



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
FACULTAD INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**

**PROTOTIPO PARA EVALUAR EL ERROR DE LINEALIZACIÓN EN  
UN SISTEMA DE DOS TANQUES INTERCONECTADOS EN FORMA  
INTERACTIVA**

**CARLOS ANDRES VEGA PUENTES**

**Proyecto de Grado para optar al título de  
Ingeniero en Energía**

**Director:**

**CARLOS ALBERTO REY SOTO**

**Docente Facultad Ingeniería en Energía**

**Bucaramanga, Santander**

**2014**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

Firma Director: Carlos Alberto Rey Soto

---

Firma Evaluador: Hernando González

Bucaramanga, Noviembre, 2014

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE FIGURAS.....	5
TABLA DE TABLAS .....	7
Capítulo 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	8
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	8
1.2. OBJETIVO GENERAL .....	8
1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	9
1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN .....	9
1.5. ALCANCE Y DELIMITACION DEL TRABAJO .....	10
Capítulo 2. FUNDAMENTACION BIBLIOGRAFICA .....	11
2.1. MEDICIÓN DE NIVEL.....	11
1.1.1. Instrumentos de medida directa.....	12
1.1.2. Instrumentos basados en la presión hidrostática o fuerza.....	15
1.1.3. Instrumentos basados en métodos electromecánicos.....	18
1.1.4. Instrumentos basados en características eléctricas del líquido .....	20
1.1.5. Medición y detección de nivel por ultrasonidos .....	24
2.2. MEDICIÓN DE FLUJO.....	26
2.2.1. Medidores volumétricos.....	26
2.3. VÁLVULAS .....	42
2.3.1. Válvula de control .....	43
Capítulo 3. DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	60
3.1. DETALLES DE CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO.....	60
3.2. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACION.....	63
3.2.1. Diagrama de flujo del proceso (PFD).....	63
3.2.2. Diagrama de instrumentación y control (P&ID) .....	63
3.3. SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION .....	64
3.3.1. LISTA DE INSTRUMENTOS.....	64

3.3.2. Dimensionamiento de la válvula .....	65
3.3.3. Cálculo del coeficiente de caudal ( <b>CV</b> y <b>KV</b> ) para la válvula de control proporcional de flujo para el tanque de entrada y para el tanque de salida .....	66
3.3.4. Cálculo del coeficiente de caudal ( <b>CV</b> y <b>KV</b> ) para la válvula de control solenoide para la interconexión de los 2 tanques .....	67
3.3.5. HOJA DE DATOS (DATA SHEETS) .....	70
3.4. MÉTODOS DE LINEALIZACIÓN .....	73
3.4.1. Linealización sistema SISO .....	73
3.4.2. Linealización modelo MIMO .....	74
Capítulo 4 DESARROLLO DEL MODELO DINÁMICO DE LOS DOS TANQUES Y DE LAS VÁLVULAS UTILIZADAS PARA LA REGULACIÓN DEL FLUJO DE AGUA.....	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFIA.....	87
ANEXOS.....	88
Anexo 1. Data sheets Medidor de caudal Siemens MAG 5100 W .....	88
Anexo 2. Data sheets sensor ultrasonico de nivelsiemensPointek ULS200.....	90
Anexo 3. Data sheets eletroválvula solenoide servoaccionadas de 2/2 vias modelo EV220B 15-50 conexión NPT .....	92
Anexo 4. Data sheets Válvula control proporcional de dos vias seria KLA SPIRA-TROL... ..	99
Anexo 5. Data sheets Actuador neumático para la válvula de control proporcional Serie PN 3500.....	109
Anexo 6. Data sheets Actuador eléctrico para la válvula de control proporcional Lineales serie EL5600 .....	112

## TABLA DE FIGURAS

Figura 2.1. Medidores de sonda.....	12
Figura 2.2. Medidor de cinta.....	13
Figura 2.3. Medidor de cristal o visor de vidrio.....	14
Figura 2.4. Medidor de flotador.....	14
Figura 2.5. Medición de presión hidrostática.....	16
Figura 2.6. Tubo de burbujeo.....	17
Figura 2.7. Medidor de presión diferencial.....	18
Figura 2.8. Medidor de nivel por desplazamiento.....	19
Figura 2.9. Servodispositivo de nivel.....	20
Figura 2.10. Medición de nivel conductivo.....	21
Figura 2.11. Circuito básico para detección de niveles.....	22
Figura 2.12. Sensores de nivel capacitivo.....	23
Figura 2.13. Medición de la variación de capacidad.....	23
Figura 2.14. Detección de nivel por ultrasonidos.....	25
Figura 2.15. Tiempo de retorno del ultrasonido.....	26
Figura 2.16. Flujo por tubería no uniforme.....	27
Figura 2.17. Desplazamiento de un fluido por tubería no uniforme.....	28
Figura 2.18. Efecto Venturi en tubo horizontal.....	30
Figura 2.19. Placas orificios.....	31
Figura 2.20. Disposición de las tomas de presión diferencial.....	32
Figura 2.21. Presión en la vena contracta.....	34
Figura 2.22. Formas de la placa orificio.....	34
Figura 2.23. Medición de presión en placa orificio.....	35
Figura 2.24. Tubo Venturi.....	36
Figura 2.25. Tobera.....	37
Figura 2.26. Tubo pitot.....	37
Figura 2.27. Funcionamiento tubo de Pitot.....	38
Figura 2.28. Manifold.....	41
Figura 2.29. Rotámetros.....	42
Figura 2.30. Actuador de una válvula de control.....	44
Figura 2.31. Válvula de compuerta.....	45
Figura 2.32. Válvula de macho.....	47
Figura 2.33. Válvula de globo.....	48
Figura 2.34. Válvula de bola.....	49
Figura 2.35. Válvula de mariposa.....	51
Figura 2.36. Válvula de diafragma.....	52
Figura 2.37. Válvula de apriete.....	54
Figura 2.38. Válvula de retención (tipo de elevación).....	56

Figura 2.39. Válvula de desahogo (alivio) .....	59
Figura 3.1. Vista frontal del sistema interactivo de dos tanques.....	60
Figura 3.2. Vista superior del sistema interactivo de dos tanques .....	61
Figura 3.3. Dimensiones fundamentales del prototipo .....	61
Figura 3.4. Diametros superiores de los tanques.....	62
Figura 3.5. Ddiametro inferior de los tanques.....	62
Figura 3.6. Diagrama PFD del prototipo .....	63
Figura 3.7. Diagrama P&ID del prototipo.....	64
Figura 3.8. Válvula de desahogo (alivio) .....	65
Figura 3.9. Diagrama para el calculo del coeficiente de caudal .....	68
Figura 3.10. Figura de caudal (caudal volumetrico) para agua.....	69
Figura 3.11. Linealizacion de un sistema no lineal de 1 entrada y 1 salida (SISO).....	74
Figura 3.12. Linealizacion de un sistema de 2 entradas y 1 salida (MIMO) .....	74
Figura 4.1. Diagrama del modelo dinámico de los dos tanques y de las válvulas utilizadas para la regulación del flujo de agua.....	76
Figura 4.2. Modelo dinamico no lineal con una entrada y dos salidas .....	76
Figura 4.3. Modelo de simulación del sistema no lineal .....	78
Figura 4.4. Subsistema para la simulacion del modelo no lineal .....	78
Figura 4.5. Modelo de simulación modificado del sistema no lineal .....	79
Figura 4.6. Respuesta del modelo no lineal .....	79
Figura 4.7. Modelo linealizado del sistema .....	81
Figura 4.8. subsistema para la simulacion del modelo linealizado.....	81
Figura 4.9. Modelo de simulación modificado del sistema linealizado .....	82
Figura 4.10. Respuesta dinamica del modelo linealizado.....	82
Figura 4.11. Modelo linealizado usando funcion de transferencia .....	84
Figura 4.12. Respuesta del modelo linealizado usando funcion de transferencia .....	84

## TABLA DE TABLAS

Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de los medidores de sonda.....	13
Tabla 2.2. Ventajas y desventajas del medidor de flotador.....	15
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas del medidor de presión hidrostática.....	16
Tabla 2.4. Ventajas y desventajas del medidor de tipo burbujeo.....	17
Tabla 2.5. Ventajas y desventajas Medidor de nivel por desplazamiento.....	20
Tabla 2.6. Ventajas y desventajas Detección de nivel por conductividad.....	22
Tabla 2.7. Ventajas y desventajas Medidor de nivel capacitivo.....	24
Tabla 2.8. Ventajas y desventajas Detección de nivel por ultrasonidos.....	25
Tabla 2.9. Ventajas y desventajas Instrumentos de presión diferencial.....	27
Tabla 2.10. Ventajas y desventajas medición de presión en placa orificio.....	35
Tabla 2.11. Ventajas y desventajas tubo Venturi.....	36
Tabla 2.12. Ventajas y desventajas tobera.....	37
Tabla 2.13. Ventajas y desventajas tubo pitot.....	39
Tabla 2.14. Ventajas y desventajas rotámetros.....	42
Tabla 2.15. Ventajas y desventajas Válvula de compuerta.....	45
Tabla 2.16. Ventajas y desventajas válvula de macho.....	47
Tabla 2.17. Ventajas y desventajas válvula de globo.....	48
Tabla 2.18. Ventajas y desventajas válvula de bola.....	50
Tabla 2.19. Ventajas y desventajas válvula de mariposa.....	51
Tabla 2.20. Ventajas y desventajas válvula de diafragma.....	53
Tabla 2.21. Ventajas y desventajas válvula de apriete.....	54
Tabla 2.22. Ventajas y desventajas válvula de retención (tipo de elevación).....	57
Tabla 2.23. Ventajas y variaciones válvula de retención de mariposa.....	58
Tabla 2.24. Ventajas y variaciones válvula de desahogo (alivio).....	59
Tabla 3.1. Características del medidor de caudal MAG 5100 W.....	70
Tabla 3.2. Sensor ultrasonico de nivel siemens Pointek ULS200.....	70
Tabla 3.3. Electrovalvula solenoide servoaccionadas de 2/2 vias modelo EV220B 15-50 conexión NPT.....	71
Tabla 3.4. Valvula control proporcional de dos vias serie KLA SPIRA TROL.....	71
Tabla 3.5. Características del medidor de caudal MAG 5100 W.....	72
Tabla 3.6. Actuador electrico para la valvula de control proporcional lineales serie.....	72
Tabla 5.1. Evaluacion numerica del error de linealizacion para diferentes valores de desviacion del caudal de entrada del agua.....	85

# Capítulo 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las aplicaciones prácticas de sistemas control, es necesario desarrollar el modelo linealizado del proceso para facilitar el uso de herramientas clásicas, como la transformada de Laplace y la Función de Transferencia. La linealización se consigue seleccionando un punto de referencia  $P_0(x_0, y_0)$  para la condición normal de funcionamiento del sistema de control. El modelo linealizado permite analizar condiciones de funcionamiento del sistema de control, para la relación entrada-salida:  $\Delta x_0 \leftrightarrow \Delta y_0$ .

## 1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Una vez que se desarrolla el *modelo linealizado* del proceso en un sistema control, existe una limitación en su aplicación en cuanto al *cambio máximo* que se puede permitir en su entrada  $\Delta x_0$ , para que obtener un valor de la salida  $\Delta y_0$ , cercano al valor real del modelo físico.

Un caso típico es el de dos tanques interconectados en forma interactiva, donde las desviaciones en el caudal de entrada pueden originar errores en los valores calculados de los cambios de nivel en los tanques, que se salen de los rangos aceptados comúnmente en el análisis y diseño de los sistemas de control, en aplicaciones industriales.

En este sentido, el presente proyecto permitirá evaluar la magnitud de estos errores y su efecto en la acción final de control, mediante una estrategia especial de simulación en SIMULINK® de MATLAB®.

## 1.2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo de tanques interconectados en forma interactiva para evaluar el error de linealización, mediante el desarrollo de un modelo dinámico usando el SIMULINK® de MATLAB®, para comparar la respuesta del modelo no lineal (real) con el modelo linealizado (aproximado).

### 1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Revisarla bibliografía existente sobre la evaluación del error de linealización en un sistema de control de nivel interactivo de dos tanques.
2. Seleccionar la instrumentación necesaria para la implementación del sistema de control de nivel interactivo de los dos tanques, lo cual que incluye:
  - Sensor de nivel para el tanque de entrada y tanque de salida.
  - Sensor de flujo para el caudal de entrada y el caudal entre los dos tanques
  - Válvula de control proporcional de flujo para el tanque de entrada y para el tanque de salida.
  - Válvula solenoide para la interconexión de los dos tanques.
3. Desarrollar el diagrama de procesos (PFD) y el diagrama de instrumentación y control (P&ID), del sistema.
4. Desarrollar el modelo simulación en SIMULINK® para comparar la respuesta del sistema interactivo de dos tanques interconectados, que permita comparar la respuesta del modelo del sistema real (modelo no lineal utilizando ecuaciones diferenciales) con el modelo del sistema linealizado (función de transferencia).
5. Aplicar el modelo de simulación anterior para evaluar el error del modelo linealizado, en función de la magnitud de la desviación en la entrada de caudal del primer tanque, respecto del punto de operación normal, considerado en el proceso de linealización.

### 1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

Uno de los sistemas más utilizados en la industria es el control de nivel de líquidos en tanques, proceso que tiene gran importancia en sistemas de concentración, tanques de mezcla, almacenamiento de petróleo, etc. El criterio utilizado para la *linealización del modelo dinámico* de los tanques interconectados, se basa en asumir un *punto normal de trabajo*  $P_0$ ,

caracterizado por el nivel de agua  $H_0$  [m] en cada tanque y el caudal de entrada  $Q_0$  [m<sup>3</sup> /s], asumiendo pequeñas desviaciones en este caudal, alrededor de  $P_0$ .

Sin embargo, cuando se utiliza el modelo desarrollado para evaluar la respuesta dinámica del sistema de control de nivel, pueden aparecer errores considerables, si las desviaciones del caudal se alejan del criterio utilizado en el diseño. Estos errores pueden redundar en la calidad de los productos terminados, en el proceso de producción.

Por otro lado, el prototipo diseñado como parte de este trabajo, podrá ser implementado en el laboratorio de la Planta Pilo de la UNAB, para su utilización posterior en la realización de prácticas de laboratorio, como parte de la asignatura Instrumentación y Control de Procesos, del programa de Ingeniería en Energía.

## **1.5. ALCANCE Y DELIMITACION DEL TRABAJO**

El presente trabajo incluirá el desarrollo del modelo dinámico de dos tanques interconectados en forma interactiva para su simulación en SIMULINK<sup>®</sup> de MATLAB<sup>®</sup>. El *modelo no lineal* se desarrollará a partir de las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento dinámico del sistema real, asumiendo flujo turbulento en la válvula que regula el fluido entre los dos tanques y en la válvula que será utilizada para regular el fluido de salida del segundo tanque.

El *modelo linealizado* se obtendrá estableciendo un punto de operación normal  $P_0(q_0, h_{10}, h_{20})$  del sistema, utilizando la función de transferencia para su representación en SIMULINK<sup>®</sup>.

El trabajo incluirá además el diseño del sistema de los dos tanques, el cual incluye la selección de toda la instrumentación y los equipos necesarios para su posterior implementación, en una segunda etapa del proyecto, cuyo montaje se tiene previsto en la Planta Piloto de la UNAB.

## Capítulo 2. FUNDAMENTACION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. MEDICIÓN DE NIVEL

En general, en las medidas de nivel para el control de procesos no se requiere una gran precisión, salvo en los casos de dosificación por llenado de depósitos, mientras que en el caso de medida de almacenamiento la precisión es fundamental.

En la selección del tipo de medidor tienen preferencia, técnicamente, los medidores estáticos frente a los que tienen partes móviles y los que no necesitan contacto con el fluido o, incluso, son exteriores al recipiente, así como los que requieren menor modificación en la estructura del recipiente y sus soportes, especialmente cuando estos están contruidos.

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, ya sea directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, la presión hidrostática, el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien sea aprovechando características eléctricas del líquido.

Los instrumentos de medida directa se dividen en:

- Medidor de sonda
- Medidor de cinta y plomada
- Medidor de nivel de cristal
- Medidor de flotador

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

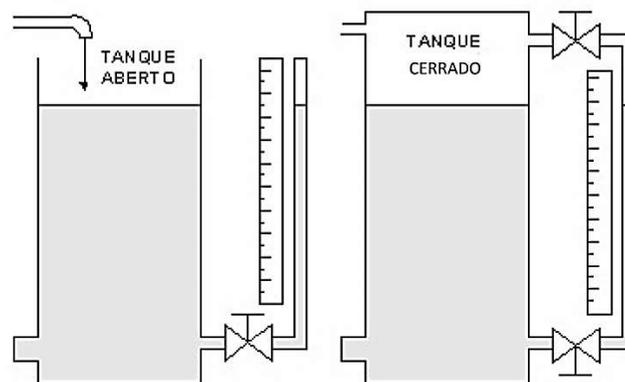
Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación
- Medidor láser

### 1.1.1. Instrumentos de medida directa

#### 1.1.1.1. Medidor de sonda

Consiste en una varilla o regla graduada, de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se emplea en tanques de agua a presión atmosférica.



**Figura2.1. Medidores de sonda.**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

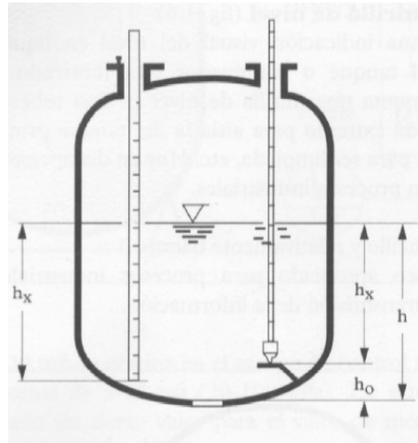
**Tabla 2.1. Ventajas y desventajas de los medidores de sonda.**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Sencillo y de bajo costo	Poco apropiado para procesos industriales
	No dispone de salida electrónica
	No es apropiado para recipientes a alta presión

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

### 1.1.1.2. Medidor de cinta y plomada

Este sistema es similar al anterior, consta de una cinta graduada y un plomo en la punta. Se emplea cuando es difícil que la regla tenga acceso al fondo del tanque.



**Figura 2.2. Medidor de cinta**

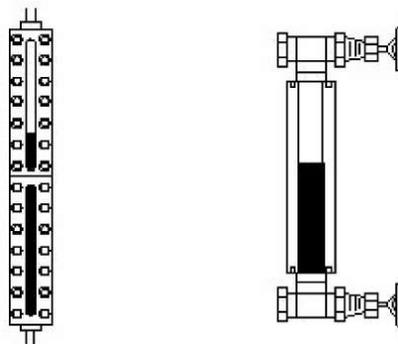
Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

### 1.1.1.3. Medidor de cristal o visor de vidrio

Consiste en un tubo de vidrio con sus extremos conectados a bloques metálicos y cerrados por prensaestopas que están unidos al estanque generalmente mediante tres válvulas, dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga.

El nivel de cristal normal se emplea para presiones hasta 7 bares. A presiones más elevadas, el cristal es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica.

**Cristal con armadura    cristal normal**

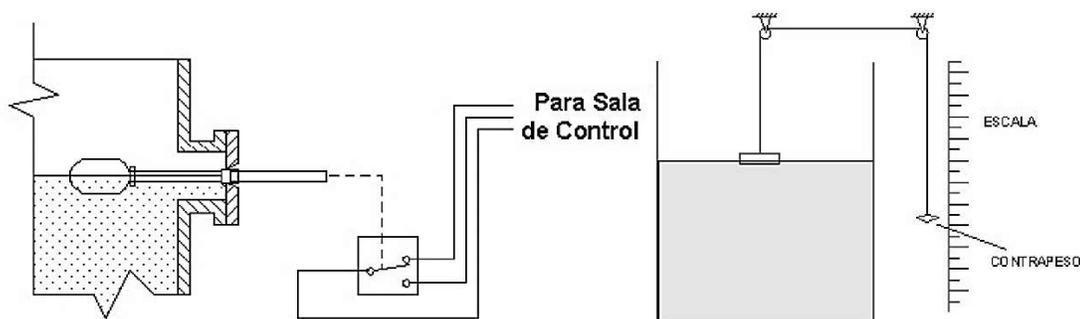


**Figura 2.3. Medidor de cristal o visor de vidrio**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

**1.1.1.4. Medidor de flotador**

Consiste en un flotador ubicado en el seno del líquido y conectado al exterior del estanque indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es el modelo más antiguo y el más utilizado en estanques de gran capacidad tales como los de petróleo y gasolina. Tiene el inconveniente de que las partes móviles están expuestas al fluido y pueden romperse, además el flotador debe mantenerse limpio.



**Figura 2.4. Medidor de flotador**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

Hay que señalar que en estos instrumentos, el flotador puede tener formas muy variadas y estar formados por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido.

Los instrumentos de flotador tienen una precisión de 0,5%. Son adecuados en la medida de niveles en estanques abiertos y cerrados a presión o a vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Por otro lado, el flotador puede endurecerse en el tubo guía por un eventual depósito de los sólidos o cristales que el líquido pueda contener y además los tubos guía muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o, ante la caída violenta del líquido en el estanque.

**Tabla 2.2. Ventajas y desventajas del medidor de flotador.**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Relativamente sencillo	Requiere un cierto montaje
Adecuado para muchos productos y de bajo costo	Mal funcionamiento en caso de adherencias y no es a prueba de fallos

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

## **1.1.2. Instrumentos basados en la presión hidrostática o fuerza**

### **1.1.2.1. Medidor manométrico**

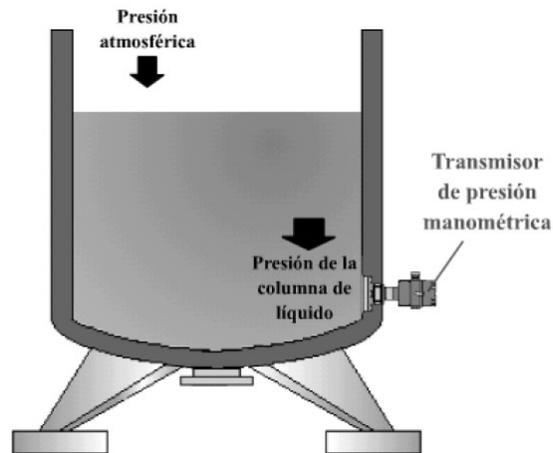
Consiste en un manómetro conectado directamente al inferior del estanque. El manómetro mide la presión debida a la altura de líquido  $h$  que existe entre el nivel del estanque y el eje del instrumento. Así pues, el rango de medida del instrumento corresponderá a:

$$P = (h \cdot \gamma \cdot g)$$

$h$  = altura de líquido en m

$\gamma$  = densidad del líquido en Kg/m<sup>3</sup>

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$



**Figura 2.5. Medición de presión hidrostática**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

Como las alturas son limitadas, el rango de medida es bastante pequeño, de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

El instrumento sólo sirve para fluidos limpios ya que si el líquido es corrosivo, coagula o bien tiene sólidos en suspensión, el fuelle puede destruirse o bien bloquearse perdiendo su elasticidad; por otra parte, como el rango de medida es pequeño no es posible utilizar sellos de diafragma. La medida está limitada a estanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de densidad del líquido.

**Tabla 2.3. Ventajas y desventajas del medidor de presión hidrostática.**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Montaje sencillo	Dependiente de la densidad relativa
Fácil de ajustar	
Precisión razonable	Relativamente costoso para mediciones de presión diferencial
Amplio uso en aplicaciones de la industria alimentaria, donde se manejan productos con viscosidades cambiantes	

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

### 1.1.2.2. Medidor de membrana

Utiliza una membrana conectada con un tubo estanco al instrumento receptor. La fuerza ejercida por la columna de líquido sobre el área de la membrana comprime el aire interno a una presión igual a la ejercida por la columna de líquido. El instrumento es delicado ya que

cualquier pequeña fuga del aire contenido en el diafragma destruiría la calibración del instrumento.

### 1.1.2.3. Medidor de tipo burbujeo

Mediante un regulador de caudal se hace pasar por un tubo (sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo), un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas. La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido.

Este sistema es muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos con materiales en suspensión (el fluido no penetra en el medidor, ni en la tubería de conexión).

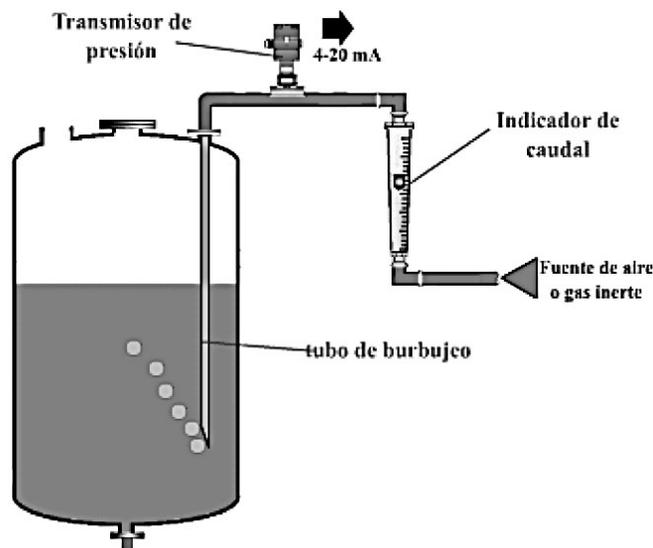


Figura 2.6. Tubo de burbujeo

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

Tabla 2.4. Ventajas y desventajas del medidor de tipo burbujeo.

Ventajas:	Desventajas:
Montaje sencillo	Requiere líneas de aire y consumo de aire
Adecuado para sustancias corrosivas	Peligro de acumulación del medio en el tubo
	No es adecuado para uso en recipientes presurizados

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

#### 1.1.2.4. Medidor de presión diferencial

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del estanque, el cual mide la presión hidrostática en un punto del fondo del estanque. En un estanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico, es decir:  $P = h \times \gamma \times g$  en la que:

P = presión

h = altura del líquido sobre el instrumento

$\gamma$  = densidad del líquido

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

El diafragma forma parte de un transmisor neumático, electrónico o digital de presión diferencial. La precisión de los instrumentos de presión diferencial es bastante buena.

El material del diafragma debe ser compatible con el fluido que se encuentra en el tanque.

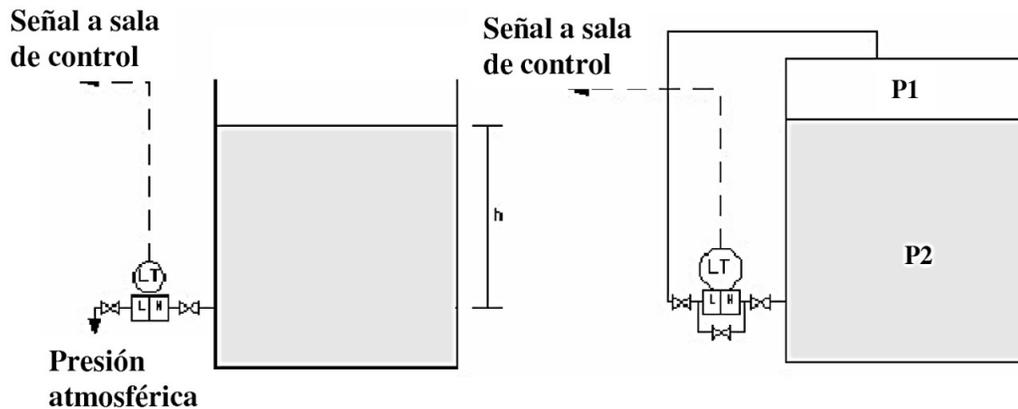


Figura 2.7. Medidor de presión diferencial

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

### 1.1.3. Instrumentos basados en métodos electromecánicos

#### 1.1.3.1. Medidor de nivel por desplazamiento

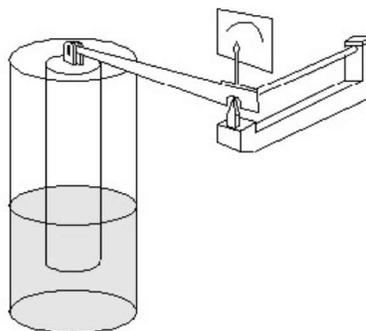
Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al estanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al estanque.

El tubo de torsión se caracteriza fundamentalmente porque el ángulo de rotación de su extremo libre es directamente proporcional a la fuerza aplicada.

Al aumentar el nivel, el líquido ejerce un empuje sobre el flotador igual al volumen de la parte sumergida multiplicada por la densidad del líquido, tendiendo a neutralizar su propio peso, así que el esfuerzo medido por el tubo de torsión será muy pequeño.

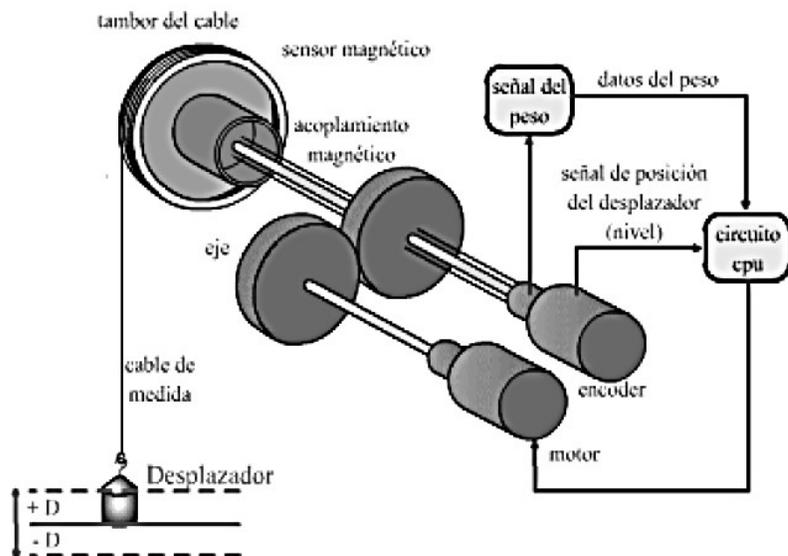
El instrumento puede usarse en tanques abiertos y cerrados, a presión o a vacío, con una buena sensibilidad, pero presenta el inconveniente del riesgo de depósitos de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida y es apto sólo para la medida de pequeñas diferencias de nivel (2000 mm máximo estándar).

Y otro ejemplo de este tipo de instrumentos son, los *servodispositivos de nivel*. Este instrumento mide el peso aparente del “desplazador”, si el peso aparente del desplazador es muy alto, el desplazador está muy arriba en el producto, y cuando el nivel baja, la fuerza ascendente que ejerce el producto sobre el desplazador es menos intensa. Si el desplazador pesa poco, se hunde mucho en el producto, y cuando el nivel sube, el producto ejerce sobre el desplazador una fuerza ascendente más intensa. El servomotor se basa en las diferencias de nivel y en la fuerza de flotación y se controla de modo que siempre haya una situación de equilibrio. La Figura 8, muestra un servodispositivo de nivel; el hilo de medición se desenrolla o se enrolla en un tambor hecho con una gran precisión y va acoplado a un codificador mediante el cual se puede medir la posición del tambor (y por tanto, el nivel del producto).



**Figura 2.8. Medidor de nivel por desplazamiento**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>



**Figura 2.9. Servodispositivo de nivel**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

**Tabla 2.5. Ventajas y desventajas Medidor de nivel por desplazamiento**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Precisión	Depende de la densidad relativa del medio
Adecuado para aplicaciones en GPL, tanques subterráneos, almacenamiento criogénico	Requiere una cantidad importante de equipamiento mecánico

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

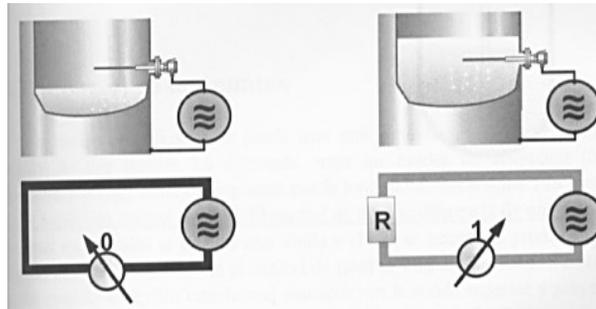
#### 1.1.4. Instrumentos basados en características eléctricas del líquido

##### 1.1.4.1. Detección de nivel por conductividad

Este método solo es adecuado para detección de nivel en líquidos conductivos. Se basa en el principio de que la presencia de un producto causa un cambio en la resistencia entre dos conductores.

Se puede obtener fácilmente una indicación de nivel de productos conductores de electricidad en un tanque metálico o en otro contenedor mediante una sonda aislada del recipiente y un amplificador conductivo. Si el producto no está en contacto con la sonda, la resistencia eléctrica entre la sonda y la pared del tanque es muy elevada e incluso infinita.

Cuando el nivel del producto se eleva, cierra el circuito entre la sonda y la pared del estanque, y la resistencia disminuye a valores relativamente bajos, ver Figura 2.10.

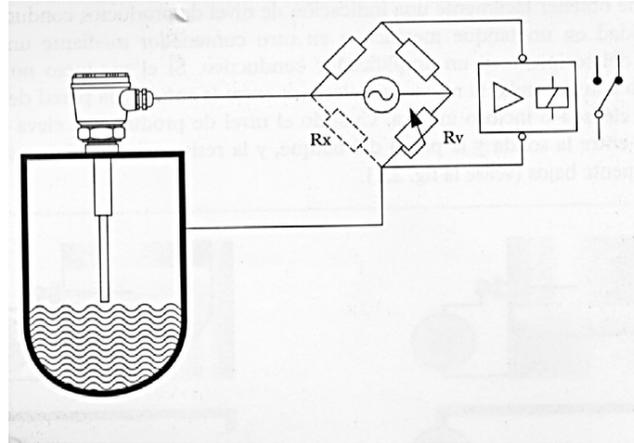


**Figura 2.10. Medición de nivel conductivo**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

Generalmente la pared metálica del tanque se puede emplear como el segundo electrodo, pero si esto no resulta, se debe introducir otro electrodo en el tanque. Es preferible que la sonda esté conectada a corriente alterna que a corriente continua puesto que, de este modo, se evita el fenómeno de electrólisis, que oxida la sonda.

Para detección de niveles mínimos o máximos, se detecta la variación en los valores de resistencia por medio de un filtro amplificador selectivo. Este dispositivo se puede usar de alarma o activando un relé. La Figura 11, muestra el diagrama básico del circuito. La resistencia de producto  $R_x$  se conecta en puente de Wheatstone con la sonda y la conexión a tierra (pared del tanque u otra sonda). Con un potenciómetro,  $R_v$ , se equilibra el puente; entonces, el relé de salida queda a cero. Cuando el producto alcanza el nivel de la sonda, el valor de  $R_x$  cambia, el puente se desequilibra y el relé se activa.



**Figura 2.11. Circuito básico para detección de niveles**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

**Tabla 2.6. Ventajas y desventajas Detección de nivel por conductividad**

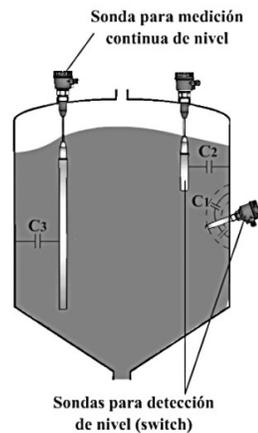
<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Sencillo	Se debe evitar que la sonda se ensucie de grasa u otros materiales de deposición Está restringido a productos de conductividad variable
Bajo costo	
Adecuado para control en dos puntos	

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

#### **1.1.4.2. Medidor de nivel capacitivo**

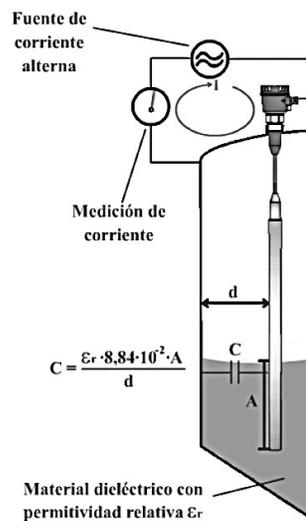
En este tipo de dispositivos, una sonda metálica y la pared misma del tanque o silo actúan como dos placas de un condensador. La capacidad de este condensador depende del medio que haya entre la sonda y la pared. Si solo hay aire, es decir, si el tanque o silo está vacío, la capacidad del conductor es baja. Cuando parte de la sonda esté cubierta por el producto, la capacidad se incrementará. El cambio de capacidad se convierte mediante un amplificador en una acción de relé o en una señal de salida analógica. Por ello, este método es igualmente adecuado como indicador de nivel (disposición vertical de la sonda) y como switch (sonda en disposición horizontal), ver Figura2.12.

Para realizar la medición de nivel por variación de capacidad, el condensador se conecta a un circuito de corriente alterna de alta frecuencia, de modo que el cambio en la capacidad  $\Delta C$ , que es el cambio de nivel, se puede convertir en señal eléctrica. La Figura 2.13, muestra un condensador conectado a una fuente de corriente alterna, conocido como oscilador de alta frecuencia. La corriente que pasa por el circuito es directamente proporcional al valor  $C$  de la capacidad.



**Figura 2.12. Sensores de nivel capacitivo**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>



**Figura 2.13. Medición de la variación de capacidad.**

Un oscilador colocado en el cabezal de la sonda convierte los cambios de capacidad en variaciones de voltaje o frecuencia. Esta variación se convierte mediante un relé en un switch de capacidad o en un indicador de nivel por capacidad por señal estándar.

En fluidos no conductores, se emplea una sonda (electrodo) normal, mientras que en fluidos conductores, con una conductividad mínima de 100 microhmios/c.c., el electrodo está aislado usualmente con teflón.

Otra característica de este tipo de sensores es que se puede emplear para medir la altura de la capa de separación entre dos productos (interface).

**Tabla 2.7. Ventajas y desventajas Medidor de nivel capacitivo**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Aplicable para medición de líquidos y sólidos	Su aplicación está limitada a productos con propiedades eléctricas variables
No tiene partes móviles	
Adecuado para medios altamente corrosivos	

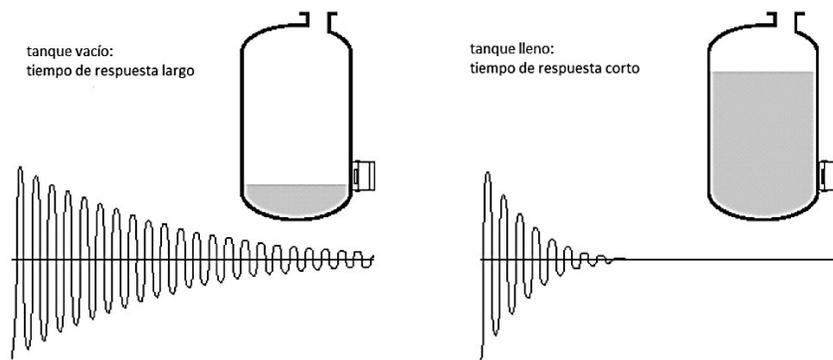
Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

### **1.1.5. Medición y detección de nivel por ultrasonidos**

#### **1.1.5.1. Detección de nivel por ultrasonidos**

La detección de niveles por ultrasonidos mide la diferencia entre los tiempos de resonancia de una señal de sonido emitida desde un sensor montado en la pared de un tanque y la misma señal recibida de vuelta por el mismo sensor.

El sensor que está ajustado acústicamente respecto a la pared de un contenedor de líquido (tanque o recipiente), genera un corto impulso de ultrasonidos que se mantiene en resonancia localmente respecto a la pared. Las frecuencias de resonancia son distintas dependiendo de que exista o no líquido directamente bajo el sensor, ver Figura2.14. El sensor detecta la diferencia de tiempos de resonancia correspondientes a un “vacío” y un “lleno” y activa una señal de salida.



**Figura 2.14. Detección de nivel por ultrasonidos**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

Cuando se monta el sensor, se ajusta a una longitud de onda adecuada para que entre en resonancia respecto a la pared cuando el recipiente se llena y cubre de líquido el punto bajo, donde el instrumento está instalado.

La aplicación de este tipo de sensores es común en donde se requiere una medición no invasiva, ya sea porque pueda contaminar, venenoso, corrosivo o no homogéneo.

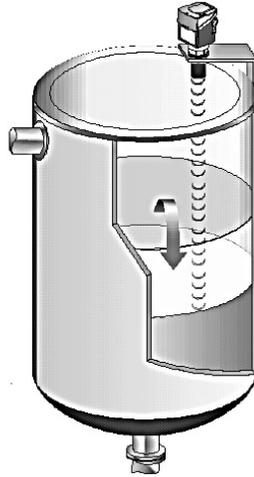
### 1.1.5.2. Medición de niveles por ultrasonido (tiempo de retorno de la señal)

El método de reflexión del sonido se basa en el tiempo de retorno de un pulso de sonido emitido por un sensor. El pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo. El tiempo de retorno de la señal es una medida de la altura de la sección vacía del tanque. Si a esta distancia se le resta la altura total del tanque, se obtiene el nivel del producto. El tiempo de retorno se convierte en una señal de salida analógica.

**Tabla 2.8. Ventajas y desventajas Detección de nivel por ultrasonidos**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
No hay contacto con el producto	El producto no debe producir demasiada espuma en la superficie
Adecuado para diversos líquidos y materiales granulados	El método no es adecuado a altas presiones ni altas temperaturas
	No es aplicable en condiciones de vacío

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>



**Figura 2.15. Tiempo de retorno del ultrasonido**

Fuente: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2452.pdf>

## **2.2. MEDICIÓN DE FLUJO**

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Pero antes de conocer los distintos tipos de métodos que se utilizan para medir caudales es importante saber que se entiende por flujo.

### **Definiciones:**

- Flujo volumétrico: representa la variación de volumen por unidad de tiempo
- Flujo másico: representa la variación de masa por unidad de tiempo

Para medir el caudal, existen varios métodos según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado.

### **2.2.1. Medidores volumétricos**

Los medidores volumétricos determinan el flujo en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), o ya sea directamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

### 2.2.1.1. Instrumentos de presión diferencial

La fórmula de flujo obtenida con los elementos de presión diferencial se basa en la aplicación del *Teorema de Bernoulli* a una tubería horizontal. La fórmula simplificada es:

$$Q_v = k * \sqrt{H} \quad (2.1)$$

En la que  $H$  es la diferencia de alturas de presión del fluido o presión diferencial y  $k$  es una constante que depende de los diámetros de la placa y de la tubería, densidad del fluido, rugosidades de la tubería, etc.

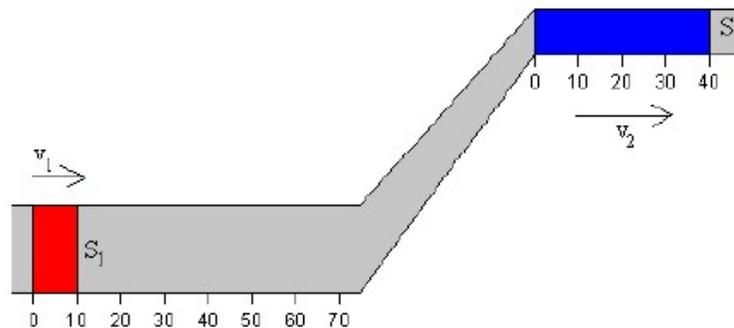
**Tabla 2.9. Ventajas y desventajas Instrumentos de presión diferencial**

Ventajas:	Desventajas:
Ideal para medición de gases o líquidos viscosos o corrosivos	Rango limitado (4:1)
	Se requiere de transmisor adicional
	La densidad del flujo debe ser conocida o medida

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

Los instrumentos más conocidos de este tipo son la placa orificio, tobera, tubo Venturi, tubo pitot y tubo annubar.

#### Ecuación de la continuidad:



**Figura 2.16. Flujo por tubería no uniforme**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

Consideramos el fluido en una tubería de radio no uniforme. En un intervalo de tiempo  $\Delta t$  el fluido de la tubería inferior se mueve  $\Delta x_1 = v_1 * \Delta t$ . Si  $S_1$  es la sección de la tubería, la masa contenida en la región sombreada de color rojo es

$$\Delta m_1 = \rho * S_1 * \Delta x_1 = \rho * S_1 * v_1 * \Delta t \quad (2.2)$$

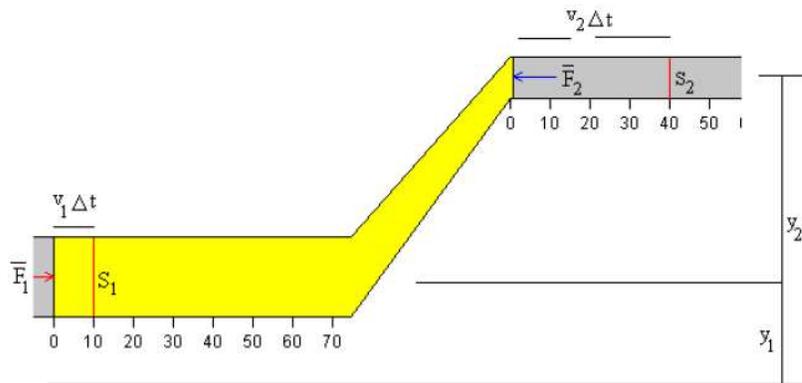
Análogamente, el fluido que se mueve en la parte más estrecha de la tubería en un tiempo  $\Delta t$  tiene una masa (color azul) de  $\Delta m_2 = \rho * S_2 * v_2 * \Delta t$ . Debido a que el flujo es estacionario la masa que atraviesa la sección  $S_1$  en el tiempo  $\Delta t$ , tiene que ser igual a la masa que atraviesa la sección  $S_2$  en el mismo intervalo de tiempo. Luego,

$$v_1 * S_1 = v_2 * S_2 \quad (2.3)$$

Relación que se denomina ecuación de continuidad. Si en la figura, el radio del primer tramo de la tubería es el doble que la del segundo tramo, la velocidad del fluido en el segundo tramo es cuatro veces mayor que en el primero.

### Ecuación de Bernoulli:

Para este estudio se evaluarán los cambios energéticos que ocurren en la porción de fluido señalada en color amarillo de la Figura 17, cuando se desplaza a lo largo de la tubería. En la figura, se señala la situación inicial y se compara la situación final después de un tiempo  $\Delta t$ . Durante dicho intervalo de tiempo, la cara posterior  $S_2$  se ha desplazado  $v_2 * \Delta t$  y la cara anterior  $S_1$  del elemento de fluido se ha desplazado  $v_1 * \Delta t$  hacia la derecha.



**Figura 2.17. Desplazamiento de un fluido por tubería no uniforme**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

El elemento de masa  $\Delta m$  se puede expresar como,

$$\Delta m = \rho * S_2 * v_2 * \Delta t = \rho * S_1 * v_1 * \Delta t = \rho * \Delta V \quad (2.4)$$

El elemento  $\Delta m$  cambia su posición, en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  desde la altura  $y_1$  a la altura  $y_2$ .

- La variación de energía potencial es,

$$\Delta E_P = \Delta mgy_2 - \Delta mgy_1 = \rho \Delta V (y_2 - y_1)g \quad (2.5)$$

El elemento  $\Delta m$  cambia su velocidad de  $v_1$  a  $v_2$ ,

- La variación de energía cinética es  $\Delta E_K = \frac{1}{2}\Delta mv_2^2 - \frac{1}{2}\Delta mv_1^2 = \frac{1}{2}\rho\Delta V(v_2^2 - v_1^2)$  El resto del fluido ejerce fuerzas debidas a la presión sobre la porción de fluido considerado, sobre su cara anterior y sobre su cara posterior  $F_1 = p_1S_1$  y  $F_2 = p_2S_2$

La fuerza  $F_1$  se desplaza  $\Delta x_1 = v_1\Delta t$ . La fuerza y el desplazamiento son del mismo signo.

La fuerza  $F_2$  se desplaza  $\Delta x_2 = v_2\Delta t$ . La fuerza y el desplazamiento son de signos contrarios.

- El trabajo de las fuerzas exteriores es:

$$W = F_1\Delta x_1 - F_2\Delta x_2 = (p_1 - p_2)\Delta V \quad (2.6)$$

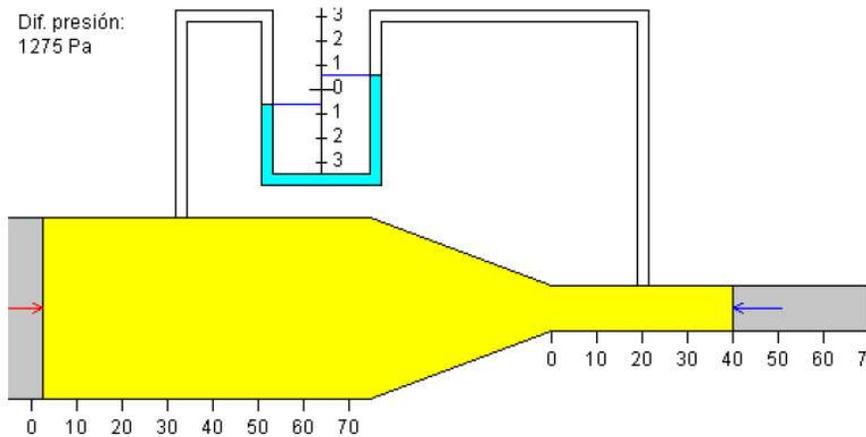
El teorema del trabajo-energía nos dice que el trabajo de las fuerzas exteriores que actúan sobre un sistema de partículas es igual a la suma de la variación de energía cinética más la variación de energía potencial.

$$W = \Delta E_K + \Delta E_P \quad (2.7)$$

Simplificando el término  $\Delta V$  y reordenando los términos se obtiene la ecuación de Bernoulli,

$$p_1 + \rho gy_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \rho gy_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (2.8)$$

### Efecto Venturi:



**Figura 2.18. Efecto Venturi en tubo horizontal**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

Un manómetro de tubo en U nos da cuenta de la diferencia de presión entre las dos ramas de la tubería horizontal de la Figura 2.18. Cuando el desnivel es cero, la tubería es horizontal. Se forma entonces, el denominado tubo de Venturi, cuya aplicación práctica es la medida de la velocidad del fluido en una tubería.

La ecuación de continuidad se escribe,

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (2.9)$$

La cual dice que la velocidad del fluido en el tramo de la tubería que tiene menor sección es mayor que la velocidad del fluido en el tramo que tiene mayor sección. Si  $S_1 > S_2$ , se concluye que  $v_1 < v_2$ , y en la ecuación de Bernoulli con  $y_1 = y_2$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2.10)$$

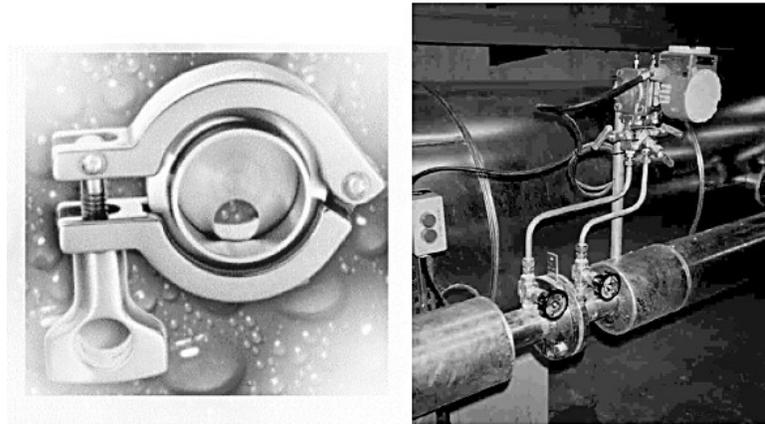
Como la velocidad en el tramo de menor sección es mayor, la presión en dicho tramo es menor.

Si  $v_1 < v_2$  se concluye que  $p_1 > p_2$ ; el líquido manométrico desciende por el lado izquierdo y asciende por el derecho.

Se puede obtener las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  en cada tramo de la tubería a partir de la lectura de la diferencia de presión  $p_1 - p_2$  en el manómetro,

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}} \quad (2.11)$$

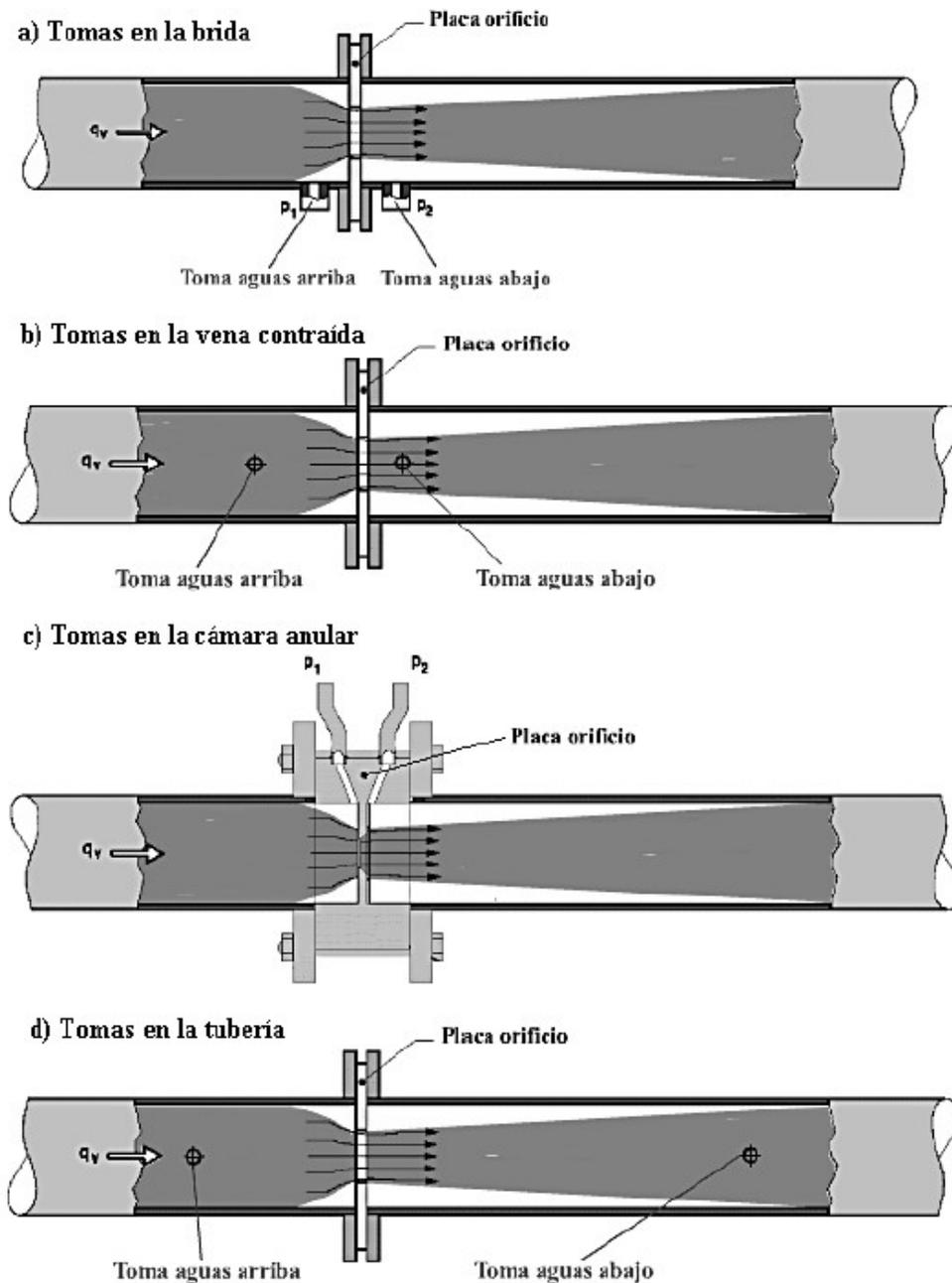
**a) Placa orificio o diafragma**



**Figura 2.19. Placas orificios**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

Consiste en una placa perforada instalada en una tubería. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan esta presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado del caudal (usando los principios de Bernoulli y Venturi para relacionar la velocidad con la presión del fluido). La disposición de las tomas puede verse en la Figura2.20.



**Figura 2.20. Disposición de las tomas de presión diferencial**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

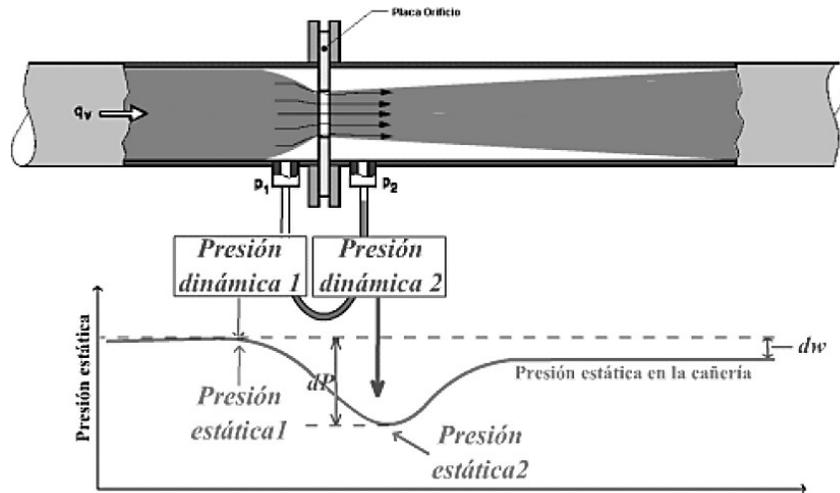
- *Tomas en la brida* (Figura 2.20-a). Es bastante utilizada porque su instalación es cómoda ya que las tomas están taladradas en las bridas que soportan la placa y situadas a 1" de distancia de la misma.
- *Tomas en la vena contraída* (Figura 2.20-b). Se caracteriza en que la toma posterior está situada en un punto donde la vena alcanza su diámetro más pequeño, lo cual

depende de la razón de diámetros y se presenta aproximadamente a  $1/2 \text{ } \emptyset$  de la tubería. La toma anterior se sitúa a  $1 \text{ } \emptyset$  de la tubería.

- *Tomas radiales* son parecidas a las tomas de vena contraída, pero fijando siempre las tomas anterior y posterior a  $1$  y  $1/2 \text{ } \emptyset$  de la tubería, respectivamente.
- *Tomas en la cámara anular* (Figura2.20-c). Aquí las tomas están situadas inmediatamente antes y después del diafragma y requieren el empleo de una cámara anular especial.
- *Tomas en la tubería* (Figura2.20-d). Las tomas anterior y posterior están situadas a  $2 1/2$  y  $8 \text{ } \emptyset$ , respectivamente. Se emplea cuando se desea aumentar el intervalo de medida de un medidor de caudal dado. La situación de las tomas está en un lugar menos sensible a la medida.

La exacta localización de las tomas de presión antes de la placa carece relativamente de importancia, ya que la presión en esa sección es bastante constante. De  $1/2 \text{ } \emptyset$  antes de la placa en adelante hasta la placa, la presión aumenta gradualmente en apreciable magnitud; debajo de este valor la diferencia de presiones es despreciable.

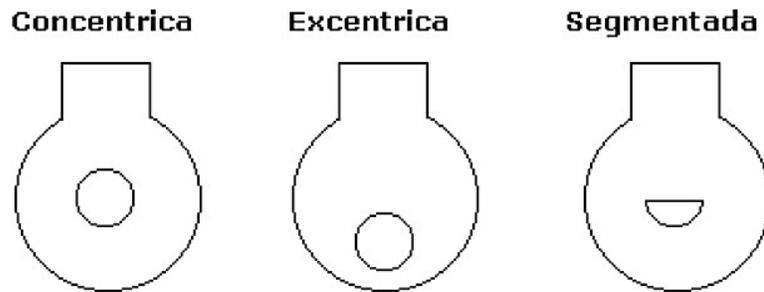
Sí en la toma de alta presión la localización no es de mayor importancia, si lo es en la de baja presión, ya que existe una región muy inestable después de la vena contracta (zona de estrangulación de la vena del líquido) que deberá ser evitada; y es esta la razón por la que se recomienda para tuberías menores de 2 pulgadas las tomas de placa. La estabilidad es restaurada a 8 diámetros después de la placa pero ya en este punto las presiones son afectadas por una rugosidad anormal en la tubería.



**Figura 2.21. Presión en la vena contracta.**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentación Industrial, 6ª edición; Marcombo S.A.; 1997.

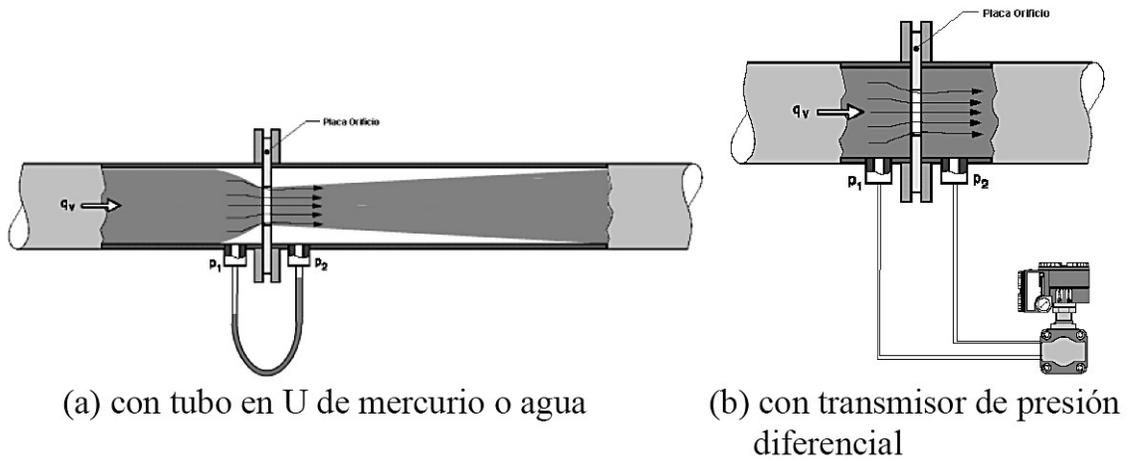
El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental, con un pequeño orificio de purga para los pequeños arrastres sólidos o gaseosos que pueda llevar el fluido (ver la Figura22). La placa concéntrica se utiliza para líquidos, la excéntrica para los gases donde los cambios de presión implican condensación, y la segmentada para caudales de fluido que contengan una cantidad pequeña de sólidos y gases.



**Figura 2.22. Formas de la placa orificio**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

La presión diferencial en la placa orificio puede medirse con un tubo en U de mercurio o agua (ver la Figura2.23-a) o transmitirse con los instrumentos convertidores o transmisores diferenciales (figura 2.23-b).



**Figura 2.23. Medición de presión en placa orificio**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Tabla 2.10. Ventajas y desventajas medición de presión en placa orificio**

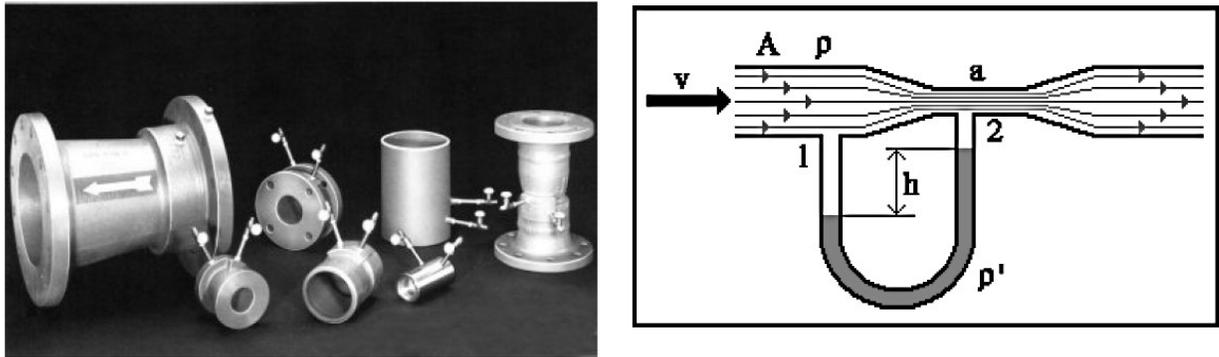
<b>Ventajas de las placas orificios:</b>	<b>Principales desventajas:</b>
Costo independiente del tamaño de la tubería	Alta pérdida de presión (40-80%)
Salida repetible, aunque la placa tenga un daño	Mantenimiento constante por incrustaciones en la placa y en las tomas de presión

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### **b) Tubos Venturi**

El tubo “Venturi” es el elemento primario del instrumento de flujo colocado en la línea para medir una presión diferencial relacionada al flujo usando los principios de Bernoulli y Venturi para relacionar la velocidad con la presión del fluido.

El tubo “Venturi” se usa en donde es importante la recuperación de presión, puesto que esta recuperación del cuello Venturi es mucho más elevada que para otros elementos primarios, especialmente en comparación con los de placas de orificio. Otras ventajas del tubo Venturi son: su coeficiente excepcionalmente uniforme con flujos viscosos, y el hecho de que no separa ni deposita material en suspensión.



**Figura 2.24. Tubo Venturi**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

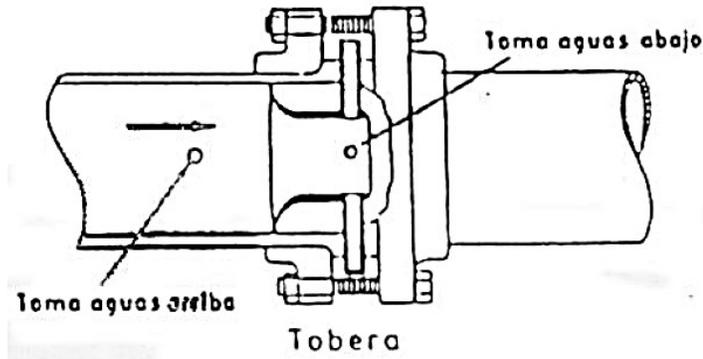
**Tabla 2.11. Ventajas y desventajas tubo Venturi**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Permite la medición de caudales 60% superiores a los de la placa orificio en las mismas condiciones de servicio y con una pérdida de carga de solo 10 a 20% de la presión diferencial	Más grandes, caros y pesados que las placas orificios
Posee una gran precisión	
Resistentes a la abrasión y pueden usarse con fluidos sucios y en suspensión	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### c) Tobera

La tobera es un elemento primario de medición de flujo, colocado en el punto de medición con objeto de crear una reducción de presión diferencial relacionada al flujo según los principios de Bernoulli y Venturi. La tobera está situada en la tubería con 2 tomas, una anterior y la otra en el centro de la sección más pequeña, como lo muestra la Figura 25. Este instrumento se puede describir como una transición entre la placa orificio y Venturi. La capacidad de una tobera es mayor que la de una placa orificio, de manera que puede manejarse un régimen de flujo mucho mayor (hasta 60%) con la misma relación de diámetros y con el mismo diferencial.



**Figura 2.25. Tobera**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Tabla 2.12. Ventajas y desventajas tobera**

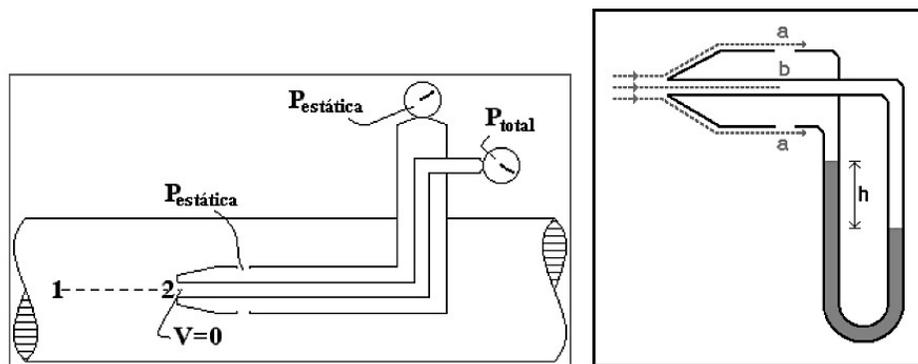
Ventajas:	Desventajas:
Menor pérdida de carga que una placa orificio (la pérdida de la tobera es de 30 a 80%)	Costo de 8 a 16 veces que una placa orificio
Resistentes a la abrasión y pueden usarse con fluidos sucios y en suspensión	
Precisión del orden de $\pm 0.95$ a $\pm 1.5\%$	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**d) Tubo pitot**

El tubo de pitot puede ser definido como el instrumento para medir velocidades de un flujo mediante la diferencia de presiones estática y dinámica en una línea de corriente.

La explicación de su principio y funcionamiento se complementa con la Figura 26.



**Figura 2.26. Tubo pitot**

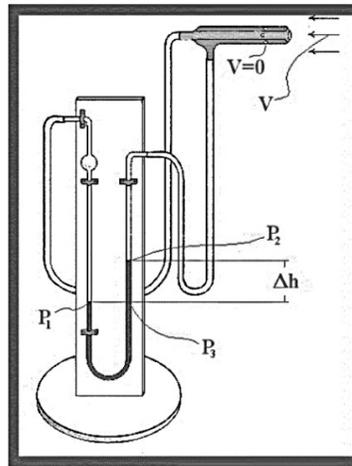
Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

Supóngase un fluido que circula a través de una tubería. Tal instrumento contiene un orificio principal por donde se mide la presión dinámica, en efecto el fluido tiene velocidad cero en ese punto pero como la presión total se mantiene sobre una línea de corriente se debe cumplir que:

$$P_{T1} = P_{T2}$$

Donde en 1 el fluido tiene velocidad  $v$  que es la que queremos medir.

También ocurre que todo perfil de velocidades tiene valor cero ( $v=0$ ) en los puntos solidarios a un objeto, sea cualquier pared de este, por lo que se confeccionan agujeros al costado del tubo para medir la presión estática, pues  $v=0$ . Ahora siguiendo la Figura 27.



**Figura 2.27. Funcionamiento tubo de Pitot**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

Con la ecuación de Bernoulli se obtiene la siguiente relación:

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_{aire}v^2 \rightarrow P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho_{aire}v^2 \quad (2.12)$$

Observando el esquema, sabemos que se cumple además que la presión  $P_3$  es igual a la presión  $P_1$ , ya que se encuentran en el mismo nivel de altura en el manómetro con forma de “U”, por lo que se tiene lo siguiente:

$$P_1 = P_3 = P_2 + \rho_m g \Delta h \quad (2.13)$$

$\rho_m$  = Densidad del fluido del manómetro

De la segunda relación obtenemos:

$$P_1 - P_2 = \rho_m g \Delta h \quad (2.14)$$

Igualando esta expresión con la primera tenemos:

$$\frac{1}{2} \rho_{aire} v^2 = \rho_m g \Delta h \quad (2.15)$$

Expresión de la cual se obtiene el valor de la velocidad:

$$v = \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_{aire}} 2g \Delta h} \quad (2.16)$$

El tubo de pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo sea esencial que el flujo sea laminar, disponiéndolo en un tramo recto de la tubería.

**Tabla 2.13. Ventajas y desventajas tubo pitot**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Bajo costo y pérdida de presión despreciable	Miden la velocidad en el punto y las mediciones volumétricas son poco precisas. La máxima exactitud se consigue efectuando varias medidas en puntos determinados y promediando las raíces cuadradas de las velocidades medidas
	Baja precisión, del orden de 1.5-4%
	No trabaja bien a velocidades bajas del flujo ni a velocidades muy altas (supersónica)

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### e) Tubo annubar

Este tubo es una mejora del tubo pitot, debido a que posee dos tubos de medición los cuales son: presión total y presión estática. Estos tubos hacen que su medición en

comparación con el tubo de pitot sea de mayor precisión. Además posee una baja pérdida de carga, este tubo sirve para medir pequeños y grandes caudales de líquidos y gas.

#### **f) Transmisores de fuelle y de diafragma**

La presión diferencial medida por la placa, la tobera, el tubo Venturi, etc., puede ser medida con un tubo en U de mercurio o agua, o bien, transmitirse con instrumentos convertidores diferenciales, como los transmisores de fuelle o los transmisores de diafragma.

#### **Los transmisores de fuelle:**

Están compuestos por 2 cámaras de presión (alta y baja). La alta presión comprime el fuelle correspondiente, arrastrando la palanca de unión, el cable y un eje exterior, cuyo movimiento actúa sobre un transductor (neumático o eléctrico). Está protegido contra sobrecargas ya que está asegurado por dos anillos de sello que cierran herméticamente el paso del líquido de llenado de un fuelle a otro, e impiden su destrucción ante alguna maniobra incorrecta. Además cuenta una válvula contra pulsaciones de caudal que restringe el paso del líquido de un fuelle a otro.

#### **Los transmisores de diafragma:**

En estos transmisores la separación entre las dos cámaras se efectúa mediante diafragmas, en lugar de fuelles, logrando así un desplazamiento volumétrico casi nulo.

El cuerpo de estos transmisores suele ser de acero al carbono, acero inoxidable o aluminio, el fuelle o diafragma de acero 316 y el líquido de llenado de silicona.

Hay que señalar que en la medida de caudal de vapor con transmisores de fuelle, es preciso utilizar cámaras de condensación para compensar los cambios de volumen de las cámaras del fuelle al variar el caudal. Esto no es necesario en los transmisores de diafragma, por ser el desplazamiento volumétrico.

#### **Manifold:**

Las conexiones entre el elemento y el transmisor de caudal deben ser adecuadas al fluido a medir. Con el objeto de aislar el instrumento se prevén 3 válvulas que constituyen lo que se denomina un Manifold; este tiene una doble misión, aislar el instrumento del proceso para su mantenimiento en la puesta en marcha de la instalación.

Las maniobras que se realizan en la puesta en marcha de estos elementos son las siguientes, ver la Figura 2.28.

1. Válvulas A, B y C cerradas
2. Se abre la válvula C (de este modo en la fase siguiente, aunque se abra una válvula antes que otra, el instrumento tendrá presiones iguales en las dos cámaras)
3. Se abren simultáneamente las válvulas A y B
4. Se cierra la válvula C

En caso de medición de caudal de vapor, se habrán llenado primero con aguas las cámaras de condensación

Las maniobras requeridas para aislar el instrumento del proceso son las siguientes:

1. Se abre la válvula C
2. Se cierran las válvulas A y B

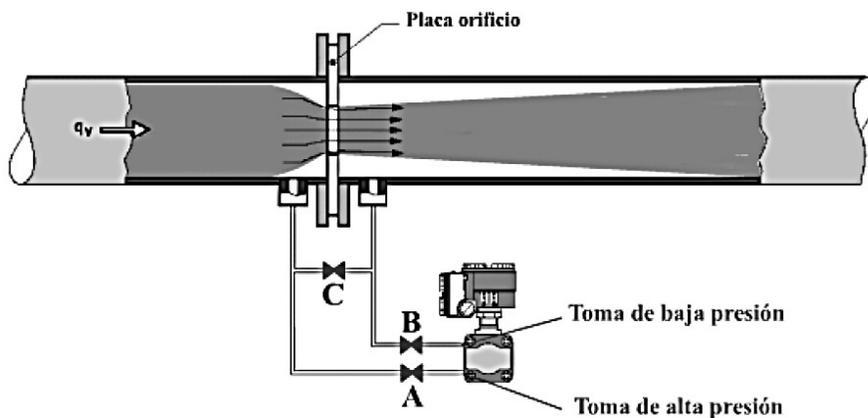


Figura 2.28. Manifold

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### 2.2.1.2. Instrumentos de área variable

#### Rotámetros

Los rotámetros son medidores de caudal de área variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo proporcionalmente al flujo del fluido.



Figura 2.29. Rotámetros

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

Tabla 2.14. Ventajas y desventajas rotámetros

Ventajas:	Desventajas:
Se emplean en lugares que requieran indicación local	Transmisores limitados
Bajo costo y pérdida de presión constante	Presiones bajas
Gases o líquidos (incluso viscosos)	Baja precisión
	Instalación vertical

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### 2.3. VÁLVULAS

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales de la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30ft (9m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000 lb/in<sup>2</sup> (140 MPa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F(815°C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

La palabra flujo expresa el movimiento de un fluido, pero también significa para nosotros la cantidad total de fluido que ha pasado por una sección determinada de un conducto. Caudal es el flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de fluido que circula por una sección determinada del conducto en la unidad de tiempo.

### **2.3.1. Válvula de control**

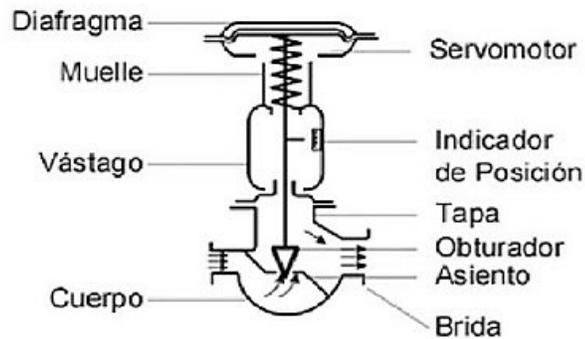
La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

#### **2.3.1.1. Partes de la válvula de control**

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

- Actuador: también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuación. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la Figura30, lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago.

Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 lbs/pulg<sup>2</sup>, produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.



**Figura 2.30. Actuador de una válvula de control**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

- **Cuerpo de la válvula:** este está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

### **2.3.1.2. Categorías de válvulas**

Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales. Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio).

### 2.3.1.2.1. Válvulas de compuerta

Es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento, ver la Figura 2.31.



**Figura 2.31. Válvula de compuerta**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

#### **Recomendada para:**

- Servicio con apertura total o cierre total, sin estrangulación
- Para uso poco frecuente
- Para resistencia mínima a la circulación
- Para mínimas cantidades de fluido o líquido atrapado en la tubería

#### **Aplicaciones:**

Servicio general, aceites y petróleo, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

**Tabla 2.15. Ventajas y desventajas Válvula de compuerta**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Alta capacidad Cierre hermético	Control deficiente de la circulación
Bajo costo	Se requiere mucha fuerza para accionarla
Diseño y funcionamiento sencillo	Produce cavitación con baja caída de presión

Poca resistencia a la circulación	Debe estar cubierta o cerrada por completo
	La posición para estrangulación producida erosión del asiento y del disco

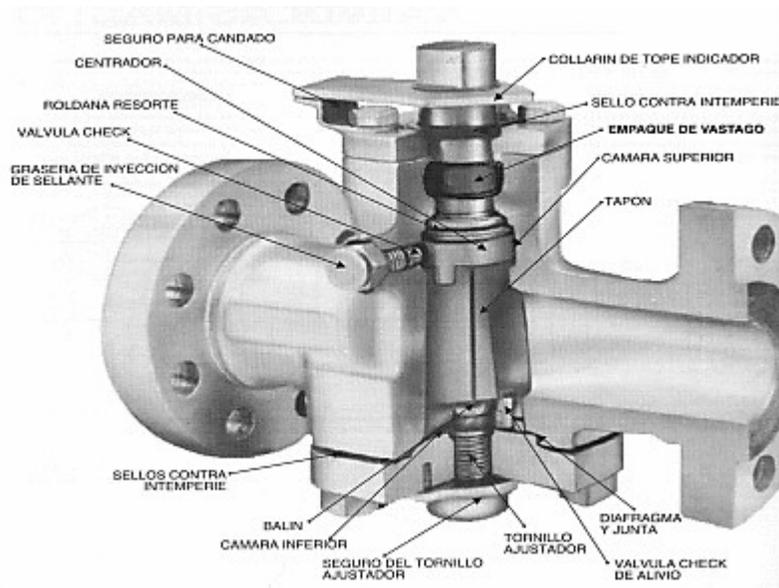
Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### **Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- Lubricar a intervalos periódicos
- Corregir de inmediato las fugas por la empaquetadura
- Enfriar siempre el sistema al cerrar una tubería para líquidos calientes y al comprobar que las válvulas estén cerradas
- No cerrar nunca las llaves a la fuerza con la llave o una palanca
- Abrir las válvulas con lentitud para evitar el choque hidráulico en la tubería
- Cerrar las válvulas con lentitud para ayudar a descargar los sedimentos y mugre atrapados

#### **2.3.1.2.2. Válvulas de macho**

La válvula de macho es de  $\frac{1}{4}$  de vuelta, que controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico que tiene un agujero en el centro, que se puede mover de la posición abierta a la cerrada mediante un giro de  $90^\circ$ , ver la Figura 2.32.



**Figura 2.32. Válvula de macho**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Tabla 2.16. Ventajas y desventajas válvula de macho**

<b>Recomendada para:</b>	<b>Desventajas:</b>
Servicio con apertura total o cierre total	Requiere alta torsión (par) para accionarla
Para accionamiento frecuente	Desgaste del asiento
Para baja caída de presión a través de la válvula	Cavitación con baja caída de presión
Para resistencia mínima a la circulación	
Para cantidad mínima de fluido atrapado en la tubería	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Aplicaciones:**

- Servicio general, pastas semilíquidas, líquidos, vapores, gases, corrosivos

**Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- Dejar espacio libre para mover la manija en las válvulas accionadas con una llave
- En las válvulas con macho lubricado, hacerlo antes de ponerlas en servicio
- En las válvulas con macho lubricado, lubricarlas a intervalos periódicos

### 2.3.1.2.3. Válvulas de globo

Es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería, ver la Figura 2.33.

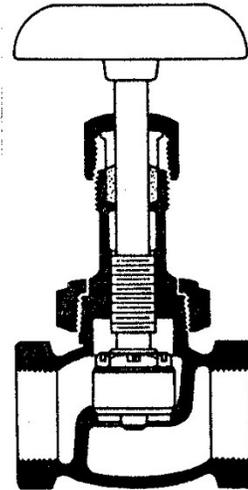


Figura 2.33. Válvula de globo

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

Tabla 2.17. Ventajas y desventajas válvula de globo

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento	Gran caída de presión
Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarlas, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago y el bonete	Costo relativo elevado
Control preciso de la circulación	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

#### Recomendada para:

- Estrangulación o regulación de circulación
- Para accionamiento frecuente
- Para corte positivo de gases o aire

- Cuando es aceptable cierta resistencia a la circulación

**Aplicaciones:**

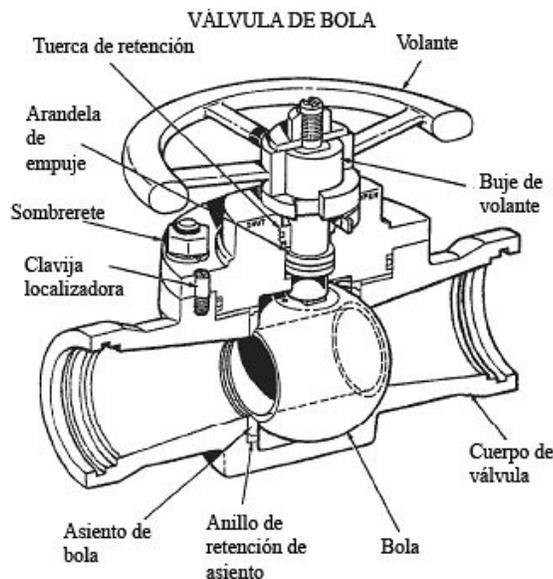
Servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas

**Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- Instalar de modo que la presión este debajo del disco, excepto en servicio con vapor a alta temperatura
- Hay que abrir ligeramente la válvula para expulsar los cuerpos extraños del asiento
- Apretar la tuerca de la empaquetadura, para corregir de inmediato las fugas por la empaquetadura

**2.3.1.2.4. Válvula de bola**

Las válvulas de bola son de  $1/4$  de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola  $90^\circ$  y cierra el conducto, ver la Figura 2.34.



**Figura 2.34. Válvula de bola**

**Recomendada para:**

- Para servicio de conducción y corte, sin estrangulación
- Cuando se requiere apertura rápida
- Para temperaturas moderadas
- Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación

**Aplicaciones:**

Servicio general, altas temperaturas, pastas semilíquidas

**Tabla 2.18. Ventajas y desventajas válvula de bola**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Corte bidireccional	Características deficientes para estrangulación
Circulación en línea recta	Susceptible al desgaste de ellos o empaquetaduras
Pocas fugas	Propensa a la cavitación
Bajo costo	
Alta capacidad	
Se limpia por sí sola	
Poco mantenimiento	
No requiere lubricación	
Tamaño compacto	
Cierre hermético con baja torsión (par)	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

Dejar suficiente espacio para accionar una manija larga

### 2.3.1.2.5. Válvulas de mariposa

Es de  $1/4$  de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación, ver la Figura 2.35.



Figura 2.35. Válvula de mariposa

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

#### Aplicaciones:

Servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión

Tabla 2.19. Ventajas y desventajas válvula de mariposa

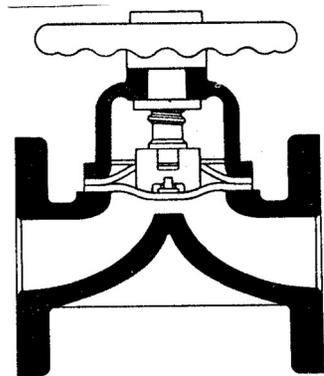
Recomendada para:	Desventajas:
Servicio con apertura total o cierre total	Alta torsión (par) para accionarla
Servicio con estrangulamiento	Capacidad limitada para caída de presión
Para accionamiento frecuente	Propensa a la cavitación
Cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos	
Cuando solo se permite un mínimo de fluido atrapado en la tubería	
Para baja caída de presión a través de la válvula	

### **Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- Se puede accionar con palanca, volante o rueda para cadena
- Dejar suficiente espacio para el movimiento de la manija, si se acciona con palanca
- Las válvulas deben estar en posición cerrada durante el manejo y la instalación

#### **2.3.1.2.6. Válvulas de diafragma**

Son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación, ver la Figura 2.36.



**Figura 2.36. Válvula de diafragma**

### **Recomendada para:**

- Servicio con apertura total o cierre total
- Para servicio de estrangulación
- Para servicio con bajas presiones de operación

### **Aplicaciones:**

Fluidos corrosivos, materiales pegajosos o viscosos, pastas semilíquidas fibrosas, lodos, alimentos, productos farmacéuticos.

**Tabla 2.20. Ventajas y desventajas válvula de diafragma**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Bajo costo	Diafragma susceptible de desgaste
No tienen empaquetaduras	Elevada torsión al cerrar con la tubería llena
No hay posibilidad de fugas por el vástago	
Inmune a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Variaciones:**

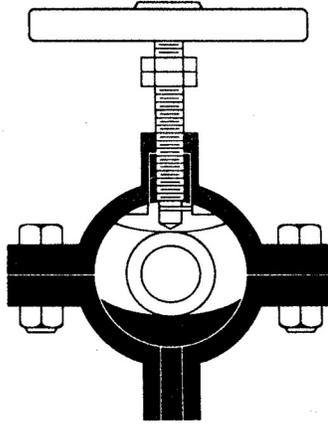
- Tipo con vertedero y tipo en línea recta
- Materiales
- Metálicos, plásticos macizos, con camisa, en gran variedad de cada uno

**Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- Lubricar a intervalos periódicos
- No utilizar barras, llaves ni herramientas para cerrarla

**2.3.1.2.7. Válvulas de apriete**

Es de vueltas múltiples y efectúa el cierre por medio de uno o más elementos flexibles, como diafragmas o tubos de caucho que se pueden apretar u oprimir entre sí para cortar la circulación, ver la Figura 2.37.



**Figura 2.37. Válvula de apriete**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Recomendada para:**

- Servicio de apertura y cierre
- Servicio de estrangulación
- Cuando hay baja caída de presión a través de la válvula
- Para servicios que requieren poco mantenimiento

**Aplicaciones:**

Pastas semilíquidas, lodos y pastas de minas, líquidos con grandes cantidades de sólidos en suspensión, sistemas para conducción neumática de sólidos, servicio de alimentos.

**Tabla 2.21. Ventajas y desventajas válvula de apriete**

<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
Bajo costo	Aplicación limitada para vacío Difícil de determinar el tamaño
Poco mantenimiento	
No hay obstrucciones o bolsas internas que la obstruyan	
Diseño sencillo	
No corrosiva y resistente a la abrasión	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Variaciones:**

Camisa o cuerpo descubierto; camisa o cuerpo metálicos alojados

### **Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

Los tamaños grandes pueden requerir soportes encima o debajo de la tubería, si los soportes para el tubo son inadecuados

#### **2.3.1.2.8. Válvulas de retención (check) y de desahogo (alivio)**

Hay dos categorías de válvulas y son para uso específico, más bien que para servicio general: válvulas de retención (check) y válvulas de desahogo (alivio). Al contrario de los otros tipos descritos, son válvulas de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su funcionamiento de sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería. Como ambos tipos se utilizan en combinación con válvulas de control de circulación, la selección de la válvula, con frecuencia, se hace sobre la base de las condiciones para seleccionar la válvula de control de circulación.

##### **2.3.1.2.8.1. Válvulas de retención (check)**

La válvula de retención, ver la Figura 2.38, está destinada a impedir una inversión de la circulación. La circulación del líquido en el sentido deseado abre la válvula; al invertirse la circulación, se cierra. Hay tres tipos básicos de válvulas de retención: a) válvulas de retención de columpio, b) de elevación y c) de mariposa.

###### **a. Válvulas de retención del columpio**

Esta válvula tiene un disco embisagrado o de charnela que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe la presión y empieza la circulación inversa. Hay dos diseños: uno en “Y” que tiene una abertura de acceso en el cuerpo para el esmerilado fácil del disco sin desmontar la válvula de la tubería y un tipo de circulación en línea recta que tiene anillos de asiento reemplazables.

### **Recomendada para:**

- Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación
- Cuando hay cambios poco frecuentes del sentido de circulación en la tubería
- Para servicio en tuberías que tienen válvulas de compuerta
- Para tuberías verticales que tienen circulación ascendente

### **Aplicaciones:**

Para servicio con líquidos a baja velocidad

### **Ventajas:**

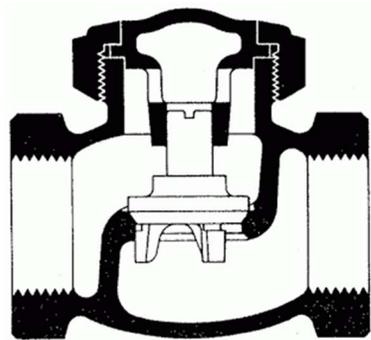
- Puede estar por completo a la vista
- La turbulencia y las presiones dentro de la válvula son muy bajas
- El disco en “Y” se puede esmerilar sin desmontar la válvula de la tubería

### **Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- En las tuberías verticales, la presión siempre debe estar debajo del asiento
- Si una válvula no corta el paso, examinar la superficie del asiento
- Si el asiento está dañada o escoriado, se debe esmerilar o reemplazar
- Antes de volver a armar, limpiar con cuidado todas las piezas internas

### **b. Válvulas de retención de elevación**

Una válvula de retención de elevación es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión normal en la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.



**Figura 2.38. Válvula de retención (tipo de elevación)**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

### **Recomendada para:**

- Cuando hay cambios frecuentes de circulación en la tubería
- Para uso con válvulas de globo y angulares
- Para uso cuando la caída de presión a través de la válvula no es problema

**Aplicaciones:**

Tuberías para vapor de agua, aire, gas, agua y vapores con altas velocidades de circulación

**Tabla 2.22. Ventajas y desventajas válvula de retención (tipo de elevación)**

<b>Ventajas:</b>	<b>Variaciones:</b>
Recorrido mínimo del disco a la posición de apertura total	Tres tipos de cuerpos: horizontal, angular, vertical
Acción rápida	Tipos con bola (esfera), pistón, bajo carga de resorte, retención para vapor

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

- La presión de la tubería debe estar debajo del asiento
- La válvula horizontal se instala en tuberías horizontales
- La válvula vertical se utiliza en tubos verticales con circulación ascendente, desde debajo del asiento
- Si hay fugas de la circulación inversa, examinar disco y asiento.

**c. Válvula de retención de mariposa**

Tiene un disco dividido embisagrado en un eje en el centro del disco, de modo que un sello flexible sujeto al disco este a 45° con el cuerpo de la válvula, cuando esta se encuentra cerrada. Luego, el disco solo se mueve una distancia corta desde el cuerpo hacia el centro de la válvula para abrir por completo.

**Recomendada para:**

- Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación en la tubería
- Cuando hay cambios frecuentes en el sentido de la circulación
- Para uso con las válvulas de mariposa, macho, bola, diafragma o de apriete

## Aplicaciones:

Servicio para líquidos o gases

**Tabla 2.23. Ventajas y variaciones válvula de retención de mariposa**

<b>Ventajas:</b>	<b>Variaciones:</b>
El diseño del cuerpo se presta para la instalación de diversos tipos de camisas de asiento	Con camisa competa
Menos costosa cuando se necesita resistencia a la corrosión	Con asiento blando
Funcionamiento rápido	
La sencillez del diseño permite construir las con diámetros grandes	
Se puede instalar virtualmente en cualquier posición	

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

## Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:

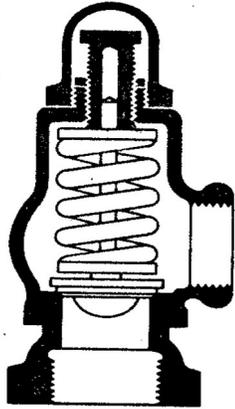
- En las válvulas con camisa, esta se debe proteger contra daños durante el manejo
- Comprobar que la válvula queda instalada de modo que la abra la circulación normal

### **d. Válvulas de desahogo (alivio)**

Es de acción automática para tener regulación automática de la presión. El uso principal de esta válvula es para servicio no comprimible y se abre con lentitud conforme aumenta la presión, para regularla.

La válvula de seguridad es similar a la válvula de desahogo y se abre con rapidez con un “salto” para descargar la presión excesiva ocasionada por gases o líquidos comprimibles.

El tamaño de las válvulas de desahogo es muy importante y se determina mediante fórmulas específicas.



**Figura 2.39. Válvula de desahogo (alivio)**

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Recomendada para:**

Sistemas en donde se necesita una gama predeterminada de presiones

**Aplicaciones:**

Agua caliente, vapor de agua, gases, vapores

**Tabla 2.24. Ventajas y variaciones válvula de desahogo (alivio)**

<b>Ventajas:</b>	<b>Variaciones:</b>
Bajo costo	Seguridad, desahogo de seguridad
No se requiere potencia auxiliar para la operación	Construcciones con diafragma para válvulas utilizadas en servicio corrosivo

Fuente: Creus Solé Antonio; Instrumentos Industriales. Su ajuste y calibración; 2ª edición, Marcombo S.A.

**Instrucciones especiales para instalación y mantenimiento:**

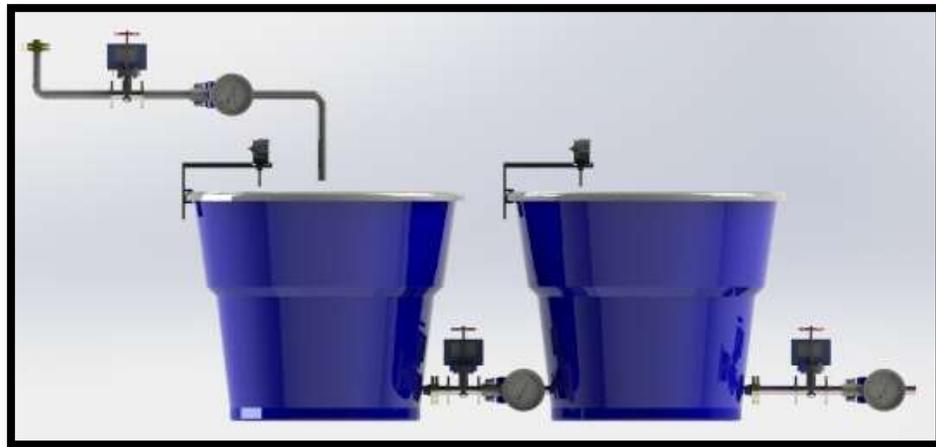
- Se debe instalar de acuerdo con las disposiciones del código ASME para recipientes de presión sin fuego
- Se debe instalar en lugares de fácil acceso para inspección y mantenimiento

## Capítulo 3. DISEÑO DEL PROTOTIPO

A continuación se presentan detalles relacionados con el diseño del prototipo del sistema de dos tanques interconectados en forma interactiva. Se espera que con las especificaciones técnicas y de diseño presentadas en este capítulo, se facilite la implementación del mismo, en la Planta Piloto de la UNAB, prevista para una segunda etapa del desarrollo de este proyecto. Las gráficas que se muestran fueron desarrolladas utilizando el programa SOLIDWORK. Se espera que

### 3.1. DETALLES DE CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

La figura 3.1 muestra una vista frontal del sistema bajo estudio, formado por dos tanques iguales de 500 lts cada uno. Se muestran además las válvulas de control que serán utilizadas para la regulación del caudal de entrada del tanque 1, el caudal entre los dos tanques y el caudal de salida.



**Figura 3.1. Vista frontal del sistema interactivo de dos tanques**

En la figura 3.1 se muestra además la instrumentación requerida para la medición del caudal de entrada al primer tanque, el caudal que fluye entre los dos tanques y el caudal de salida del segundo tanque. Así mismo se muestran los medidores de nivel necesarios para la medición de líquido en cada tanque.

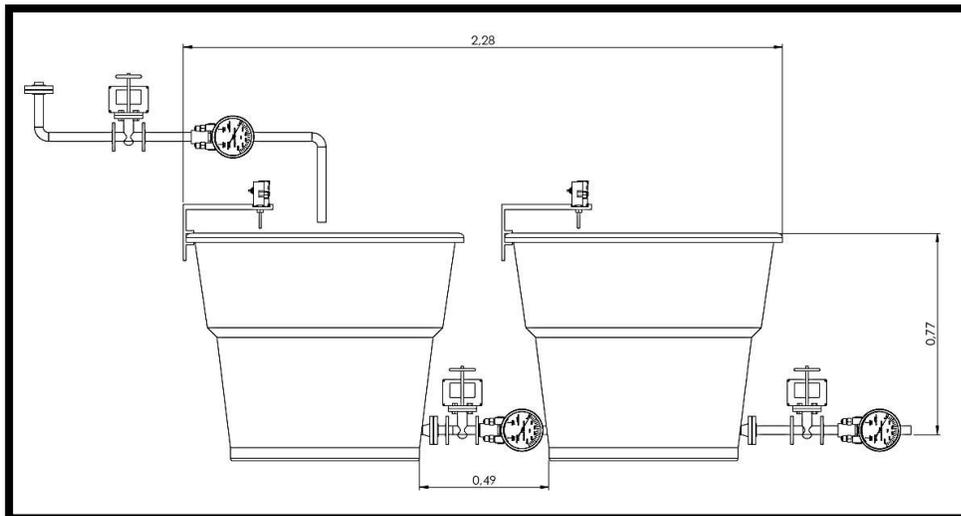
La figura 3.2 muestra la vista superior del prototipo, donde se observa la alineación de las tuberías utilizadas para el transporte del agua.



**Figura3.2. Vista superior del sistema interactivo de dos tanques.**

### Planimetría de montaje

La figura 3.3 muestra los detalles de planimetría del sistema, donde se observan las dimensiones fundamentales del prototipo que será instalado en la Planta Piloto de la UNAB.

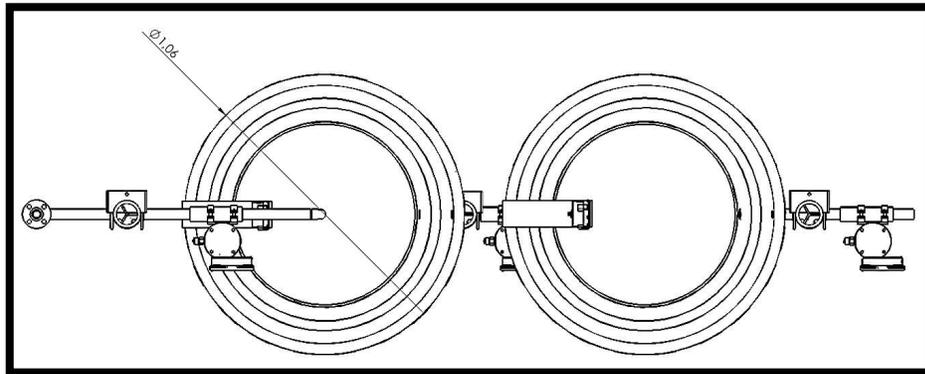


**Figura3.3. Dimensiones fundamentales del prototipo.**

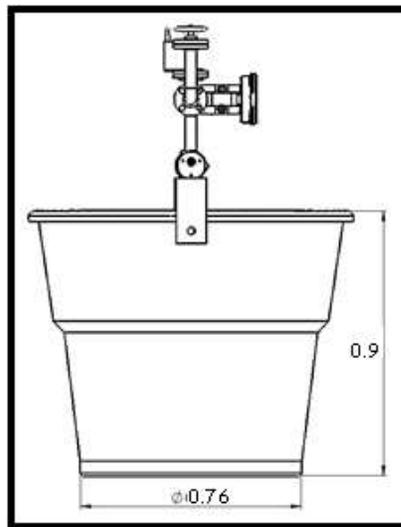
La figuras 3.4 y 3.5 muestran detalles de instalación y montaje, así como los diámetros variables superior e inferior de los tanques, que forman parte del prototipo.

Para el desarrollo del modelo de cada tanque, como se recomienda en aplicaciones prácticas de control, en el capítulo 5 se tomará el área media de los mismos, para determinar su volumen. De acuerdo con esto:

$$A_{mT} = \frac{\pi}{4} \times \frac{(0.760)^2 + (1.059)^2}{2} = 0.6672 \text{m}^2 \quad h_T = 0.9 \quad (3.1)$$



**Figura3.4. Diametros superiores de los dos tanques**



**Figura3.5. Diámetro inferior de los tanques.**

De acuerdo con estas dimensiones, el volumen de cada tanque viene dado por:

$$V_T = A_{mT} h_T = 0.6672 \times 0.9 = 0.6005 \text{m}^3 \quad (3.2)$$

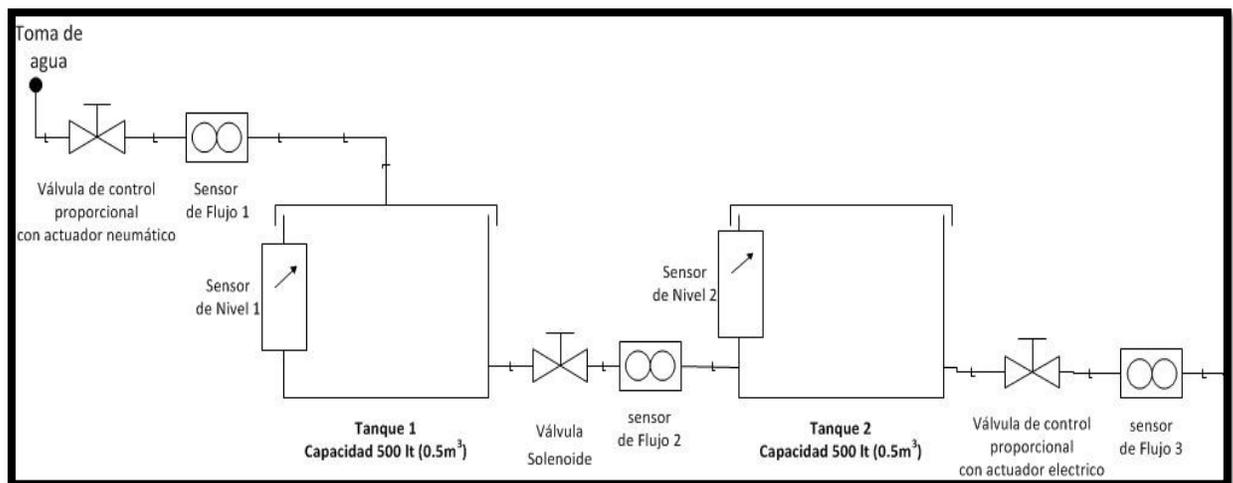
Que es un valor cercano al volumen nominal 500 Lts mencionado anteriormente.

## 3.2. DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACION

En esta sección se muestran los *diagramas de instrumentación*, necesarios para la identificación de los equipos e instrumentos necesarios para la implementación del sistema interactivo de dos tanques interconectados. Estos diagramas forman parte de la documentación necesaria a nivel de la ingeniería básica y de detalle, indispensable para la fase de montaje del prototipo.

### 3.2.1. Diagrama de flujo del proceso (PFD)

La figura 3.6 muestra el diagrama de flujo del proceso (PFD) del prototipo en estudio, donde muestran la *capacidad nominal* de cada tanque suministradas por el fabricante: 500lts. Se observa que este valor es muy cercanos al obtenido en (3.2)



**Figura 3.6. Diagrama PFD del prototipo.**

En el PFD de la figura 3.6., se muestran además los instrumentos mínimos que se requieren para la implementación del prototipo. Las especificaciones de cada instrumento se mostrarán más adelante en esta misma sección.

### 3.2.2. Diagrama de instrumentación y control (P&ID)

La figura 3.7, muestra el diagrama de instrumentación y control (P&ID) que se desarrolló utilizando normas ANSI-ISA. Donde se identifican los lazos de control de nivel y de flujo.

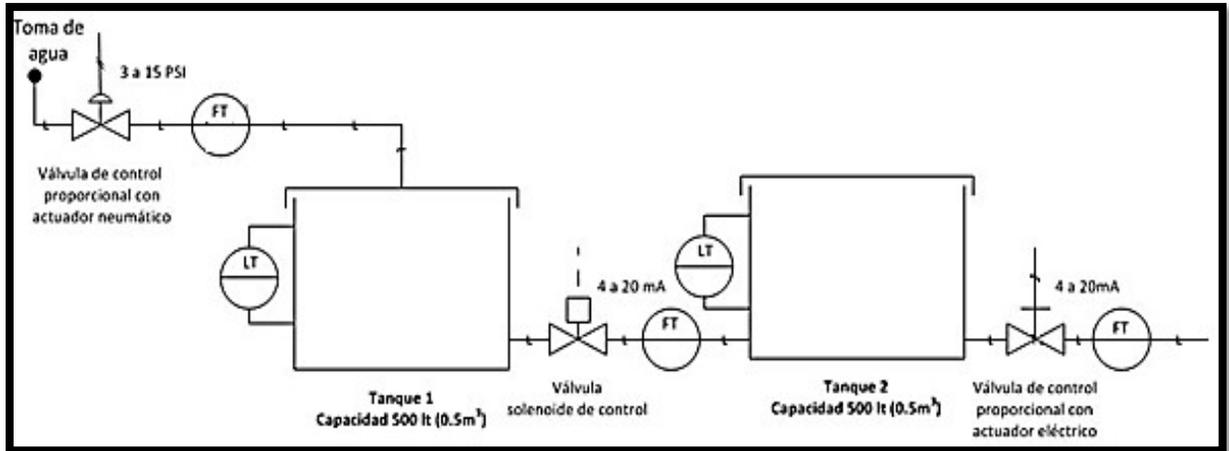


Figura3.7. Diagrama P&ID del prototipo.

### 3.3. SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION

En esta sección se presentan los criterios técnicos utilizados para la selección de la instrumentación necesaria para la implementación del prototipo, que incluye: válvulas de control, medidores de nivel y medidores de flujo. No se incluyen en esta sección los transmisores, dado que deben ajustarse al sistema de control que deberá implementado en la segunda fase de este proyecto.

#### 3.3.1. LISTA DE INSTRUMENTOS

Selección de la instrumentación necesaria para la implementación del control de nivel interactivo de los 2 tanques instalados en la Planta Piloto de la UNAB, que incluye:

- Sensor de nivel para el tanque de entrada que regule:
  - Nivel máximo: 0.85 m (2.62 ft)
  - Nivel mínimo: 0.10 m (0.33 ft)
- Sensor de nivel para el tanque de salida que regule:
  - Nivel máximo: 0.85 m (2.30 ft)
  - Nivel mínimo: 0.10 m (0.33 ft)
- Sensor de flujo para el caudal de entrada, el caudal entre los 2 tanques y el caudal de salida.

$$- \text{Flujo máximo: } 14 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 0.05306 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 3.1836 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

- Flujo mínimo:  $0 \frac{\text{gal}}{\text{min}} = 0 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 0 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$

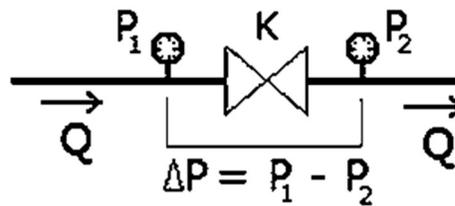
- Válvula de control proporcional de flujo para el tanque de entrada y para el tanque de salida.
- Válvula de control solenoide para la interconexión de los 2 tanques

### 3.3.2. Dimensionamiento de la válvula

#### Definición de Coeficiente de Caudal

Cuando el flujo pasa a través de una válvula u otro dispositivo restrictivo pierde una energía. El **coeficiente de caudal** es un factor de diseño que relaciona la diferencia de altura ( $\Delta h$ ) o presión ( $\Delta P$ ) entre la entrada y salida de la válvula con el caudal ( $Q$ ).

$$Q = K * \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \quad (3.3)$$



**Figura3.8. Diagrama para el cálculo del coeficiente de caudal**

Fuente: guía para el cálculo de válvulas. Samson, edición agosto 2012

$Q$  = caudal  $\text{m}^3/\text{h}$

$\Delta P$  = diferencia de presión

$G$  = gravedad específica (1 para agua)

$K$ =coeficiente de caudal  $K_v$  o  $C_v$

Cada válvula tiene su propio coeficiente de caudal. Éste depende de cómo la válvula ha sido diseñada para dejar pasar el flujo a través de ella. Por consiguiente, las mayores diferencias entre diferentes coeficientes de caudal provienen del tipo de válvula, y naturalmente de la posición de abertura de la válvula.

Puede ser importante conocer el coeficiente de caudal para poder seleccionar la válvula que se necesita en una aplicación específica. Si la válvula va a estar la mayor parte del tiempo abierta, posiblemente interesará elegir una válvula con poca pérdida de carga para poder ahorrar energía. O si se trata de una válvula de control, el rango de coeficientes de caudal en las diferentes posiciones de abertura tendría de permitir cumplir las necesidades de regulación de la aplicación.

En igualdad de flujo, contra mayor es el coeficiente de caudal, las pérdidas de carga a través de la válvula son menores.

La industria de las válvulas ha estandarizado el coeficiente de caudal (K). Este se referencia para agua a una determinada temperatura, y unidades de caudal y diferencia de presión también específicas. Un mismo modelo de válvula tiene un coeficiente de caudal (K) distinto para cada diámetro.

**K<sub>v</sub>** es el coeficiente de caudal en unidades métricas. Se define como el caudal en metros cúbicos por hora [m<sup>3</sup>/h] de agua a una temperatura de 16°C con una caída de presión a través de la válvula de 1 bar.

**C<sub>v</sub>** es el coeficiente de caudal en unidades imperiales. Se define como el caudal en galones US por minuto [gpm] de agua a la temperatura de 60°F con una caída de presión a través de la válvula de 1 psi.

$$K_v = 0.865 \times C_v \quad (3.4)$$

$$C_v = 1.156 \times K_v \quad (3.5)$$

### 3.3.3. Cálculo del coeficiente de caudal (C<sub>v</sub> y K<sub>v</sub>) para la válvula de control proporcional de flujo para el tanque de entrada y para el tanque de salida

$$K = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G}}} \quad (3.6)$$

$$\triangleright P_1 = \rho * g * h \quad (3.7)$$

$P1 = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9.81 \text{ m/s}^2) \times (10 \text{ m [longitud equivalente de la tubería antes de la válvula]})$

$$P1 = 98100 \text{ Pascal} \times \frac{1.45 \times 10^{-4} \text{ psi}}{1 \text{ pascal}}$$

$$P1 = 14.22 \text{ psi}$$

$$\triangleright P2 = \rho * g * h \quad (3.8)$$

**P2 = 13.14 psi (presión atmosférica de Bucaramanga, salida del agua al aire libre que cae al tanque 1)**

$$\Delta P = P1 - P2 \quad (3.9)$$

$$\Delta P = 14.22 \text{ psi} - 13.14 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 1.08 \text{ psi} \rightarrow 0.0745 \text{ Bar} \rightarrow 74.46 \text{ Milibar}$$

$$C_V = \frac{Q_L}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G}}} = \frac{14 \text{ gpm}}{\sqrt{\frac{1.42}{1}}} = 13.47$$

$$k_V = 0.865 \times 13.47$$

$$k_V = 11.65 \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ (Válvula con conexión NPT [pulg] de } 1\frac{1}{4}\text{")}$$

**3.3.4. Cálculo del coeficiente de caudal ( $C_V$  y  $K_V$ ) para la válvula de control solenoide para la interconexión de los 2 tanques**

$$K = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G}}} \quad (3.10)$$

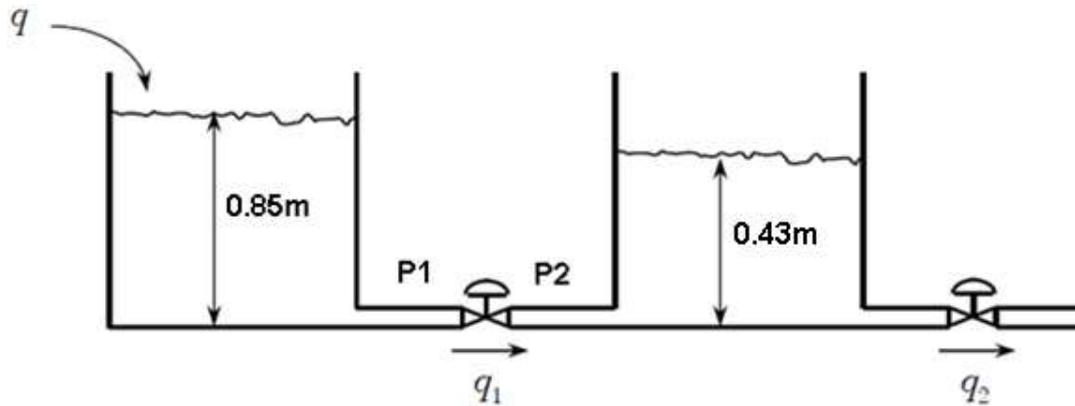


Figura 40 Diagrama para el cálculo del coeficiente de caudal.

Fuente: [4] CARS

$$\triangleright P1 = \rho * g * h \quad (3.11)$$

$$P1 = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9.81 \text{ m/s}^2) \times (0.85 \text{ m})$$

$$P1 = 8338.5 \text{ Pascal} \times \frac{1.45 \times 10^{-4} \text{ psi}}{1 \text{ pascal}}$$

$$P1 = 1.21 \text{ psi}$$

$$\triangleright P2 = \rho * g * h \quad (3.12)$$

$$P2 = (1000 \text{ kg/m}^3) \times (9.81 \text{ m/s}^2) \times (0.43 \text{ m})$$

$$P2 = 4218.3 \text{ Pascal} \times \frac{1.45 \times 10^{-4} \text{ psi}}{1 \text{ pascal}}$$

$$P2 = 0.6116 \text{ psi}$$

$$\Delta P = P1 - P2 \quad (3.13)$$

$$\Delta P = 1.21 \text{ psi} - 0.6116 \text{ psi}$$

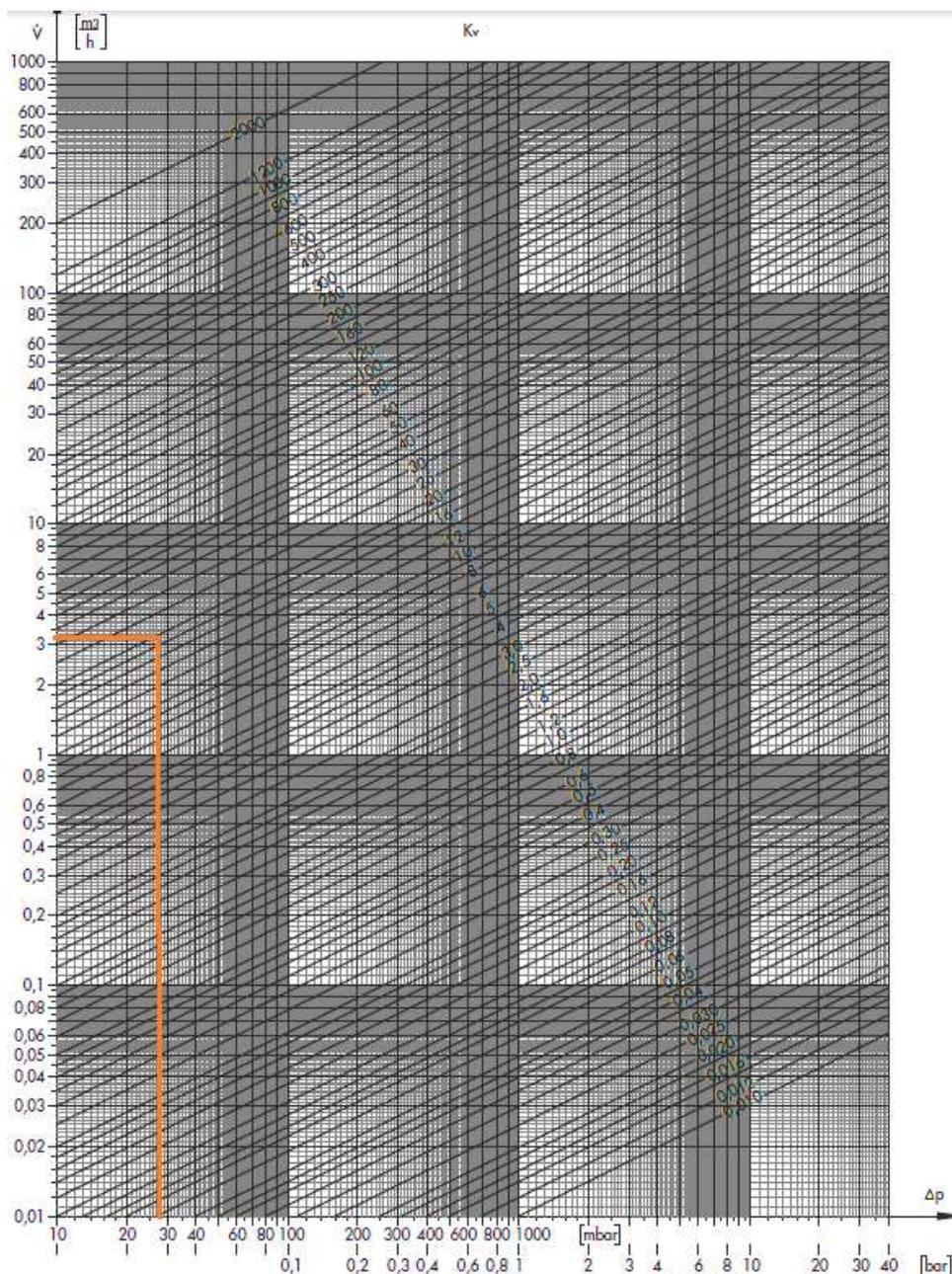
$$\Delta P = 0.4124 \text{ psi} \rightarrow 0.03 \text{ Bar} \rightarrow 28.43 \text{ Milibar}$$

$$C_V = \frac{Q_L}{\sqrt{\frac{\Delta P}{G}}} = \frac{14 \text{ gpm}}{\sqrt{\frac{0.4124}{1}}} = 21.80$$

$$k_V = 0.865 \times 21.80$$

$$k_V = 18.85 \text{ [m}^3/\text{h]} \text{ (Válvula con conexión NPT [pulg] de 1\frac{1}{2}\text{")}$$

En la figura 3.10 se puede corroborar el resultado obtenido matemáticamente de Kv ya que la gráfica muestra el caudal volumétrico versus el diferencial de presión del sistema, intersectando estos dos puntos nos arrojará el coeficiente de caudal Kv para poder seleccionar la válvula de control.



**Figura 3.10. Figura de caudal (caudal volumétrico) para agua  $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $t=20^\circ\text{C}$**

Fuente: guía para el cálculo de válvulas. Samson, edición agosto 2012

### 3.3.5. HOJA DE DATOS (DATA SHEETS)

Tabla 3.1. Características del medidor de caudal MAG 5100 W

	<b>CARACTERISTICA DEL MEDIDOR DE CAUDAL MAG 5100 W</b>
	Es adecuado para todas las aplicaciones de agua y aguas residuales en plantas de tratamiento de agua y en aplicaciones industriales.
	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.

Fuente: Anexo 1. Data sheets Medidor de caudal Siemens MAG 5100 W

Tabla 25. Sensor ultrasonico de nivel siemens Pointek ULS200

	<b>CARACTERIISTICAS DEL SENSOR DE NIVEL</b>
	Rango de medida: 5m (16.4ft)
	Ofrece fiabilidad superior ya que no hay posibilidad de acumulación de material en el sensor.
	Su diseño compacto y resistente combina el sensor y la electrónica en un único instrumento, que al no tener partes móviles es prácticamente exento de mantenimiento.

Fuente: Anexo 2. Data sheets sensor ultrasonico de nivel siemens Pointek ULS200

**Tabla 3.3. Electroválvula solenoide servoaccionadas de 2/2 vias modelo EV220B 15-50 conexión NPT**

	<p><b>CARACTERÍSTICAS DE LA VALVULA DE CONTROL SOLENOIDE PARA LA INTERCONEXIÓN DE LOS 2 TANQUES</b></p>
	<p>Para agua, vapor, aceite, aire comprimido y gases</p>
	<p>Rango de caudal para agua: 1.3-160 m<sup>3</sup>/h</p>
	<p>Presión diferencial: 0.3-16 bar</p>
	<p>Temperatura del medio: 30-140°C</p>
	<p>Temperatura ambiente: 80°C</p>
	<p>Conexiones roscadas: NPT ½” hasta 2”</p>
	<p>Golpe de ariete amortiguado.</p>

Fuente: Anexo 3. Data sheets electroválvula solenoide servoaccionadas de 2/2 vias modelo EV220B 15-50 conexión NPT

**Tabla 3.4. Válvula control proporcional de dos vías serie KLA SPIRA-TROL**

	<p><b>VALVULA DE CONTROL PROPORCIONAL DE FLUJO PARA EL TANQUE DE ENTRADA Y PARA EL TANQUE DE SALIDA</b></p>
	<p>Usadas con un actuador lineal neumático o eléctrico.</p>
	<p>KLA, Lineal (L)-Principalmente para el control de flujo de líquidos cuando las presiones diferenciales se mantienen constantes</p>
	<p>Compatibles con actuadores eléctricos o neumáticos y también con posicionadores.</p>

Fuente: Anexo 4. Data sheets Válvula control proporcional de dos vias serie KLA SPIRA-TROL

**Tabla 3.5. Actuador neumático para la válvula de control proporcional Serie PN 3500**

	<b>ACTUADOR NEUMATICO PARA LA VALVULA DE CONTROL PROPORCIONAL</b>
	Montado con un indicador de recorrido.
	Incorpora un diafragma semicilíndrico para dar linealidad en todo el recorrido.
	Rango de temperatura:-20°C a +100°C
	Presión máxima de trabajo PN3500: 2.5 bar
	Consumo de aire comprimido:
	Carrera: 20mm, volumen (N.litros):2.4
	Carrera: 30mm, volumen (N.litros):3.6

Fuente: Anexo 5. Data sheets Actuadorneumático para la válvula de control proporcional Serie PN 3500

**Tabla 3.6. Actuador eléctrico para la válvula de control proporcional Lineales serie EL5600**

	<b>ACTUADOR ELECTRICO PARA LA VALVULA DE CONTROL PROPORCIONAL</b>
	Disponibles para entrada VMD (servomotor)
	Entrada 4-20mA / 2-10Vcc (cuando llevan posicionador electrónico)
	Disponibles 230Vac, 115 Vac y 24Vac
	La rotación del motor se transmite por medio de engranajes cilíndricos de dentadura recta de precisión y larga duración, para proporcionar un movimiento lineal al vástago del actuador.

Fuente: Anexo 6. Data sheets Actuador eléctrico para la válvula de control proporcional Lineales serie EL5600

### 3.4. MÉTODOS DE LINEALIZACIÓN

Debido a que la mayoría de herramientas para el análisis y diseño de sistemas de control requieren que el modelo sea lineal, es necesario disponer de métodos para linealizar modelos no lineales. Lo anterior facilita el uso de herramientas como la función de transferencia para el desarrollo del modelo del sistema de control.

La linealización generalmente consiste en una expansión en serie de Taylor de la ecuación del modelo no lineal, *alrededor de un punto de operación* definido naturalmente por el sistema o seleccionado arbitrariamente para satisfacer alguna necesidad particular de control.

#### 3.4.1. Linealización sistema SISO

Aplicando la serie de Taylor para un sistema de una entrada y una salida, representado por la función no lineal  $y = f(x)$ , se puede lograr su expansión alrededor de un punto  $P_0$ , caracterizado por  $y_0 = f(x_0, y_0)$ , como:

$$y = f(x_0) + \left. \frac{df}{dx} \right|_{P_0} (x - x_0) + \left. \frac{d^2f}{dx^2} \right|_{P_0} (x - x_0)^2 + \dots + \left. \frac{d^n f}{dx^n} \right|_{P_0} (x - x_0)^n \quad (3.13)$$

Tomando los dos primeros términos del desarrollo en serie, obtenemos:

$$y \approx f(x_0) + \left. \frac{df}{dx} \right|_{P_0} (x - x_0)$$

que puede expresarse como:

$$y - y_0 \approx \left. \frac{df}{dx} \right|_{P_0} (x - x_0) = k_0(x - x_0)$$

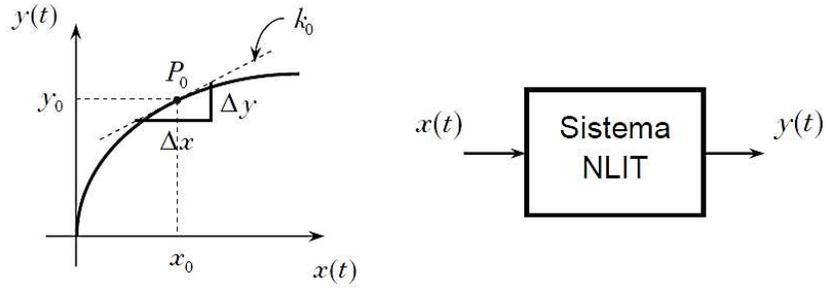
donde

$$k_0 = \left. \frac{df}{dx} \right|_{P_0} \quad (3.14)$$

De este modo, el modelo linealizado del modelo no lineal  $y = f(x)$ , puede expresarse como:

$$\Delta y \approx k_0 \times \Delta x \quad (3.15)$$

La figura 3.11 muestra la interpretación gráfica del análisis anterior. Se observa que el modelo (3.15) es válido solo si el cambio  $\Delta x$ , alrededor del punto de trabajo  $P_0$ , es pequeño.



**Figura 3.11. Linealización de un sistema no lineal de 1 entrada y 1 salida (SISO)**

Fuente: [4] CARS.

### 3.4.2. Linealización modelo MIMO

La figura 3.12 muestra el caso de un sistema MIMO, con dos entradas y un salida.



**Figura 3.12. Linealización de un sistema de 2 entradas y 1 salida (MIMO).**

Fuente: Fuente: [4] CARS.

Un tratamiento similar al caso del sistema SISO, permite reconocer que la función no lineal puede expresarse como:  $y = f(x_1, x_2)$ . Para desarrollar la serie de Taylor basta tener en cuenta que como existen dos variables independientes, es necesario utilizar derivadas parciales, para evaluar el cambio  $\Delta y$ , que se origina los cambios  $\Delta x_1$  y  $\Delta x_2$ . Por lo tanto, la expansión en serie de Taylor, es:

$$\begin{aligned}
 y = f(x_0, y_0) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Big|_{P_0} (x_1 - x_{10}) + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Big|_{P_0} (x_2 - x_{20}) + \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \Big|_{P_0} (x_1 - x_{10})^2 + \\
 + \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \Big|_{P_0} (x_2 - x_{20})^2 + \dots
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

Tomando los tres primeros términos del desarrollo en serie de (3.16), obtenemos:

$$y \approx f(x_0, y_0) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Big|_{P_0} (x_1 - x_{10}) + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Big|_{P_0} (x_2 - x_{20})$$

que puede expresarse como:

$$y - y_0 \approx k_{10}(x_1 - x_{10}) + k_{20}(x_2 - x_{20})$$

En función de los cambios  $\Delta x_1 = x_1 - x_{10}$  y  $\Delta x_2 = x_2 - x_{20}$ , se reduce a:

$$\Delta y \approx k_{10} \times \Delta x_1 + k_{20} \times \Delta x_2 \quad (3.17)$$

donde:

$$k_{10} = \left. \frac{\partial y}{\partial x_1} \right|_{P_0} \quad k_{20} = \left. \frac{\partial y}{\partial x_2} \right|_{P_0} \quad (3.18)$$

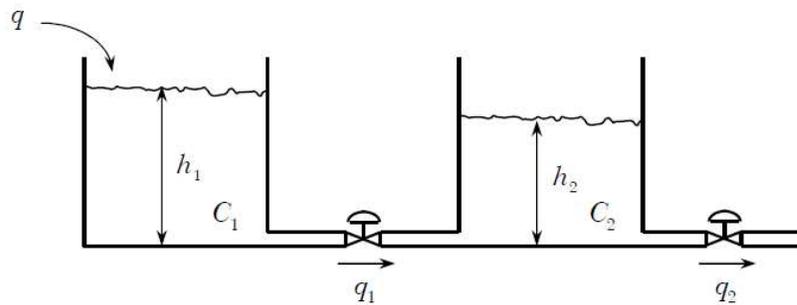
Aplicando la estrategia anterior, en el capítulo 4 se desarrollarán las ecuaciones necesarias para la obtención del modelo linealizado del prototipo mostrado en la figura 3.9.

## Capítulo 4 DESARROLLO DEL MODELO DINÁMICO DE LOS DOS TANQUES Y DE LAS VÁLVULAS UTILIZADAS PARA LA REGULACIÓN DEL FLUJO DE AGUA

A continuación desarrollamos el modelo linealizado del sistema de tanques acoplados dinámicamente, para la relación  $q(t) \leftrightarrow h_1(t)$  y  $q(t) \leftrightarrow h_2(t)$ . Utilizando MATLAB® y SIMULINK se hará una comparación de la respuesta del modelo real (no lineal) y del modelo linealizado (aproximado).

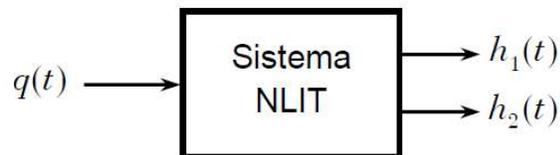
### 4.1 DESARROLLO DEL MODELO NO LINEAL

El punto de referencia para la linealización corresponde a la condición normal de funcionamiento del prototipo, dado por:  $P_0(q_0, h_{10}, h_{20})$ , donde  $q_0 = 0.000884 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_{10} = 0.85 \text{ m}$  y  $h_{20} = 0.43 \text{ m}$ , que. Como los tanques son iguales,  $C_1 = C_2 = C = 0.6672 \text{ m}^2$ , según los valores del área media calculados en (3.1).



**Figura 4.1. Diagrama del modelo dinámico de los dos tanques y de las válvulas utilizadas para la regulación del flujo de agua.**

Se trata de un modelo dinámico no lineal, con una entrada y dos salidas:



**Figura 4.2. Modelo dinámico no lineal, con una entrada y dos salidas**

Para obtener el modelo dinámico del sistema, se formulan las ecuaciones diferenciales en cada tanque, asumiendo dos válvulas diferentes y flujo turbulento en cada una:

$$\text{Tanque 1: } C_1 \frac{dh_1}{dt} = q(t) - q_1(t) \rightarrow q_1(t) = k_1 \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} \quad (4.1)$$

$$\text{Tanque 2: } C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1(t) - q_2(t) \rightarrow q_2(t) = k_2 \sqrt{h_2(t)} \quad (4.2)$$

Sustituyendo  $q_1(t)$  y  $q_2(t)$  en cada ecuación diferencial y organizando matricialmente para simulación, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} \frac{dh_1}{dt} \\ \frac{dh_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{C} [q(t) - k_1 \sqrt{h_1(t) - h_2(t)}] \\ \frac{1}{C} [k_1 \sqrt{h_1(t) - h_2(t)} - k_2 \sqrt{h_2(t)}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(q, h_i) \\ f_2(q, h_i) \end{bmatrix} = F(q, h_i) \quad (4.3)$$

Para el desarrollo del modelo, se utiliza un bloque de funciones definidas por el usuario (User-Defined Functions) **Fcn** de SIMULINK®, para representar directamente las funciones  $f_1(q, h_1)$  y  $f_2(q, h_2)$ . Al escribir las expresiones algebraicas en cada bloque en SIMULINK, es necesario utilizar el símbolo **u** como variable independiente y tener en cuenta el orden de las entradas en el multiplexor.

En este caso:

$$u(1) = h_1(t), u(2) = q(t) \text{ y } u(3) = h_2(t)$$

Expresando  $F(q, h_i)$  en función de estas 3 entradas, se obtiene:

$$\text{Bloque Fcn: } f_1(q, h_i) = (u(2) - K_1 * \text{sqrt}(u(1) - u(3))) / C$$

$$\text{Bloque Fcn1: } f_2(q, h_i) = (K_1 * \text{sqrt}(u(1) - u(3)) - k_2 * \text{sqrt}(u(3))) / C$$

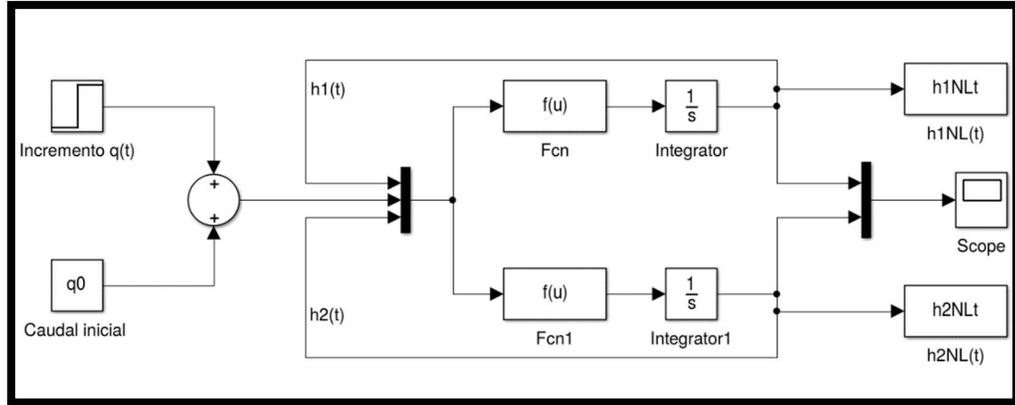
Para obtener los valores de  $K_1$  y  $K_2$ , se aplica la estrategia identificar la relación con el punto de linealización  $P_0(q_0, h_{10}, h_{20})$ . Para esto es necesario desarrollar el modelo linealizado, alrededor de  $P_0$ , conocido también como punto de equilibrio, el cual puede identificarse, reconociendo que en dicho punto el sistema está en equilibrio y por lo tanto el cambio (derivada) en  $h_1(t)$  y el cambio (derivada) en  $h_2(t)$  es cero. Evaluando la ecuación (4.3) en el punto  $P_0$ , se obtiene:

$$q_0 - K_1 \sqrt{h_{10} - h_{20}} = 0 \quad K_1 \sqrt{h_{10} - h_{20}} - K_2 \sqrt{h_{20}} = 0 \quad (4.4)$$

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones 4.4 se obtiene:

$$K_1 = \frac{q_0}{\sqrt{h_{10} - h_{20}}} \quad K_2 = \frac{q_0}{\sqrt{h_{20}}} \quad (4.5)$$

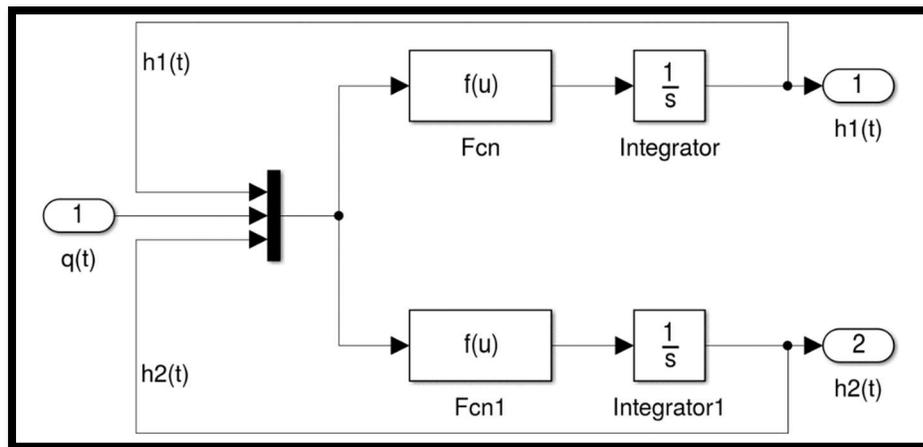
Utilizando las expresiones anteriores, para el punto de equilibrio, caracterizado por  $q_0 = 0.000884 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_{10} = 0.86 \text{ m}$  y  $h_{20} = 0.43 \text{ m}$ , se desarrolló el modelo de SIMULINK® que se muestra en la Figura 4.3.



**Figura 4.3. Modelo de simulación del sistema no lineal**

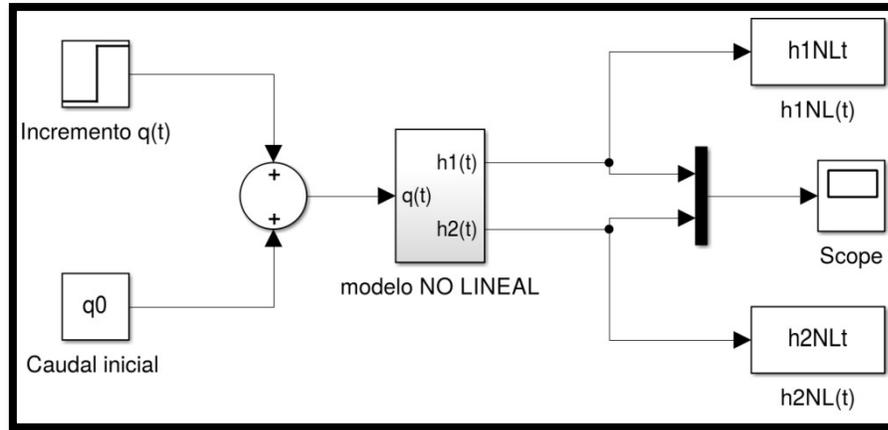
El coeficiente  $K$  depende del tamaño de la válvula y el tipo de fluido y en aplicaciones prácticas está asociado con el coeficiente de la válvula  $C_V$  o  $K_V$ . Sin embargo, el valor real de este coeficiente es variable y depende del *punto de funcionamiento* de la válvula. Sin embargo, para el punto de equilibrio asumido, aplicando la ecuación (4.5) se puede verificar que  $K_1 = K_2 = 0.001364$

Para facilitar la interpretación y utilización de este diagrama, se creó el subsistema mostrado en la Figura 4.4.



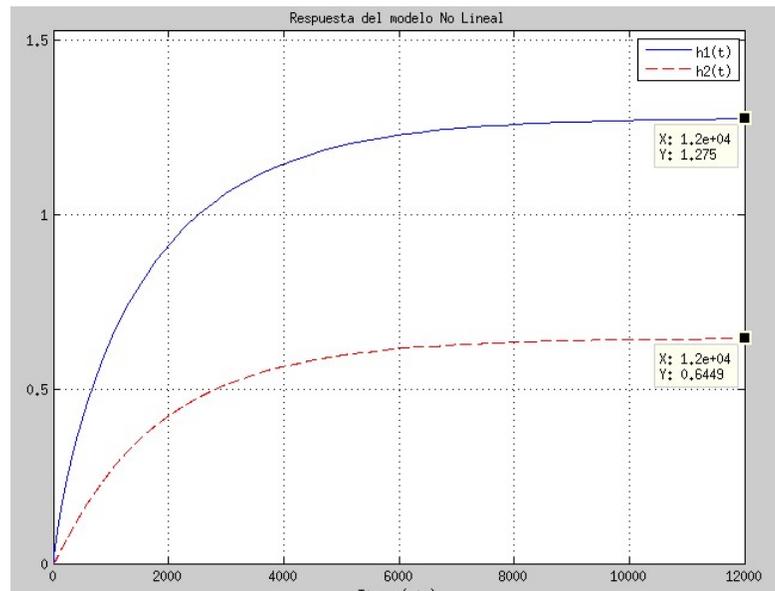
**Figura 4.4. Subsistema para la simulación del modelo no lineal.**

Utilizando el subsistema de la Figura 4.4, el modelo de simulación del sistema no lineal, se reduce al modelo mostrado en la Figura 4.5. Este modelo se utilizó para evaluar la respuesta del sistema hidráulico real (no lineal), asumiendo valores de  $q_0 = 0.000884 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $\Delta q(t) = 0.0002 \times u(t) \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 4.5. Modelo de simulación modificado del sistema no lineal (real)**

Asumiendo un cambio en el caudal de entrada de  $\Delta q(t) = 0.0002 \text{ m}^3/\text{s}$ , alrededor del punto de operación,  $q_0 = 0.000884 \text{ m}^3/\text{s}$ , los datos transferidos al Workspace se obtuvo la gráfica mostrada en la figura 4.6, donde se observan los cambios experimentados en el nivel del tanque 1 y en el nivel del tanque 2.



**Figura 4.6. Respuesta dinámica del sistema no lineal (real)**

En la figura 4.6, se observa que el tiempo de estabilización está alrededor de los 200 minutos = 3.33 h, debido a la interacción dinámica de los dos tanques y que el valor final de los niveles está en  $h_{1\infty} \approx 1.275 \text{ m}$  y  $h_{2\infty} \approx 0.6449 \text{ m}$ .

## 4.2 DESARROLLO DEL MODELO LINEALIZADO

Para desarrollar el modelo linealizado, se parte de la función  $F(q, h_i)$ , considerando que es de dos variables. Evaluando el cambio respecto de  $q$  y respecto de  $h_i$ , obtenemos:

$$K_{h0} = \left. \frac{\partial F}{\partial h_i} \right|_{P_0} = \left[ \begin{array}{cc} \frac{\partial f_1}{\partial h_1} & \frac{\partial f_1}{\partial h_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial h_1} & \frac{\partial f_2}{\partial h_2} \end{array} \right]_{P_0} = \left[ \begin{array}{cc} -\frac{K_1}{2C_1\sqrt{h_1-h_2}} & \frac{K_1}{2C_1\sqrt{h_1-h_2}} \\ \frac{K_1}{2C_2\sqrt{h_1-h_2}} & \frac{K_1}{2C_2\sqrt{h_1-h_2}} - \frac{K_2}{2C_2\sqrt{h_2}} \end{array} \right]_{P_0} \quad (4.6)$$

La expresión anterior se reconoce como el *Jacobiano del sistema*. Aplicando la ecuación 4.5, se obtiene:

$$K_{h0} = \frac{q_0}{2} \left[ \begin{array}{cc} -\frac{1}{C_1(h_{10}-h_{20})} & \frac{1}{C_1(h_{10}-h_{20})} \\ -\frac{1}{C_2(h_{10}-h_{20})} & \frac{1}{C_2(h_{10}-h_{20})h_{20}} \end{array} \right] \quad K_{q0} = \left. \frac{\partial F}{\partial q} \right|_{P_0} = \left[ \begin{array}{c} \frac{\partial f_1}{\partial q} \\ \frac{\partial f_2}{\partial q} \end{array} \right]_{P_0} = \left[ \begin{array}{c} 1 \\ 0 \end{array} \right] \quad (4.7)$$

Luego, el modelo linealizado es:

$$\left[ \begin{array}{c} \frac{d\Delta h_1}{dt} \\ \frac{d\Delta h_2}{dt} \end{array} \right] = K_{h0} \times \left[ \begin{array}{c} \Delta h_1 \\ \Delta h_2 \end{array} \right] + K_{q0} \Delta q \quad (4.8)$$

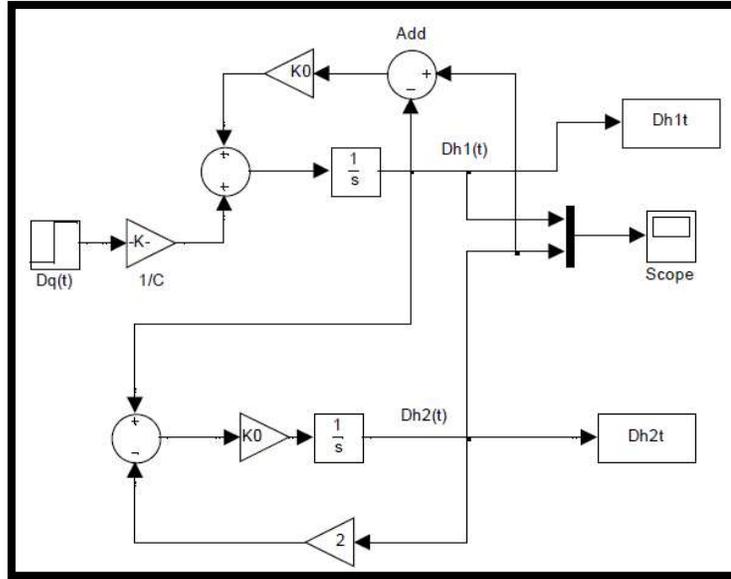
Evaluando la matriz  $K_{h0}$  y el vector  $K_{q0}$ , para el punto de equilibrio  $q_0 = 0.000884 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_{10} = 0.85 \text{ m}$  y  $h_{20} = 0.43 \text{ m}$  y asumiendo que los dos tanques son iguales  $C_1=C_2=C=0.6672 \text{ m}^2$ :

$$\frac{d\Delta h_1}{dt} = K_0[-\Delta h_1(t) + \Delta h_2(t)] + \frac{1}{C} \Delta q(t) \quad \frac{d\Delta h_2}{dt} = K_0[\Delta h_1(t) - 2\Delta h_2(t)] \quad (4.9)$$

donde,

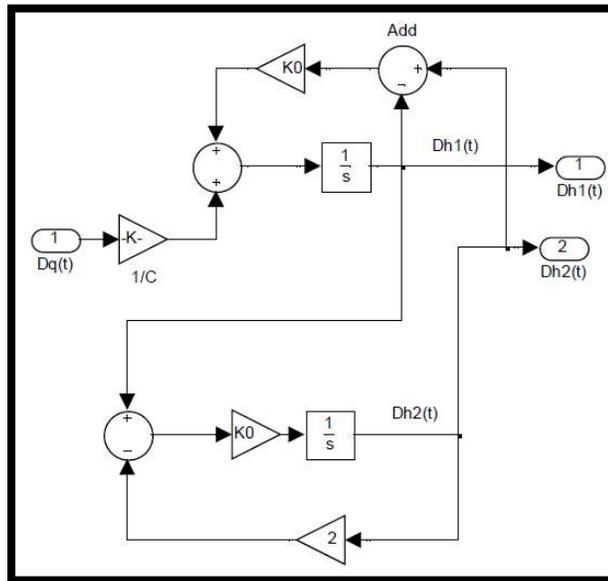
$$K_0 = \frac{q_0}{2C \times h_{20}} = \frac{0.000884}{2 \times 0.6672 \times 0.43} = 0.00154$$

Utilizando las expresiones anteriores, se desarrolló el diagrama de SIMULINK® mostrado en la Figura 4.7.

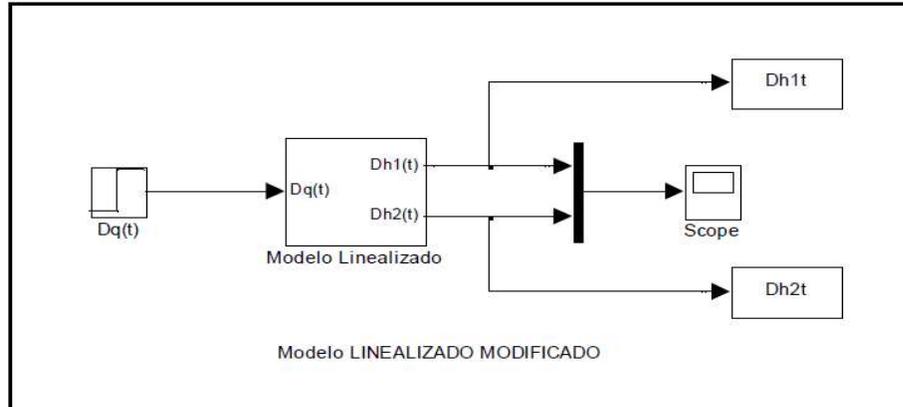


**Figura 4.7. Modelo linealizado del sistema**

Para facilitar la interpretación y utilización de este diagrama, se creó el subsistema mostrado en la Figura 4.8. Utilizando este subsistema de desarrollo la versión modificada del modelo linealizado, que se muestra en la figura 4.9.

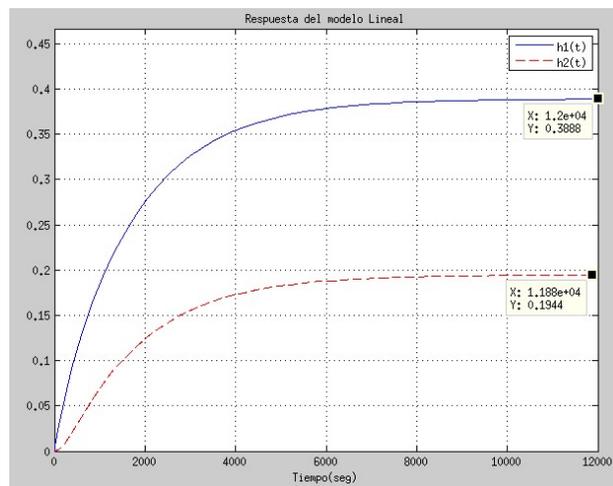


**Figura 4.8. Subsistema para la simulación del modelo linealizado**



**Figura 4.9. Modelo de simulación modificado del sistema linealizado**

La figura 4.10 muestra la respuesta del modelo linealizado, asumiendo el mismo cambio de  $\Delta q(t) = 0.0002\text{m}^3/\text{s}$ , utilizado en la respuesta del modelo real.



**Figura 4.10. Respuesta dinámica del modelo linealizado**

En la figura 4.10, se observa que los valores finales de nivel son:

$$\Delta h_1(\infty) \approx 0.3888\text{m} \text{ y } \Delta h_2(\infty) \approx 0.1944\text{m}$$

Una alternativa para obtener el modelo linealizado, se basa en transformar las ecuaciones (4.9) al dominio-s, considerando que  $\Delta h_1(t) \leftrightarrow H_1(s)$ ,  $\Delta h_2(t) \leftrightarrow H_2(s)$  y  $\Delta q(t) \leftrightarrow Q(s)$

$$sH_1(s) = K_0[-H_1(s) + H_2(s)] + \frac{1}{c}Q(s)$$

$$sH_2(s) = K_0[H_1(s) + 2H_2(s)]$$

Resolviendo simultáneamente para  $H_1(s)$  y  $H_2(s)$  en función de  $Q(s)$ , se obtiene:

$$H_1(s) = \frac{(s+2K_0)/C}{s^2+3K_0s+K_0^2} \times Q(s) \text{ y } H_2(s) = \frac{K_0/C}{s^2+3K_0s+K_0^2} \times Q(s)$$

que corresponde al modelo de un sistema MIMO de una entrada y dos salidas. El resultado anterior, puede verificarse usando el TBMS de MATLAB®:

```
>>syms Ko Co s H1s H2s Qs
>> EQ1=Ko*(-H1s+H2s)+Qs/Co-s*H1s
>> EQ2=Ko*(H1s-2*H2s)-s*H2s
>> [H1,H2]=solve(EQ1,EQ2,H1s,H2s)
      H1s = (Qs*(2*Ko + s))/(Co*(Ko^2 + 3*Ko*s + s^2))
      H2s = (Ko*Qs)/(Co*(Ko^2 + 3*Ko*s + s^2))
```

Sustituyendo los valores de  $K_0 = 0.00154$  y  $C = 0.6672$ , obtenemos:

$$G_{11}(s) = \frac{(s + 2 \times 0.00154)/0.6672}{s^2 + 3 \times 0.00154 \times s + (0.00154)^2} = \frac{1.499s + 0.004618}{s^2 + 0.004622s + 2.374 \times 10^{-6}}$$

$$G_{21}(s) = \frac{0.00154/0.6672}{s^2 + 3 \times 0.00154 \times s + (0.00154)^2} = \frac{0.002309}{s^2 + 0.004622s + 2.374 \times 10^{-6}}$$

El resultado anterior puede verificarse utilizando el modelo de SIMULINK® mostrado en la Figura 4.8, junto con la función `linmod()` del TBC (Control System Toolbox) de MATLAB®:

```
>> K0=q0/(2*C*h20);
>> [A,B,C,D]=linmod(modelo_no_linealizado_LINMOD');
>> Me=ss(A,B,C,D);
>> Gs=tf(Me)
>> s=tf('s')

Transfer function from input to output...

      1.499 s + 0.004618
1:  -----
      s^2 + 0.004622 s + 2.374e-06

      0.002309
2:  -----
      s^2 + 0.004622 s + 2.374e-06
```

Generando las FT desde el Workspace y utilizando el modelo de SIMULINK® que se muestra en la figura 4.11, se obtiene la misma respuesta dinámica del modelo linealizado, que se obtuvo por simulación directa de las expresiones algebraicas.

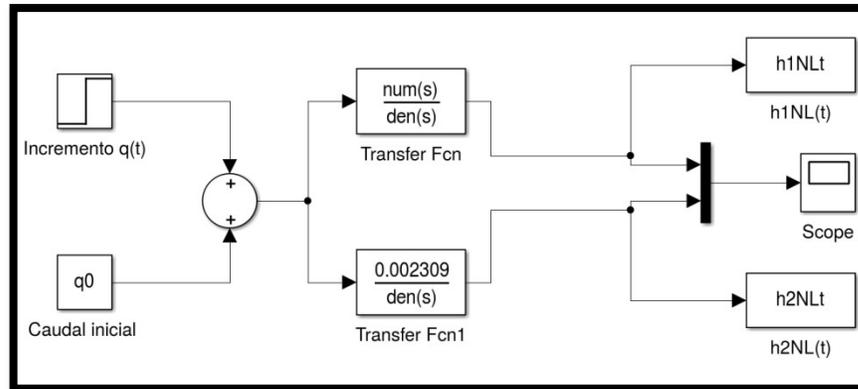


Figura 4.11. Modelo linealizado usando función de transferencia

La figura 4.12, muestra la respuesta del modelo linealizado, utilizando las FT  $G_{11}(s)$  y  $G_{21}(s)$ . Como era de esperar, se obtiene el mismo resultado en la figura 4.10.

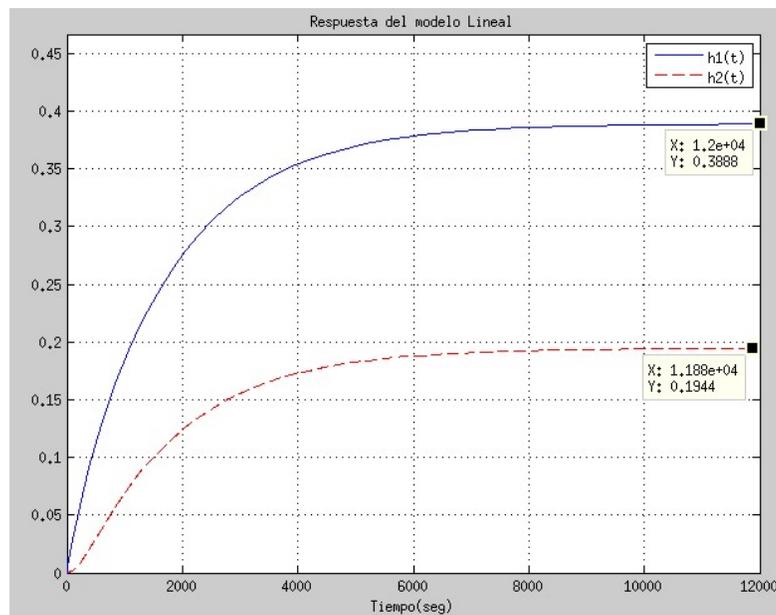


Figura 4.12. Respuesta del modelo linealizado usando función de transferencia

### 4.3 EVALUACION DELE ERROR DE LINEALIZACION

Aplicando el concepto de variables de desviación, teniendo en cuenta que  $h_{10} = 0.85m$ , y  $h_{20} = 0.43m$ , el valor final de cada nivel debería ser:

$$h_1(\infty) \approx 0.3888 + 0.85 \approx 1.2388m \text{ y } h_2(\infty) \approx 0.194 + 0.43 \approx 0.6244m$$

La diferencia con los valores obtenidos en el modelo no lineal, se deben a la aproximación en la linealización y al cambio asumido de  $\Delta q(t) = 0.0002m^3/s$ .

Utilizando la estrategia anterior y aprovechando los valores transmitidos al Workspace, se obtuvo la siguiente tabla, donde se muestra el efecto del cambio  $\Delta q(t)$ , en la exactitud del modelo linealizado.

**Tabla 5.1. Evaluación numérica del error de linealización para diferentes valores de desviación del caudal de entrada del agua**

cambio en caudal de entrada	Nivel final del tanque 1			Nivel final del tanque 2		
	Dq(t) [m3/s]	h1(NL)(∞)[m]	h1(LIN)(∞)[m]	e(%)	h2(NL)(∞)[m]	h2(LIN)(∞)[m]
0,00005	0,9481	0,94721	0,09	0,4795	0,47859	0,19
0,0001	1,052	1,0444	0,72	0,532	0,52719	0,90
0,0002	1,275	1,2388	2,84	0,6449	0,6244	3,18
0,0004	1,784	1,626	8,86	0,9012	0,8187	9,15

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo, a la luz de los objetivos específicos, se pueden formular las siguientes conclusiones, a la luz

1. La estrategia utilizada para la simulación del modelo real (no lineal) y del modelo linealizado (aproximado) fue adecuada para el logro del objetivo principal del este proyecto.
2. Se observa claramente como aumenta la diferencia entre el nivel de cada tanque, obtenido a partir del modelo real (no lineal) y el modelo linealizado, cuando la desviación en el caudal de entrada de líquido se incrementa. Esto implica un aumento en el error del modelo linealizado.
3. El porcentaje de error puede llegar a ser negativo cuando la diferencia de altura del líquido entre los dos tanques es muy cercana.
4. Se puede observar que el nivel de perturbación en el punto de operación nominal en el estado no lineal es mayor al del estado linealizado.
5. Aunque el valor final de los niveles obtenidos en la respuesta dinámica supera el valor máximo real de cada tanque, los resultados logrados son suficientes para identificar el error en que se incurre, cuando los cambios en la variable de entrada (nivel de líquido) superan los valores típicos permitidos en el modelo linealizado.
6. Sería conveniente comparar gráficamente la respuesta dinámica del modelo real (no lineal) y del modelo aproximado (linealizado), para evaluar el efecto sobre los parámetros característicos: tiempo de crecimiento y tiempo de estabilización.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS:

1. Linealización de sistemas dinámicos no lineales.
2. Ingeniería en automatización y control industrial. Control automático 1. Problema resuelto de linealización. 12 de marzo de 2.003. Universidad Nacional de Quilmes.
3. International Society of Automation –ISA – Colombia Section. Documentación para control e instrumentación basada en normas ISA. Ingeniero Paulo Vergara, ISA 84, SIS EXPERT.
4. Fundamentos de Instrumentación y Control de Procesos con aplicaciones en MATLAB. Libro de texto en proceso de edición. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Carlos Alberto Rey Soto, 2.014.
5. Medición de nivel y caudal por ultrasonido. Josey Avilés Espinoza, alumno Ingeniería Civil Electrónica. Universidad Técnica Federico Santa María.
6. Guía para el cálculo de válvulas. Samson S.A. Técnica de medición y regulación. Agosto 2.012. [www.samson.es](http://www.samson.es)

### PAGINAS EN INTERNET:

1. [http://www.mankenberg.de/es/77/UPLOAD/pdf/s33\\_5.pdf](http://www.mankenberg.de/es/77/UPLOAD/pdf/s33_5.pdf)
2. <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-completo-instrumentacion-industrial/item/227-ejemplo-paso-a-paso-como-dimensionar-una-v%C3%A1lvula-de-control.html>
3. [http://www.samson.de/pdf\\_in/t00040es.pdf](http://www.samson.de/pdf_in/t00040es.pdf)
4. <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/valvulas/valvulas.html>
5. [http://www.ingenieriarural.com/Hidraulica/PresentacionesPDF\\_STR/Valvulas-1.pdf](http://www.ingenieriarural.com/Hidraulica/PresentacionesPDF_STR/Valvulas-1.pdf)
6. <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/usoyclasifvalvulas/usoyclasifvalvulas.html>

# ANEXOS

## Anexo 1. Data sheets Medidor de caudal Siemens MAG 5100 W

© Siemens AG 2014

### Medida de caudal SITRANS F M

#### Sensor MAG 5100 W

##### 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.

##### 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 sinfín de sistemas de buses de comunicación industriales, tales como HART, DeviceNet, PROFIBUS DP y PA, FOUNDATION Fieldbus H1 o Modbus RTU/RS 485.

© Siemens AG 2014

### Medida de caudal SITRANS F M

#### Sensor MAG 5100 W

MAG 5100 W (7ME6520) MI-001 son productos verificados y etiquetados a un Q3 y Q3/Q4 = 1,25 y Q2/Q1 = 1,6; para los rangos de medición, ver tabla siguiente:

Diámetro nominal: P11	DN 50 (2")	DN 65 (2½")	DN 80 (3")	DN 100 (4")	DN 125 (5")	DN 150 (6")	DN 200 (8")	DN 250 (10")	DN 300 (12")
"R" Q3/Q1	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Q4 [m³/h]	20	31,25	50	78,75	125	200	312,5	500	787,5
<b>Q3 [m³/h]</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>
Q2 [m³/h]	1,02	1,6	2,6	4,03	6,4	10,24	16	25,6	40,32
Q1 [m³/h]	0,64	1,00	1,60	2,52	4,0	6,4	10,0	16,0	25,2

Diámetro nominal: P12	DN 50 (2")	DN 65 (2½")	DN 80 (3")	DN 100 (4")	DN 125 (5")	DN 150 (6")	DN 200 (8")	DN 250 (10")	DN 300 (12")
"R" Q3/Q1	63	63	63	63	63	63	63	63	63
Q4 [m³/h]	20	31,25	50	78,75	125	200	312,5	500	787,5
<b>Q3 [m³/h]</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>
Q2 [m³/h]	0,41	0,63	1,02	1,6	2,54	4,06	6,35	10,2	16,0
Q1 [m³/h]	0,25	0,40	0,63	1,00	1,59	2,54	3,97	6,35	10,0

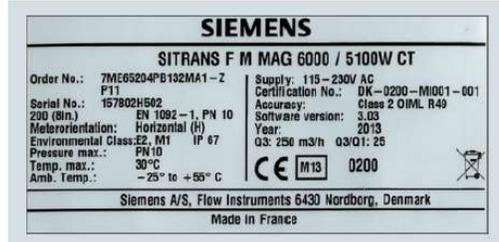
Diámetro nominal: P13	DN 50 (2")	DN 65 (2½")	DN 80 (3")	DN 100 (4")	DN 125 (5")	DN 150 (6")	DN 200 (8")	DN 250 (10")	DN 300 (12")
"R" Q3/Q1	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Q4 [m³/h]	20	31,25	50	78,75	125	200	312,5	500	787,5
<b>Q3 [m³/h]</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>
Q2 [m³/h]	0,32	0,50	0,80	1,20	2,00	3,20	5,0	8,0	12,6
Q1 [m³/h]	0,20	0,31	0,50	0,75	1,25	2,00	3,13	5,0	7,90

Diámetro nominal: P16	DN 50 (2")	DN 65 (2½")	DN 80 (3")	DN 100 (4")	DN 125 (5")	DN 150 (6")	DN 200 (8")	DN 250 (10")	DN 300 (12")
"R" Q3/Q1	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Q4 [m³/h]	50	78,75	125	200	312,5	500	787,5	1250	2000
<b>Q3 [m³/h]</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>1600</b>
Q2 [m³/h]	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,3	10,0	16,0
Q1 [m³/h]	0,25	0,39	0,63	1,00	1,56	2,50	3,94	6,3	10,0

Diámetro nominal: P17	DN 50 (2")	DN 65 (2½")	DN 80 (3")	DN 100 (4")	DN 125 (5")	DN 150 (6")	DN 200 (8")	DN 250 (10")	DN 300 (12")
"R" Q3/Q1	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Q4 [m³/h]	50	78,75	125	200	312,5	500	787,5	1250	2000
<b>Q3 [m³/h]</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>1600</b>
Q2 [m³/h]	0,32	0,50	0,80	1,28	2,00	3,20	5,0	8,0	12,8
Q1 [m³/h]	0,20	0,32	0,50	0,80	1,25	2,00	3,15	5,0	8,0

Diámetro nominal: P18	DN 50 (2")	DN 65 (2½")	DN 80 (3")	DN 100 (4")	DN 125 (5")	DN 150 (6")	DN 200 (8")	DN 250 (10")	DN 300 (12")
"R" Q3/Q1	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Q4 [m³/h]	50	78,75	125	200	312,5	500	787,5	1250	2000
<b>Q3 [m³/h]</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>630</b>	<b>1000</b>	<b>1600</b>
Q2 [m³/h]	0,26	0,40	0,64	1,02	1,60	2,56	4,0	6,4	10,24
Q1 [m³/h]	0,16	0,25	0,40	0,64	1,00	1,60	2,52	4,0	6,40

La etiqueta se encuentra fijada lateralmente en la carcasa. A continuación se incluye un ejemplo de la etiqueta del producto:



Las homologaciones OIML R 49/MI-001 son válidas para:

- DN 50 a 300 mm (2" a 12")
- Montaje horizontal
- Compacto o separado con máx. 3 metros de cable
- Fuente de alimentación 115/230 V AC

Pueden aplicarse otras restricciones (ver certificado)

Ajustes especiales OIML/MI-001:

- Unidad: m³
- Qmáx: Q3
- Corte: 0,1 %
- Salida digital: Frecuencia

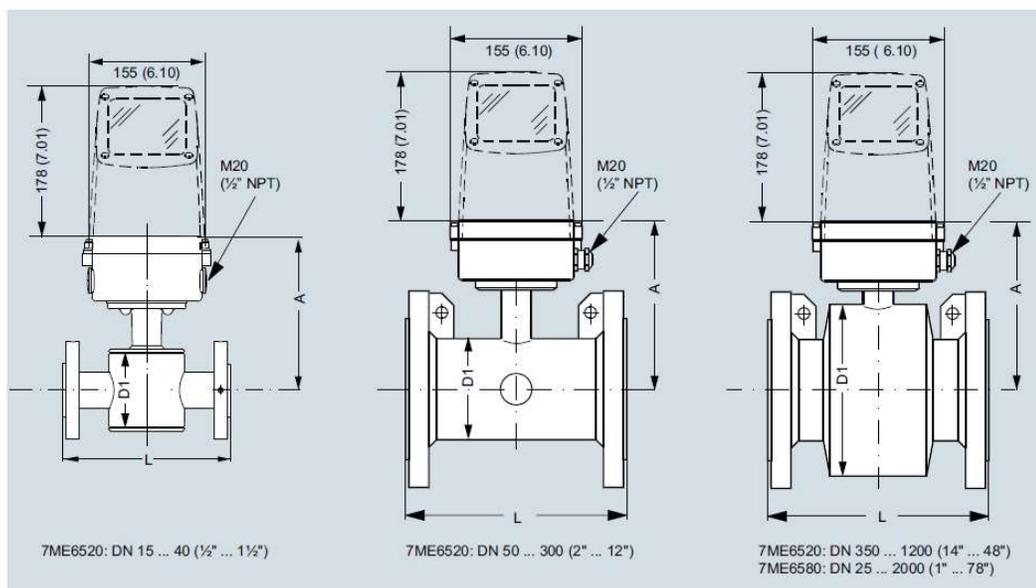
Consulte en las instrucciones de servicio los demás ajustes de fábrica.

© Siemens AG 2014

## Medida de caudal SITRANS F M

Sensor MAG 5100 W

### Croquis acotados



## Anexo 2. Data sheets sensor ultrasonico de nivelsiemensPointek ULS200

© Siemens AG 2014

### Medida de nivel Detección de nivel – Interruptor ultrasónico

Pointek ULS200

#### Sinopsis



El sensor ultrasónico Pointek ULS200 capta sin necesidad de contacto los niveles de productos sólidos a granel, líquidos y lodos/lechadas en una extensa gama de industrias. Con dos puntos de conmutación constituye una solución ideal para productos pegajosos.

#### Beneficios

- 2 salidas por relé de contacto conmutado para alarmas de nivel (muy alto, alto, bajo, muy bajo) o control de llenado/vaciado de bombas
- Compensación integrada de temperatura
- Alimentación AC/DC
- Electrónica con función de autoprotección
- Conexión mecánica por racor roscado y clamp sanitario
- Carcasas de policarbonato o aluminio Tipo 6/NEMA 6/IP67
- Fácil programación mediante dos teclas

#### Gama de aplicación

Rango de medida: máx. 3 m (9.8 ft) para materiales sólidos a granel y 5 m (16.4 ft) para líquidos y lechadas. Ofrece fiabilidad superior ya no que hay posibilidad de acumulación de material en el sensor.

Su diseño compacto y resistente combina el sensor y la electrónica en un único instrumento, que al no tener partes móviles es prácticamente exento de mantenimiento.

Con un sensor de ETFE o PVDF el equipo ofrece alta resistencia a la mayoría de productos químicos, lo que amplía la versatilidad de aplicación a la industria química, petroquímica y las aplicaciones relacionadas con el agua y las aguas residuales. La versión sanitaria del ULS200 está dotada de una brida estándar industrial (opcional) muy fácil de desmontar para la limpieza. Garantiza la conformidad con los prerequisites relativos al procesamiento de alimentos, bebidas y productos farmacéuticos. Pointek ULS200 ofrece fiabilidad superior y reduce los costes de mantenimiento, parada y sustitución de aparatos.

- Principales aplicaciones: líquidos, lodos, productos fluidos, obstrucciones en conductos, industria química

#### Diseño

##### Instalación

Pointek ULS200 debe montarse en un área que no sobrepase los límites de temperatura especificados y que sea adecuada a las especificaciones de la carcasa y de los materiales de construcción. Deberá dejarse libre la tapa para la programación, el cableado y la visualización.

Se recomienda mantener Pointek ULS200 lejos de circuitos de alta tensión o corriente, contactores y dispositivos de control.

El emplazamiento de montaje del Pointek ULS200 debe elegirse de forma que pueda emitir impulsos de ultrasonidos claros, perpendiculares a la superficie del medio a medir. El impulso no deberá intersectar el llenado y las paredes rugosas, las soldaduras, los peldaños y otras obstrucciones.

##### Montaje y conexiones

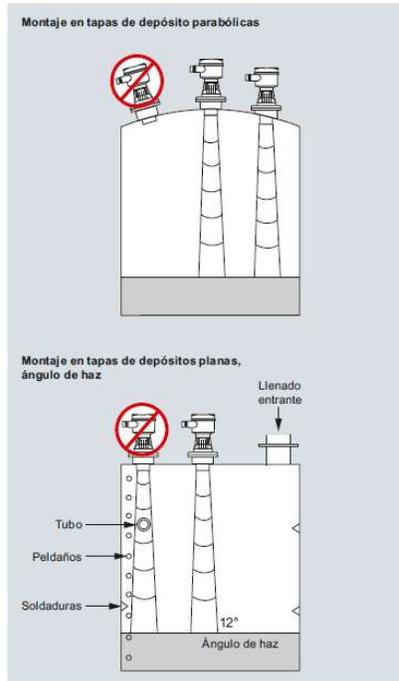
Pointek ULS200 se fabrica con tres tipos de rosca: 2" NPT, R 2" (BSPT), EN 10226 ó PF2 y puede montarse con el adaptador opcional 75 mm (3 inch) en bridas 3" ASME, DN 65, PN 10 y JIS 10K 3B.

Para la instalación eléctrica deben observarse las normas y disposiciones pertinentes. Pueden ser necesarios cables y conductos separados.

## Medida de nivel Detección de nivel – Interruptor ultrasónico

Pointek ULS200

### Configuración

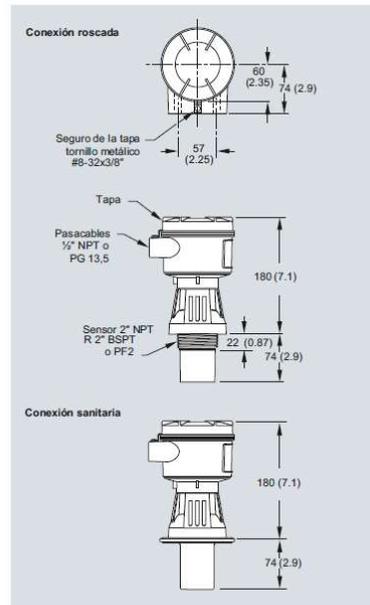


Montaje Pointek ULS200

## Medida de nivel Detección de nivel – Interruptor ultrasónico

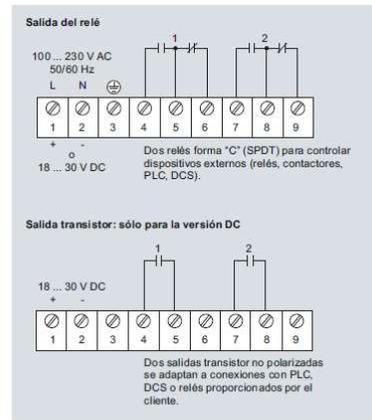
Pointek ULS200

### Croquis acotados



Pointek ULS200, dimensiones en mm (inch)

### Diagramas de circuitos



Conexiones Pointek ULS200

### Anexo 3. Data sheets electroválvula solenoide servoaccionadas de 2/2 vías modelo EV220B 15-50 conexión NPT

## Electroválvulas servoaccionadas de 2/2 vías Modelo EV220B 15-50 Conexión NPT

#### Características



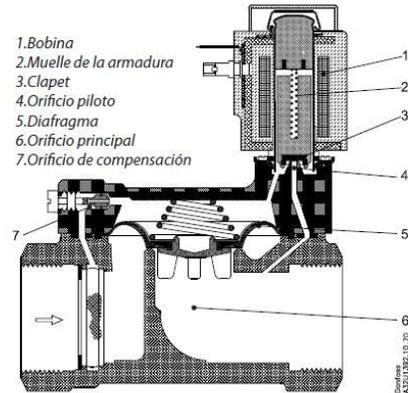
- Para aplicaciones industriales severas
- Para agua, vapor, aceite, aire comprimido y fluidos neutros similares
- Rango de caudal de agua: 4,0 - 40 m<sup>3</sup>/h (4,7 - 47 US gal/min)
- Presión diferencial: Hasta 16 bar (232 psi)
- Viscosidad: Hasta 50 cSt
- Temperatura ambiente: Hasta +80°C (+176°F)
- Temperatura del fluido de -30 a +140°C (-22 a +284°F)
- Protección de la bobina: Hasta IP 67
- Conexiones de la rosca: Desde NPT 1/2" hasta 2"
- Golpe de ariete amortiguado
- Filtro integrado para la protección del sistema piloto
- Tiempo de cierre regulable disponible (véase pág. 6)

#### Datos técnicos

Modelo principal	EV220B 15B	EV220B 20B	EV220B 25B	EV220B 32B	EV220B 40B	EV220B 50G
Instalación	Opcional, pero se recomienda un sistema de electroválvulas vertical					
Rango de presión	EPDM/NBR: 0,3 - 16 bar (4,4 - 232 psi) FKM: 0,3 - 10 bar (4,4 - 145 psi)					
Máx. presión de prueba	25 bar (363 psi)					
Tiempo de apertura <sup>1)</sup>	40 ms	40 ms	300 ms	1000 ms	1500 ms	5000 ms
Tiempo de cierre <sup>1)</sup>	350 ms	1000 ms	1000 ms	2500 ms	4000 ms	10000 ms
Temperatura ambiente	Modelo: BA 9 W ca / 15 W cc Hasta +40°C (+104°F) Modelo: BB 10 W ca / 18 W cc Hasta +80°C (+176°F) Modelo: BE 10 W ca / 18 W cc (IP 67) Hasta +80°C (+176°F) Modelo: BG 12 W ca / 20 W cc Hasta +80°C (+176°F) Modelo: BO 10 W ca / 10 W cc Hasta +40°C (+104°F) Modelo: BP 16 W cc Hasta +55°C (+131°F)					
Temperatura del fluido	EPDM: -30 a +120°C (-22 a +248°F) Vapor a baja presión: +140°C/4 bar (+284°F/58psi) FKM: 0 a +100°C (+32 a +212°F) Agua: +60°C (+140°F) NBR: -10 a +90°C (+14 a +194°F)					
Viscosidad	Máx. 50 cSt					
Materiales	Cuerpo de la válvula: EV220B 50G: Bronce rojo, nº 2.1096.01 Otros: Latón, nº 2.0402 Armadura: Acero inoxidable, nº 1.4105/AISI 430FR Tubo de la armadura: Acero inoxidable, nº 1.4306/AISI 304L Tope de la armadura: Acero inoxidable, nº 1.4105/AISI 430FR Muelles: Acero inoxidable, nº 1.4310/AISI 301 Juntas tóricas: EPDM o NBR Clapet: EPDM o NBR Diafragma: EPDM, FKM o NBR					

**Función - Válvula NC**
*Tensión de bobina desconectada (cerrada):*

Cuando la tensión está desconectada, el muelle (2) de la armadura presiona el clapet (3) contra el orificio piloto (4). La presión a lo largo del diafragma (5) se crea mediante el orificio de compensación (7). El diafragma cierra el orificio principal (6) tan pronto como la presión del diafragma es equivalente a la presión de entrada. La válvula permanecerá cerrada mientras la tensión de la bobina esté desconectada.


*Tensión de la bobina conectada (abierta):*

Cuando se aplica tensión a la bobina (1), se abre el orificio piloto (4). Como el orificio piloto es mayor que el orificio de compensación (7), la presión a lo largo del diafragma (5) cae y así se eleva libre del orificio principal (6). Ahora la válvula está abierta para que circule el flujo y permanecerá así mientras se mantenga la presión diferencial mínima a lo largo de la válvula y mientras se aplique tensión a la válvula.

**Pedidos - Cuerpo de la válvula NC**

Con. NPT [pulg]	Material junta	Valor		Temperatura de fluido		Selección del modelo		Cod. sin bobina	Presión diferencial admisible	
		C <sub>v</sub> [US gal/m]	k <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Min. [°C / °F]	Máx. [°C / °F]	Modelo principal	Especificación		Min. [bar / psi]	Máx. <sup>3)</sup> [bar / psi]
½	EPDM <sup>1)</sup>	4,6	4	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 15B	N12E NC000	<b>032U7532</b>	0,3 / 4,4	16 / 232
½	FKM <sup>2)</sup>	4,6	4	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 15B	N12F NC000	<b>032U7538</b>	0,3 / 4,4	10 / 145
¾	EPDM <sup>1)</sup>	9,3	8	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 20B	N34E NC000	<b>032U7533</b>	0,3 / 4,4	16 / 232
¾	FKM <sup>2)</sup>	9,3	8	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 20B	N34F NC000	<b>032U7539</b>	0,3 / 4,4	10 / 145
1	EPDM <sup>1)</sup>	12,3	11	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 25B	N1E NC000	<b>032U7534</b>	0,3 / 4,4	16 / 232
1	FKM <sup>2)</sup>	12,3	11	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 25B	N1F NC000	<b>032U7540</b>	0,3 / 4,4	10 / 145
1¼	EPDM <sup>1)</sup>	21	18	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 32B	N114E NC000	<b>032U7535</b>	0,3 / 4,4	16 / 232
1¼	FKM <sup>2)</sup>	21	18	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 32B	N114F NC000	<b>032U7541</b>	0,3 / 4,4	10 / 145
1½	EPDM <sup>1)</sup>	28	24	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 40B	N112E NC000	<b>032U7536</b>	0,3 / 4,4	16 / 232
1½	FKM <sup>2)</sup>	28	24	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 40B	N112F NC000	<b>032U7542</b>	0,3 / 4,4	10 / 145
2	EPDM <sup>1)</sup>	46,7	40	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 50G	N2E NC000	<b>032U7537</b>	0,3 / 4,4	16 / 232
2	FKM <sup>2)</sup>	46,7	40	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 50G	N2F NC000	<b>032U7543</b>	0,3 / 4,4	10 / 145

1)Indicado para agua y vapor (vapor máx. +140°C / 4 bar (+284°F / 58 psi)).

2)Indicado para aceite, agua y aire

3)Para presiones diferenciales más altas que las establecidas, póngase en contacto con Danfoss.

4) Vapor a baja presión, 4 bar: Máx. +140°C (+284°F)

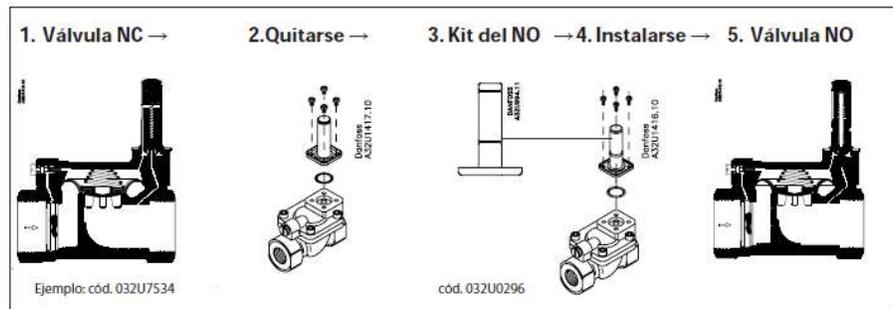
Bobinas BA ca/cc y BB/BE cc: Máx. +100°C (+212°F)

Bobinas BO y BP: Máx. +90°C (+194°F)

5) Para agua: Máx. +60°C (+140°F)

Bobinas BO y BP: Máx. +90°C (+194°F)

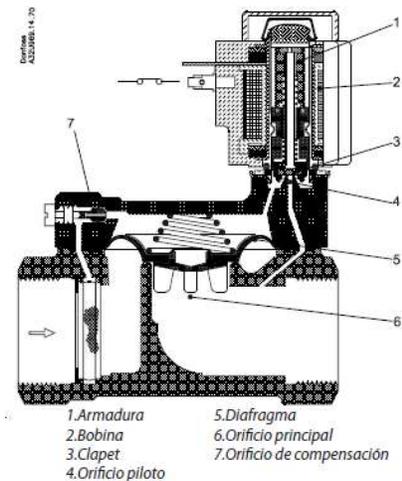
## Válvula NC → Válvula NO



## Función - Válvula NO

**Tensión de bobina desconectada (abierto):**  
 Cuando se desconecta la tensión de la bobina (2), se abre el orificio piloto (4). Como el orificio piloto es mayor que el orificio de compensación (7), la presión a lo largo del diafragma (5) cae y así se eleva libre del orificio principal (6). La válvula permanecerá abierta mientras se mantenga la presión diferencial mínima a lo largo de la válvula y mientras la tensión de la bobina esté desconectada.

**Tensión de bobina conectada (cerrada):**  
 Cuando se aplica tensión a la bobina, el clapet (3) es presionado contra el orificio piloto (4). La presión a lo largo del diafragma (5) se crea mediante el orificio de compensación (7). El diafragma cierra el orificio principal (6) tan pronto como la presión del diafragma es equivalente a la presión de entrada. La válvula permanecerá cerrada mientras la tensión de la bobina esté conectada.



## Pedidos - Cuerpo de la válvula y Kit de NO

Con. NPT [pulg]	Materia- l junta	Valor		Temperatura de fluido		Selección del modelo		Cod. sin bobina	Cod. Kit de NO	Presión diferencial admisible	
		$C_v$ [US gal/m]	$k_v$ [m <sup>3</sup> /h]	Min. [°C / °F]	Máx. [°C / °F]	Modelo principal	Especificación			Min. [bar / psi]	Máx. <sup>3)</sup> [bar / psi]
½	EPDM <sup>1)</sup>	4,6	4	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 15B	N12E NC000	032U7532	032U0296	0,3 / 4,4	16 / 232
½	FKM <sup>2)</sup>	4,6	4	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 15B	N12F NC000	032U7538	032U0295	0,3 / 4,4	10 / 145
¾	EPDM <sup>1)</sup>	9,3	8	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 20B	N34E NC000	032U7533	032U0296	0,3 / 4,4	16 / 232
¾	FKM <sup>2)</sup>	9,3	8	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 20B	N34F NC000	032U7539	032U0295	0,3 / 4,4	10 / 145
1	EPDM <sup>1)</sup>	12,3	11	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 25B	N1E NC000	032U7534	032U0296	0,3 / 4,4	16 / 232
1	FKM <sup>2)</sup>	12,3	11	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 25B	N1F NC000	032U7540	032U0295	0,3 / 4,4	10 / 145
1¼	EPDM <sup>1)</sup>	21	18	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 32B	N114E NC000	032U7535	032U0296	0,3 / 4,4	16 / 232
1¼	FKM <sup>2)</sup>	21	18	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 32B	N114F NC000	032U7541	032U0295	0,3 / 4,4	10 / 145
1½	EPDM <sup>1)</sup>	28	24	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 40B	N112E NC000	032U7536	032U0296	0,3 / 4,4	16 / 232
1½	FKM <sup>2)</sup>	28	24	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 40B	N112F NC000	032U7542	032U0295	0,3 / 4,4	10 / 145
2	EPDM <sup>1)</sup>	46,7	40	-30 / -22	+120 / +248 <sup>4)</sup>	EV220B 50G	N2E NC000	032U7537	032U0296	0,3 / 4,4	16 / 232
2	FKM <sup>2)</sup>	46,7	40	0 / +32	+100 / +212 <sup>5)</sup>	EV220B 50G	N2F NC000	032U7543	032U0295	0,3 / 4,4	10 / 145

1)Indicado para agua y vapor (vapor máx. +140°C / 4 bar (+284°F / 58 psi)).

2)Indicado para aceite, agua y aire

3)Para presiones diferenciales más altas que las establecidas, póngase en contacto con Danfoss.

4) Vapor a baja presión, 4 bar: Máx. +140°C (+284°F)

Bobinas BA ca/cc y BB/BE cc: Máx. +100°C (+212°F)

Bobinas BO y BP: Máx. +90°C (+194°F)

5) Para agua: Máx. +60°C (+140°F)

Bobinas BO y BP: Máx. +90°C (+194°F)

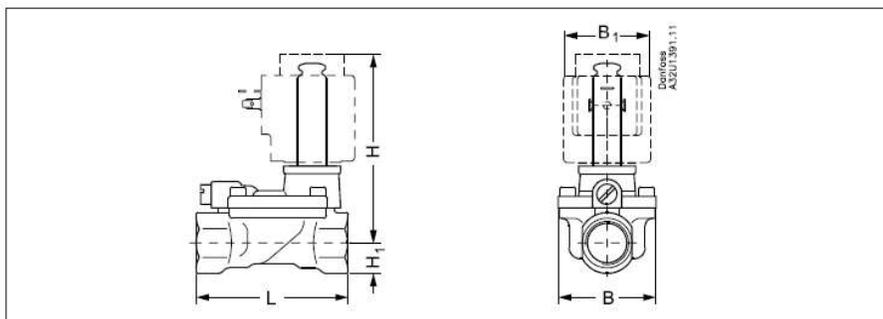
Opciones de la bobina

				<p>Danfoss dispone en de bobinas exentas de ruidos para aplicaciones sensibles a los mismos, y también de bobinas EEx m II T4 para su utilización en áreas con riesgo de explosión - para más información, véase DKACV.PD.600.AN</p>
<p>Modelo: BA 9 W ca 15 W cc</p>	<p>Modelo: BB 10 W ca 18 W cc</p>	<p>Modelo: BE (IP67) 10 W ca 18 W cc</p>	<p>Modelo: BG 12 W ca 20 W cc</p>	

Pedidos - bobinas

Véase DKACV.PD.600. AN

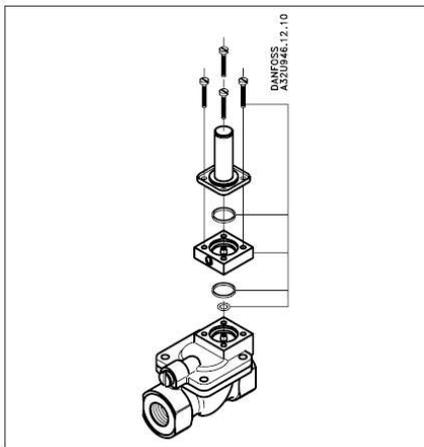
Dimensiones y peso



Modelo	L [mm]	B [mm]	B1 [mm]			H <sub>1</sub> [mm]	H [mm]	Peso sin bobina [kg]
			Modelo de bobina					
			BA	BB/BE	BG			
EV220B 15B	86,0	52,0	32	46	68	15,0	94,0	0,8
EV220B 20B	94,0	58,0	32	46	68	18,0	98,0	1,0
EV220B 25B	116,0	70,0	32	46	68	22,0	108,0	1,4
EV220B 32B	122,0	82,0	32	46	68	27,0	115,0	2,0
EV220B 40B	132,0	95,0	32	46	68	32,0	124,0	3,2
EV220B 50G	162,0	113,0	32	46	68	37,0	130,0	4,3

Accesorios

Unidad de accionamiento manual



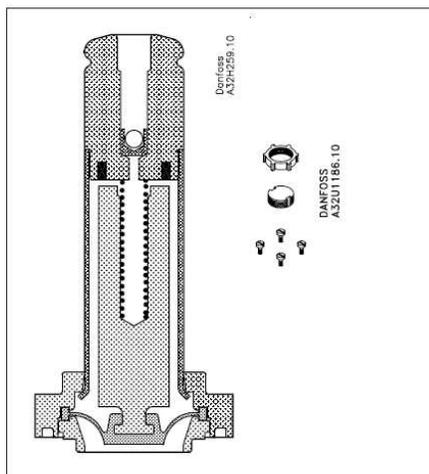
Utilizado como accionamiento manual en caso de caída de tensión.

**Nota:**

La altura de la válvula se ha aumentado 16mm

Cuerpo de la válvula	Cód.
Latón / bronce rojo	032U0150

Kit del diafragma aislante



El diafragma aislante evita que entre algún fluido en la zona de la armadura proporcionando las siguientes ventajas:

La válvula es resistente a fluidos agresivos, a impurezas del fluido y a depósitos calcáreos y de otro tipo.

El kit contiene unidad aislante, junta tórica, 4 tornillos, botón y tuerca de bloqueo ensamblados para la bobina.

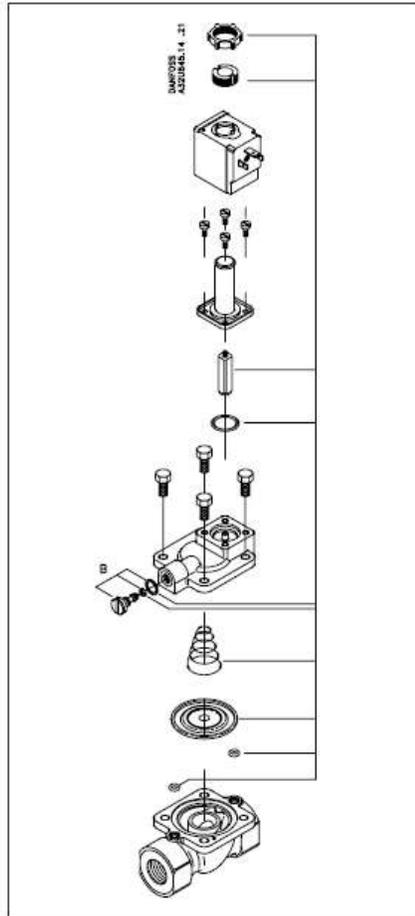
El kit se puede utilizar en todas las válvulas EV220B DN 15-50 y EV210B DN 1.5-3.

Junta de estanqueidad	Cód.
EPDM <sup>1)</sup>	042U1009
FKM <sup>2)</sup>	042U1010

1)Indicado para agua y vapor (vapor máx. +140° C / 4 bar).

2)Indicado para aceite y aire. Para agua temp. máx. +60 °C

Kit de requestos



El kit incluye un botón de bloqueo y una tuerca para la bobina, armadura con clapet y muelle, junta tórica para el tubo de la armadura, muelle y diafragma, dos juntas tóricas para el sistema piloto y una junta tórica y otra de estanqueidad para el orificio de compensación.

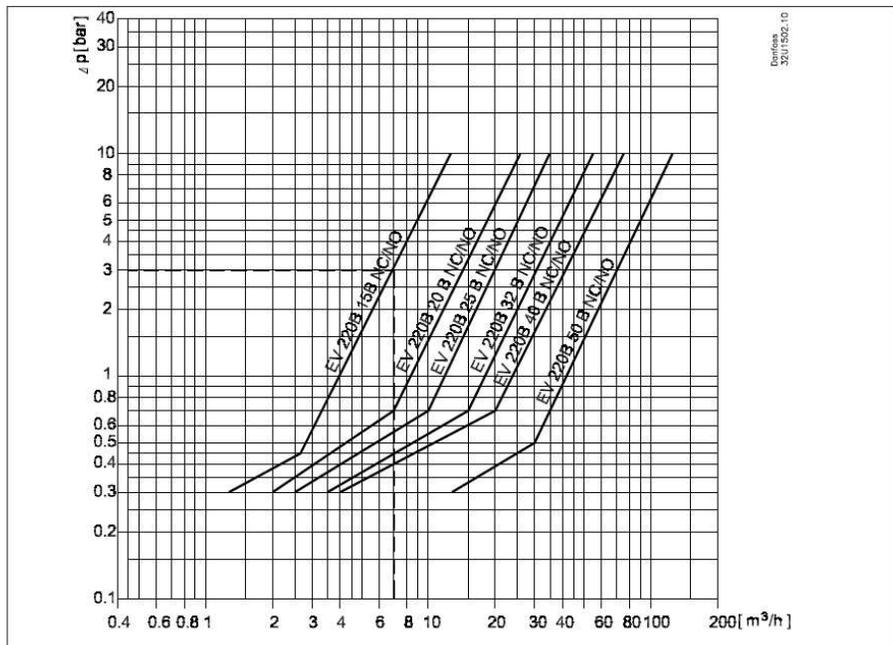
Modelo	Material junta	Cód.
EV220B 15	EPDM <sup>1)</sup>	032U1071
	FKM <sup>2)</sup>	032U1072
	NBR <sup>3)</sup>	032U6013
EV220B 20	EPDM <sup>1)</sup>	032U1073
	FKM <sup>2)</sup>	032U1074
	NBR <sup>3)</sup>	032U6014
EV220B 25	EPDM <sup>1)</sup>	032U1075
	FKM <sup>2)</sup>	032U1076
	NBR <sup>3)</sup>	032U6015
EV220B 32	EPDM <sup>1)</sup>	032U1077
	FKM <sup>2)</sup>	032U1078
	NBR <sup>3)</sup>	032U6016
EV220B 40	EPDM <sup>1)</sup>	032U1079
	FKM <sup>2)</sup>	032U1080
	NBR <sup>3)</sup>	032U6017
EV220B 50	EPDM <sup>1)</sup>	032U1081
	FKM <sup>2)</sup>	032U1082
	NBR <sup>3)</sup>	032U6018

1)Indicado para agua y vapor (vapor máx. +140°C / 4 bar (+284°F / 58 psi))  
 2)Indicado para aceite y aire. Para agua temp. máx.+60°C (+140°F)  
 3)Indicado para aceite, agua y aire

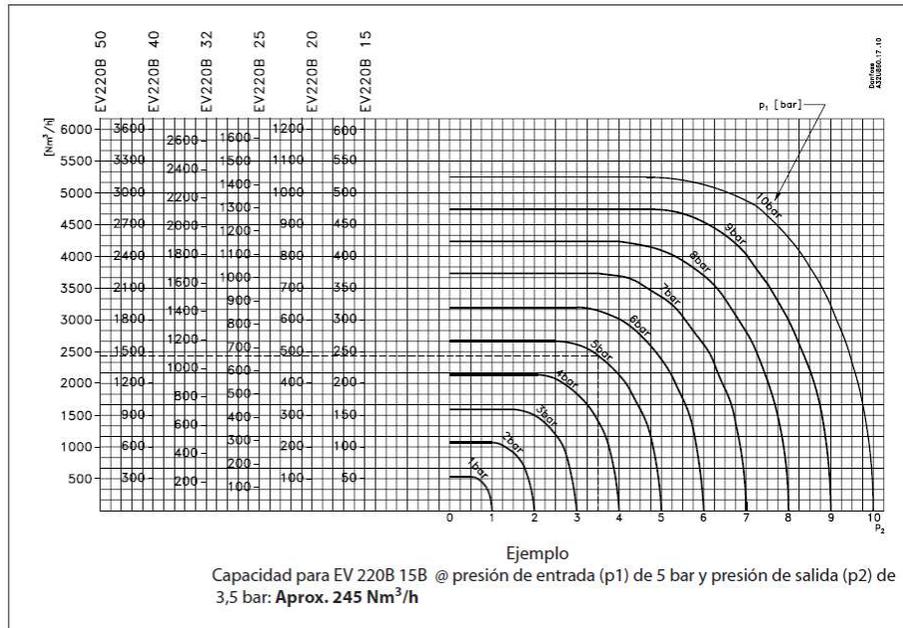
Agua a presión más elevada

Ejemplo

Capacidad para EV 220B 15B @ presión diferencial de 3 bar:  
**Aprox. 7 m<sup>3</sup>/h**



Aire a presión más elevada



## Anexo 4. Data sheets Válvula control proporcional de dos vías seria KLA SPIRA-TROL



# spirax/sarco

TI-P375-01  
CH Issue 2

### Válvulas de control de dos vías Serie KEA, KFA y KLA SPIRA-TROL 1/2" a 4" ANSI

#### Descripción

La gama de válvulas SPIRA-TROL consiste en válvulas de globo dos vías con asiento pinzado por jaula de acuerdo con la especificación ANSI/ASTM. Están disponibles con el cuerpo en tres materiales y tamaños desde 1/2" a 4". Usadas con un actuador lineal neumático o eléctrico proporcionan un control característico modulante o todo/nada.

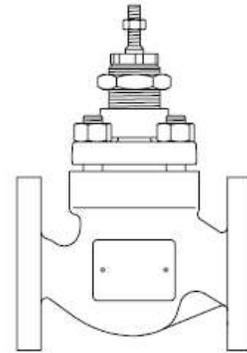
#### Opciones - Característica de la válvula SPIRA-TROL:

<b>KEA</b>	<b>Equiporcentual (E)</b> - Adecuada para la mayoría de aplicaciones de control modulante y proporciona un buen control con caudales bajos.
<b>KFA</b>	<b>Fast opening (F)</b> - Exclusivamente para aplicaciones todo/nada.
<b>KLA</b>	<b>Lineal (L)</b> - Principalmente para el control de flujo de líquidos cuando las presiones diferenciales se mantienen constantes.

**Nota importante:** En todo este documento se hace referencia a la válvula de control estándar KEA. A excepción del tipo de cierre las válvulas de control KEA, KFA y KLA son prácticamente idénticas.

#### Opciones de la válvula SPIRA-TROL:

<b>Sellado del vástago</b>	<b>Sellos de PTFE</b> - Estándar
	<b>Fuelle / PTFE</b> - Cero emisiones
	<b>Fuelle / grafito</b> - Cero emisiones y aplicaciones alta temperatura
<b>Cierre</b>	<b>Empaquetadura de grafito</b> - Aplicaciones de alta temperatura
	<b>Metal-metal</b> Acero inoxidable 431 - estándar
	Acero inoxidable 316L
<b>Cierre</b>	<b>Asiento blando</b> PTFE para cierre hermético
	<b>Endurecido</b> Acero inoxidable 316L con aportación de Estellita 6 para aplicaciones más arduas



#### Datos técnicos

<b>Diseño de obturador</b>	Parabólico
<b>Pérdida</b>	Metal-metal ANSI Clase IV
	Asiento blando ANSI Clase VI
<b>Rango</b>	Equi % y Lineal 50:1
<b>Carrera</b>	1/2" a 2" 3/4"
	2 1/2" a 4" 1 3/8"

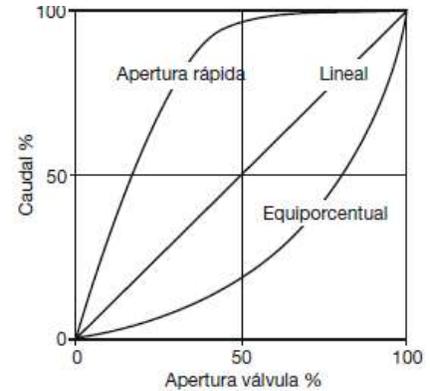
#### Características de flujo típicas

Tapa	Tapa estándar
	Tapa extendida para aplicaciones de frío / calor o con mucho calorifugado
Internos	Estándar
	Bajo ruido

Las válvulas de control de dos vías SPIRA-TROL son compatibles con los siguientes actuadores y posicionadores:

Eléctrico	Serie EL3500 y EL5600
Neumático	Serie PN1000 y PN9000
	PP5 (neumático) o EP5 (electroneumático)
Posicionadores	ISP5 (electroneumático intrínsecamente seguro)
	SP2 (smart electroneumático)
	SP300 (comunicaciones digitales)

Para más detalles ver Hojas Técnicas pertinentes.



### Tamaños y conexiones

Tipo	Material cuerpo	Conexiones	Gama de tamaños
KEA41	Acero		
KEA61	Acero inoxidable	Rosca NPT	½", ¾", 1", 1¼", 1½" y 2"
KEA71	Fundición nodular		
KEA42	Acero al carbono		
KEA62	Acero inoxidable	Preparado para soldar Socket weld	½", ¾", 1", 1¼", 1½" y 2"
KEA43	Acero		
KEA63	Acero inoxidable	Bridas ANSI 300	½" y ¾" (solo KEA43 y KEA63), 1", 1½", 2", 2½", 3" y 4"
KEA73	Fundición nodular	Bridas ANSI 125 y ANSI 250	<b>Nota:</b> Tamaños ½" y ¾" con bridas solo disponibles en fund. nodular

En beneficio del desarrollo y mejora del producto, nos reservamos el derecho de cambiar la especificación.

© Copyright 2006

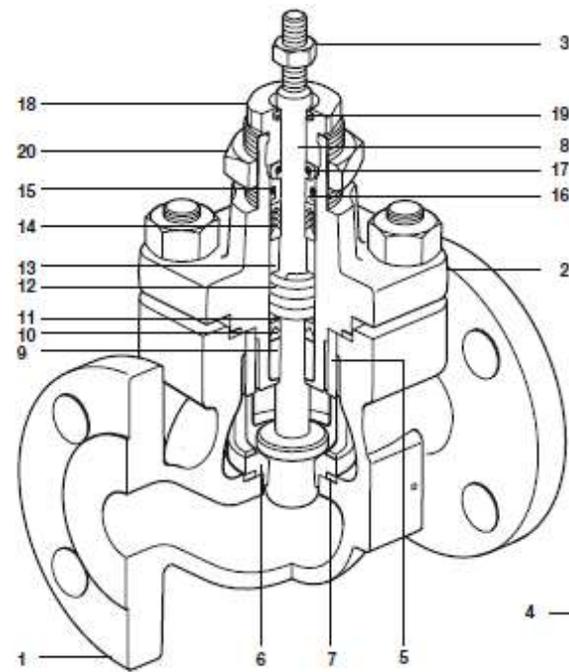
### Materiales

Tipo	No.	Parte	Material
KEA41 KEA43 KEA44	1	Cuerpo	Acero ASTM A216 WCB
	2	Tapa	½" a 2" Forged steel ASTM A105N 2½" a 4" Acero ASTM A216 WCB
	2a	Extensión tapa	Acero ASTM A216 WCB
	3	Contratuercas vástago	Acero inoxidable
KEA61 KEA63 KEA64	1	Cuerpo	Acero inoxidable ASTM A351 CF8M
	2	Tapa	Acero inoxidable ASTM A351 CF8M
	2a	Extensión tapa	Acero inoxidable ASTM A351 CF8M
	3	Contratuercas vástago	Acero inoxidable
KEA71 KEA73	1	Cuerpo	Fundición nodular ASTM A395
	2	Tapa	Fundición nodular ASTM A395
	2a	Extensión tapa	Acero ASTM A216 WCB
	3	Contratuercas vástago	Acero inoxidable

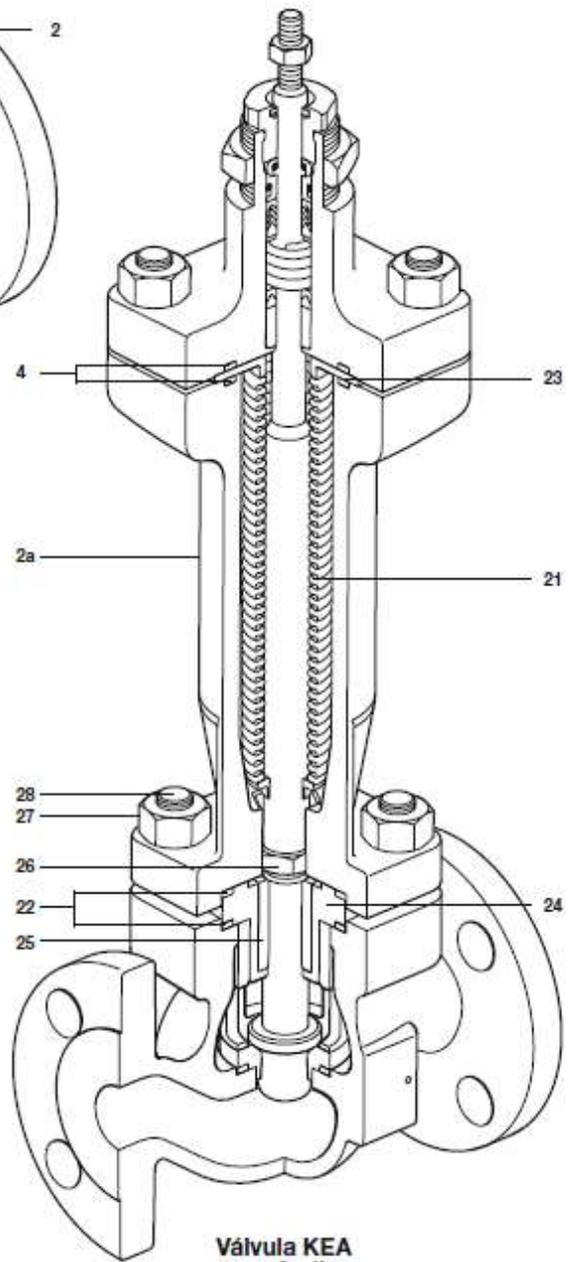
<b>Todas las versiones que usan sellos de PTFE</b>	4	Junta tapa	Espirometálica 316L / grafito
	5	Aro asiento	Acero inoxidable 316L
	6	Asiento	Acero inoxidable (ver opciones de válvula en página 1)
	7	Junta asiento	Espirometálica 316L / grafito
	8	Obturador y vástago	Acero inoxidable (ver opciones de válvula en página 1)
	9 *	Guía inferior vástago	PTFE reforzado
	10	Limpiador inferior vástago	PTFE
	11 *	Arandela empaquetadura	Acero inoxidable 316L
	12 *	Resorte	Acero inoxidable
	13	Espaciador empaquetadura	Acero inoxidable 316L
	14 *	Conjunto chevrones empaquetadura	PTFE
	15 *	'O' ring externo	Vitón B
	16 *	Guía superior vástago	PTFE reforzado
	17 *	'O' ring interno	Vitón
	18	Prensaestopas	Acero inoxidable
	19 *	Aro rascador	PTFE
	20	Tuerca montaje actuador KEA4_ y KEA7_ KEA6_	Acero al carbono cincado Acero inoxidable
	21	Conjunto fuelle	Acero inoxidable AISI 316Ti + 316L
	22	Junta extensión tapa	Espirometálica 316L / grafito
	23	Plato superior (solo se usa en la extensión tapa)	Acero inoxidable 316L
	24	Alojamiento cojinete vástago inferior	Acero inoxidable 316L
	25	Cojinete vástago inferior	Estellita 6
	26	Tuerca bloqueo y anti giro eje	Acero inoxidable 316L
	27	Tuercas tapa estándar KEA4_ y KEA7_ KEA6_	Acero ASTM A914 Gr. 2H Acero ASTM A914 Gr. 8M
	28	Esparragos tapa estándar KEA4_ y KEA7_ KEA6_	Acero ASTM A914 Gr. B7 Acero ASTM A914 Gr. B8 M2

**\* Empaquetadura de grafito**

<b>Empaquetadura alta temperatura</b>	9		
	16	Guía vástago superior e inferior	Estellita 6
	14	Empaquetadura Graphoil	Aros de grafito
	11	No se usa	
	12		
	15		
	17		
19			



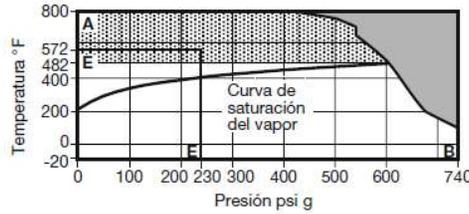
**Válvula KEA**



**Válvula KEA  
con fuelle**

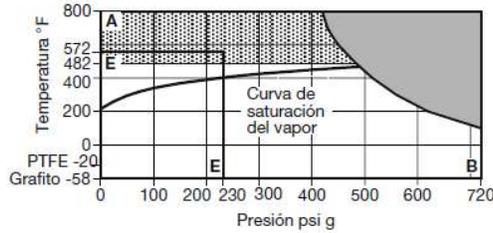
## Límites de presión/temperatura

KEA41 KEA41B  
KEA42 KEA42B  
y  
KEA43 KEA43B  
(Acero)



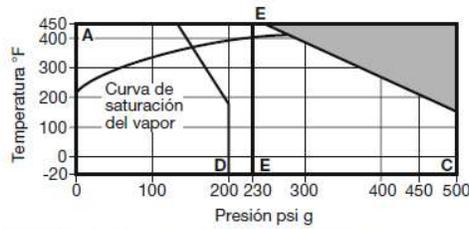
A - B Bridas ANSI 300 y roscada NPT y SW.  
E - E Válvulas con fuelle, la presión máxima aguas abajo estará limitada a 230 psi g a 572°F.

KEA61 KEA61B  
KEA62 KEA62B  
y  
KEA63 KEA63B  
(Acero inoxidable)



A - B Bridas ANSI 300 y roscada NPT y SW.  
E - E Válvulas con fuelle, la presión máxima aguas abajo estará limitada a 230 psi g a 572°F.

KEA71 KEA71B  
y  
KEA73 KEA73B  
(Fundición nodular)



A - C Bridas ANSI 250 y roscado NPT.  
A - D Bridas ANSI 125.\*  
E - E Válvulas con fuelle, la presión máxima aguas abajo estará limitada a 230 psi g a 572°F.

- La válvula **no puede** trabajar en esta zona.
  - Requiere estopada de grafito y tornillería de alta temperatura para trabajar en esta zona.
- Nota:** Las válvulas de control de dos vías Series KEA, KFA, KLA estándar se suministran con la opción de sellado estándar estopada de PTFE.

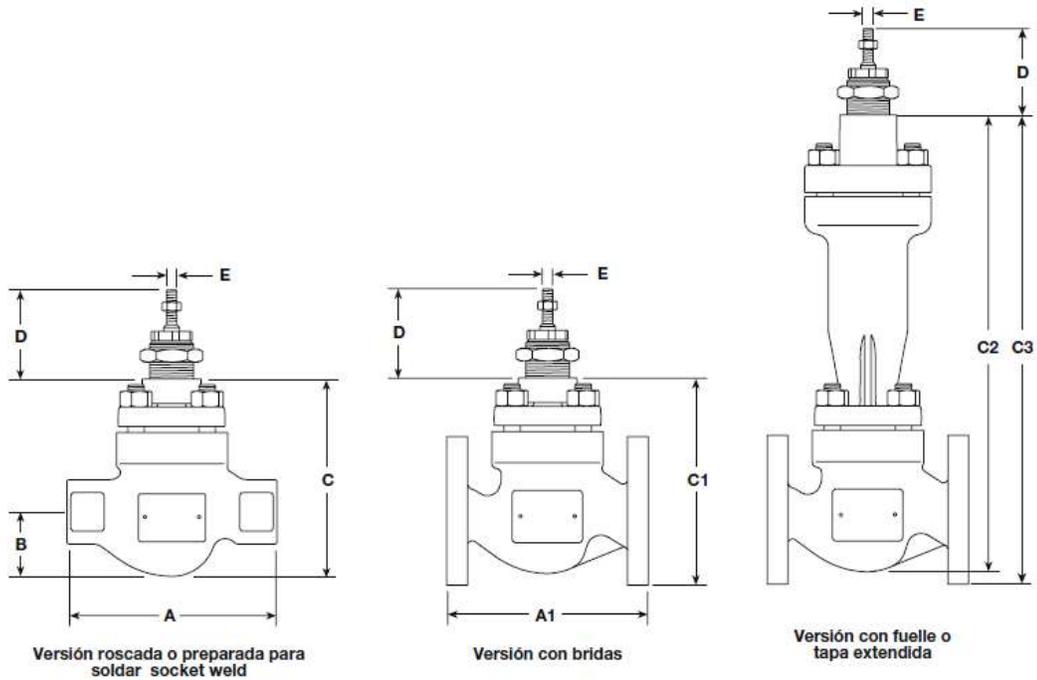
Condiciones de diseño del cuerpo	KEA4_	ANSI 300
	KEA6_	ANSI 300
	KEA7_	ANSI 250
Presión máxima de diseño	KEA4_	740 psi g a 100°F
	KEA6_	720 psi g a 100°F
	KEA7_	500 psi g a 150°F
Máxima temperatura de diseño	KEA4_	800°F
	KEA6_	800°F
	KEA7_	450°F
Mínima temperatura de diseño	KEA4_	-20°F
	KEA6_	-58°F
	KEA7_	-20°F
Temperatura operativa máxima	Estopada estándar PTFE chevron	482°F
	Asiento blando de PTFE (G)	392°F
	Empaquetadura de alta temperatura (H)	800°F
	Tapa extendida (E) con estopada PTFE chevron	482°F
	Tapa extendida (E) con estopada de grafito	800°F
	Fuelle (B)	572°F
Temperatura mínima operativa	KEA4_	-20°F
	KEA6_	Estopada PTFE -20°F Estopada grafito -58°F
	KEA7_	14°F
Máximas presiones diferenciales:	Ver Hojas Técnicas del actuador neumático o eléctrico	
Prueba hidráulica:	KEA4_	1100 psi g
Atención: Si la válvula tiene montado un fuelle este se debería retirar antes de realizar la prueba hidráulica.	KEA6_	1100 psi g
	KEA7_	ANSI 125 300 psi g ANSI 250 750 psi g

Valores Cv

Tamaño	Diámetro Nominal										
	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"		
Carrera		¾"						1 ⅜"			
Cierres estándar	Paso total	Equi %	5,0	7,5	12,0	16,0	30,0	45	75	120	190
		Lineal	5,0	7,5	12,0	16,0	30,0	45	75	120	190
		Apertura rápida	5,0	7,5	12,0	16,0	32,0	50	88	136	210
	Paso reducido 1	Equi %	2,5	5,5	8,5	18,0	16,0	33	48	85	130
		Lineal	2,5	5,5	8,5	12,0	18,0	33	48	85	130
	Paso reducido 2	Equi %	1,8	2,5	6,0	8,5	13,0	18	36	50	90
		Lineal	1,8	2,5	6,0	8,5	13,0	18	36	50	90
	Paso reducido 3	Equi %	1,0	1,8	3,0	6,0	9,0	14	18	38	53
		Lineal	1,0	1,8	3,0	6,0	9,0	14	18	38	53
	Micro flujo		0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-
		0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	
		0,1	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	
Carrera		¾"						1 ⅜"			
Cierre bajo ruido	Paso total	Equi %	4,6	7,0	9,3	14,0	23	31,0	64,0	73,0	104,5
		Lineal	4,6	7,0	9,3	14,0	23	31,0	64,0	73,0	104,5
	Paso reducido 1	Equi %	4,0	5,8	7,0	11,5	15	17,5	40,5	46,5	69,5
		Lineal	4,0	5,8	7,0	11,5	15	17,5	40,5	46,5	69,5
	Paso reducido 2	Equi %	3,4	4,6	5,2	8,0	8,5	9,0	34,5	38,0	46,5
		Lineal	3,4	4,6	5,2	8,0	8,5	9,0	34,5	38,0	46,5

Dimensiones de las válvulas SPIRA-TROL (aproximadas) en pulgadas

Tamaño válvula	A Rosca NPT y SW	A1 Bridas		B Rosca NPT y SW	C Rosca NPT y SW	C1 Bridas ANSI 125 ANSI 150 ANSI 250	C2 Rosca NPT y SW	C3 Bridas	D	E Rosca
		ANSI 125	ANSI 250 ANSI 300							
½"	6½"	-	7½"	1¾"	4"	4"	15¼"	13¼"	2¾"	M8
¾"	6½"	-	7½"	1¾"	4"	4"	15¼"	13¼"		
1"	7¾"	7¼"	7¾"	2¼"	4"	4"	15¾"	13¼"		
1¼"	8½"	-	-	2¼"	5¾"	-	16¼"	-		
1½"	9¼"	8¾"	9¼"	2½"	5¾"	5¾"	16¾"	14"		
2"	10½"	10"	10½"	3"	5¾"	5¾"	17¼"	14"		
2½"	-	10½"	11½"	-	-	7⅞"	-	16¾"	3⅞"	M12
3"	-	11¾"	12½"	-	-	7⅞"	-	16¾"		
4"	-	13¾"	14½"	-	-	8¾"	-	17"		

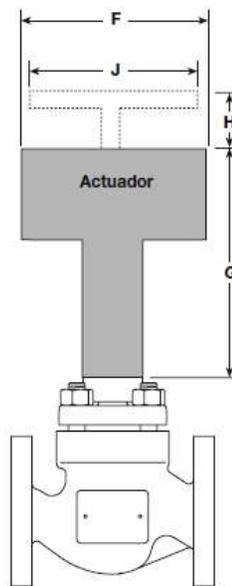


**Peso de la SPIRA-TROL (aproximado) en libras (lbs)**

Tamaño	KEA41 y KEA42 KEA61 y KEA62 KEA71	KEA43	KEA63	KEA73	Adicional para fuelle y tapa extendida
½"	16	16	16	16	10
¾"	16	18	18	18	10
1"	22	20	20	20	10
1¼"	25	31	31	29	12
1½"	31	36	36	31	12
2"	33	38	40	38	12
2½"	-	78	78	84	21
3"	-	86	89	91	21
4"	-	124	124	132	28

**Dimensiones / peso para la gama con actuador PN (aproximados) en pulgadas (ins) y libras (lbs)**

Actuador range	F	G	H	J	Peso	
					Actuador	con volante
PN1500 y PN2500	16"	46"	-	-	121,00	-
PN1600 y PN2600	18 5/16"	46"	-	-	154,00	-
PN9100E y variantes	10 7/8"	6 1/16"	2 1/16"	8 5/8"	13,25	+ 13,00
PN9100R y variantes	10 7/8"	6 1/16"	5 1/2"	8 5/8"	13,25	+ 5,50
PN9200E y variantes	11 7/8"	11 5/8"	2 1/16"	8 5/8"	37,50	+ 15,75
PN9200R y variantes	11 7/8"	11 5/8"	5 1/2"	8 5/8"	37,50	+ 8,50
PN9320E y variantes	12 7/8"	15 1/16"	2 1/16"	13 3/4"	59,50	+ 15,75
PN9320R y variantes	12 7/8"	15 1/16"	15 5/8"	13 3/4"	59,50	+ 8,50
PN9330E y variantes	13 3/8"	15 1/16"	2 1/16"	13 3/4"	59,50	+ 15,75
PN9330R y variantes	13 3/8"	15 1/16"	15 5/8"	13 3/4"	59,50	+ 8,50



**Dimensiones / peso para la gama con actuador EL (aproximados) en pulgadas (ins) y libras (lbs)**

Gama de actuador	F	G	Peso
EL3500	5 1/4" x 6 1/4"	9 1/2"	3
EL3500 SE	5 1/4" x 6 1/4"	11"	6
EL3500 SR	5 1/4" x 6 1/4"	11"	6
EL560_	7"	18"	10
EL561_	7"	18"	11
EL562_	7"	18"	12
EL563_	7"	20"	15
EL564_	8 3/4"	22 1/2"	22
EL565_	8 3/4"	31 3/4"	44
EL506_	6 1/4"	17 1/2"	19

### Recambios - SPIRA-TROL

Las piezas de recambio disponibles se indican con línea de trazo continuo. Las piezas indicadas con línea de trazos, no se suministran como recambio.

**Nota:** Cuando se soliciten recambios, indicar los datos de la válvula (marcados en la placa del cuerpo de la válvula) para asegurar que se suministran los recambios correctos.

#### Recambios disponibles - KEA, KFA y KLA

<b>Tuerca sujeción actuador</b>	<b>A</b>
<b>Juego juntas</b> (1 junta cuerpo y 1 junta asiento)	<b>B, G</b>
<b>Kit de sellado</b> Chevrone PTFE y juego de juntas	<b>C</b>
<b>del vástago</b> Empaquetadura de Grafito y juego juntas	<b>C1</b>
<b>• Característica Equiporcentual</b> (no incluye juntas)	<b>D, E</b>
<b>Kit vástago, obturador</b> <b>Característica Apertura rápida</b> (no incluye juntas)	<b>D1, E</b>
<b>y asiento</b> <b>Característica Lineal</b> (no incluye juntas)	<b>D2, E</b>

\* Especificar si el paso es reducido.

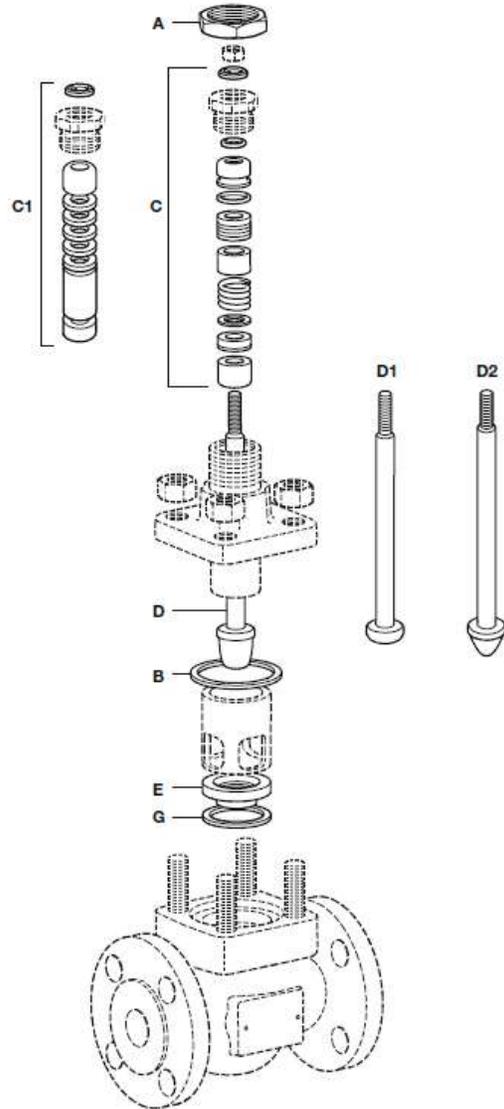
#### Como pasar pedido

Al pasar pedido debe usarse la nomenclatura señalada en el cuadro anterior de 'Recambios disponibles', indicando el tamaño y tipo de válvula incluyendo una descripción completa del producto.

**Ejemplo:** 1 - Kit de sellado del vástago de PTFE para una válvula de control de dos vías Spirax Sarco SPIRA-TROL KEA41 PTSUSS.2 C<sub>V</sub>12 de 1".

#### Como montar

Ver las instrucciones de mantenimiento que se entregan con cada válvula.



## Guía de selección SPIRA-TROL:

Tamaño de válvula	½", ¾", 1", 1¼", 1½", 2", 2½", 3" y 4"	1"
Serie de válvula	K = Válvula de control de dos vías Serie K	K
Característica de la válvula	E = Equiporcentual	E
	F = Apertura rápida	
	L = Lineal	
Código de diseño	A = ANSI	A
Material del cuerpo	4 = Acero al carbono	4
	6 = Acero inoxidable	
	7 = Fundición nodular	
Conexiones	1 = Roscadas	3
	2 = Preparadas para soldar Socket Weld	
	3 = Con bridas	
Sellado del vástago	P = PTFE	P
	B = Fuelle / sellos PTFE	
	C = Fuelle / sellos de grafito	
	H = Grafito	
Cierre	T = Acero inoxidable AISI 431	T
	G = Asiento blando de PTFE	
	S = Acero inoxidable 316L acero inoxidable	
	W = Acero inoxidable 316L y aportación de estellita 6	
Internos	S = Estándar	S
	P = Jaula de bajo ruido	
Equilibrado	U = Sin equilibrar	U
Tipo de tapa	S = Estándar	S
	E = Extendida (no disponible si se selecciona sellado con fuelle)	
Tornillería	S = Estándar	S
Serie	2 = .2	.2
Cv	A especificar	Cv 10
Tipo de conexión	A especificar	Bridas ANSI 300

### Ejemplo de selección:

1" - K E A 4 3 P T S U S S .2 - Cv 10 - Bridas ANSI 300

### Como pasar pedido

Ejemplo: 1 control válvula de dos vías Spirax Sarco SPIRA-TROL KEA43PTSUSS.2 Cv 10 de 1", conexiones con bridas según ANSI 300.

## Anexo 5. Data sheets Actuador neumático para la válvula de control proporcional Serie PN 3500

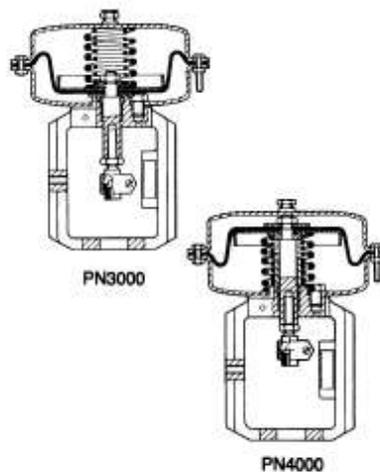
3574050

**spirax**  
**/sarco**

IM-P357-12  
Issue 1

Actuadores Neumáticos  
Series PN 3000 y PN 4000  
Instrucciones de Instalación y Mantenimiento

---



1. *General*
2. *Instalación*
3. *Puesta a punto*
4. *Recambios*
5. *Mantenimiento*

---

**spirax**  
**/sarco**

© Copyright 1997

# 1. General

**Serie PN3000, Actuadores neumáticos con resorte cierra.**

**Tipos disponibles:**

Actuadores con resorte cierra válvula, multiresorte y horquilla de fijación series 3200, 3300, 3400, 3500, y 3600

**Descripción:**

Una gama de actuadores lineales compactos con 5 tamaños de diafragmas para trabajar con diferentes válvulas a diferentes presiones diferenciales. Cada actuador está montado con un indicador de recorrido e incorpora un diafragma semicilíndrico para dar linealidad en todo el recorrido. Estos actuadores están diseñados para trabajar con válvulas de dos vías tipo LE como se detalla abajo:

Tipo de actuador	Tipo de válvula
20 mm de carrera	Series LE (DN15 - 50)
30 mm de carrera	Series LE (DN65 - 100)

**Datos Técnicos:**

Rango de temperatura:	- 20°C a + 100°C
Presión máxima de trabajo	
PN3200/3300	6 bar
PN3400	4 bar
PN3500/3600	2,5 bar

**Conexión del aire de alimentación:**

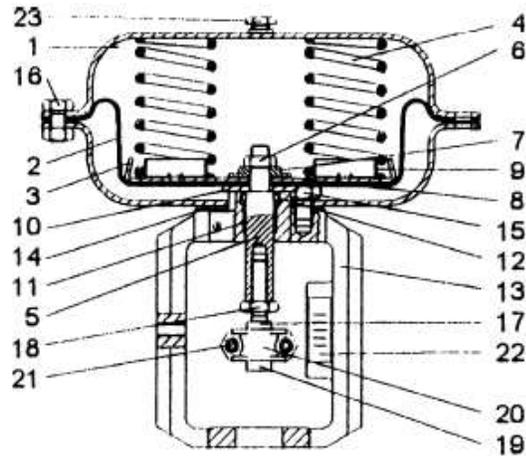
Actuador tipo	Conexión
Series PN3200 a 3600	1/4" NPT

**Consumo de aire comprimido**

Actuador tipo	Carrera	Volumen (N.litros)
Series 3200	20 mm	0,6
Series 3300	20 mm	1,0
Series 3400	20 mm	1,4
	30 mm	2,1
Series 3500	20 mm	2,4
	30 mm	3,6
Series 3600	20 mm	3,8
	30 mm	5,7

**Rangos de resortes:**

Tipo de actuador	Rango de resorte	Carrera
3220	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	20mm
3225	0,4 a 2,0 bar	20mm
3320	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	20mm
3325	0,4 a 2,0 bar	20mm
3326	1 a 3 bar	20mm
3420	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	20mm
3425	0,4 a 2,0 bar	20mm
3426	1 a 3 bar	20mm
3430	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	30mm
3435	0,4 a 2,0 bar	30mm
3436	1 a 3 bar	30mm
3520	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	20mm
3525	0,4 a 2,0 bar	20mm
3524	0,8 a 1,5 bar	20mm
3530	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	30mm
3535	0,4 a 2,0 bar	30mm
3534	0,8 a 1,5 bar	30mm
3620	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	20mm
3625	0,4 a 2,0 bar	20mm
3624	0,8 a 1,5 bar	20mm
3630	0,2 (0,4) a 1 (1,2) bar	30mm
3635	0,4 a 2,0 bar	30mm
3634	0,8 a 1,5 bar	30mm



**Fig. 1**

**Materiales:**

nº	Parte	Material
1	Alojamiento del diafragma	Plancha de acero
2	Diafragma	Goma de nitrilo reforzada
3	Plato diafragma	Plancha de acero
4	Resortes	Acero para resortes
5	Vástago	Acero Inoxidable
6	Contratuerca	Acero Inoxidable
7	Espaciador	Acero zincado
8	"O" Ring	Goma
9	Guía del resorte	Acero zincado
10	Soporte diafragma	Acero zincado
11	Cojinete	Bronce
12	"V" Ring	Goma
13	Horquilla	Hierro fundido
14	Junta	Fibra libre de Amianto
15	Tomillos de fijación	Acero
16	Tomillos y tuercas alojamiento	Acero
17	Adaptador superior	Acero
18	Contratuerca	Acero
19	Adaptador inferior	Acero
20	Acoplamiento	Acero inoxidable
21	Tomillos y tuercas acoplamiento	Acero inoxidable
22	Indicador de carrera	Aluminio
23	Tapa (con orificio de venteo)	Plástico

**Anexo 6. Data sheets Actuador eléctrico para la válvula de control  
proporcional Lineales serie EL5600**

---

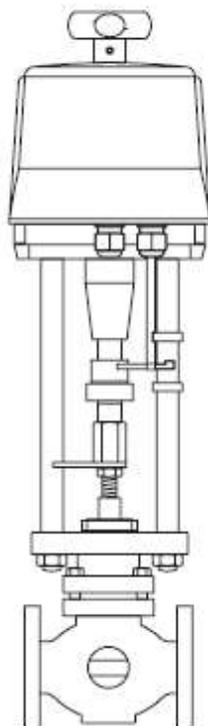
**spirax  
/sarco**

IM-P358-05  
CH Issue 5

**Actuadores Eléctricos Lineales Serie EL5600**  
Instrucciones de Instalación y Mantenimiento

---

---



- 1. Seguridad*
- 2. General*
- 3. Instalación*
- 4. Puesta en marcha*
- 5. Mantenimiento*

---

**spirax  
/sarco**

© Copyright 2000

## 2. General

### 2.1 Uso

Los actuadores lineales eléctricos EL5600 trabajan con válvulas de dos vías LE y KE, válvulas de tres vías QL y todas las opciones con fuelle. Los actuadores se suministran normalmente montados con la válvula de control. Cuando se suministre por separado, asegúrese de que el actuador elegido tiene la fuerza suficiente para cerrar la válvula venciendo las presiones diferenciales esperadas. Vea la hoja técnica para ver más detalles.

Los actuadores de la serie EL5600 están disponibles para entrada VMD (servo motor) o entrada 4 - 20 mA / 2 - 10 Vcc (cuando llevan posicionador electrónico). Están disponibles en 230 Vac, 115 Vac, y 24 Vac. En la Tabla 1 se dan detalles sobre los tipos de actuador y los números de referencia.

**Tabla 1 Series de la gama EL5600**

Eléctrico	Serie	Fuerza	Voltaje
EL	56	0 = 1,0 kN 1 = 2,0 kN 2 = 4,5 kN 3 = 8,0 kN 4 = 12,0 kN 5 = 25,0 kN	1 = 230 V 2 = 115 V 3 = 24 V

Ejemplo de selección:

Actuador	EL	56	1	1
Posicionador	EL	596		1

### Description

EL5611 actuador, 2 kN d fuerza, 230 Vca de alimentación, con posicionador de 230 Vca para señal de entrada de 2 a 10 Vcc o 4 - 20 mA.

### 2.2 Operación

La rotación del motor se transmite por medio engranajes cilíndricos de dentadura recta de precisión y larga duración, para proporcionar un movimiento lineal al vástago del actuador. Tiene instalado un indicador de posición anti-rotación para evitar la rotación del vástago durante su funcionamiento. Dispone de interruptores superior e inferior que son accionados por unas levas que se mueven con el vástago.

El actuador va montado a la válvula con dos pilares. Las arandelas belleville transmiten el movimiento al vástago de la válvula. En función del ajuste del final de carrera, se comprimen a medida que se la válvula se acerca a su posición de cierre, para garantizar una fuerza de cierre de la válvula.

## 2.3 Operación manual

El volante se usa para accionar manualmente los actuadores si se interrumpe el suministro eléctrico o durante la instalación como durante el montaje a una válvula de control o ajustando los finales de carrera.

- En todos los modelos, excepto EL565\_, el volante está siempre engranado y gira mientras el motor está en funcionamiento.
- El actuador EL565\_ tiene un volante que ha de engranarse para una operación manual. Se ha de empujar el mando con forma de bola para que engrane el volante.



Durante el accionamiento manual no se debe exceder la indicación total de la escala.

No accionar el volante con una fuerza excesiva.

Si no se sigue este aviso se puede dañar el actuador.

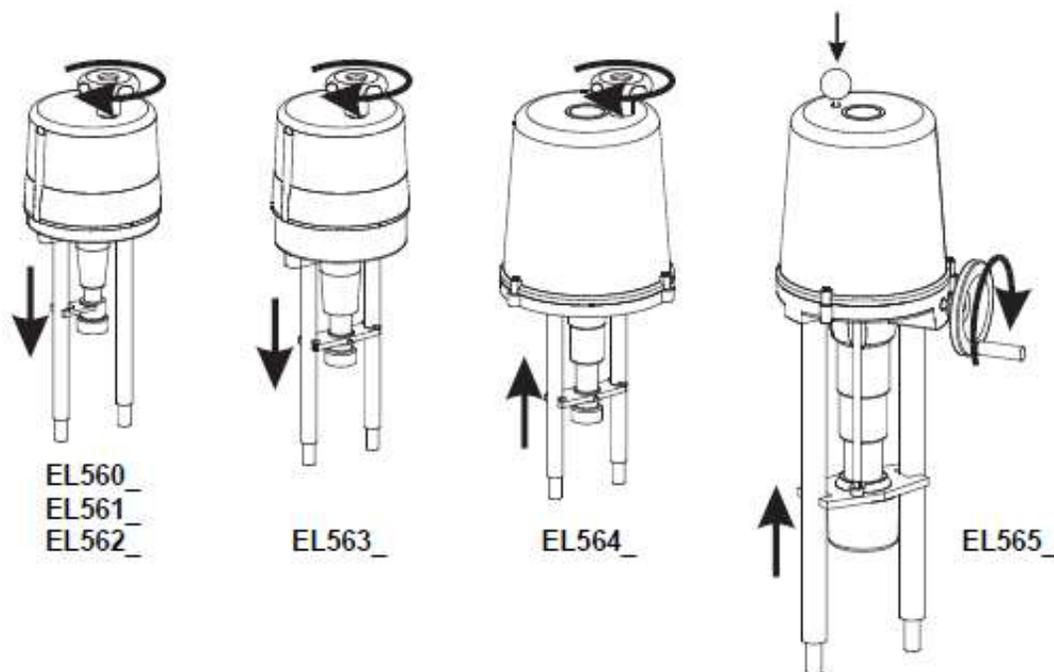


Fig.1 Operación manual