

MANUAL DEL MÓDULO DE CONTROL DE PRESION Mod. PCP-INDU/009



www.inducontrol.com.pe

Tel: (51-1) 440-5225

Fax: (51-1) 221-6787

Copyright Enero 2010

Índice General

Ítem	Página
1. Introducción.....	3
2. Operación de módulo de presión.....	4
2.1. Esquema general de lazo de control.....	4
2.2. Operación en modo local.....	6
2.2.1. Condiciones previas a la operación.....	6
2.2.2. Operación.....	6
2.3. Operación en modo remoto.....	7
2.3.1. Condiciones para la operación.....	7
2.3.2. Operación.....	7
2.4. Mantenimiento después de la operación.....	7
2.5. Supervisión y control por HMI.....	8
2.6. Supervisión y control por software SCADA desde PC.....	9
3. Apéndice.....	11
3.1. Apéndice A1: Requerimientos de instalación de los módulos.....	12
3.2. Apéndice A2: Características técnicas del módulo de presión.....	13
3.3. Apéndice A3: Especificaciones de instrumentación.....	14
3.4. Apéndice B: Ecuaciones de diseño (SI).....	31
3.5. Apéndice C: Tablas de empleo en transferencias de fluidos.....	33
3.5.1. Apéndice C1: Longitudes equivalentes de accesorios.....	33
3.5.2. Apéndice C2: Coeficientes de resistencia para válvulas y uniones.....	39
3.5.3. Apéndice C3: Densidad de agua y presión de vapor.....	40
3.5.4. Apéndice C4: Factor de fricción.....	44
3.6. Apéndice D: Preguntas frecuentes.....	45
3.7. Apéndice E: Descripción de protocolo de comunicaciones.....	48
3.8. Apéndice F: Descripción de algoritmo PID del PAC.....	49
3.9. Apéndice G: Hojas técnicas.....	58

1. INTRODUCCIÓN

En todos los procesos y operaciones industriales, la presión es una de las variables de gran importancia, donde se manejan presiones que van desde el vacío absoluto hasta millares de bares; requiriéndose para esto de instrumentos precisos denominados manómetros que pueden presentar un modo de funcionamiento mecánico, electromecánico o electrónico.

El módulo de control automático de presión ha sido diseñado con el objetivo de proporcionarle al estudiante la posibilidad de conocer todas las variables y operaciones que se verifican en un proceso de control automático, que se manifiesta en la presión que ejerce un fluido sobre un tanque cerrado cuando éste es bombeado.

El equipo está compuesto básicamente por dos tanques, red de tuberías y accesorios en acero inoxidable AISI 316; una bomba tipo centrífuga, un transmisor electrónico de presión, un presostato, válvulas de posición tipo bola, un **PAC**, y un **supervisor/HMI**.

La **variable de proceso** controlada en este equipo es la **presión** y presenta como componentes del sistema instrumentos que usualmente se utilizan en la industria.

El propósito de este manual es el de brindar la información necesaria para la instalación, puesta en marcha, mantenimiento del sistema y guías de prácticas para el profesor y/o estudiante que permitan sacar el máximo provecho a este módulo educativo.

Una introducción de cómo funciona el módulo así como de sus características técnicas se dan en la sección 2, con el propósito de dar una idea general del funcionamiento del sistema. En esta parte también se dan detalles del funcionamiento, las condiciones estándar de operación y las indicaciones para la operación en modo manual y automático.

Además se dan las indicaciones para el mantenimiento del módulo antes, durante y después de su funcionamiento. En los apéndices del manual se dan los requisitos para la instalación del módulo, diagramas del sistema así como de tablas y fórmulas a emplear en las prácticas a realizar y las hojas técnicas y especificaciones de los accesorios y equipos que conforman el sistema.

2. OPERACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL DE PRESIÓN

Este módulo de control de presión permitirá que el estudiante aprenda y experimente con un sistema de control de automatización programable (PAC) y un sistema de supervisión y control por computadora (SCADA).

La secuencia que sigue el sistema para su puesta en funcionamiento es la siguiente:

El fluido (agua) una vez almacenado en el tanque (T1) será bombeado con una electrobomba tipo centrífuga (B1) a un recipiente cerrado (T2) logrando la presurización del mismo, debido a la presión con la que ingresa el agua provocando la compresión del aire que está presente (ver apéndice C).

El estudiante fijará un valor de presión como "**Valor de consigna**" o "**Set Point**" cuyo ideal de sistema de control es alcanzarlo y mantenerlo. En el tanque presurizado está colocado un **transmisor de presión** que envía su señal al **PAC**. Cuando en el sistema hay un cambio de presión que este fuera del valor deseado, el **PAC** enviará una señal de control al **variador de velocidad** para que aumente o disminuya la velocidad de la bomba, modificando el caudal y por ende la presión de bombeo.

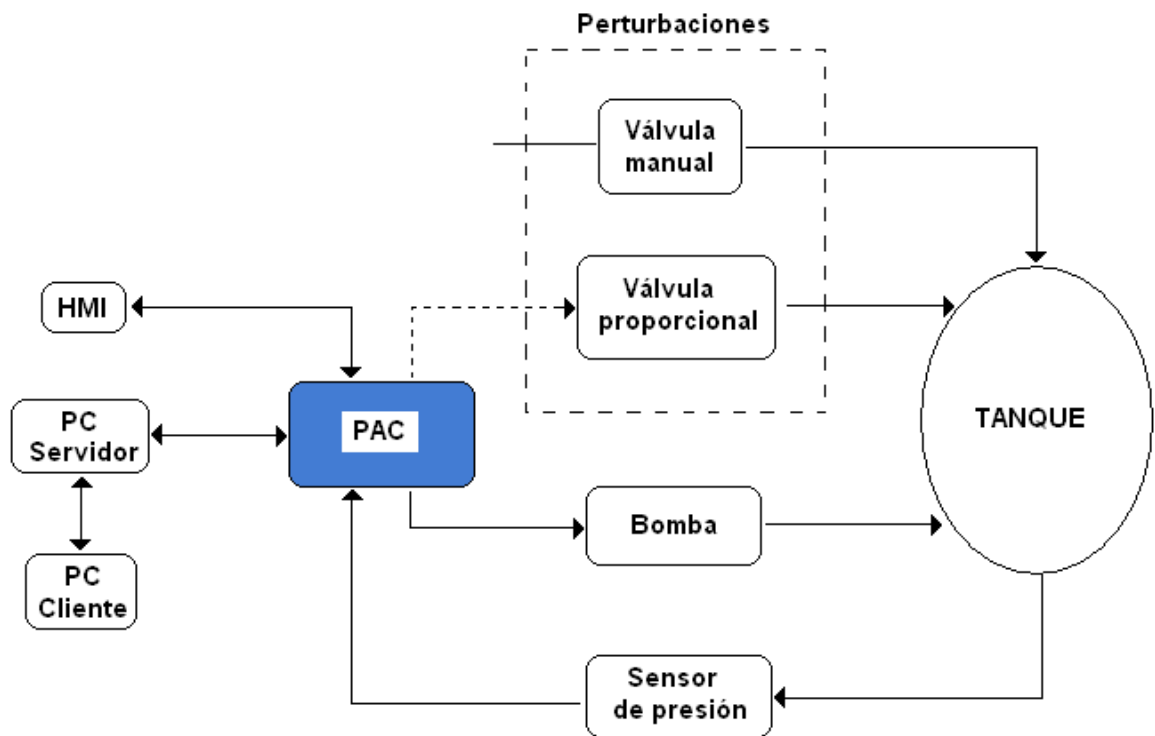
En este sistema, la válvula automática proporcional caracterizada servirá para ayudar a presurizar al sistema, que en pruebas se ha logrado determinar una posición ideal de 30% de apertura para tener un rango de control de 3-40 PSI, para el mejor control en los puntos extremos (3 y 40 PSI) se recomienda posicionar la válvula a 30% de cerrado pudiendo variar su grado de apertura desde la **computadora** o desde el **HMI** seleccionándose el porcentaje de apertura de la válvula. Al abrir o cerrar la válvula automática proporcional y/o las válvulas manuales a un porcentaje determinado, traerá como consecuencia la disminución o aumento de presión en el tanque presurizado, para esta situación el bloque **PID** implementado en el **PAC** debe evaluar los parámetros respectivos y enviar una señal de corrección hacia el **variador de velocidad** que a su vez actuará sobre la velocidad de bombeo de la electrobomba. De esta manera el sistema se autorregulará.

2.1. Esquema general del lazo de control

El módulo de presión consta de los siguientes equipos para llevar a cabo el control automático o manual:

- 1 Bomba tipo centrífuga trifásica
- 1 Variador de velocidad.
- 1 Válvula proporcional
- 1 Sensor/ Transmisor de Presión
- 1 PAC
- 1 Supervisor – Controlador /HMI
- Válvulas manuales de posición tipo bola
- 1 Tablero eléctrico
- Sistema de tuberías y accesorios

El sistema de control ha sido concebido de tal forma que el **PAC**, empleando un algoritmo **PID**, se encargue de controlar y mantener el **valor de consigna** de la variable del proceso (presión). El diagrama de bloques que representa el lazo de control es mostrado en el diagrama siguiente:



Los bloques de **Computadora (PC Servidor y PC Cliente)** y **HMI** están relacionados con supervisar y modificar los parámetros y variables de control del sistema que interactúan directamente con el algoritmo **PID** implementado en el **PAC**.

El **PAC** dentro del bloque general hace de controlador es decir es el encargado de decidir un determinado grado de acción correctiva sobre el actuador. El grado de acción correctiva se calcula a partir de hacer ingresar al bloque **PID** el valor de **Presión** (Obtenido a través del **Sensor/Transmisor de presión**), **valor de consigna**, **Término de integración**, **Término de derivación** y **Ganancia Proporcional** contenido en su memoria. **(Ver Apéndice F para descripción del algoritmo PID)**

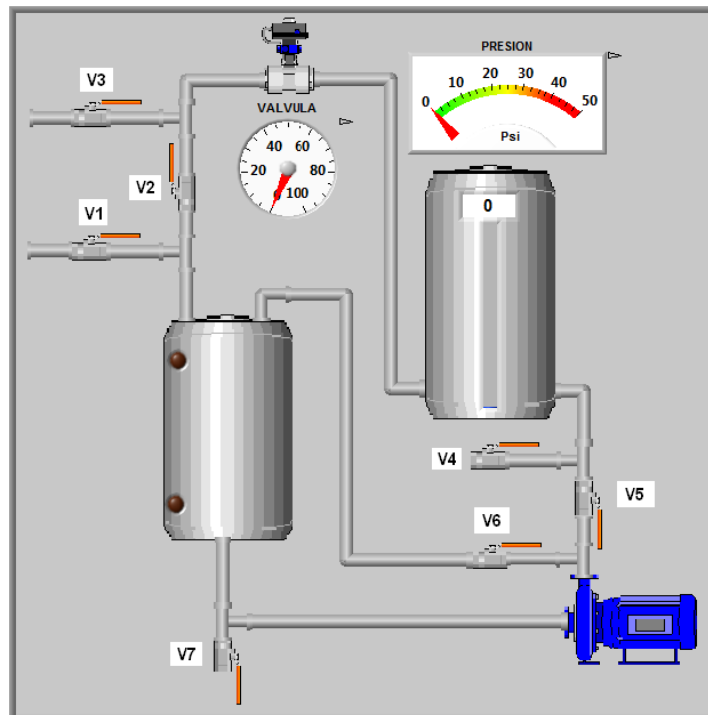
El bloque **Bomba** representa el mando de potencia y es controlado por un variador (como actuador), que en función de la señal resultante del PID enviada desde el PAC modifican la variable manipulada (presión), que lleva a mantener la presión en el punto de consigna.

La **Válvula de tipo proporcional** constituye un elemento para ayudar a presurizar al sistema y también como elemento **Perturbador**.

Las **Perturbaciones** en el tanque son generadas por la válvula automática proporcional o por las válvulas de posición manuales que pueden ser manipuladas a criterio del operador.

La computadora (**PC Servidor**) y el **HMI** están enlazados con una comunicación Ethernet y serial RS232 respectivamente. La computadora cliente (**PC Cliente**) está conectado en red con el servidor para poder acceder a los datos y visualizarlos. El HMI y Computador pueden realizar la tarea de supervisar y modificar parámetros de control del PAC (Para que el computador pueda modificar los parámetros de control se le debe poner como controlador, esto se hace desde el HMI.

2.2. Operación en modo local



Distribución de válvulas

2.2.1. Condiciones previas para la operación

- **ADVERTENCIA:** Antes de manipular el módulo debe haber leído el manual completamente y haber entendido el funcionamiento pues una mala manipulación puede causar daños en el Equipo. Se recomienda leer antes de encender el equipo por lo menos las secciones 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 (también la sección 2.6 aunque no es indispensable).
- Verificar que el sistema se encuentre desenergizado.
- Asegurarse que las válvulas **V3, V4, V6** y **V7** estén completamente cerradas.
- Abrir las válvulas **V1** y **V5**
- Conectar la salida de la válvula **V1** a una toma de agua y abrir para llenar el tanque de carga **T1**
- Una vez llenado el tanque a un nivel de aproximadamente 50 cm, guiarse por la marca exterior (Para no habilitar el límite superior del tanque), cerrar la válvula **V1**.
- Escoger la abertura de la válvula manual **V2** a un 25% aproximadamente.

2.2.2. Operación

- Conectar la alimentación del módulo a la línea trifásica de 220VAC.
- Abrir el tablero de control y subir la Llave **Q_01** y **Q_02** a **ON** para energizar el sistema (Verificar esto con la Lámpara de **SISTEMA ENERGIZADO** en el Tablero).
- Cerrar el tablero y fijar el selector **S03** en **LOCAL**. Estas acciones fijan las condiciones necesarias para controlar la presión controlando directamente la velocidad de la bomba desde el Potenciómetro de **CONTROL LOCAL** en el tablero.
- Presionar el pulsador de **ARRANQUE MANUAL** para arrancar el sistema.
- Realice el control manualmente, a través del potenciómetro puede Ud. llevar el sistema al nivel de presión deseado dentro del rango de trabajo (**5 – 40 PSI**) de forma manual. Puede ver el valor de la presión en el HMI o también en el software SCADA montado sobre la PC.

- Cuando haya terminado detenga el sistema usando el pulsador **PARADA MANUAL** y finalmente vuelva el Selector **S03** a la posición neutra.
- Finalmente si ya no va a seguir usando el Módulo baje las llaves termomagnéticas **Q_01** y **Q_02** a **OFF** para desenergizar el sistema y desconecte la toma de alimentación trifásica.

2.3. Operación modo remoto

2.3.1. Condiciones previas para la operación

- **ADVERTENCIA:** Antes de manipular el módulo debe haber leído el manual completamente y haber entendido el funcionamiento pues una mala manipulación puede causar daños en el Equipo. Se recomienda leer antes de encender el equipo por lo menos las secciones 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 (también la sección 2.6 aunque no es indispensable).
- Verificar que el sistema se encuentre desenergizado.
- Asegurarse que las válvulas **V3, V4, V6** y **V7** estén completamente cerradas.
- Abrir las válvulas **V1** y **V5**
- Conectar la salida de la válvula **V1** a una toma de agua y abrir para llenar el tanque de carga **T1**
- Una vez llenado el tanque a un nivel de aproximadamente 50 cm, guiarse por la marca exterior (Para no habilitar el límite superior del tanque), cerrar la válvula **V1**.
- Abrir completamente la válvula manual **V2**.

2.3.2. Operación

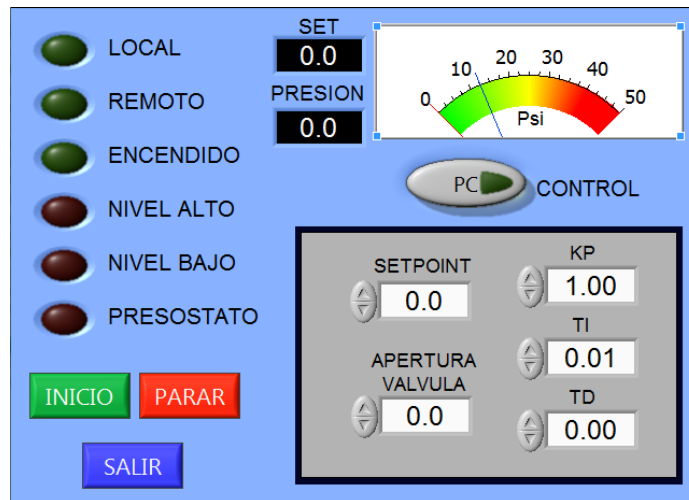
- Conectar la alimentación del módulo a la línea trifásica de 220VAC.
- Abrir el tablero de control y subir las llaves termomagnéticas **Q_01** y **Q_02** a **ON** para energizar el sistema (Verificar esto con la Lámpara de **SISTEMA ENERGIZADO** en el Tablero).
- Cerrar el tablero y verificar en el HMI Local si los valores de los parámetros de control (SetPoint, Kc, Ti, Td) con los que arrancará el sistema, cuando entre en el **Modo Automático** son los que desea. (Para conocer la operación del HMI vea la Sección 2.5)
- Si desea modificarlos puede hacerlo directamente desde el HMI local o desde la PC (Teniendo en cuenta que para que la PC pueda modificar valores debe estar como Controlador. Esto se asigna desde el HMI ver sección 2.5 y 2.6)
- Fijar el selector **S03** en **REMOTO**, para arrancar el sistema puede darle inicio desde el HMI o desde la PC así el PAC tomará el control del sistema de acuerdo a los parámetros que Ud. ha ingresado, estos parámetros puede modificarlos en cualquier momento incluso en funcionamiento.
- Para salir del modo simplemente retorne el Selector **S03** a cero.
- Finalmente si ya no va a seguir usando el Módulo baje las llaves termomagnéticas **Q_01** y **Q_02** a **OFF** para desenergizar el sistema y desconecte la toma de alimentación trifásica.

2.4. Mantenimiento después de la operación

- Desconectar la alimentación trifásica general de 220VAC
- Vaciar el agua del tanque (**T1**) abriendo la válvula (**V7**).
- Limpiar el interior del tanque con un paño.
- Limpiar las cañerías y estructuras del módulo.

2.5. Supervisión y control por HMI

El HMI local es el medio que nos permite ejecutar control y supervisión de la planta de manera inmediata y siempre se encuentra activo. Este HMI tiene una pantalla en entorno LabView, la cual exhibe un programa SCADA que presenta funciones de supervisión solamente así como también nos permite realizar modificaciones de control de mando en el proceso y los parámetros de control del controlador PID.



Programa de monitoreo desde el HMI

Ahora describiremos cada variable que se encuentra en la pantalla para un mejor entendimiento:

INDICADORES

- **ENCENDIDO:** Nos indica que el modulo está funcionando ya sea de modo LOCAL o REMOTO.
- **LOCAL:** Nos indica que el sistema está en el modo mencionado y el control es directamente desde el tablero y ahora solo estamos en modo supervisión.
- **REMOTO:** En este modo el control del módulo lo tiene la PC o HMI según este el indicador correspondiente.
- **NIVEL ALTO:** Nos muestra la activación de la alarma de nivel alto.
- **NIVEL BAJO:** Nos muestra la activación de la alarma de nivel bajo.
- **PRESOSTATO:** Nos indica la activación de la alarma del presóstato cuando la presión llega al nivel máximo configurado.
- **PRESION:** Nos muestra el valor de la presión actual en Psi en el tanque.

CONTROLES

- **INICIO:** Haciendo clic sobre este botón iniciamos el funcionamiento de la planta, es decir nos conectamos al PAC y recogemos información acerca del estado y variables del sistema.
- **PARAR:** Haciendo clic sobre este botón detenemos el funcionamiento de la planta, es decir nos conectamos al PAC y recogemos información acerca del estado y variables del sistema.
- **CONTROL:** Nos permite seleccionar quien va a tener el control para ingresar variables del PID y o controla la válvula proporcional.
- **% DE APERTURA DE VALVULA:** Esto nos permite controlar la apertura de la válvula como perturbación.
- **SETPOINT:** Nos permite ingresar el valor de CONSIGNA para el control del PID.

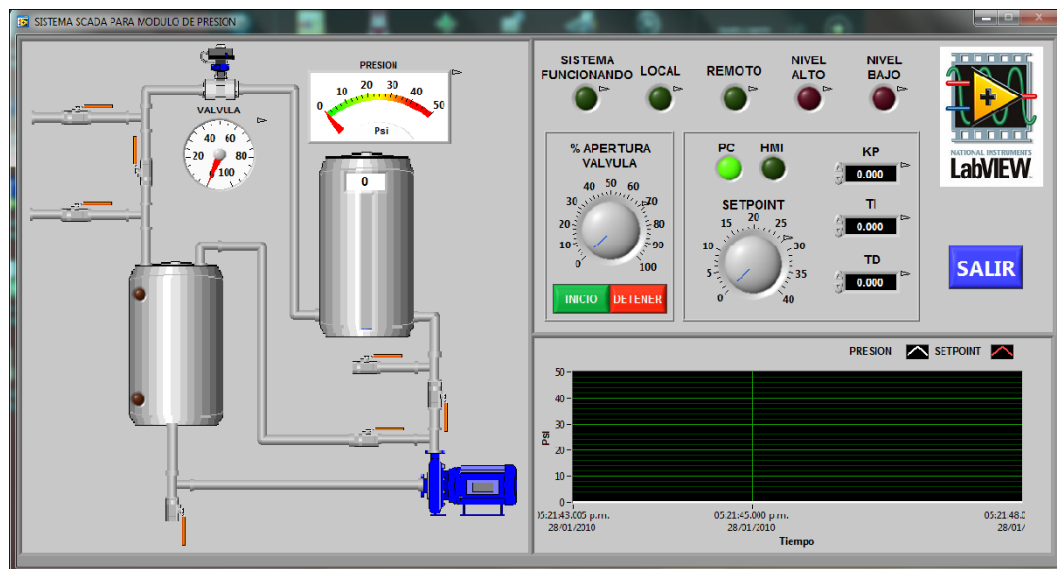
- **KP, TI y TD:** Nos permite ingresar las constantes proporcionales, tiempos integrativos y derivativos para el control del PID.
- **SALIR:** Nos permite cerrar y salir del programa de monitoreo.

2.6. Supervisión y control por Software SCADA desde la PC:

A continuación se describirá la operación del programa de supervisión y control desarrollado para el módulo de Presión, este software cuenta con una pantalla destinada a supervisión y control de parámetros.

IMPORTANTE: Para que la PC pueda modificar los parámetros de control del proceso, debe aparecer como controlador. (Ver Sección 2.5)

La pantalla a continuación nos permite visualizar las alarmas y el estado general del módulo de Presión desde aquí se puede iniciar la supervisión y control.



Programa de monitoreo desde la PC

Ahora describiremos cada variable que se encuentra en la pantalla para un mejor entendimiento:

INDICADORES

- **SISTEMA FUNCIONANDO:** Nos indica que el modulo está funcionando ya sea de modo LOCAL o REMOTO.
- **LOCAL:** Nos indica que el sistema está en el modo mencionado y el control es directamente desde el tablero y ahora solo estamos en modo supervisión.
- **REMOTO:** En este modo el control del módulo lo tiene la PC o HMI según este el indicador correspondiente.
- **PC y HMI:** Estos indicadores me muestran quien tiene el control del módulo.
- **NIVEL ALTO:** Nos muestra la activación de la alarma de nivel alto.
- **NIVEL BAJO:** Nos muestra la activación de la alarma de nivel bajo.
- **PRESION:** Nos muestra el valor de la presión actual en Psi en el tanque.
- **VALVULA:** Nos muestra el porcentaje de apertura actual de la válvula proporcional.

CONTROLES

- **INICIAR:** Haciendo clic sobre este botón iniciamos el funcionamiento de la planta, es decir nos conectamos al PAC y recogemos información acerca del estado y variables del sistema.
- **DETENER:** Haciendo clic sobre este botón detenemos el funcionamiento de la planta, es decir nos conectamos al PAC y recogemos información acerca del estado y variables del sistema.
- **% DE APERTURA DE VALVULA:** Esto nos permite controlar la apertura de la válvula como perturbación.
- **SETPOINT:** Nos permite ingresar el valor de CONSIGNA para el control del PID.
- **KP, TI y TD:** Nos permite ingresar las constantes proporcionales, tiempos integrativos y derivativos para el control del PID.
- **SALIR:** Nos permite cerrar y salir del programa de monitoreo.

En la parte inferior también se muestra un gráfico indicador del estado del sistema en el tiempo, muestra los valores de PRESION y SETPOINT en curso.

3. APENDICE

3.1. APENDICE A1

3.1.1. Requerimientos de instalación de los módulos:

Consumo de Eléctrico del Módulo de Presión	
Generalidades:	
Alimentación trifásica	220 VAC
Frecuencia	60 Hz
Potencia total (vatios)	1732.45
DESCRIPCIÓN	CONSUMO (vatios)
PAC	6.1 + 1.1 (energía módulo requerida)
Fuente de Alimentación	18
Contactador	110
Variador de velocidad (Trifásico)	750
Bomba Hidráulica para Tablero de Presión	560
HMI	10
Luces	20
XBTN-200	10
Tx de Presión	0.8
Módulo de Entradas Analógicas	1.45
Módulo de Salidas Analógicas	2.5
Válvula de Control	220
Total :	1732.45
Requerimientos para la Computadora	
Memoria :	128 Mbytes
Disco Duro :	10 Gbytes
Tarjeta de Video :	8 Mbytes
Bus PCI :	2 Unidades
Bus ISA :	2 Unidades
Lectora de CD :	1 Unidad

3.2. APENDICE A2

3.2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO DE PRESION

- Dimensiones : 132 x 50 x 165 cm Dimensiones : 174 x 50 x 165 cm
- Estructura sobre ruedas en hierro cromado.
- Sistema de tuberías de $\frac{3}{4}$ " en acero inoxidable AISI 316.
- Líneas de conexión y válvulas de cierre en acero inoxidable AISI 316.
- 1 tanque de recogida de agua en acero inoxidable AISI 316, capacidad: 30,8 litros.
- 1 tanque presurizado en acero inoxidable AISI 316, capacidad 20,4 litros.
- 1 bomba centrífuga Q= 2,5 m³/hr, con todas sus partes húmedas en acero inoxidable AISI 316, altura de elevación 34 m.c.a, motor de 1,2 HP.
- 1 Transmisor de presión rango: 0 - 6 bar, señal de salida 4 - 20 mA.
- 1 válvula de alivio de presión a 5 bar.
- 1 válvula de control caracterizado tipo bola de 2 vías, CV=4,7 DN=20.
- 1 manómetro en acero inoxidable AISI 316, rango : 0 - 6 bar.
- 2 interruptores de nivel en polipropileno, presión máxima : 145 psi.
- 1 presostato (control de presión), rango -0,2 - 8 bar.
- 1 convertidor de frecuencia, voltaje : 200 - 240 VAC, potencia: 0,75 Kw (1 Hp).
- 1 tablero electrónico que incluye pulsadores de arranque y parada, botones indicadores de funcionamiento, selector de operación manual - automático.
- 1 PAC con módulos de entrada y salida analógica y digital.
- 1 Indicador digital de tipo HMI.
- 2 llaves de alimentación principal, 2 fuentes de alimentación 24 DVC, borneras de conexiones.
- Rango de operación: 5-40 Psi

3.3. APENDICE A3

ESPECIFICACION DE INSTRUMENTACION

3.3.1. BOMBA ELÉCTRICA

TIPO: CENTRIFUGA
FABRICANTE: PENTAX

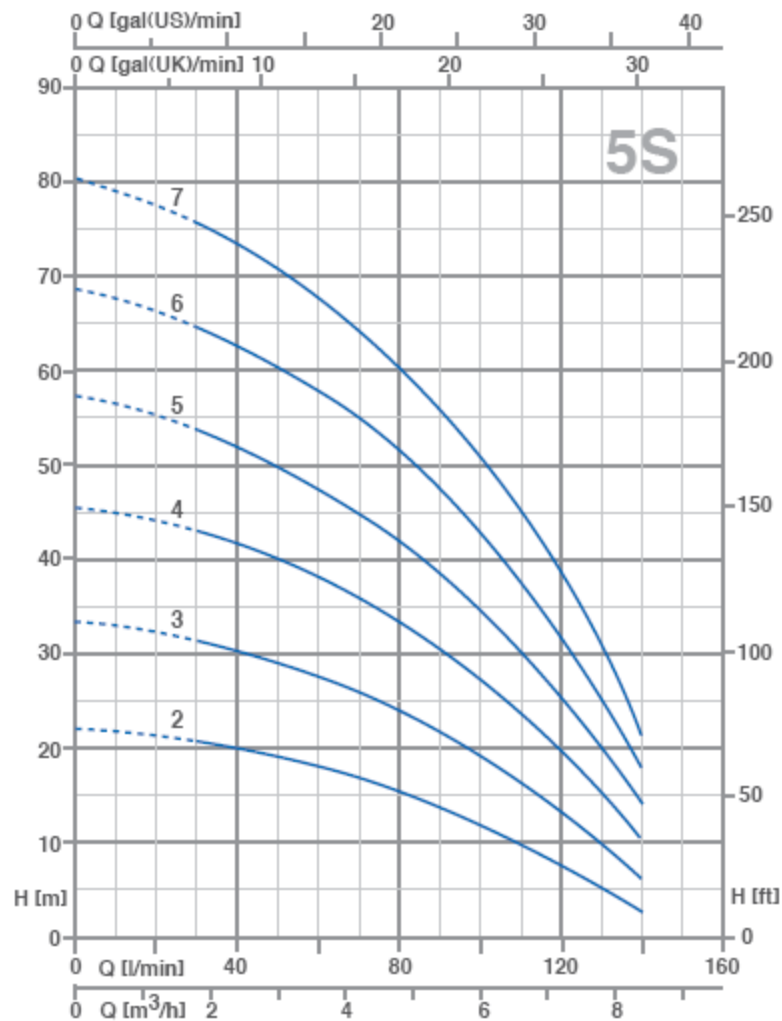
DESCRIPCIÓN

El accionamiento de la bomba centrífuga consiste en un impulsor que gira dentro de una caja circular; el fluido entra a la bomba cerca del centro del impulsor rotatorio (rodete) y es llevado hacia arriba por acción centrífuga. La energía cinética del fluido aumenta desde el centro del impulsor hasta los extremos de las aletas impulsoras.

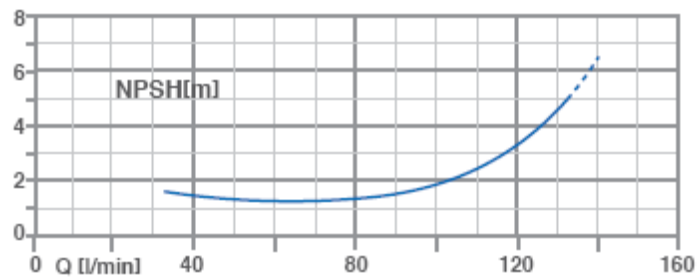
Esta carga de velocidad se convierte en carga de presión cuando el fluido sale de la bomba.

Especificaciones Bomba:

- Modelo: Ultra U5 120/3T.
- Potencia 1.2 HP.
- Frecuencia 60Hz, 3400rpm.
- Motor: Trifásico.



Relación de graficas entra las variables



Relación de graficas entra las variables

Aplicaciones:

- Para líquidos moderadamente agresivos.
- Manejo de fluidos, agua y líquidos mecánicamente no agresivos.
- Suministro de agua.
- Irrigación.
- Circulación de agua (frío, caliente, refrigerado).

3.3.2. VÁLVULA AUTOMÁTICA

TIPO: PROPORCIONAL, SERVO ACCIONADA DE DOS VÍAS.

FABRICANTE: DANFOSS

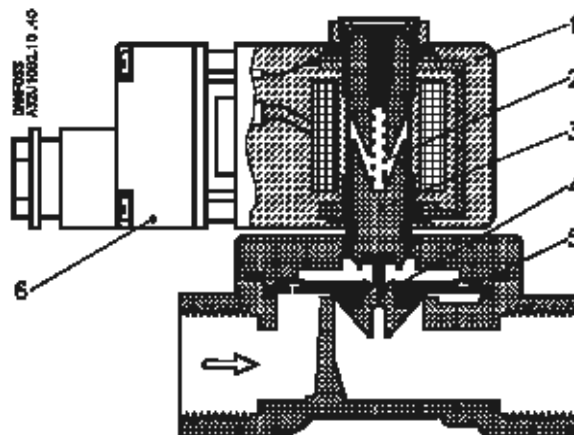
Modelo: EV260B

DESCRIPCIÓN:

Las válvulas proporcionales automáticas de dos vías DANFOSS modelo EV260B son usados para la regulación de caudal en agua, aceite y líquidos neutros similares, la regulación proporcional de la apertura y cierre de las válvulas EV260B se alcanza mediante la regulación progresiva de la corriente de la bobina y de la fuerza de conexión de la bobina.

Cuando aumenta la corriente de la bobina, la fuerza de conexión de ésta (1) excederá en un punto concreto la fuerza equivalente del muelle de cierre (2). La armadura (3) se mueve verticalmente, abriendo el orificio piloto (4) del diafragma (5), el cual debido al efecto servo sigue el movimiento de la armadura. La válvula se abre completamente cuando la corriente de la bobina alcanza su valor máximo.

Mediante la regulación progresiva de la corriente de la bobina, la armadura se puede colocar en cualquier posición en el tubo de la armadura y ajustar la válvula a cualquier posición entre completamente cerrada y completamente abierta.



1. Bobina
2. Muelle de cierre
3. Armadura
4. Orificio piloto
5. Diafragma
6. Caja de terminales

VÁLVULA

Características:

- Para agua, aceite y líquidos neutros similares
- Para la regulación progresiva del caudal en plantas industriales.
- Tiempo de reacción corto
- Características lineales en el rango de regulación
- Se cierra ante una caída de tensión
- Tensión de 24 VDC
- De 4 a 20 mA estándar o de 0 a 10 V cc para señal de control
- Rango de caudal de agua: 0,5-12,7 m³/h

Datos técnicos de la válvula:

- Rango de presión : 0,5 - 10 bar

- Temperatura ambiente -25 a $+50^{\circ}\text{C}$
- Temperatura del fluido -10 a $+80^{\circ}\text{C}$
- Viscosidad Máx. 50 cSt
- Materiales Cuerpo de la válvula: Latón, nº 2.0402
- Armadura: Acero inoxidable, nº 1.4105 / AISI 430 FR
- Tubo de la armadura: Acero inoxidable, nº 1.4306/AISI 304 L
- Muelle: Acero inoxidable, nº 1.4568
- Orificio: Acero inoxidable, nº 1.4305 / AISI 303
- Vástago: Acero inoxidable, nº 1.4105 / AISI 430 FR

BOBINA

Características:

- Tensión sin generador de señales: 24 V, tensión CA rectificada de onda completa
- Con generador de señales: 21 - 30 V cc
- Señal de control sin generador de señales: 300 - 600 mA
- Con generador de señales: 4 - 20 mA o 0 - 10 V
- Potencia bobina Máx. : 20 W
- Aislamiento del bobinado: 400 kOhm para la señal de control de 0-10 V. 250 Ohm para la señal de control de 4-20 mA.
- Resistencia de la bobina : 23,5 Ohm a una temperatura ambiente de 20°C
- Aislamiento del bobinado: Clase H de conformidad con el IEC 85
- Conexión sin generador de señales: Caja de terminales Pg 13.5
- Con generador de señales: 3 cables núcleo de 2 m, Pg 13.5
- Protección de la bobina, IEC 529 : IP 67
- Temperatura ambiente : -25°C a $+50^{\circ}\text{C}$
- Régimen de trabajo : Continuo

3.3.3. SENSOR DE NIVEL

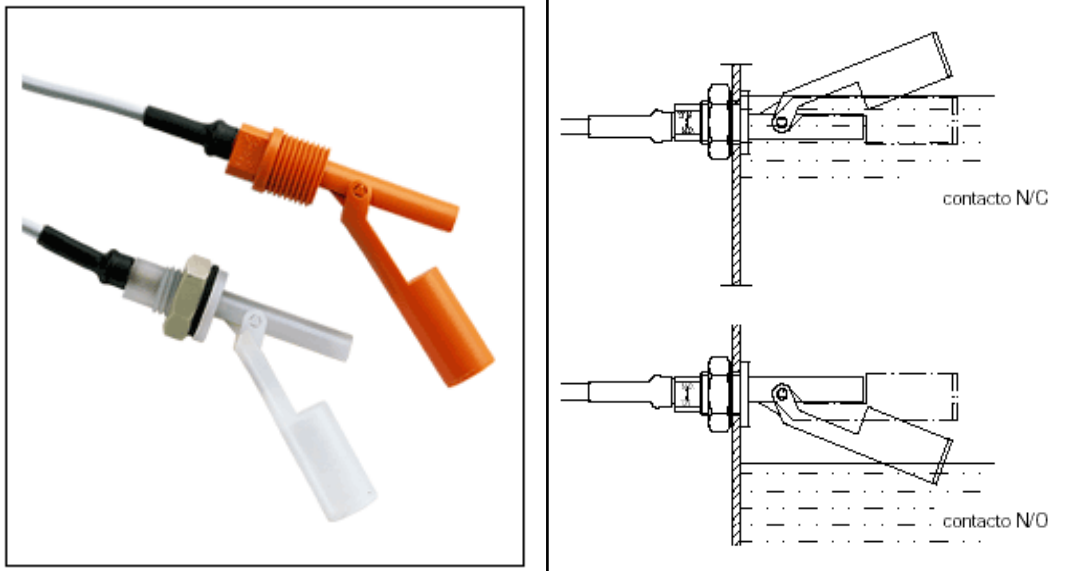
INTERRUPTOR PLASTICO DE NIVEL

MODELO: NKP

FABRICANTE: KOBOLD

Descripción:

El interruptor de nivel plástico NKP está diseñado para el control económico de líquidos en recipientes. Muchas aplicaciones industriales se pueden realizar con dos versiones plásticas diferentes, cada uno con dos diferentes montajes. El interruptor es notable por su diseño libre de mantenimiento, dimensiones pequeñas y contactos con alta capacidad de interrupción. El interruptor se monta en la cara del recipiente. Un flotador plástico con bisagras con un imán flota hacia arriba y abajo a través del nivel del líquido. El contacto reed encapsulado es manejado por el imán. La función de conmutación (contacto NA, contacto NC) es determinada por la posición de la instalación. La función es invertida simplemente rotando el interruptor 180°.



Aplicaciones

- Lavado de automóviles
- Limpieza de máquinas
- Tanques plásticos
- Refrigeración con Láser

Especificaciones

- Presión : máx. 10 bar
- Temperatura : máx. 100°C
- Conexión : G 1/2 , 1/2" , NPT , M16
- Material : Polipropileno , PVDF

Detalles Técnicos

- Cuerpo del interruptor : polipropileno
- Flotador: polipropileno
- Máx. temperatura: 80°C / 175°F
- Máx. presión: 10 bar / 145 psig
- Posición de instalación: Horizontal ($\pm 30^\circ$ desde el plano horizontal)

- Componentes de cont.: Contacto N/A/contacto N/C (dependiendo de la instalación)
- Conexión eléctrica: Cable trenzado AWG20, 2 núcleos, PVC, 1 m
- Capacidad de contacto: Máx. 250 VAC
- Máx. 50 watt/VA / máx. 1,5 A
- Resistencia de contacto: Máx. 80mOhm
- Fuerza eléctrica mínima: 400 VDC/1 s
- Densidad del medio: >0.6 g/cm.

3.3.4. PRESOSTATO

FABRICANTE: DANFOSS

MODELO: KPI

Descripción:

Los presostatos están provistos de un conmutador inversor unipolar (SPDT). El conmutador funciona de acuerdo con el ajuste del presostato y de la presión reinante en la conexión de entrada. El fuelle se mueve a medida que la presión va variando. Para conseguir la función de ruptura brusca en el momento de la conmutación de los contactos hay un muelle en forma de que entre el fuelle y el sistema de contactos.



- La construcción del KPI proporciona las ventajas siguientes:
- Alta carga de los contactos
- Tiempos de disparo ultra-cortos
- Resistencia a vibraciones en la gama de 0-1000 Hz, 4 g (1 g = 9.81 m/s²)
- Larga vida útil
- Aplicable para fluidos y medios gaseosos
- Pequeñas dimensiones - sencillo de instalar en paneles

Aplicaciones:

Los presostatos KPI Danfoss se utilizan para sistemas de regulación, monitorización y alarma en la industria. Son idóneos para instalaciones en contacto con medios líquidos, medios gaseosos y aire.

Características:

- Temperaturas ambientes: -40 °C - +65 °C (durante cortos periodos hasta +80 °C)
- Temperatura del fluido: -40 °C - +100 °C
- Tipo de fluido : Aire, aceite, agua dulce
- Partes en contacto con el fluido:
- Elemento de fuelle Bronce al estaño W. Nº 2.1020 según DIN 17662
- Toma de presión Latón W. Nº 2.0401 según DIN 17660
- Sistema de contactos: Contactor del tipo de inversor unipolar (SPDT)
- Carga de los contactos, juego de contactos Ag
- Material de los contactos AgCdO

3.3.5. TRASMISOR DE PRESION

FABRICANTE: DANFOSS

TIPO: MBS 3000

Aplicaciones:

- Bombas, compresoras, Neumática, tratamiento de agua.
- Para entornos industriales con grandes cargas de trabajo

Características:

- Cubierta de acero inoxidable y resistente a los ácidos (AISI 316L)
- Todas las señales de salida estándar: 4-20 mA, 0-5 V, 1-5 V, 1-6 V, 0-10 V
- Amplio rango de presión y conexiones eléctricas
- De temperatura compensada y calibrado por láser.

Condiciones de trabajo:

- Rango de temperatura del fluido: -40 a +85°C
- Rango de temperatura compensada: 0 a +80°C
- Rango de temperatura de transporte: -50 a +85°C



3.3.6. VARIADOR DE VELOCIDAD

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: ALTIVAR 31

Funciones:

El Altivar 12 es un convertidor de frecuencia para motores asíncronos trifásicos de jaula para 1HP.

Las principales funciones integradas en el Altivar 12 son:

- Arranque y variación de velocidad.
- Inversión del sentido de giro.
- Aceleración, desaceleración, parada.
- Protecciones del motor y variador.
- Comando 2 ó 3 hilos.
- 4 velocidades preseleccionadas.
- Guardar la configuración del variador.
- Inyección de corriente continua en la parada.
- Conmutación de rampas.



Entradas y salidas:

- 2 salidas de relé configurables.
- 1 entrada analógica configurable (0-10V, -10V-+10V, 0-20mA X-YmA).
- 1 referencia de potenciómetro (para los productos con mando local).
- 1 salida analógica configurable en tensión y en corriente; configurable como salida lógica.
- Fuentes internas disponibles protegidas contra los cortocircuitos y las sobrecargas.

Entorno:

- Conformidad con las normas: baja tensión EN50178, IEC/EN CEM emisión conducida y radiada: IEC/EN61800-3, entornos 1 y 2 EN55011 - EN55022 clase A y clase B
- Homologaciones: UL, CSA, NOM 117 y C-Tick
- Grado de protección: IP 31, IP 41 en la parte superior, IP 21 bornero; IP 55 para el producto en cofre

- Temperatura de almacenamiento: de -25°C a +70°C
- Humedad relativa: 5...95% sin condensación ni goteo según IEC60068-2-3
- Altitud máxima de utilización: 1.000 m sin desclasificación
- Posición de funcionamiento: Vertical +/- 10°

Aplicaciones

- Sistemas de manejo de material.
- Máquinas especiales (mezcladoras, lavadoras, centrífugas,...).
- Ventilación, bombeo, controles de acceso, puertas automáticas.
- Transporte horizontal (pequeños transportes, ...).

Funciones y entradas /salidas del variador:

- Comando 2 hilos en la transición,
- Entrada lógica LI1: sentido de marcha,
- Entrada lógica LI2: sentido de reversa,
- Velocidades preseleccionadas:
- Entrada lógica LI3 : velocidades preseleccionadas,
- Entrada lógica LI4 : velocidades preseleccionadas,
- Entrada analógica AI1 : referencia de velocidad 0-5 V,
- Salida lógica /analógica DO : frecuencia motor (analógica),
- Adaptación de la rampa de desaceleración,
- Inyección de corriente continua automática durante 0,5 s en la parada

Funciones del visualizador y pulsadores

- El visualizador está formado de códigos o valores programados que pueden observarse por intermedio de 3 dígitos de 7 segmentos.
- Los pulsadores permiten desfile de menús y la modificación de los valores.
- ESC: Pulsador de salida de los menús (sin acción de validación)
- ENT: Pulsador de validación para entrar a menú o validar El nuevo valor elegido.
- RUN: Comando local de marcha del motor.
- STOP: Comando local de parada Del motor.
- POTENCIOMETRO de consigna de velocidad.

Descripción de la bornera

- Cableado tipo contactor
- Tornillos imperdibles

Bornera de control Entradas:

- 4 entradas lógicas alimentadas por +15V internos o +24V externos (L1, L2, L3, L4)
- 1 entrada analógica en tensión o corriente
- 1 relé de defecto (RA/RC)
- 1 salida lógica
- 1 salida analógica
- Fuente de +5V
- Fuente de +24V
- Entradas lógicas asignables (LI1, LI2,LI3,LI4)
- Tiempo de muestreo: 20 ms
- Multiasignación de las entradas: permite combinar varias funciones en una misma entrada
- Configuración de fábrica: para control 2 hilos
- LI1 = marcha adelante
- LI2 = marcha atrás
- LI3/LI4= Velocidades preseleccionadas
- Entrada analógica configurable (AI1)
(resolución 10bits, precisión 1% y linealidad 0.3%)

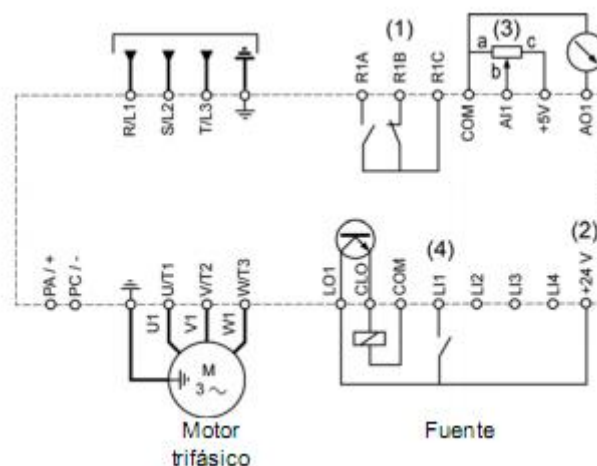
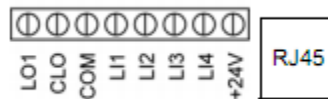
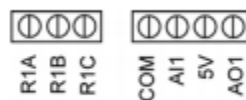
Impedancia 30K Ω , 30 V máx.
 Tensión de entrada de 0 a +5V ó de 0 a +10V
 Intensidad de corriente 0-20 mA configurable
 Impedancia de 250 Ω

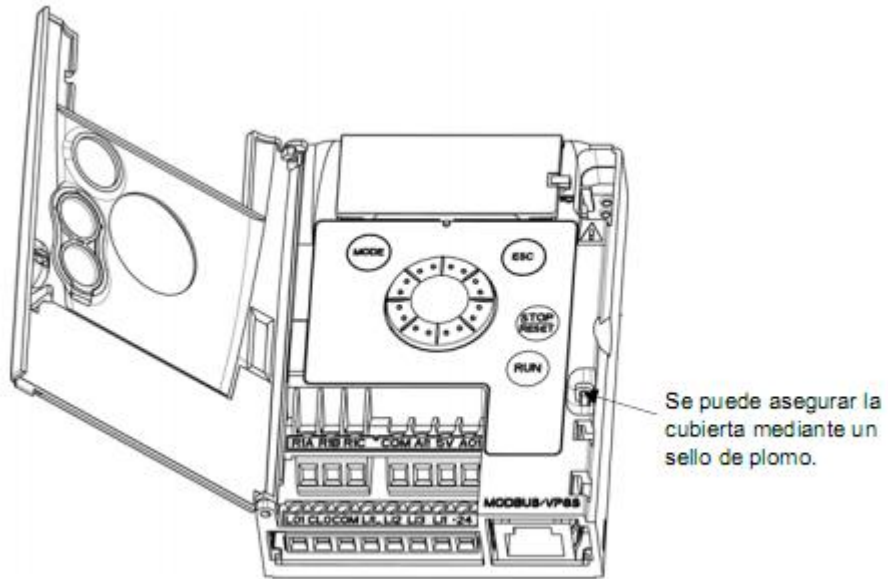
Bornera de control: Salidas

- Salida analógica
 Tiempo muestreo máximo 7ms
 Resolución 8 bits, precisión 1%, linealidad 0.3%
 Tensión de 30V máx., impedancia salida máxima 800 Ω .
- Salida lógica de colector abierto
 Tensión de 30V máx., impedancia 1K Ω , 100mA máx.
 Tiempo de muestreo 20ms
- Relé (RC/RA) libre de potencial Contacto abierto en caso de fallo o ausencia de alimentación
 Poder de conmutación mínimo: 5mA para 24Vcc
 Poder de conmutación máximo: 2A para 250Vac y para 30V con carga inductiva

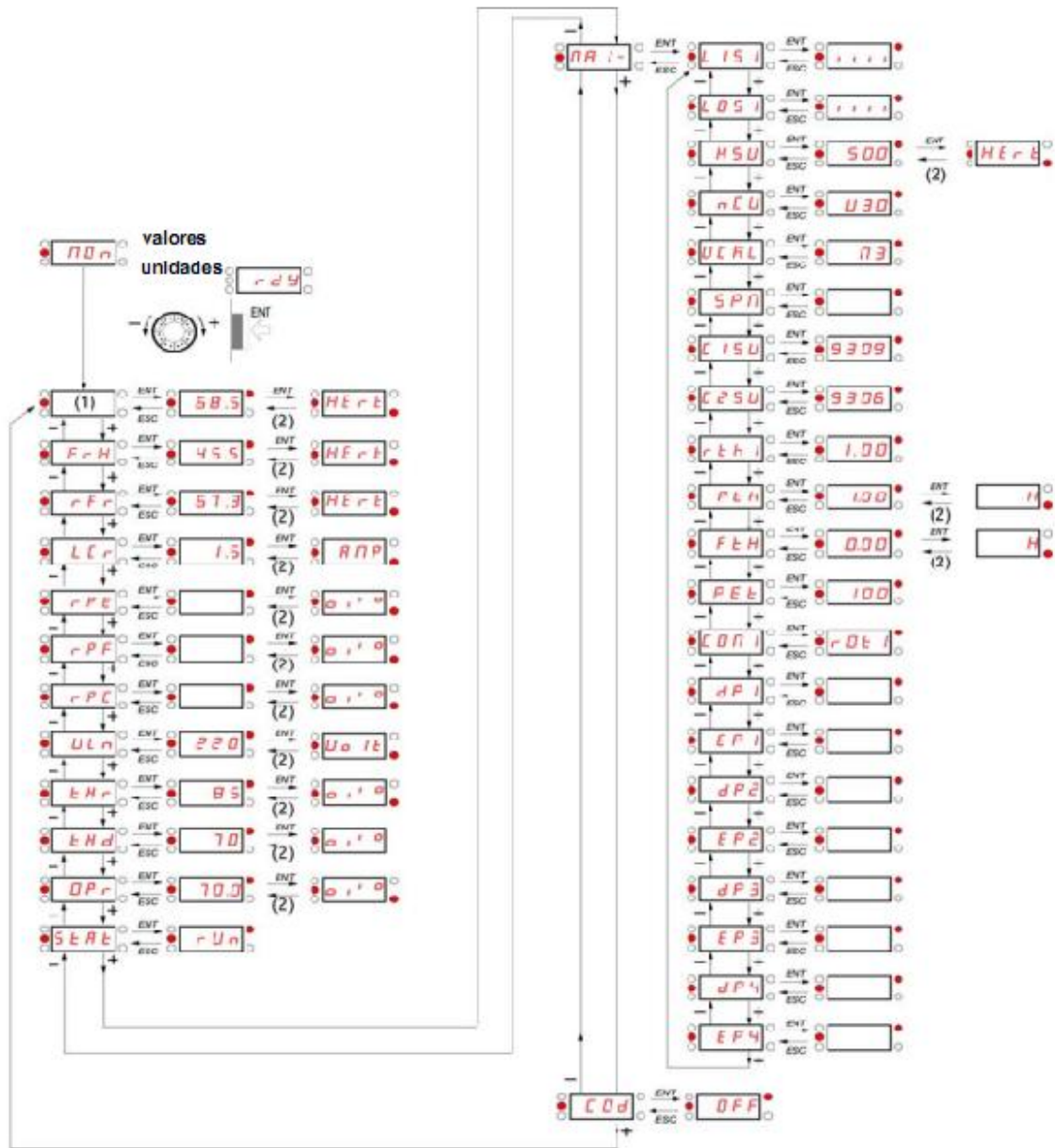
Bornera de control: Alimentaciones

- 5V Alimentación para potenciómetro de consigna de 2,2 K Ω a 10 K Ω Intensidad máx. disponible: 10mA
- Protegida contra sobrecargas y cortocircuitos





Menús de configuración



3.3.7. HMI

FABRICANTE: NATIONAL INSTRUMENTS
MODELO: TPC-2106T



Especificaciones:

- CPU: Intel XScale PXA 270, 416 MHz
- VGA: incorporada al CPU.
- DRAM: 64 MB SDRAM incorporada.
- Almacenamiento de memoria: 64 MB NAND FLASH
- Ethernet: Controlador SMSC9115 10/100 Base-T, compatible con protocolo IEEE 802.3u

Eléctricas:

- Voltaje: 18 a 32 VDC
- Máxima corriente: 3.15 A

Mecánicas:

- Dimensiones: 188 x 141 mm.
- Profundidad de instalado: 44.4 mm.

LCD:

- Tipo: Color TFT LCD
- Tamaño: 5.6 pulg.
- Resolución Máxima: 320 x 240 (QVGA)
- Calidad Máxima de Colores: 256K
- Radio Contraste: 400

Pantalla Táctil:

- Tipo: Resistiva
- Resolución: Continua
- Controlador: DMC9000
- Software: Windows CE

Ambientales:

- Temperatura Operación: 0 a 50 °C
- Humedad: 10 a 95%
- Altitud Máxima: 2000 m.s.n.m.

Limpieza de la unidad:

Usar una escobilla suave y no metálica, asegurarse que la unidad este seca y libre de contaminantes antes de regresar al servicio.

Programación del HMI TPC 2106T:

El software de programación utilizado es Labview 2009 con el toolkit para el Touch Panel.

3.3.8. PAC

FABRICANTE: NATIONAL INSTRUMENTS

MODELO: CFP2200

Especificaciones:

- Procesador de 400MHz, con 128MB DRAM, 128MB de almacenamiento no volátil.
- Puerto Ethernet 10/100BASE-T con servidores embebidos de web y archivos con interfaz de usuario de panel remoto.
- Puerto serial RS232 para conexión con periféricos.
- Calidad industrial 50g shock, 5g de vibración y rango de operación de -40°C a 70°C.
- LED indicadores de estado del controlador.



MODELO: CFP-DI-300

Especificaciones

- 8 entradas digitales sinking de 24VDC
- LED indicador de estado ON/OFF por canal.
- Tasa de muestreo 1kHz.
- Impedancia de entrada 5KOhm
- Voltaje de entrada máximo 30VDC
- Potencia 185mW
- Rango de operación de - 40°C a 70°C

**MODELO: CFP-RLY-423****Especificaciones**

- 8 salidas tipo relé, 120VDC ó 250VAC.
- Indicador de estado del LED por canal.
- Conecta hasta 1.5A a 35VDC ó 250VAC
- Potencia 1W
- Rango de operación de -40°C a 60°C

**MODELO: CFP-AIO-600****Especificaciones**

- 4 canales de entrada analógica para voltaje de hasta $\pm 36\text{V}$ o corriente de hasta $\pm 24\text{mA}$
- Rango de actualización de 1.7kHz para cada entrada.
- Protección de entrada de corriente de 100mA y protección contra corto circuito.
- Resolución 12 bits.
- 4 canales de salida de corriente analógica para 0 a 20mA ó 4 a 20mA .
- Potencia 350mW

- Rango de operación de -40°C a 70°C



3.3.9. GUARDAMOTOR

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: GV2ME10

Descripción:

Guarda motor termo magnético con conexión por terminales atornillables con botones pulsadores.

Especificaciones:

- Rango de Ajuste para disparo térmico: 4 – 6.3 A
- Corriente de disparo magnético: 78 ±20% A

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 690 V
- Corriente: 3 A

Características físicas:

- Profundidad: 97 mm
- Altura: 89 mm
- Peso: 0.35 kg
- Ancho: 44.5 mm

3.3.10. LLAVE DIFERENCIADORA

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: ID/RCCB 16234

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 240 V
- Corriente Nominal: 0.030 - 25 A

3.3.11. LLAVES TERMOMAGNETICA MONOFASICA

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: C60H
TIPO: Tripular y Bipolar
REFERENCIA: 24987

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 400 V
- Corriente: 16 A

3.3.12. LLAVE TERMOMAGNETICA TRIFASICA

FABRICANTE: SHNEIDER ELECTRIC
MODELO: C60H
TIPO: Tripular y Bipolar
REFERENCIA: 25000

Eléctricas:

- Voltaje de operación: 400 V
- Corriente: 16 A

3.4. APÉNDICE B

ECUACIONES DE DISEÑO (SI)

ECUACIONES DE DISEÑO (SI):

DATOS :

1. Caudal de operación: Q (m^3/hr)
2. Presión en 2 puntos: P_1 y P_2 (Kg/m^2)
3. Viscosidad: μ ($kg/m \cdot seg$)
4. Densidad: ρ (Kg/m^3)
5. Diámetro interior de la tubería: D (m)
6. Constante gravitacional: $9,81$ $Kg \cdot m / Kg \cdot seg^2$

Nota: El agua puede considerarse a temperatura ambiente (20 °C), y utilizar los siguientes datos:

$$\rho = 998,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1,009 \times 10^{-3} \text{ Kg/(m x seg)}$$

CALCULOS :

$$1. \text{ Área de la tubería: } A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$2. \text{ Velocidad media del fluido: } \bar{U} = \frac{Q}{A}$$

$$3. \text{ Número de Reynolds: } N_{RE} = \frac{D \times \rho \times \bar{U}}{\mu}$$

$$4. \text{ Asperidad relativa: } \frac{\epsilon}{D} \quad * \epsilon \text{ se obtiene del apéndice C2}$$

5. Factor de fricción: f , se obtiene del apéndice C7 con los datos de la asperidad relativa y el número de Reynolds.

6. Longitud total: $L_t = L \text{ tubería} + L \text{ accesorios}$

Para determinar la longitud equivalente en accesorios, hay que identificar los codos, tees, niples, uniones, etc que están dentro del sistema y obtener sus respectivos valores de los apéndices C3 y C4.

$$7. \text{ Pérdidas por fricción: } F = \frac{f \times L_t \times \bar{U}^2}{2g_c \times D}$$

8. Ecuación de Bernoulli:

$$Z_a \frac{g}{g_c} + \frac{\bar{U}_a^2}{2g_c} + \frac{P_a}{\rho} + F = Z_b \frac{g}{g_c} + \frac{\bar{U}_b^2}{2g_c} + \frac{P_b}{\rho} + W \dots \dots \dots (1)$$

9. Potencia de la bomba:
$$P_{teórica} = \frac{Q \times W \times \rho}{factor}$$

Factor: 1 Hp = 76 Kgf-m/seg

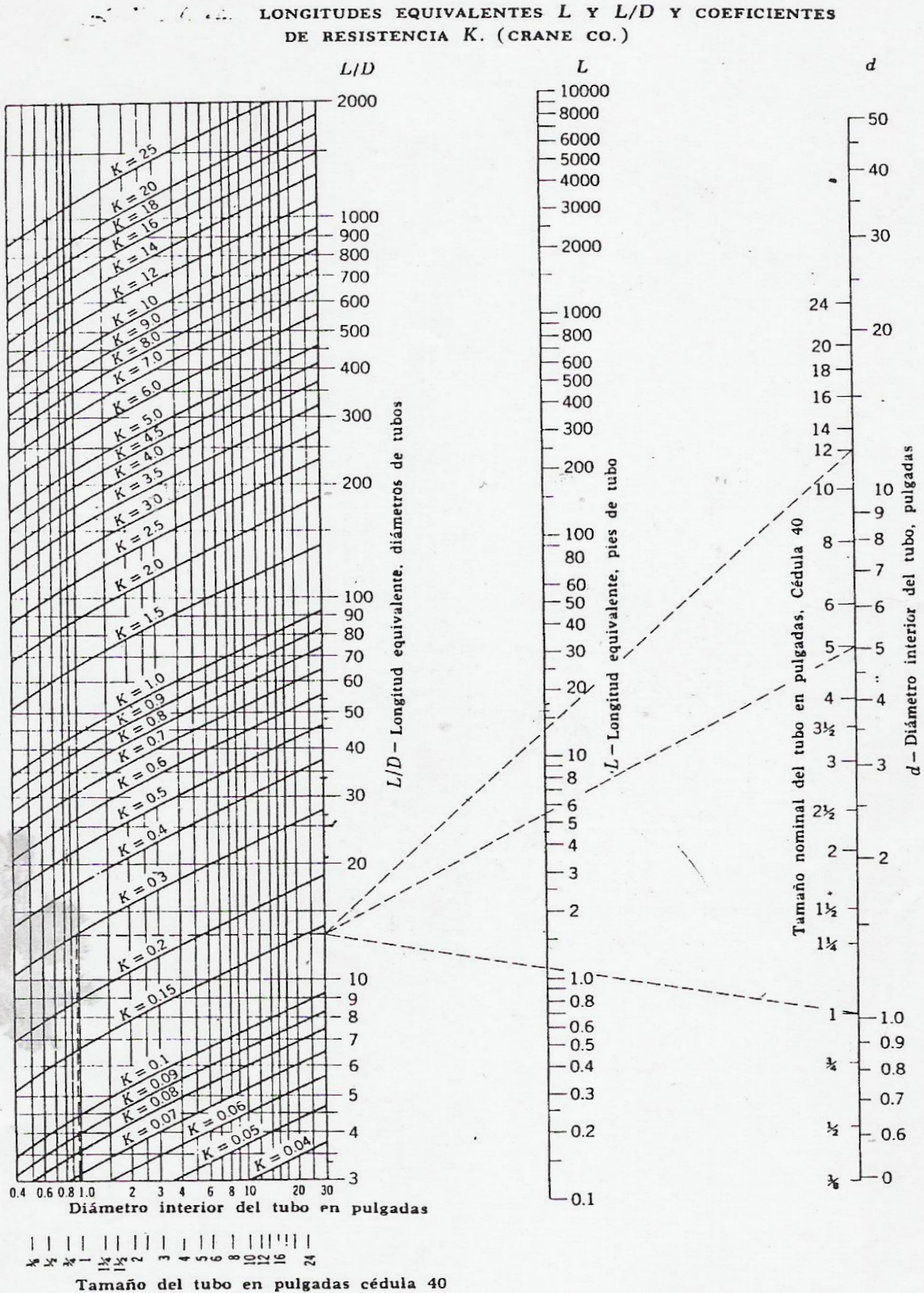
10. Potencia real:
$$P_{real} = P_{teórica} \times \eta$$

η : Eficiencia de la bomba.

3.5. APÉNDICE C:

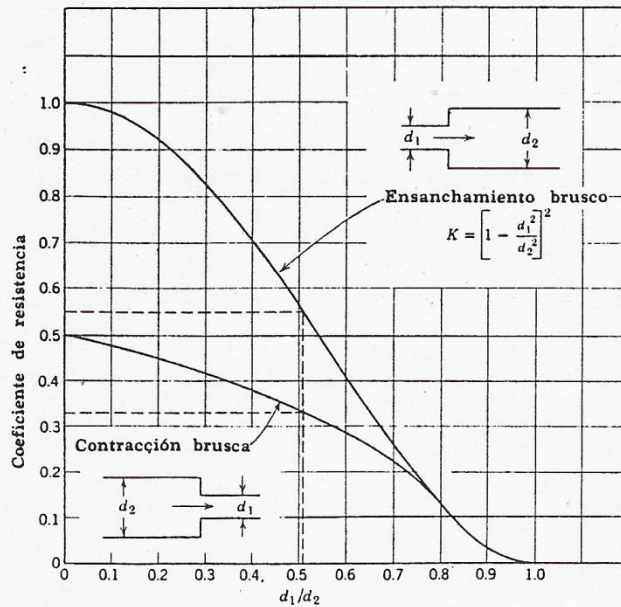
TABLAS DE EMPLEO EN TRANSFERENCIA DE FLUIDOS

3.5.1. Longitudes equivalentes de accesorios

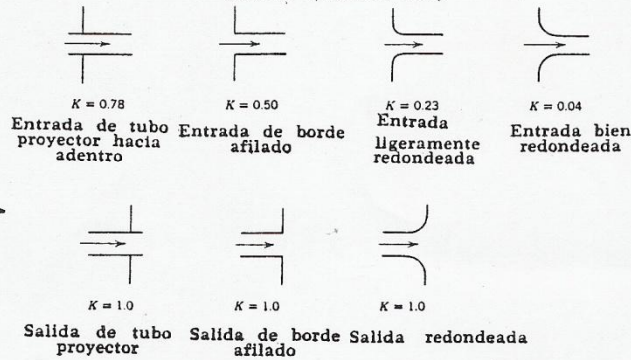


Descripción	Longitud equivalente en diámetros de tubos (L/D)
Conexiones	
Codo normal a 90°	30
Codo normal a 45°	16
Codo de radio largo a 90°	20
Codo para calle a 90°	50
Codo para calle a 45°	26
Codo para esquina cuadrada	57
T normal	
Con flujo a todo lo largo	20
Con flujo a través de la rama	60
Patrón cerrado de tubo de retorno	50

Apéndice C-2b. RESISTENCIA DEBIDA A ENSANCHAMIENTO Y CONTRACCIONES BRUSCAS. (CRANE CO.)

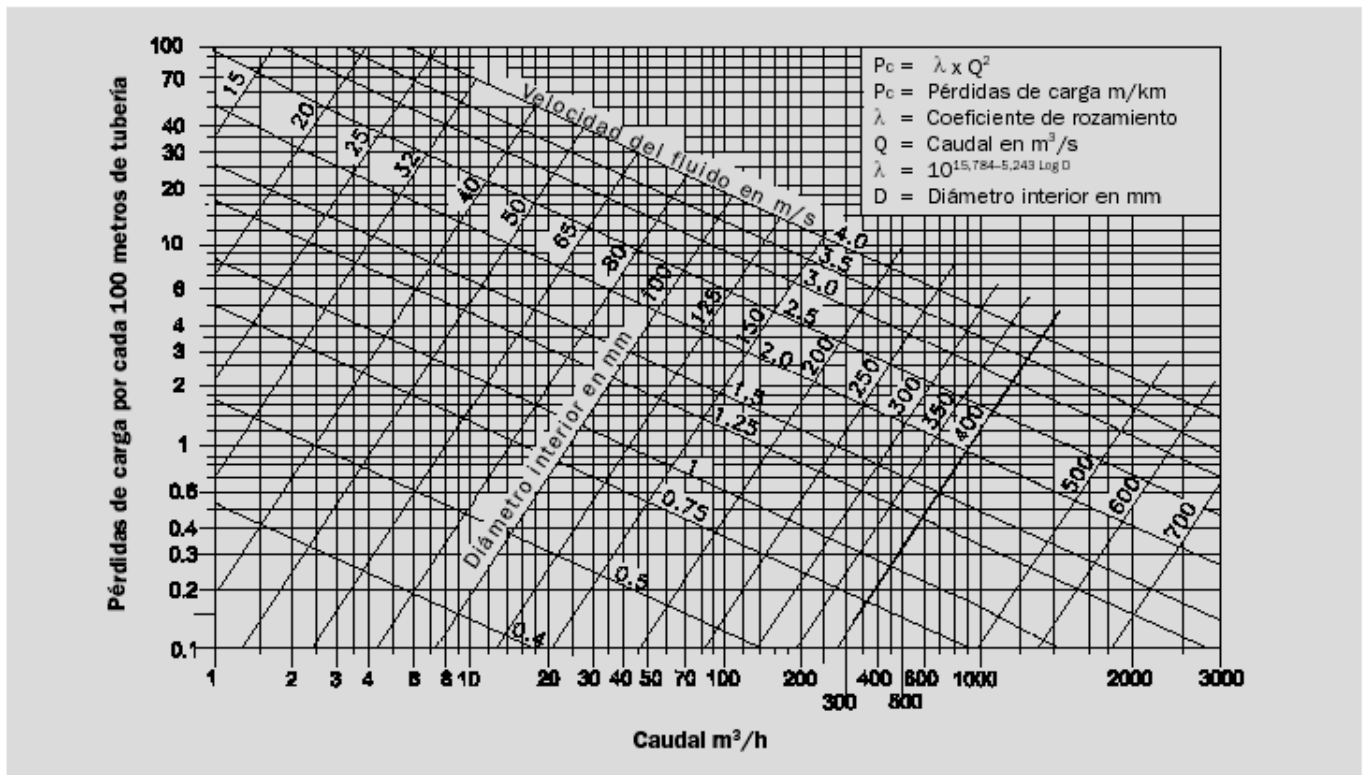


Apéndice C2c. RESISTENCIA DEBIDA A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DE LOS TUBOS. (CRANE CO.)



Pérdidas de carga en tubería de hierro fundido

Diagrama para determinar la pérdida de carga y la velocidad del fluido en función del caudal y del diámetro interior de la tubería.



Coefficientes correctores para otras tuberías

PVC	0,6
Hierro forjado	0,76
Acero sin soldadura	0,76

Fibro-cemento	0,80
Cemento (paredes lisas)	0,80
Gres	1,17

Forjada muy usada	2,10
Hierro con paredes rugosas	3,60

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

✓ Fórmula general de Darcy-Weisbach: $h_e = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$

En función del caudal: $h_e = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L$

✓ Hagen-Poiseuille para régimen laminar: $h_e = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2}$

✓ Coeficiente de fricción (f):

Von Karman: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}}$

Colebrook: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$

Nikuradse: $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \frac{K/D}{3.71}$

✓ Blasius (Tuberías de plástico en turbulento liso, PE; $4 \cdot 10^3 < Re < 10^5$):

$$f = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

$$h_e = \frac{0.0246^{0.25}}{D^{4.75}} \cdot Q^{1.75} \cdot L$$

✓ Cruciani-Margaritora (Tuberías de PE): $J(\%) = \frac{0.099}{D^{4.75}} \cdot Q^{1.75}$

✓ Hazen-Williams (Especialmente para tuberías de fundición y acero)

$$f = \frac{13.69 \cdot g}{c^{1.85} \cdot v^{0.15} \cdot D^{0.17}}$$

c tabulado en el Prontuario

$$h_e = \frac{10.7}{c^{1.85} \cdot D^{4.78}} \cdot Q^{1.85} \cdot L$$

✓ Scobey (Tuberías de aluminio): $h_e = 2.587 \cdot 10^{-3} \cdot K \cdot \frac{v^{1.9}}{D^{1.1}} \cdot L$

✓ Veronesse-Datei (Tuberías de PVC): $J(\%) = \frac{0.092}{D^{4.80}} \cdot Q^{1.80}$

✓ Scimemi (Tuberías de fibrocemento): $Q = 48.3 \cdot D^{2.68} \cdot J^{0.58}$

$$v = 158 \cdot D^{2.68} \cdot J^{0.58}$$

✓ Manning (Turbulento rugoso, $Re > 4000$ y $(Re)_c > 40$): $h_c = \frac{10.3 \cdot n^2}{D^{5.33}} \cdot Q^2 \cdot L$

n , coeficiente de rugosidad de la tubería, tabulado en Prontuario

PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad K \text{ tabulado en el Prontuario}$$

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE

✓ Tiempo de parada:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m} \quad (\text{Mendiluce})$$

$$\frac{H_m}{L} < 0.20 \rightarrow c = 1$$

$$\frac{H_m}{L} \geq 40 \rightarrow c = 0$$

$$\frac{H_m}{L} \cong 30 \rightarrow c = 0.6$$

K tabulado en Prontuario

✓ Celeridad:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad K, e \text{ en Prontuario}$$

✓ Fórmula de Michaud (cierre lento):

$$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T}$$

✓ Fórmula de Allievi (cierre rápido):

$$\Delta H = \frac{a \cdot v}{g}$$

✓ Longitud crítica:

$$L_c = \frac{a \cdot T}{2}$$

**VALORES DE LOS COEFICIENTES DE LAS FÓRMULAS DE HAZEN WILLIAMS
PARA VELOCIDAD, CAUDAL Y PÉRDIDAS**

CLASE Y ESTADO DE LA TUBERÍA	K2	K3	K4
Tuberías extremadamente lisas, perfectamente alineadas	1.190	0.935	0.000724
Tuberías muy lisas de hierro fundido nuevas y muy buen estado -concreto lisas y alineadas.	1.105	0.868	0.000831
Tuberías de acero nuevas con flujo en el sentido del traslape- Hierro fundido de 10 años de uso.	0.935	0.734	0.001132
Tuberías de acero nuevas con flujo en contra del traslape - Hierro fundido de 20 años de uso.	0.850	0.668	0.001351
Tuberías en concreto precolado-hierro forjado lisas y bie alineadas	1.020	0.801	0.000963
Tuberías de hierro viejas y en muy malas condiciones- varía entre	0.689 0.510	0.534 0.401	0.002041 0.003399
Tuberías de muy pequeño diámetro, fuertemente incrustadas y en pésimas condiciones.	0.340	0.267	0.007375

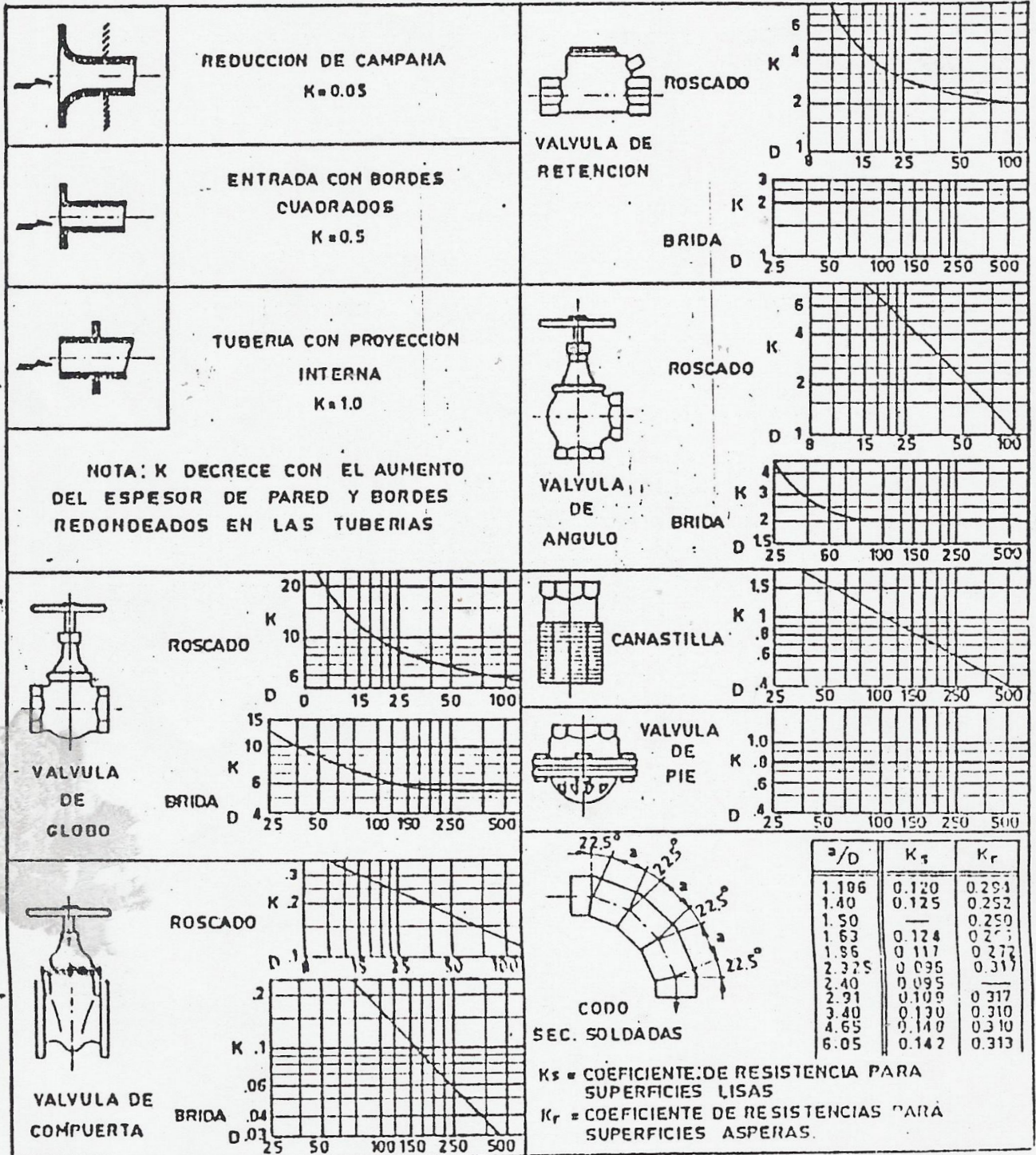
VALORES DE C PARA LA FÓRMULA DE HAZEN-WILLIAMS

TIPO DE TUBERÍA	C
Asbesto cemento	140
Latón	130 - 140
Ladrillo para alcantarillas	100
Hierro colado	
- Nuevo, sin revestir	130
- Viejo, sin revestir	40 – 120
- Revestido de cemento	130 – 150
- Revestido de esmalte bitumástico	140 – 150
- Cubierto de alquitrán	115 -135
De hormigón o revestido de hormigón	
- Cimbras de acero	140
- Cimbras de madera	120
- Centrifugado	135
Cobre	130 - 140
Manguera de incendio (recubierta de hule)	135
Hierro galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130 - 140
Plástico	140 - 150
Acero	
- Revestido de alquitrán de hulla	145 – 150
- Nuevo, sin revestir	140 – 150
- Remachado	110
Estaño	130
Barro vidriado	100 - 140

3.5.2. APÉNDICE C2:

COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA VÁLVULAS Y UNIONES

COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA VÁLVULAS Y UNIONES



D = mm.

$$h = K \frac{v^2}{2g} \text{ METROS DE FLUIDO}$$

3.5.3. APÉNDICE C3:

DENSIDAD DEL AGUA Y PRESIÓN DE VAPOR

Presión de vapor de agua

VAPOR PRESSURES OF PURE SUBSTANCES

UNITS CONVERSIONS

For this subsection, the following units conversions are applicable:

$$^{\circ}\text{F} = \%^{\circ}\text{C} + 32.$$

To convert millimeters of mercury to pounds-force per square inch, multiply by 0.01934.

ADDITIONAL REFERENCES

Additional compilations of vapor-pressure data include Boublik, Fried, and Hala, *The Vapor Pressures of Pure Substances*, Elsevier, Amsterdam, 1984. See also Hirata, Ohe, and Nagahama, *Computer Aided Data Book of Vapor-Liquid Equilibria*, Kodansha/Elsevier, Tokyo, 1975; Weishaupt, *Landolt-Börnstein New Series Group II*, vol 3; *Thermodynamic Equilibria of Boiling Mixtures*, Springer-Verlag, Berlin, 1975; Wichterle, Linek, and Hala, *Vapor-Liquid Equilibrium Data Bibliography*, Elsevier, Amsterdam, 1973; suppl 1, 1976; suppl 2, 1982.

TABLE 2-3 Vapor Pressure of Water Ice from -15 to 0°C*
mmHg

t, °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-14	1.361	1.345	1.326	1.324	1.312	1.300	1.288	1.276	1.264	1.253
-13	1.460	1.477	1.464	1.450	1.437	1.424	1.411	1.399	1.386	1.373
-12	1.632	1.617	1.602	1.588	1.574	1.559	1.546	1.532	1.518	1.504
-11	1.785	1.769	1.753	1.737	1.722	1.707	1.691	1.675	1.661	1.646
-10	1.950	1.934	1.916	1.899	1.883	1.866	1.849	1.832	1.817	1.800
-9	2.131	2.112	2.093	2.075	2.057	2.039	2.021	2.003	1.985	1.968
-8	2.326	2.306	2.285	2.266	2.246	2.226	2.207	2.187	2.168	2.149
-7	2.537	2.515	2.493	2.472	2.450	2.429	2.408	2.387	2.367	2.346
-6	2.765	2.742	2.718	2.695	2.672	2.649	2.626	2.603	2.581	2.559
-5	3.013	2.987	2.962	2.937	2.912	2.887	2.862	2.838	2.813	2.790
-4	3.280	3.252	3.225	3.198	3.171	3.144	3.117	3.091	3.065	3.039
-3	3.568	3.539	3.509	3.480	3.451	3.422	3.393	3.364	3.335	3.308
-2	3.880	3.848	3.816	3.785	3.753	3.722	3.691	3.660	3.630	3.599
-1	4.217	4.182	4.147	4.113	4.079	4.045	4.012	3.979	3.945	3.913
0	4.579	4.542	4.504	4.467	4.431	4.395	4.359	4.323	4.287	4.252

*For data at 0.02-30.2-58°C see p. 2324, *Handbook of Chemistry and Physics*, 40th ed., Chemical Rubber Publishing Co.

TABLE 2-4 Vapor Pressure of Liquid Water from -16 to 0°C*
mmHg

t, °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-15	1.426	1.425	1.414	1.402	1.390	1.379	1.368	1.356	1.345	1.334
-14	1.560	1.547	1.534	1.522	1.511	1.497	1.485	1.472	1.460	1.449
-13	1.691	1.678	1.665	1.651	1.637	1.624	1.611	1.599	1.585	1.572
-12	1.824	1.810	1.804	1.790	1.776	1.761	1.748	1.734	1.720	1.705
-11	1.957	1.971	1.965	1.939	1.924	1.909	1.893	1.878	1.863	1.848
-10	2.149	2.134	2.116	2.099	2.084	2.067	2.050	2.034	2.018	2.001
-9	2.326	2.307	2.289	2.271	2.254	2.236	2.219	2.201	2.184	2.167
-8	2.514	2.495	2.475	2.456	2.437	2.418	2.399	2.380	2.362	2.343
-7	2.715	2.695	2.674	2.654	2.633	2.613	2.593	2.572	2.553	2.533
-6	2.931	2.909	2.887	2.866	2.843	2.822	2.800	2.778	2.757	2.736
-5	3.163	3.139	3.115	3.092	3.069	3.046	3.022	3.000	2.976	2.955
-4	3.410	3.384	3.359	3.334	3.309	3.284	3.259	3.235	3.211	3.187
-3	3.673	3.647	3.620	3.593	3.567	3.540	3.514	3.487	3.461	3.436
-2	3.956	3.927	3.898	3.871	3.841	3.813	3.785	3.757	3.730	3.702
-1	4.258	4.227	4.196	4.165	4.135	4.105	4.075	4.045	4.016	3.986
0	4.579	4.545	4.513	4.480	4.448	4.416	4.385	4.353	4.320	4.289

*Computed from the above table with the aid of the thermodynamic equation

$$\log_{10} \frac{p_v}{p_s} = \frac{-1.1486t}{273.1+t} - 1.330 \times 10^{-5}t^2 + 9.084 \times 10^{-8}t^3$$

mmHg										
t °C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.579	4.613	4.647	4.681	4.715	4.750	4.785	4.820	4.855	4.890
1	4.925	4.962	4.998	5.034	5.070	5.107	5.144	5.181	5.219	5.256
2	5.294	5.332	5.370	5.408	5.447	5.486	5.525	5.565	5.605	5.645
3	5.685	5.725	5.766	5.807	5.848	5.889	5.931	5.973	6.015	6.058
4	6.101	6.144	6.187	6.230	6.274	6.318	6.363	6.408	6.453	6.498
5	6.542	6.588	6.635	6.681	6.728	6.775	6.822	6.869	6.917	6.965
6	7.013	7.062	7.111	7.160	7.209	7.259	7.309	7.359	7.411	7.462
7	7.513	7.565	7.617	7.669	7.722	7.775	7.828	7.882	7.935	7.989
8	8.045	8.100	8.155	8.211	8.267	8.323	8.380	8.437	8.494	8.551
9	8.609	8.668	8.727	8.786	8.845	8.905	8.965	9.025	9.085	9.147
10	9.209	9.271	9.333	9.395	9.458	9.521	9.585	9.649	9.714	9.779
11	9.844	9.910	9.976	10.042	10.109	10.176	10.244	10.312	10.381	10.449
12	10.518	10.588	10.658	10.728	10.799	10.870	10.941	11.012	11.085	11.158
13	11.231	11.305	11.379	11.453	11.528	11.604	11.680	11.756	11.833	11.910
14	11.987	12.065	12.144	12.223	12.302	12.382	12.462	12.543	12.624	12.705
15	12.788	12.870	12.953	13.037	13.121	13.205	13.290	13.375	13.461	13.547
16	13.634	13.721	13.809	13.898	13.987	14.076	14.166	14.256	14.347	14.438
17	14.530	14.622	14.715	14.809	14.903	14.997	15.092	15.188	15.284	15.380
18	15.477	15.575	15.673	15.772	15.871	15.971	16.071	16.171	16.272	16.374
19	16.477	16.581	16.686	16.789	16.894	16.999	17.105	17.212	17.319	17.427
20	17.535	17.644	17.753	17.863	17.974	18.085	18.197	18.309	18.422	18.535
21	18.650	18.765	18.880	18.996	19.113	19.231	19.349	19.468	19.587	19.707
22	19.827	19.948	20.070	20.193	20.316	20.440	20.565	20.690	20.815	20.941
23	21.068	21.196	21.324	21.453	21.583	21.714	21.845	21.977	22.110	22.243
24	22.377	22.512	22.648	22.785	22.922	23.060	23.198	23.337	23.476	23.616
25	23.755	23.897	24.039	24.182	24.326	24.471	24.617	24.764	24.912	25.060
26	25.209	25.359	25.509	25.660	25.812	25.964	26.117	26.271	26.425	26.582
27	26.739	26.897	27.055	27.214	27.374	27.535	27.696	27.858	28.021	28.185
28	28.349	28.514	28.680	28.847	29.015	29.184	29.354	29.525	29.697	29.870
29	30.043	30.217	30.392	30.568	30.745	30.923	31.102	31.281	31.461	31.642
30	31.824	32.007	32.191	32.376	32.561	32.747	32.934	33.122	33.312	33.503
31	33.695	33.888	34.082	34.276	34.471	34.667	34.864	35.062	35.261	35.462
32	35.663	35.865	36.068	36.272	36.477	36.683	36.891	37.099	37.308	37.518
33	37.729	37.942	38.155	38.369	38.584	38.801	39.018	39.237	39.457	39.677
34	39.808	40.121	40.344	40.569	40.796	41.023	41.251	41.480	41.710	41.942
35	42.175	42.409	42.644	42.880	43.117	43.355	43.595	43.836	44.078	44.320
36	44.563	44.808	45.054	45.301	45.549	45.799	46.050	46.302	46.555	46.811
37	47.067	47.324	47.582	47.841	48.102	48.364	48.627	48.891	49.157	49.424
38	49.692	49.961	50.231	50.502	50.774	51.048	51.323	51.600	51.879	52.160
39	52.442	52.725	53.009	53.294	53.580	53.867	54.155	54.445	54.737	55.030
40	55.324	55.61	55.91	56.21	56.51	56.81	57.11	57.41	57.72	58.03
41	58.34	58.65	58.96	59.27	59.58	59.90	60.22	60.54	60.86	61.18
42	61.50	61.82	62.14	62.47	62.80	63.13	63.46	63.79	64.12	64.46
43	64.80	65.14	65.48	65.82	66.16	66.51	66.86	67.21	67.56	67.91
44	68.26	68.61	68.97	69.33	69.69	70.05	70.41	70.77	71.14	71.51
45	71.88	72.25	72.62	72.99	73.36	73.74	74.12	74.50	74.88	75.26
46	75.55	75.94	76.33	76.72	77.11	77.50	77.89	78.29	78.69	79.09
47	79.69	80.09	80.49	80.89	81.29	81.69	82.09	82.49	82.89	83.29
48	83.71	84.13	84.55	84.97	85.40	85.82	86.25	86.67	87.10	87.53
49	88.02	88.45	88.89	89.34	89.79	90.24	90.69	91.14	91.59	92.05
t °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	92.51	97.20	102.09	107.20	112.51	118.04	123.80	129.82	136.08	142.60
60	149.28	156.42	163.77	171.28	179.21	187.54	196.09	204.96	214.17	223.73
70	233.7	243.9	254.6	265.7	277.2	289.1	301.4	314.1	327.3	341.0
80	355.1	369.7	384.9	400.6	416.8	433.5	450.9	468.7	487.1	506.1
90	525.76	527.76	529.77	531.78	533.80	535.82	537.86	539.90	541.95	544.00
91	545.05	548.11	550.18	552.26	554.35	556.44	558.53	560.64	562.75	564.87
92	565.09	569.12	573.16	577.20	581.25	585.31	589.37	593.44	597.52	601.61
93	588.50	593.80	599.10	604.41	609.73	615.05	620.38	625.72	631.07	636.43
94	610.50	613.17	615.84	617.72	619.61	621.51	623.41	625.32	627.24	629.17
95	623.50	626.24	628.99	630.94	632.90	634.87	636.85	638.83	640.82	642.82
96	647.52	650.02	652.52	654.88	657.31	659.75	662.20	664.65	667.12	669.59
97	682.07	684.55	687.04	689.54	692.05	694.57	697.10	699.63	702.17	704.71
98	707.27	709.83	712.40	714.98	717.56	720.15	722.75	725.36	727.98	730.61
99	733.24	735.85	738.43	741.18	743.85	746.52	749.20	751.89	754.58	757.29
100	760.00	762.72	765.45	768.19	770.93	773.68	776.44	779.22	782.00	784.78
101	787.57	790.37	793.18	795.99	798.82	801.65	804.50	807.35	810.21	813.06

Densidad (Kg./m³) de Agua desde 0 hasta 100 °C

DENSITIES OF PURE SUBSTANCES

UNITS CONVERSIONS

For this subsection, the following units conversions are applicable:

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32.$$

To convert kilograms per cubic meter to pounds per cubic foot, multiply by 0.06243.

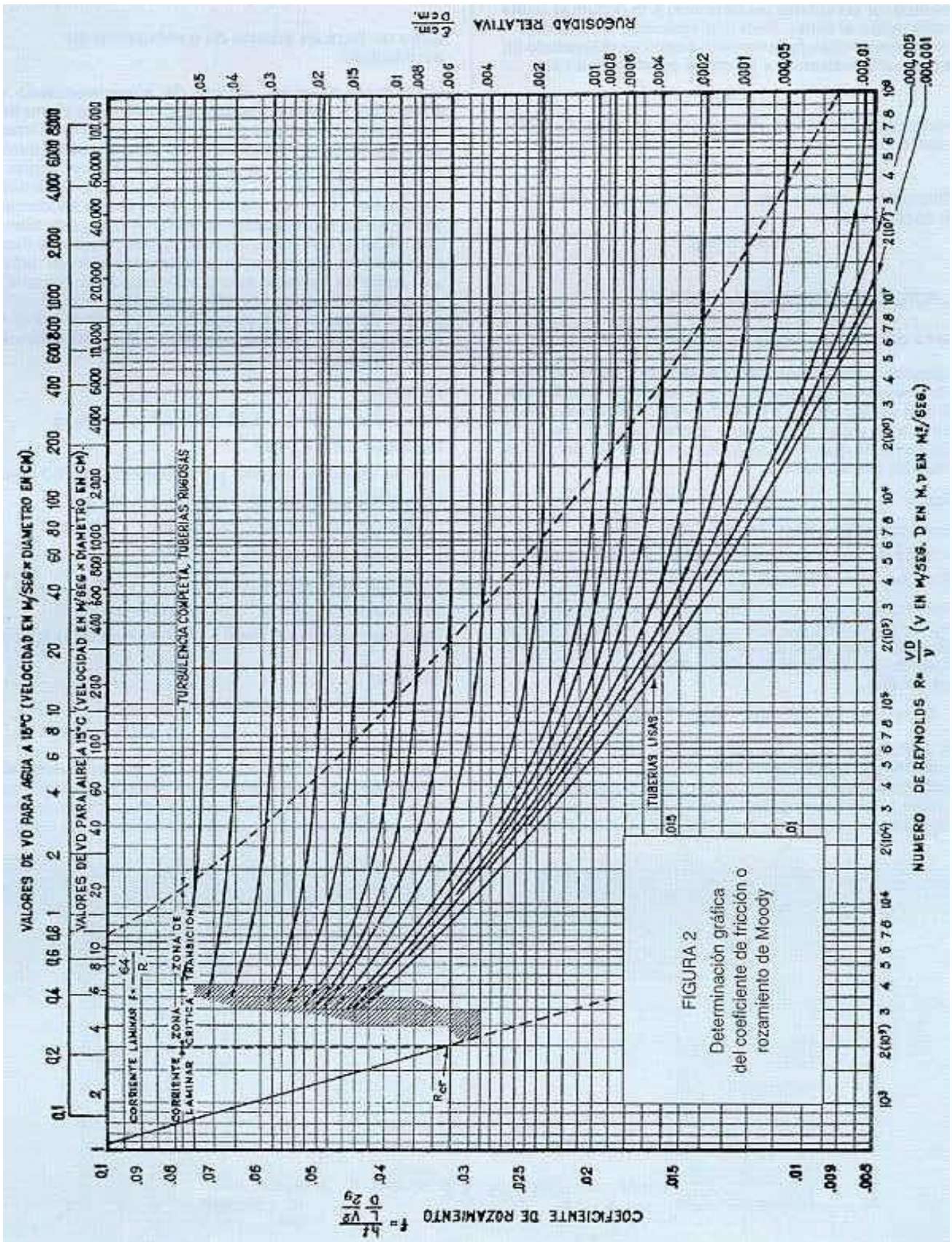
TABLE 2-28 Density (kg/m³) of Water from 0 to 100°C*

t °C	ρ, kg/m ³									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	999.839	999.846	999.852	999.859	999.865	999.871	999.877	999.882	999.888	999.893
1	999.898	999.903	999.908	999.913	999.917	999.921	999.925	999.929	999.933	999.936
2	999.940	999.943	999.946	999.949	999.952	999.954	999.956	999.959	999.961	999.962
3	999.964	999.965	999.967	999.968	999.969	999.970	999.971	999.971	999.972	999.972
4	999.972	999.972	999.972	999.971	999.971	999.970	999.969	999.968	999.967	999.965
5	999.964	999.962	999.960	999.958	999.956	999.954	999.951	999.949	999.946	999.943
6	999.940	999.937	999.934	999.930	999.926	999.923	999.919	999.915	999.910	999.906
7	999.901	999.897	999.892	999.887	999.882	999.877	999.871	999.866	999.860	999.854
8	999.848	999.842	999.835	999.829	999.823	999.816	999.809	999.802	999.795	999.788
9	999.781	999.773	999.765	999.758	999.750	999.742	999.734	999.725	999.717	999.708
10	999.699	999.691	999.682	999.672	999.663	999.654	999.644	999.635	999.625	999.615
11	999.605	999.595	999.584	999.574	999.563	999.553	999.542	999.531	999.520	999.509
12	999.497	999.485	999.474	999.462	999.451	999.439	999.428	999.414	999.402	999.389
13	999.377	999.364	999.351	999.338	999.325	999.312	999.299	999.285	999.272	999.258
14	999.244	999.230	999.216	999.202	999.188	999.173	999.159	999.144	999.129	999.114
15	999.099	999.084	999.069	999.054	999.038	999.022	999.007	998.991	998.975	998.958
16	998.943	998.926	998.910	998.894	998.877	998.860	998.843	998.826	998.809	998.792
17	998.775	998.757	998.740	998.722	998.704	998.686	998.668	998.650	998.632	998.614
18	998.595	998.577	998.558	998.539	998.520	998.502	998.482	998.463	998.444	998.425
19	998.405	998.385	998.365	998.345	998.325	998.305	998.285	998.265	998.245	998.224
20	998.204	998.182	998.162	998.141	998.120	998.099	998.078	998.057	998.035	998.014
21	997.992	997.971	997.949	997.927	997.905	997.883	997.860	997.838	997.816	997.793
22	997.770	997.747	997.725	997.702	997.679	997.656	997.632	997.609	997.585	997.562
23	997.538	997.515	997.491	997.467	997.443	997.419	997.394	997.370	997.345	997.321
24	997.296	997.272	997.247	997.222	997.197	997.172	997.146	997.121	997.096	997.070
25	997.045	997.019	996.993	996.967	996.941	996.915	996.889	996.862	996.836	996.810
26	996.783	996.757	996.730	996.703	996.676	996.649	996.622	996.595	996.568	996.540
27	996.513	996.485	996.458	996.430	996.402	996.374	996.346	996.318	996.290	996.262
28	996.233	996.205	996.176	996.148	996.119	996.090	996.061	996.032	996.003	995.974
29	995.945	995.915	995.886	995.856	995.827	995.797	995.767	995.737	995.707	995.677
30	995.647	995.617	995.586	995.556	995.525	995.495	995.464	995.433	995.403	995.372
31	995.341	995.310	995.278	995.247	995.216	995.184	995.153	995.121	995.090	995.058
32	995.025	994.997	994.962	994.930	994.898	994.865	994.833	994.801	994.768	994.735
33	994.703	994.670	994.637	994.604	994.571	994.538	994.505	994.472	994.438	994.405
34	994.371	994.338	994.304	994.270	994.236	994.202	994.168	994.134	994.100	994.066
35	994.032	993.997	993.963	993.928	993.893	993.859	993.824	993.789	993.754	993.719
36	993.684	993.648	993.613	993.578	993.543	993.507	993.471	993.436	993.400	993.364
37	993.328	993.292	993.256	993.220	993.184	993.148	993.111	993.075	993.038	993.002
38	992.965	992.928	992.891	992.855	992.818	992.780	992.743	992.706	992.669	992.631
39	992.594	992.557	992.519	992.481	992.444	992.406	992.368	992.330	992.292	992.254
40	992.215	992.177	992.139	992.100	992.062	992.023	991.985	991.946	991.907	991.868
41	991.830	991.791	991.751	991.712	991.673	991.634	991.594	991.555	991.515	991.476
42	991.435	991.396	991.357	991.317	991.277	991.237	991.197	991.157	991.116	991.076
43	991.035	990.995	990.955	990.914	990.873	990.833	990.792	990.751	990.710	990.669
44	990.628	990.587	990.546	990.504	990.463	990.421	990.380	990.338	990.297	990.255
45	990.213	990.171	990.129	990.087	990.045	990.003	989.961	989.919	989.876	989.834
46	989.792	989.749	989.706	989.664	989.621	989.578	989.535	989.492	989.449	989.406
47	989.363	989.320	989.276	989.233	989.190	989.146	989.103	989.059	989.015	988.971
48	988.928	988.884	988.840	988.795	988.752	988.707	988.663	988.619	988.574	988.530
49	988.485	988.441	988.396	988.352	988.307	988.262	988.217	988.172	988.127	988.082

t, °C	ρ, kg/m ³									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
50	988.037	987.902	987.946	987.901	987.844	987.810	987.764	987.710	987.673	987.627
51	987.581	987.536	987.490	987.444	987.398	987.351	987.305	987.259	987.213	987.166
52	987.120	987.073	987.027	986.980	986.933	986.886	986.840	986.793	986.746	986.699
53	986.652	986.604	986.557	986.510	986.463	986.415	986.368	986.320	986.272	986.225
54	986.177	986.129	986.081	986.033	985.985	985.937	985.889	985.841	985.793	985.745
55	985.696	985.648	985.600	985.551	985.502	985.454	985.405	985.356	985.307	985.258
56	985.219	985.169	985.111	985.062	985.013	984.963	984.914	984.865	984.815	984.766
57	984.716	984.666	984.617	984.567	984.517	984.467	984.417	984.367	984.317	984.267
58	984.217	984.167	984.116	984.066	984.016	983.965	983.914	983.864	983.813	983.762
59	983.712	983.661	983.610	983.559	983.508	983.457	983.406	983.354	983.303	983.252
60	983.200	983.149	983.097	983.046	982.994	982.943	982.891	982.839	982.787	982.735
61	982.683	982.631	982.579	982.527	982.475	982.422	982.370	982.318	982.266	982.213
62	982.160	982.108	982.055	982.002	981.949	981.897	981.844	981.791	981.738	981.685
63	981.631	981.578	981.525	981.472	981.418	981.365	981.311	981.258	981.204	981.151
64	981.097	981.043	980.989	980.935	980.881	980.827	980.773	980.719	980.665	980.611
65	980.557	980.502	980.443	980.383	980.329	980.284	980.230	980.175	980.120	980.065
66	980.011	979.956	979.901	979.846	979.791	979.736	979.680	979.625	979.570	979.515
67	979.459	979.403	979.348	979.293	979.237	979.181	979.125	979.070	979.014	978.958
68	978.902	978.846	978.790	978.734	978.678	978.622	978.565	978.509	978.452	978.396
69	978.339	978.283	978.226	978.170	978.113	978.056	977.999	977.942	977.885	977.828
70	977.771	977.714	977.657	977.600	977.543	977.485	977.428	977.370	977.313	977.255
71	977.198	977.140	977.082	977.025	976.967	976.909	976.851	976.793	976.735	976.677
72	976.619	976.561	976.503	976.444	976.386	976.327	976.269	976.211	976.152	976.093
73	976.035	975.976	975.917	975.858	975.800	975.741	975.682	975.623	975.564	975.504
74	975.445	975.386	975.327	975.267	975.208	975.148	975.089	975.029	974.970	974.910
75	974.850	974.791	974.731	974.671	974.611	974.551	974.491	974.431	974.371	974.311
76	974.250	974.190	974.130	974.069	974.009	973.948	973.888	973.827	973.767	973.706
77	973.645	973.584	973.524	973.463	973.402	973.341	973.280	973.218	973.157	973.096
78	973.025	972.974	972.912	972.851	972.789	972.728	972.666	972.605	972.543	972.481
79	972.419	972.358	972.296	972.234	972.172	972.110	972.048	971.986	971.923	971.861
80	971.799	971.737	971.674	971.612	971.549	971.487	971.424	971.361	971.299	971.236
81	971.173	971.110	971.048	970.985	970.922	970.859	970.795	970.732	970.669	970.606
82	970.543	970.479	970.416	970.353	970.289	970.225	970.162	970.098	970.035	969.971
83	969.907	969.843	969.779	969.715	969.652	969.587	969.523	969.459	969.395	969.331
84	969.267	969.202	969.138	969.073	969.009	968.944	968.880	968.815	968.751	968.686
85	968.621	968.556	968.491	968.427	968.362	968.297	968.232	968.166	968.101	968.036
86	967.971	967.906	967.840	967.775	967.709	967.644	967.578	967.513	967.447	967.381
87	967.316	967.250	967.184	967.118	967.052	966.986	966.920	966.854	966.788	966.722
88	966.656	966.589	966.523	966.457	966.390	966.324	966.257	966.191	966.124	966.057
89	965.991	965.924	965.857	965.790	965.723	965.656	965.589	965.522	965.455	965.388
90	965.321	965.254	965.187	965.119	965.052	964.984	964.917	964.849	964.782	964.714
91	964.647	964.579	964.511	964.443	964.375	964.308	964.240	964.172	964.104	964.036
92	963.967	963.899	963.831	963.763	963.694	963.626	963.558	963.489	963.421	963.352
93	963.284	963.215	963.146	963.077	963.009	962.940	962.871	962.802	962.733	962.664
94	962.995	962.926	962.857	962.787	962.718	962.649	962.580	962.510	962.441	962.371
95	961.902	961.832	961.762	961.693	961.623	961.553	961.483	961.414	961.344	961.274
96	961.204	961.134	961.064	960.993	960.923	960.853	960.783	960.712	960.642	960.572
97	960.501	960.431	960.360	960.289	960.219	960.148	960.077	960.006	959.936	959.865
98	959.794	959.723	959.652	959.581	959.510	959.438	959.367	959.296	959.225	959.153
99	959.082	959.010	958.939	958.867	958.795	958.724	958.652	958.581	958.509	958.431
100	958.365									

3.5.4. APÉNDICE C4

FACTOR DE FRICCIÓN



3.6. APÉNDICE D

PREGUNTAS FRECUENTES

¿Cuál es la diferencia entre cabeza (H) y presión?

La cabeza no es equivalente a la presión. La cabeza es un término que tiene unidades de longitud (metros, pie, etc.). En la ecuación de Bernoulli cada uno de los términos es un término de cabeza:

h : Cabeza de elevación

p/γ : Cabeza de presión.

$v^2/2g_c$: Cabeza de velocidad.

La cabeza o carga es igual a la energía específica con unidades: lbm-pie/lbf (S. Inglés). De esta manera la cabeza de elevación es la energía potencial específica, la cabeza de presión, la energía de presión específica y la cabeza de velocidad es la energía cinética específica ("específico" significa por unidad de peso).

$$h + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g_c} = E = cte$$

Entonces, ¿Cuál es la diferencia? : Cabeza es energía por unidad de masa mientras que la presión es una fuerza por unidad de área.

¿Cómo puede la misma bomba satisfacer diferentes requerimientos de caudal para un mismo sistema?

Si una bomba es dimensionada para un flujo y carga mayor que la requerida para las condiciones presentes, entonces una válvula manual a la salida de la bomba puede ser usada para regular el flujo a los requerimientos actuales. De esta manera, posteriormente el flujo puede ser incrementado simplemente abriendo una válvula. Esto sin embargo ocasiona pérdidas de energía por lo que un variador de velocidad debe ser considerado.

¿Qué información es requerida para determinar la cabeza total de una bomba?

El caudal de circulación a través del sistema.

Los parámetros físicos del sistema: longitud y diámetro de tubería, tipo de conexiones y accesorios, etc.

Equipos en el sistema: válvulas de control, filtros, etc.

Propiedades del fluido: temperatura, viscosidad y gravedad específica.

¿Qué es el NPSH?

La carga de succión neta positiva (NPSH: net positive suction head) es la carga en la pestaña de succión de la bomba menos la presión de vapor convertida a altura de columna de fluido. El NPSH es siempre positivo, debido a que es expresado en términos de altura de columna de fluido absoluto. El término "neto" se refiere a la cabeza actual en la pestaña de succión de la bomba y no a la cabeza estática. El NPSH es independiente de la densidad del fluido así como todos los términos de cabeza.

¿Cuál es la diferencia entre el NPSH disponible y el NPSH requerido?

El NPSH disponible puede ser calculado para una situación específica y depende de la presión atmosférica, la pérdida por fricción entre la entrada del sistema y la pestaña de succión, etc. El NPSH requerido es entregada por el fabricante y depende de la cabeza, flujo y tipo de bomba. El NPSH disponible debe ser siempre mayor que el NPSH requerido por la bomba para que funcione apropiadamente.

¿Cuál es el propósito de instalar un variador de velocidad?

Todos los sistemas requieren un control de flujo. Los requerimientos de salida de una planta pueden cambiar causando una variación en la demanda de flujo y de esta manera los sistemas dentro del proceso deben estar dispuestos a modificar su flujo de salida. Para lograr esto, las bombas son dimensionadas para el máximo caudal anticipado. Una manera frecuente para reducir el flujo de salida es teniendo líneas de recirculación, otro método es tener una válvula en la línea de descarga lo cual reduce el flujo de salida cuando es regulada. Aunque estos métodos trabajen bien, hay un consumo extra de energía por funcionar un sistema que esta sobredimensionado para la demanda de flujo normal. Una solución a este gasto de energía es usando un variador de velocidad. Para una nueva instalación esta alternativa debería ser considerada, esto provee el mismo control de flujo como un sistema con válvulas sin derroche de energía.

¿Cómo trabaja un variador de velocidad?

La cabeza y el flujo producido por una bomba es el resultado de una fuerza centrífuga impartido al fluido por el rodete. La fuerza centrífuga es directamente proporcional al diámetro del rodete y a la velocidad de rotación. Nosotros podemos afectar la fuerza centrífuga si cambiamos el diámetro del rodete, lo cual es difícil, o variando la velocidad del rodete lo cual es posible si usamos un variador de velocidad. La familia de curvas de funcionamiento mostradas en los distintos diagramas de bombas corresponde a una velocidad constante con varios tamaños de rodete; si nosotros mantenemos constante el tamaño del rodete y variamos la velocidad de la bomba, un conjunto de curvas para diferentes velocidades es obtenido. De esta manera cuando un variador de velocidad es usado, solamente el flujo y la cabeza de la bomba requerida es producida resultando en un apropiado consumo de energía.

¿Cuál es el mejor punto de eficiencia (B.E.P)?

El B.E.P (Best efficiency point) es el punto de más alta eficiencia de la bomba. Todos los puntos a la derecha o izquierda del BEP tienen una baja eficiencia, el rodete está sujeto a fuerzas no simétricas cuando opera fuera del BEP. Estas fuerzas se manifiestan como vibración dependiendo de la velocidad y construcción de la bomba. El área más estable es cerca o en el mismo BEP.

Un sistema sin bomba, ¿ tiene una cabeza total?

No, la cabeza o carga total es un término usado solamente para una bomba.

¿Qué es el número de Reynolds?

El número de Reynolds es un número no – dimensional, que combina 2 características importantes del fluido (viscosidad y densidad) además de 2 características del sistema (el diámetro y la velocidad). Uno de los muchos usos de este número es para establecer si el flujo es laminar o turbulento.

$$N_{RE} < 2400 \quad \text{Flujo laminar}$$

$N_{RE} > 4000$ Flujo turbulento

El número de Reynolds es inversamente proporcional a la viscosidad cinemática y proporcional a la velocidad promedio y al diámetro interior de tubería. La viscosidad cinemática (ν) es la razón entre la viscosidad absoluta y la densidad de fluido.

$$N_{RE} = \frac{D \times \bar{U} \times \rho}{\mu} = \frac{D \times \bar{U}}{\nu}$$

3.7. APÉNDICE E

DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

Ethernet conmutadas ofrecen a los usuarios en la industria. El empleo del protocolo abierto Modbus con TCP proporciona una solución para la gestión desde unos pocos a decenas de miles de nodos.

Prestaciones de un sistemas MODBUS TCP/IP

Las prestaciones dependen básicamente de la red y el hardware. Si se usa MODBUS® TCP/IP sobre Internet, las prestaciones serán las correspondientes a tiempos de respuesta en Internet, que no siempre serán las deseables para un sistema de control. Sin embargo pueden ser suficientes para la comunicación destinada a depuración y mantenimiento, evitando así desplazamientos al lugar de la instalación.

Si disponemos de una Intranet de altas prestaciones con conmutadores Ethernet de alta velocidad, la situación es totalmente diferente.

En teoría, MODBUS® TCP/IP, transporta datos hasta $250/(250+70+70)$ o alrededor de un 60% de eficiencia cuando se transfieren registros en bloque, y puesto que 10 Base T proporciona unos 1.25 Mbps de datos, la velocidad de transferencia de información útil será:

$$1.25M / 2 * 60\% = 360000 \text{ registros por Segundo}$$

En 100BaseT la velocidad es 10 veces mayor.

Esto suponiendo que se están empleando dispositivos que pueden dar servicio en la red Ethernet aprovechando todo el ancho de banda disponible.

En los ensayos prácticos realizados por by Schneider Automation utilizando un PLC Ethernet Momentum TM con entradas/salidas Ethernet, demostró que se podían escasear hasta 4000 bloques I/O por segundo, cada uno con hasta 16 I/O analógicas de 12-bits o 32 I/O digitales (se pueden actualizar 4 bases por milisegundo). Aunque estos resultados están por debajo del límite teórico calculado anteriormente, pero debemos recordar que el dispositivo se probó con una CPU de baja velocidad (80186 a 50MHz con 3 MIPS).

Además, el abaratamiento de los ordenadores personales y el desarrollo de redes Ethernet cada vez más rápidas, permite elevar las velocidades de funcionamiento, a diferencia de otros buses que están inherentemente limitados una sola velocidad.

¿Cómo podemos comunicar dispositivos MODBUS existentes sobre MODBUS TCP/IP?

Puesto que MODBUS® TCP/IP es simplemente un protocolo MODBUS® encapsulado en TCP, es muy sencillo comunicar dispositivos MODBUS® existentes sobre MODBUS® TCP/IP. Para ello se requiere una pasarela que convierta el protocolo MODBUS a MODBUS TCP/IP.

3.8. APÉNDICE F

DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO PID DEL PAC

CONTROLADORES

En un lazo de control cerrado, el controlador es el dispositivo que compara el valor medido (valor actual) con el valor deseado y a continuación calcula y emite una variable manipulada. La sección anterior mostraba que los sistemas controlados pueden tener respuestas muy diferentes. Hay sistemas que responden rápidamente, sistemas que responden muy lentamente y sistemas con propiedades de almacenamiento.

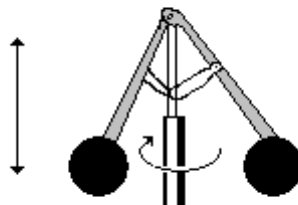
Para cada uno de estos sistemas controlados, los cambios en la variable manipulada y , deben realizarse de forma diferente. Por esta razón hay varios tipos de controladores, cada uno con su propia respuesta.

Respuesta al control

La respuesta al control es la forma en la que el controlador deduce la variable manipulada a partir de la desviación del sistema. Hay dos categorías muy amplias: controladores de acción continua y controladores de acción discontinua.

Controlador de acción Continua

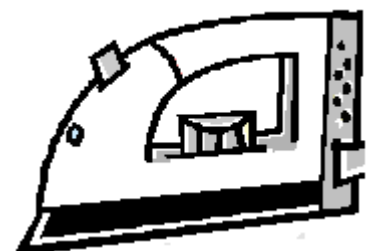
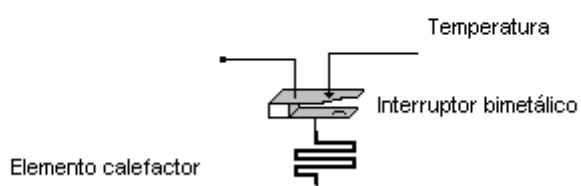
La variable manipulada de un controlador de acción discontinua, cambia continuamente según la desviación del sistema. Los controladores de este tipo dan el valor de la desviación del sistema como una señal de actuación directa para el elemento de manipulación. Uno de este tipo es el controlador centrífugo. Cambia su momento de inercia dependiendo de la velocidad y con ello, tiene una influencia directa sobre la velocidad.



Controlador por acción discontinua

La variable manipulada en un controlador de acción discontinua sólo puede modificarse en pasos establecidos. El más conocido de los controladores de acción discontinua es el controlador de dos puntos, que sólo puede asumir las condiciones "encendido" o "apagado".

Un ejemplo es el termostato de una plancha. Deja circular o interrumpe la corriente eléctrica para el elemento de calentamiento, según sea la temperatura.



Esta sección trata solamente con los controladores de acción continua ya que estos se utilizan más frecuentemente en la tecnología de la automatización. Además, los fundamentos de la tecnología de control en lazo cerrado pueden explicarse mejor utilizando el controlador de acción continua como ejemplo.

Respuesta temporal de un controlador

Cada sistema controlado tiene su propio tiempo de respuesta. Este tiempo de respuesta depende del diseño de la máquina o sistema y no puede ser influido por el ingeniero de control. La respuesta temporal del sistema controlador debe establecerse experimentalmente o por análisis teóricos. El controlador es también un sistema y tiene su propio tiempo de respuesta. Para alcanzar unas buenas prestaciones del control, el ingeniero de control debe especificar esta respuesta temporal.

La respuesta temporal de un controlador de acción continua es determinada por tres componentes:

Componente proporcional (componente P)

Componente integral (componente I)

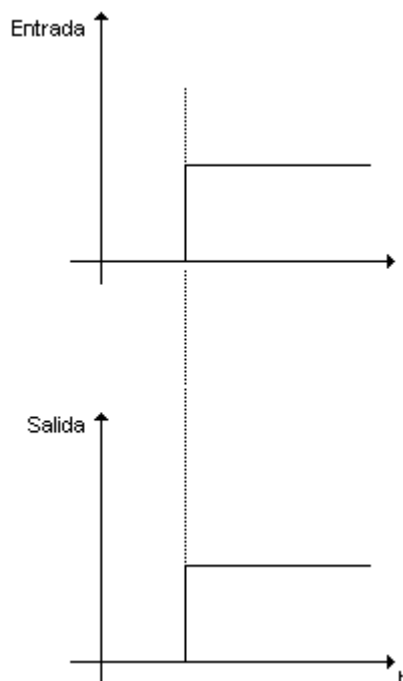
Componente diferencial (componente D)

Las designaciones citadas indican como se calcula la variable manipulada a partir de la desviación del sistema.

Controlador Proporcional

En el controlador proporcional, la salida de la variable manipulada es proporcional a la desviación del sistema.

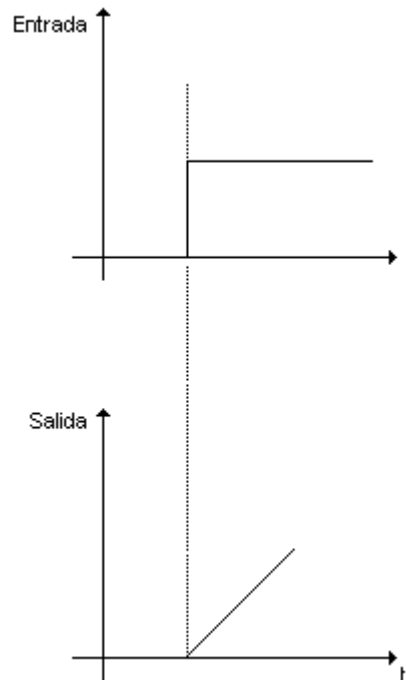
Si la desviación del sistema es grande, el valor de la variable manipulada es grande. Si la desviación del sistema es pequeña, el valor de la variable manipulada es pequeño. Ya que la variable manipulada es proporcional a la desviación del sistema, la variable manipulada sólo está presente si hay una desviación en el sistema. Por esta razón, un controlador proporcional sólo, no puede alcanzar una desviación del sistema de cero. En este caso no estará presente la variable manipulada y por lo tanto no habría control.



Controlador de acción integral

Un controlador de acción integral añade la desviación del sistema respecto al tiempo, es decir, está integrando.

Por ejemplo, si en un sistema hay una desviación constante, el valor de la variable manipulada sigue incrementándose, ya que depende de la suma respecto al tiempo. Sin embargo, a medida que el valor de la variable manipulada sigue creciendo, la desviación del sistema decrece. Este proceso continua hasta que la desviación del sistema es cero. Por ello, para evitar desviaciones permanentes del sistema se utilizan controladores de acción integral o componentes integrales en los controladores.



Controlador de acción Derivativa

El componente diferencial evalúa la velocidad con que se produce la desviación del sistema. A esto se le llama también diferenciación de la desviación del sistema. Si la desviación del sistema cambia rápidamente, la variable manipulada es grande. Si la desviación del sistema cambia lentamente, el valor de la variable manipulada, es pequeño. Un controlador con sólo un componente D no tendría sentido, ya que la variable manipulada solamente estaría presente durante un cambio en la desviación del sistema.

Un controlador puede consistir en un solo componente, por ejemplo, un controlador P o un controlador I. Un controlador también puede ser una combinación de varios componentes la forma más común de un controlador de acción continua es un controlador PID.

DETALLES TÉCNICOS DE LOS CONTROLADORES

En la tecnología de automatización, los controladores son casi exclusivamente eléctricos o electrónicos. Aunque en algunos libros de texto se muestran controladores mecánicos y neumáticos, raramente se hallan en los sistemas industriales modernos.

Los controladores eléctricos y electrónicos trabajan con señales de entrada y salida eléctricas. Los transductores son sensores que convierten las variables físicas en tensión o corriente. Los elementos de manipulación y elementos motrices funcionan por salidas de corriente o de tensión. Teóricamente

no hay límite en el margen de estas señales. En la práctica, sin embargo se han establecido márgenes estándar para las señales de los controladores.

Por tensión	010V	-10.....+10V
Por corriente	0.....20 mA	420 mA

El procesamiento interno de las señales en el controlador es o bien analógico con circuitos amplificadores operacionales o digital con sistemas de microprocesadores.

En los circuitos con amplificadores operacionales, las tensiones y corrientes se procesan directamente en los módulos apropiados.

En el procesamiento digital, las señales analógicas son primero convertidas en señales digitales. Después del cálculo de la variable manipulada en el microprocesador, el valor digital es de nuevo convertido en un valor analógico.

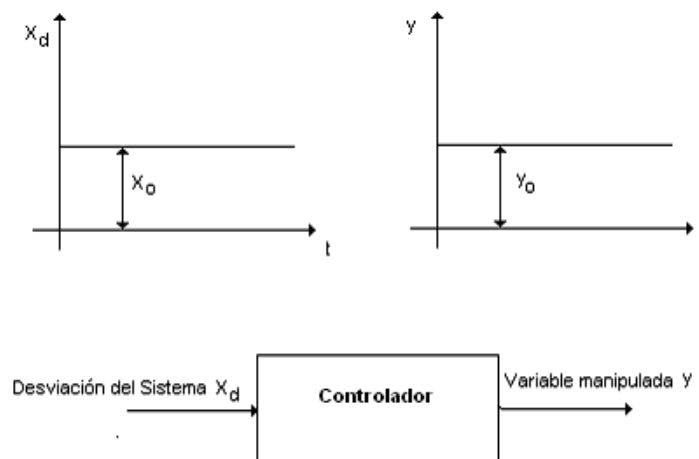
Aunque teóricamente estos dos tipos de procesamiento tienen que tratarse de forma muy diferente, en la práctica no hay diferencia con los controladores clásicos.

MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONTROLADOR

Esta sección explica la respuesta al control de varios tipos de controlador y el significado de sus parámetros. Como en la explicación de los sistemas controlados, para esta descripción se utiliza la respuesta a un escalón. La variable de entrada al controlador es la desviación del sistema es decir la diferencia entre el valor deseado y el valor real de la variable controlada.

El controlador Proporcional

En el caso del controlador proporcional, la señal de accionamiento es proporcional a la desviación del sistema. Si la desviación del sistema es grande, el valor de la variable manipulada es grande. Si la desviación del sistema es pequeña, el valor de la variable manipulada es pequeño. La respuesta temporal del controlador P en estado ideal, es exactamente la misma que la variable de entrada.



Respuesta temporal de un controlador P

La relación entre la variable manipulada y la desviación del sistema es el coeficiente proporcional o la ganancia proporcional. Estas se designan por x_p , k_p o similares. Estos valores pueden establecerse en un controlador P. Determinan cómo se calcula la variable manipulada a partir de la desviación del sistema. La ganancia proporcional se calcula como:

$$K_p = y_0/x_0$$

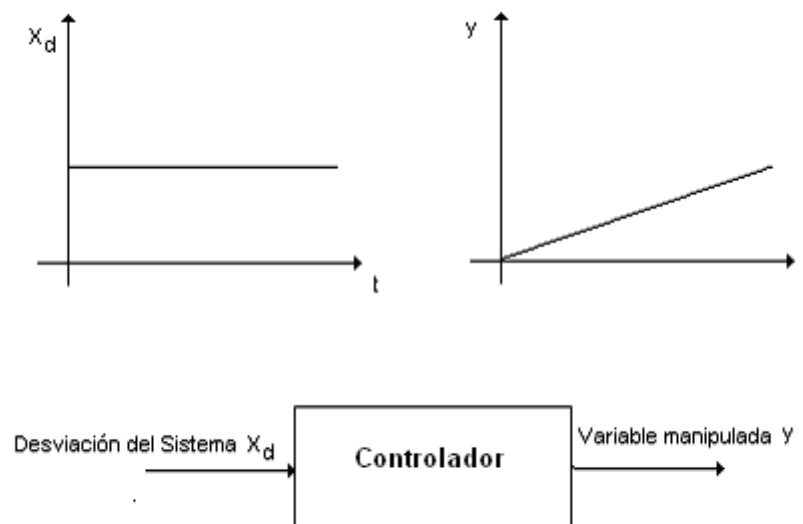
Si la ganancia proporcional es demasiado elevada, el controlador provocará grandes cambios en el elemento manipulador ante ligeras desviaciones de la variable controlada. Si la ganancia proporcional es demasiado pequeña, la respuesta del controlador será demasiado débil lo cual producirá un control no satisfactorio.

Un escalón en la desviación del sistema provocará también un escalón en la variable de salida. El tamaño de este escalón depende de la ganancia proporcional. En la práctica, los controladores a menudo tienen un tiempo de respuesta, es decir, el cambio en la variable manipulada no se realiza hasta transcurrido un cierto tiempo después del cambio en la desviación del sistema. En controladores eléctricos, este retardo del tiempo normalmente puede ajustarse.

Una propiedad importante del controlador P es que como resultado de la rígida relación entre la desviación del sistema y la variable manipulada, siempre queda alguna desviación del sistema. El controlador P no puede compensar esta desviación remanente del sistema.

El controlador I

El controlador integral añade a la desviación del sistema respecto al tiempo. Integra la desviación del sistema. Como resultado, la velocidad de cambio (y no su valor) de la variable manipulada es proporcional a la desviación del sistema. Esto se demuestra por la respuesta a un escalón del controlador I : si la desviación del sistema aumenta repentinamente, la variable manipulada aumenta continuamente. Cuanto mayor sea la desviación del sistema, tanto mayor es el incremento en la variable manipulada.



Respuesta temporal de un controlador I

Por esta razón, el controlador I no es adecuado para una compensación total de la desviación remanente del sistema. Si la desviación del sistema es grande, la variable manipulada cambia

rápidamente. Como resultado, la desviación del sistema se vuelve mas pequeña y la variable manipulada cambia más lentamente hasta alcanzar el equilibrio.

No obstante, un puro controlador I es inadecuado para muchos sistemas controlados, ya que, o bien causa oscilaciones del lazo cerrado o responde con demasiada lentitud a las desviaciones del sistema, en aquellos sistemas con tiempo de respuesta largos. En la práctica raramente se utilizan controladores I puros.

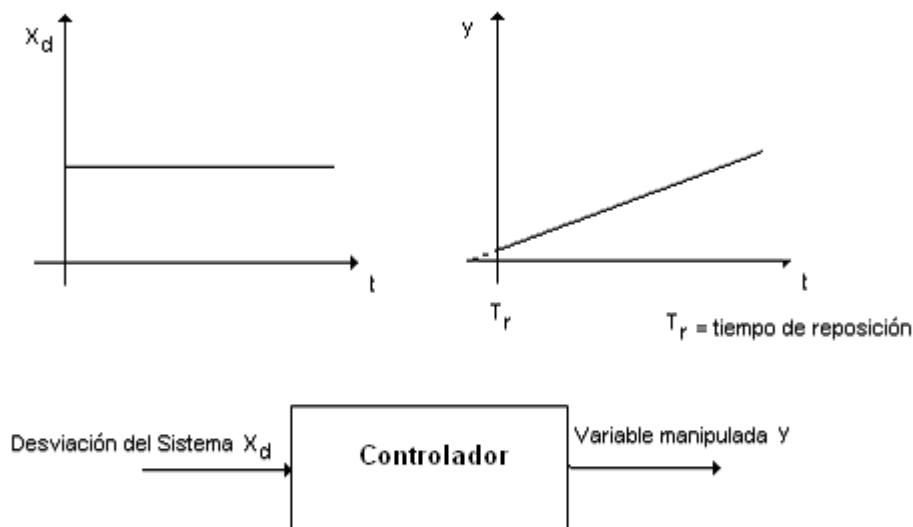
El controlador PI

El controlador PI es una combinación del comportamiento del controlador P y del controlador I. Esto permite combinar las ventajas de ambos tipos de controlador: rápida reacción y compensación de la desviación remanente del sistema. Por esta razón, el controlador PI puede utilizarse para un gran número de sistemas. Además de la ganancia proporcional, el controlador PI tiene un valor característico adicional que indica el comportamiento del componente I: el tiempo de reposición (tiempo de acción integral).

Tiempo de reposición

El tiempo de reposición es una medida de la rapidez con la que el controlador repone la variable manipulada (además de la variable manipulada generada por el componente P)

Para compensar una desviación remanente del sistema. En otras palabras: el tiempo de reposición es el periodo por el cual el controlador PI es más rápido que el puro controlador I . El comportamiento se muestra por la curva del tiempo de respuesta del controlador PI.



Respuesta temporal del Controlador PI

El tiempo de reposición es función de la ganancia proporcional k_p ya que la velocidad de cambio de la variable manipulada es más rápida para una mayor ganancia. En el caso de un tiempo de reposición largo, el efecto de la componente integral es pequeño, ya que la suma de la desviación del sistema es lenta. El efecto del componente integral es grande si el tiempo de reposición es corto.

La efectividad del controlador PI aumenta con el aumento de la ganancia k_p y aumenta en el componente I (es decir, disminuye en tiempo de reposición). Sin embargo si estos dos valores son demasiado extremos, la intervención del controlador es demasiado brusca y todo el lazo de control empieza a oscilar. Entonces la respuesta no es estable . El punto en que la oscilación empieza es diferente para cada sistema controlado y debe ser determinado durante la puesta punto.

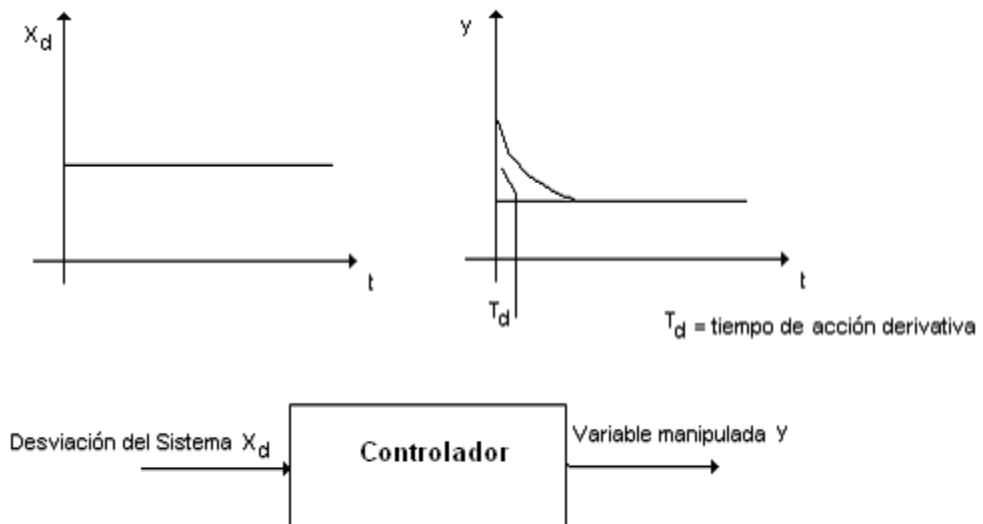
El controlador PD

El controlador PD consiste en una combinación de acción proporcional y acción diferencial. La acción diferencial describe la velocidad de cambio de la desviación del sistema.

Cuanto mayor sea esta velocidad de cambio es decir, la amplitud de la desviación del sistema en un determinado periodo de tiempo, mayor será el componente diferencial. Además de la respuesta del controlador al puro control P, las grandes desviaciones del sistema se encuentran con respuestas muy cortas, pero grande. Esto se expresa con el tiempo de acción derivativa (rate time).

Tiempo de acción derivativa

El tiempo de acción derivativa T_d es una medida de que tan rápido compensa un controlador PD un cambio en la variable controlada, en relación con un controlador P puro. Un salto en la variable manipulada compensa una gran parte de la desviación del sistema antes de que un puro controlador P hubiera alcanzado este valor. Por lo tanto, el componente P aparece para responder más pronto por un periodo igual al tiempo de acción derivativa.



Respuesta temporal del Controlador PD

En el controlador PD, raramente se utiliza, hay dos desventajas. Primeramente, no puede compensar completamente las desviaciones remanentes del sistema. En segundo lugar, un componente D ligeramente excesivo, lleva rápidamente a la inestabilidad del lazo de control. Entonces el sistema controlado tiende a oscilar.

El Controlador PID

Además de las propiedades del controlador PI, el controlador PID se complementa con el componente D. Esto tiene en cuenta la velocidad de cambio en la desviación del sistema.

Si la desviación del sistema es grande, el componente D asegura un cambio momentáneo extremadamente elevado en la variable manipulada. Mientras la influencia de la componente D cae inmediatamente, la influencia de la componente I aumenta lentamente. Si el cambio en la desviación del sistema es ligero, el comportamiento del componente D es despreciable.

Este comportamiento tiene la ventaja de una respuesta más rápida y una inmediata compensación de la desviación del sistema en el caso de cambio o variables perturbadoras. La desventaja es que el lazo de control es mucho más propenso a oscilar y que por lo tanto los ajustes son más difíciles de realizar.

M_n : es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-esimo
 K_c : es la ganancia del lazo
 E_n : es el valor del error de regulación en el muestreo n-esimo
 E_{n-1} : es el valor previo del error de regulación (en el muestreo (n-1)-esimo)
 K_I : es la constante proporcional del término integral
 $M_{inicial}$: es el valor inicial de la salida de lazo
 K_D : es la constante proporcional del término diferencial

Para esta ecuación, el término integral se muestra en función de todos los términos del error, desde el primer muestreo actual. El término diferencial es una función del muestreo actual y del muestreo previo; mientras que el muestreo proporcional solo es función del muestreo actual. En un sistema digital no es práctico almacenar todos los muestreos del error, además de no ser necesario.

Como un sistema digital debe calcular el valor de salida cada vez que se muestre el error, comenzando por el primer muestreo, solo es necesario almacenar el valor previo del error y el valor previo del término integral. Debido a la naturaleza repetitiva de la solución basada en un sistema digital es posible simplificar la ecuación a resolver en cada muestreo. La ecuación simplificada es:

$$M_n = K_c * e_n + K_I * e_n + MX + K_D * (e_n - e_{n-1})$$

Salida Término Proporcional Término integral Término diferencial

Donde:

M_n : es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-esimo
 K_c : Es la ganancia del lazo
 E_n : Es el valor de error de regulación en el muestreo n-esimo
 E_{n-1} : Es el valor previo de regulación en el muestreo (n-1)-esimo
 K_i : Es la constante proporcional del término integral
 MX : Es el valor previo del término integral (en el muestreo (n-1)esimo)
 KD : Es la constante proporcional del término diferencial

Para calcular el valor de salida del lazo, la CPU utiliza una forma modificada de la ecuación simplificada anterior. Esta ecuación modificada es comp. La siguiente:

$$M_n = MP_n + MI_n + MD_n$$

Salida Término Proporcional Término integral Término Diferencial

Donde:

M_n : es el valor de salida del lazo calculado en el muestreo n-esimo
 MP_n : es el valor del término proporcional de salida del lazo en el muestreo n-esimo
 MI_n : es el valor del término integral de salida del lazo en el muestreo n-esimo
 MD_n : es el valor del término diferencial de salida del lazo en el muestreo n-esimo

3.9. APÉNDICE G

HOJAS TECNICAS