

T
629.8043
M552



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**“Diseño y Construcción de una Planta
de Procesos lazos de Temperatura,
Flujo y nivel”**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO EN MECANICA

Presentado por:
Edgar Marcelo Mera Vásquez



Guayaquil

Año

Ecuador

1995



AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral , por haberme dado la oportunidad de culminar mi etapa profesional.

*Al Ing. **ERNESTO MARTÍNEZ L** , Director de la presente Tesis, por su acertada ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.*

Un agradecimiento muy sincero y especial a mis Padres , quienes confiaron en mi capacidad y me apoyaron en todo momento en el desarrollo de mi vida estudiantil.

DEDICATORIA

A la memoria de mis Abuelitos

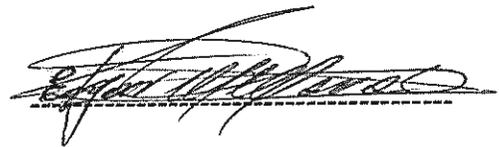
A mis Padres

A mis Hermanos

DECLARACIÓN EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos , ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponde exclusivamente; y , el patrimonio intelectual de la misma , a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL " .

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edgar Mera', written over a horizontal dashed line.

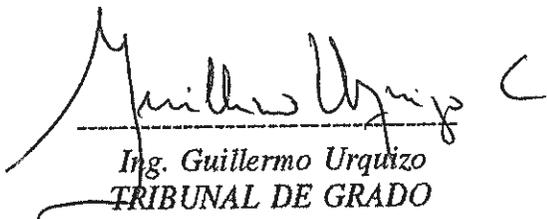
Edgar Marcelo Mera Vásquez



Dr. Alfredo Barriga
DECANO FAC. ING. MECÁNICA



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Guillermo Urquiza
TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Edmundo Villacís
TRIBUNAL DE GRADO

RESUMEN

En el año de 1987, la Facultad de Ingeniería en Mecánica, decide instalar una Planta de control de Procesos para el laboratorio de Controles Automáticos, la misma que consta de tres Lazos o Bucles de Control:

BUCLE DE FLUJO Y NIVEL

BUCLE DE TEMPERATURA

BUCLE DE PRESIÓN

Debido a su elevado costo al importar dicha planta, se decide construir en los talleres de la Facultad, por lo que se solicita estudiantes que hayan aprobado la materia de Controles Automáticos.

En dicho año me encuentro cursando el último nivel de Ingeniería en Mecánica y se me da la oportunidad de trabajar en dicho proyecto.

La presente Tesis, contiene los pasos que se efectúan para diseñar, construir y montar los diferentes elementos que conforman la Planta de Control de Procesos, Bucle de temperatura, Bucle de Flujo y Nivel.

El diseño de los Bucles, se realiza en base a los parámetros y condiciones que deseamos controlar tomando en cuenta los siguientes puntos :



Dimensión de los diferentes elementos en instrumentos a utilizar

Tipos de materiales

Equipos y accesorios

Costos y

Tiempo.

La selección de los diferentes elementos e instrumentos que constituye la Planta de Control de Procesos, como Bomba, Recipientes, Calentador se ha hecho en base al tiempo en que dura una práctica de laboratorio y en función del número de estudiantes que pueden realizar la misma.

En la Actualidad esta planta es empleada en la formación de estudiantes de Ingeniería Mecánica, para la aplicación de los Sistemas de Control e Instrumentación y se asemeja a un elemento típico de una Planta de Procesos real que utiliza componentes y elementos reales. Ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento de un sistema razonablemente completo que implique interacciones entre Bucles de Control, el funcionamiento de Bucles de Control en cascada y el efecto de diferentes retardos de propagación en el comportamiento de la Planta de Proceso.

Los distintos registros gráficos dan datos que permiten un amplio análisis teórico del sistema.

INDICE GENERAL

	<i>Pág</i>
<i>RESUMEN</i>	6
<i>INDICE GENERAL</i>	8
<i>INDICE DE TABLAS</i>	10
<i>INDICE DE PLANOS</i>	12
<i>INDICE DE GRÁFICOS</i>	13
<i>SIMBOLOGÍA</i>	14
<i>ANTECEDENTES</i>	19
 CAPÍTULO I	
<i>BUCLE DE CONTROL DE FLUJO Y NIVEL</i>	
<i>1.1 Características principales del Bucle</i>	21
<i>1.1.1 Control de Flujo</i>	25
<i>1.1.2 Control de Nivel</i>	29
<i>1.2 Diseño del Bucle de Control de Flujo y Nivel</i>	34
<i>1.3 Elementos que constituyen el Bucle de Control de Flujo y Nivel</i>	65
 CAPÍTULO II	
<i>BUCLE DE CONTROL DE TEMPERATURA</i>	
<i>2.1 Características principales del Bucle</i>	69
<i>2.2 Diseño del Bucle de Control</i>	78
<i>2.3 Elementos que constituyen el Bucle</i>	110
 CAPÍTULO III	
<i>CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE</i>	

<i>3.1 Selección de Materiales, Equipos y Accesorios.....</i>	<i>111</i>
<i>3.2 Cronograma</i>	<i>128</i>
<i>3.3 Montaje</i>	<i>130</i>
<i>3.4 Análisis de Costos</i>	<i>147</i>
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	<i>154</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>156</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>158</i>

ÍNDICE DE TABLAS

I.-	<i>Coefficiente de pérdidas menores para entradas de tuberías.....</i>	41
II.-	<i>Longitudes equivalentes a dimensionales representativos (Le/D) para válvulas y accesorios</i>	42
III.-	<i>Valores referentes al Diagrama de Flujo del Bucle de Flujo y Nivel .</i>	49
IV.-	<i>Espesor de la tubería según número de cédula</i>	181
V.-	<i>Propiedades físicas del agua</i>	182
VI.-	<i>Valores del caudal de salida q_{18}, y variaciones de alturas h del recipiente C_2</i>	57
VII.-	<i>Valores linealizados del caudal de salida q_{18} y variaciones de altura h recipiente C_2</i>	60
VIII.-	<i>Valores del espesor t o pared del recipiente C_2 Vs los diferentes factores de seguridad K_1</i>	64
IX.-	<i>Valores referentes al diagrama de flujo para el bucle de temperatura</i>	81
X.-	<i>Valores del flujo volumétrico de agua caliente \dot{V}_c y valores de temperatura de agua caliente T_c para los puntos de mezcla</i>	92
XI.-	<i>Valores de la temperatura en grados absolutos en el recipiente de mezclados C_4</i>	95
XII.-	<i>Propiedades físicas del agua</i>	183
XIII.-	<i>Valores del coeficiente de convección</i>	184
XIV.-	<i>Valores del espesor t_1 Vs los factores de seguridad K_2.....</i>	100

XV.-	<i>Constantes físicas de materiales</i>	185
XVI.-	<i>Propiedades mecánicas de aceros</i>	186
XVII.-	<i>Valores para calibración según el número del catálogo</i>	112
XVIII.-	<i>Valores para la presión máxima de trabajo, con sus limitaciones según el número del catálogo</i>	113
XIX.-	<i>Valores para el máximo transmisor de carga</i>	113
XX.-	<i>Valores para la presión de suministro y entrada de aire al mecanismo para los diferentes números de catálogos</i>	116
XXI.-	<i>Valores para la forma de calibración</i>	120
XXII.-	<i>Propiedades de perfiles estructurales para ángulos de lados iguales ...</i>	187
XXIII.-	<i>Tipos de materiales en la estructura para el bucle de caudal y nivel... </i>	188
XXIV.-	<i>Tipos de materiales en la estructura para el bucle de temperatura</i>	190
XXV.-	<i>Listado cronológico de las tareas para los bucles de caudal, nivel y temperatura</i>	192
XXVI.-	<i>Costos de materiales importados</i>	147
XXVII.-	<i>Costo de materiales locales</i>	149
XXVIII.-	<i>Costos de materiales indirectos</i>	152
XXIX.-	<i>Horas / Hombre utilizados en la construcción y montaje</i>	153

ÍNDICE DE PLANOS

I.- Diagrama de flujo del bucle de flujo y nivel	159
II.- Diagrama de flujo del bucle de temperatura	160
III.- Dimensiones del cilindro o recipiente C_5	161
IV.- Plano del sistema electro-neumático de control de flujo y nivel	162
V.- Plano del sistema electro-neumático de control de temperatura	163

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>1.- Curvas de la bomba modelo 3642</i>	<i>195</i>
---	------------

SIMBOLOGÍA

<i>AISI</i>	: <i>American Iron and Steel Institute</i>
<i>P</i>	: <i>Presión en pies de agua o Lb/pulg²</i>
<i>H</i>	: <i>Altura de líquido sobre el instrumento</i>
γ	: <i>Peso específico del líquido</i>
\dot{Q}	: <i>Rapidez de transferencia de calor</i>
\dot{W}	: <i>Rapidez de trabajo desarrollado</i>
\dot{W} normal	: <i>Rapidez con que una fuerza desarrolla el trabajo</i>
\dot{W} cortante	: <i>Rapidez con que los esfuerzos constantes desarrollan trabajo sobre toda la superficie de control</i>
α	: <i>Coefficiente de flujo de energía cinética</i>
<i>h_{lt}</i>	: <i>Pérdida total de carga</i>
<i>h_l</i>	: <i>Pérdidas mayores</i>
<i>h_{lm}</i>	: <i>Pérdidas menores</i>
<i>f</i>	: <i>Factor de rozamiento</i>
<i>K</i>	: <i>Coefficiente de pérdida</i>
<i>L_e</i>	: <i>Longitud equivalente de tubería rectilínea</i>
<i>AR</i>	: <i>Razón de áreas</i>
<i>K_c</i>	: <i>Coefficiente de pérdidas para la contracción</i>
<i>K_e</i>	: <i>Coefficiente de pérdidas para la expansión</i>
<i>D_t</i>	: <i>Diámetro del orificio</i>
$\frac{dh}{dt}$: <i>Velocidad del nivel del líquido</i>

q	: Flujo en Pulg ³ /seg
A	: Área de la sección en Pulg ²
V	: Velocidad en Pulg/seg
$C2$: Recipiente para control de proceso de flujo y nivel
VM	: Válvula manual
FCV	: Válvula de control de flujo
ISO	: International Standard Organization
τ	: Constante de tiempo
ρ	: Densidad del fluido en Kg/m ³ o Lb/m ³
\bar{V}	: Velocidad media de flujo en m/seg
d	: Diámetro interior de tubería en mm
μ	: Viscosidad absoluta (dinámica) en centipoises
h	: Altura del nivel de líquido en Pulgadas.
h_0	: Punto tangente a la curva
Fig	: Figura
D	: Diámetro del recipiente en Pulgadas.
$ASTM$: American Society of Testing and Materials
t	: Pared del cilindro
σ_t	: Esfuerzo tangencial
P_1	: Presión ejercida por la columna de agua en psi. o pies de agua
PSI	: Lb/Pulg ²
g	: Aceleración de la gravedad en pies/seg ²
K_1	: Factor de seguridad

β	: Relación diámetro del orificio sobre diámetro de la tubería
HP	: Unidad de potencia
GPM	: Galones por minuto
\dot{m}_f	: Flujo másico de agua fría
\dot{m}_c	: Flujo másico de agua caliente
\dot{m}_e	: Flujo másico de agua de equilibrio
T_f	: Temperatura de agua fría
T_c	: Temperatura de agua caliente
T_e	: Temperatura de agua de equilibrio
E	: Energía cruzando las fronteras del sistema
h	: Entalpía
K	: Energía cinética
∇	: Volumen de agua en el tanque
T	: Temperatura en grados absolutos en el agua de mezclado
\dot{V}_s	: Flujo volumétrico del agua que sale
\dot{V}_i	: Flujo volumétrico del agua que entra
T_i	: Temperatura en la que ingresa el agua
t_{1-1}	: Tiempo en estabilizarse la temperatura en el tanque para V_1
C_p	: Calor específico a presión constante en $\frac{BTU}{Lbm \cdot ^\circ F}$
T_b	: Diferencia de temperatura promedio de la masa principal
T_{b_2}	: Temperatura de la masa caliente
T_{b_1}	: Temperatura de la masa fría
q_c	: Rapidez de transferencia de calor por convección en BTU/Hora

h_i	: Coeficiente de convección en $\frac{BTU}{\text{Hora} \times \text{pie}^2 \times ^\circ F}$
T_i	: Temperatura de la superficie interior del cilindro
q_k	: Rapidez de transferencia de calor por conducción BTU/Hora
$C4$: Recipiente para control de proceso de temperatura
$C5$: Calentador
S_y	: Resistencia de fluencia en kpsi
K_2	: Factor de seguridad
\dot{V}_r	: Volumen de agua en el calentador
T_{fc}	: Temperatura de entrada al calentador
\dot{V}_{sc}	: Flujo volumétrico que sale del calentador
\dot{V}_{ic}	: Flujo volumétrico que entra al calentador
Q_i	: Flujo de calor dado por la resistencia
T_1	: Temperatura de la superficie interior del cilindro
T_2	: Temperatura de la superficie exterior del cilindro
ϵ	: Deformaciones principales
μ	: Relación de poisson
E	: Módulo de elasticidad
mA	: Unidad de corriente
$ohmios$: Unidad de resistencia
I/P	: Corriente - presión
P/I	: Presión - corriente
cfm	: Caudal pie^3/min
AS	: Alimentación de aire

- ES* : Alimentación eléctrica
- WS* : Alimentación de agua a temperatura ambiente
- WSC* : Alimentación de agua caliente
- WSM* : Alimentación de agua de mezcla
- SW* : Interruptor de control
- NPSH* : Carga neta positiva de succión
- : Señal eléctrica
- //--//--//-- : Señal neumática

ANTECEDENTES

En el año de 1987, el BID Banco Interamericano de Desarrollo , la ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral, y la Facultad de Ingeniería en Mecánica de la ESPOL firman un convenio, en el cual, se comprometen en financiar los primeros y la Facultad de Ingeniería en Mecánica, varios proyectos para las diferentes áreas de dicha Facultad y que sirva como un aporte para un mejor aprendizaje para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Mecánica.

Uno de los Proyectos es la instalación de una Planta de Control de Procesos para el Laboratorio de Controles Automáticos, que permita el estudio de las funciones de control principales que se encuentran en una Planta Química o de Petróleo como son: Medida y Control de : Caudal, Presión, Nivel, Temperatura y que incluyan ejemplos de varios tipos de controles como son : Proporcional, Proporcional más Integral (puesta a cero) y Proporcional más Integral más Derivativo.

La Facultad de Ingeniería en Mecánica designa a los Ingenieros Eduardo Orces y Francisco Andrade como responsable de dicho proyecto para que realicen un estudio de la misma.

Dichos Ingenieros presentan un informe respectivo en el mismo que recomiendan que la planta de Control de Procesos debe estar construida de tres Bucles o Lazos de Control como son:

Bucle de Flujo y Nivel

Bucle de Temperatura

Bucle de Presión, y que el tipo de Control que se estudie debe ser electro-neumático.

Solicitan además que dicha planta debe ser instalada en el Laboratorio de Energía y Fluidos y que la misma puede ser diseñada y construida por estudiantes de la Facultad como tema de Tesis.

Con estos antecedentes la Facultad otorga US\$ 70.000,00 Dólares que serán invertidos en este Proyecto.

La presente Tesis, describe los pasos a seguirlos en la construcción y montaje de los Sistemas de Temperatura, Flujo y Nivel que forman parte de la Planta de Control de Procesos.

A continuación se presenta los esquemas #1, #2, #3, anexo # 2, de los dos Lazos de Control con sus elementos principales y así comprender mejor el funcionamiento y la importancia de la instalación de la Planta de Control de Procesos.

En el esquema # 1 se representa el Diagrama de Bloques del Lazo de Flujo.

En el esquema # 2 se representa el diagrama de Bloques del Lazo de Nivel.

En el esquema # 3 se representa el diagrama de Bloques del Lazo de Temperatura.

CAPITULO I

BUCLE DE CONTROL DE FLUJO Y NIVEL

1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUCLE

El Control automático ha jugado un papel vital en el avance de la ciencia. Además de su extrema importancia en vehículos espaciales, en guiado de proyectiles y sistemas de pilotaje de aviones, etc..

El Control Automático se ha convertido en parte importante e integral de los procesos de manufactura e industriales modernos.

Los sistemas de control emplean frecuentemente componentes de diferentes tipos, por ejemplo, componentes mecánicos, eléctricos, hidráulico, neumáticos y combinaciones de estos.

En esta planta de control de procesos se emplean componentes eléctricos y neumáticos.

De una manera muy general, los sistemas de control pueden clasificarse en sistemas que tienen retroalimentación y aquellos que no la tienen.

En un sistema de control con retroalimentación o de lazo cerrado, la variable controlada (también llamada salida o respuesta), es comparada con la variable de referencia (también llama entrada, mando u orden) y cualquier diferencia que exista entre ambas (el error), es usada para reducir esta última.

En términos más simples, un sistema de control retroalimentado compara lo que se está obteniendo con lo que se necesita y usa cualquier diferencia a fin de poner en correspondencia la entrada con la salida.

La característica más importante de un sistema de control retroalimentado es que establece una comparación, y esto es lo que hace que el sistema sea tan efectivo para propósitos de control.

La figura # 1, muestra la relación entrada-salida de un sistema de control con retroalimentación o de lazo cerrado.

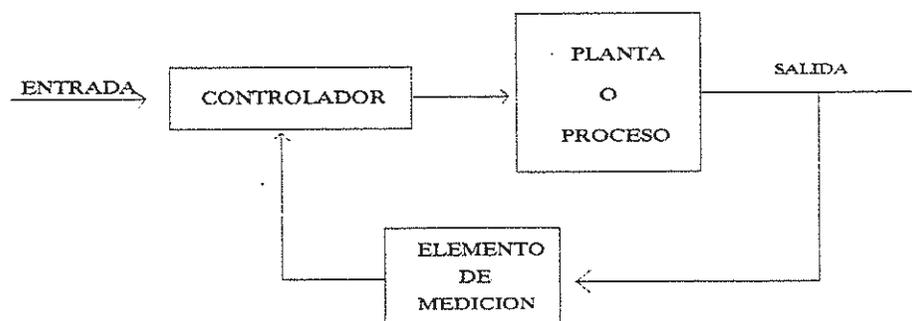


Fig. # 1 .- Sistema de Control con Retroalimentación

En un sistema de control sin retroalimentación o control de lazo abierto, la

variable controlada no tiene efecto sobre la acción de control, es decir en un sistema de control de lazo abierto la salida no se mide ni se realimenta.

La figura # 2 muestra la relación entrada-salida de un sistema de control sin retroalimentación.

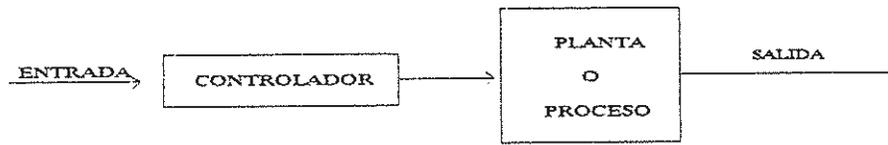


Fig. # 2 .- Relación entrada-salida de un sistema de control sin retroalimentación.

La Planta de Control de Procesos, es un sistema de control con retroalimentación.

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL .- *La estabilidad, exactitud y rapidez de respuesta son características necesarias que deben tener todo sistema de control, un sistema debe ser estable, y esto significa que la respuesta a una señal ya sea un cambio del punto de referencia o una perturbación, debe alcanzar y mantener un valor útil durante un período razonable.*

Un sistema de control inestable producirá por ejemplo: oscilaciones persistentes o de gran amplitud en la señal, o bien puede hacer que la señal tome valores que corresponden a límites extremos.

Cualquier tipo de respuesta característica de un sistema de control inestable es

obviamente poco satisfactoria.

Es conveniente hacer notar que no existe sistemas de control alguno, que pueda mantener un error cero en todo tiempo por que siempre es necesario que exista un error para que el sistema inicie la acción correctora.

Aunque un sistema sea estable y tenga la exactitud requerida, no tiene ningún valor si el tiempo para responder totalmente a una respuesta es mucho mayor que el tiempo entre las señales, en este caso, puede que el sistema nunca "se ponga en fase".

El sistema de control ideal es estable de una exactitud absoluta (mantiene un error nulo a pesar de las perturbaciones) , y responderá instantáneamente a cualquier cambio en la variable de referencia.

Naturalmente, tal sistema no puede obtenerse. La estabilidad ,exactitud y rapidez de respuesta no se analizará en este temario, ya que estos puntos son análisis de otros temas de Tesis.

Las características más importantes de esta Planta de Procesos, es que se puede estudiar la construcción, el método de funcionamiento y la utilización de tipos normalizados de transmisor, registrador, controlador y válvula de control, que pueden encontrar en una Planta de Control de Procesos en Industrias Químicas

y del Petróleo.

Además la Planta permite el estudio de las funciones de control principales como: Medida y Control de Flujo, Nivel, Temperatura y en Cascada.

1.1.1 CONTROL DE FLUJO

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

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado.

MEDIDORES VOLUMÉTRICOS.- *Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).*

Se tiene que señalar que la medida del caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido.

Entre estos elementos se encuentran la placa orificio o diafragma, la tobera

y el tubo venturi.

ELEMENTOS DE PRESIÓN DIFERENCIAL.- La placa orificio o diafragma consiste en una placa perforada instalada en la 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.

La disposición de las tomas pueden estar en diferentes posiciones.

TOMAS EN LA BRIDA.- Es bastante utilizada porque su instalación es cómoda ya que las tomas están taladradas en las bridas que soportan las placas y situadas a una pulgada de distancia de la misma. Ver figura # 3.

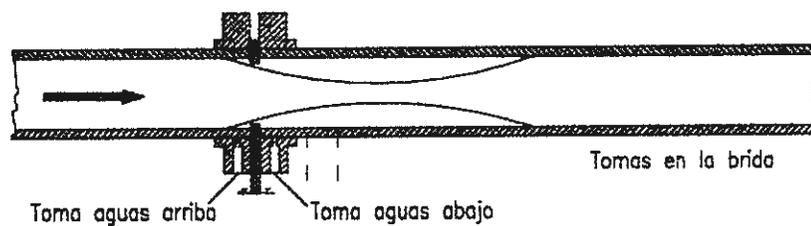


Fig. # 3 .- Tomas en la brida.

El orificio de la placa puede ser concéntrico, excéntrico o segmental, ver figura # 4.

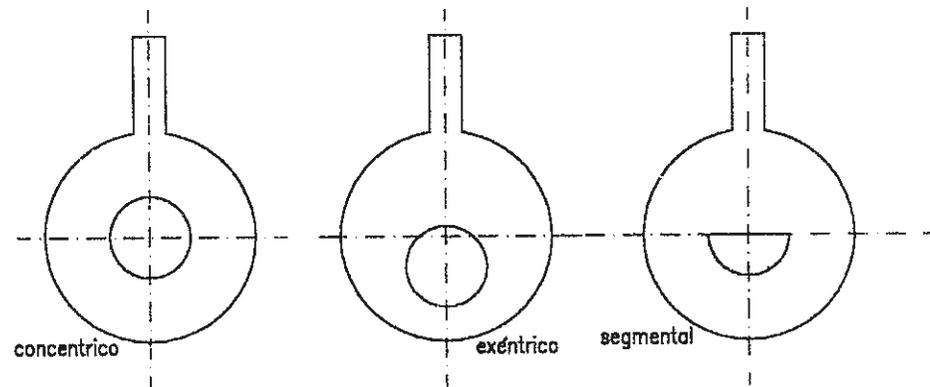


Fig. # 4 .- Tipos de orificio de la placa.

TRANSMISORES DE DIAFRAGMA.- La presión diferencial creada por la placa, puede medirse con un tubo en U de mercurio o bien transmitirse con los instrumentos llamados convertidores diferenciales.

Como se puede ver en la figura # 5, la separación entre las dos cámaras se efectúa mediante diafragmas, en lugar de fuelles, con lo cual el desplazamiento volumétrico es casi nulo. El cuerpo de estos transmisores suelen ser de acero al carbono, acero inoxidable AISI 316 y el líquido de llenado silicona.

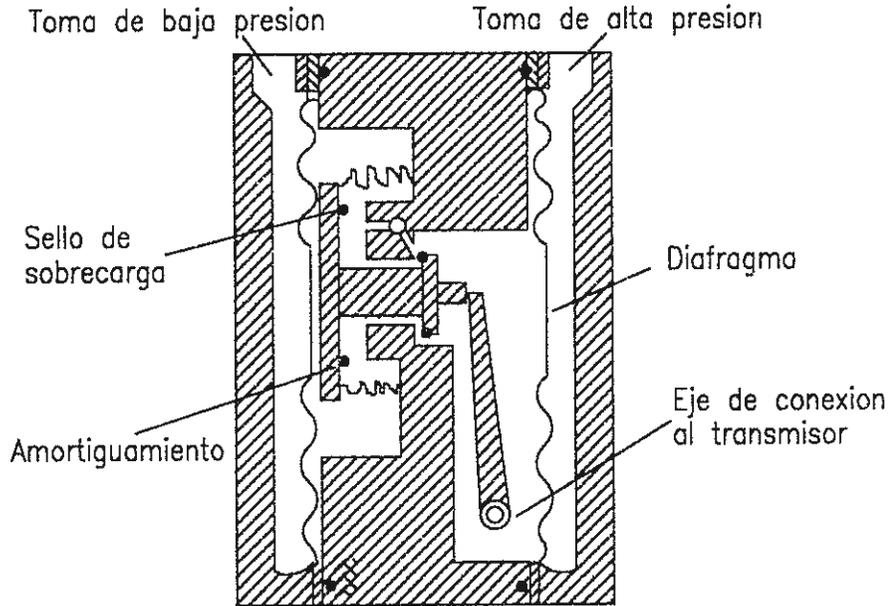


Fig. # 5 .- Transmisor de diafragma.

Las conexiones entre las tomas del diafragma y el convertidor de presión diferencial deben ser adecuadas al fluido a medir. Ver figura # 6.

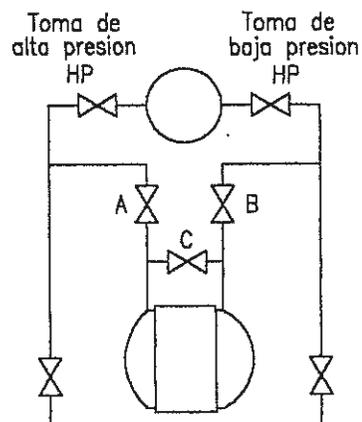


Figura # 6 .- Conexiones para líquidos entre las tomas del diafragma y el convertidor de presión diferencial.

Con el objeto de aislar el instrumento se provee 3 válvulas que constituyen lo que se denomina un " manifold " éste tiene una doble misión, aislar el instrumento del proceso para su mantenimiento e igualar las presiones en las dos cámaras del instrumento en la puesta en marcha de la instalación.

Los transmisores utilizan, bien un transmisor neumático de equilibrio de fuerzas, o bien un transductor eléctrico de equilibrio de fuerzas.

Los instrumentos transmisores de caudal miden realmente una presión diferencial y como el caudal varía según la raíz cuadrada de la presión diferencial, es necesario utilizar un extractor de raíz cuadrada intermedio.

1.1.2 CONTROL DE NIVEL

En la Industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de líquidos y de sólidos que son dos mediciones claramente diferenciales, en nuestro caso, estudiaremos los medidores de nivel de líquidos.

MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS.- Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo 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 de proceso o aprovechando características eléctricas del líquido.

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.

El medidor de presión diferencial consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que mide la presión hidrostática en un punto del fondo del tanque. En un tanque abierto, esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico. Ver figura # 7.



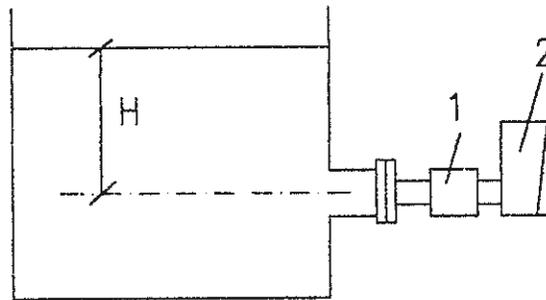


Fig. # 7.- Medidor de presión diferencial de diafragma.

1. Cara del diafragma

2. Cuerpo del transmisor.

Es decir : $P = H\gamma$, en la que :

P = Presión

H = Altura de líquido sobre el instrumento

γ = Peso específico del líquido.

El diafragma forma parte de un transmisor neumático o eléctrico de presión diferencial semejante a los transmisores de caudal de diafragma que ya se menciona en la sección anterior.

En el tipo más utilizado, el diafragma está situado en una brida que se monta rasante al tanque para permitir sin dificultades la medida del nivel del fluido tales como pasta de papel y líquidos con sólidos en suspensión, pudiendo incluso ser de montaje saliente para que el diafragma enlace completamente con las paredes interiores del tanque, ver figura # 8 , tal como ocurre en el caso de líquidos extremadamente viscosos en que no

puede admitirse ningún recodo.

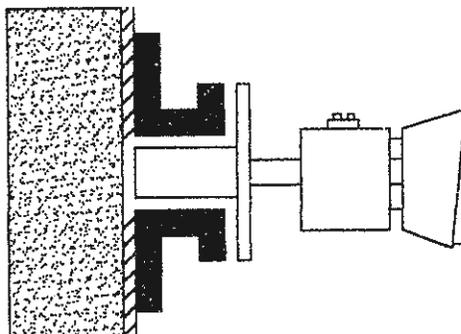


Fig. # 8 .- Montaje saliente

Hay que señalar que el nivel cero del líquido se selecciona en un eje a la altura del diafragma. Si el instrumento se calibra en el tanque, el 0 % del aparato debe comprobarse con el nivel más bajo en el borde inferior del diafragma (entre el borde inferior y el superior del diafragma la señal de salida no esta en proporción directa al nivel). Ver figura # 9.

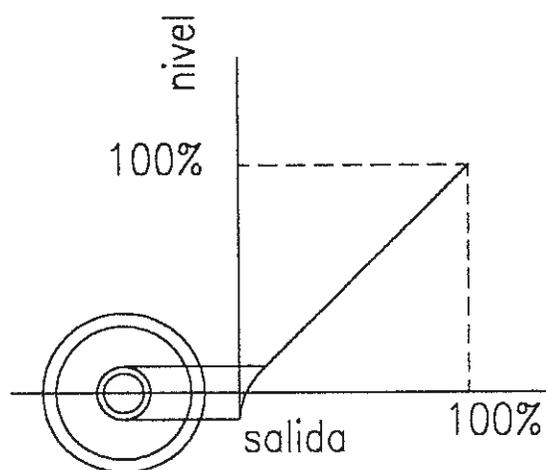


Fig. # 9 .- Señal de salida.

CONTROL EN CASCADA.- Con frecuencia es posible mejorar la calidad del control de un proceso actuando dos controles en cascada.

El control primario percibe una señal a medir en la forma normal y la compara con una señal de referencia, pero su salida se utiliza simplemente para determinar la señal de referencia de un segundo control. Este también percibe una señal a medir aunque se toma de un punto diferente en el bucle que alimenta al control primario, solamente tiene salida de proceso al segundo control.

1.2 DISEÑO DEL BUCLE DE CONTROL DE FLUJO Y NIVEL

El diseño de este bucle, está basado exclusivamente en la necesidad de encontrar una ecuación diferencial que nos permita estudiar la variación de nivel en un tanque de proceso.

El elemento básico para la circulación del fluido a través de las tuberías es la bomba y por lo tanto es necesario conocer la capacidad de la misma, la potencia necesaria para que el fluido se desplace de un lugar a otro se toma como primera consideración que el sistema debe ser continuo, que el fluido de trabajo se succione de un tanque de suministro por medio de la bomba y la descarga llegue al mismo tanque y así lograr que en ningún momento la práctica de laboratorio se paralice.

BALANCE DE ENERGÍA PARA EL FLUJO EN CONDUCTOS.-

Consideremos el flujo estacionario a través de la sección de una tubería consistente en un codo reductor como el que se muestra en la figura # 10. Las líneas punteadas de la figura señalan las fronteras del volumen de control.

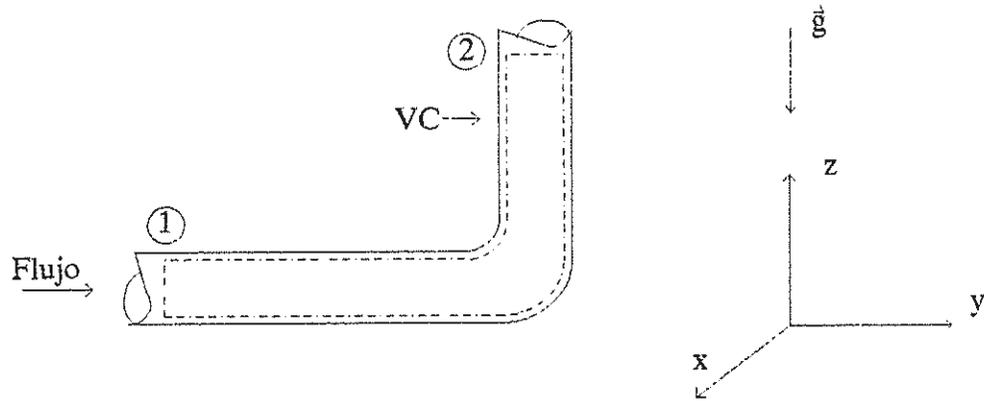


Fig. # 10 .- Volumen de control y sistemas de coordenadas para el análisis energético del flujo a través de un codo reductor de 90°

La primera Ley de la termodinámica constituye una expresión de la conservación de la energía de un sistema, es decir,

$$\delta Q + \delta W = dE \quad \text{Fórmula \# 1}$$

Teniendo en cuenta su rapidez de cambio respecto al tiempo, la fórmula # 1 se puede escribir como:

$$\dot{Q} + \dot{W} = \frac{dE}{dt} \text{) Sistema} \quad \text{Fórmula \# 2}$$

donde :

\dot{Q} = Rapidez de transferencia de calor

\dot{W} = Rapidez de trabajo desarrollado

donde la energía total del sistema está dado por :

$$E \text{ Sistema} = \int \text{masa (sistema)} \, e \, dm = \int V \text{ (sistema)} \, e \, \rho \, dV \quad \text{Fórmula \# 3}$$

$$Y \quad e = u + \frac{v^2}{2} + gz$$

La rapidez de trabajo desarrollado sobre un volumen de control se subdivide de manera conveniente en cuatro clases :

$$\dot{W} = \dot{W}_s + \dot{W}_{\text{normal}} + \dot{W}_{\text{cortante}} + \dot{W}_{\text{otros}}$$

Donde :

\dot{W} = Rapidez de transferencia del trabajo del eje

\dot{W}_{normal} = Rapidez con que una fuerza desarrolla el trabajo

$\dot{W}_{\text{cortante}}$ = Rapidez con que los esfuerzos constantes desarrollan trabajo sobre toda la superficie de control

Reemplazando en la Fórmula # 2

$$\dot{Q} + \dot{W}_s + \dot{W}_{\text{cortante}} + \dot{W}_{\text{otros}} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} e \, \rho \, dV + \int_{SC} (e + p/\rho) \, \rho \, V \cdot dA$$

SUPOSICIONES :

$$(1) \quad \dot{w} = 0 \quad \dot{W}_{\text{otros}} = 0$$

$$(2) \quad \dot{W}_{\text{cortante}} = 0$$

(3) Flujo estacionario

(4) *Flujo incomprensible*

(5) *Energía interna y presión uniforme en las secciones uno y dos*

La ecuación de la energía se reduce entonces a :

$$\dot{Q} = \dot{m} (u_2 - u_1) + \dot{m} \left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) + \dot{m} g (z_2 - z_1) + \int_{A_2} \frac{V_2^2}{2} \rho V_2 dA - \int_{A_1} \frac{V_1^2}{2} \rho V_1 dA_1$$

Fórmula # 4

Conviene introducir la velocidad promedio en la Fórmula # 4 a fin de eliminar las integrales. Para esto se define el coeficiente de flujo de energía cinética α tal que:

$$\int_A \frac{V^2}{2} \rho V dA = \alpha \int_A \frac{V^2}{2} \rho V dA = \alpha \dot{m} \frac{V^2}{2} \quad \text{Fórmula # 5}$$

Con esta definición de α , la Fórmula # 4 se puede definir como :

$$\dot{Q} = \dot{m} (u_2 - u_1) + \dot{m} \left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) + \dot{m} g (z_2 - z_1) + \dot{m} \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2} \right)$$

Al dividirse entre el gasto másico se obtiene:

$$\frac{\partial Q}{dm} = u_2 - u_1 + \frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} + gz_2 - gz_1 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2}$$

Efectuando algunos arreglos algebraicos, resulta :

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) + (u_2 - u_1) - \frac{\partial Q}{dm} \quad \text{Fórmula \# 6}$$

PERDIDA DE CARGA.-En la Fórmula # 6, el término $\frac{P}{\rho} + \alpha \frac{V^2}{2} + gz$ representa la energía mecánica por unidad de masa en una sección transversal al flujo.

Se acostumbra identificar este conjunto de términos como la pérdida total de carga (altura piezométrica), *hlt*. De este modo para los cálculos del flujo a través de conductos utilizamos la ecuación de la energía de la forma.

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) = hlt \quad \text{Fórmula \# 7}$$

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA.- La pérdida de carga total, *hlt* se puede considerar como la suma de las pérdidas mayores, *hl* debidas a todos los efectos del rozamiento en un flujo completamente desarrollado a través de un conducto de área constante, y las pérdidas menores, *hlm*, debidas éstas a las entradas, los acoplamientos entre tubos, los cambios de área, etc.

PÉRDIDAS MAYORES : FACTOR DE ROZAMIENTO .- El balance de energía

expresado mediante la fórmula # 7 se puede utilizar para calcular las pérdidas de carga mayores. Para un flujo completamente desarrollado a través de un conducto de área constante en su sección transversal, $h_{lm} = 0$ y

$$\alpha_1 \frac{v_1^2}{2} = \alpha_2 \frac{v_2^2}{2}$$

Por lo tanto la Fórmula # 7 se reduce a:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = g (Z_2 - Z_1) + hl \quad \text{Fórmula \# 8}$$

Si el conducto además es horizontal, entonces $Z_2 = Z_1$ y

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho} = hl \quad \text{Fórmula \# 9}$$

La caída de presión para un flujo laminar se puede calcular analíticamente para el caso de un flujo completamente desarrollado a través de un conducto horizontal. Se tiene :

$$P = 32 \frac{L}{D} \mu \frac{V}{D} \quad \text{Fórmula \# 10}$$

Substituyendo en la Fórmula # 9, tenemos :

$$hl = \frac{64}{Re} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad \text{Fórmula \# 11}$$

La caída de presión para un flujo turbulento no se puede calcular analíticamente, debiéndose utilizar por consiguiente, los resultados experimentales y el análisis dimensional con objeto de correlacionar estos últimos :

$$\Delta P = \Delta P (D, L, e, V, \rho, \mu)$$

Aplicando el análisis dimensional a este caso se obtiene :

$$\frac{\Delta P}{\rho V^2} = f \left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

Teniendo en cuenta la Fórmula # 9, resulta :

$$\frac{hl}{V^2} = \phi \left(Re, \frac{L}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

Los experimentos han demostrado que la pérdida de carga a dimensionar es directamente proporcional a L / D , entonces :

$$\frac{hl}{V^2} = \frac{L}{D} \phi_1 \left(Re, \frac{e}{D} \right)$$

La función desconocida $\phi_1 \left(Re, \frac{e}{D} \right)$, se define como factor de rozamiento f es decir : $f = \phi_2 \left(Re, \frac{e}{D} \right)$ y

$$hl = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2}$$

Fórmula # 12

El factor de rozamiento se determina experimentalmente. Los resultados publicados por L-F Moody, se muestra en la figura # 11. Anexo # 3.

PÉRDIDAS MENORES .- la pérdida de carga menor se puede expresar como:

$$h_{lm} = K \frac{V^2}{2} \quad \text{Fórmula \# 13}$$

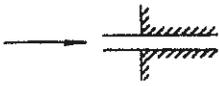
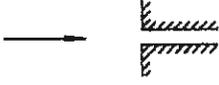
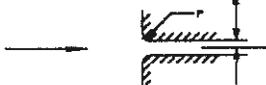
donde el coeficiente de pérdida K , se debe determinar de modo experimental para cada caso. La pérdida menor de carga se puede expresar también como :

$$h_{lm} = f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2} \quad \text{Fórmula \# 14}$$

donde L_e es una longitud equivalente de tubería rectilínea.

La tabla I, muestra los coeficientes de pérdidas menores para entradas de tubería.

Tabla I .- Coeficientes de pérdidas menores para entradas de tuberías

Tipo de entrada	Aspecto	Coeficiente de Pérdida menor , K
Reentrante		1.0
Borde		0.5
Bien redondeada		~0.04

Basado en $h_{lm} = K(\frac{V^2}{2})$, donde V es la velocidad media en la tubería.
 $r/R \approx 0.25$

La figura # 12 , muestra los coeficientes de pérdida para el flujo a través de cambios bruscos de área .

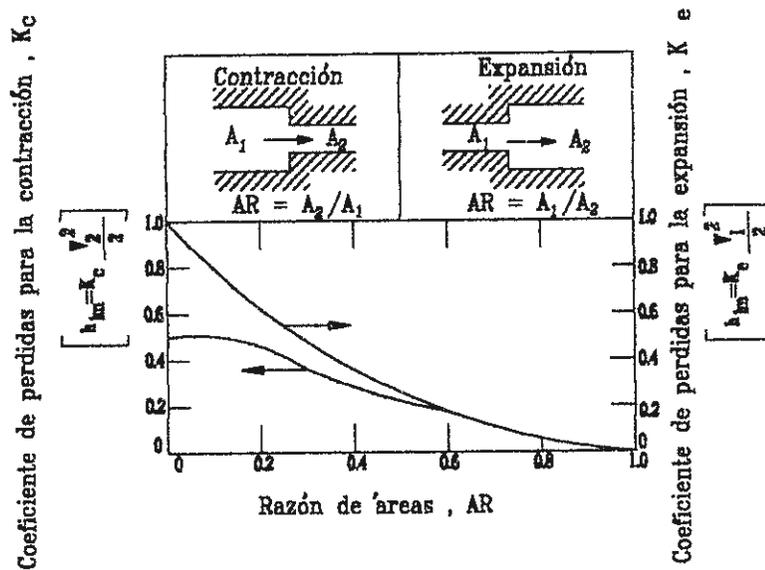


Fig. # 12 .- Coeficiente de Pérdida para el flujo a través de cambios bruscos de área .

La tabla II , muestra las longitudes equivalentes a dimensionales representativos (Le/D) para válvulas y accesorios.

Tabla II .- Longitudes equivalentes Le/D para válvulas y accesorios

Tipo de accesorio	Descripción	Longitud equivalente Le /D
Válvula de globo	Completamente abierto	350
Válvula de compuerta	completamente abierta	13
	3/4 abierta	35
	1/2 abierta	160
	1/4 abierta	900
Válvula de retención		50-100
Codo standard 90°		30
Codo standar 45°		16
Union en " T "	Flujo en línea	20
	Flujo en ramal	60

Pérdida en la placa de orificio :

$$\dot{m} = KAt \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)} \quad \text{Fórmula \# 15}$$

Utilizando Fórmula # 15 y reemplazando en Fórmula # 9 , tenemos:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{q^2}{2At^2K^2} = \frac{8q^2}{\pi^2K^2Dt^4} = hlm_{p10} \quad \text{Fórmula \# 16}$$

Donde :

K = Coeficiente de flujo en la placa de orificio

Dt = Diámetro del orificio

La figura # 13 muestra los coeficientes de flujo para orificios concéntricos

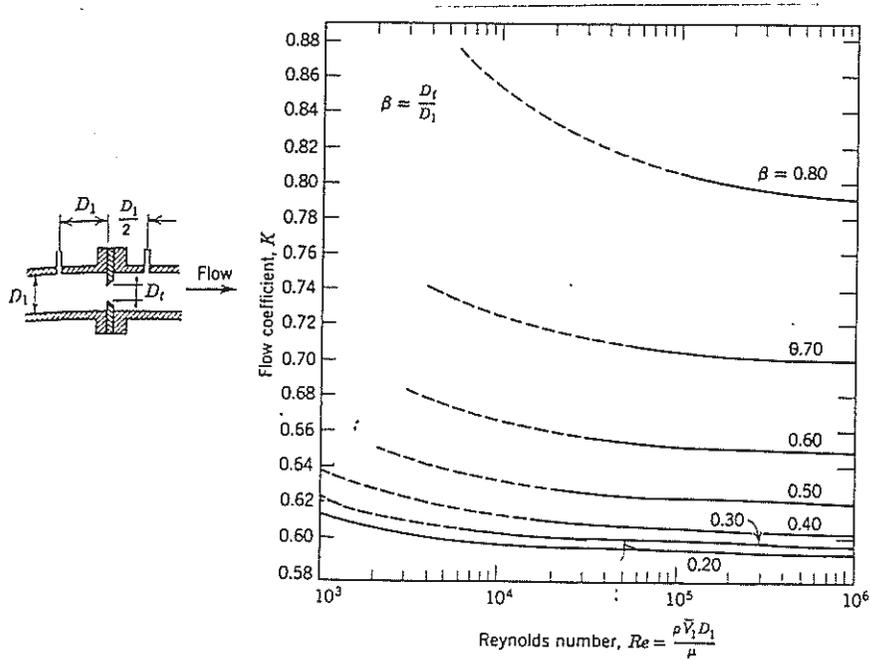


Fig. # 13.- Coeficientes de flujo para orificios concéntricos

Se mencionó anteriormente que la Planta de Control de Procesos está constituida de tres Bucles o Lazos de Control y para la instalación de la misma se dispone de una área de 25 m² .

Para el diseño de las tuberías y accesorios por el cual se transporta el fluido, se considera los siguientes datos como primera aproximación :

Reservorio de agua para alimentar el proceso 250 Lt.

La bomba descarga el fluido con un diámetro $\phi = 1''$

Se selecciona un caudal de 28 Lt. / Min. , para el Bucle de Flujo y Nivel , y 8 Lt. / Min. para el Bucle de Temperatura .

Diámetro de entrada y salida a la placa de orificio , $\phi = 1^{1/2}''$.

Diámetro del orificio $\phi = 1/2''$.

En el plano # 1 , anexo # 1 , se realiza el diagrama de Flujo para el Bucle de Flujo y Nivel.

Referente al plano # I , en el recipiente C_2 :

El flujo neto en el tanque es igual al área A multiplicado por la velocidad del nivel del líquido, dh / dt . Por tanto :

$$q_{\text{neto}} = q_{\text{entrada}} - q_{\text{salida}} = A \frac{dh}{dt} \quad \text{Fórmula \# 17}$$

La relación fundamental que se usará en el sistema es :

$$q = AV \quad \text{Fórmula \# 18}$$

donde:

$$q = \text{Flujo (Pulg}^3 / \text{seg)}$$

$$A = \text{Área de la sección (Pulg}^2 \text{)}$$

$$V = \text{Velocidad (Pulg / seg)}$$

Aplicando Fórmula # 17 , tenemos :

$$A \frac{dh}{dt} = q_{16} - q_{18} \quad \text{Fórmula \# 19}$$

En la línea de P_6 a P_{16} , tenemos :

Aplicando Fórmula # 7, tenemos :

$$\frac{P_6}{\rho} + \alpha_6 \frac{V_6^2}{2} + gh_6 - \frac{P_{16}}{\rho} + \alpha_{16} \frac{V_{16}^2}{2} + gh_{16} = hlt \quad \text{Fórmula \# 20}$$

Asumiendo flujo turbulento, $\alpha = 1$

Cuando P_2 , está completamente abierta y P_1 completamente cerrada, $q_6 = q_{16}$,

por lo tanto $V_{16} = V_6$, entonces tenemos :

$$\frac{P_6}{\rho} + gz_1 - \frac{P_{16}}{\rho} - gz_4 = hlt \quad \text{Fórmula \# 21}$$

Desde la bomba al punto P_6 , tenemos :

Cuando P_{29} está cerrada, P_5 abierto y P_1 cerrada, el caudal que pasa a través

de las cañerías es constante, o sea :

$$q_{3-4} = q_{4-6} = q_{6-16} = cst.$$

Esto sucede cuando está trabajando solamente el Bucle de Flujo y Nivel y al inicio del proceso, pero lo que se desea es que los 2 Bucles trabajen al mismo tiempo, y para la selección de la bomba se necesita la máxima caída de presión.

En los puntos P_4 y P_6 hay ramificaciones, suponemos que el flujo se divide en partes iguales en los puntos P_4 y P_6 , por lo tanto :

$$q_{3-4} = 2q_{4-6} = 2q_{4-29} = q_3 \quad \text{Fórmula \# 22}$$

$$q_{4-6} = 2q_{6-1} = 2q_{6-16} = q_6 \quad \text{Fórmula \# 23}$$

Aplicando la Fórmula # 17 , tenemos :

$$\frac{P_3}{\rho} + \alpha_3 \frac{V_3^2}{2} + gh_3 - \left(\frac{P_6}{\rho} + \alpha_6 \frac{V_6^2}{2} + gh_6 \right) = hlt \quad \text{Fórmula \# 24}$$

Asumo flujo turbulento , entonces $\alpha = 1$

$$h_3 = h_6$$

Para el ramal de salida $P_{17} - P_{27}$

Aplicando la Fórmula # 7 , tenemos :

$$\frac{P_{17}}{\rho} + \alpha_{17} \frac{V_{17}^2}{2} + g(h_1 + h) - \left(\frac{P_{27}}{\rho} + \alpha_{27} \frac{V_{27}^2}{2} + gz_{27} \right) = hlt$$

Fórmula # 25

Asumo flujo turbulento y $V_{17} = 0$, entonces $\alpha = 1$

En algún instante $q_{16} = q_{18}$ y el nivel en el recipiente C_2 se mantiene constante, además hay que tomar en cuenta que para que exista una diferencia de nivel

$$q_{16} \geq q_{18}$$

Cuando VM20 está completamente abierta, tenemos :

$$q_{18} = q_{27} \quad \text{y} \quad P_{17} = P_{27} = Pat$$

Aplicando Fórmulas # 9 , 12 , 13 , 14 , 18 , tabla II y reemplazando en Fórmula # 25 tenemos :

$$q_{18} = \frac{\pi d_{27}^2}{2} \sqrt{\frac{g}{2f\left(\frac{L_{18-27}}{d_{18-27}} + 470\right) + 1}} \times \sqrt{h_1 + h - Z_{27}} \quad \text{Fórmula \# 26}$$

Dando valores al plano # 1 , construimos la tabla III.

TABLA III : Valores referentes al Plano I

<i>Tomas</i>	<i>Longitud de tubería (Pulgadas)</i>	<i>Diámetro de tubería (Pulgadas)</i>	<i>Puntos de conexión (Pulgadas)</i>	<i>Altura de recipiente-tubería (Pulgadas)</i>
<i>P3-P3'</i>	<i>7.5</i>	<i>1</i>		
<i>P3'</i>			<i>Universal de 1</i>	
<i>P3'-P4</i>	<i>23.5</i>	<i>1</i>		
<i>P4</i>			<i>Tee de 1</i>	
<i>P4-P5</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		
<i>P5</i>			<i>VM de 1</i>	
<i>P5-P6</i>	<i>2</i>	<i>1</i>		
<i>P6</i>			<i>Tee de 1</i>	
<i>P6-P22</i>	<i>5.5</i>	<i>1</i>		
<i>P22</i>			<i>Reductor de 1 a 1/2</i>	
<i>P22-P23</i>	<i>2</i>	<i>1/2</i>		
<i>P23</i>			<i>Codo de 90°</i>	
<i>P23-P24</i>	<i>7</i>	<i>1/2</i>		
<i>P24-P24'</i>	<i>2</i>	<i>1/2</i>		
<i>P24'</i>			<i>Universal de 1/2</i>	
<i>P24'-P1</i>	<i>2</i>	<i>1/2</i>		
<i>P1</i>			<i>FCV de 1/2</i>	
<i>P1-P1'</i>	<i>1.5</i>	<i>1/2</i>		
<i>P1'</i>			<i>Universal de 1/2</i>	
<i>P1'-P25</i>	<i>20</i>	<i>1/2</i>		
<i>P25</i>			<i>Codo de 90° de 1/2</i>	

Continuación TABLA III

P25-P26	5	1/2		
P6-P7	2	1		
P7			Codo de 90° de 1	
P7-P8	15	1		
P8			Codo de 90° de 1	
P8-P9	10	1		
P9			Reductor de 1 x 1 ^{1/2}	
P9-P9'	12	1 ^{1/2}		
P9'			Universal de 1 ^{1/2}	
P9'-P10	3	1 ^{1/2}		
P10			Placa orificio de 1/2	
P10-P10'	3.5	1 ^{1/2}		
P10'			Universal de 1 ^{1/2}	
P10'-P11	4	1 ^{1/2}		
P11			Reductor de 1 ^{1/2} a 1/2	
P11-P12	7.5	1		
P12'			Reductor de 1 a 1/2	
P12'-P2	1 ^{1/2}	1/2		
P2			FCV 1/2	
P2-P2'	1 ^{1/2}	1/2		
P2'			Universal de 1/2	
P2'-P13	12	1/2		

Continuación TABLA III

P13-P14	8	1/2		
P14			Codo de 90° de 1/2	
P14-P15	70	1/2		
P15			Codo de 90° de 1/2	
P15-P16	2	1/2		
P16			Reductor de 1 a 1/2	
P18			Reductor de 1 a 1/2	
P18-P19	2	1/2		
P19			Codo de 90° de 1/2	
P19-P20	8	1/2		
P20			VM de 1/2	
P20-P28	2	1/2		
P28			Tee de 1/2	
P28-P21	92	1/2		
P21			Codo de 90° de 1/2	
P21-P27	5.5	1/2		
Z1				14
Z2				22.5
Z3				29
Z4				24.8
Z5				100.5
h1				26.5

Nota : Todas las tuberías y accesorios son galvanizados ISO 1



Con datos de la tabla III y reemplazando en Fórmula # 26 , tenemos :

$$q_{18} = \frac{8.33}{646 f_{18-27} + 1} \times \sqrt{h + h_1 - Z_{27}} \quad \text{Fórmula \# 27}$$

Los sistemas que involucran flujo turbulento, frecuentemente deben ser representadas por ecuaciones diferenciales no lineales, pero a la vez éstas ecuaciones deben ser linealizadas.

Linealizando q_{18} para un cierto punto $h_{(0)} = h_0$, tenemos :

$$q_{18} = q'_{18} h_0 \times h \quad \text{Fórmula \# 28}$$

De la Fórmula # 27 , $C_1 = \frac{8.33}{646 f_{18-27} + 1}$ y derivando tenemos :

$$q'_{18} h_0 = \frac{C_1}{2} (h_0 + h_1 - Z_{27})^{-\frac{1}{2}} \quad \text{Fórmula \# 29}$$

reemplazando Fórmula # 29 en Fórmula # 28 , tenemos :

$$q_{18} = \frac{C_1}{2 \sqrt{h_0 + h_1 - Z_{27}}} \times h \quad \text{Fórmula \# 30}$$

haciendo , $C_2 = \frac{C_1}{2 \sqrt{h_0 + h_1 - Z_{27}}}$ y reemplazando en Fórmula # 30 , tenemos :

$$q_{18} = C_2 \times h \quad \text{Fórmula \# 31}$$

reemplazandose Fórmula # 31 en Fórmula # 19 y reordenando términos tenemos :

$$\frac{dh}{dt} - \frac{C_2 x h}{A} = \frac{q_{16}}{A} \quad \text{Fórmula \# 32}$$

resolviendo la ecuación diferencial no-homogénea # 32 , tenemos :

$$h_{(t)} = h_0 e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{q_{16}}{A} x \tau - \frac{q_{16}}{A} x \tau x e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{Fórmula \# 33}$$

Donde , τ = constante de tiempo y

$$\tau = \frac{A}{C_2} \quad \text{Fórmula \# 34}$$

Referente a la Fórmula # 33 , en estado estable tenemos :

$$h_{(t)} = \frac{q_{16}}{A} x \tau \quad \text{Fórmula \# 35}$$

Analizando la Fórmula # 30, tenemos que para encontrar q_{13} , para los diferentes valores de h , primero tenemos que determinar el valor de h_0 . Para lograr esto, aplico Fórmula # 26 y encuentro q_{13} para diferentes valores de h , pero hay que tomar en cuenta que para encontrar el factor de rozamiento f , necesito conocer el valor del número de Reynolds Re , pero a la vez Re depende del flujo o sea q_{13} , por lo tanto , asumo flujo turbulento, entonces elijo valores de f para este rango con Figura # 11 y determino q_{13} con Fórmula # 26 y tabla III.

Una vez obtenido q_{18} , determino la velocidad con Fórmula # 18 y reemplazo este valor en la ecuación del número de Re .

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} \quad \text{Fórmula \# 36, donde :}$$

ρ = Densidad del fluido en Kg / m³

V = Velocidad media de flujo en m / seg.

d = Diámetro interior de tubería en mm.

μ = Viscosidad absoluta (dinámica) en centipoises.

Con tabla IV, anexo # 4, encuentro d

Con tabla V, anexo # 4, encuentro ρ

Con Figura # 14, anexo # 3, encuentro μ

Con Re y figura # 11 , determino un nuevo valor del factor de rozamiento, que lo determino como f' .

Si $f = f'$, entonces q_{18} es el valor buscado , si no lo es , analizo nuevamente con el valor de f' .

Con datos de plano I

$h_{\text{máximo}} = 74$ pulgadas

Con tabla IV, $d = 15.8$ mm. = 0.622 pulgadas.

$$\pi \frac{d_{27}^2}{2} = 0.60 \text{ Pulg}^2$$

$$\frac{g}{2} = 193.2 \text{ Pulg.}$$

asumo $f = 0.027$

Aplicando Fórmula # 26 , tenemos :

$$q_{18} = 0.60 \times \sqrt{\frac{193.2}{19.63}} \times \sqrt{7.2 + h}$$

Para $h = 74 \text{ Pulg.}$, tenemos :

$$q_{18} = 16.95 \frac{\text{pulg}^3}{\text{seg}} = 16.67 \frac{\text{Lt}}{\text{mit}}$$

Aplicando fórmula # 36 , y reemplazando términos , tenemos:

$$Re = \frac{995,6 \times 1.4177 \times 15.8}{0.87} = 2.56 \times 10^4$$

Con figura # 11 , $f' = 0.0318$, entonces $f \neq f'$ por lo tanto , asumo $f = 0.032$

Aplicando Fórmula # 26 , tenemos :

$$q_{18} = 0.60 \times \sqrt{\frac{193.2}{23.08}} \times \sqrt{7.2 + h}$$

para $h = 74 \text{ pulgadas}$, tenemos :

$$q_{18} = 15.64 \frac{\text{pulg}^3}{\text{seg}} = 15.38 \frac{\text{Lt}}{\text{mit}}$$

Aplicando Fórmula # 18 , tenemos :

$$V = \frac{15.64}{0.3058} = 51.14 \frac{\text{pulg.}}{\text{seg}} = 1.299 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Aplicando Fórmula # 36 , tenemos :

$$Re = \frac{995,6 \times 1.299 \times 15.8}{0.87} = 2.3 \times 10^4$$

Con figura # 11 , $f' = 0.032$, tenemos :

$$q_{18} = 15.64 \frac{\text{pulg}^3}{\text{seg}} = 15.38 \frac{\text{Lt}}{\text{mit}}$$

En la tabla VI se muestran los valores de q_{18} para los diferentes valores de h , aplicando Fórmula # 26 .

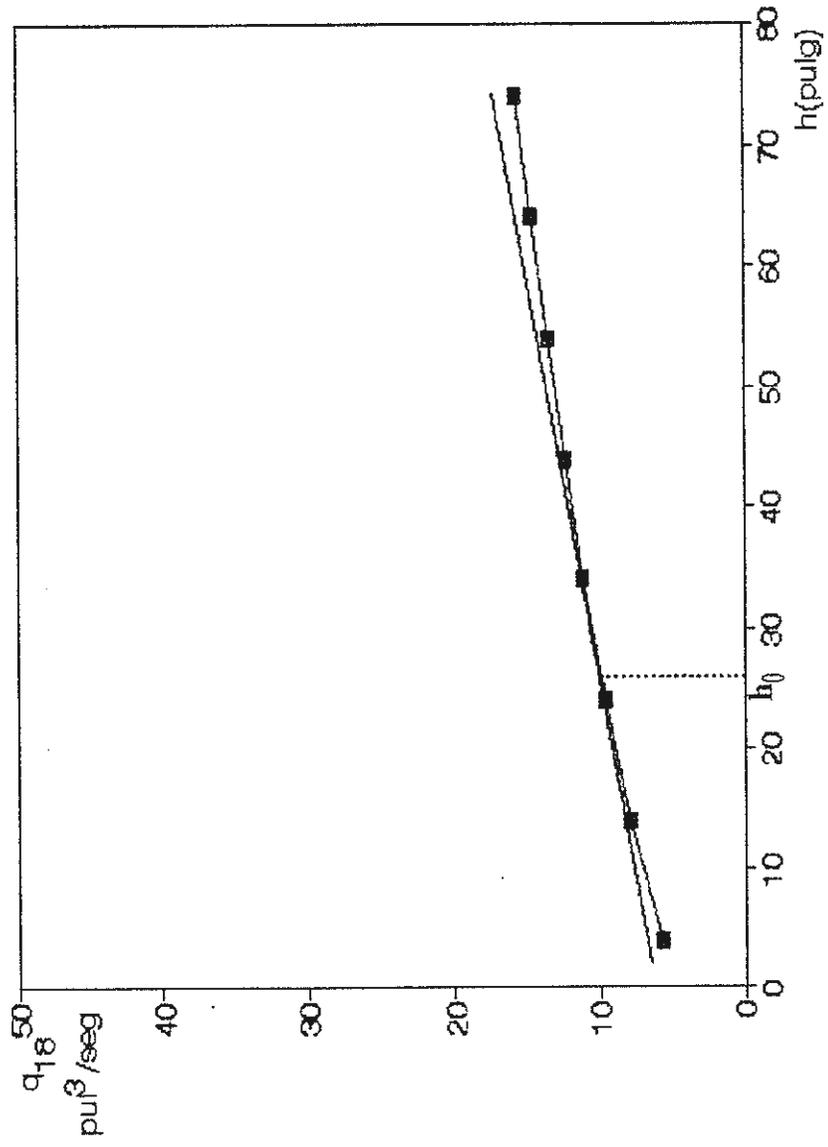
Tabla VI.- Valores del caudal de salida q_{18} y variaciones de altura h del recipiente C_2

f	V (Pulg. / seg)	h (Pulg.)	q_{18} (pulg ³ / seg)	q_{18} (Lt / min)
0.0320	51.14	74	15.64	15.38
0.0322	48.05	64	14.60	14.35
0.0324	44.40	54	13.49	13.27
0.0326	40.52	44	12.31	12.10
0.0328	36.24	34	11.01	10.82
0.0330	31.43	24	9.55	9.39
0.0332	25.83	14	7.85	7.72
0.0334	18.72	4	5.69	5.59

Con datos de tabla VI grafico q_{18} Vs h y trazando una recta a la curva encuentro el valor de h_0 , que es el punto tangente a la curva.

La figura # 15 muestra los valores de q_{18} y h .

Fig. # 15.



De figura # 15 obtenemos h_0 , el cual corresponde a 26 pulgadas

Con h_0 y aplicando Fórmula # 30 , encuentro q_{18} para los diferentes valores de h .

$$q_{18} = \frac{\pi \frac{d_{27}^2}{2} \times \sqrt{\frac{g}{2(690f + 1)}}}{2 \times \sqrt{h_0 + h_1 - Z_{27}}} \times h$$

$$\pi \frac{d_{27}^2}{2} = 0.60 \text{ Pulg.}^2$$

$$\frac{g}{2} = 193.2 \text{ Pulg.}$$

$$2\sqrt{h_0 + h_1 - Z_{27}} = 11.52 \text{ Pulg.}^{\frac{1}{2}}$$

Asumo $f = 0.0334$

para $h = 74$ pulgadas , tenemos :

$$q_{18} = \frac{0.60 \times \sqrt{\frac{193.2}{24.046}}}{11.52} \times 74 = 10.92 \frac{\text{Pulg.}^3}{\text{seg}} = 10.74 \frac{\text{Lt}}{\text{mit}}$$

Aplicando Fórmula # 18 , tenemos :

$$V = \frac{10.92}{0.3038} = 35.94 \frac{\text{Pulg}}{\text{seg}} = 0.91 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Aplicando Fórmula # 36 , tenemos :

$$Re = \frac{995,6 \times 0.91 \times 15.8}{0.87} = 1.65 \times 10^4$$

Con figura # 11 $f' = 0.0334$, entonces $f = f'$, tenemos :

$$q_{18} = 10.92 \frac{\text{Pulg.}^3}{\text{seg}} = 10.74 \frac{\text{Lt}}{\text{min}}$$

Representando en la tabla VII , los valores de q_{18} para los diferentes valores de h , aplicando Fórmula # 30 .

Tabla VII.- Valores linealizados del caudal de salida q_{18} y variaciones de altura h del recipiente C_2

f	V (Pulg. / seg)	h (Pulg.)	q_{18} (pulg ³ / seg)	q_{18} (Lt / min)
0.0334	35.94	74	10.92	10.74
0.0336	31.00	64	9.42	9.26
0.0338	26.069	54	7.92	7.79
0.0340	31.19	44	6.44	6.33
0.0342	16.32	34	4.96	4.87
0.0344	11.48	24	3.49	3.43
0.0346	6.68	14	2.032	1.99
0.0348	1.87	4	0.57	0.56

SELECCIÓN DEL TANQUE DE CONTROL DE NIVEL .- Para lograr una correcta selección, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros :

a.- **Condiciones Geométricas .-** El recipiente C_2 debe ser vertical, por lo tanto se

selecciona un recipiente cilíndrico . Analizando la tabla III , la altura máxima

$h = 74$, por lo tanto h_{C_2} debe ser mayor que h .

Seleccionamos $h_{C_2} = 78$ pulgadas .

Realizamos el esquema # 4 , anexo # 2 , del recipiente C_2 .

Anteriormente se selecciona un recipiente $C_1 = 250$ Lt, trabajaremos con un volumen de 140 Lt para el recipiente C_2 , 90 Lt para el recipiente de control de temperatura y 20 Lt para el calentador, entonces :

$$V = \pi \frac{D^2}{4} x h$$

Fórmula # 37 , de donde :

$$D = \sqrt[4]{\frac{4V}{\pi h} x 61.02}$$

$D =$ Diámetro en pulgadas

$V =$ Volumen en Lt

$h =$ Altura en pulgadas

$$D = \sqrt[4]{\frac{4 x 140}{\pi x 78}} = 11.8 \text{ pulgadas}$$

b.- Condiciones Técnicas .- En esta parte de la selección hay que considerar los siguientes puntos.

1.- Se selecciona en la construcción del cilindro plancha de acero al carbono

ASTM A36 (AISI 1010), revestida interiormente con pintura epóxica y

exteriormente con pintura anticorrosiva .

2.- El espesor de la chapa debe ser tal que pueda soportar la presión ejercida por la columna de agua en el recipiente .

Cuando se trata de recipientes cilíndrico cuya pared tiene un espesor de 1 / 10 de su radio o menos , esto es :

$$t \leq \frac{1}{10} \times \frac{D}{2} \qquad \text{Fórmula \# 38}$$

Donde :

t = Pared del cilindro

D = Diámetro interior del cilindro

Se puede considerar que el esfuerzo radial producido por la presión del contenido del cilindro es muy pequeño en comparación con el esfuerzo tangencial y está uniformemente distribuido en todo el grosor de la pared. Cuando se acepta esta hipótesis, el elemento en cuestión se le llama recipiente de presión de pared delgada.

El esfuerzo tangencial viene dado por :

$$\sigma_t = \frac{PD}{2t} \quad \text{Fórmula \# 39}$$

Es producida por la presión en las paredes del cilindro sin tapas , donde :

σ_t = Esfuerzo tangencial

P = Presión

Con Fórmula # 38 , tenemos

$$t \leq \frac{1}{10} \times \frac{11.8}{2} = 0.59 \text{ Pulg.} = 15 \text{ mm.}$$

Asumo $t = 1.5 \text{ mm.}$

Trabajando con un acero ASTM A36 (AISI 1010) , entonces $S_y = 26\text{Kpsi} = \sigma_t$

Aplicando fórmula # 39 y reemplazando valores tenemos :

$$P = \frac{2 \sigma \times t}{D} = \frac{2 \times 26000 \times 1.5}{299.72} = 260 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg.}^2}$$

La Fórmula para calcular la presión ejercida por la columna de agua en el recipiente C_2 es :

$$P_1 = \rho gh \quad \text{Fórmula \# 40}$$

$P_1 =$ Presión ejercida por la columna de agua (psi)

$\rho =$ Densidad (Lb / pie³) = 62.22

$g =$ Aceleración de la gravedad (pies / seg²) = 32.2

$h =$ Altura máxima del recipiente = 74 pulg.

Aplicando Fórmula # 40 y reemplazando valores , tenemos :

$$P_1 = \frac{62.22 \times 32.2 \times 74}{1728} = 85.79 \text{ psi.}$$

Analizando los resultados obtenidos con las Fórmulas # 39 y # 40 , tenemos :

$$\frac{P}{P_1} = \frac{260}{85.79} = 3.03 = K_1 = \text{Factor de seguridad}$$

El espesor o pared del cilindro asumido , está correcto.

En la tabla VIII se representa valores de t , para los diferentes factores de seguridad K_1 .

Tabla VIII.- Valores del espesor t Vs los factores de seguridad K_1

P (psi)	P_1 (psi)	t (mm)	K_1
85.79	85.79	0.49	1
171.58	85.79	0.98	2
257.37	85.79	1.48	3
343.16	85.79	1.97	4
428.95	85.79	2.47	5

1.3 .- ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL BUCLE DE CONTROL DE FLUJO Y NIVEL

Toda Planta de Control de Procesos empleada en la industria química , petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., está constituida de tres elementos principales .

a.- El elemento de detección

b.- El control

c.- El elemento de corrección

a.1.- Para el control de flujo se selecciona como elemento de detección un orificio de medida con tomas en la brida y placa concéntrica , asociado a un transmisor eléctrico de equilibrio de fuerza .

La placa con orificio concéntrica Figura # 4, consiste en una placa delgada que puede colocarse entre las bridas de dos tubos. Como su geometría es muy simple su costo es bajo y se puede fácilmente instalar o reemplazar. La arista que forma el orificio generalmente es muy afilada de tal modo, que se forman depósitos en ella. Sin embargo, en tuberías horizontales se pueden acumular materiales en suspensión del lado aguas arriba del orificio para evitar estas dificultades se puede colocar un orificio excéntrico, cerca de la parte

inferior del conducto.

Las desventajas principales de la placa con orificio son su capacidad limitada y la alta pérdida de carga (altura piezométrica) , que ocasiona debido a la expansión no controlada que se presenta en las partes aguas abajo del elemento medidor .

Debido a que la localización de los orificios para medir la presión influyen en el valor del coeficiente determinado empíricamente, este se debe seleccionar entre los valores que ofrecen los manuales de tal modo que sean consistentes con la localización de los orificios de presión .

En la práctica del diseño se recomienda utilizar diámetros para el orificio de tal modo que se tenga $0.25 \leq \beta \leq 0.90$, donde :

$$\beta = \frac{D_t}{D_1}$$

Donde :

D_t = Diámetro del orificio

D_1 = Diámetro de la tubería

a.1.1 .- Para el control de nivel se selecciona como elemento de

detección un medidor eléctrico de presión diferencial de diafragma .

b.1.- Un control automático compara el valor efectivo de salida de una planta con el valor deseado, determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero a un valor pequeño. La forma en que el control automático produce la señal de control recibe el nombre de acción de control.

Para la acción de control de flujo se utiliza un control maestro neumático asociado a un registrador.

b.1.1.- Para la acción de control de nivel se utiliza un control secundario neumático asociado a un registrador .

b.1.2.- Para la acción de control en cascada se utiliza dos controladores asociados a un registrador, de tal manera que la salida de un controlador es la entrada del segundo y la salida de esta es la que regula la posición de las válvulas.

c.1.- Una característica de los controles neumáticos es que emplea casi exclusivamente válvulas de accionamiento neumático.

La válvula de control realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida; su función es tan importante como las del elemento primario, el transmisor y el controlador.

El obturador de la válvula determina su característica de caudal, es decir la relación que existe entre la posición del obturador y el caudal de paso del fluido.

La característica de caudal inherente se refiere a un fluido incompresible fluyendo en condiciones de presión diferencial constante y sus curvas más significativas son las de apertura rápida, la lineal, la isoporcentual, la parabólica, la de tajadera, la mariposa y la saunders , siendo las más importantes la lineal y la isoporcentual.

Para el control de flujo y nivel se selecciona dos válvulas de control neumático como el elemento de corrección , una normalmente abierta y otra normalmente cerrada .

CAPITULO II

BUCLE DE CONTROL DE TEMPERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BUCLE

La medida de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúa en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación, por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida, el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios; es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran :

- a .- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases) ;*
- b .- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia) ;*
- c .- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores) ;*
- d .- f.e.m (fuerza electro motriz) creada en la unión de dos metales distintos*

(termopares);

e .- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetro de radiación) ;

f .- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia en un cristal).

De éste modo se emplea los siguientes instrumentos :

Termómetros de vidrio, termómetros bimetalicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de liquido, gas o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

En la figura # 16, anexo # 3 pueden verse los instrumentos de temperatura con sus intervalos de medida.

TERMÓMETROS DE VIDRIO .- El termómetro de vidrio figura # 17 , consta de un depósito de vidrio que contiene, por ejemplo, mercurio y que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar.

Los márgenes de trabajo de los fluidos empleados son :

Mercurio - 35 hasta + 280 °C

<i>Mercurio (tubo capilar lleno de gas)</i>	<i>- 35 hasta + 450 ° C</i>
<i>Pantano</i>	<i>- 200 hasta + 20 ° C</i>
<i>Alcohol</i>	<i>- 110 hasta + 50 ° C</i>
<i>Tolueno</i>	<i>- 70 hasta + 100 ° C</i>



Fié. # 17.- Termómetro de vidrio .

TERMÓMETRO BIMETÁLICO .- Los termómetros bimetalicos se fundamentan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes tales como latón , monel o acero y una aleación de ferro níquel o invar (35.5 % de níquel) laminados conjuntamente. Las láminas bimetalicas pueden ser rectas o curvas formando espirales o hélices . Ver figura # 18 .

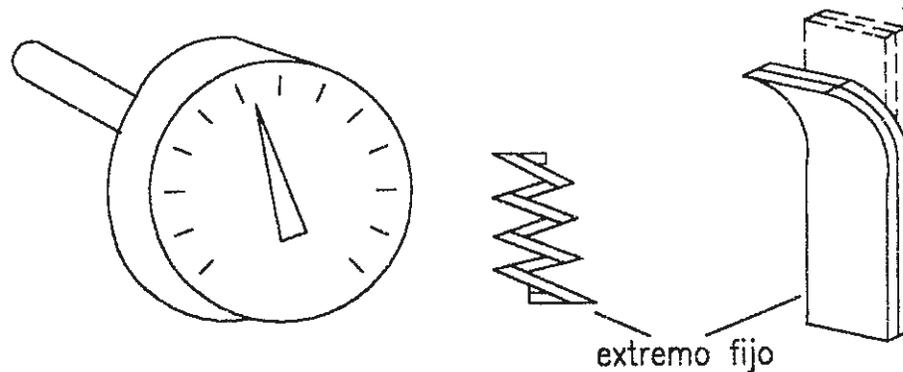


Fig. # 18 Termómetro bimetalico

Un termómetro bimetalico típico contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetalico.

El eje y el elemento están sostenidos con cojinetes y el conjunto está construido con precisión para evitar rozamientos. No hay engranajes que exijan un mantenimiento. La precisión del instrumento es de $\pm 1\%$ y su campo de medida de -200 a $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

TERMÓMETRO DE BULBO Y CAPILAR. - *los termómetros tipo bulbo consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a un espiral . Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expande y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo .*

Hay cuatro clases de este tipo de termómetros :

- Clase I : Termómetros actuados por líquido*
- Clase II : Termómetros actuados por vapor*
- Clase III : Termómetros actuados por gas*
- Clase I : Termómetros actuados por mercurio*

Los termómetros actuados por líquido tienen el sistema de medición lleno de líquido y como su dilatación es proporcional a la temperatura , la escala de medición resulta uniforme. El volumen del líquido depende principalmente de la temperatura del bulbo, de la del capilar y de la del elemento de medición (temperatura ambiente) . Por lo tanto, para capilares cortos hasta cinco metros, solo hay que compensar el elemento de medición para evitar errores debidos a variaciones de la temperatura ambiente (clase IB), ver figura # 19a . Para capilares más largos hay que compensar también el volumen del tubo capilar (clase IA), ver figura # 19b . Los líquidos que se utiliza son : alcohol y éter .

El campo de medición de estos instrumentos varía entre 150 hasta 500 °C, dependiendo del tipo de líquido que se emplee.

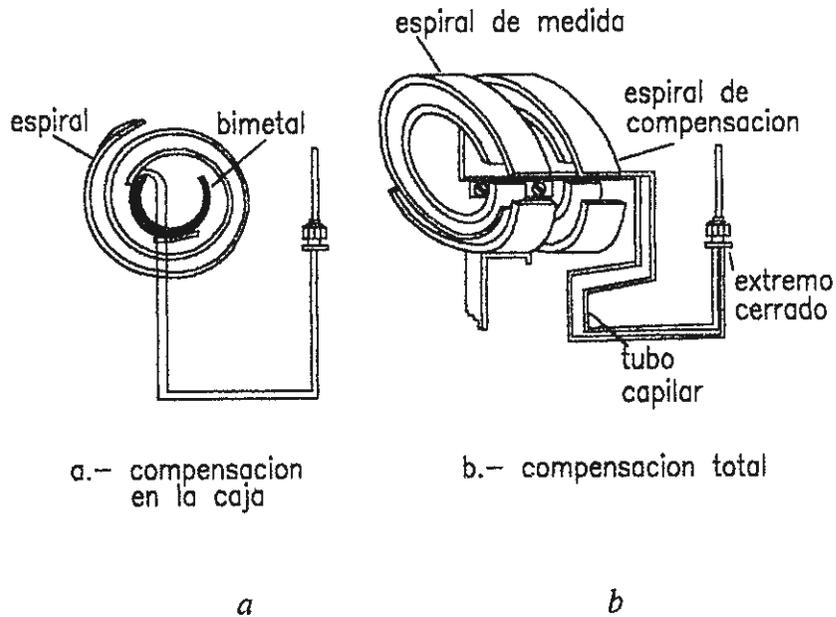


Fig. # 19 .- Termómetro tipo bulbo (a .- Compensación en la caja,
b .- Compensación total)

Los termómetros actuados por vapor contienen un líquido volátil y se basan en el principio de presión de vapor. Al subir la temperatura aumenta la presión del líquido. La escala de medición no es uniforme, sino que las distancias entre divisiones van aumentando hacia la parte mas alta de la escala. La presión en el sistema depende solamente de la temperatura en el bulbo. Por consiguiente , no hay necesidad de compensar la temperatura ambiente . Si la temperatura del bulbo es mayor que la temperatura ambiente, el capilar y el elemento de medición están llenos de líquidos (clase IIA) , ver figura # 20a , siendo necesario corregir la indicación en la diferencia de altura entre el bulbo y elemento de medición .

Si la temperatura del bulbo es más baja que la ambiente, el sistema se llena de vapor (clase IIB) , ver figura # 20b .

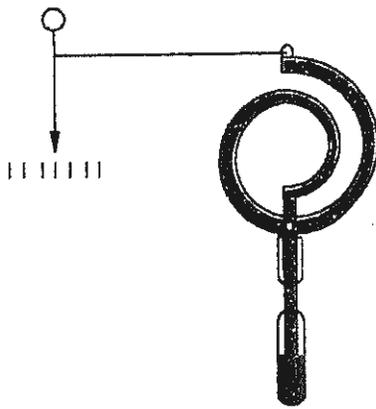


Fig. # 20a .- Sistema térmico
clase IIA

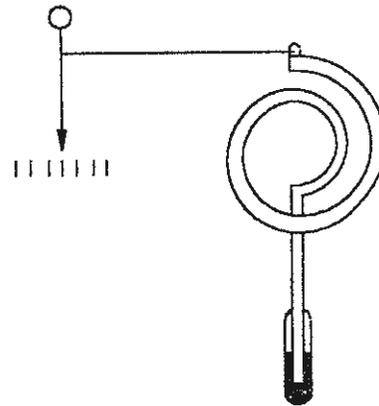


Fig. # 20b .- Sistema térmico
clase IIB

La clase IIC , opera con la temperatura del bulbo superior e inferior a la temperatura ambiente, ver figura # 21 , y la clase IID trabaja con la temperatura del bulbo superior, igual, e inferior a la ambiente, empleando otro líquido no volátil para transmitir la presión de vapor, ver figura # 22 .

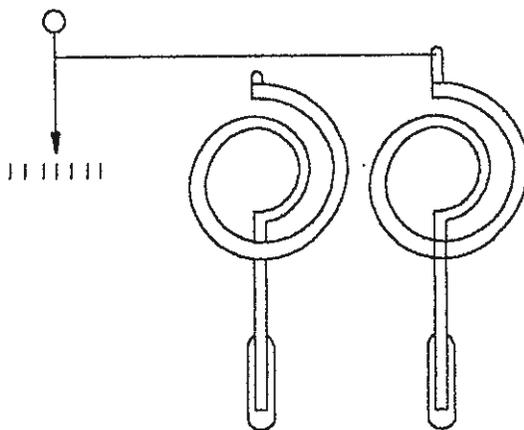


Fig. # 21 .- Sistema térmico
clase IIC

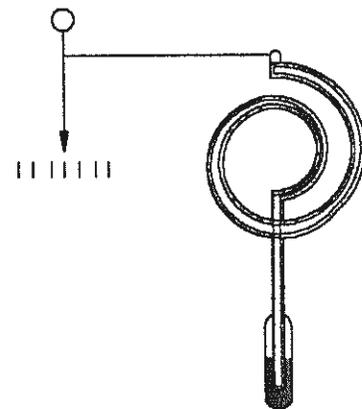


Fig. # 22 .- Sistema térmico
clase IID

Los termómetros actuados por gas están completamente llenos de gas. Al subir la temperatura, la presión de gas aumenta proporcionalmente y por lo tanto estos termómetros tienen escala lineales.

La presión en el sistema depende principalmente de la temperatura del bulbo , pero también de la temperatura del tubo capilar y del elemento de medición, siendo necesario compensar la temperatura del ambiente en el sistema de medición .

Los termómetros actuados por mercurio (clase IV) , son similares a los termómetros actuados por líquidos (clase I). Pueden tener compensación en la caja y compensación total, ver figura # 19 .

TERMÓMETROS DE RESISTENCIA .- La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "coeficiente de temperatura de resistencia" que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

TERMISTORES.-Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado y que presenta una curva característica lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

TERMOPARES.-El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantiene a distinta temperatura, ver figura # 23. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura.

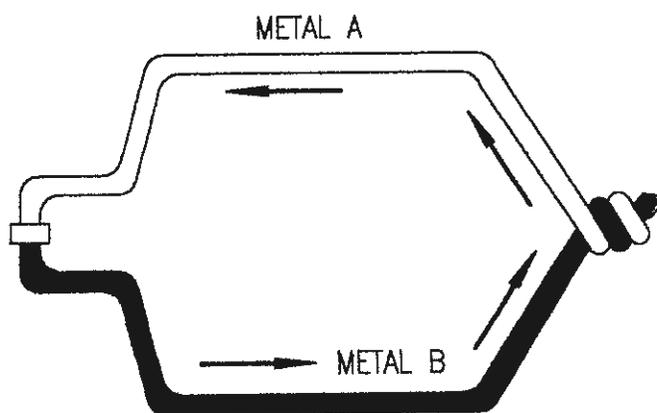


Fig. # 23 Termopar

Además de estudiar, la construcción, el método de funcionamiento y la utilización de tipos normalizados de transmisor, registrador, controlador y válvula de control, la característica principal de este bucle es que se puede determinar retardos de propagación como consecuencia de variaciones de longitudes y volumen de agua contenida en el tanque de pruebas.

2.2 DISEÑO DEL BUCLE DE CONTROL DE TEMPERATURA

El diseño de este Bucle, está basado exclusivamente en la selección del calentador y de la bomba, debido a que en este Bucle hay una mayor cantidad de tubería y por lo tanto mayor caída de presión.

En el capítulo anterior se considero los siguientes datos para el diseño de las tuberías y accesorios por el cual se transporta el fluido.

Reservorio de agua para alimentar el proceso 250 Lt.

Se selecciona un caudal de 8 Lt / min , para el Bucle de Temperatura .

Se selecciona un volumen de 90 Lt , para el recipiente de prueba de temperatura y 20 Lt para el calentador.

Se considera como primera aproximación diámetro de tubería $\phi = 1/2$ " para el Bucle de Temperatura .

En el Plano II se realiza el diagrama de flujo para el Bucle de Temperatura.

Referente al Plano II .

Desde el punto P_{85} al punto P_{33} y aplicando Fórmula # 7 , tenemos :

$$\frac{P_{85}}{\rho} + \alpha \frac{V_{85}^2}{2} + gz_{85} - \frac{P_{33}}{\rho} + \alpha \frac{V_{33}^2}{2} + gz_{33} = hlt \quad \text{Fórmula \# 41}$$

Asumiendo flujo turbulento $\alpha = 1$

Cuando P_{88} está completamente cerrada , diámetros son iguales, por lo tanto

$V_{85} = V_{33}$ y $Z_{85} = Z_{33}$, entonces tenemos :

$$\frac{P_{85}}{\rho} - \frac{P_{33}}{\rho} = hl + hlm \quad \text{Fórmula \# 42}$$

$$\frac{dV}{dt} = q_{33} - q_{34} \quad \text{Fórmula \# 43}$$

Se asume volumen constante, tenemos :

$$q_{33} = q_{34} \quad \text{Fórmula \# 44}$$

En la línea de 33 a 50 y aplicando Fórmula # 7 , tenemos :

$$\left(\frac{P_{33}}{\rho} + \alpha \frac{V_{33}^2}{2} + gz_{33} \right) - \left(\frac{P_{50}}{\rho} + \alpha \frac{V_{50}^2}{2} + gz_{50} \right) = hlt \quad \text{Fórmula \# 45}$$

Asumiendo flujo turbulento $\alpha = 1$, diámetro son iguales, por lo tanto $V_{33} = V_{50}$

Según plano II , los puntos P_{50} , P_{52} , P_{53} , son puntos de mezcla , por lo tanto cada punto tendrá una ecuación diferente .

Para el punto P_{50} y aplicando Fórmula # 7 , tenemos :

$$\left(\frac{P_{50}}{\rho} + \alpha \frac{V_{50}^2}{2} + gz_{50} \right) - \left(\frac{P_{68}}{\rho} + \alpha \frac{V_{68}^2}{2} + gz_{68} \right) = hlt \quad \text{Fórmula \# 46}$$

Cuando P_{88} , P_{56} están completamente abiertas y P_{55} , P_{54} están completamente cerradas , por éste ramal no hay mayor longitud .

Aplicando Fórmulas # 12 , 13 , 14 , 41 , 42 , 45 , y 46 , tabla II , figura # 11 , tenemos :

$$\begin{aligned} \frac{P_{85}}{\rho} = & \frac{P_{68}}{\rho} + gz_{68} - gz_1 + \frac{8q^2_{56}}{\pi^2 d^4_{56}} \left[f_{56} \left(\frac{L_{56-66}}{d_{56}} + 590 \right) + \frac{1}{4} \right] + \\ & \frac{8q^2_{33}}{\pi^2 d^4_{33}} \left[f_{33} \left(\frac{L_{85-55}}{d_{33}} + 60 \right) + \frac{1}{4} \right] + \frac{8q^2_{50}}{\pi^2 d^4_{50}} \left[f_{50} \left(\frac{L_{50}}{d_{50}} + 1690 \right) + \frac{1}{5} \right] \end{aligned}$$

Fórmula # 47

Dando valores al plano II , construimos la tabla IX

TABLA IX : Valores referentes al Plano II ,del diagrama de Flujo para el Bucle de Temperatura.

Tomas	Longitud de tubería (Pulgadas)	Diámetro de tubería (Pulgadas)	Puntos de conexión (Pulgadas)	Altura de recipiente-tubería (Pulgadas)
P3-P3'	7.5	1		
P3'			Universal de 1	
P3'-P4	23.5	1		
P4			Tee de 1	
P4-P29	1.5	1		
P29			VM de 1	
P29-P85	5	1		
P85			Reductor de 1 a 1/2	
P85-P86	69,5	1/2		
P86			Universal de 1/2	
P86-P30	6	1/2		
P30			Codo de 90° de 1/2	
P30-P31	6.5	1/2		
P31			Yee de 1/2	
P31-P32	68.5	1/2		
P32			Codo de 90° de 1/2	
P32-P33	2	1/2		
P33			Reductor de 1 a 1/2	
P34			Reductor de 1 a 1/2	
P34-P87	19.5	1/2		

Continuación TABLA IX

P87			Universal de 1/2	
P87-P35	5.5	1/2		
P35			Codo de 90° de 1/2	
P35-P36	1	1/2		
P36			Tee de 1/2	
P36-P37	1.5	1/2		
P37			VM de 1/2	
P37-P38	1.5	1/2		
P38			Universal .. de 1/2	
P38-P39	1.5	1/2		
P39			FVC de 1/2	
P39-P40	2	1/2		
P40			Universal de 1/2	
P40-P41	1.5	1/2		
P41			VM de 1/2	
P41-P42	1	1/2		
P42			Tee de 1/2	
P42-P47	1	1/2		
P36-P43	1.5	1/2		
P43			Codo de 90° de 1/2	
P43-P44	3.5	1/2		
P44			VM de 1/2	
P44-P45	7	1/2		
P45			Universal de 1/2	

Continuación TABLA IX

P45-P45'	2	1/2		
P45'		Unión de 1/2	
P45'-P46	1.5	1/2		
P46			Codo de 90° 1/2	
P46-P42	1.5	1/2		
P47			Codo de 90° 1/2	
P47-P48	19.5	1/2		
P48			Universal de 1/2	
P48-P49	5.5	1/2		
P49			Codo de 90° 1/2	
P49-P50	1.5	1/2		
P50			Tee de 1/2	
P50-P51	3	1/2		
P51			Universal de 1/2	
P51-P52	6.5	1/2		
P52			Tee de 1/2	
P52-P53	7.5	1/2		
P53-P54	4	1/2		
P54			VM 1/2	
P52-P55	2	1/2		
P55			VM 1/2	
P50-P56	1.5	1/2		
P56			VM 1/2	

Continuación TABLA IX

P56-P56'	2	1/2		
P56'			Reductor de 1/2 a 3/8	
P56'-P57	295	1/2 de Cu		
P55-P55'	2	1/2		
P55'			Reductor de 1/2 a 1/2	
P55'-P59	236	3/8 de Cu		
P54-P60	9.5	1/2		
P60			Universal de 1/2	
P60-P60'	9.5	1/2		
P60'			Union de 1/2	
P60'-P61	3	1/2		
P57			Codo de 90° de 1/2	
P57-P58	1.5	1/2		
P58			Universal de 1/2	
P58-P59	1.5	1/2		
P59			Tee de 1/2	
P59-P61	7.5	1/2		
P61			Tee de 1/2	
P61-P62	1.5	1/2		
P62			Tee de 1/2	
P62-P63	1.5	1/2		
P63			Codo de 90° de 1/2	
P63-P64	1.5	1/2		

Continuación TABLA IX

P64			Universal de 1/2	
P64-P65	3.5	1/2		
P65			Codo de 90° de 1/2	
P65-P66	1.5	1/2		
P66			Reductor de 1 a 1/2	
P68			Reductor de 1 a 1/2	
P68-P69	5	1/2		
P69			Codo de 90° de 1/2	
P69-P70	2.5	1/2		
P70			Universal de 1/2	
P70-P72	14	1/2		
P67			Reductor de 1 a 1/2	
P67-P71	1.5	1/2		
P71			VM de 1/2	
P71-P72	2	1/2		
P72			Tee de 1/2	
P72-P73	30	1/2		
P73			Codo de 90° de 1/2	
P73-P74	18.5	1/2		
P74			Universal de 1/2	
P74-P75	5.5	1/2		
P75			Codo de 90° de 1/2	

Continuación TABLA IX

P75-P76	4	1/2		
P79			Reductor de 1 a 1/2	
P79-P78	1.5	1/2		
P78			Codo de 90° de 1/2	
P78-P77	7.5	1/2		
P77			VM de 1/2	
P77-P76	1.5	1/2		
P76			Tee de 1/2	
P76-P84	76.5	1/2		
P84			Codo de 90° de 1/2	
P84-P21	107	1/2		
P31-P83	2	1/2		
P83			Codo de 90° de 1/2	
P83-P82	59.5	1/2		
P82			Codo de 90° de 1/2	
P82-P81	3	1/2		
P81			Universal de 1/2	
P81-P80	1.5	1/2		
P80			Codo de 90° de 1/2	
P80-P88	33	1/2		
P88			VM de 1/2	
P88-P53	2	1/2		
P53			Tee de 1/2	
Z1				14.0

Continuación TABLA IX

Z4				24.8
h1				26.5
Z6				76.0

Nota : Todas las tuberías y accesorios son galvanizados ISO 1

Con datos de tabla IX y reemplazando valores en Fórmula # 47 , tenemos :

$$\frac{P_{68}}{\rho} = \frac{P_{atm}}{\rho} = 157294.52 \frac{Pug^2}{seg^2}$$

$$gz_{68} = 28207.2 \frac{Pug^2}{seg^2}$$

$$gz_1 = 5409.6 \frac{Pug^2}{seg^2}$$

$$\frac{e}{D} = 0.0096$$

$$v = 0.00093 \frac{Pug^2}{seg^2} \text{ a } 50 \text{ } ^\circ \text{ C}$$

$$v = 0.00124 \frac{Pug^2}{seg^2} \text{ a } 30 \text{ } ^\circ \text{ C}$$

$$v = 0.00062 \frac{Pug^2}{seg^2} \text{ a } 70 \text{ } ^\circ \text{ C}$$

$$L_{56-66} = 317 \text{ Pulg.}$$

$$q_{56} = 8.08 \frac{pulg^3}{seg}$$

$$f_{56} = 0.04$$

$$q_{33} = 4.04 \frac{pulg^3}{seg}$$

$$f_{33} = 0.046$$

$$L_{85-33} = 152.5 \text{ Pulg.}$$

$$q_{50} = 4.04 \frac{pulg^3}{seg}$$

$$f_{50} = 0.041$$

$$L_{50} = 62.5 \text{ Pulg.}$$

$$P_{85} = 18.95 \frac{Lb}{Pulg^2} = 43.71 \text{ pies de agua}$$

De las curvas de la bomba Modelo 3642, gráfico #1, anexo # 5, tenemos que para los pies de agua calculados podemos seleccionar una bomba con una potencia de 1/3 o 1/2 HP., dependiendo de los galones por minuto (GPM) y la eficiencia . Si trabajamos con un caudal de 10 GPM y 43.71 pies de agua se selecciona una bomba de 1/3 HP, pero está en el límite ; por lo tanto se selecciona una bomba de 1/2 HP , 43.71 pies de agua de cabezal, 22 GPM y una eficiencia del 51% .

ANÁLISIS EN EL TANQUE DE PRUEBA .- En el capítulo anterior se selecciona un volumen de 90 Lt. para el tanque de pruebas de control de temperatura.

Seleccionamos un volumen de 13 y 22 galones para controlar la temperatura y producir los retardos de propagación como consecuencia del volumen de agua contenido en C4 .

Aplicando Fórmula # 37 , tenemos :

Para $h_1 = 46.5$ pulgadas , correspondientes a 22 galones

$h_2 = 28$ pulgadas , correspondientes a 13 galones

$$D_1 = \sqrt{\frac{4V}{\pi h_1} \times 61.02}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \times 83.16}{\pi \times 46.5} \times 61.02} = 11.78 \text{ Pulg.}$$

Referente al plano II , las líneas P_{50} , P_{52} , P_{53} son los puntos donde se mezclan los flujos de agua caliente y fría , por lo tanto es necesario conocer la temperatura de equilibrio después del punto de mezcla , en la figura # 24 se representa los puntos de mezcla , donde :

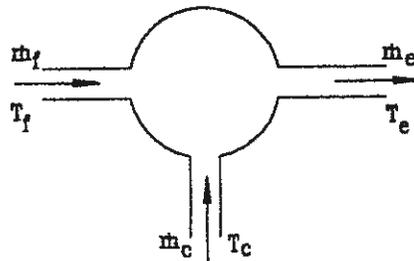


Fig. # 24 .- Puntos de mezcla.

\dot{m}_f = flujo másico de agua fría (constante)

\dot{m}_c = flujo másico de agua caliente (variable)

\dot{m}_e = flujo másico de agua de equilibrio (variable,

T_f = temperatura de agua fría

T_c = temperatura de agua caliente

T_e = temperatura de agua de equilibrio

Realizando un balance de energía, en el punto de mezcla, tenemos :

$$\dot{Q} = \sum_i \dot{m}_i E_i + \dot{W} \quad \text{Fórmula \# 48}$$

\dot{Q} = Calor cruzando las fronteras del sistema

\dot{W} = Trabajo cruzando las fronteras del sistema

E = Energía cruzando las fronteras del sistema

Asumo :

$$\dot{Q} = 0$$

$$\dot{W} = 0$$

De figura # 24, tenemos :

$$\dot{m}_e = \dot{m}_f + \dot{m}_c \quad \text{Fórmula \# 49}$$

Reemplazando Fórmula # 49 en Fórmula # 48 , tenemos :

$$\dot{m}_e = \dot{m}_f + \dot{m}_c$$

$$0 = \dot{m}_f (h_f + k_f) + \dot{m}_c (h_c + k_c) - \dot{m}_e (h_e + k_e) \quad \text{Fórmula \# 50}$$

h = Entalpia

k = Energía cinética

Resolviendo Fórmula # 50 , tenemos :

$$0 = \left(\dot{V}_f C_p T_f + \dot{V}_c C_p T_c - \dot{V}_e C_p T_e + \frac{\dot{V}_f^3}{2 A_f^2 k} + \frac{\dot{V}_c^3}{2 A_c^2 k} - \frac{\dot{V}_e^3}{2 A_e^2 k} \right) \rho$$

Si diámetros son iguales, entonces velocidades son iguales , por lo tanto se asume que las energías cinéticas debido a las velocidades son despreciables .

$$0 = \dot{V}_f T_f + \dot{V}_c T_c - \dot{V}_e T_e , \text{ entonces tenemos :}$$

$$T_c = \frac{\dot{V}_e T_e - \dot{V}_f T_f}{\dot{V}_c} \quad \text{Fórmula \# 51}$$

Analizando Fórmulas # 49 , # 51 , y dando valores para \dot{V}_c (flujo volumétrico de agua caliente), se obtiene diferentes valores para T_c , los mismos que se representan en la tabla X.

Tabla X.- Valores del Flujo volumétrico de agua caliente \dot{V}_c y T_c para los puntos de mezcla

\dot{V}_f (Lt. / min)	\dot{V}_c (Lt. /min)	\dot{V}_e (Lt. /min)	T_f (°F)	T_e (°F)	T_c (°F)
4	4	8	71,6	86	100.4
	5	9		104	130
	6	10		122	156
	7	11		140	179
	8	12		158	201

CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS EN EL TANQUE DE PRUEBAS

El cambio de calor en el tanque = Energía que entra - Energía que sale

$$\frac{d}{dt} (C_p \rho \forall T) = C_p \rho \dot{V}_i T_i - C_p \rho \dot{V}_s T_s \quad \text{Fórmula \# 52}$$

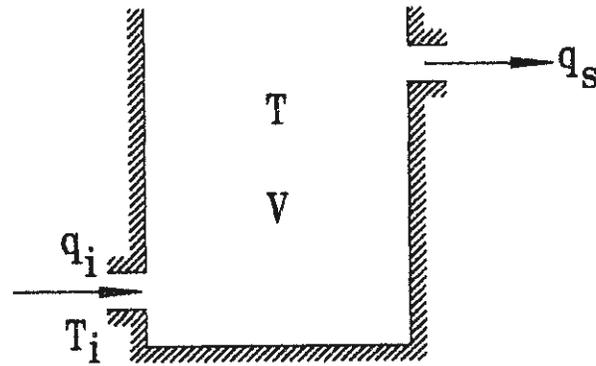


Fig. # 25 .- Consideraciones energéticas en el tanque de prueba

V = Volumen del agua en el tanque

T = Temperatura en grados absolutos en el agua de mezclado

\dot{V}_s = Flujo volumétrico del agua que sale

\dot{V}_i = Flujo volumétrico del agua que entra

T_i = Temperatura a la que ingresa el agua (T_i)

De Fórmula # 52 , tenemos :

$$V \frac{dT}{dt} = \dot{V}_i T_i - \dot{V}_s T_s \quad \text{Fórmula \# 53}$$

resolviendo la ecuación diferencial ordinaria lineal de primer orden Fórmula

53 , tenemos :

$$T(t) = \left(T_0 - \frac{\dot{V}_i}{V} T_i \tau \right) e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{\dot{V}_i}{V} T_i \tau \quad \text{Fórmula \# 54}$$

donde

τ = constante de tiempo, entonces

$$\tau = \frac{V}{\dot{V}_s} \quad \text{Fórmula \# 55}$$

Referente a la Fórmula # 54, en estado estable, tenemos :

$$t_1 = 4 \tau \quad \text{Fórmula \# 56}$$

donde : t_1 = tiempo en estabilizarse la temperatura en el tanque

entonces , tenemos :

$$T_{(t)} = \frac{\dot{V}_i}{V} T_i \tau \quad \text{Fórmula \# 57}$$

Reemplazando Fórmula # 55 en Fórmula # 57 y asumiendo que $\dot{V}_i = \dot{V}_s$,

entonces tenemos :

$$T_{(t)} = T_i \quad \text{fórmula \# 58}$$

Analizando Fórmulas # 53, 54, 55, 56 , 57 y 58 se obtiene diferentes valores para

$T_{(t)}$, los mismos que se representan en la tabla XI .

Tabla XI.- Valores de $T_{(t)}$ en grados absolutos en el recipiente de mezclado C_4

T_i ($^{\circ}F$)	\dot{V}_s (L/min)	\dot{V}_1 (L)	τ_1 (min)	t_{1-1} (min)	$T_{1-1(t)}$ ($^{\circ}F$)	$T_{2-1(t)}$ $T_{2-2(t)}$ ($^{\circ}F$)	V_2 (L)	τ_2 (min)	$T_{1-2(t)}$ ($^{\circ}F$)
86	8	49.14	6.142	24.56	83.17	86	83.16	10.4	80.49
104	9		5.46	21.84	98.9	104		9.24	93.02
122	10		4.91	19.64	115.42	122		8.32	106.84
140	11		4.46	17.84	132.73	140		7.56	121.77
158	12		4.095	16.38	150.48	158		6.93	137.59

t_{1-1} = Tiempo en estabilizarse la temperatura en el tanque para V_1

$T_{1-1(t)}$ = Analizando según Fórmula # 54

$T_{1-2(t)}$ = Analizando según Fórmula # 54

$T_{2-1(t)}$ = Analizando según Fórmula # 58

La rapidez de transferencia de calor hacia el fluido es :

$$\dot{q} = \dot{V} \rho C_p (T_{b_2} - T_{b_1}) \quad \text{Fórmula \# 59}$$

$$\dot{V} = \text{rapidez de flujo, } \frac{\text{pie}^3}{\text{hora}}$$

$$C_p = \text{Calor específico a presión constante, } \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm} \cdot \text{°F}}$$

T_b = Diferencia de temperatura promedio de la masa principal

T_{b_2} = temperatura de la masa caliente

T_{b_1} = temperatura de la masa fría

Con tabla X, tabla XI, tabla XII, anexo # 4 y Fórmula # 59, obtenemos \dot{q} .

$$\dot{V} = 25,42 \frac{\text{pie}^3}{\text{hora}}$$

$$\rho = 61,76 \frac{\text{Lbm}}{\text{pie}^3}$$

$$C_p = 0,8 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm} \cdot \text{°F}}$$

$$T_{b_2} = 158 \text{ °F}$$

$$T_{b_1} = 71,6 \text{ °F}$$

$$\dot{q} = 135371,46 \frac{\text{BTU}}{\text{hora}}$$

En condiciones de estado estable, la rapidez de flujo de calor es :

$$\dot{q} = q_c, \text{ donde}$$

$$q_c = \left(\pi d_1 L + \pi \frac{d_1^2}{4} \right) \times h_i (T_b - T_i) \quad \text{Fórmula \# 60}$$

$q_c =$ Rapidez de transferencia de calor por convección , $\frac{BTU}{hora}$

$h_i =$ Coeficiente de convección , $\frac{BTU}{hora\ pie^2} \text{ } ^\circ F$

$T_b =$ Temperatura promedio de la masa principal

$T_i =$ Temperatura de la superficie interior del cilindro

Con Tabla XIII, anexo # 4, obtenemos h_i , con Fórmula # 60 y los siguientes datos obtenemos T_i .

$$d_1 = 0.98 \text{ pies}$$

$$L = 3.875 \text{ pies}$$

$$h_i = 2000 \frac{BTU}{hor\ pie^2 \text{ } ^\circ}$$

$$T_i = 109.46 \text{ } ^\circ F$$

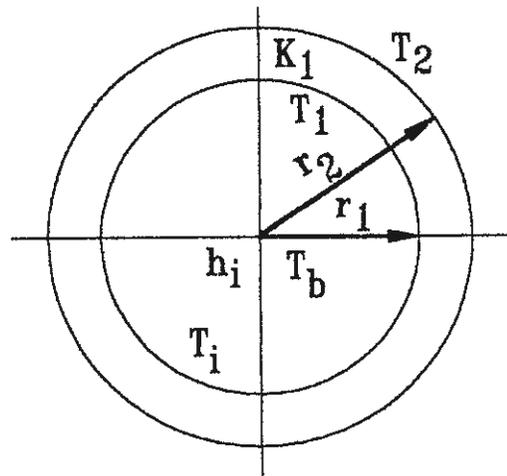


Fig. # 26.- Representación gráfica de h_i , T_i , T_1 , T_2 , K_1

Asumo $q_c = q_k$, donde :

$q_k =$ Rapidez de transferencia de calor por conducción $\frac{BTU}{hora}$

$$q_k = \frac{2 \pi k_1 L (T_1 - T_2)}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

Fórmula # 61

$$T_2 = T_1 - \frac{q_k \ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \pi k_1 L} \quad \text{Fórmula \# 62}$$

$$k_1 = 26 \frac{\text{BTU}}{\text{hora pie } ^\circ\text{F}}, \text{ coeficiente de conducción}$$

$$T_i = T_1$$

asumo un espesor de plancha de 1.5 mm. , entonces reemplazando valores , tenemos:

$$T_2 = 107.32 \text{ } ^\circ\text{F}$$

SELECCIÓN DEL TANQUE DE CONTROL DE TEMPERATURA .- Para una correcta selección, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros :

a.- **Condiciones geométricas.-** El recipiente C4, debe ser vertical, por lo tanto se selecciona un recipiente cilíndrico.

La altura total del recipiente debe ser mayor que h_1 , seleccionado anteriormente, por lo tanto seleccionamos $h_{c3} = 49.2$ pulgadas

Realizamos un esquema # 5, anexo # 2, del recipiente C4 ,

b.- **Condiciones Técnicas.-** En esta parte de la selección hay que considerar los siguientes puntos.

1.- Se selecciona en la construcción del cilindro plancha de acero al carbono

ASTM A36 (AISI 1010) , revestida interiormente con pintura epóxica y exteriormente con pintura anticorrosiva .

2.- El espesor de la chapa debe ser tal que pueda soportar la presión ejercida por la columna de agua en el recipiente .

Analizando Fórmula # 38, tenemos:

$$t = 14.96 \text{ mm.}$$

Seleccionamos anteriormente $t_1 = 1.5 \text{ mm.}$

Trabajando con un acero ASTM A36 (AISI 1010) , entonces $S_y = 26 \text{ Kpsi} = \sigma_t$

Aplicando Fórmula # 39 , tenemos :

$$P = \frac{2 \times 26000 \times 1.5}{299.21} = 260.68 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}^2}$$

Aplicando Fórmula # 40 y reemplazando valores, tenemos :

$$P_1 = \frac{62.22 \times 32.2 \times 46.5}{1728} = 53.91 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}^2}$$

Analizando los resultados obtenidos con las fórmulas # 39 y # 40 , tenemos :

$$\frac{P}{P_1} = \frac{260.68}{53.91} = 4.83 = k_2 = \text{factor de seguridad}$$

El espesor o pared del cilindro asumido, está correcto.

En la tabla XIV, se representa valores de t_1 , para los diferentes factores de seguridad, K_2 .

Tabla XIV.- Valores del espesor t_1 Vs factores de seguridad K_2 .

P (Psi)	P_1 (Psi)	t_1 (mm.)	K_2
53.91	53.91	0.31	1
107.82	53.91	0.62	2
161.73	53.91	0.93	3
215.64	53.91	1.24	4
269.55	53.91	1.55	5

CONSIDERACIONES ENERGÉTICAS EN EL CALENTADOR

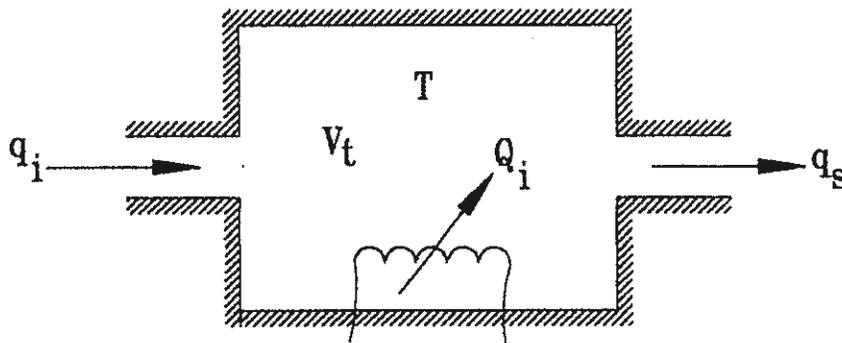


Fig. # 27.- Consideraciones energéticas en el calentador

\dot{V}_l = Volumen de agua en el calentador

T_{fc} = Temperatura de entrada al calentador

T = Temperatura de cambio en el calentador

\dot{V}_{s_c} = Flujo volumétrico que sale del calentador

\dot{V}_{i_c} = Flujo volumétrico que entra al calentador

Q_i = Flujo de calor dado por la resistencia

t = Tiempo de estabilizarse la temperatura en el tanque

Analizando Figura # 27 , tenemos :

Cambio de calor en el Tanque = Calor suministrado por la resistencia - calor que sale por el cambio de Entalpia.

$$\frac{d}{dt} (\rho C_p \forall t T) = Q_i - (\rho C_p \dot{V}_{s_c} T - \rho C_p \dot{V}_{i_c} T_{fc}) \quad \text{Fórmula \# 63}$$

Asumiendo $\dot{V}_{s_c} = \dot{V}_{i_c}$

Resolviendo la ecuación anterior, tenemos :

$$T(t) = [T_{fc} - \left(\frac{Q_i + \rho \dot{V}_{s_c} C_p T_t}{\rho C_p \forall t} \right) \tau] e^{-\frac{t}{\tau}} + \left(\frac{Q_i + \rho \dot{V}_{s_c} C_p T_{fc}}{\rho C_p \forall t} \right) \tau \quad \text{Fórmula \# 64}$$

En el estado estable, tenemos :

$$t = 4 \tau = 4 \frac{\forall t}{\dot{V}_{s_c}} \quad \text{Fórmula \# 65}$$

$$T_{(t)} = T_{f_c} + \frac{Q_i}{\rho C_p \dot{V} s_c} \quad \text{Fórmula \# 66}$$

Con datos de tabla X , XII y reemplazando en Fórmula # 66, obtenemos Q_i .

$$T_c = 201 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{f_c} = 71.6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\rho = 61.42 \frac{\text{Lbm}}{\text{pie}^3}$$

$$C_p = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{Lbm } ^\circ\text{F}}$$

$$Q_i = (T_{(t)} - T_{f_c}) \rho C_p \dot{V} s_c$$

$$Q_i = 134704.79 \frac{\text{BTU}}{\text{Hora}} = 39.4 \text{ KW}$$

En el mercado local se encuentra resistencias de hasta 30 KW , es por esto que se selecciona una resistencia de 30 KW., trabajaremos con :

$$Q_i = 102354.14 \frac{\text{BTU}}{\text{Hora}}$$

Analizando Fórmula # 59 y # 66, tenemos que son similares por lo tanto, tenemos :

$$\dot{q} = 102354.14 \frac{\text{BTU}}{\text{Hora}}$$

Para determinar la temperatura en los puntos interior y exterior del calentador, analizamos la figura # 26 , y aplicando Fórmula # 37 obtenemos el diámetro interior

del calentador

$$V = 25 \text{ Lt.}$$

$$H = L = 63 \text{ Pulg.}$$

$$D = 5.6 \text{ Pulg.}$$

Aplicando Fórmula # 60 , tablas XI y XIII , tenemos :

$$T_b = 136.3 \text{ } ^\circ F$$

$$q_c = 102354.14 \frac{\text{BTU}}{\text{Hora}}$$

$$h_i = 2000 \frac{\text{BTU}}{\text{Hora pie}^2 \text{ } ^\circ F}$$

$$T_1 = 129.70 \text{ } ^\circ F$$

Aplicando Fórmula # 62, tenemos :

$$T_2 = 126.42 \text{ } ^\circ F$$

SELECCIÓN DEL CALENTADOR

Para una correcta selección , se deben tener en cuenta , los siguientes parámetros :

a.- Condiciones Geométricas .- El recipiente C₃ , debe ser horizontal y se selecciona

un recipiente cilíndrico , debido a que la resistencia es tubular .

Con datos anteriormente seleccionados :

L = 63 Pulg.

D = 5.6 Pulg.

Realizamos un esquema # 6 , Anexo # 2, del recipiente C₅

b.- Condiciones Técnicas .- En esta parte de la selección hay que considerar los siguientes puntos :

1.- Se selecciona en la construcción del cilindro plancha de acero al carbono

ASTM A36 (AISI 1010) , revestida interiormente con pintura epóxica y exteriormente con pintura anticorrosiva.

2.- El espesor de la chapa debe ser tal que pueda soportar la presión ejercida por el volumen de agua.

En el capítulo anterior se mencionó el esfuerzo tangencial y que es probado por la presión en las paredes del cilindro sin tapas.

$$\sigma_t = \frac{PD}{2t}$$

El esfuerzo longitudinal viene dado por

$$\sigma_l = \frac{PD}{4t} \qquad \text{Fórmula \# 67}$$

y es producido por la presión en las tapas del cilindro cerrado.

De los esfuerzos presentados , se observa que el cilindro falla primero longitudinalmente , que tangencialmente.

En el exterior del cilindro, tenemos :

$$\sigma_1 = \sigma_t$$

$$\sigma_2 = \sigma_l$$

$$\sigma_3 = 0$$

Donde :

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, son los esfuerzos principales .

Analizando deformaciones principales , tenemos :

$$\epsilon_1 = \frac{PD}{4 E t} (2 - \mu) \qquad \text{Fórmula \# 68}$$

$$\epsilon_2 = \frac{PD}{4 E t} (1 - 2\mu) \qquad \text{Fórmula \# 69}$$

$$\epsilon_3 = \frac{PD}{4 E t} \quad \text{Fórmula \# 70}$$

donde :

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$, son las deformaciones principales

μ = relación de poisson

E = módulo de elasticidad

Para el acero seleccionado, con datos anteriores y tabla XV, XVI, anexo # 4,

tenemos :

$$\mu = 0.292$$

$$E = 30 \times 10^3 \text{ KPSI}$$

$$D = 142.24 \text{ mm.} = 5.6 \text{ Pulg.}$$

$$S_y = 26 \text{ KPSI} = \sigma t$$

$$\text{Como } t \leq \frac{1}{10} \frac{D}{2} = 7.11 \text{ mm.}$$

$$\text{Asumo } t = 1.5 \text{ mm.} = 0.059 \text{ Pulg.}$$

$$\text{Longitud del cilindro} = 1600.2 \text{ mm.} = 63 \text{ Pulg.}$$

La alimentación del fluido se lo hace a través de la bomba y la presión máxima que puede trabajar la misma es 125 PSI.

Aplicando Fórmulas # 68, 69 y 70 , tenemos :

$$\epsilon_1 = \frac{125 \times 5.6 (2 - 0.292)}{4 \times 30 \times 10^6 \times 0.059} = 168 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_1 = 168 \times 10^{-6} \frac{\text{Pulg}}{\text{Pulg}}$$

$$\epsilon_2 = 41.12 \times 10^{-6} \frac{\text{Pulg}}{\text{Pulg}}$$

$$\epsilon_3 = - 28.7 \times 10^{-6} \frac{\text{Pulg}}{\text{Pulg}}$$

Aplicando el concepto de esfuerzo de Von Mises, tenemos :

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \times \sigma_2 + \sigma_2^2}$$

n = Factor de seguridad

Con datos anteriores , tenemos :

$$\sigma_1 = \frac{125 \times 142.24}{2 \times 1.5} = 6 \text{ Kpsi}$$

$$\sigma_2 = \frac{125 \times 142.24}{4 \times 1.5} = 3 \text{ Kpsi}$$

donde

$$n = \frac{26}{5.2} = 5$$

Entonces el t asumido es el correcto.

Por lo tanto el cilindro de acero tendrá las siguientes dimensiones , el mismo que lo indicamos en el plano # III, anexo # 1.

Diseño de las tapas del cilindro de Paredes Delgadas



Diseñando para una presión máxima de 125 psi, tenemos .

La fuerza que debe soportar las tapas son :

$$F = P \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \quad \text{Fórmula \# 71}$$

Dando valores y reemplazando en Fórmula \# 71 , tenemos :

$$F = 125 \text{ psi} \times \frac{\pi}{4} \times (5.6)^2 \text{ Pulg}^2 = 3.078 \text{ Kips}$$

Analizando para tapa posterior, tenemos :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Fórmula \# 72}$$

Dando valores y reemplazando en Fórmula \# 72 , tenemos :

$$\sigma = \frac{3078}{\pi \times 5.6 \times 0.059 \text{ Pulg}^2}$$

Asumo $t = 1.5 \text{ mm}$.

$$\sigma = 2.9 \text{ KPSI}$$

El $S_y = 26 \text{ KPSI}$ del acero seleccionado, por lo tanto el espesor asumido está correcto .

2.3 .- ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL BUCLE DE CONTROL DE TEMPERATURA

En el capítulo anterior se menciona los elementos principales que se encuentra en una Planta de Control de Procesos.

a.1 .- Se selecciona como elementos de detección un termómetro tipo bulbo conectado por un capilar a un espiral asociado a un transmisor indicador de temperatura, ver Figura # 19a .

b.1.- Para la acción de control , se utiliza un control registrador.

c.1.- Como elemento final o de corrección se utiliza un válvula de control normalmente abierta.

CAPITULO III

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

3.1.- Selección de Materiales, Equipos y Accesorios

En el capítulo anterior se indica que el fluido de trabajo para la planta de control de procesos es agua, por lo tanto los materiales que se seleccionen deben ser anticorrosivos o protegidos a la corrosión, además que toda planta de control de procesos está constituida por un elemento de detección, un control, y un elemento de corrección y se pueden emplear componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y combinaciones de estos.

Para la planta de control de procesos se seleccionan equipos y elementos electro-neumáticos de marca "Taylor".

Para seleccionar los equipos de control se toma en consideración los siguientes parámetros:

- 1.-Variable que deseamos controlar*
- 2.-Rangos de presión de aire de control (3-15 psi)*
- 3.-Rangos de corriente de control (4-20 mA)*
- 4.-Presión máxima de trabajo*
- 5.-Suministro de potencia*

TABLA XVII.- Valores en pulgadas de agua y kilo pascuales para la calibración según el número del Catálogo

Catálogo No	Calibración	Límites de la Escala					
		Pulgadas de Agua		Kilos		Pascuales	
		Bajo (4mA salida)	Alto (20mA salida)	Bajo (4mA salida)	Alto (20mA salida)	Bajo (4mA salida)	Alto (20mA salida)
403T	Basado en el cero	0	+0.8 a +5	0	+0.2 a +1.2	0	+0.2 a +1.2
	Supresión de cero	0 a +3.3	+1 a +5	0 a +1	+0.2 a +1.2	0 a +1	+0.2 a +1.2
	Elevación de cero	-3.3 a 0	-2.3 a +5	-0.8 a 0	-0.6 a +1.2	-0.8 a 0	-0.6 a +1.2
	Centro cero	-2.5 a -0.5	-0.5 a +2.5	-0.6 a -0.1	+0.1 a +0.6	-0.6 a -0.1	+0.1 a +0.6
404T	Basado en el cero	0	+5 a +30	0	+1.2 a +7.5	0	+1.2 a +7.5
	Supresión de cero	0 a +20	+5 a +30	0 a +6.3	+1.2 a 7.5	0 a +6.3	+1.2 a 7.5
	Elevación de cero	-20 a 0	-15 a +30	-5 a 0	-3.8 a +7.5	-5 a 0	-3.8 a +7.5
	Centro cero	-15 a -2.5	+2.5 a +15	-3.75 a -0.1	+0.6 a +3.75	-3.75 a -0.1	+0.6 a +3.75
405T	Basado en el cero	0	+25 a +150	0	+6 a +38	0	+6 a +38
	Supresión de cero	0 a +100	+25 a +150	0 a +32	+6 a +38	0 a +32	+6 a +38
	Elevación de cero	-100 a 0	-75 a +150	-25 a 0	-19 a +38	-25 a 0	-19 a +38
	Centro cero	-75 a -12.5	+12.5 a +75	-19 a -3	+3 a +19	-19 a -3	+3 a +19
406T	Basado en el cero	0	+150 a +800	0	+38 a +200	0	+38 a +200
	Supresión de cero	0 a +500	+150 a +800	0 a +162	+38 a +200	0 a +162	+38 a +200
	Elevación de cero	-500 a 0	-350 a +800	-124 a 0	-86 a +200	-124 a 0	-86 a +200
	Centro cero	-400 a -75	+75 a +400	-100 a -19	+19 a +200	-100 a -19	+19 a +200

TABLA XVIII .- Valores para la presión máxima de trabajo y limitaciones

Catálogo Número		Máxima de Presión de Trabajo		Limitaciones
Base N°	Código	Psig	KPa	
403T	E6	1.000	7.000	
	E1,E2,E3	2.500	17.500	Reducir a 1500 Psig. (10.000 KPa) cuando se use un orificio integral de 1 1/2 "
404T 405T 406T	E4	6.000	40.000	Reducir a 1500 Psig (10.000) Kpa cuando se use un orificio integral de 1 1/2 " o reducir a 3.000 Psig (20.000 KPa) cuando se use un orificio integral de 1 " .

TABLA XIX .- Valores para el transmisor máximo de carga en ohmios

Suministro de Potencia (DC Voltios)	Transmisor Máximo de carga (Ohmios)
13	50
15	150
20	400
24	600
30	900
35	1150
36	1200
42	1500
45	1650

6.-Rangos de calibración del instrumento

Control de flujo.-La variable de control es la velocidad y se seleccionan los siguientes equipos y elementos.

1.- Placa de orificio de 1/2" concéntrico asociado a un transductor eléctrico de equilibrio de fuerzas.

En la tabla XVII , se representan valores en pulgadas de agua y kilo pascales para la forma de calibración según el número del catálogo.

En la tabla XVIII, se representan valores en psig y KPa para la presión máxima de trabajo, con sus limitaciones según el número del catálogo.

En la tabla XIX, se representan valores en ohmios para el máximo transmisor de carga, según el suministro de potencia en voltios

Según tablas XVII, XVIII y XIX, se selecciona el catálogo número 405 T

El Transductor Eléctrico con placa de orificio tiene la siguiente serie:

405TB01210-0101

Especificaciones:

Espacio ajustable desde 25 a 150 pulgadas de agua

Calibración basada en el cero, 0,2% de alcance

Señal de salida, de 4 a 20 mA dc

Límites de temperatura del proceso: -40° F (-40 ° C) mínimo

250 ° F (121 ° C) máximo

Tiempo de respuesta: 0.2 segundos (63% de respuesta)

Suministro de Potencia: 24V dc nominal

Consumo de Potencia: 0.5W nominal

1.5W máximo, en condiciones excedentes

Peso(Aproximado): 7.9 Lb(3.6Kg)

2.- Convertidor corriente-presión

Seleccionamos la serie número 1400T K12113

Especificaciones:

Entrada: 4 a 20 mA dc

Resistencia de entrada: 200 ohmios

Ajustabilidad basada en el cero: 150% de alcance de salida

Precisión de calibración: entre el 0.5% de alcance ($\pm 0.25\%$ típico)

Salida: 3 a 15 psig

Capacidad de aire a la salida: 5 scfm

Presión de suministro de aire: 22 psig- recomendada

18 psig- mínimo

25 psig- máximo

Consumo de aire: 0.2 scfm

Límites de temperatura ambiente: operando 40° F mínimo

140° F máximo

Almacenado -90° F mínimo

200° F máximo

Peso: 5Lb aproximado

TABLA XX.- Presión de suministro y entrada de aire para los diferentes números de catálogos

Catálogo No	Presión de suministro de aire			Entrada de aire	
	Recomendado	Mínimo	Máximo	Rango de Operación	Límite-Máximo
140_J_1__	22 psig	18 psig	25 psig	3 a 15 psig	35 psig
140_J_2__	1.5 Kg / cm ²	1.3 Kg / cm ²	1.7 Kg / cm ²	0.2 a 1.0 Kg / cm ²	2.4 Kg / cm ²
140_J_3__	1.5 bar	1.3 bar	1.7 bar	0.2 a 1.0 bar	2.4 bar
140_J_4__	150 KPa	125 KPa	170 KPa	20 a 100 KPa	240 KPa

3.- Extractor de raíz cuadrada neumático

Seleccionamos la Serie Número 376N F11001

Especificaciones:

Entrada: 3 a 15 psig

Calibración Apropriada: Mayor que $\pm 0.5\%$ de alcance entre 4 y 100% de entrada ($\pm 0.25\%$ típico), $\pm 0.25\%$ de alcance al 0% de entrada

Salida: 3 a 15 psig

Consumo de aire: 0.2 scfm máximo

Presión de suministro de aire: 20 psig- recomendado

18 psig- mínimo

25 psig- máximo

Límites de temperatura ambiente: 30° F mínimo

140° F máximo

Peso (Aproximado): 4Lb

4.- Registrador

En la tabla XX, se representan valores para la presión de suministro de aire y presión de entrada al mecanismo para los diferentes números de catálogo.

Según tabla XX, seleccionamos la Serie Número 1402J B11130

Especificaciones:

Presión de entrada al mecanismo, ver tabla XX

Calibración apropiada: $\pm 0.5\%$ de la escala total

Presión de suministro de aire, ver tabla XX

Consumo de aire: menor a 0.1 scfm (0.0028 m³/minuto)

Consumo de potencia: 5VA

Límite de presión máxima, ver tabla XX

Límite de temperatura ambiente: operando 40° F(4.4° C) mínimo

140° F(60° C) máximo

Almacenado -40° F(-40° C) mínimo

140° F(71.1° C) máximo

Velocidad de la carta: 1 pulgada/hora

Pluma Roja para el control de flujo

Peso aproximado: 10 Lb (4.5 Kg)

5.- Control Maestro para Control de Flujo Neumático

Seleccionamos la Serie Número 1414RZ 51000

Especificaciones:

Entrada: 3 a 15 psig

Calibración apropiada para los puntos de referencia y proceso

$\pm 0.5\%$ de la escala total

Salida.- Nominal 3 a 15 psig

mínimo, menor que 1psig

máximo, en el límite de 1.5 psi de presión de suministro

Presión de suministro de aire: 22 psig recomendado

18 psig mínimo

25 psig máximo

Consumo de aire: 0.75 scfm máximo

Respuestas de control:

Proporcional.-Ganancia ajustable 0.2 a 50 psi

Proporcional + Integral.- 0.002 a 200 repeticiones/minuto

Límites de temperatura ambiente:

operando: 40° F mínimo, 140° F máximo

almacenado: -40° F mínimo, 160° F máximo

Peso aproximado: 15 Lb.

6.- Válvula de Control Normalmente Abierta

Seleccionamos la Serie Número 2000VA32220

Especificaciones:

Dimensiones de la válvula: 1/2 pulgada NPT

Tipo de tapón de la válvula: Lineal

Material del cuerpo: Bronce

Material del asiento: AISI 316

Rango de presión: 3 a 15 psi

Límites de temperatura ambiente: -32° F mínimo

150° F máximo

Límites de temperatura del proceso: -150° F mínimo

TABLA XXI.- Valores en pulgadas de agua y kilo pascuales para la forma de calibración

Catálogo No	Calibración	Límites de la Escala			
		Pulgadas de Agua		Kilos	Pascales
		Bajo (4mA salida)	Alto (20mA salida)	Bajo (4mA salida)	Alto (20mA salida)
453T	Basado en el cero	0	+25 a +150	0	+6 a +38
	Supresión de cero	0 a +100	+25 a +150	0 a +32	+6 a +38
454T	Basado en el cero	0	+150 a +800	0	+38 a +200
	Supresión de cero	0 a +500	+150 a +800	0 a +162	+38 a +200

400° F máximo

Peso aproximado: 15Lb

7.- Válvula de Control Normalmente Cerrada

Seleccionamos la Serie Número 2000VA32230

Especificaciones:

Dimensiones de la válvula: 1/2 pulgada NPT

Tipo de tapón de la válvula: Lineal

Material del cuerpo: Bronce

Material del asiento: AISI 316

Rango de presión: 3 a 15 psi

Límites de temperatura ambiente: -32° F mínimo

150° F máximo

Límites de temperatura del proceso: -150° F mínimo

400° F máximo

Peso aproximado: 15Lb.

Control de Nivel.-La variable de control es la altura y se selecciona los siguientes equipos y elementos.

1.- Transmisor de Nivel de Líquido Eléctrico

En la tabla XXI, se representan valores en pulgadas de agua y Kilo Pascales para la forma de calibración.

En la tabla XIX, se representan valores en ohmios, para el máximo transmisor de carga, según el suministro de potencia en voltios.

Según tabla XIX y XXI, se selecciona la Serie Número 453TB01220A 0002

Especificaciones:

Espacio ajustable desde 25 a 150 pulgadas de agua

Calibración basada en el cero: $\pm 0.2\%$ de alcance

Señal de salida: 4 a 20 mA dc

Límites de temperatura ambiente: $-40^{\circ} F$ ($-40^{\circ} C$) mínimo

$185^{\circ} F$ ($85^{\circ} C$) máximo

Límites de temperatura almacenado: $-65^{\circ} F$ ($-54^{\circ} C$) mínimo

$200^{\circ} F$ ($93^{\circ} C$) máximo

Suministro de Potencia: 24V dc nominal

12V dc mínimo

42V dc máximo, en los terminales del transmisor

Consumo de Potencia: 0.5 W nominal

1.5 W en condiciones excedentes

Peso: 19.2 Lb (8.7 Kg)

2.- Convertidor Corriente-Presión (I/P)

Seleccionamos la Serie Número 1400TK12113

Especificaciones las mismas que la anterior

3.- *Registrador*

Seleccionamos la Serie Número 1402JB11130

Especificaciones las mismas que la anterior

4.- *Controlador*

Seleccionamos la Serie Número 1414RZ61000

Especificaciones las mismas que la anterior

5.- *Válvula de Control Normalmente Abierta*

Seleccionamos la Serie Número 200VA32220

Especificaciones las mismas que la anterior

6.- *Válvula de Control Normalmente Cerrada*

Seleccionamos la Serie Número 200VA32230

Especificaciones las mismas que la anterior

Control de Temperatura.- *La variable de control es la temperatura a través de los retardos de propagación como consecuencia de las variaciones de longitudes y volumen de agua.*

1.- *Transmisor Indicador Neumático*

Seleccionamos la Serie Número 210T 1, para los dos casos

Especificaciones:

Calibración exacta: $\pm 0.5\%$ a la salida del transmisor

$\pm 1\%$ con indicador

Histéresis: Menor que 0.5% de alcance a la salida

Presión de suministro: 20 psig recomendado

18 psig mínimo

25 psig máximo

Efectos de la presión de suministro: con 0.012 psig de cambio en la salida, por 1 psig de cambio en el suministro de aire entre 18 y 25 psig

Rango a la salida: 3 a 15 psig

Límites de temperatura ambiente: - 40° F mínimo

180° F máximo (pero que no exceda los

límites de temperatura del elemento de medida)

Efectos de la temperatura ambiente: con 0.06 psig de cambio en la salida por 50° F de cambio en el bastidor, entre las temperaturas de +50° F y +150° F con una salida de 9 psig

Peso: 9 Lb

2.- Controlador Registrador Neumático

Especificaciones:

Rango a la salida: 3 a 15 psig

Presión máxima de suministro de aire: 150 psi

Peso aproximado: 30Lb

3.- *Válvula de control Normalmente Abierta*

Seleccionamos la Serie Número 200VA32220

Especificaciones las mismas que la anterior

4.- *Convertidor Presión-Corriente (P/I)*

Seleccionamos la Serie Número 1405TB11200

Especificaciones:

Calibración apropiada: $\pm 0.25\%$

Entrada: 3 a 15 psig

Salida: 4 a 20 mA dc

Capacidad de carga a la salida: 0 a 800 ohmios

Suministro de potencia: 117V, $\pm 10\%$ - 60Hz

Potencia requerida: 5VA (2.5W)

Límites de temperatura ambiente: Operando.- -40° F mínimo

120° F máximo

Almacenado.- -40° F mínimo

165 ° F máximo

Peso: 8Lb (3.6 Kg).

Finalmente se selecciona un equipo de control eléctrico, el mismo que se denomina MOD 30 y que este compuesto por una fuente de poder de 110-24 Voltios, panel de terminales y los Instrumentos de Control MOD 30, Registrador MOD 30, Controlador XL, Unidad matemática, Unidad de secuencia, Configurador portátil.

Dentro de los equipos principales, se encuentra el compresor, el mismo que tiene la siguiente distribución:

- 1.- El laboratorio de controles automáticos consume el 50% del caudal total
(Aproximadamente 5 cfm)*
- 2.- La máquina balanceadora consume 20 Lt/minuto de aire comprimido a una presión de 60 psi (0.7 cfm)*
- 3.- El resto del caudal está distribuido entre los laboratorios de Energía y Fluído, y de Conversión de Energía (Aproximadamente 10cfm)*

Con estas condiciones seleccionamos el siguiente compresor:

Marca: Kellogg American

Modelo: 335TV

Serie: JP7604

Potencia: 3Hp

Caudal: 27,2 m³/Hora - 17cfm

Velocidad: 420 rpm

Presión de trabajo: 175 psi

Volumen del acumulador: 500Lt.

Selección de Accesorios.- Para la conexión neumática de los instrumentos se utiliza cañería de cobre de 1/4", conectores, uniones, reductores, tee y válvulas de bronce de 1/4"

Reguladores de aire con filtro y manómetros incorporados tipo 100-4F (0-30 psi)

Unidad de mantenimiento, Regulador de 1/2", Filtro de 1/2", Drenador de Líquido de

1/2"

Un breaker de 150 Amperios- 3polos- 220 Voltios

Un contactor de 150 Amperios

Un termostato tipo L400 6A- Honeywell- 110 a 240 ° F

Válvulas solenoides de 1/4" Normalmente Abiertas.

Diseño de las estructuras para los dos Bucle.- La selección de los materiales para la construcción de las estructuras de los dos bucles, se lo realiza en función de los siguientes parámetros:

- 1.- *Peso de los instrumentos y equipos*
- 2.- *Condiciones geométricas*
- 3.- *Condiciones técnicas.*

Estructura para el Bucle de Flujo y Nivel.- El peso aproximado de los instrumentos y equipos que se instalan en esta estructura es aproximadamente 500Lb; asumiendo un factor de seguridad de 4, el peso que soportará esta estructura es de 2.000 Lb.

Trabajando con un acero ASTM A36 (AISI 1010), el $\sigma=26.000$ Lb/pulg.²

Para la carga axial, la tensión viene dada por:

$\sigma = P/A$, *Formula # 73* *donde:*

$P =$ Fuerza axial

$A =$ Sección de la barra

Para una carga compartida, $P=500\text{Lb}$ y reemplazando en formula # 73, tenemos

$$A = \frac{500 \text{ Lb}}{26000 \frac{\text{Lb}}{\text{Pulg}^2}} = 0.019 \text{ Pulg}^2 = 0.12 \text{ cm}^2$$

Según tabla XXII (2), anexo # 4, el área de sección transversal de un perfil estructural de $1^{1/2}'' \times 1^{1/2}'' \times 1/8''$, es $A = 0.36 \text{ pulg}^2$, por lo tanto comparando las dos áreas, el perfil seleccionado es el correcto.

Se hace el mismo análisis para el diseño de la estructura del Bucle de Temperatura y se selecciona el perfil estructural anteriormente seleccionado.

En los esquemas # 7 y # 8 ,anexo # 2, se representan las dos estructuras para el Bucle de Caudal, Nivel y Temperatura.

En la tabla XXIII, anexo # 4, se representan los tipos de materiales y la aplicación de los mismos usados en la estructura para el Bucle de Caudal y Nivel.

En la tabla XXIV, anexo # 4, se representan los tipos de materiales y la aplicación de los mismos usados en la estructura para el Bucle de Temperatura.

3.2.- CRONOGRAMA.- Cuando se inicia un proyecto es necesario formular un plan

de trabajo para controlar los avances del mismo.

Se hace un listado en orden aproximadamente cronológico de todas las tareas a llevar a cabo, tal como se detalla en la tabla XXV, anexo # 4.

Las tareas anteriormente indicadas en la tabla XXV, anexo # 4, se puede representar por medio de un diagrama conosido, como diagrama de flechas o sagital, ver Figura # 28, anexo # 3 .

Cada una de estas tareas se representa con una flecha de cualquier longitud.

A cada flecha se le suele limitar por un par de círculos llamados nodos, colocándose números dentro de los mismos, las cifras sobre cada flecha indican la duración de cada tarea en días.

Usaremos el diagrama de Barras o de Gantt para establecer un standar de tiempo permisible en la construcción de la planta de control de procesos según el diagrama de flechas anteriormente indicado, este nuevo diagrama se denomina calendario, ver Figura # 29 , anexo # 3 .

3.3.- MONTAJE.- *En este tema me refiero exclusivamente a la forma o manera de instalar correctamente los instrumentos, equipos y accesorios, siguiendo las indicaciones de los catálogos y normas establecidas.*

El seguimiento de la instalación de los instrumentos, equipos y accesorios lo realizo según el cronograma de trabajo anteriormente indicado.

1.-Montaje del recipiente C1 y bomba de 1/2 HP, ver Figura # 30

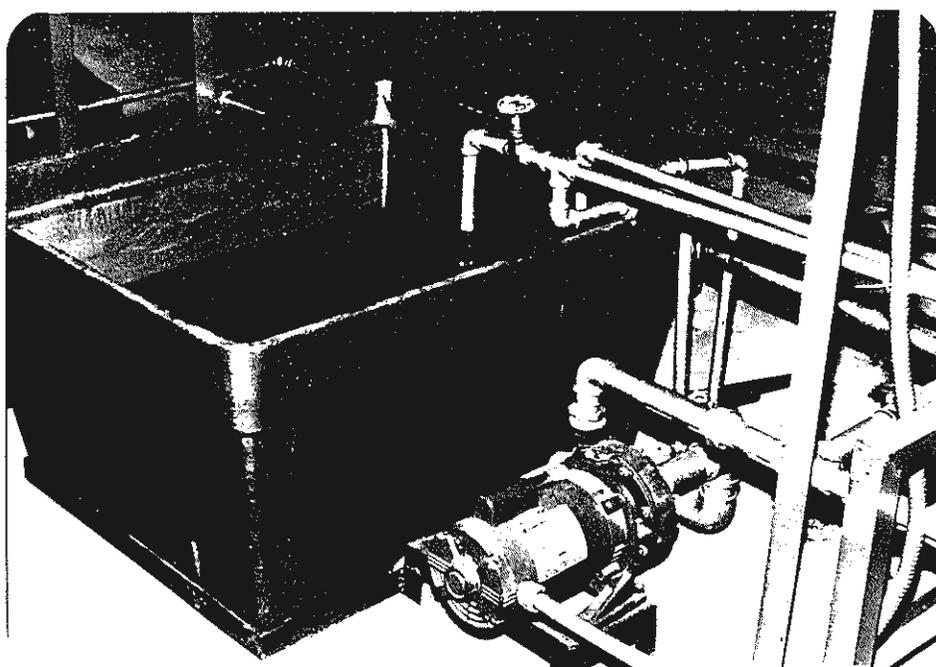


Fig. # 30 .- Montaje del recipiente C1 y Bomba de 1/2 HP

2.-Montaje de la placa orificio asociado con el transmisor de flujo

El borde agudo de la placa se coloca en sentido del flujo, ver Figura # 31

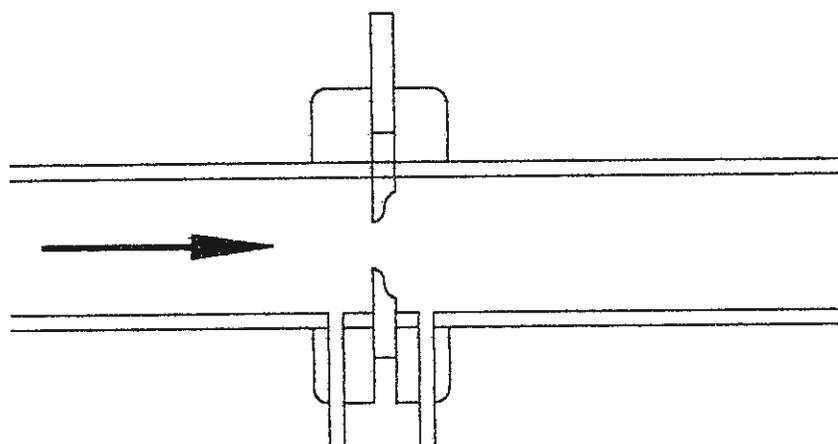


Fig. # 31 .- Sentido del borde agudo del orificio

Se construye un soporte para la instalación de la placa de orificio asociado con el transmisor de flujo, ver Figura # 32

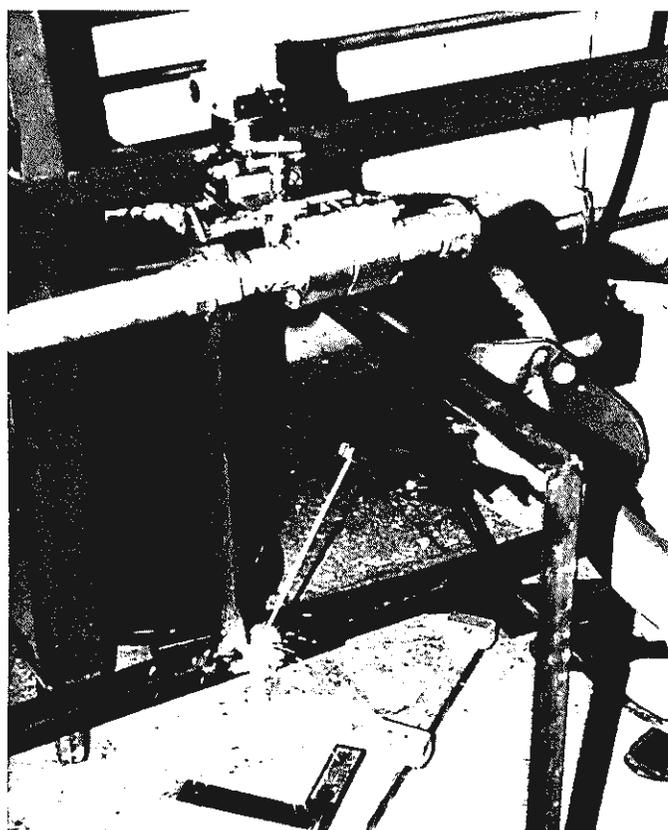


Fig. # 32 .- Soporte para la instalación de la placa de orificio

3.- Montaje de la Válvula de Control normalmente abierta para el Lazo de Flujo y Nivel .

Se construye un soporte para la instalación de la válvula , ver figura # 33 .

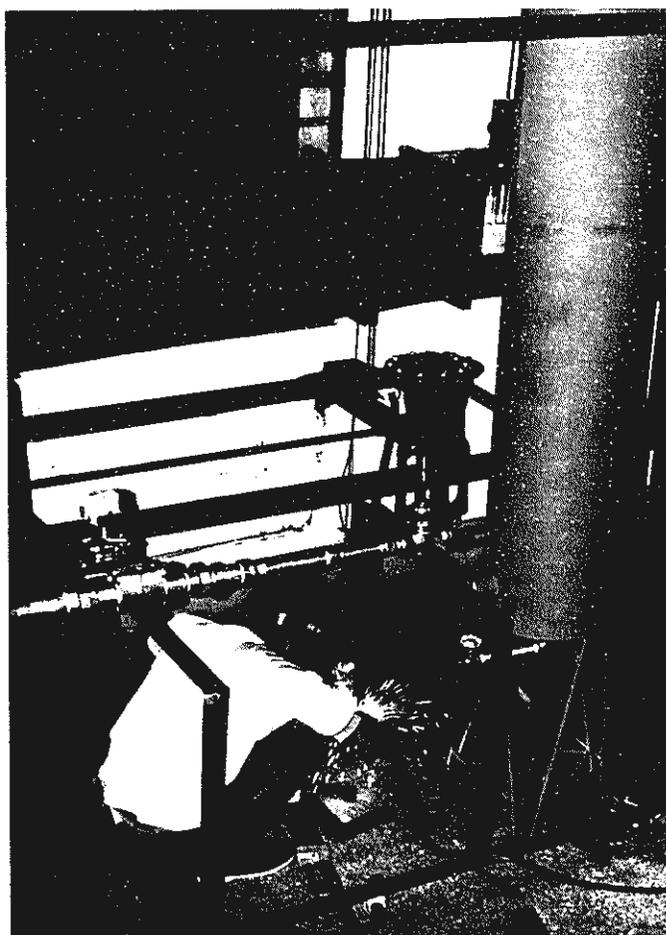


Fig. # 33 .- Soporte para la instalación de la válvula de control

4.- Montaje del recipiente C2

Se construye un soporte para la instalación del recipiente C2, ver Figura # 34

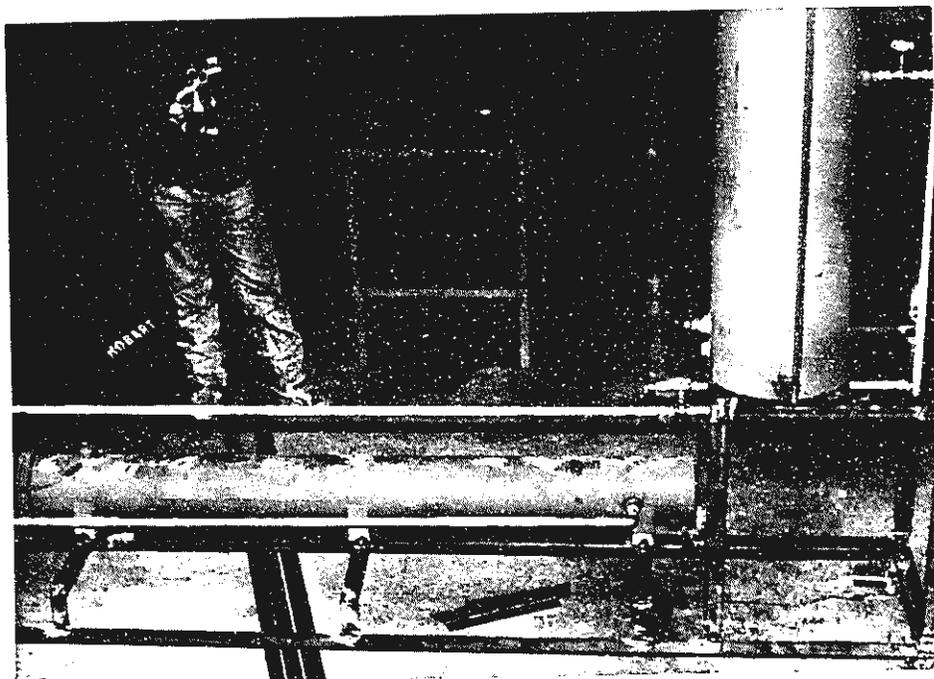


Figura # 34 .- Soporte para la instalación del recipiente C2

5.- Montaje del Transmisor de Nivel. Ver Figura # 35

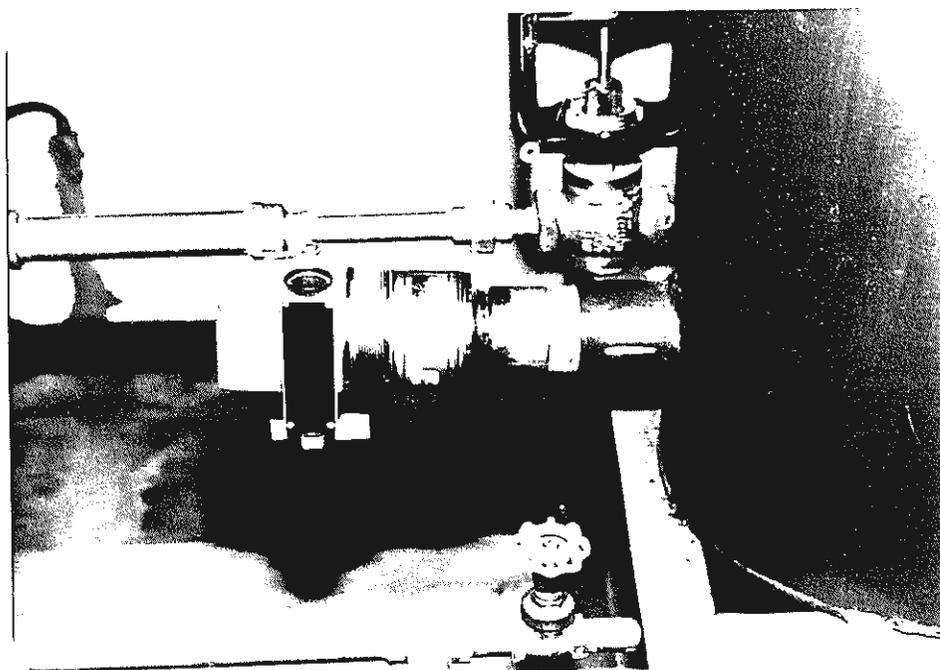


Figura # 35 .- Instalación del transmisor de nivel

6.- Montaje de la Válvula de Control normalmente cerrado para el Lazo de Flujo y Nivel.

Se construye un soporte para la instalación de la válvula . Ver figura # 36.

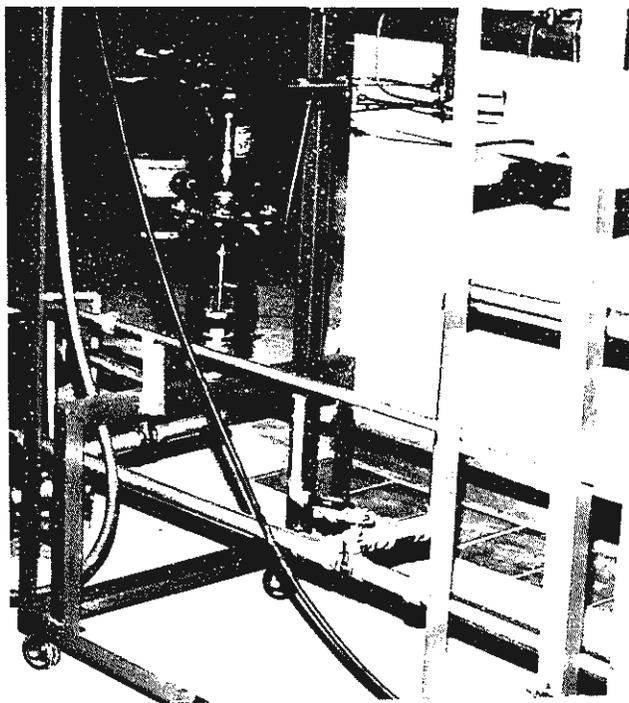


Figura # 36 .- Soporte para la instalación de la válvula de control

7.- Montaje del Extractor de raíz cuadrada . Ver figura # 37

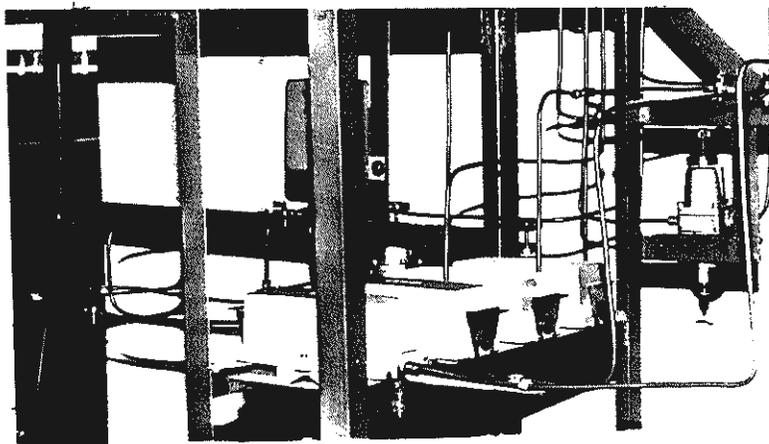


Figura # 37 .- Soporte para la instalación del extractor de raíz cuadrada

8.- Montaje de los convertidores corriente-presión para el Lazo de Flujo y Nivel.

Se construye un soporte para la instalación de los convertidores.

Ver figura # 38

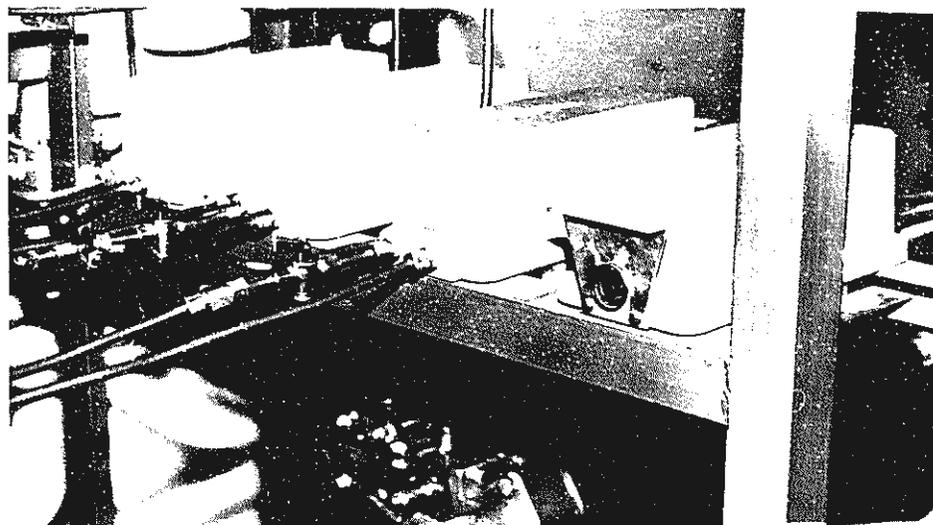


Figura # 38. - Soportes para la instalación de los convertidores I/P

9.- Montaje del registrador, controlador master y secundario para el Lazo de Flujo y Nivel . *Se construye un soporte para la instalación de los mismos.*

Ver figura # 39.



Figura # 39 .- Soporte para la instalación del registrador y controlador

10.- *Conexión de la tubería de proceso con los instrumentos y recipientes*

Se utiliza neplós , reductores, codos, nudos, tubería , llaves de bola, abertura rápida y se utiliza teflón para la conexión de los mismos.

Ver figura # 40 .

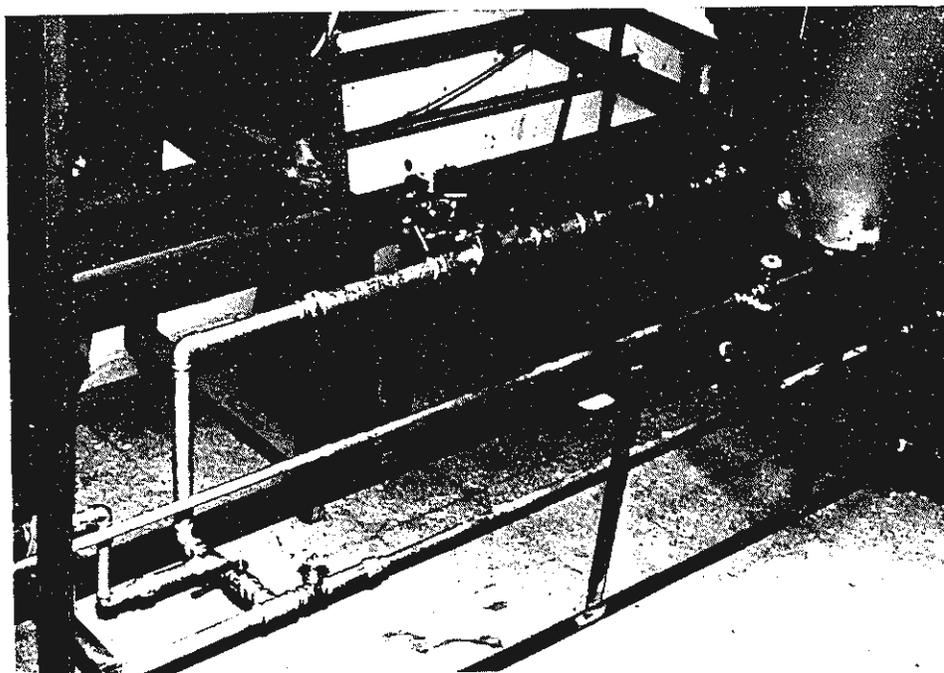


Figura # 40 .- Conexión de tubería, neplós, reductores, codos con los instrumentos y recipientes

11.- *Montaje de los reguladores de presión, para el lazo de flujo y nivel.*

Se construye unos soportes tipo abrazadera de acero inoxidable

AISI 430 . Ver figura # 41.

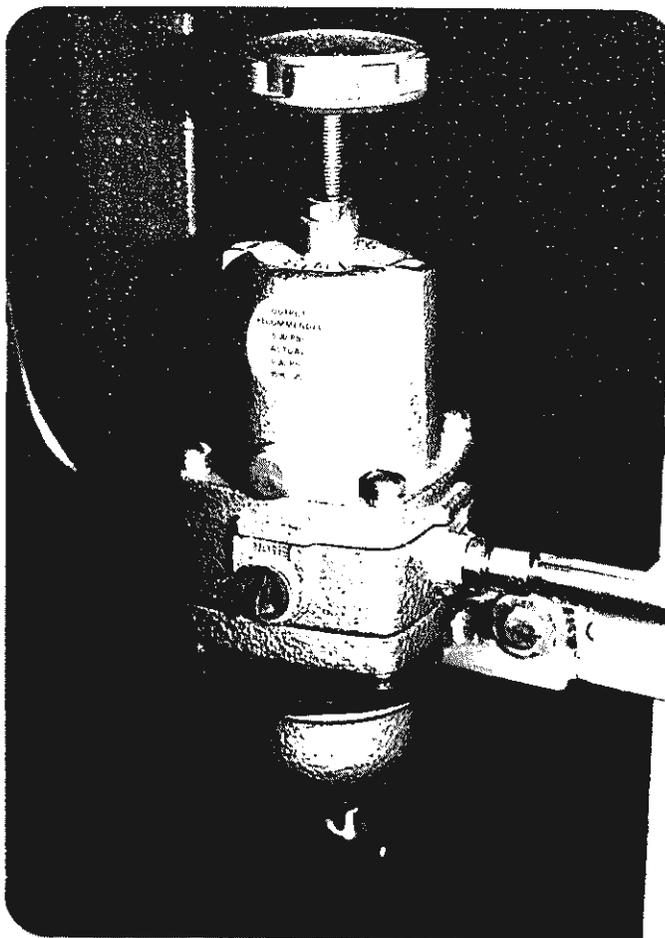


Figura # 41. .- Soportes para la instalación de los reguladores de presión

12.- Instalación y conexión de cañerías y accesorios entre los instrumentos en el proceso de control neumático para el Bucle de Caudal y Nivel .

Se utiliza cañería de cobre de 1/4 " , uniones, conectores, llaves de bronce.

Ver figura # 42.

En el plano # IV , anexo # 1 se ilustra las conexiones neumáticas y eléctricas para el funcionamiento del Bucle de Caudal y Nivel.

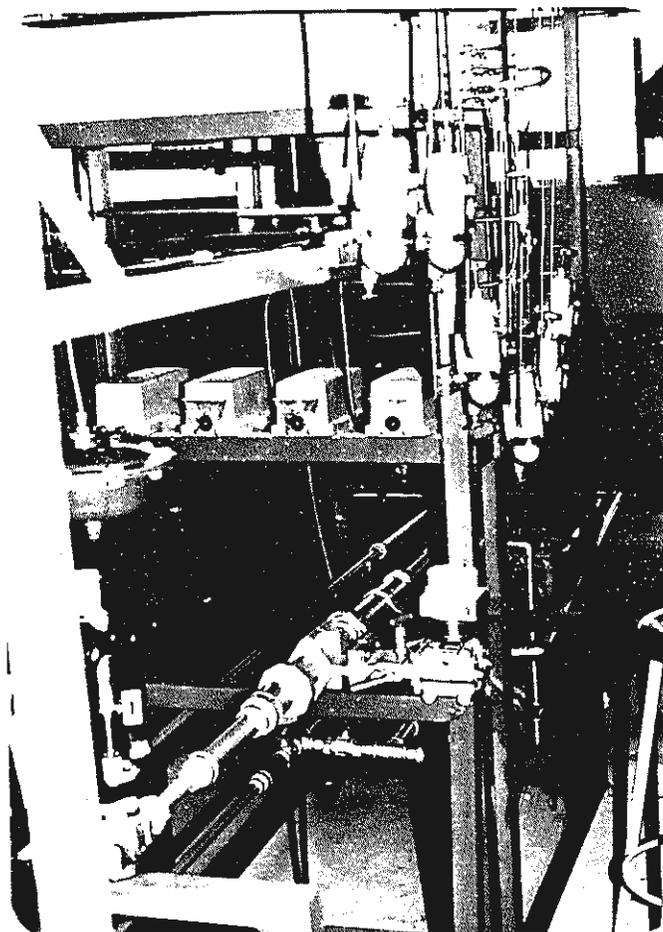


Figura # 42 .- Instalación y conexión de cañerías y accesorios

13.- Montaje del calentador para el Bucle de Temperatura .

Se construye un soporte para la instalación del calentador.

Ver figura # 43

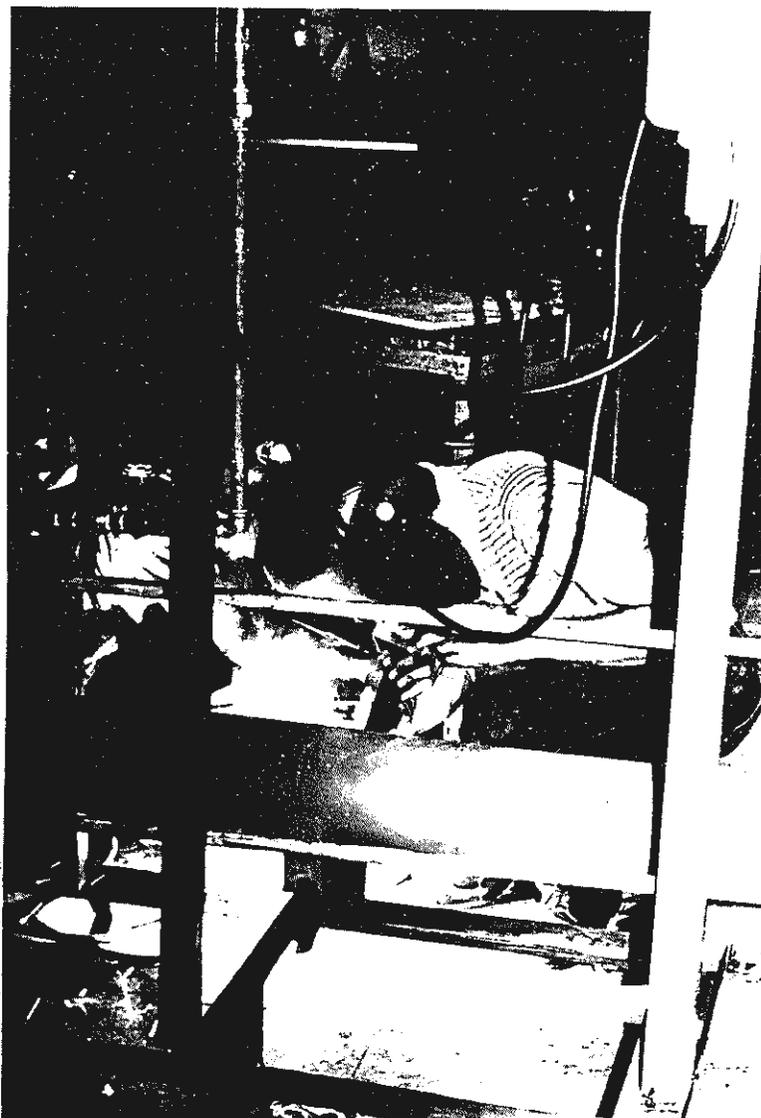


Figura # 43 .- Soporte para la instalación del calentador

14.- Montaje de la válvula de control normalmente abierta y su unidad de mantenimiento .

Se construye un soporte para la instalación de la válvula .

Ver figura # 44

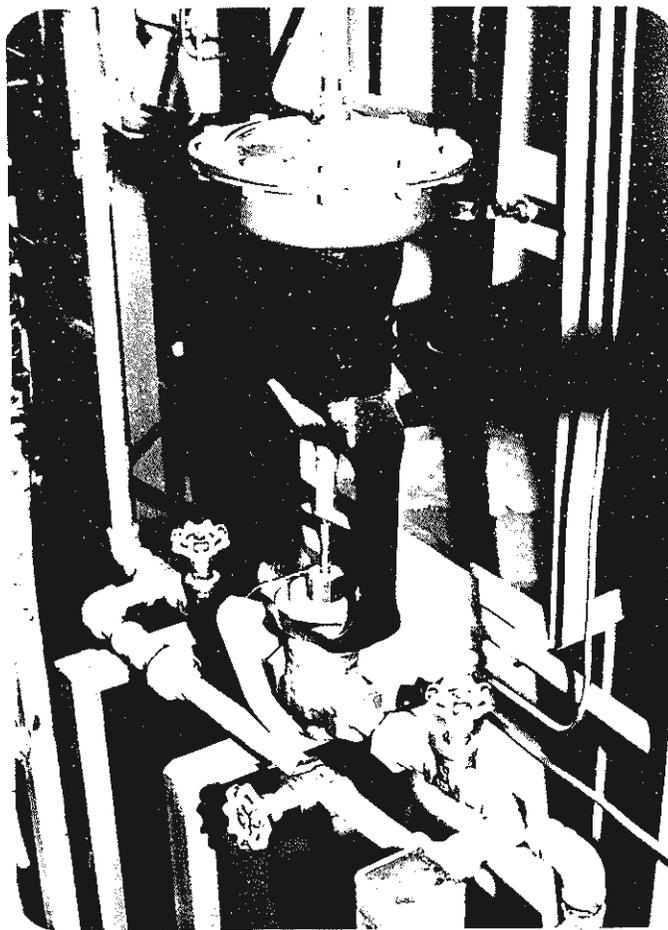


Figura # 44 .- Soporte para la instalación de la válvula de control

15.- Montaje de los serpentines de cobre para producir los retardos de propagación.

Los serpentines de cobre se lo construye en el torno, con datos de tabla # IX, y se acopla a la tubería galvanizada, ver Figura # 45

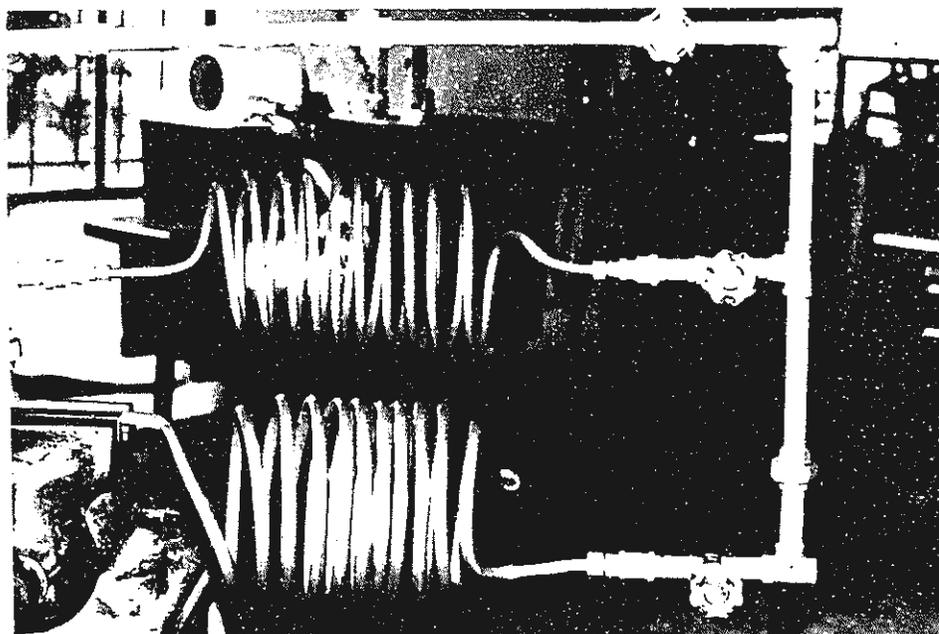


Figura # 45 .- Montaje de los serpentines de cobre

16.- Montaje del recipiente C4

Se construye un soporte para la instalación del recipiente, ver

Figura # 46

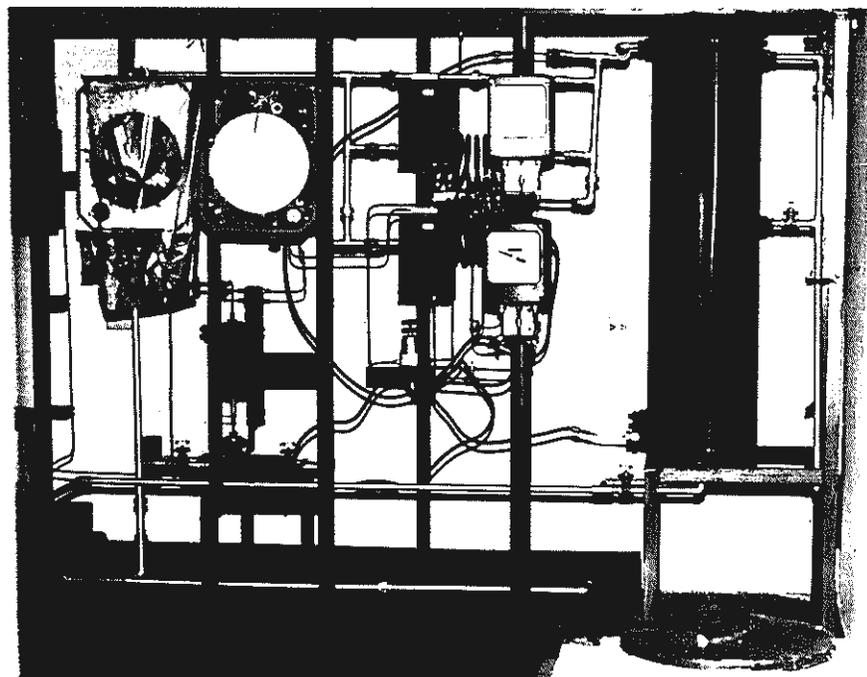


Figura # 46 .- Soporte para la instalación del recipiente C4

17.- Montaje de los transmisores indicadores de temperatura

Se instala un tubo galvanizado de $\phi 2"$ para el montaje de los transmisores, ver Figura # 47

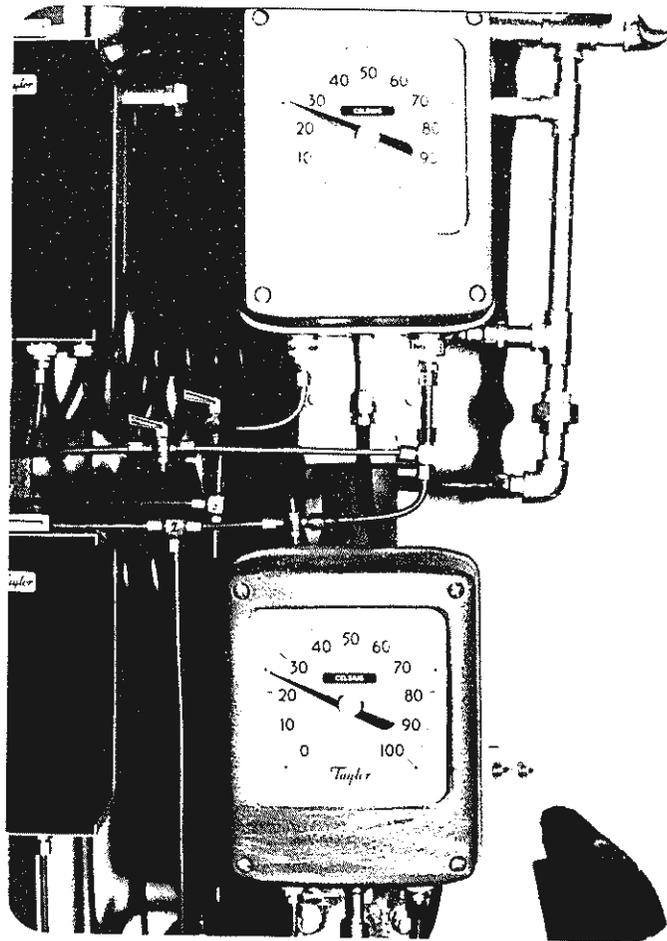


Figura # 47 .- Montaje de los transmisores indicadores

18.- Montaje del control registrador de temperatura

Se construye un soporte para la instalación del controlador, ver

Figura # 48

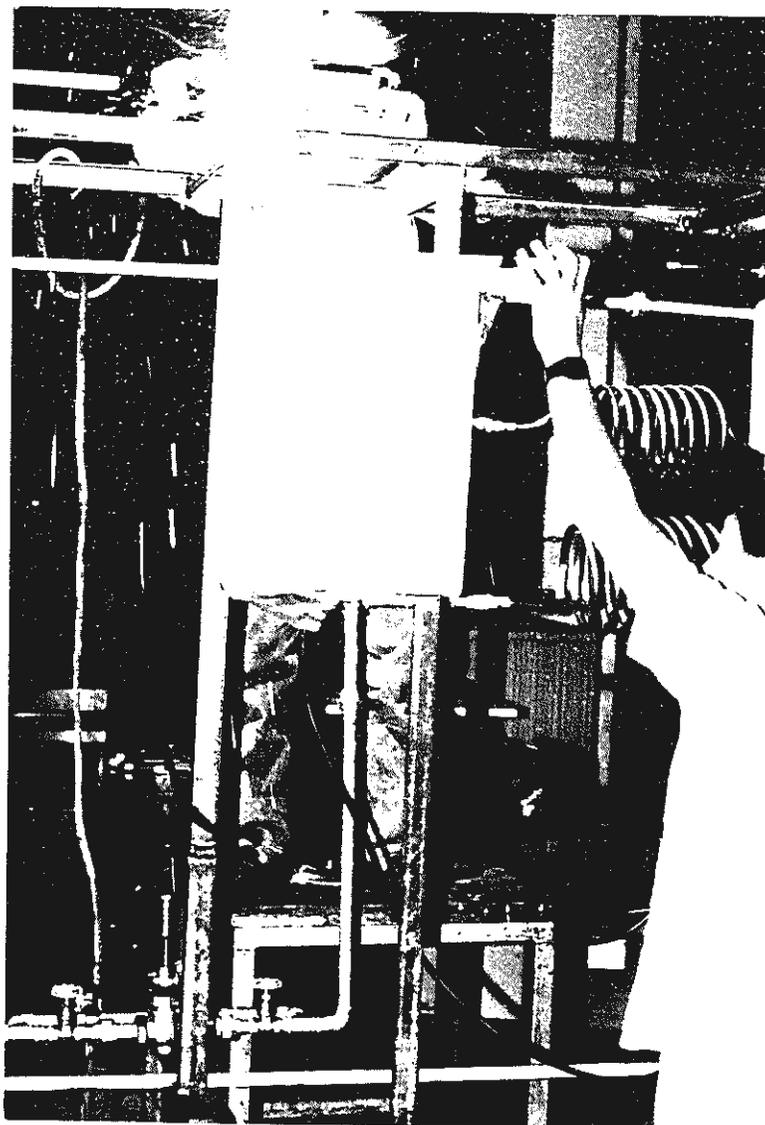


Figura # 48 .- Soporte para el control registrador de temperatura

19.- Montaje de los convertidores presión-corriente, para el Bucle de Temperatura.

Se construye un soporte para la instalación de los convertidores, ver Figura # 46

20.- Montaje del convertidor corriente-presión para el Bucle de Temperatura

Se construye un soporte para la instalación del convertidor, ver Figura # 49

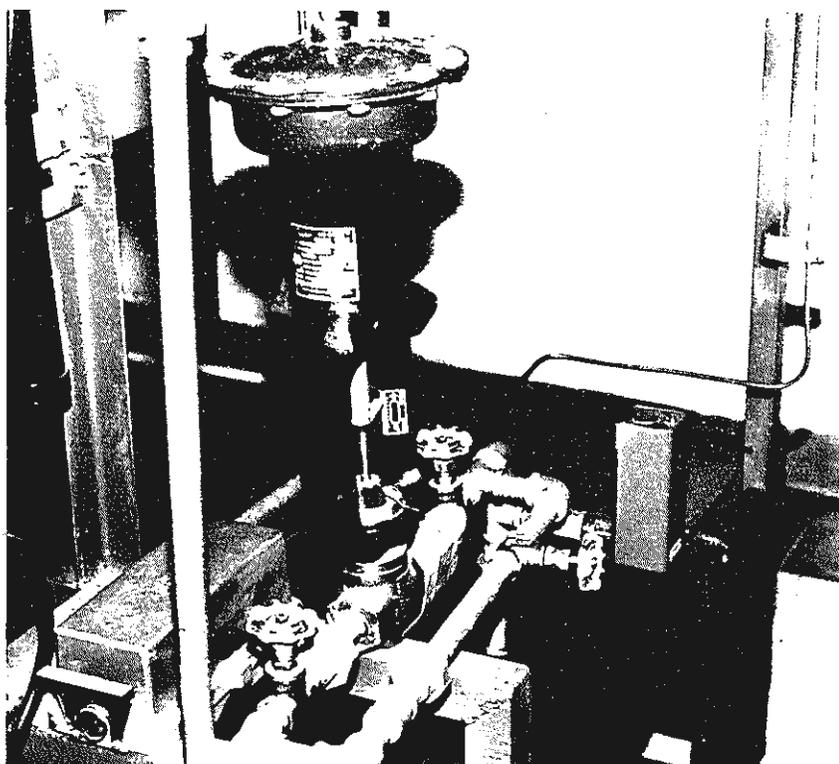


Figura # 49 .- Soporte para la instalación del convertidor I/P

21.- Montaje de los reguladores de presión para el Bucle de Temperatura
ver Figura # 41

22.- *Conexión de la tubería de proceso con los instrumentos y recipientes*

Se utiliza neoplos, reductores, codos, nudos, tubería, valvulas de globo y abertura rápida, se utiliza teflón para la conexión de los mismos, ver Figura # 46.

23.- *Instalación y conexión de cañerías y accesorios entre los instrumentos en el proceso de control neumático para el Bucle de Temperatura*

Se utiliza cañería de cobre de 1/4", uniones, conectores y llaves de paso, todo esto de bronce, ver Figura # 50

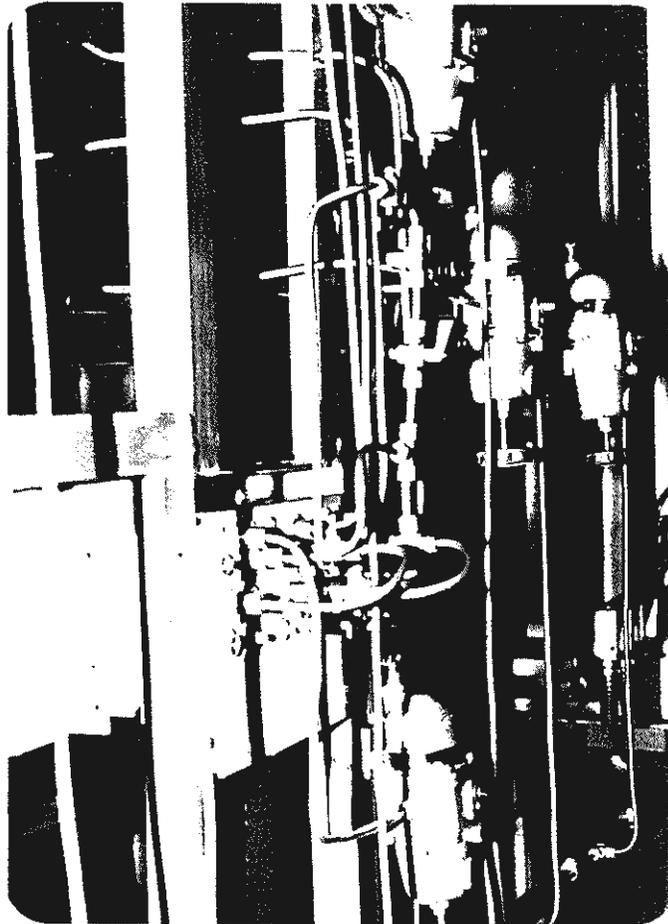


Figura # 50 .- Instalación y conexión de cañerías y accesorios

24.- Montaje de las líneas de fuerza, breaker, contactor y termostato para el calentador, ver Figura # 51

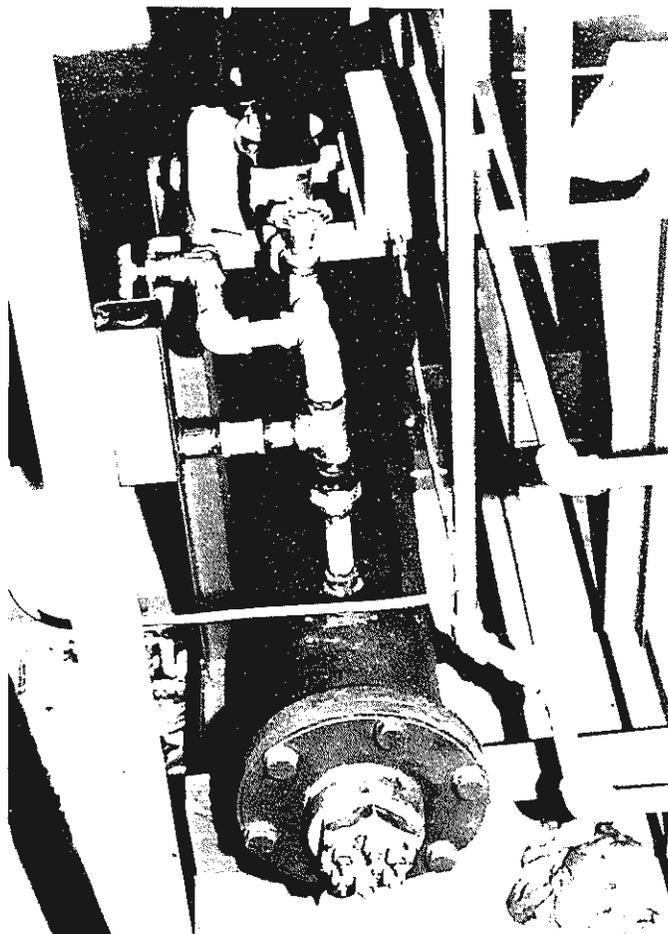


Figura # 51 .- Montaje del termostato

En el plano # 5, anexo # 1, se ilustra las conexiones neumáticas y eléctricas para el funcionamiento del lazo de Temperatura.

3.4 .- Análisis de Costos

En esta parte, analizo , los costos de adquisición de materiales, equipos ya sean estos importados o adquiridos localmente y los costos de manufactura .

El precio mostrado en cada una de las tablas corresponden al valor que se obtuvo en esa época .

A.- Costos de adquisición de equipos y materiales importados utilizados en los dos Bucles de Control , descrita en la Tabla XXVI .

TABLA XXVI.- Costo de materiales importados

Nº -	Cantidad	Descripción	Precio FOB Unitario US\$	Precio Total US\$
1	1	Transmisor de Flujo	1.600,00	1 600,00
2	1	Placa Orificio	46,00	46,00
3	1	Extractor de Raíz Cuadrada	850,00	850,00
4	1	Transmisor de Nivel	1.200,00	1.200,00
5	1	Control Máster	2.950,00	2.950,00
6	1	Control Secundario	2.800,00	2.800,00
7	1	Registrador para Flujo y Nivel	1.775,00	1.775,00
8	2	Válvula de Control de 1/2 " N. A.	770,00	1.540,00
9	1	Válvula de Control de 1/2 " N.C.	770,00	770,00

Continuación TABLA XXVI

10	5	Convertidores I/P	110,00	550,00
11	2	Convertidores P/I	150,00	300,00
12	2	Transmisor indicador de Temperatura	1.407,00	2.814,00
13	1	Control Registrador de Temperatura	1.975,00	1.975,00
14	10	Reguladores de Presión	16,00	160,00
15	4	Accesorios para Pluma	7,50	30,00
16	10	Pluma Roja (p.q.3)	16,00	160,00
17	7	Pluma Verde (p.q.3)	16,00	112,00
18	2	Cápsula Tinta Roja	12,00	24,00
19	2	Cápsula Tinta Verde	12,00	24,00
20	1	Cartas Circulares (p.q.100)	25,00	25,00
21	1	Control Mod 30	1.265,00	1.265,00
22	2	Configurador Portátil	550,00	1.100,00
23	1	Registrador Mod 30	2.150,00	2.150,00
24	1	Unidad Matemática	1.900,00	1.900,00
25	1	Controlador XL	1.675,00	1.675,00
26	1	Unidad de Secuencia	2.415,00	2.415,00
				30.210,00

B.- Costos de Adquisición de equipos y materiales locales utilizados en los dos Bucles de Control , descrita en la TABLA XXVII

TABLA XXVII.- Costo de materiales locales

N° -	Cantidad	Descripción	Precio Unitario US\$	Precio Total US\$
1	1	Compresor de 3 HP.	1.050,00	1.050,00
2	1	Bomba de 1/2 HP.	260,00	260,00
3	1	Resistencia de 30 KW	350,00	350,00
4	1	Breaker de 150 Amp.	220,00	220,00
5	1	Contactador de 150 Amp	350,00	350,00
6	1	Termostato	60,00	60,00
7	1	Tanque 250 Lt.	30,00	30,00
8	1	Regulador de aire de 1/2 "	32,00	32,00
9	1	Filtro de aire de 1/2 "	45,00	45,00
10	1	Drenador de Líquido	132,00	132,00
11	14	Ángulo ASTM A36 1 ^{1/2} x 1 ^{1/2} x 1/8 x 6000 mm.	7,00	98,00
12	1	Platina ASTM A36 1 ^{1/2} x 1/8 x 6000 mm.	5,00	5,00
13	3	Plancha ASTM A36 1220 x 2440 x 1.5 mm.	18,00	54,00
14	1	Tubo Galvanizado ISO 1 φ 1 ^{1/2} x 3000 mm.	5,00	5,00
15	1	Tubo Galvanizado ISO 1 φ 1 x 3000 mm.	3,00	3,00
16	4	Tubo Galvanizado ISO 1 φ 1/2 x 6000 mm.	3,00	12,00
17	2	Válvula Manual de globo de φ 1	20,00	40,00
18	10	Válvula Manual de globo de φ 1/2	10,00	100,00
19	20	Neplos Galvanizados ISO 1 φ 1/2 x 1 ^{1/2}	0,15	3,00

Continuación TABLA XXVII

20	10	Neplos Galvanizados ISO 1 ϕ 1/2 x 2	0,20	2,00
21	4	Neplos Galvanizados ISO 1 ϕ 1 x 2	0,25	1,00
22	4	Neplos Galvanizados ISO 1 ϕ 1/2 x 1	0,12	0,48
23	18	Tee Galvanizadas ISO 1 ϕ 1/2	0,50	9,00
24	3	Tee Galvanizadas ISO 1 ϕ 1	0,75	2,25
25	26	Codos Galvanizados ISO 1 90° ϕ 1/2	0,25	6,50
26	2	Codos Galvanizados ISO 1 90° ϕ 1	0,30	0,60
27	19	Universal Galvanizados ISO 1 ϕ 1/2	0,25	4,75
28	3	Universal Galvanizados ISO 1 ϕ 1	0,30	0,90
29	2	Universal Galvanizados ISO 1 ϕ 1 ^{1/2}	0,35	0,70
30	14	Reductor Galvanizado ISO 1 ϕ 1 x ϕ 1/2	0,55	7,70
31	2	Reductor Galvanizado ISO 1 ϕ 1 ^{1/2} x ϕ 1	0,65	1,30
32	2	Reductor Galvanizado ISO 1 ϕ 1 ^{1/2} x ϕ 1/2	0,60	1,20
33	1	Reductor Galvanizado ISO 1 ϕ 1/2 x ϕ 3/8	0,55	0,55
34	1	Yee Galvanizado ISO 1 ϕ 1/2	0,40	0,40
35	2	Cañería de Cobre ϕ 1/4 x 50 pies	20,00	40,00

Continuación TABLA XXVII

36	1	Cañería de Cobre ϕ 1/2 x 8000 mm.	2,00	2,00
37	1	Cañería de Cobre ϕ 3/8 x 6000 mm.	1,50	1,50
38	55	Conectores de Bronce B-68 1/4 x 1/4	1,50	82,50
39	23	Tee de Bronce de 1/4	1,80	41,40
40	176	Tuercas de Bronce de 1/4	1,60	281,60
41	176	Conos de Bronce de 1/4	0,10	17,60
42	26	Llave de Bronce de 1/4	5,00	130,00
43	2	Conectores de Bronce B-48 3/8 x 1/2	3,00	6,00
44	2	Conectores de Bronce B-48 1/2 x 1/2	3,50	7,00
45	2	Tuercas de Bronce A- 1110 de 1/2	1,50	3,00
46	2	Tuercas de Bronce A- 1110 de 3/8	1,60	3,20
47	2	Conos de Bronce de 1/2	0,15	0,30
48	2	Conos de Bronce de 3/8	0,20	0,40
				3.504,83

C.- Costo de adquisición de materiales indirectos, utilizados en los dos Bucles de Control descrita en la TABLA XXVIII.

TABLA XXVIII.- Costo de materiales indirectos

<i>Materiales</i>	<i>Costo US\$</i>
<i>Soldadura 6011 - 1/8</i>	<i>10,00</i>
<i>Disco de esmerilar</i>	<i>6,00</i>
<i>Hojas de sierra</i>	<i>4,00</i>
<i>Cuchillas para torno</i>	<i>3,00</i>
<i>Brocas</i>	<i>5,00</i>
<i>Lijas</i>	<i>5,00</i>
<i>Pintura epóxica</i>	<i>20,00</i>
<i>Pintura anticorrosiva</i>	<i>7,00</i>
<i>Diluyente Laca</i>	<i>4,00</i>
<i>Cortadora de cañería</i>	<i>20,00</i>
<i>Teflón</i>	<i>6,00</i>
<i>Cable de fibra de vidrio # 10</i>	<i>12,00</i>
<i>Terminales de talón # 10</i>	<i>8,00</i>
<i>Cable de alta tensión # 3</i>	<i>900,00</i>
<i>Otros</i>	<i>50,00</i>
	<i>1.060,00</i>

D.- Costos de manufactura, para efectos de obtener un valor real comparable a los costos de construcción y montaje de la empresa privada, es decir el costo que engloba Ingeniería, mano de obra, dirección técnica , etc . , será tomado directamente de costos promedios de empresas locales .

Se estima previamente las horas / hombre usadas , detalladas en la TABLA XXIX.



TABLA XXIX.- Horas / Hombre utilizadas en la construcción y montaje

Preparación	Horas / Hombre
<i>Corte- cizalla</i>	12
<i>Corte- arco de sierra</i>	12
<i>Soldadura</i>	12
<i>Esmerilado</i>	6
<i>Lijado</i>	6
<i>Pintada</i>	10
Mecanizado	
<i>Torneado Brida</i>	6
<i>Torneado Porta Brida</i>	6
<i>Taladrado</i>	4
<i>Machuelado</i>	4
<i>Construcción serpentines</i>	4
Ingeniería y Montaje	
<i>Montaje mecánico</i>	240
<i>Diseño mecánico</i>	80
<i>Supervisión</i>	40
Total Horas / Hombre	442

Aplicando ahora un costo US\$ 0.8 de Hora / Hombre promedio , tenemos :

Costo Total de Manufactura : US\$ 353,60

Por lo tanto el costo aproximado para la instalación de la Planta de Control de Procesos, Bucle de Caudal, Nivel y Temperatura es de US\$ 35.128,43

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

** Dado el alto costo para importar e instalar la Planta completa de Control de Procesos y tomando en consideración que parte de la misma se puede construir con personal de la Facultad de Ingeniería en Mecánica , se procede a la construcción e instalación de los instrumentos de control para la planta de Procesos con buenos resultados, ya que los estudiantes de Ingeniería en Mecánica pueden estudiar la construcción, el método de funcionamiento y la utilización de ejemplos de tipos normalizados de transmisor , registrador , controlador y válvulas de control .*

Puede observar el funcionamiento de Bucles de Control de varias clases, incluyendo controles en cascada , y adquiriendo experiencia en el tratamiento de averías y perturbaciones .

** La Planta permite el estudio de muchas funciones principales de control que se encuentran en los sistemas de Ingeniería como son :*

Medida y Control de Flujos , Niveles, Temperaturas, y lleva incorporados ejemplo de distintos tipos de controles como son :

Solamente proporcional

Proporcional más Integral (puesta a cero)

Proporcional más Integral más Derivativo

** En la época en que se instaló los Bucles de Caudal, Nivel y Temperatura , el costo aproximado de la misma es de US\$ 35.128,43 que convertidos a sucres en ese año nos da la cantidad de \$ 27'242.371,00 .*

Si deseamos instalar la misma planta en la actualidad el costo en sucres es de \$ 105' 385.290,00 esto es unas cuatro veces más del costo anterior, sin tomar en consideración que una planta completa de procesos en esa época costaba aproximadamente US\$ 150.000,00 , esto es en la actualidad \$ 450'000.000,00 por lo tanto el hecho de construir e instalar parte de la misma fue un acierto por parte de los Ingenieros directores del proyecto.

** Se recomienda instalar válvulas solenoides en el sistema para producir pérdidas de aire en las líneas de conexión, originando así fallos en el funcionamiento del sistema.*

También se recomienda instalar un secador refrigerado para permitir que el aire de control que ingresa a los instrumentos sea completamente secos y así mejorar las señales de los instrumentos .

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **HOWARD - L - HARRISON & JOHN G BOLLINGER**, *Controles Automáticos*.
Segunda Edición, Trillas, México, Junio 1983

- 2.- **JOSEPH - E - SHIGLEY & LARRY D MITCHELL**, *Diseño en Ingeniería Mecánica*,
Tercera Edición, McGraw-Hill, México, Octubre 1985

- 3.- **FACULTAD de INGENIERÍA en MECÁNICA**, *Folleto, Instrumentación Industrial*,
ESPOL 1984

- 4.- **CRANE**, *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Primera Edición*,
McGraw-Hill, México, Agosto 1988

- 5.- **PLINT & PARTNERS LTD**, *Planta de formación sobre sistemas de control e
instrumentación*

- 6.- **KARLEKAR - DESMOND**, *Transferencia de calor, Segunda Edición, España 1984*

- 7.- **FOX & McDONALD**, *Introduction to fluid mechanics, 2nd. ed, 1978*

- 8.- **KATSUHKO OGATA** , *Ingeniería de control moderna Prentice - Hall
Hispanoamericana, S.A. 1980*

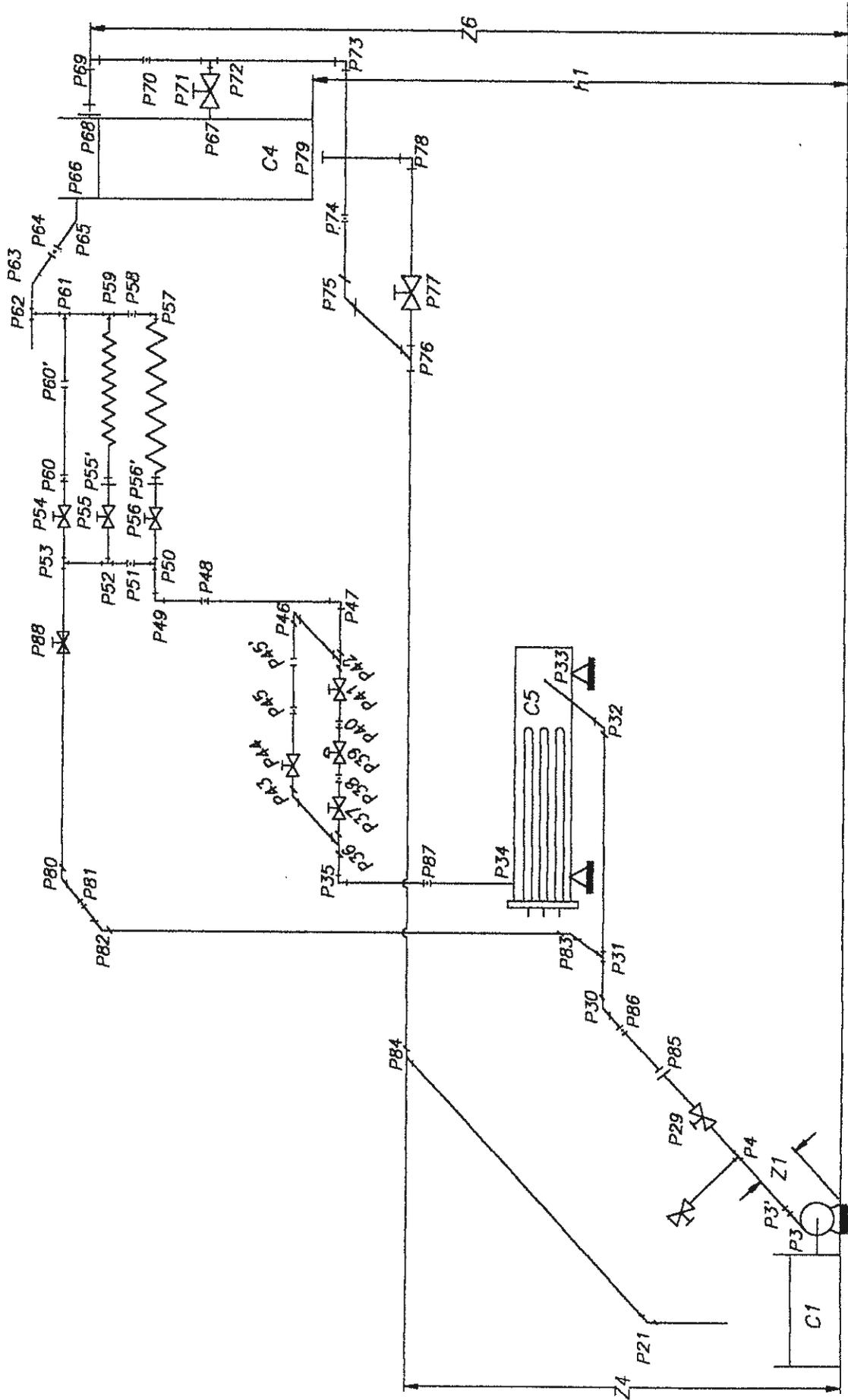
9.- CREIDE - FACULTAD de INGENIERÍA en MECÁNICA, Folleto , principios de transferencia de calor , ESPOL 1979

10.- FACULTAD de INGENIERÍA en MECÁNICA, Folleto, Técnicas Modernas para el Planeamiento y Control de Producción , ESPOL 1986

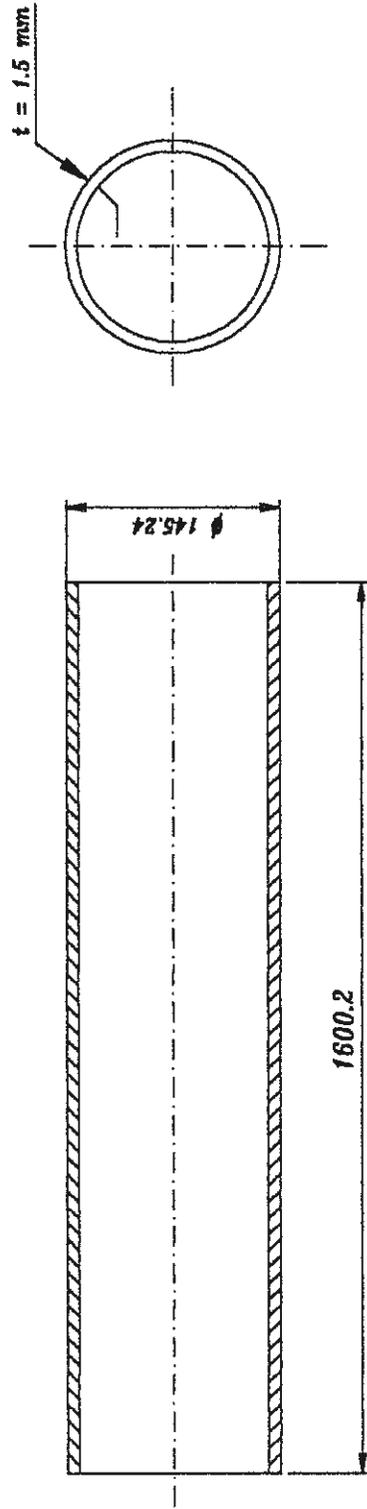
11.- SCHAUM, Teoría y Problemas de Resistencia de Materiales, McGraw-Hill, México 1969

12.- THE FOXBORO COMPANY , Diagramas de instrumentación con notas explicativas

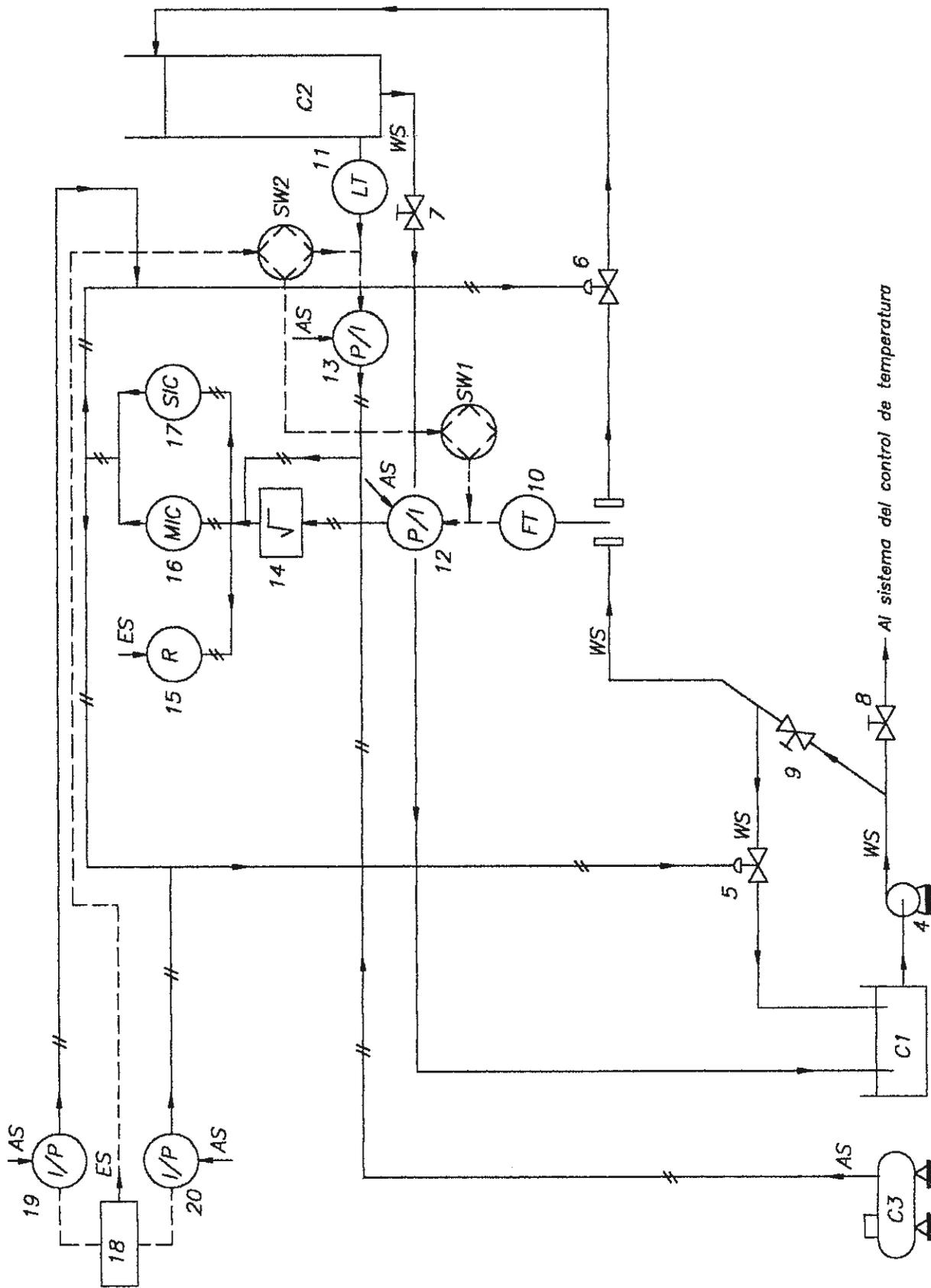
ANEXOS***1: PLANOS***



Plano # II .- Diagrama de Flujo para el Bucle de Temperatura



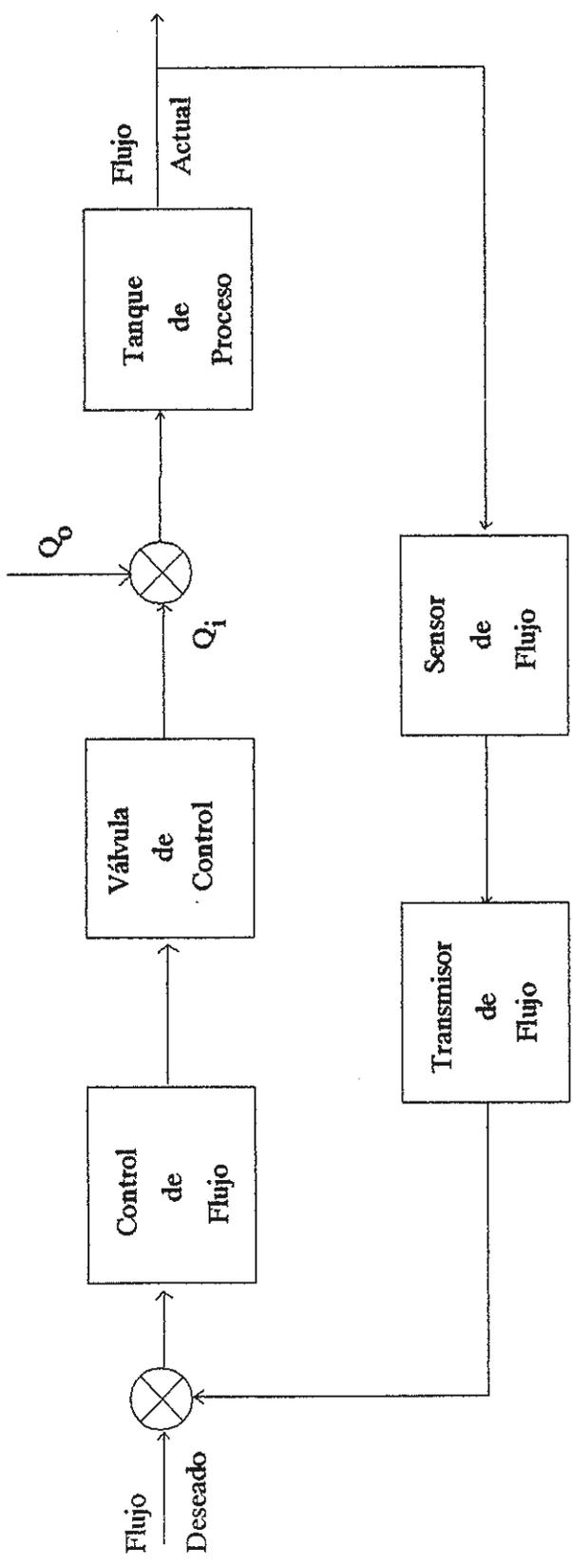
Plano # III



Plano # IV.- Sistema Electro-Neumatico de control de Flujo y Nivel

Al sistema del control de temperatura

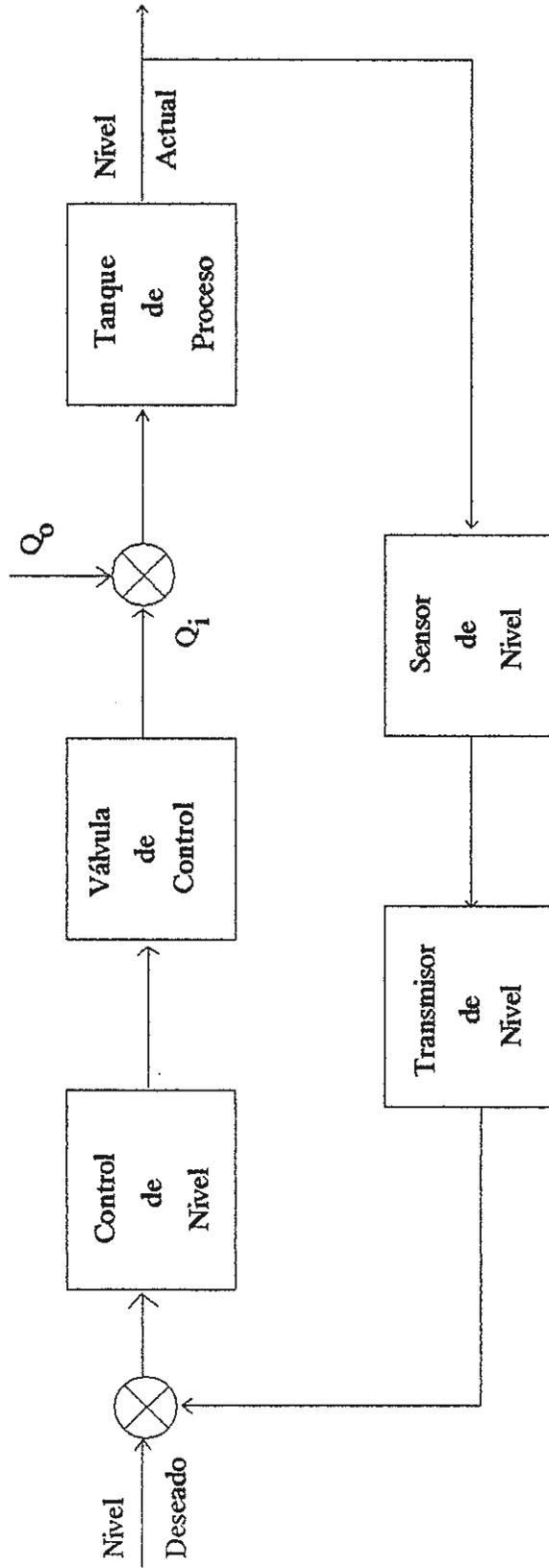
2 : ESQUEMAS



Q_o = Salida del Flujo

Q_i = Entrada del Flujo

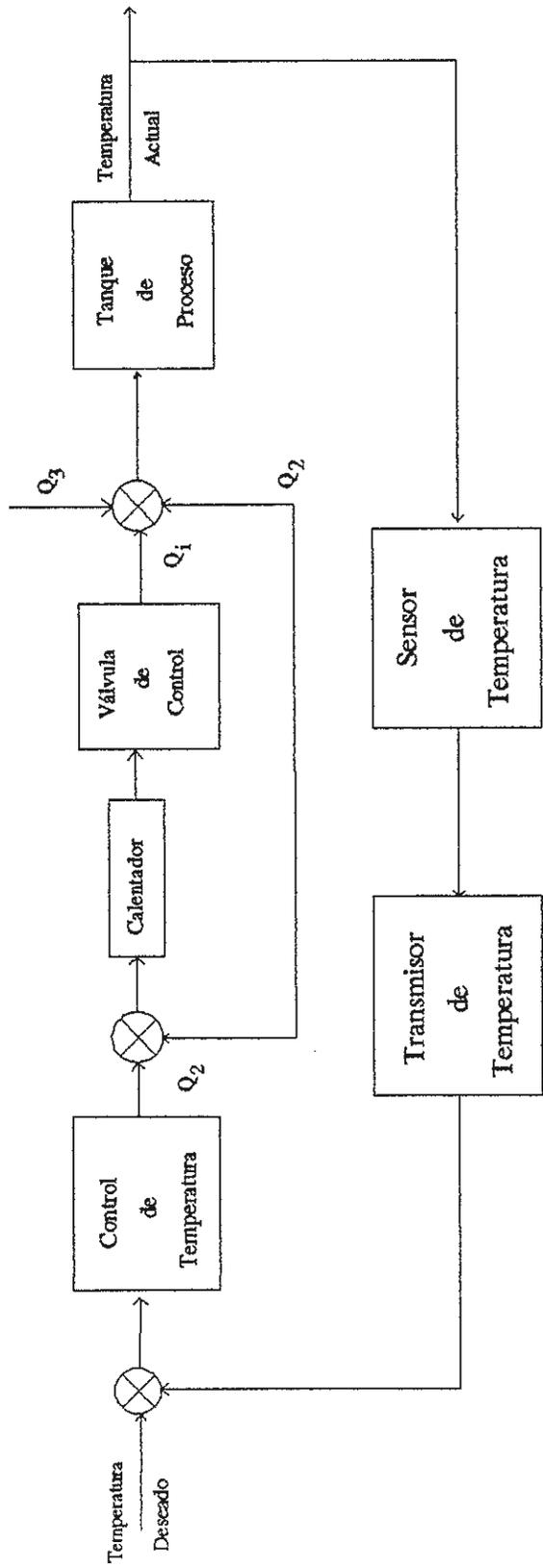
Esquema # 1.- Diagrama de Bloques para el Lazo de Flujo



Q_o = Salida del Flujo

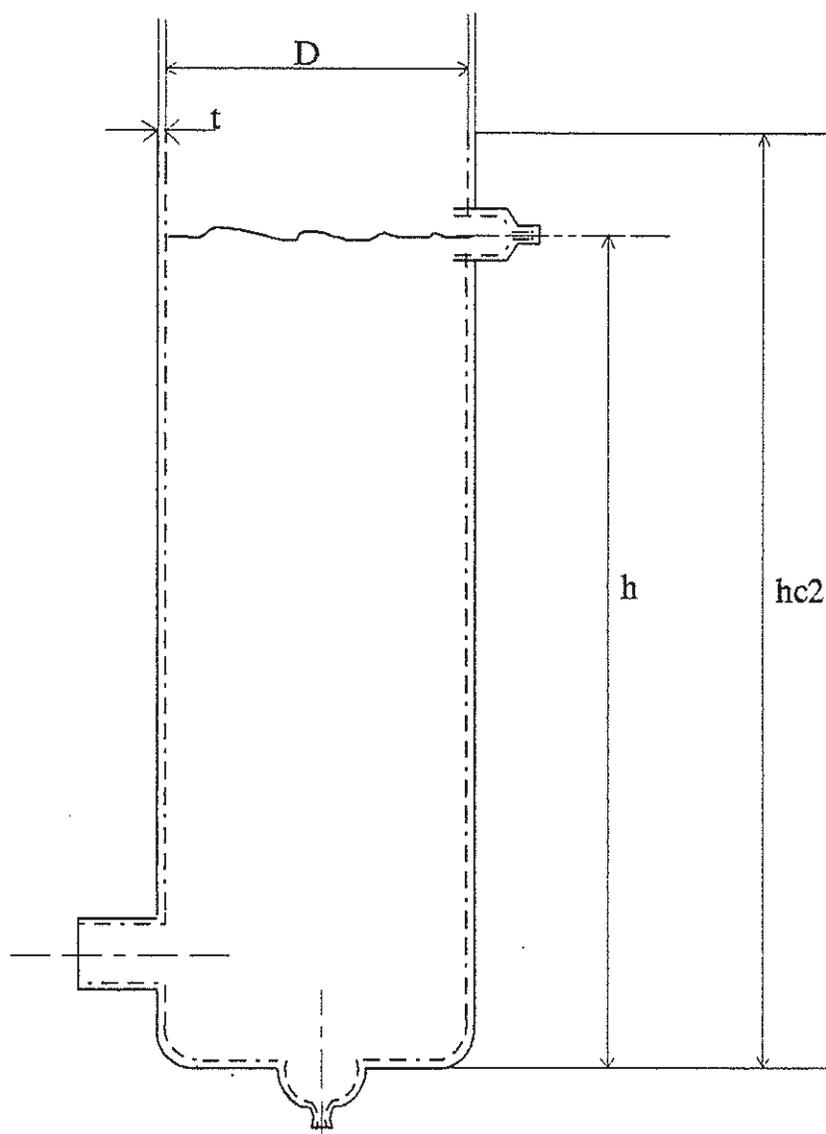
Q_i = Entrada del Flujo

Esquema # 2.- Diagrama de Bloques para el Lazo y Nivel

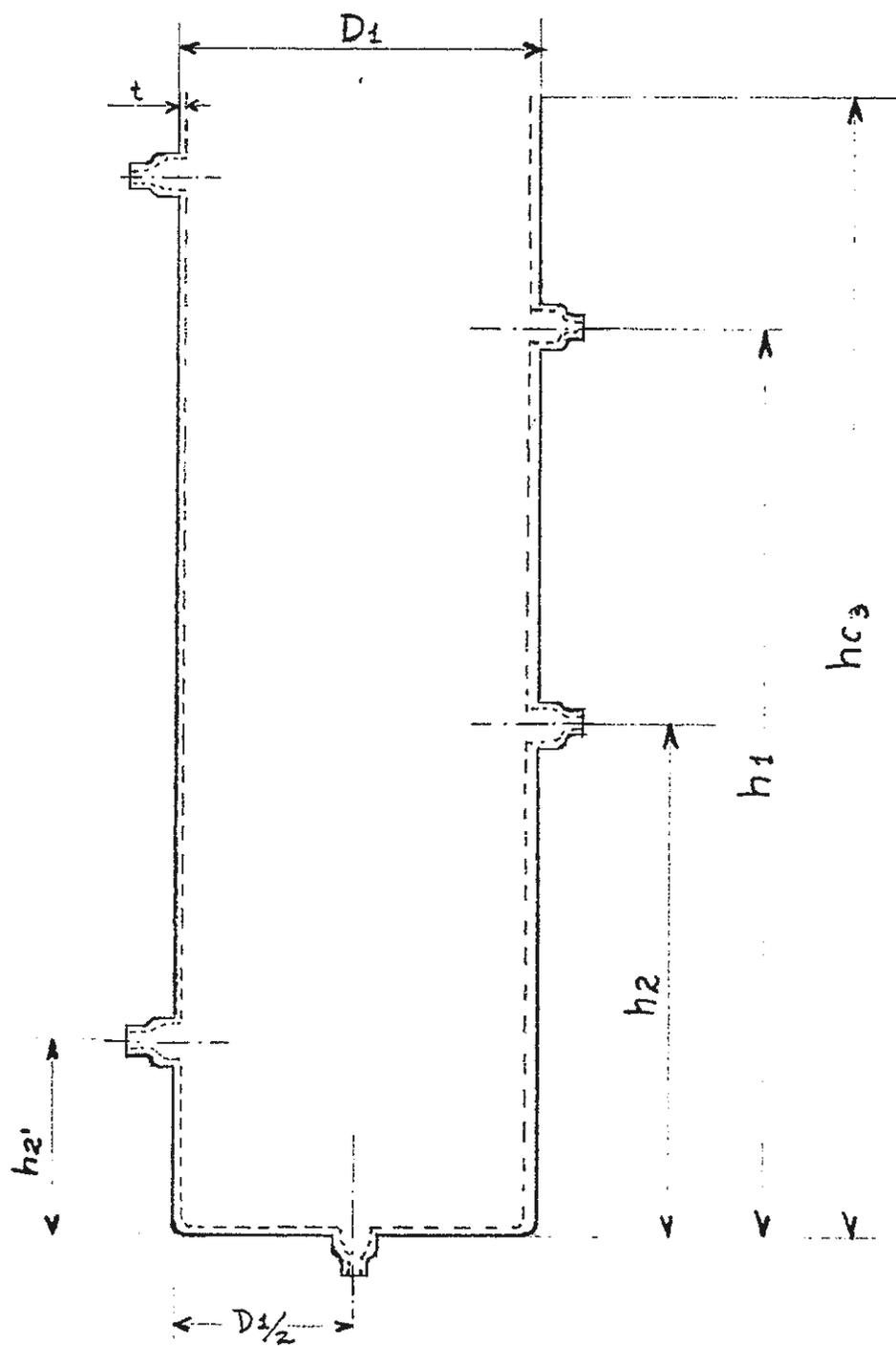


- Q_1 = Entrada del Flujo Caliente
- Q_2 = Entrada del Flujo Frío
- Q_3 = Salida del Flujo de Mezclas

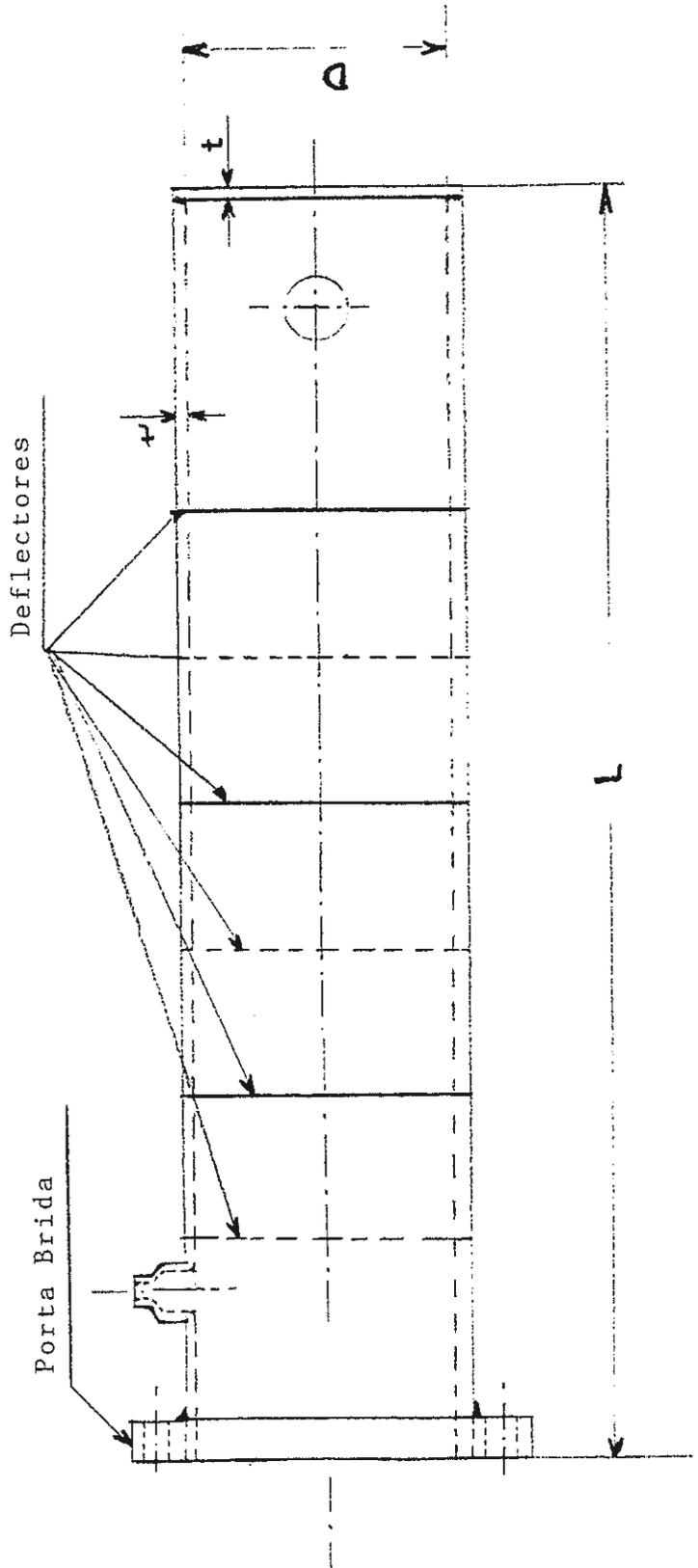
Esquema # 3.- Diagrama de Bloques para el Lazo de Temperatura



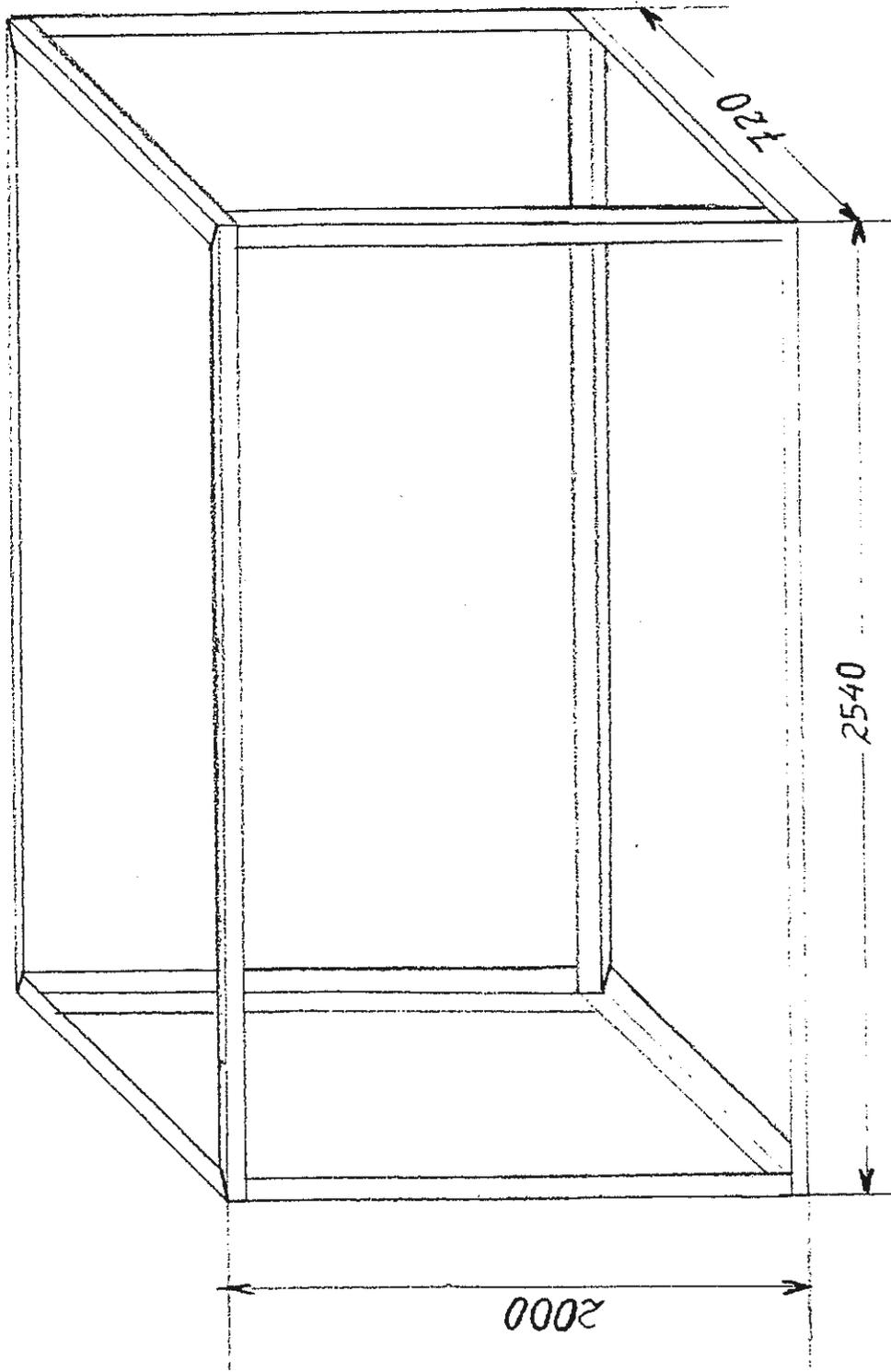
Esquema # 4 .- Recipiente C2 para proceso de Control del Bucle de Caudal y Nivel



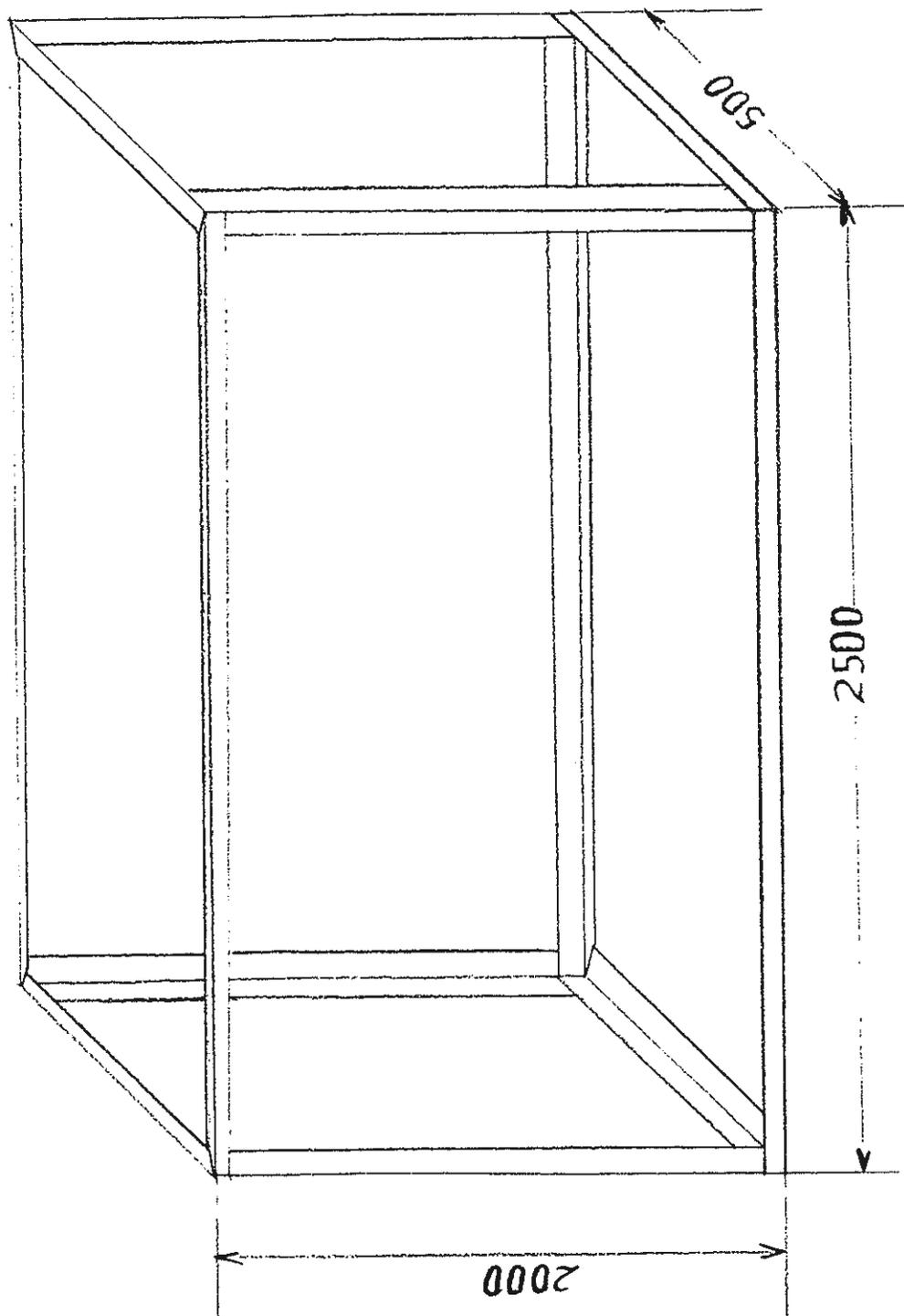
Esquema # 5.- Recipiente C4 para Control de Procesos del
Bucle de Temperatura



Esquema # 6.- Recipiente C5 (Calentador)



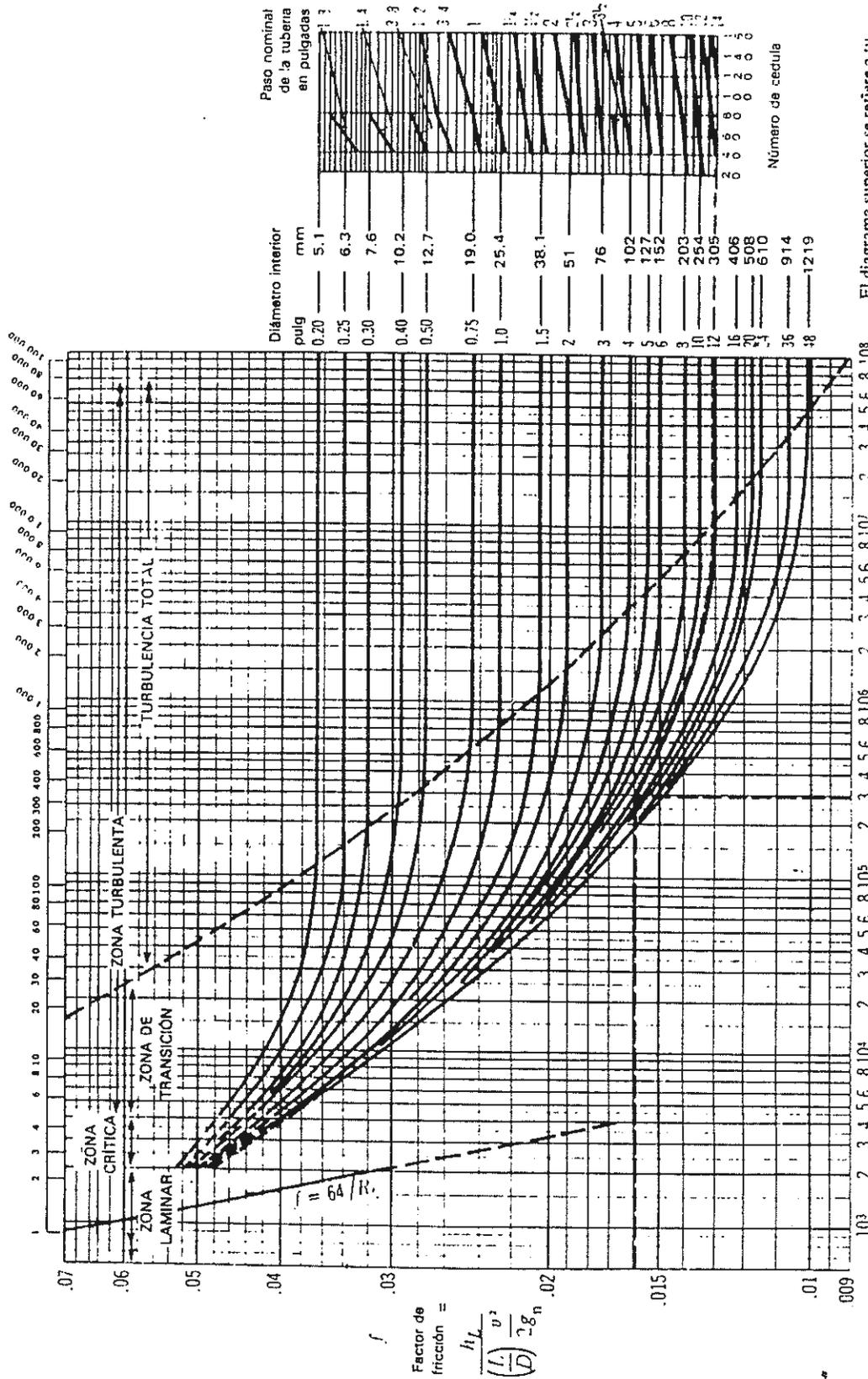
Esquema # 7 - Estructura para el Bucle de Caudal y Nivel



Esquema # 8.- Estructura para el Bucle de Temperatura

3 : FIGURAS

VALORES DE (fD) PARA AGUA A 15°C (VELOCIDAD EN m/s x DIÁMETRO EN mm)



El diagrama superior se refiere a tuberías de acero según ANSI 36.10 y BSI 600 e indica los diámetros interiores de estas tuberías nominales.

Figura # 11.- Diagrama de L-F Moody

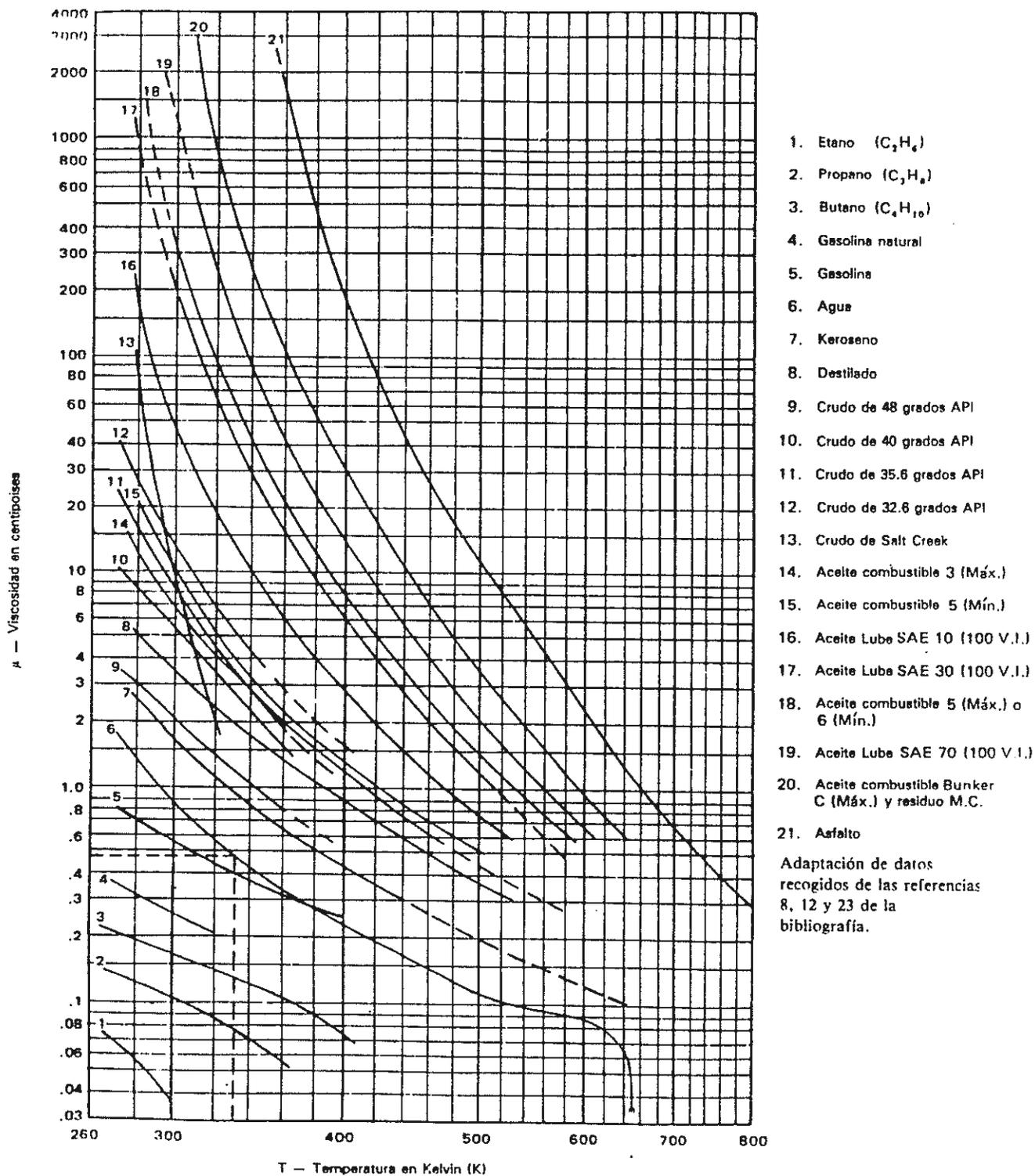
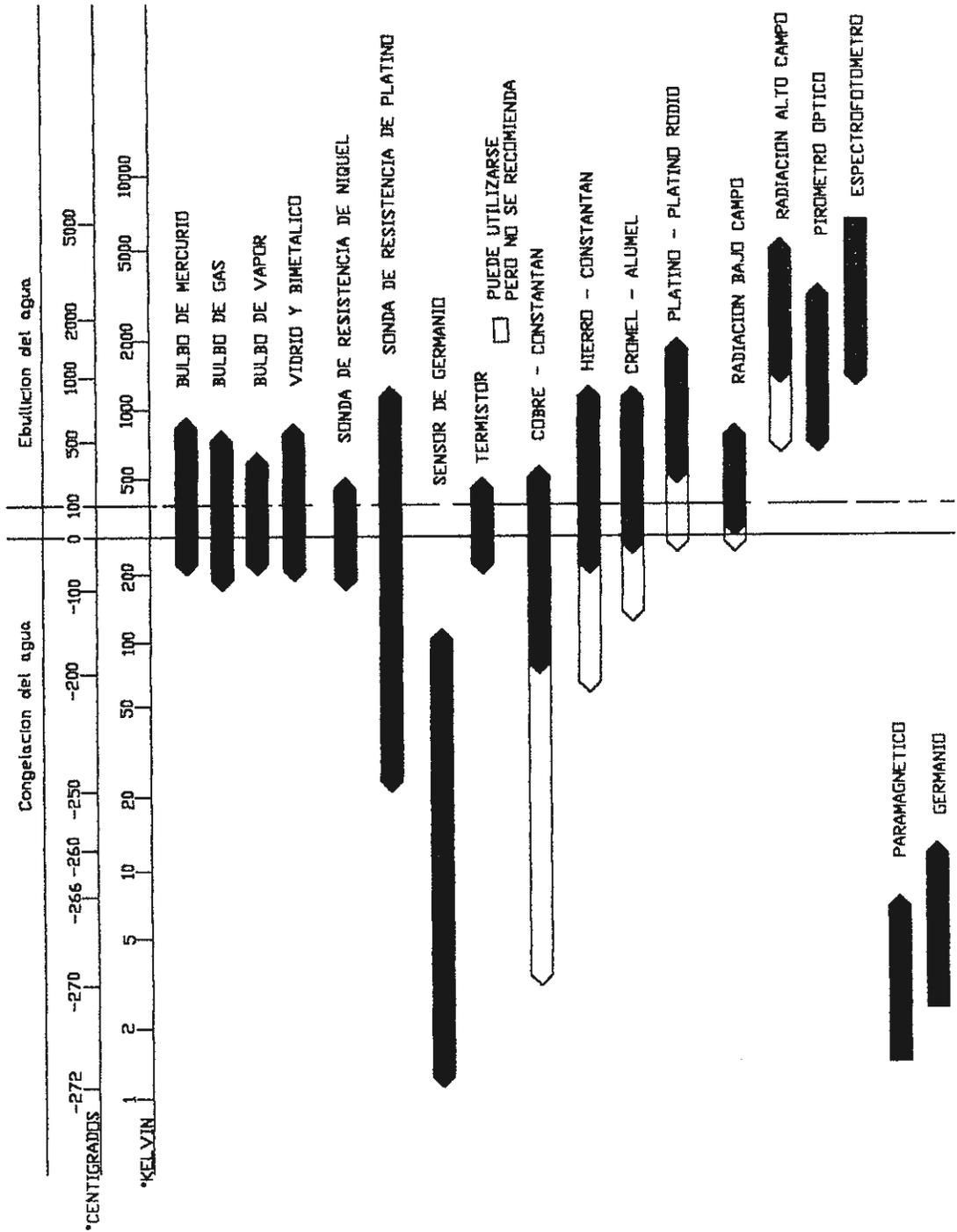


Figura # 14.- Viscosidad μ en centipoises Vs Temperatura en $^{\circ}K$

Figura # 16.- Campo de Medida de los Instrumentos de Temperatura



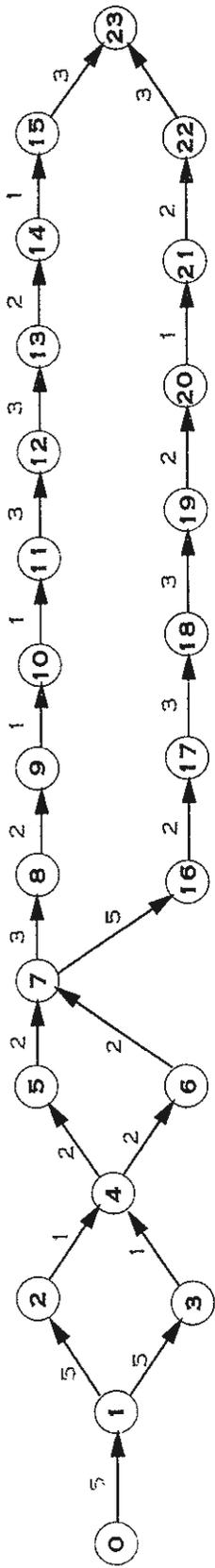
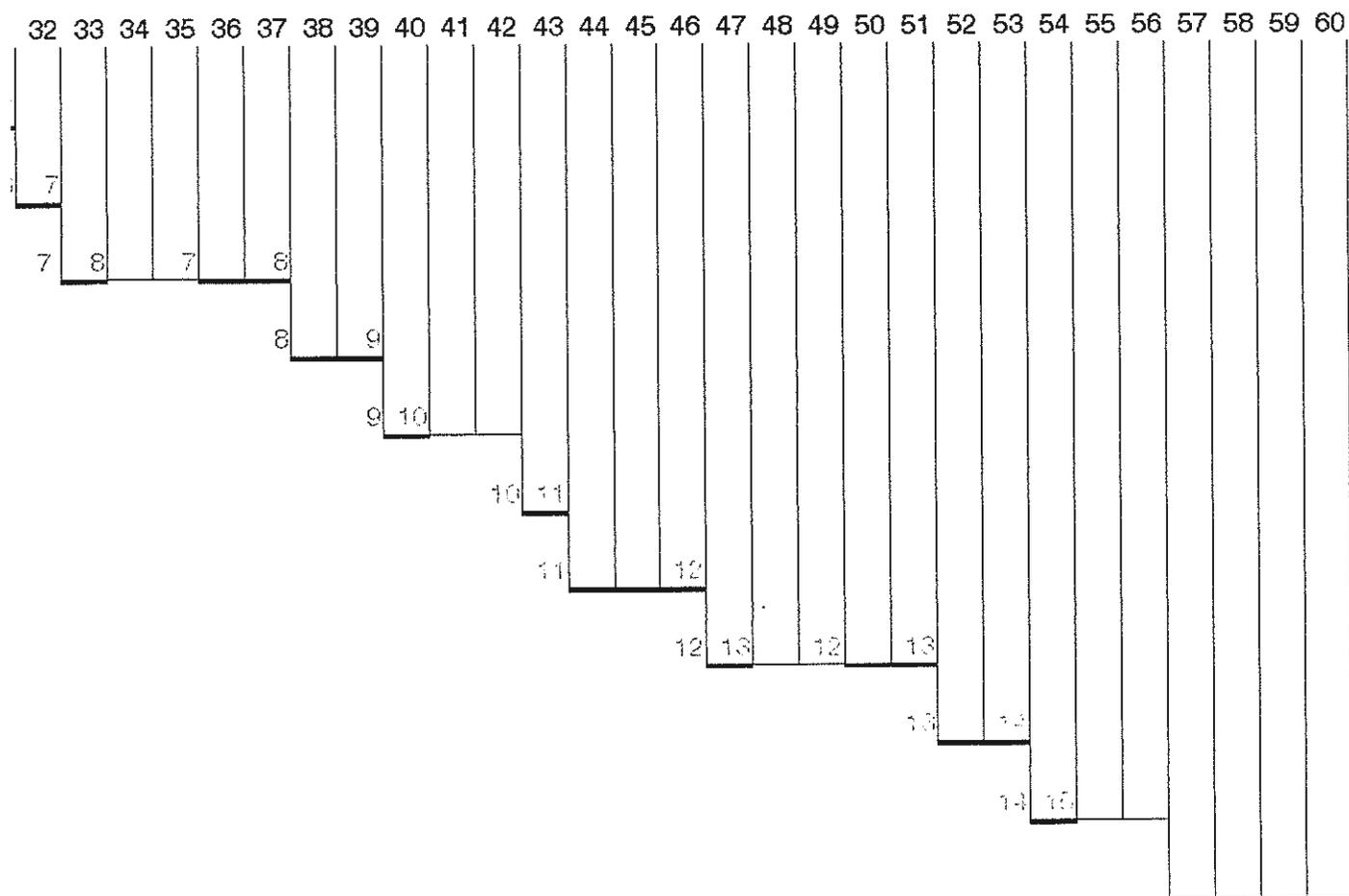


DIAGRAMA DE FLECHAS O SAGITAL PARA LA CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE CONTROL DE PROCESOS

Figura # 28 .- Diagrama de Flechas o Sagital

Figura # 29.- Diagrama de Barras o de Gantt



4 : TABLAS

Medida nominal de la tubería pulgadas		Diámetro exterior mm	Espesor mm	Diámetro interior mm	Medida nominal de la tubería pulgadas		Diámetro exterior mm	Espesor mm	Diámetro interior mm
Cédula 10	14	355.6	6.35	342.9	Cédula 80 (continuación)	3 ^{1/2}	101.6	8.08	85.4
	16	406.4	6.35	393.7		4	114.3	8.56	97.2
	18	457.2	6.35	444.5		5	141.3	9.52	122.3
	20	508.0	6.35	495.3		6	168.3	10.97	146.4
	24	609.6	6.35	596.9		8	219.1	12.70	193.7
30	762.0	7.92	746.2	10		273.0	15.09	242.8	
Cédula 20	8	219.1	6.35	206.4		12	323.9	17.47	289.0
	10	273.0	6.35	260.3		14	355.6	19.05	317.5
	12	323.9	6.35	311.2		16	406.4	21.44	363.5
	14	355.6	7.92	339.8		18	457.2	23.82	409.6
	16	406.4	7.92	390.6	20	508.0	26.19	455.6	
	18	457.2	7.92	441.4	24	609.6	30.96	547.7	
	20	508.0	9.52	489.0	Cédula 100	8	219.1	15.09	188.6
	24	609.6	9.52	590.6		10	273.0	18.26	236.5
30	762.0	12.70	736.6	12		323.9	21.44	281.0	
Cédula 30	8	219.1	7.04	205.0		14	355.6	23.82	308.0
	10	273.0	7.80	257.4		16	406.4	26.19	354.0
	12	323.9	8.38	307.1		18	457.2	29.31	398.5
	14	355.6	9.52	336.6		20	508.0	32.54	442.9
	16	406.4	9.52	387.4		24	609.6	38.89	531.8
	18	457.2	11.13	434.9	Cédula 120	4	114.3	11.13	92.0
	20	508.0	12.70	482.5		5	141.3	12.70	115.9
	24	609.6	14.27	581.1		6	168.3	14.27	139.8
30	762.0	15.88	730.2	8		219.1	18.26	182.6	
Cédula 40	1/8	10.3	1.73	6.8		10	273.0	21.44	230.1
	1/4	13.7	2.24	9.2		12	323.9	25.40	273.1
	3/8	17.1	2.31	12.5		14	355.6	27.79	300.0
	1/2	21.3	2.77	15.8		16	406.4	30.96	344.5
	3/4	26.7	2.87	21.0	18	457.2	34.92	387.4	
	1	33.4	3.38	26.6	20	508.0	38.10	431.8	
	1 ^{1/4}	42.2	3.56	35.1	24	609.6	46.02	517.6	
	1 ^{1/2}	48.3	3.68	40.9	Cédula 140	8	219.1	20.62	177.9
	2	60.3	3.91	52.5		10	273.0	25.40	222.2
	2 ^{1/2}	73.0	5.16	62.7		12	323.9	28.58	266.7
	3	88.9	5.49	77.9		14	355.6	31.75	292.1
	3 ^{1/2}	101.6	5.74	90.1		16	406.4	36.52	333.4
	4	114.3	6.02	102.3		18	457.2	39.69	377.8
	5	141.3	6.55	128.2		20	508.0	44.45	419.1
	6	168.3	7.11	154.1		24	609.6	52.39	504.8
	8	219.1	8.18	202.7	Cédula 160	1/2	21.3	4.78	11.7
	10	273.0	9.7	254.5		3/4	26.7	5.56	15.6
	12	323.9	10.31	303.3		1	33.4	6.35	20.7
14	355.6	11.13	333.3	1 ^{1/4}		42.2	6.35	29.5	
16	406.4	12.70	381.0	1 ^{1/2}		48.3	7.14	34.0	
18	457.2	14.27	428.7	2		60.3	8.74	42.8	
20	508.0	15.09	477.8	2 ^{1/2}		73.0	9.52	54.0	
24	609.6	17.48	574.6	3		88.9	11.13	66.6	
Cédula 60	8	219.1	10.31	198.5		4	114.3	13.49	87.3
	10	273.0	12.70	247.6		5	141.3	15.88	109.5
	12	323.9	14.27	295.4		6	168.3	18.26	131.8
	14	355.6	15.09	325.4		8	219.1	23.01	173.1
	16	406.4	16.64	373.1	10	273.0	28.58	215.8	
	18	457.2	19.05	419.1	12	323.9	33.34	257.2	
	20	508.0	20.62	466.8	14	355.6	35.71	284.2	
Cédula 80	1/8	10.3	2.41	5.5	16	406.4	40.49	325.4	
	1/4	13.7	3.02	7.7	18	457.2	45.24	366.7	
	3/8	17.1	3.20	10.7	20	508.0	50.01	408.0	
	1/2	21.3	3.73	13.8	24	609.6	59.54	490.5	
	3/4	26.7	3.91	18.9	Cédula 80 (continuación)	3 ^{1/2}	101.6	8.08	85.4
	1	33.4	4.55	24.3		4	114.3	8.56	97.2
	1 ^{1/4}	42.2	5.85	32.5		5	141.3	9.52	122.3
	1 ^{1/2}	48.3	5.08	38.1		6	168.3	10.97	146.4
	2	60.3	5.54	49.2		8	219.1	12.70	193.7
	2 ^{1/2}	73.0	7.01	59.0		10	273.0	15.09	242.8
	3	88.9	7.62	73.7		12	323.9	17.47	289.0

TABLA IV.- Espesor de la tubería según número de cédula

TABLA V.-Propiedades Físicas del agua, ρ

Temperatura del agua t grados Fahrenheit	Presión de saturación p' lb/pulg ² abs.	Volumen específico \bar{v} pte ³ /lb	Densidad ρ lb/pte ³	Peso libras/galón
32	0.08859	0.016022	62.414	8.3436
40	0.12163	0.016019	62.426	8.3451
50	0.17796	0.016023	62.410	8.3430
60	0.25611	0.016033	62.371	8.3378
70	0.36292	0.016050	62.305	8.3290
80	0.50683	0.016072	62.220	8.3176
90	0.69813	0.016099	62.116	8.3037
100	0.94924	0.016130	61.996	8.2877
110	1.2750	0.016165	61.862	8.2698
120	1.6927	0.016204	61.7132	8.2498
130	2.2230	0.016247	61.550	8.2280
140	2.8892	0.016293	61.376	8.2048
150	3.7184	0.016343	61.188	8.1797
160	4.7414	0.016395	60.994	8.1537
170	5.9926	0.016451	60.187	8.1260
180	7.5110	0.016510	60.569	8.0969
190	9.3400	0.016572	60.343	8.0667
200	11.526	0.016637	60.107	8.0351
210	14.123	0.016705	59.862	8.0024
212	14.696	0.016719	59.812	7.9957
220	17.186	0.016775	59.613	7.9690
240	24.968	0.016926	59.081	7.8979
260	35.427	0.017089	58.517	7.8226
280	49.200	0.017264	57.924	7.7433
300	67.005	0.017450	57.307	7.6608
350	134.604	0.01799	55.586	7.4308
400	247.259	0.01864	53.648	7.1717
450	422.55	0.01943	51.467	6.8801
500	680.86	0.02043	48.948	6.5433
550	1045.43	0.02176	45.956	6.1434
600	1543.2	0.02364	42.301	5.6548
650	2208.4	0.02674	37.397	4.9993
700	3094.3	0.03662	27.307	3.6505

TABLA XII.- Propiedades Físicas del agua, ρ y C_p

LIQUIDOS									
T (°F)	ρ (lb _m /pie ³)	c_p (Btu/lb _m °F)	$\mu \times 10^3$ (lb _m /pie seg)	$\nu \times 10^3$ (pie ² /seg)	k (Btu/hr pie °F)	Pr	$\alpha \times 10^4$ (pie ² /hr)	$\beta_T \times 10^4$ (1/°F)	$\frac{\rho \beta_T^2}{\mu^2}$ (1/°F pie ²)
Agua									
32	62.4	1.01	1.20	1.93	0.319	13.7	5.07	-0.37	
40	62.4	1.00	1.04	1.67	0.325	11.6	5.21	0.20	2.3×10^5
50	62.4	1.00	0.88	1.40	0.332	9.55	5.33	0.49	8.0
60	62.3	0.999	0.76	1.22	0.340	8.03	5.47	0.85	18.4
70	62.3	0.998	0.658	1.06	0.347	6.82	5.57	1.2	34.6
80	62.2	0.998	0.578	0.93	0.353	5.89	5.68	1.5	56.0
90	62.1	0.997	0.514	0.825	0.359	5.13	5.79	1.8	85.0
100	62.0	0.998	0.458	0.740	0.364	4.52	5.88	2.0	118×10^4
150	61.2	1.00	0.292	0.477	0.384	2.74	6.27	3.1	440.0
200	60.1	1.00	0.205	0.341	0.394	1.88	6.55	4.0	1.11×10^5
250	58.8	1.01	0.158	0.269	0.396	1.45	6.69	4.8	2.14
300	57.3	1.03	0.126	0.220	0.395	1.18	6.70	6.0	4.00
350	55.6	1.05	0.105	0.189	0.391	1.02	6.69	6.9	6.24
400	53.6	1.08	0.091	0.170	0.381	0.927	6.57	8.0	8.95
450	51.6	1.12	0.080	0.155	0.367	0.876	6.34	9.0	12.1
500	49.0	1.19	0.071	0.145	0.349	0.87	5.99	10.0	15.3
550	45.9	1.31	0.064	0.139	0.325	0.93	5.05	11.0	17.8
600	42.4	1.51	0.058	0.137	0.292	1.09	4.57	12.0	20.6
T (°F)	ρ (lb _m /pie ³)	c_p (Btu/lb _m °F)	$\mu \times 10^3$ (lb _m /pie seg)	$\nu \times 10^4$ (pie ² /seg)	k (Btu/hr pie °F)	Pr	$\alpha \times 10^4$ (pie ² /hr)	$\beta_T \times 10^4$ (1/°F)	$\frac{\rho \beta_T^2}{\mu^2}$ (1/°F pie ²)
Anilina comercial									
60	64.0	0.48	325.0	5.08	0.10	56.0	3.25		
100	63.0	0.49	170.0	2.70	0.10	30.0	3.24	0.49	21.6×10^5
150	61.5	0.505	96.5	1.57	0.098	18.0	3.16	0.492	64.5
200	60.0	0.515	61.1	1.02	0.096	11.8	3.11		
300	57.5	0.54	32.5	0.565	0.093	6.8	3.00		
Amoniaco (líquido saturado)									
-20	42.4	1.07	17.6	0.417	0.317	2.15	6.94		
0	41.6	1.08	17.1	0.410	0.316	2.09	7.04		
10	40.8	1.09	16.6	0.407	0.314	2.07	7.08		
32	40.0	1.11	16.1	0.402	0.312	2.05	7.03	1.2	238×10^5
50	39.1	1.13	15.5	0.396	0.307	2.04	6.95	1.3	266
80	37.2	1.17	14.5	0.386	0.293	2.01	6.73		
120	35.2	1.22	13.0	0.355	0.275	1.99	6.40		
Freón 12, CCl ₂ F ₂ (líquido saturado)									
-40	94.8	0.211	28.4	0.300	0.040	5.4	2.00		
-20	93.0	0.214	25.0	0.272	0.040	4.8	2.01	1.03	4.6×10^5
0	91.2	0.217	23.1	0.253	0.041	4.4	2.07	1.05	5.27
20	89.2	0.220	21.0	0.238	0.042	4.0	2.14	1.34	7.80
32	87.2	0.223	20.0	0.230	0.042	3.8	2.16	1.72	10.5
60	83.0	0.231	18.0	0.213	0.042	3.5	2.19	2.1	14.4
100	78.5	0.240	16.0	0.206	0.040	3.5	2.12	2.5	19.4
120	75.9	0.244	15.5	0.204	0.039	3.5	2.12		

TABLA XIII.- Valores representativos del coeficiente convectivo h , de transferencia de calor

Condición	h	h
	Btu/h-pie ² F	W/m ² · C
Aire, convección libre	1-3	5-15
Aire o vapor sobrecalentado convección forzada	3-50	15-300
Aceite, convección forzada	10-300	50-1700
Agua, convección forzada	50-2.000	300-12.000
Agua, hirviendo	500-10.000	3000-55.000
Vapor, condensándose	1.000-20.000	5500-100.000

TABLA XV.- Constantes Físicas de Materiales

Material	Módulo de elasticidad, E		Módulo de rigidez, G		Relación de Poisson		Peso específico	
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/pic ³	kN/m ³
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.5	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero inoxidable (18-8)	—	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Acero níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Hierro fundido gris	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata níquel	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4

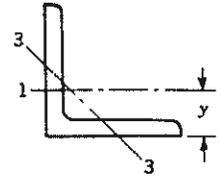
TABLA XVI.- Propiedades Mecánicas de Aceros

Número UNS	Número AISI	Procesamiento	Resistencia de fluencia kpsi †	Resistencia a la tensión kpsi †	Elongación en 2 pulg %	Reducción en área %	Dureza Brinell H _B
G10100	1010	HR	26	47	28	50	95
		CD	44	53	20	40	105
G10150	1015	HR	27	50	28	50	101
		CD	47	56	18	40	111
G10180	1018	HR	32	58	25	50	116
		CD	54	64	15	40	126
G10350	1035	HR	33	56	25	45	121
		CD	60	78	10	35	167
G10400	1040	HR	39	72	18	40	143
		CD	67	80	12	35	163
G10450	1045	Estirado a 800°F	81	110	18	51	220
		Estirado a 1000°F	72	103	23	59	201
G10500	1050	Estirado a 1200°F	62	91	27	66	180
		HR	42	76	18	40	149
G10550	1055	CD	71	85	12	35	170
		Estirado a 1000°F	86	113	23	62	235
G10600	1060	HR	45	82	16	40	163
		CD	77	91	12	35	179
G10650	1065	HR	49	90	15	35	179
		CD	84	100	10	30	197

TABLA XXII - Propiedades de Perfiles Estructurales, Ángulos de Lados Iguales

PROPIEDADES DE PERFILES ESTRUCTURALES, ÁNGULOS DE LADOS IGUALES

w_a = peso por unidad de longitud de perfiles de aluminio, lb/pie
 w_s = peso por unidad de longitud de perfiles de acero, lb/pie
 A = área de sección transversal, pulg²
 I = momento de inercia, pulg⁴
 k = radio de giro, pulg
 z = distancia centroidal, pulg
 Z = módulo de sección, pulg³



Tamaño	w_a	w_s	A	I_{1-1}	k_{1-1}	Z_{1-1}	y	I_{3-3}	k_{3-3}
$1 \times 1 \times \frac{1}{8}$	0.28	0.80	0.23	0.02	0.30	0.03	0.30	0.008	0.19
$1 \times 1 \times \frac{1}{4}$	0.53	1.49	0.44	0.04	0.29	0.05	0.34	0.016	0.19
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{8}$	0.44	1.23	0.36	0.07	0.45	0.07	0.41	0.031	0.29
$1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$	0.83	2.34	0.69	0.14	0.44	0.13	0.46	0.057	0.29
$2 \times 2 \times \frac{1}{8}$	0.59	1.65	0.49	0.18	0.61	0.13	0.53	0.08	0.40
$2 \times 2 \times \frac{1}{4}$	1.14	3.19	0.94	0.34	0.60	0.24	0.58	0.14	0.39
$2 \times 2 \times \frac{3}{8}$	1.65	4.70	1.37	0.47	0.59	0.35	0.63	0.20	0.39
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$	1.45	4.1	1.19	0.69	0.76	0.39	0.71	0.29	0.49
$2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$	2.11	5.9	1.74	0.98	0.75	0.56	0.76	0.41	0.48
$3 \times 3 \times \frac{1}{4}$	1.73	4.9	1.43	1.18	0.91	0.54	0.82	0.49	0.58
$3 \times 3 \times \frac{3}{8}$	2.55	7.2	2.10	1.70	0.90	0.80	0.87	0.70	0.58
$3 \times 3 \times \frac{1}{2}$	3.32	9.4	2.74	2.16	0.89	1.04	0.92	0.91	0.58
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$	2.05	4.9	1.69	1.93	1.07	0.76	0.94	0.80	0.69
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$	3.01	7.2	2.49	2.79	1.06	1.11	1.00	1.15	0.68
$3\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$	3.94	11.1	3.25	3.56	1.05	1.45	1.05	1.49	0.68
$4 \times 4 \times \frac{1}{4}$	2.35	6.6	1.94	2.94	1.23	1.00	1.07	1.21	0.79
$4 \times 4 \times \frac{3}{8}$	3.46	9.8	2.86	4.26	1.22	1.48	1.12	1.75	0.78
$4 \times 4 \times \frac{1}{2}$	4.54	12.8	3.75	5.46	1.21	1.93	1.17	2.26	0.78
$4 \times 4 \times \frac{3}{4}$	5.58	15.7	4.61	6.56	1.19	2.36	1.22	2.76	0.77
$6 \times 6 \times \frac{3}{8}$	5.27	14.9	4.35	14.85	1.85	3.38	1.60	6.07	1.18
$6 \times 6 \times \frac{1}{2}$	6.95	19.6	5.74	19.38	1.84	4.46	1.66	7.92	1.17
$6 \times 6 \times \frac{3}{4}$	8.59	24.2	7.10	23.64	1.82	5.51	1.71	9.70	1.17
$6 \times 6 \times \frac{1}{2}$	10.20	28.7	8.43	27.64	1.81	6.52	1.76	11.43	1.16

TABLA XXIII.- Tipos de materiales y aplicación de los mismos en la estructura para el Bucle de Caudal y Nivel

Denominación	Tipo de Material	Cantidad Aproximada
Estructura	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	24.000mm
Base para las Válvulas	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1.500mm
Base para el Transmisor	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1.500mm
Base para el Controlador	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	6.000mm
	Platina ASTM A36 1 1/2" x 1/8"	1.500mm
Base para los Convertidores	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1.500mm
	Platina ASTM A36 1 1/2" x 1/8"	1.500mm
Base para el Extractor	Platina ASTM A36 1 1/2" x 1/8"	1.000mm
Base para el recipiente C2	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	2.500mm
Base para el recipiente C1	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	3.000mm
Base para la Bomba	Angulo ASTM A36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	1.000mm
Recipiente C1	Asbesto	250Li
Recipiente C2	Plancha ASTM A36	1.000 x 2.000 x 1.5(mm)
Conexión entre válvulas, convertidores, controlado- res	Cañería de Cobre	50pies(15.240mm) x 1/4"
Conexiones para el Flujo	Tubo Galvanizado IZO 1	φ1 1/2" x 1.000mm φ1" x 2.000mm φ1/2" x 6.000mm

Continuación TABLA XXIII

<i>Conecciones para el Flujo</i>	<i>Neplos Galvanizado IZO 1</i>	<i>4 x $\phi 1/2''$ x $\phi 1^{1/2}''$ 6 x $\phi 1/2''$ x 2'' 4 x $\phi 1''$ x 2''</i>
	<i>Tee Galvanizado IZO 1</i>	<i>8 x $\phi 1/2''$ 2 x $\phi 1''$</i>
	<i>Codos Galvanizados de 90° IZO 1</i>	<i>8 x $\phi 1/2''$ 2 x $\phi 1''$</i>
	<i>Universal Galvanizada IZO 1</i>	<i>4 x $\phi 1/2''$ 2 x $\phi 1''$ 2 x $\phi 1^{1/2}''$</i>
	<i>Reductores Galvanizados IZO 1</i>	<i>4 x $\phi 1''$ x $\phi 1/2''$ 2 x $\phi 1^{1/2}''$ x $\phi 1''$ 2 x $\phi 1^{1/2}''$ x $\phi 1/2''$</i>

TABLA XXIV.- Tipos de materiales y aplicación de los mismos para el bucle de
Temperatura

<i>Denominación</i>	<i>Tipo de Material</i>	<i>Cantidad Aproximada</i>
<i>Estructura</i>	<i>Angulo ASTM A 36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</i>	<i>24.000mm</i>
<i>Base para la válvula</i>	<i>Angulo ASTM A 36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</i>	<i>1.500mm</i>
<i>Base para el transmisor</i>	<i>Tubo galvanizado</i>	<i>φ1 1/2" x 2.000mm</i>
<i>Base para el controlador</i>	<i>Angulo ASTM A 36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</i>	<i>6.000mm</i>
<i>Base para los convertidores</i>	<i>Angulo ASTM A 36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</i>	<i>2.000mm</i>
<i>Base para el recipiente C4</i>	<i>Angulo ASTM A 36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</i>	<i>2.500mm</i>
<i>Base para el recipiente C5</i>	<i>Angulo ASTM A 36 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</i>	<i>1.500mm</i>
<i>Recipiente C4</i>	<i>Plancha ASTM A36</i>	<i>1.000 x 1.250 x 1.5(mm)</i>
<i>Recipiente C5</i>	<i>Plancha ASTM A36</i>	<i>1.700 x 500 x 1.5(mm)</i>
<i>Deflectores</i>	<i>Plancha ASTM A36</i>	<i>900 x 150 x 1.5(mm)</i>
<i>Conección entre válvulas, convertidores, controladores</i>	<i>Cañería de Cobre</i>	<i>50pies(15.240mm) x 1/4"</i>
<i>Conecciones para el flujo</i>	<i>Tubo Galvanizado</i>	<i>φ1" x 1.000mm φ1/2" x 18.000mm</i>
	<i>Neplos Galvanizados</i>	<i>10 x φ1/2" x 2" 16 x φ1/2" x 1 1/2" 4 x φ1/2" x 1"</i>
	<i>Tee Galvanizadas</i>	<i>1 x φ1" 10 x φ1/2"</i>
	<i>Yee Galvanizada</i>	<i>1 x φ1/2"</i>
	<i>Codos Galvanizados 90°</i>	<i>18 x φ1/2"</i>

Continuación TABLA XXIV

<i>Conecciones para el flujo</i>	<i>Universal Galvanizadas</i>	<i>15 x $\phi 1/2''$ 1 x $\phi 1''$</i>
	<i>Reductores Galvanizados</i>	<i>10 x $\phi 1''$ x $\phi 1/2''$ 1 x $\phi 1/2''$ x $3/8''$</i>
<i>Serpentines para retardos de propagación</i>	<i>Cañería de cobre</i>	<i>$\phi 1/2''$ x 8.000mm $\phi 3/8''$ x 6 000mm</i>

Continuación TABLA XXV

13-14	<i>Instalación y conexión de cañerías y accesorios entre los instrumentos de control Neumático para el Bucle de Caudal y Nivel</i>
14-15	<i>Pruebas de fugas y ajustes en las conexiones del proceso y control para el Bucle de Caudal y Nivel</i>
7-16	<i>Construir recipientes para el Bucle de Temperatura</i>
16-17	<i>Construcción de la estructura para el montaje de los equipos de proceso y control para el Bucle de Temperatura</i>
17-18	<i>Instalación y conexión de recipientes, tuberías y accesorios para el Bucle de Temperatura</i>
18-19	<i>Instalación y conexión de los instrumentos de control para el proceso del Bucle de Temperatura</i>
19-20	<i>Instalación y conexión de cañerías y accesorios entre los instrumentos de Control Neumático para el Bucle de Temperatura</i>
20-21	<i>Pruebas de fugas y ajustes en las conexiones del proceso y control para el Bucle de Temperatura</i>
21-22	<i>Instalaciones y conexiones eléctricas para el calentador y termostato del Bucle de Temperatura</i>
22-23	<i>Acabado final del Bucle de Temperatura</i>
15-23	<i>Acabado final del Bucle de Caudal y Nivel</i>

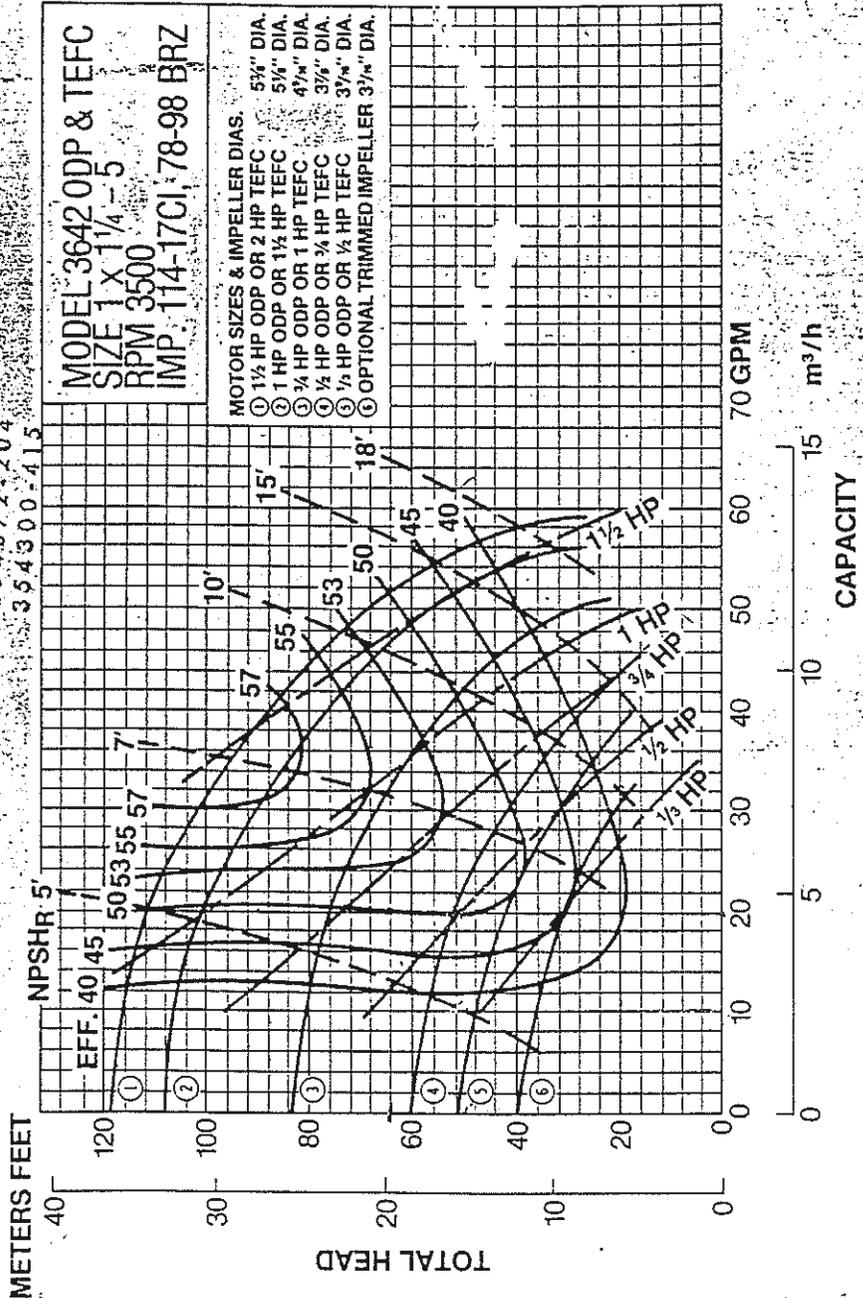
5 : GRÁFICOS

Performance Curves

MAQUINARIAS HENRIQUES, C.A.
 CASILLA 4361
 Km. 61/2 VIA DAUIE
 TEL. 354072-204
 354300-415

MODEL 3642 ODP & TEFC
SIZE 1 X 1 1/4 - 5
RPM 3500
IMP. 114-17CI, 78-98 BRZ

- MOTOR SIZES & IMPELLER DIAS.**
- ① 1 1/2 HP ODP OR 2 HP TEFC 5 1/2" DIA.
 - ② 1 HP ODP OR 1 1/2 HP TEFC 5 1/2" DIA.
 - ③ 3/4 HP ODP OR 1 HP TEFC 4 1/2" DIA.
 - ④ 1/2 HP ODP OR 3/4 HP TEFC 3 3/4" DIA.
 - ⑤ 1/2 HP ODP OR 1/2 HP TEFC 3 3/4" DIA.
 - ⑥ OPTIONAL TRIMMED IMPELLER 3 3/4" DIA.



GOULDS PUMPS, INC.
 SEBECA FALLS, NEW YORK 13148

Gráfico #1.- Curvas de Bombas