo con la ubicación de la planta. A continuación se presenta cada una en grandes rasgos:

CONEXIÓN ROSCADA

Este tipo de conexiones son simples, económicas y de fácil instalación, sin embargo puede resultar difícil reemplazar los instrumentos, como en el caso de una válvula ya que hay la necesidad de desmontar una parte considerable de tubería. Principalmente hay dos tipos de roscas: NPT y BSPT, regidas por ANSI y BSI respectivamente, bajo los cuales se rigen los diámetros y características de cada una. En la figura.B1 se presenta un transmisor de nivel ultrasónico en conexión roscada

Figura B1. Transmisor de nivel ultrasónico de nivel conexión roscada



Fuente: Rosemount

CONEXIÓN BRIDADA

La conexión bridada es la más común del mercado, hace más fuerte la conexión, es la empleada en condiciones fuertes de presión, además de presentar menores fugas en la conexión, el cambio de los instrumentos es más rápido en la conexión entre tuberías, pero al mismo tiempo es de cuidado, ya que al ser tan común en cada lugar del mundo hay un estándar propio. La selección de la brida debe ser ya que algunos modelos no están autorizados a temperaturas y presiones elevadas.

- ANSI American National Standards Institution.
- ASTM American Society for Testing of Materials.
- BSI British Standards Institution
- DIN Deutsches Institut für Normung
- ISO International Standards Organization

Cada estándar establece las estrictas dimensiones que deben tener el diámetro total, el grosor de la tubería, el tipo de tornillo, a pesar de estas diferencias algunos estándares son equivalentes. En la figura B2 se presentan un instrumento en conexión bridada.

Figura B2. Transmisor de caudal conexión bridada



Fuente: Endress+hauser

CONEXIÓN SANDWICH

Es una versión económica de la conexión bridada la cual es utilizada en situaciones de caudales nominalmente bajos, como su nombre lo dice se genera un emparedado entre la tuberías finalizadas en brida a cada lado y el instrumento.

Figura B3. Transmisor de caudal conexión sándwich

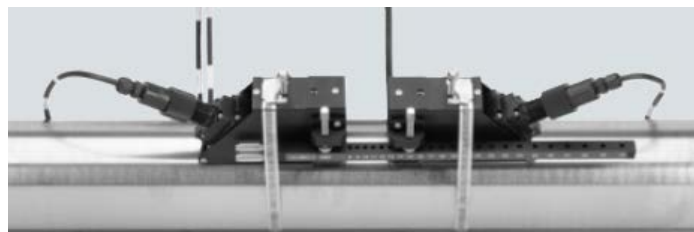


Fuente: Endress+Hauser

CONEXIÓN EN ABRAZADERAS

Esta conexión se encuentra presente en los instrumentos que no entran en contacto directo con el fluido, como algunos transmisores de caudal ultrasónicos y transmisores de nivel de rayos gamma. Presentan algunas ventajas frente a las conexiones anteriores, no es necesario cortar tubos, ni soltar conexiones, ni interrumpir el fluido, requieren un mantenimiento mínimo y no hay piezas móviles propensas al desgaste. En la figura B4 se muestra un transmisor de caudal ultrasónico no intrusivo en conexión abrazadera.

Figura B4. Transmisor de caudal ultrasónico en conexión abrazadera



Fuente: Siemens

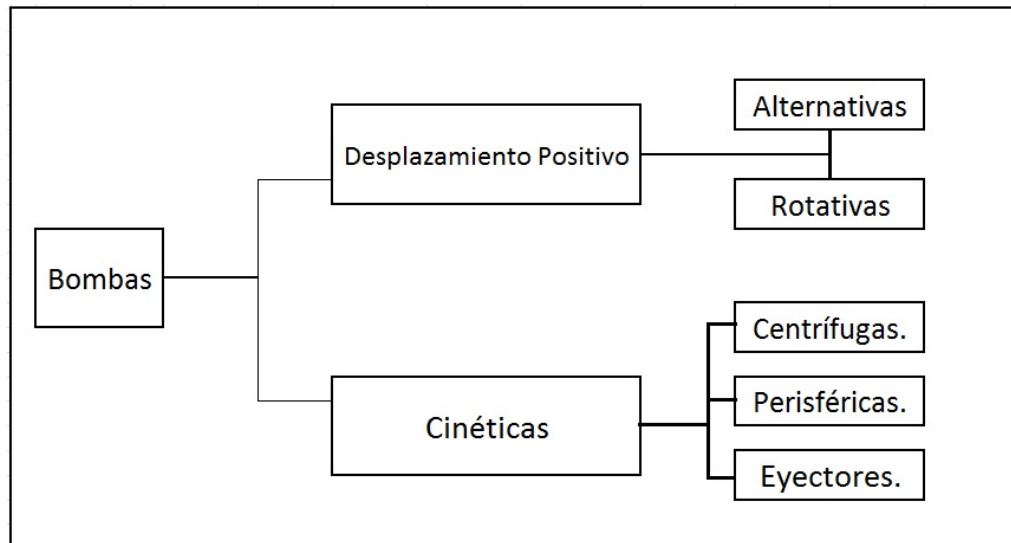
Anexo C. Características de las Bombas

Una bomba es un equipo el cual su función principal es transportar líquidos u otros fluidos mediante el aumento de energía del mismo en forma de presión y/o velocidad. El aumento de energía es transmitida a la bomba gracias a un motor el cual puede ser de tipo eléctrico, motor de explosión o turbina de vapor. En el intercambio de energía de un líquido o fluido por una tubería, interactúan energías como la potencial, relacionada a la altitud con respecto a un plano horizontal cualquiera, la energía debida a la presión del fluido, llamada comúnmente altura de presión y por último la energía cinética, la cual depende de la velocidad que lleve el fluido . Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. [7]

Clasificación de las Bombas

Según la construcción y diseño, las bombas se pueden clasificar de acuerdo a su principio de funcionamiento como se muestra en la siguiente figura

Figura C1. Clasificación de las Bombas.



Dependiendo del tipo de trabajo que se requiere haga la bomba, pueden ser de desplazamiento positivo o cinéticas.

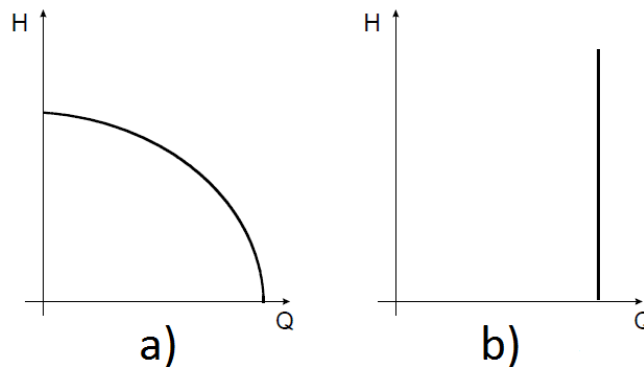
Bombas de desplazamiento positivo.

Son bombas con la capacidad de transportar una cantidad constante de fluido, independiente de la presión a la que esté trabajando el sistema. Esta conformada especialmente por un propulsor, el cual permite que en cada revolución dada se mueva un volumen específico del líquido, esto debido a los elementos móviles que conforman dicho propulsor.

Bombas Cinéticas.

Son el tipo de bombas más comunes y su característica principal es que aumentan la energía del fluido por la acción de la fuerza centrífuga provocada por el movimiento del fluido dentro de un rodete. De este grupo de bombas, las más utilizadas son las centrífugas, las cuales se componen de elementos de tipo giratorio compuestos por el eje y uno o varios rodetes, la carcasa y por último los elementos de cierres.

Figura C2. Curvas de funcionamiento de bombas a) Tipo Cinético b) Tipo desplazamiento positivo



En la figura C2 se pueden observar la curvas características para las dos clases principales de bombas, observándose que las cinéticas permiten hacer variación del caudal (Q) a cambio de la altura de elevación de la bomba (H), por otra lado se observa que la característica específica de las bombas de

desplazamiento positivo mantiene un caudal constante para una gran rango de altura de elevación que ofrece la bomba.

Parámetros a tener en cuenta en la instalación de una bomba

Las curvas características entregadas por los diferentes fabricantes de bombas muestran los siguientes parámetros, los cuales permiten hacer la caracterización de dicha bomba:

Caudal (Q): Volumen de líquido por unidad de tiempo que es movido, en este caso por la bomba, bajo ciertas condiciones de operación de la misma.

Altura de elevación de una bomba (H): Es el trabajo neto cedido a una unidad de peso del fluido bombeado al pasar desde la brida de aspiración a la brida de impulsión.

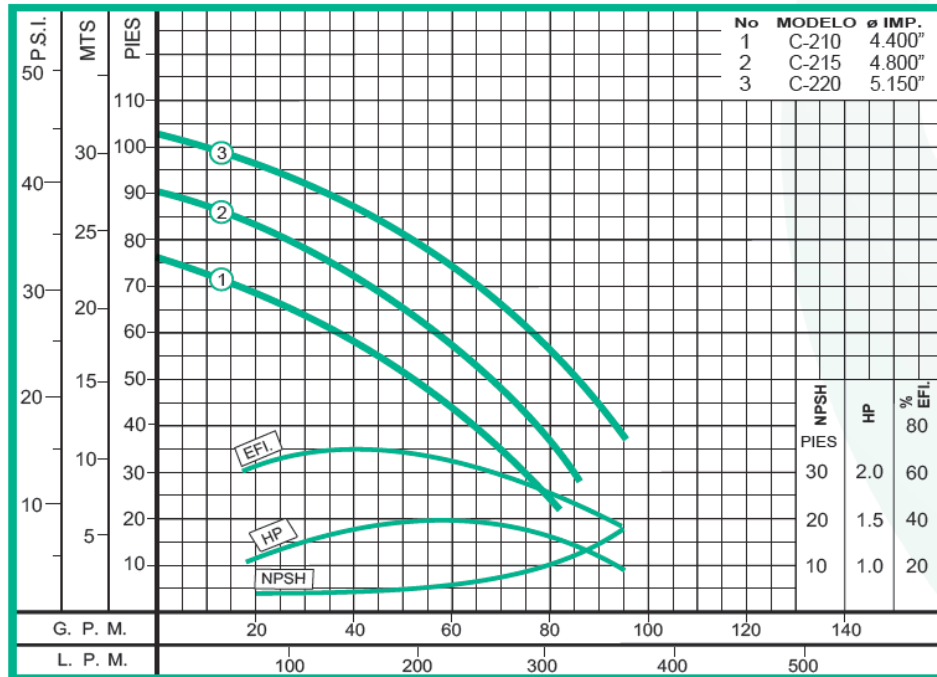
Potencia Hidráulica (P): Es la potencia cedida por la bomba al fluido.

Eficiencia o rendimiento hidráulico (η): Es el coeficiente obtenido del resultado de dividir la potencia hidráulica en la potencia suministrada por la bomba, representando el porcentaje de potencia transmitido al fluido con respecto al total suministrado al eje.

Cabeza de succión neta positiva requerida (NPSH_r): Es un parámetro de la bomba y el cual es uno de los datos que da el fabricante en sus hojas de datos normalmente. Se puede interpretar como la succión que produce la bomba para poder manejar el caudal y la cabeza para las cuales fue seleccionada. [8]

En la siguiente curva se puede observar las diferentes características expuestas anteriormente:

Figura C3. Curvas de rendimiento para bombas BARNES modelos C-210, C-215 y C-220



Obsérvese que las curvas de rendimiento proporcionan información que permiten conocer la presión a la que opera la bomba de acuerdo al flujo que queremos que la bomba esté operando, además de dar información sobre la eficiencia, caballos de potencia y el NPSH que se produce en dicho punto de operación.

Para un determinado caudal dado en galones por minuto (G.P.M) ó en litros por minuto (L.P.M), se encuentra un valor de altura de elevación (H) el cual puede ser dado en P.S.I, metros o pies. Estas curvas características permiten ver la altura de elevación que se puede llegar a conseguir de acuerdo al caudal que queremos transportar, no obstante, existen otros parámetros que las curvas características nos permiten ver.

Si se traza una línea vertical para el valor de caudal que queremos transportar, se observa los diferentes cortes no solo con la línea de altura de elevación (H) sino también con las curvas de eficiencia, caballos de potencia y cabeza de succión neta positiva. Estas 3 últimas deben visualizarse en los respectivos ejes verticales mostrados en la parte derecha de las curvas características y cuya escala esta especificada para cada uno de los parámetros. [7]

Leyes de Afinidad para las bombas

En algunos casos se busca obtener capacidades variables de la bomba ya sea variando la velocidad de operación de la bomba o también variando el diámetro del impulsor de la misma. Cualquiera que sea la variación que se haga, se deben considerar las variaciones de los parámetros de acuerdo a las siguientes leyes de afinidad:

Cuando se varía la velocidad:

1. La capacidad varía en forma directa con la velocidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ Ecuación C1}$$

2. La capacidad de carga total varía con el cuadrado de la velocidad:

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \text{ Ecuación C2}$$

3. La potencia que requiere la bomba varía con el cubo de la velocidad:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \text{ Ecuación C3}$$

Cuando el diámetro del impulsor varía:

4. La capacidad varía en forma directa con el diámetro del impulsor:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \text{ Ecuación C4}$$

5. La carga total varía con el cuadrado del diámetro del impulsor:

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \text{Ecuación C5}$$

6. La potencia que requiere la bomba varía con el cubo del diámetro del impulsor:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad \text{Ecuación C6}$$

La eficiencia permanece casi constante para cambios en la velocidad y para cambios pequeños en el diámetro del impulsor [7]

Esto no indica, por ejemplo, que si se disminuye la velocidad de la bomba en un 50%, el caudal también se reducirá en un 50%. La altura se reducirá al 25%, y el consumo de energía se reducirá al 12,5%.

Efecto de la viscosidad de un fluido.

Las curvas de rendimiento de una bomba, las cuales son también conocidas como curvas características de la bomba, están generadas con agua como flujo y a una temperatura determinada, para flujos con viscosidades muy semejantes al agua, su rendimiento será muy similar, pero en ocasiones se debe transportar fluidos más viscosos, en tales casos se presentan los siguientes efectos:

- Incremento de la potencia requerida para impulsar la bomba
- Disminución del flujo entregado para una determinada carga
- Disminución de la eficiencia

Efecto de la velocidad de la bomba sobre la NPSH.

Las curvas de NPSH sufren cambios debido a la variación de la velocidad de la bomba con respecto a las mostradas en las curvas de referencia del fabricante. Dicho efecto varía de acuerdo a la siguiente formula:

$$(NPSH_R)_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 (NPSH_R)_1 \quad \text{Ecuación C7}$$

Teniendo en cuenta que las curvas representativas de las bombas esta hechas a un número definido de revoluciones por minuto N_1 , estos datos se pueden tomar para construir la nueva curva NPSH para una nueva velocidad de funcionamiento N_2 . [7]

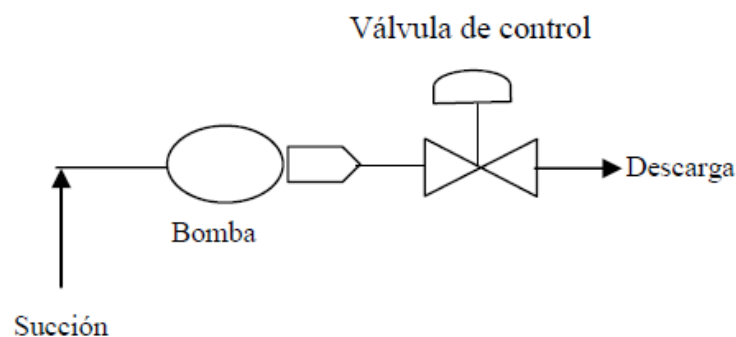
Variación del punto de operación en bombas centrífugas

Hay ocasiones donde se requiere trabajar una bomba en diferentes condiciones de caudal o presión. A continuación se muestran diferentes métodos para la regulación de caudal de acuerdo a los diferentes requerimientos:

Modificación de la curva del sistema en el que se trabaja la bomba.

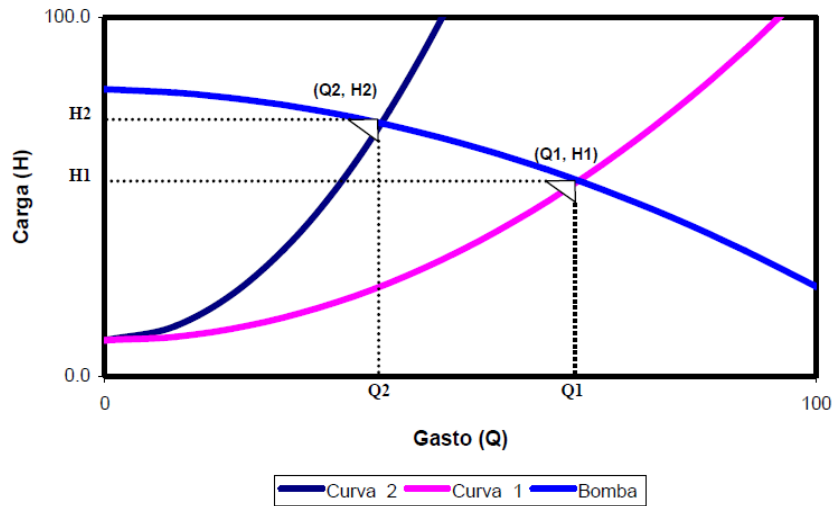
Consiste en esencia en regular el flujo mediante la actuación de una o más válvulas, modificando la curva de comportamiento del sistema de conducción.

Figura C4. Control por modificación de la curva del sistema.



Al realizar el control anterior se pueden obtener modificaciones en las curvas del sistema como se muestra en la figura C5:

Figura C5. Modificación de la curva del sistema

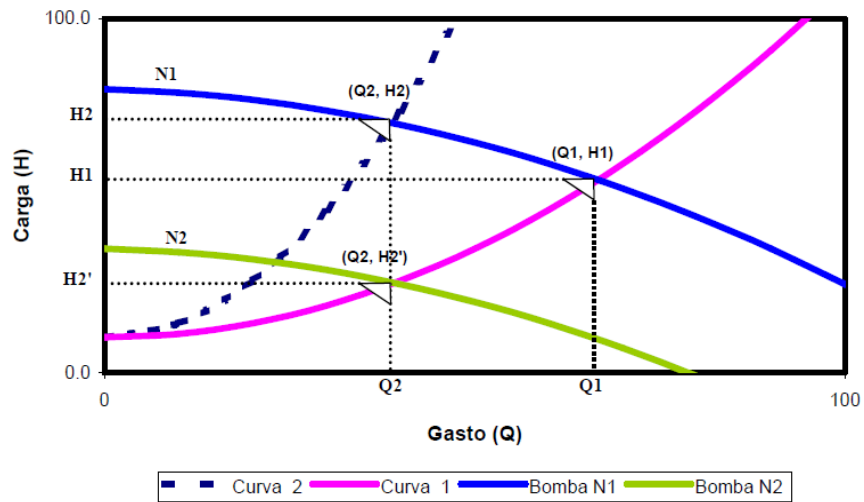


La curva de rendimiento de la bomba se mantiene invariable, las que varían (curvas 1 y 2) lo hacen de acuerdo a la apertura o cierre de la válvula de control. Al realizar esta acción se produce una modificación significativa de la curva del sistema y por lo tanto una modificación del punto de operación del sistema.

Modificación de la curva de la bomba

Consiste en variar la curva Carga-Capacidad variando la velocidad de operación de la bomba, obsérvese en la figura C6 que variando la velocidad de la bomba de N_1 a N_2 podemos pasar de un gasto de Q_1 a Q_2 , variando la altura de elevación de la bomba. Se observa también que se puede obtener el mismo caudal con una velocidad diferente y con una modificación de la curva del sistema. Este método produce una potencia hidráulica menor que la modificación de la curva del sistema sencillo. En este caso podemos aplicar las leyes de afinidad, conociendo las consecuencias que tiene la variación de la velocidad del motor en el caudal, altura de elevación y potencia requerida por la bomba.

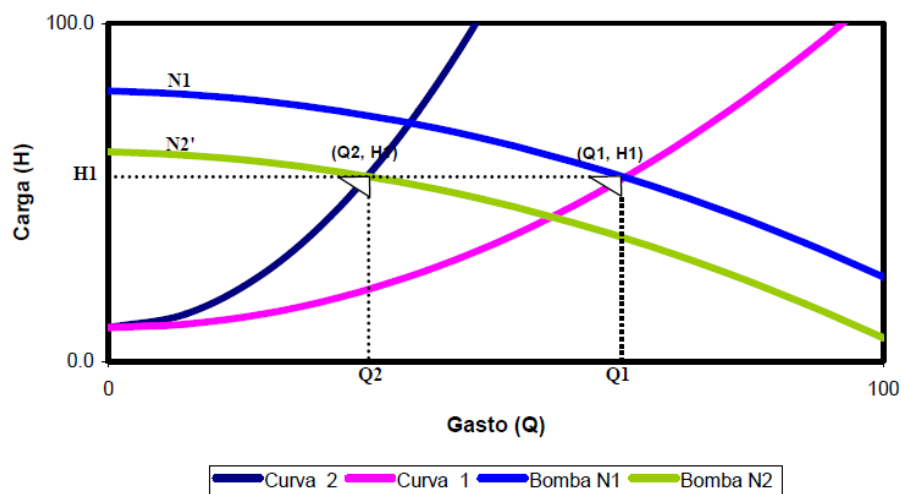
Figura C6. Comportamiento de la bomba con modificación de la curva de la bomba.



Modificación simultanea de las curvas del sistema y de la bomba

Este tipo de aplicaciones se utiliza para sistemas en donde hay variaciones del gasto del líquido, pero se requiere mantener el mismo nivel de carga o altura de elevación, en la siguiente figura se observa como a pesar de cambiar un caudal Q_1 a un caudal Q_2 , tanto la curva del sistema como de la bomba se ajustan para ofrecer la misma carga H_1 .

Figura C7. Comportamiento de la bomba con modificaciones tanto de la curva de la bomba, como de la curva del sistema.



Efecto indeseado en la operación de una bomba.

Cavitación: Es un fenómeno muy común en lo que respecta a efectos de las bombas, pero a su vez es el menos comprendido. Tiene distintas definiciones según las características que presenta. Algunos la definen como el ruido de golpeteo o traqueteo que se produce en una bomba. Otros la llaman “patinaje” debido a que la presión de la bomba decrece y el caudal se torna errático. Cuando se produce cavitación, la bomba no solamente no cumple con su servicio básico de bombear un líquido sino que también experimenta daños internos, fallas de los sellos, rodamientos, etc.

La cavitación es producida debido a las burbujas que se forman en un punto interior de la bomba en el que la presión estática es menor que la presión de vapor del líquido (cavitación vaporosa) o que la presión de saturación del gas (cavitación gaseosa).

Cavitación Vaporosa: Es la forma de cavitación más común en las bombas de proceso. Generalmente ocurre debido a un insuficiente NPSH disponible o a fenómenos de recirculación interna. Se manifiesta como una reducción del desempeño de la bomba, ruido excesivo, alta vibración y desgaste en algunos componentes de la bomba. La extensión del daño puede ir desde unas picaduras

relativamente menores después de años de servicio, hasta fallas catastróficas en un corto periodo de tiempo.

Cavitación Gaseosa: Se produce por efecto de gases disueltos (más comúnmente aire) en el líquido. Esta cavitación raramente produce daño en el impulsor o carcasa. Su efecto principal es una pérdida de capacidad. No debe confundirse con el ingreso de aire o bombeo de líquidos espumosos, situaciones que no necesariamente producen cavitación pero sí reducción de capacidad, detención del bombeo y otros problemas.

Síntomas que se observan cuando se produce cavitación:

- Reducción de la capacidad de bombeo.
- Disminución en la generación de cabeza.
- Vibración y ruido anormal.

Anexo D. Válvulas de Control

Entre los elementos que conforman un circuito hidráulico, existen algunos que son de gran importancia en el comportamiento del mismo como lo son las bombas hidráulicas y las válvulas de control. El funcionamiento de estos dos dispositivos son prácticamente contrarias en el modo que las bombas hidráulicas toman un fluido de algún elemento de almacenamiento aumentando su velocidad y presión, mientras las válvulas tiene como fin regular el paso de fluidos a cambio de pérdidas de presión, las cuales pueden ser considerables o despreciables según la escogencia de la misma.

Por ello las válvulas son consideradas para el control de presión y caudal, ya que sirven para limitar en un circuito hidráulico la presión en una rama, disminuyéndola en comparación con la presión de trabajo del circuito principal. Permiten a su vez hacer control de dirección del fluido y variar la velocidad con la que se mueve en flujo en una tubería.

Para entender el funcionamiento de una válvula de control, se debe conocer las partes esenciales que contribuyen al funcionamiento de la misma. Entre las partes que la conforman encontramos partes metálicas internas que son en su mayoría desmontables y que están normalmente en contacto directo con el fluido a trabajar. Dichas partes son el obturador, asientos, vástago, anillos de guía del vástago, empaquetadora, collarín de lubricación de empaquetadora, entre otras. Pero la esencia de la válvula radica en sí en los elementos que permiten cerrar el paso de fluido o disminuirlo de acuerdo a la variación del orificio de paso, siendo estos elementos el obturador y el asiento. Dichos elementos se convierten en piezas claves a la hora de seleccionar una válvula tanto por sus características de diseño en el funcionamiento, como por las sustancias a trabajar, las cuales pueden deteriorar dichas partes.

Entre los efectos a tener en cuenta a la hora de seleccionar una válvula para un cierto tipo de proceso, está la corrosión, erosión y desgaste que produce el fluido al pasar por la válvula. Para contrarrestar dichos efectos producidos por el fluido, las partes como obturador y asientos se fabrican en diferentes materiales como acero al carbón, acero aleado y acero inoxidable, elementos que permite darle resistencia a las partes internas de la válvula según sea el requerimiento del proceso y del fluido.

En algunos otros casos estas partes tiene revestimientos de goma o algún otro elemento que permite que el material duro de la válvula no este expuesto directamente a químicos o sustancias que producen un deterioro rápido del material. Así mismo cuando las condiciones del proceso no son las más duras, se construyen elementos en PVC, fluorocarbonos u otros elementos los cuales pueden ser recubiertos por fibras de vidrio o grafito.

Por lo tanto, a la hora de hacer la escogencia tanto del obturador como del asiento debemos tener en cuenta ciertos aspectos como: cantidad de fluido que queremos que permita pasar la válvula para un porcentaje de apertura sin necesidad de variar el cuerpo de la válvula, características del fluido y presiones a manejar, ya que un fluido muy corrosivo y abrasivo puede deteriorar rápidamente el obturados y asiento, produciendo el daño de la válvula y por último, una debida selección del vástago que permita tener una característica de caudal apropiada para la función de carrera que se necesita.

Según el tipo de obturador que se escoja, se producen curvas que asocian el porcentaje de apertura con el flujo, produciéndose curvas de apertura lineal, apertura rápida e isoporcentual.

Cuando el caudal es directamente proporcional a la carrera, se denomina a él obturador de apertura lineal rigiéndose por la ecuación:

$$q = Kl \text{ Ecuación D1}$$

Siendo q el caudal, l la carrera de la válvula y K la constante de proporcionalidad. Cuando el caudal aumenta mucho al principio, llegando rápidamente al máximo, se dice que el obturador es de apertura rápida.

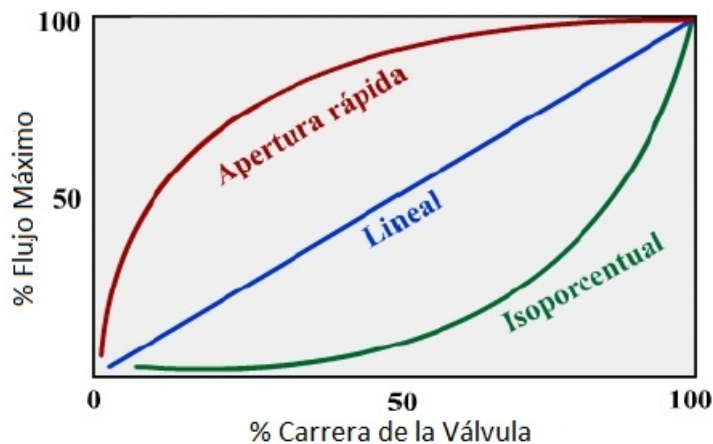
Si la característica de la curva muestra un incremento del valor, proporcional al caudal que fluía antes de realizarse a la variación, rigiéndose por la ecuación XXX en la cual a es una constante:

$$\frac{dq}{dl} = aq$$

Donde al integrar da como resultado la ecuación característica de los obturadores de aumento isoporcentual:

$$q = be^{al} \text{ Ecuación D2}$$

Figura D1. Curvas característica según el obturador

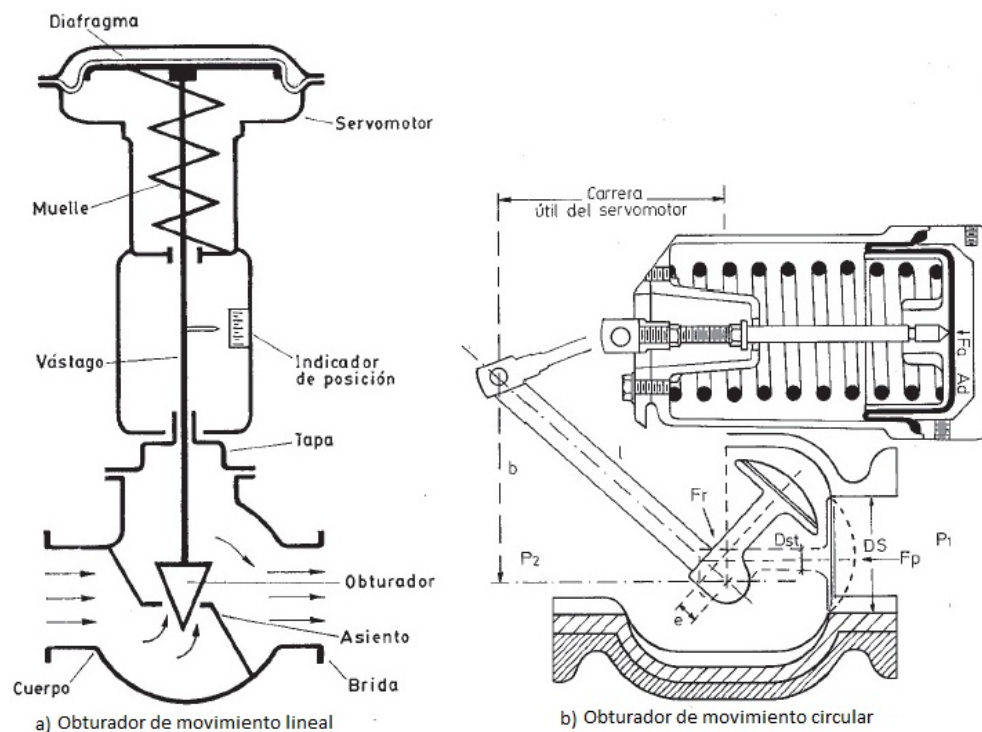


Fuente: [1]

Al seleccionar una válvula, el fabricante ofrece dos elementos, los cuales conforman la válvula de control. Dichas partes son el Cuerpo y el accionador.

El cuerpo es en sí, la parte de la válvula donde se encuentran los elementos que unen la válvula al proceso, varían el caudal, soportan las presiones, temperaturas y efectos que el fluido trae consigo. Por otra parte el accionador es el elemento que como su nombre lo indica, acciona la válvula, produciendo el movimiento del vástago, el cual es apreciable en el indicador de posición, permitiendo el movimiento interno del obturador, el cual realiza la función de variación de caudal. Según el movimiento del obturador por parte del accionador, se pueden clasificar en obturadores de movimiento lineal y obturadores de movimiento circular.

Figura D2. Tipos de válvulas según el movimiento accionador del obturador



FUENTE: Instrumentación Industrial, Antonio Creus Sole, 7 edición [1]

Tipos de Actuadores de una válvula: El accionamiento de una válvula puede ser de las siguientes formas: Hidráulica, neumática o eléctrica. El accionamiento hidráulico en válvulas de control contiene la estructura más compleja en comparación con los actuadores neumáticos y eléctricos, aunque el

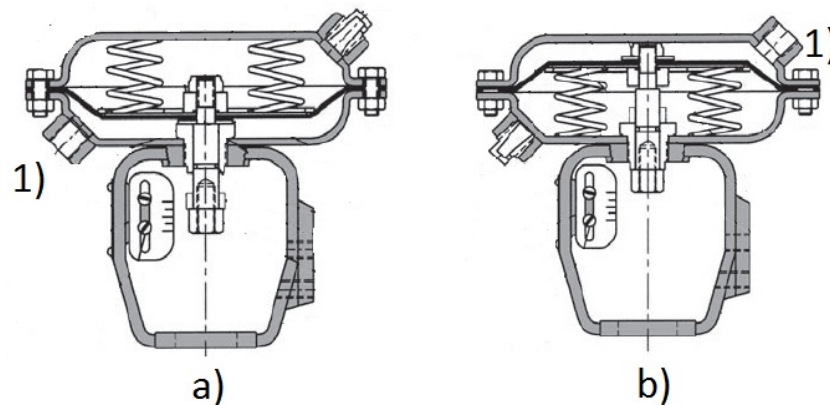
funcionamiento es muy similar a los actuadores neumáticos. Los actuadores neumáticos tienen la ventaja de utilizar aire o gas para la acción del actuador, lo cual es una ventaja ya que el aire o gas es menos viscoso que cualquier fluido utilizado por el actuador hidráulico. La forma de funcionamiento de los actuadores neumáticos es muy similar a los actuadores hidráulicos.

Los actuadores neumáticos pueden ser de dos clases: ATR o ATE.

Actuador de retracción neumática (ATR): Este tipo de actuadores reciben una señal neumática (1), la cual, a medida que aumenta la presión de la señal de aire, contrae los resortes del actuador, permitiendo que el vástago se desplace hacia arriba, con lo cual la válvula inicia su apertura.

Actuador de extensión neumática (ATE): Este tipo de actuadores reciben una señal neumática (1), la cual, a medida que aumenta la presión de la señal de aire, contrae los resortes del actuador, permitiendo que el vástago se desplace hacia abajo, con lo cual la válvula comenzara a cerrarse.

Figura D3. Tipos de actuadores neumáticos: a) ATR b) ATE



FUENTE: WWW.FISHER.COM

El actuador eléctrico funciona con señales eléctricas, lo cual lo convierte en un elemento muy versátil, ya que la fuente de poder puede estar a una distancia

considerable. Este tipo de actuador tiene una alimentación eléctrica la cual puede ser de tipo alterna o continua.

Tipos de válvulas:

Válvula de globo: Son válvulas las cuales tienen como característica principal la regulación de caudal en forma lineal y que su cierre no necesariamente es hermético. Con respecto a su clasificación, la cual depende de del tipo de obturador, podemos clasificarlas en simple asiento, doble asiento y obturador equilibrado. Las de simple asiento cierran en contra de la presión diferencial, motivo por las cuales son utilizadas en procesos de baja presión mientras las de doble asiento y obturador equilibrado permiten mayores presiones diferenciales pero mayores pérdidas por fugas. La norma ANSI da valores admisibles con respecto a las pérdidas de fuga en cada válvula, para las válvulas tipo globo de asiento simple un 0.1% de caudal máximo y 0.5% para las de asiento doble.

Válvula de bola: Sus principales usos son en procesos que necesiten control de caudal de fluidos negros o con gran cantidad de sólidos en suspensión. Su característica principal es el obturador en forma de esfera, el cual tiene un corte usualmente en forma de V dando la característica de sus curvas características. Dicho obturador es accionado por un servomotor exteriormente, produciéndose la apertura máxima cuando la válvula equivale a 75% aproximadamente el tamaño de la tubería.

Válvula de Jaula: Una de sus características y usos primordiales es en procesos de altas presiones diferenciales, ya que su obturador cilíndrico con orificios adecuados eliminan prácticamente el desequilibrio producido por las altas presiones diferenciales, además de eliminar las vibraciones, dándole una mayor estabilidad de funcionamiento. Son válvulas de gran tamaño y cierre hermético.

Válvula Saunders: Muy utilizada en procesos químicos donde se utilizan fluidos corrosivos, abrasivos o con sólidos en suspensión, razón por la cual en su interior tiene un revestimiento soportar dichos fluidos. En su funcionamiento sobresale que tiene un resalte en su cuerpo, el cual cierra totalmente la válvula cuando es presionado por una membrana que se desliza producto del movimiento de un servomotor y el vástago.

Válvula de compresión: Tiene un uso muy semejante a la válvula Saunders, solo que el cierre de esta válvula se produce por el acoplamiento de dos pinzas o algunos otros dispositivos flexibles. Estas válvulas son utilizadas para procesos donde se necesita control de la válvula con respecto a un cierre parcial de la misma.

Válvula de tres vías: Son utilizadas especialmente en procesos donde se necesita mezclar o derivar el fluido y también en aplicaciones donde el fluido necesite control de temperatura por intercambiadores de calor.

Válvula de mariposa: Utilizada como válvula de todo – nada, ya que su característica en el diseño radica en un disco circular, el cual es movido por un servomotor en un ángulo desde los 0° hasta 90°, siendo 0° el cierre total y 90° la apertura total. Aunque no se recomienda mucho como válvula de control de flujo debido a que pasado un cierto rango de los grados a moverse presenta gran inestabilidad, aunque es muy usada en procesos de grandes caudales con bajas presiones diferenciales. Debido a sus cierres en goma, permite el cierre hermético. A la hora de seleccionar una válvula como estas es necesario tener en cuenta las presiones diferenciales en apertura total y cierre total, ya que esta lleva a requerir grandes fuerzas para el accionamiento de dicha válvula

Válvula de ángulo: Es muy utilizada para procesos donde hay sólidos en suspensión, grandes presiones diferenciales, o fluidos que vaporizan. Cuando el proceso utiliza un fluido que produce erosión o tiene altas presiones diferenciales,

esta válvula permite la regulación del caudal disminuyendo la turbulencia y disminuyendo notablemente la erosión de la misma.

Válvula en Y: Es el tipo de válvula que puede ser utilizada para dos funciones en especial, siendo esta muy utilizadas en instalaciones criogénicas. Sirve como válvula de cierre todo –nada en donde sus características de pérdida de carga son muy bajas y también en procesos donde se requiere manejar un gran caudal.

Válvula de cuerpo partido: Siendo muy utilizada procesos de la industria alimentaria o con fluidos viscosos, es considerada una modificación de la válvula de asiento simple ya que como su nombre lo dice, tiene el cuerpo partido en dos, en donde el asiento de la válvula esta sienta presionado, esta modificación permite un flujo suave sin espacios muertos y una fácil sustitución del asiento.

Válvula de compuerta: Este tipo de válvulas es muy utilizada en procesos donde se desea bloquear el fluido por completo, o contrariamente, dejar pasar totalmente el flujo oponiendo muy poca resistencia al fluido. Está compuesta de un disco vertical plano el cual le da su característica de válvula todo – nada.

Válvula de obturador excéntrico rotativo: Es muy utilizada en proceso con gran caudal, aunque su pérdida de carga es elevada pero admisible. Su funcionamiento comprende el movimiento de un vástago, ocasionado por un servomotor el cual lo gira haciendo un cierre de la válvula.

Válvula de obturador cilíndrico excéntrico: Es de las válvulas de más bajo costo y alta capacidad de flujo, además de permitir flujos corrosivos, viscosos, abrasivos y con partículas sólidas, razón por las cuales tiene recubrimiento especial interno de goma o teflón en la cara de asiento del obturador, el cual tiene forma cilíndrica y excéntrica, razón por la cual produce un cierre hermético.

Válvula de orificio ajustable: Adecuada donde se requieren ajustar el caudal máximo del fluido que se requiere trabajar, cuando dicho rango del mismo es amplio. Utilizada para procesos donde el flujo es combustibles gaseosos o

líquidos, aire comprimido, líquidos o vapor. Su funcionamiento consiste en una camisa cilíndrica la cual tiene dos orificios, uno para el ingreso del flujo y otro para la salida, accionada por un servomotor externo o manualmente. Además este obturador cuenta con un dispositivo que es controlado manualmente para variar el tamaño de los orificios, permitiendo variar el caudal máximo de la válvula.

Válvulas de flujo axial: Son válvulas utilizadas en procesos donde el fluido es gas. El proceso de funcionamiento de la válvula consiste en un accionamiento neumático a un diafragma el cual mueve un pistón, el cual comprime un fluido hidráulico contra el obturador, el cual está conformado por un elastómero que se expande para cerrar el paso de la válvula.