



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ENEP ARAGON,

INGENIERIA.

"EMPLEO DE EQUIPO DE INSTRUMENTACION EN UNA PLANTA REHIDRATADORA DE LECHE Y DISMINUCION DE MERMAS EN ENVASE".

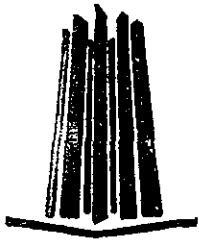
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

MIGUEL GARCIA LOPEZ

*202070*



MEXICO, EDO. DE MEX.

SEPTIEMBRE DE 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DEDICATORIA.**

**A MIS PADRES.**

SR. MIGUEL GARCIA VARGAS (q.e.p.d.) Y EVANGELINA LOPEZ AGUILAR.

A QUIENES AGRADEZCO SU APOYO, COMPRENSIÓN E IMPULSO, PARA LOGRAR MI ANHELO "SER INGENIERO", LO SOY POR USTEDES.

**A MIS HERMANOS.**

ANA, ANGEL (q.e.p.d.), ROSARIO DEDICO ESTE ESFUERZO.

**A PATY.**

ESTOY CONTIGO, GRACIAS POR TODO.

**A MI ASESOR.**

ING. JULIO BERNAL VAZQUEZ.

MI MAS PROFUNDO AGRADECIMIENTO POR SU ESTIMULO Y ORIENTACIÓN.

**A LA H. MESA SINODAL DE ESTE TRABAJO.**

**AL DEPARTAMENTO DE INFORMATICA DE LICONSA TLAHUAC POR LAS FACILIDADES PRESTADAS.**

**GRACIAS.**

## INDICE

	PAG
INTRODUCCION .....	1
OBJETIVO .....	15
CAPITULO 1. EMPLEO DE EQUIPO EN LA REHIDRATACION DE LECHE .....	16
HTST (alta temperatura corto tiempo).	
AREA DE TOLVAS (VACIADO)	
1.1 Tolvas .....	17
Sistema de insuflado .....	20
Sensor capacitivo .....	20
Función de tamizador .....	22
Transportador helicoidal .....	22
AREA DE REHIDRATADO	
Tolva de almacenamiento .....	22
Válvula rotatoria .....	26
Liquiverter .....	27
Vibrador de impacto .....	27
Válvulas sanitarias .....	27
Tanque de oleaje .....	30
Adición de grasa .....	35
Adición de agua tratada .....	36
Medidor de turbina .....	37
Empleo de tableros .....	37
Batería neumática .....	37
AREA DE PASTEURIZACION	
1.2 Pasteurización proceso HTST .....	42
Tanques de reposo .....	42
Tina de balance .....	42
Sensor neumático en tina de balance .....	42
Intercambiador de calor .....	47
Deareador .....	47
Homogeneizador .....	51
Tubos de sostenimiento .....	55

## PROLOGO.

Este trabajo no pretende ser un texto de instrumentación, ni un trabajo especializado en esta rama de la ingeniería. Tiene la pretensión de que se conozca la aplicación básica de los instrumentos de control, de una manera operativa dentro de un proceso industrial. En este caso, el proceso es el de una planta rehidratadora de leche. Con esta pequeña aportación lo que se quiere, es que la parte operativa y personal de nuevo ingreso conozcan la industria en donde laboran. Al conocer los equipos y principalmente lo que hacen en conjunto, se podrá disminuir en mucho la merma que se tiene hasta ahora, y que es motivo de este trabajo.

Esta tesis tampoco se ha elaborado solo como un requisito para titulación, por lo que, espero tenga uso, y sirva no solo al personal que labora en las industrias, sino también, a las personas en general que quieran saber como se reconstituye leche.

Para entender este trabajo no se necesita tener conocimientos previos de instrumentación, bastará solo con dedicar un poco de tiempo y esfuerzo.

La obra consta de cuatro capítulos: Empleo de equipo en la rehidratación de leche, Sistema de limpieza CIP, Servicios de planta y Estudio de mermas en producto envasado en maquinas IS-7. Es este último capítulo el más importante para nuestro trabajo.

## INTRODUCCION

LICONSA. Bajo su nuevo esquema de sectorización a partir del 15 de agosto de 1995 fue reasignada a la secretaría de desarrollo social (SEDESOL), con el objeto de desarrollar acciones de política social más profundas, más coordinadas y más integrales.

Se busca la reorientación del programa de abasto social, que significa la realización de un esfuerzo creciente y sostenido para consolidar la presencia de LICONSA en las zonas marginadas, urbanas, y simultáneamente iniciar el abasto de leche subsidiada a las comunidades rurales asentadas en regiones de pobreza extrema.

También se busca la reestructuración productiva que comprende una reordenación de la capacidad productiva que apunte, y apoye la reorientación del programa de abasto social, contribuya al fomento de la ganadería nacional y a la modernización administrativa.

Todo esto para tener una mayor capacidad de respuesta y acción del personal de LICONSA, apoyándose en la depuración de los procesos administrativos y la descentralización de funciones hacia las plantas y los programas de abasto social.

Su creación realizada en virtud de las facultades que la constitución le otorga al Estado, para participar en actividades sociales y económicamente estratégicas, responde a la necesidad de incrementar y mejorar el abasto de leche, producto que no obstante es imprescindible para los niños y las mujeres gestantes, enfrenta una producción insuficiente a nivel nacional y un consumo altamente concentrado en los sectores que perciben mayores ingresos.

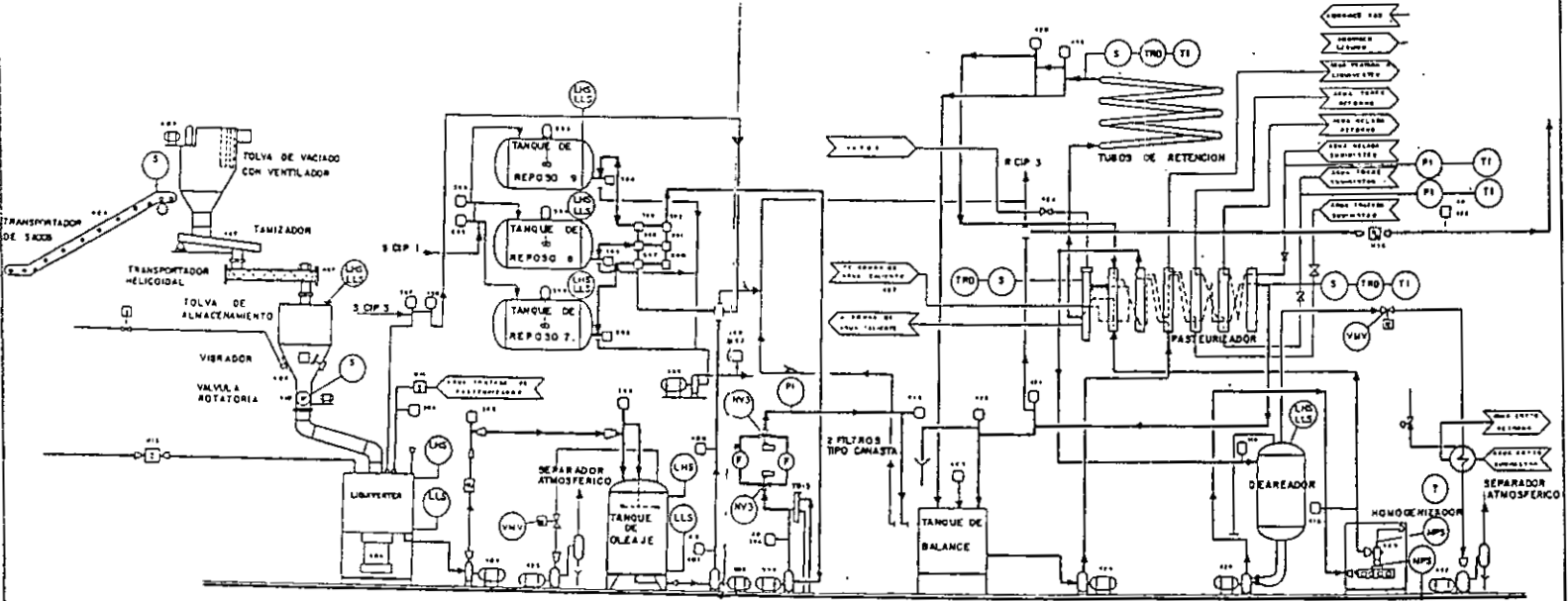
En sus orígenes, la empresa cumplía con la función primaria de abastecer a las familias económicamente débiles, para ello, se elaboraba y distribuía como único producto la leche reconstituida, cuyo bajo precio, tradicionalmente muy inferior al oficial autorizado para la leche pasteurizada, la hace accesible a los sectores populares.

En el año 1945 una sociedad anónima, "Lechería Nacional", fue creada por un grupo de empresarios independientes, cuyo principal objetivo era eliminar las anomalías que se presentaban en el proceso de distribución de leche, asegurando que esta fuese de mejor calidad y a un precio accesible para la población de escasos recursos.

Cinco años después en 1950, se transfiere a la "Compañía Exportadora e Importadora Mexicana, S.A." (CEIMSA) la responsabilidad de elaborar, distribuir y vender leche importada y reconstituida en nuestro país. En 1954 comienza a funcionar una planta rehidratadora de leche con una capacidad de 60000 litros diarios, instalada en Tlalnepantla, Estado de México. A partir de 1955 se empezaron a elaborar raciones de leche para desayunos escolares. En el año de 1961 y por disposición del Gobierno Federal se construyó la empresa "Rehidratadora de Leche Conasupo S.A.", transformándose en una sociedad anónima de capital variable.

fig. 2

DIAGRAMA DE PROCESO CON UNA LINEA DE PRODUCCION.



## LISTADO DE PROGRAMA EN AGUA

.SEQ 64

/

/

/ SEQ 64 START HT1 ON WATER

\*\*\*\*\*

/

/

/

/

/

/

SPSQ 63 / START HT1 ON PRODUCT

ENGE 54 / VALVE 54 HTST 1 BALANCE TANK INLET

WAIT 3

ENGE 17 / AIR BLOW RT 1-3 TO HTST #1

WAIT 10

DENG 17 / AIR BLOW RT 1-3 TO HTST #1

DENG 54 / VALVE 54 HTST 1 BALANCE TANK INLET

WUEN 29 / HTST 1 BALANCE TANK LOW LOW LEVEL

SPSQ 65 / HT1 BAL. TANK WATER MONITOR

STSQ 65 / HT1 BAL. TANK WATER MONITOR

WAIT 240

DENG 111 / HOMO 111 HTST #1

DENG 319 / HOMOGENIZER PRESSURE LIGHT HTST 1

DENG 338 / ICE WATER SOLENOID 415 #1

ENGE 109 / VALVE 109 HOMO BYPASS HTST #1

ENGE 112 / VALVE 112 RECYCLE HTST #1

DENG 113 / VALVE 113 DRAIN HTST #1

ENGE 88 / AIR BLOW 88 HTST #1 TO PT'S

WAIT 30

DENG 88 / AIR BLOW 88 HTST #1 TO PT'S

SEFL 2 / HTST #1 ON WATER

WAIT 180

ENGE 113 / VALVE 113 DRAIN HTST #1

ABEY

STOP /

LISTADO DE PROGRAMA EN AGUA.



También hay bits de salida (output) y son ubicados como puntos en módulos, los cuales proveen señales de salida que son enviadas a dispositivos como pueden ser electroválvulas, bobinas de arrancadores, lámparas, etc..

El sistema de control incluye el PLC y todos los dispositivos de entrada y salida (I/O) que son usados para el control de un sistema externo o proceso. Un sensor que provee información de un proceso o equipo es un dispositivo de entrada, y es parte del sistema de control. El sistema controlado es el sistema externo (PROCESO) el cual está controlado por el PLC, a través de un programa y los dispositivos de entrada y salida. Ver fig. 6.

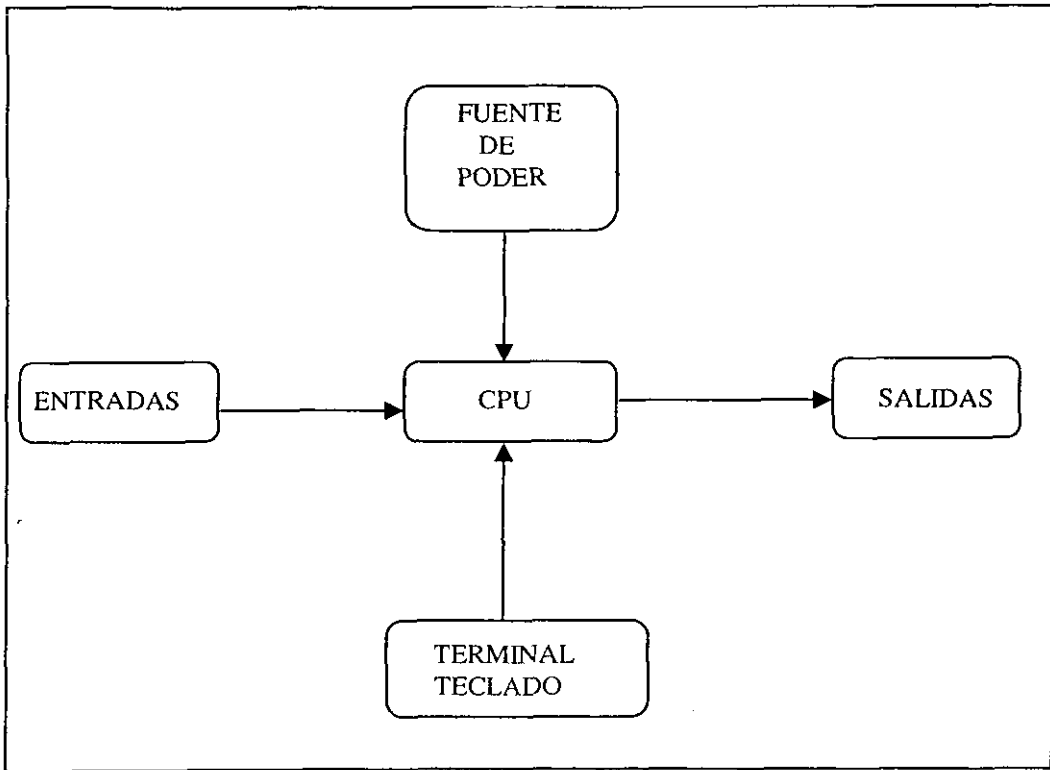


fig. 6 CONFIGURACION BASICA DE UN PLC

## OBJETIVO.

### OBJETIVO GENERAL.

Disminuir merma en el proceso de rehidratación y envase de leche.

### OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Que este trabajo sirva como una ayuda de inducción y consulta general al personal involucrado en el proceso de producción.

2. Disminuir las mermas en el área de envasado.

## CAPITULO 1. EMPLEO DE EQUIPO EN LA REHIDRATACIÓN DE LECHE

### PROCESO HTST.

#### (alta temperatura corto tiempo).

##### AREA DE TOLVAS (VACIADO).

- 1.1 Tolvas y rehidratado.
- 1.1.1 Sistema de insuflado.
- 1.1.2 Sensor capacitivo.
- 1.1.3 Función de tamizador.
- 1.1.4 Transportador helicoidal.

##### AREA DE REHIDRATADO.

- 1.1.5 Tolva de almacenamiento.
- 1.1.6 Válvula rotatoria.
- 1.1.7 Liquiverter.
- 1.1.8 Vibrador de impacto.
- 1.1.9 Válvulas sanitarias.
- 1.1.10 Tanque de oleaje.
- 1.1.11 Adición de grasa.
- 1.1.12 Adición de agua tratada.
- 1.1.13 Medidor de turbina.
- 1.1.14 Empleo de tableros.
- 1.1.15 Batería neumática.

##### AREA DE PASTEURIZACION.

- 1.2 Pasteurización proceso HTST.
- 1.2.1 Tanques de reposo.
- 1.2.2 Tina de balance.
- 1.2.3 Sensor neumático en tina de balance.
- 1.2.4 Intercambiador de calor.
- 1.2.5 Deareador.
- 1.2.6 Homogeneizador.
- 1.2.7 Tubos de sostenimiento.
- 1.2.8 Válvulas diversificadoras.
- 1.2.9 Controlador de temperatura (diversificación).
- 1.2.10 Controlador de temperatura (agua caliente).
- 1.2.11 Graficador de leche fría.
- 1.2.12 Indicador de nivel en silos.
- 1.2.13 Manómetro.
- 1.2.14 Termómetro.
- 1.2.15 Empleo de termómetro y manómetro en proceso.
- 1.2.16 Resumen descriptivo de proceso.

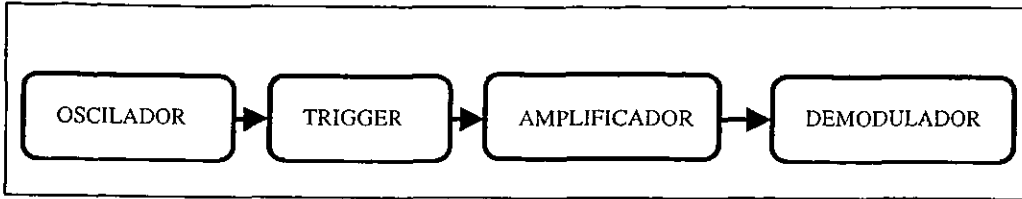


fig. 1.3 DIAGRAMA A BLOQUES DE SENSOR CAPACITIVO.

La sensibilidad de estos sensores es ajustable mediante un potenciómetro.

Para determinar la distancia de accionamiento deberá considerarse la estructura del material.

La distancia nominal de accionamiento está referida a la detección de una placa de acero.

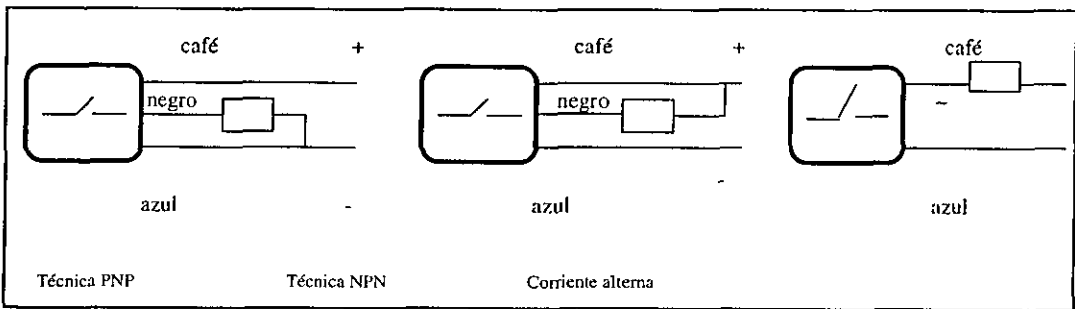


fig.1.4 DIFERENTES CONFIGURACIONES.

En la figura 1.4 se muestran diferentes configuraciones en la fabricación.

En las aplicaciones de corriente continua las señales de salida, son manejadas a través de transistores de potencia, en configuraciones PNP o NPN.

En aplicaciones de corriente alterna, thyristores de potencia se emplean en la salida. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> BALLUF, SENSORES CAPACITIVOS DE PROXIMIDAD, SERIE BCS.

En el programa de la figura 1.6a pregunta primeramente si tiene nivel alto, y si es así desenergiza las señales 02 y 03, correspondientes al tamizador y transportador helicoidal, para que no sigan metiendo polvo a la tolva de almacenamiento. Si no tiene nivel alto, pregunta si tiene nivel bajo, y si es así, energiza señales 02 y 03 en este caso, que son tamizador y gusano helicoidal (transportador), y vuelve a preguntar si tiene nivel alto. Y se establece un ciclo que termina cuando paran el programa que controla el nivel de la tolva.

### 1.1.6 Válvula rotatoria.

En el fondo de la tolva fig. 1.7 se encuentra una válvula dosificadora de polvo (rotatoria), la cual es accionada por una transmisión de cadena, impulsada por la flecha de un motor de corriente directa.

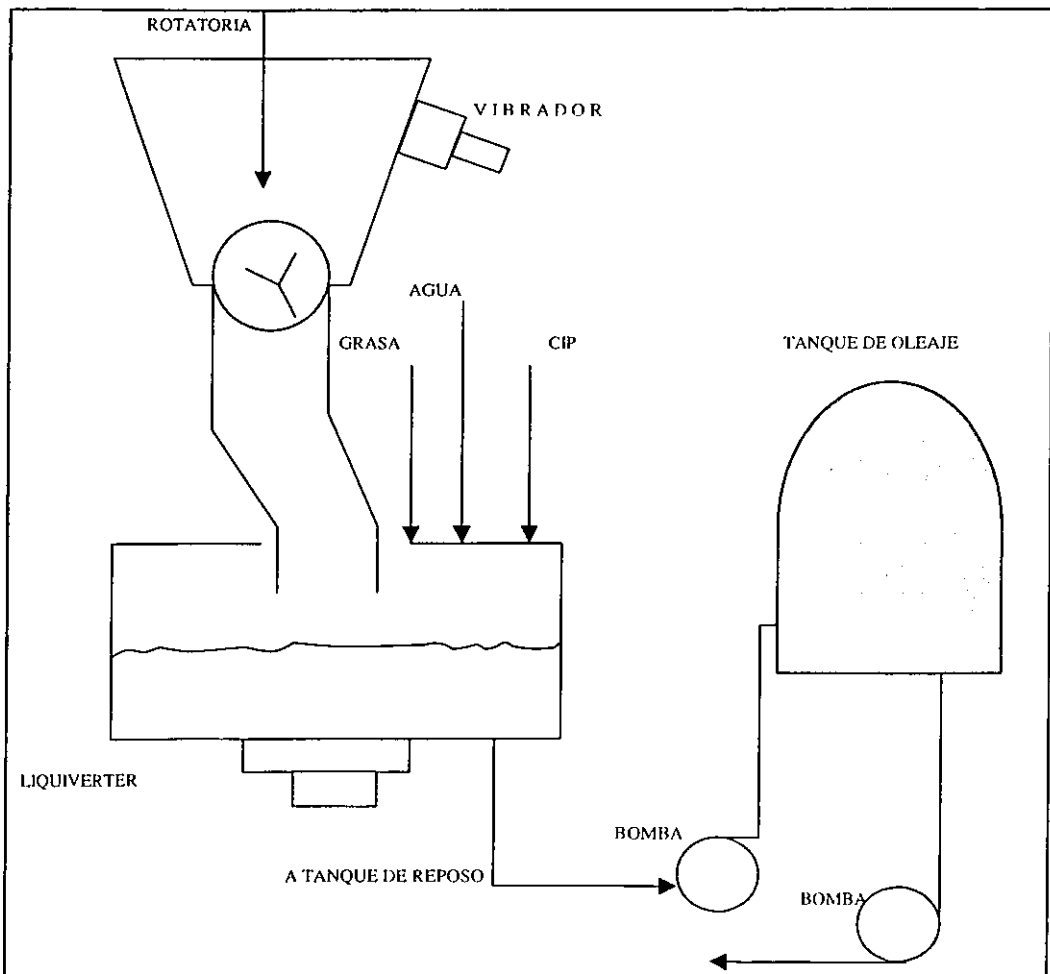


fig.1.7 TOLVA DE ALMACENAMIENTO.

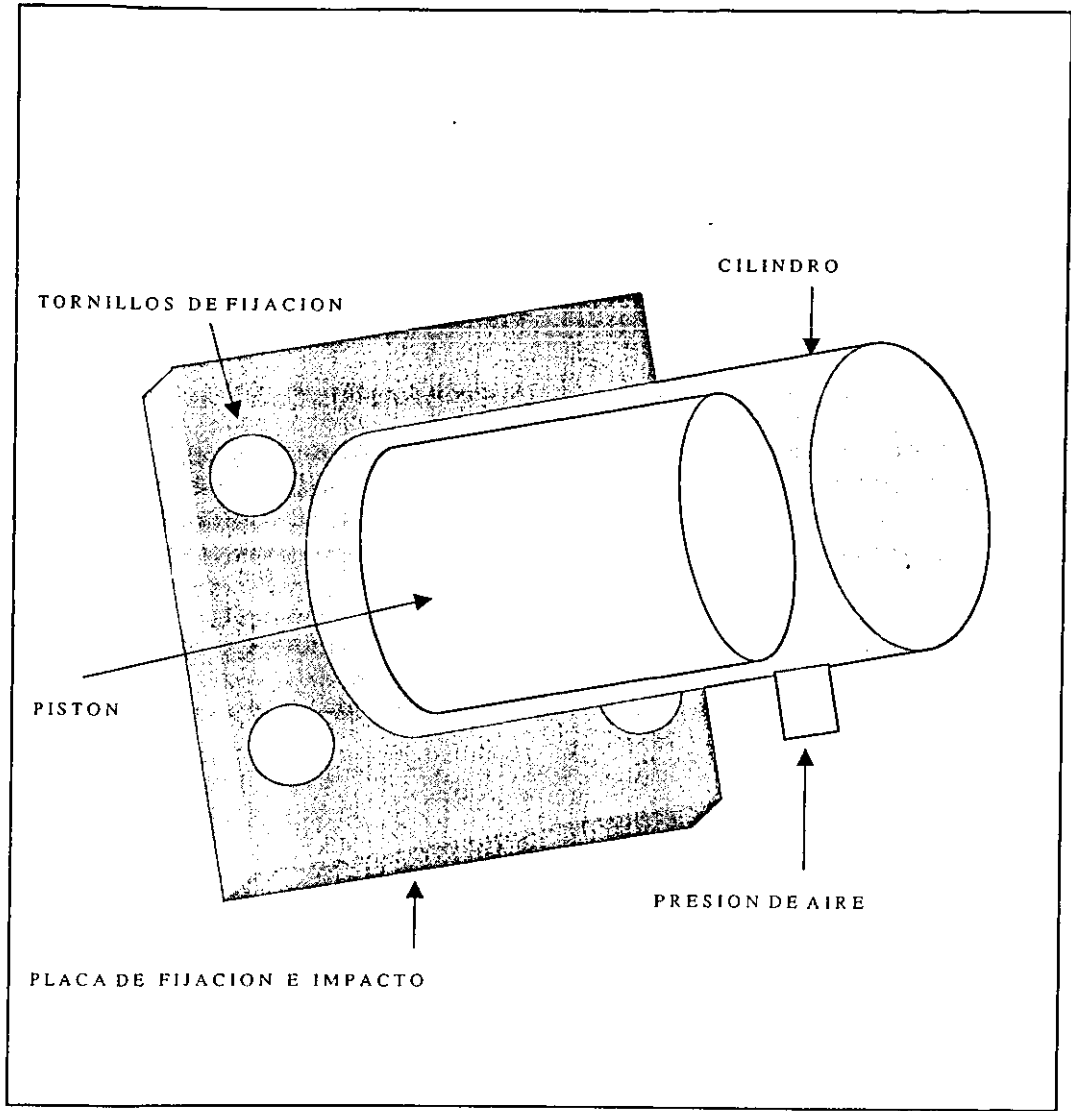


fig. 1.8 VIBRADOR DE IMPACTO.

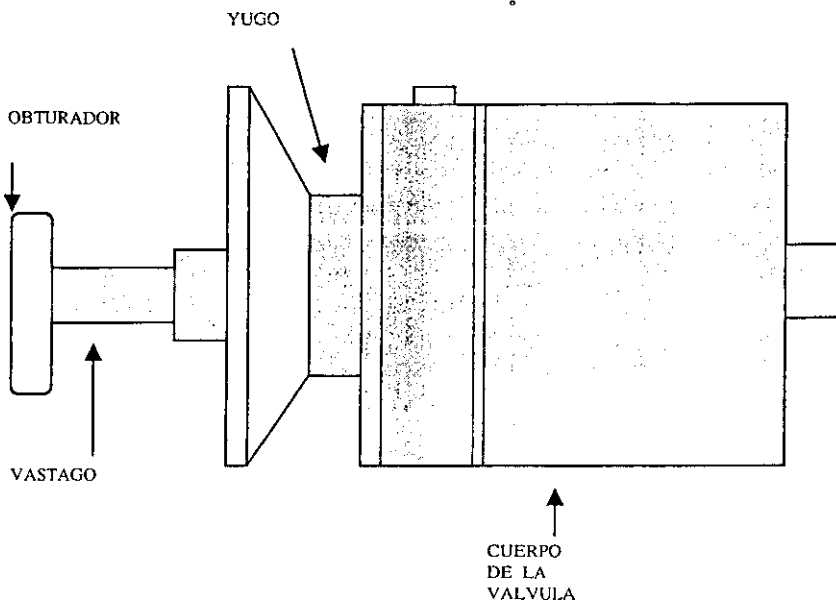


fig. 1.9 VALVULA SANITARIA.

VÁLVULA Y DESPIECE.

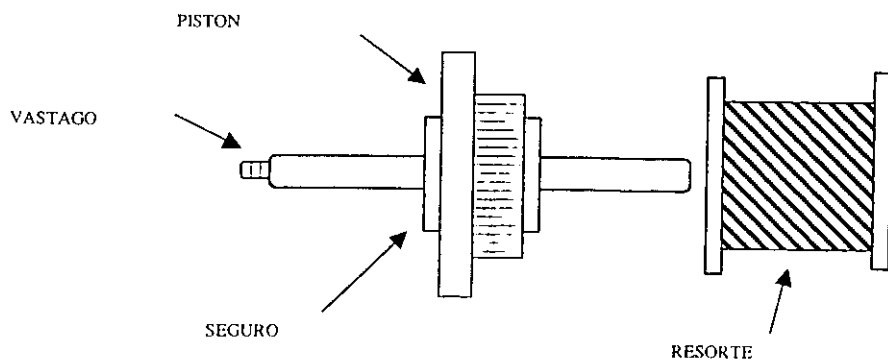
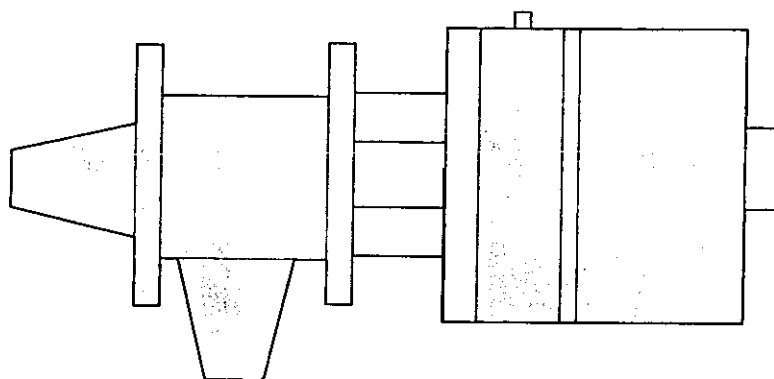


fig. 1.10 VALVULA SANITARIA.



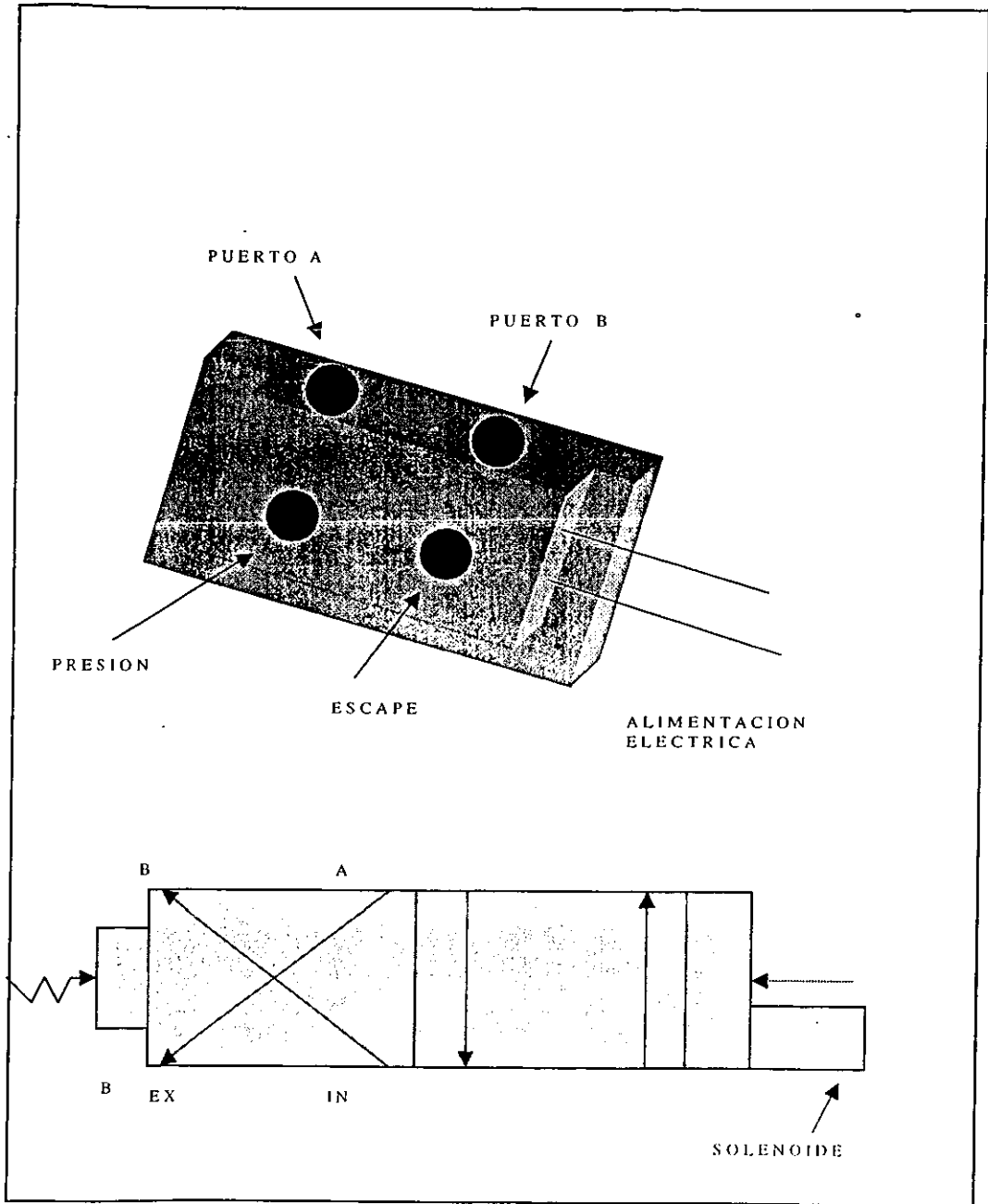


fig. 1.11 ELECTROVALVULA.

**1.1.11 Adición de grasa.**

La grasa se manda al liquivertter por medio de bombas positivas (l6bulos), de tanques en los cuales se mide la cantidad necesaria. ver fig. 1.12 .

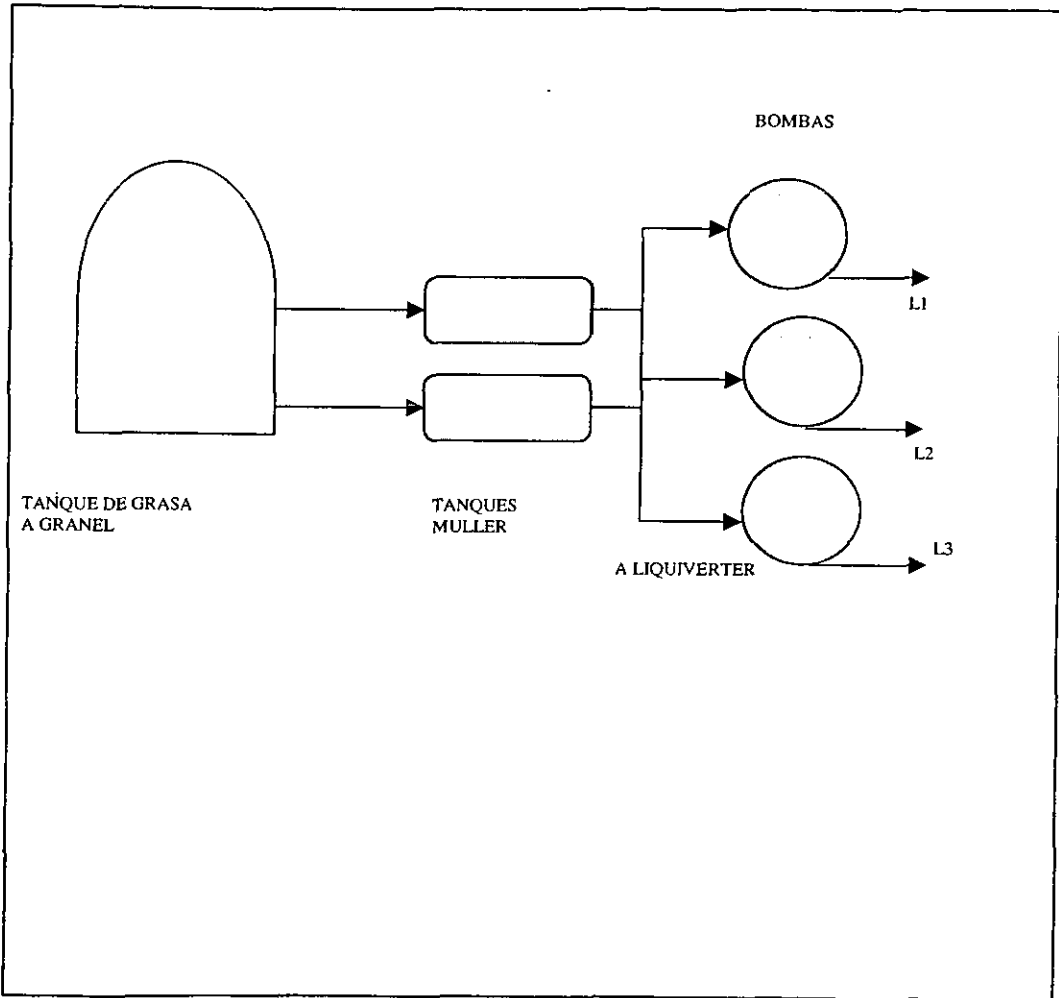


fig. 1.12 DOSIFICACION DE GRASA.

### 1.1.12 Adición de agua tratada.

El agua que se envía al liquiverter es agua tratada que viene desde el área de servicios. La dosificación es desde el cuarto de control, a través de un convertidor corriente-presión (transductor) fig. 1.13 y una válvula posicionadora. Este equipo es ajustado por el operador de acuerdo a sus necesidades.

Su circuito de control es el siguiente:

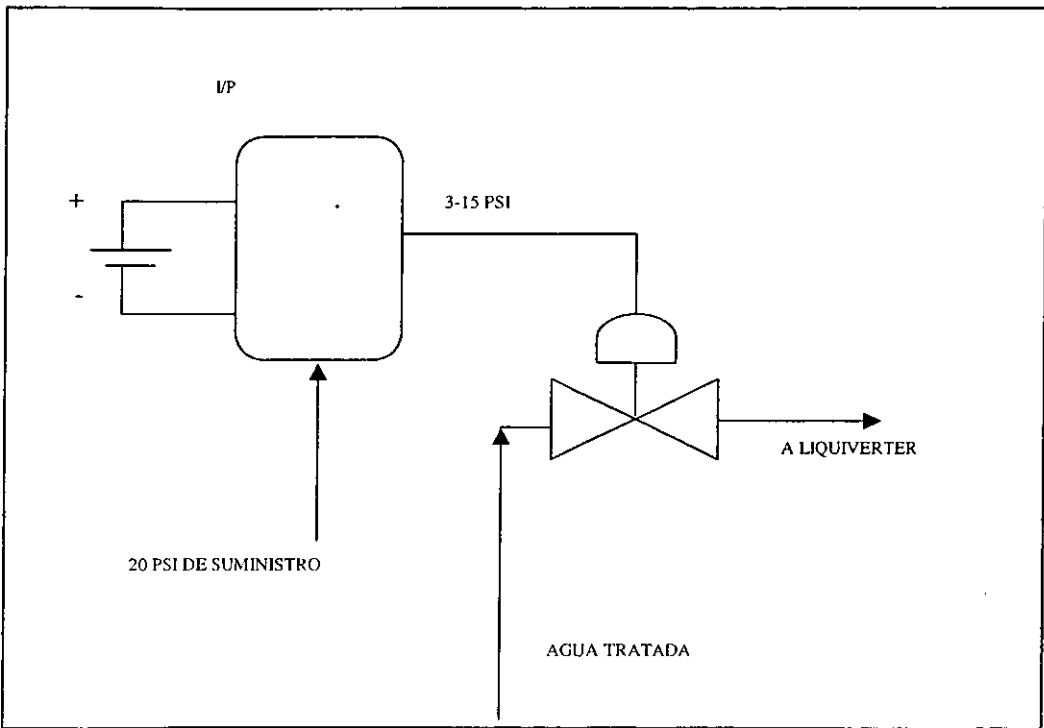


fig. 1.13 SUMINISTRO DE AGUA.

La válvula posicionadora además de la señal de control (3-15 psi) necesita un suministro de 60 psi de presión de aire.

### **1.1.13 Medidor de turbina (flujo).**

La cantidad de agua que cae al liquiverter la pueden medir a través de un medidor de turbina, instalado en la tubería de agua. La turbina al girar por el flujo de agua, corta las líneas de flujo magnético de un pick-up que consta de una bobina y un imán permanente, y se produce una señal senoidal, esta se hace llegar a una tarjeta que genera pulsos y una señal de 0-1 ma. (miliamper), que se aprovecha para deflexionar la aguja de un galvanómetro graduado, de acuerdo a la cantidad de agua dosificada. ver fig 1.14 y 1.15

Estos medidores tipo turbina son sanitarios, y tienen una gran variedad de aplicaciones. La turbina va en el interior de un cuerpo no magnético. Un pick-up magnético contiene un imán permanente y una bobina montada en el cuerpo. Al girar la turbina por la acción del flujo se cortan las líneas magnéticas generando una señal senoidal de una frecuencia acorde al flujo. El medidor de flujo es conectado a una tarjeta totalizadora, para conocer el valor real del fluido que ha pasado por el punto donde se ha instalado el medidor.<sup>9</sup>

### **1.1.14 Empleo de tableros.**

Cabe describir, que las señales que salen y entran al PLC (en el cuarto de control) llegan a proceso a tableros, destinados para alojar el equipo y protegerlo del ambiente, que puede ser muy severo, puede tener presencia de vapores, agua, humedad, temperatura, polvo, etc. En los tableros están presentes las INPUTS y OUTPUTS (entradas y salidas), electroválvulas sencillas o en bloques, baterías neumáticas, conexiones eléctricas (cables, clemas) y neumáticas (mangueras). De los tableros se distribuyen las señales a proceso a los diferentes equipos.

### **1.1.15 Batería neumática.**

Dependiendo de la calidad del aire comprimido será la seguridad y la duración de los equipos e instalaciones neumáticas, y para esto se emplean las unidades de servicio que constan de filtro, regulador y lubricador.

El filtro elimina polvo, óxido y agua principalmente, que causan graves daños a los equipos.

El regulador elimina oscilaciones en las variaciones de presión, que causan daño a los equipos.

El lubricador suministra aceite a los equipos para evitar desgastes.

Además, cuentan con un manómetro para observar la presión de aire que ajustamos. ver fig.1.16 , y en la figura 1.17 vemos un diagrama de flujo de tratamiento de aire.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> INVALCO, INSTRUCTION MANUAL,CAT. WS-SERIES, P. 1-9, USA, 1982. .

<sup>10</sup> FESTO PNEUMATIC, UNIDADES DE MANTENIMIENTO, CAT. 051260E, P1-5,MEXICO.

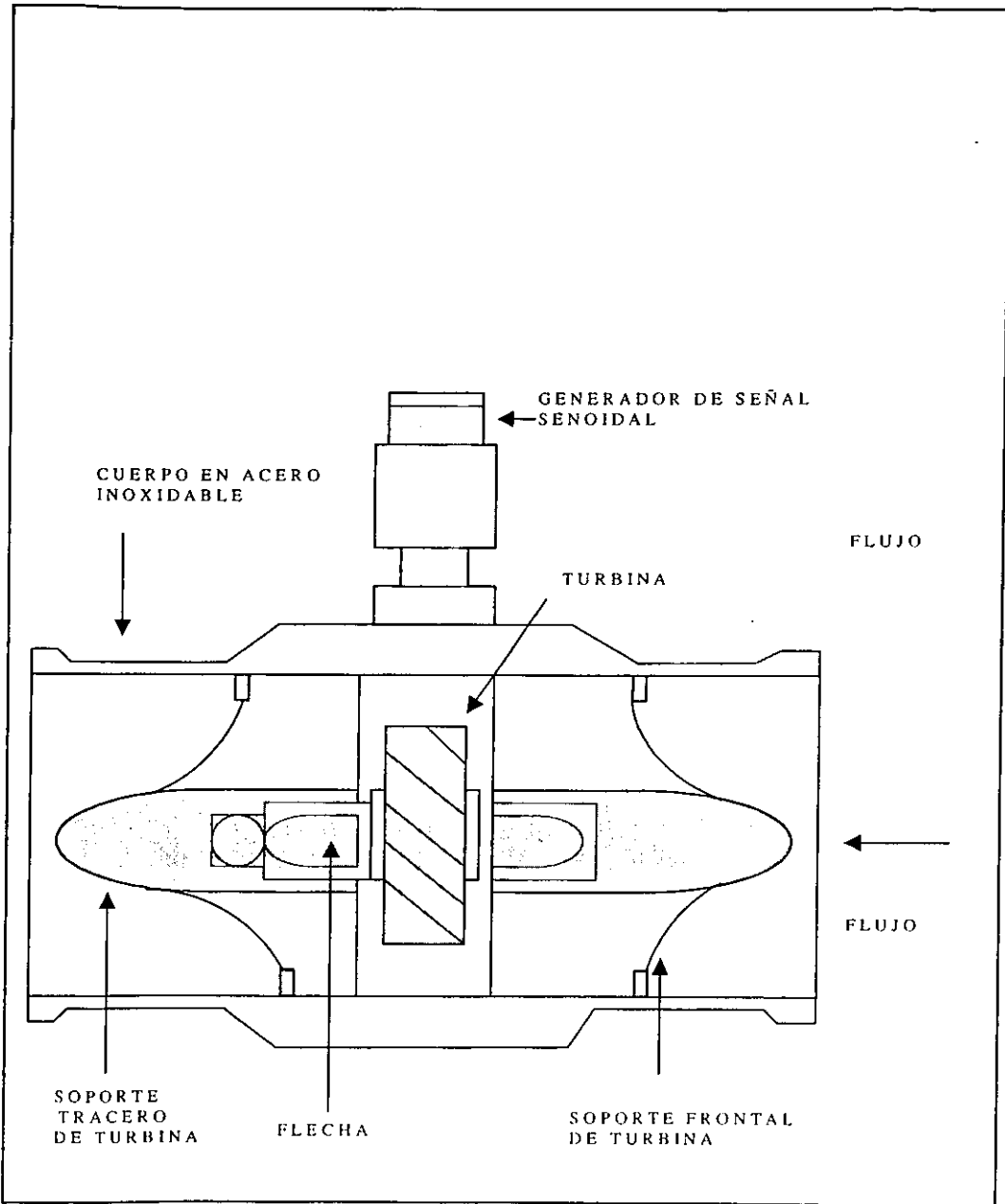


fig. 1.14 MEDIDOR DE FLUJO TIPO TURBINA.

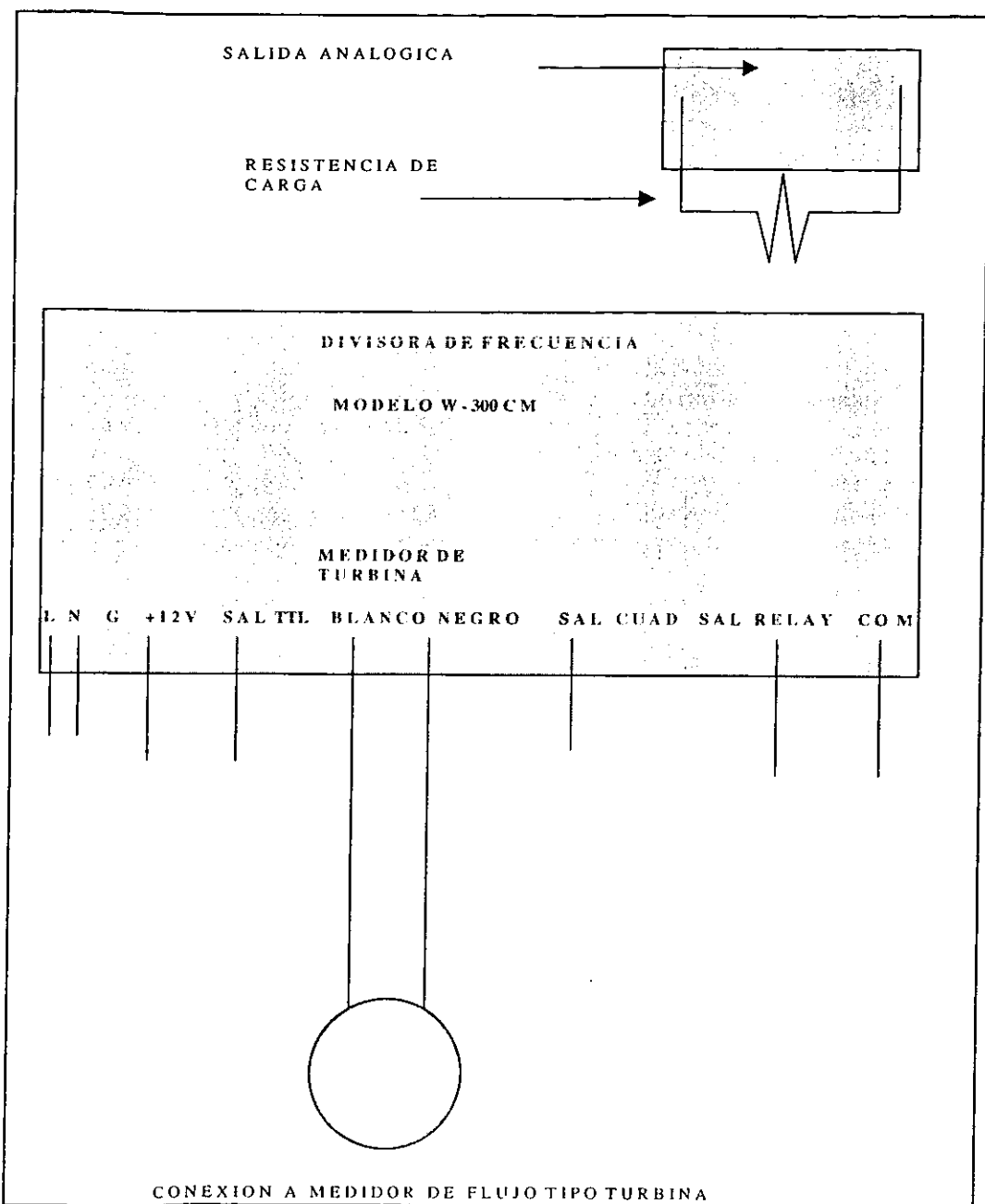


fig. 1.15 TARJETA DE MEDIDOR DE TURBINA.

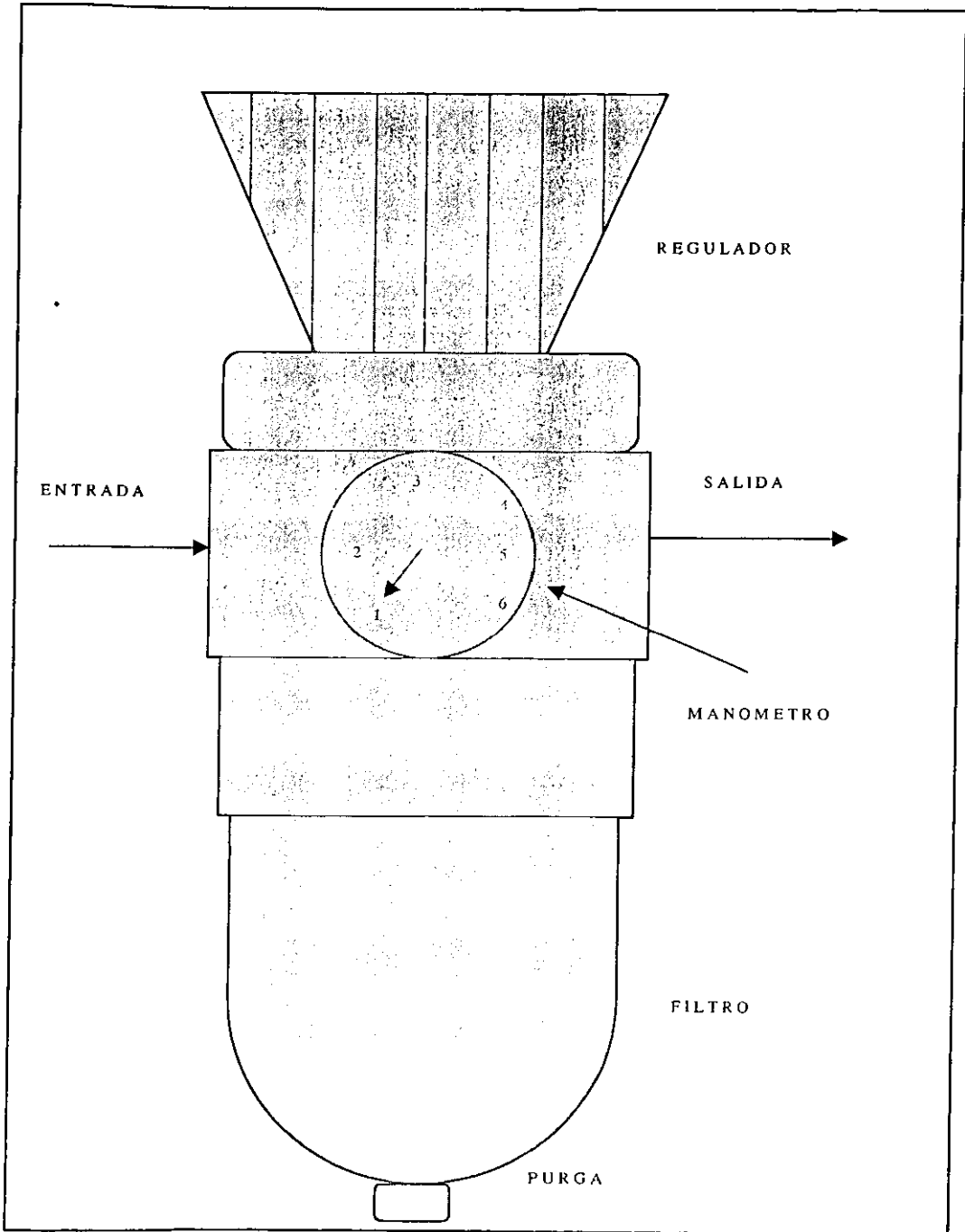


fig. 1.16 FILTRO + LUBRICADOR.

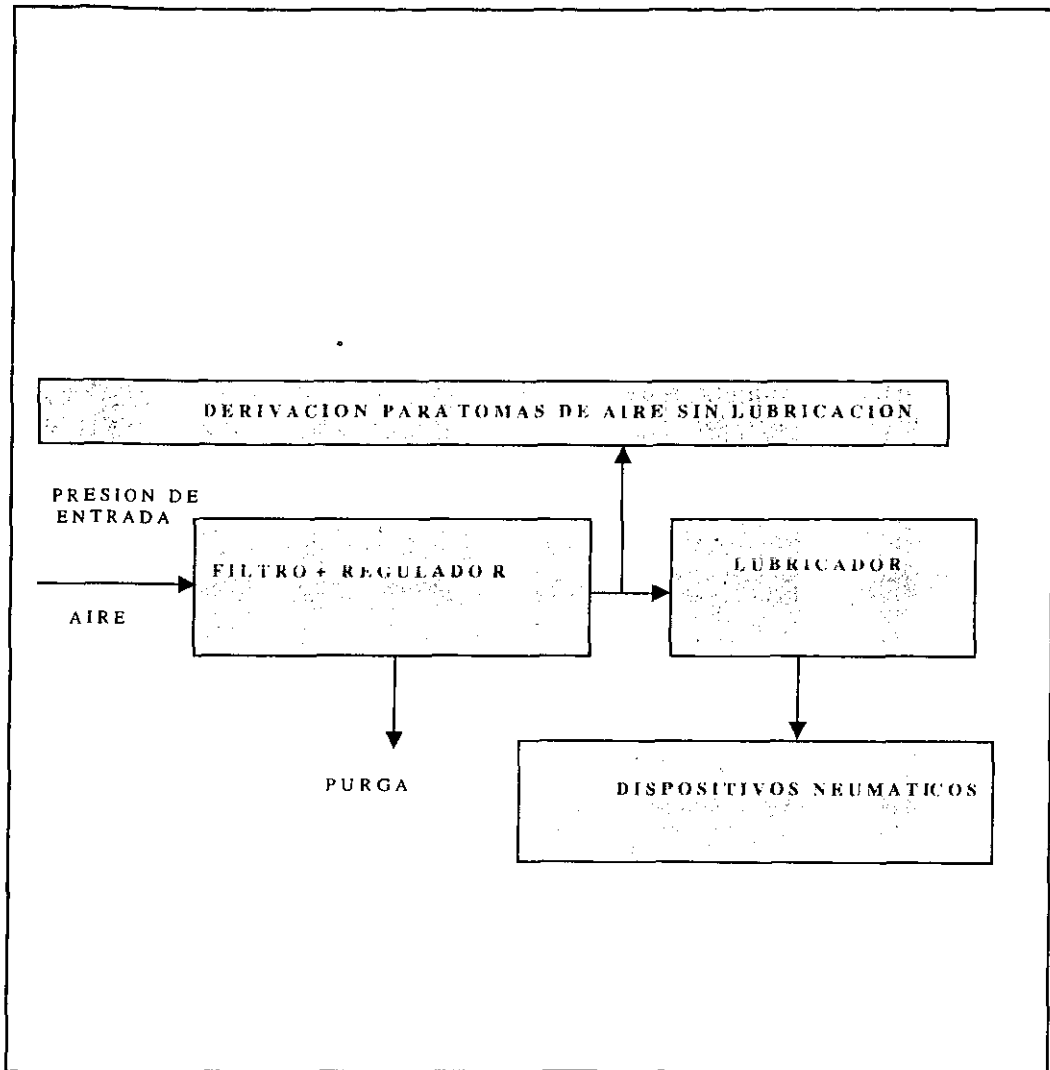


fig. 1.17 PREPARACION DE AIRE COMPRIMIDO.



## **1.2 Pasteurización proceso HTST:**

### **1.2.1 Tanques de reposo.**

Cuando tenemos el producto líquido en los tanques de reposo, con capacidad de 9700 litros, sale el producto y pasa a unos filtros dúplex para retener impurezas, es impulsada la leche por una bomba centrífuga a dichos filtros, que conducen el producto a una tina de balance. Estos tanques son de acero inoxidable 304 en sus interiores, y los exteriores de acero al carbón, cuentan con un agitador vertical. ver fig. 1.18

### **1.2.2 Tina de balance.**

Es un tanque de acero inoxidable 304 de 946 litros de capacidad, la finalidad de la tina de balance, fig. 1.19 es mantener producto disponible en la línea de producción para que no quede vacía.

### **1.2.3 Sensor neumático de tina de balance.**

Para controlar el nivel de la tina de balance, tenemos un sistema de control neumático, el cual, funciona a través de la carga hidrostática del producto, un diafragma en el fondo del tanque de balance al recibir la presión del líquido, envía una señal neumática a un interruptor de presión, que a través de sus contactos, manda señales de entrada a la computadora de proceso, estas se aprovechan para controlar la bomba que envía producto al tanque de balance a través de un programa. ver fig 1.33. <sup>11</sup>

Para recuperar el nivel de la tina de balance, cuando es necesario, se cuenta con una electroválvula de agua, la cual se puede energizar cuando se requiere, y también es controlada por medio de un programa, a través de las entradas que llegan del sensor de nivel a la computadora. ver fig.1.20.

En esta parte del proceso, también se contribuyó a resolver el problema de derrame de leche en la tina de balance (leche líquida). El problema consistía en que la leche se tiraba por llenarse la tina, lo cual era ocasionado por una mala calibración del interruptor de presión. Este era calibrado de una manera manual (a ojo), y que en la mayoría de los casos quedaba mal. Aquí el trabajo consistió en reproducir los niveles que se manejan en la tina de balance teniéndolos bajo control, y con un instrumento de calibración neumática, se midió la salida de presión del sensor, correspondiente a determinado nivel (muy bajo, bajo, operación, alto). Una vez obtenidos los valores de calibración, se puede ajustar el interruptor de presión de una manera fácil y rápida con el instrumento de calibración neumática (WALLACE). Los valores de salida del sensor están en el rango 0-0.85 psi, que son los valores a los que se ajustan los micros (contactos) de los interruptores de presión.

Con lo descrito anteriormente, se ha logrado disminuir mermas por paros de equipo, y por derrame de producto por una mala calibración.

<sup>11</sup> APV CREPACO, LEVEL SENSING TRANSMITTER , CAT. 09W-P-360314, USA, 1982

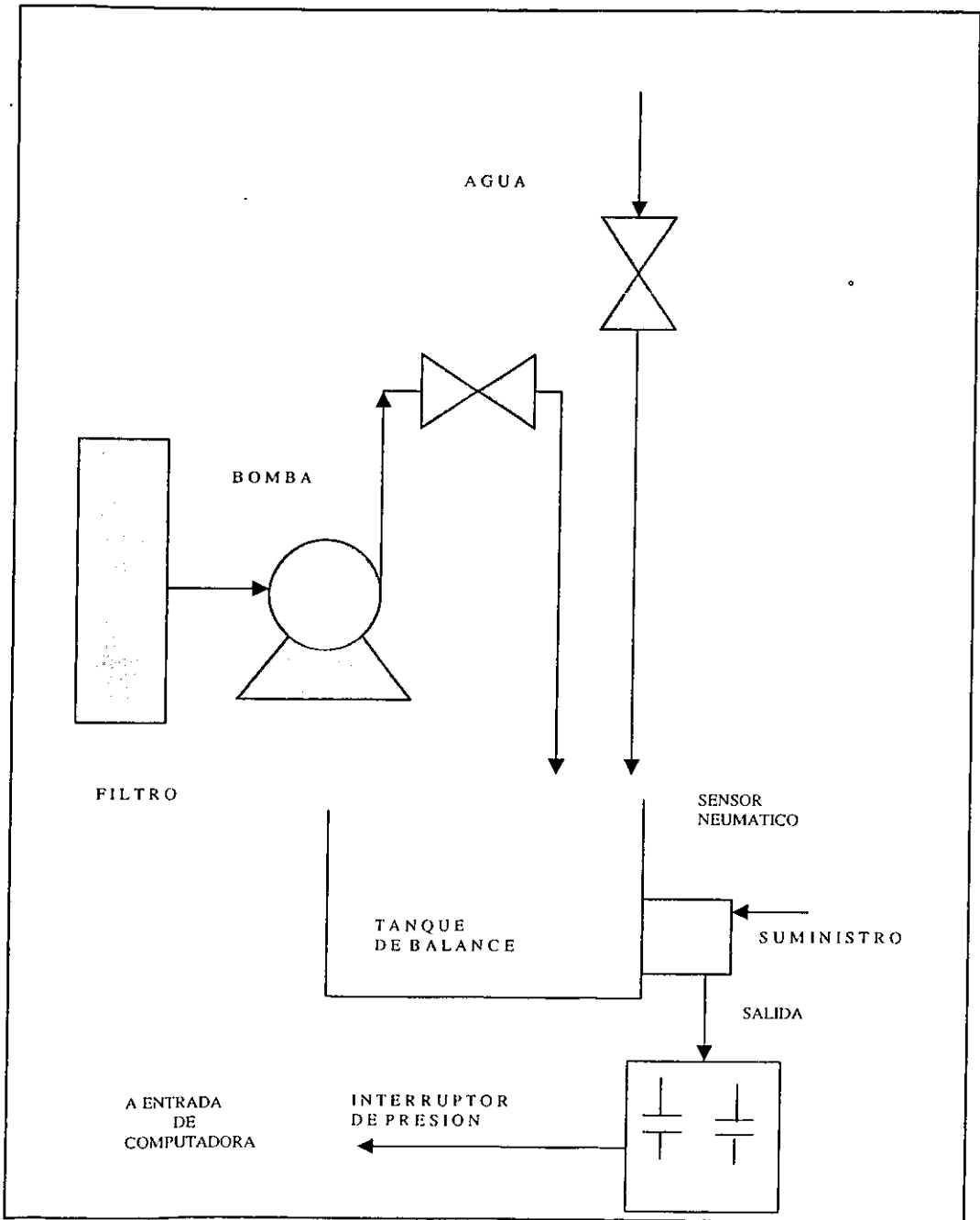


fig. 1.19 TANQUE DE BALANCE.

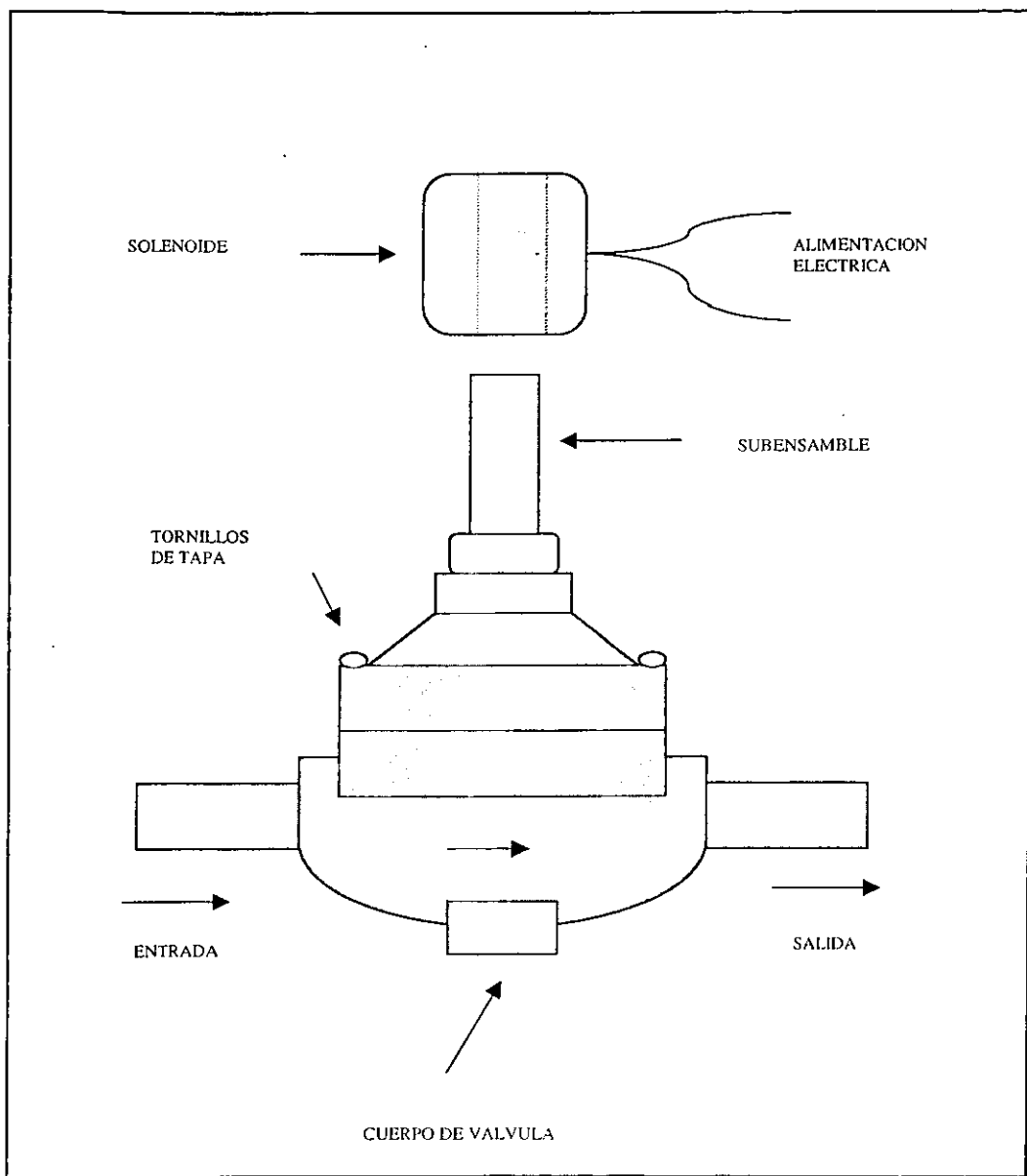


fig. 1.20 ELECTROVALVULA DE AGUA.

#### **1.2.4 Intercambiador de calor.**

El producto de la tina de balance lo descargamos con una bomba centrífuga, y es conducido al intercambiador de calor de placas. La finalidad de este equipo, es darle a la leche el tratamiento de calentado y enfriado rápido. ver fig. 1.21 y 1.22.

Este intercambiador de calor, es un pasteurizador HTST de placas, construido en material de acero inoxidable 304, y 229 placas de acero inoxidable 316, para procesar 25000 litros por hora.

Circula el producto por el intercambiador, y lo hacemos llegar al deodorizador, a aproximadamente 57 °C.

En el intercambiador de calor se presentaba un problema constante, al dañarse la válvula de alivio, al ocurrir esto, la válvula abría mucho antes de la presión de operación normal, que es de 1.5 Kg/Cm<sup>2</sup>. Este problema se empezó a estudiar, y era ocasionado por diferentes causas. Siendo las siguientes: Al abrir la válvula para desfogar condensado, sale este a una temperatura de entre 80 y 90 °C, como el desfogue es constante, la temperatura provocaba erosión y oxidación en el resorte, la otra causa fue que al dañarse placas del intercambiador de calor, entraba en contacto el fluido de lavado (sosa y ácido) con la válvula de alivio, dañando el resorte. Los químicos empleados para los lavados del intercambiador de calor son esencialmente sosa cáustica, ácido fosfórico, hipoclorito y yodo. Con lo explicado anteriormente, teníamos que cambiar la válvula aproximadamente cada dos semanas, o en el mejor de los casos, darles mantenimiento cada 10 días. Aquí el problema no era en si cambiar la válvula, ya que su precio no es elevado (aprox. 2000 pesos). Lo grave de este problema, es que la línea empezaba a tener problemas de control de temperatura de pasteurización, y si no lo identificaban rápidamente producía retrasos en la producción. Una vez identificado el problema, había que parar la línea para cambiar la válvula. La solución a este problema, fue cambiar las especificaciones de las partes internas (resorte y asientos), y se pidieron estas en acero inoxidable, con lo cual se a logrado evitar al máximo paros por problemas en este equipo.

#### **1.2.5 Deareador.**

El deareador de leche fig.1.23 esta construido en acero inoxidable 304, la unidad está equipada con bomba de extracción de producto, condensador de vapores de leche tipo carcasa, y tubos en acero inoxidable. Cuenta con una bomba de vacío.

El producto que llega al deareador se le extrae el mal olor (vapores) por medio de una bomba de vacío.

El nivel del deareador lo controlamos con un transmisor neumático y un controlador, además, una válvula de control.

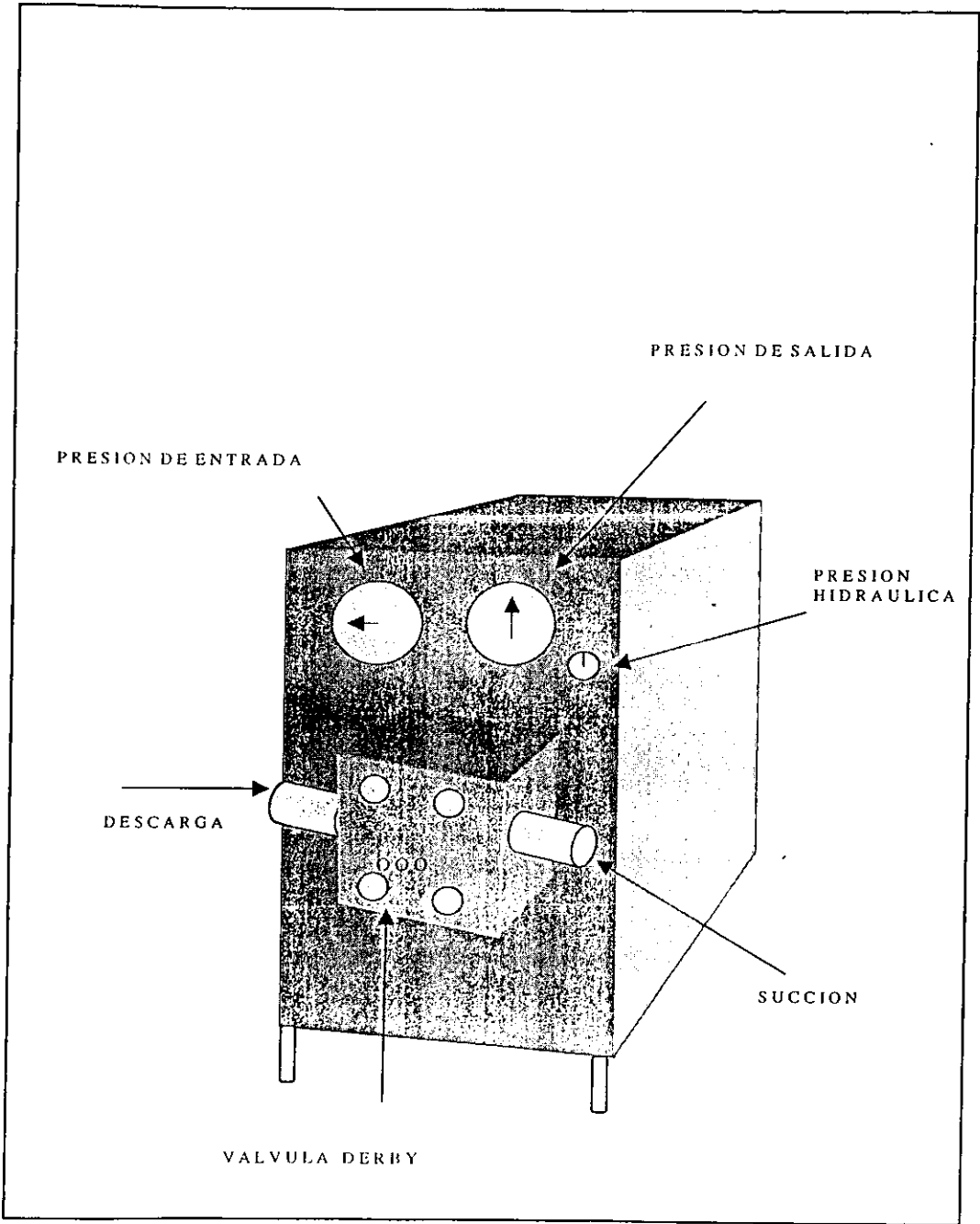


fig. 1.25 HOMOGENEIZADOR.

### **1.2.8 Válvulas diversificadoras.**

Son válvulas sanitarias de acero inoxidable 304 o 316, tienen la finalidad, que cuando el producto no llega a la temperatura de pasteurización (75 °C), lo regresen a la tina de balance, ya que no está en condiciones de pasar al silo de almacenamiento. Estas válvulas son de tres vías, pero similares a las sanitarias normales en cuanto a funcionamiento. Para mayor información ver objetivo 1.1.9.

### **1.2.9 Controlador de temperatura (diversificación).**

El cambio que efectúan las válvulas diversificadoras, es provocado por un contacto de un controlador de temperatura, el cual tiene su sensor en los tubos de sostenimiento (75 °C). El punto de ajuste del controlador es de 75 °C. ver fig. 1.28b

En estos momentos el controlador es neumático, pero se están implementando ya equipos electrónicos.

Para entender lo que es un controlador, para este objetivo y el siguiente, será necesario dar una explicación básica:

En la actualidad, conocemos un sinnúmero de aparatos que son controladores. Un apagador en una habitación, el acelerador de un coche, etc. Son controladores que necesitan del elemento humano para poder controlar. El elemento humano mide la variable, por ejemplo, la velocidad, y de acuerdo con la magnitud de esa variable, opera el elemento final de control. Por si mismo, el elemento final no puede controlar la velocidad, porque no es capaz de medirla. Entonces, vemos que la primera cosa que un controlador automático debe hacer, es medir la variable que debe controlar. Es precisamente la habilidad de medir la variable lo que diferencia a un control automático de uno no automático.<sup>14</sup>

Un controlador automático, es un instrumento que mide una variable, y actúa en una forma determinada para que la variable se mantenga en un valor deseado.

Un controlador no automático por el contrario, puede hacer cambiar el valor de la variable.

Cuando un controlador automático siente que la variable no está en el punto deseado, aplica una corrección al proceso. Entonces mide o siente de nuevo el efecto producido por esa primera corrección, y aplica una segunda corrección y así sucesivamente. De hecho, las correcciones y mediciones no se aplican por etapas o pasos, sino que un control está midiendo y corrigiendo continuamente.

Los controladores automáticos tienen la habilidad de sentir una condición correcta o incorrecta y actuar para corregirla. Las ventajas que se derivan de que una máquina haga algunas funciones que hace el hombre son obvias, sobre todo cuando la máquina llega a superar al hombre en esa función.

<sup>14</sup> HONEYWELL, CONTROL AUTOMATICO (BOLETIN M95-3) , P. 1-26, MEXICO,

### Control flotante.

Este tipo de control presenta una velocidad constante, mueve el elemento final de control a una velocidad única independiente de la desviación. Por ejemplo, un control todo-nada puede convertirse en una regulación flotante si se utiliza una válvula motorizada reversible de baja velocidad. La válvula permanecerá inmóvil si la variable queda dentro de la zona neutra, y cuando la rebasa, la válvula se mueve en la dirección adecuada hasta que la variable retorna a un valor dentro de la zona neutra.

El control flotante, puede producir oscilaciones en la variable controlada, estas oscilaciones pueden hacerse mínimas eligiendo adecuadamente la velocidad del elemento final, para que compense las características del proceso. El elemento final de control debe moverse lo suficientemente rápido, para mantener la variable ante los cambios de carga que se producen en el proceso. El control flotante puede compensar los cambios de carga lentos del proceso desplazando gradualmente la posición del elemento final de control.

### Control proporcional.

En el control proporcional, se tiene una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control (dentro de la banda proporcional). Si se tuviera una válvula como elemento final de control, esta se movería lo mismo por cada unidad de desviación.

La ganancia del controlador proporcional es; la relación entre la variación en la señal de salida y el error que la produce. Es la diferencia entre la variable y el punto de ajuste.

La banda proporcional es; el porcentaje de variación de la variable controlada necesaria para provocar una carrera completa del elemento final de control. El valor de la banda proporcional de un instrumento, está dado, en un tanto por ciento de su campo de medida total. Como ejemplo, si la escala de instrumento es  $200^{\circ}\text{C}$ , y se necesitan  $50^{\circ}\text{C}$  de cambio para provocar una carrera total de la válvula, el tanto por ciento de la banda proporcional es  $50/200$  o sea  $25\%$ .

Con una banda proporcional angosta, solo se requiere un pequeño cambio en la variable para operar el elemento final de control en su carrera total. Cuando la banda es ancha se requiere un cambio grande en la variable controlada para mover el elemento final de control en toda su carrera.

Al control proporcional también le llaman modulante, y lo definen, como aquel en el cual el elemento final de control se posiciona en proporción a la magnitud de la variable controlada. La acción de la variable es simplemente repetida y amplificadas en la válvula.

### Operación del reajuste.

El control flotante de velocidad proporcional se combina con el control proporcional, y la combinación lleva el nombre de control proporcional con reajuste (reset).

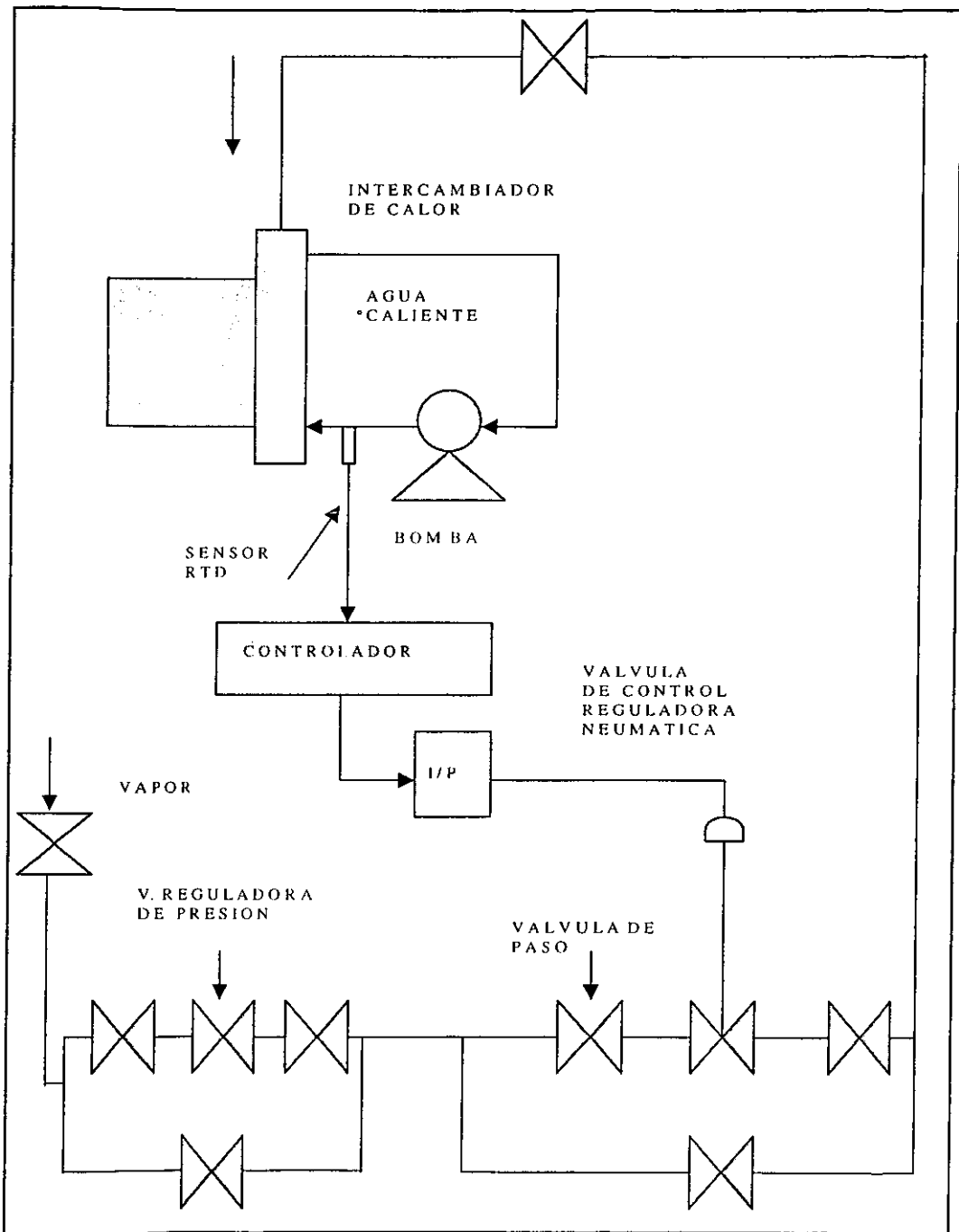


fig. 1.29 CIRCUITO DE CONTROL DE TEMPERATURA.



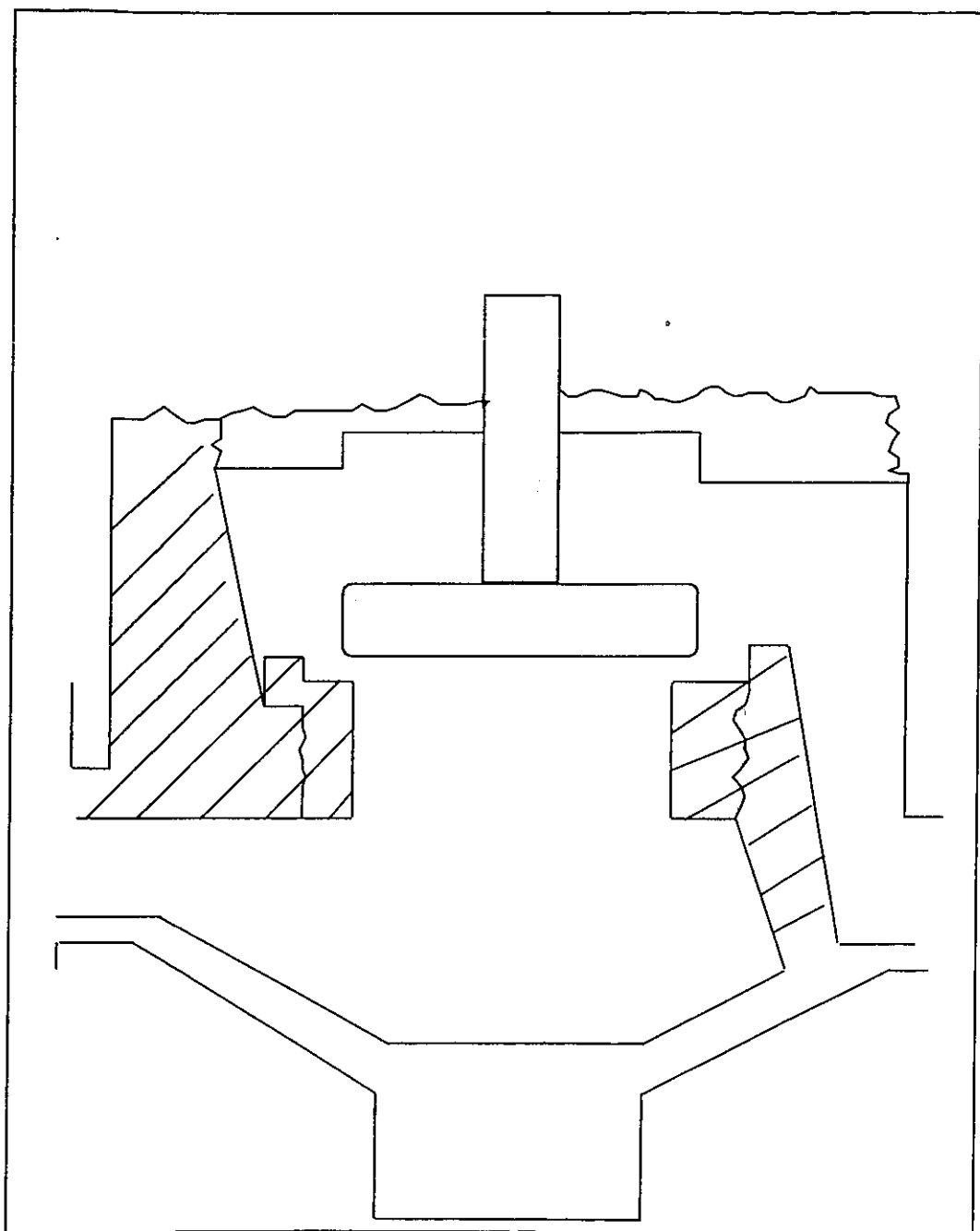


fig. 1.31 VALVULA DE VAPOR.

**--Como especificaciones opcionales tenemos:**

Nivel de voltaje de suministro, puertos de comunicación, relevadores para alarmas, iluminación para las gráficas.

**1.2.12 Indicador de nivel en silos.**

Una vez que el producto entra al tanque silo, podemos ver a través de un indicador de carátula (manómetro) el nivel que tiene con producto. Obviamente, tenemos un sensor de nivel, que en este caso es de diafragma, está en el fondo del tanque (como en la tina de balance) ver fig. 1.33, la señal de salida tiene un rango de 0-18 psi, esta se manda a un booster (amplificador), para acoplarla al indicador de carátula, que responde a una señal de 0-15 psi para deflexionar su aguja de 0-115000 litros. ver fig. 1.34

**1.2.13 Manómetro.**

Es un instrumento empleado para la medición de presión. Cuando se seleccione un manómetro, deberá considerarse el medio en el cual se empleará, condiciones de presión y temperatura, etc. ver fig. 1.35. En la medida de fluidos corrosivos, pueden emplearse elementos primarios elásticos con materiales especiales en contacto directo con el fluido. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es más económico utilizar un fluido de sello cuando el fluido es altamente viscoso y obtura el elemento (tubo de Bourdon por ejemplo, fig 1.36), o bien, cuando la temperatura del proceso es demasiado alta.

En todo el proceso de producción, incluso el área de servicios, se tenía el problema de daños constantes en los manómetros, por lo cual, se investigaron las causas y la principal fue: por exceso de vibración y oscilación en la presión de los fluidos. Por lo anterior; se decidió retirar los manómetros de las líneas y montarlos en soportes independientes, para evitar la vibración, además, se les pusieron restricciones de presión en las tomas. Con la solución anterior, se ha logrado evitar el daño a manómetros por las causas que se describieron.<sup>18</sup>

**1.2.14 Termómetro.**

Instrumento empleado para proveer una indicación de temperatura. Como en el caso del manómetro, se deben seleccionar de acuerdo al medio en que trabajarán, considerando presiones, temperaturas, sustancias corrosivas, vibración, tipos de conexión. ver fig. 1.37. La medida de temperatura, constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan 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 y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.<sup>19</sup>

<sup>18</sup> SUREX, MANOMETROS, CAT. MANOMETROS SUPRA 0.5 % DE EXACTITUD.

<sup>19</sup> SUREX, TERMÓMETRO, CAT. TERMÓMETROS BIMETALICOS.

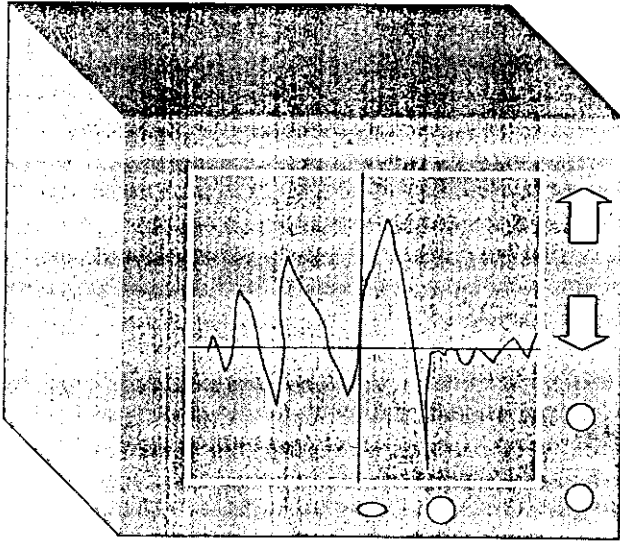


fig. 1.32 GRAFICADOR.

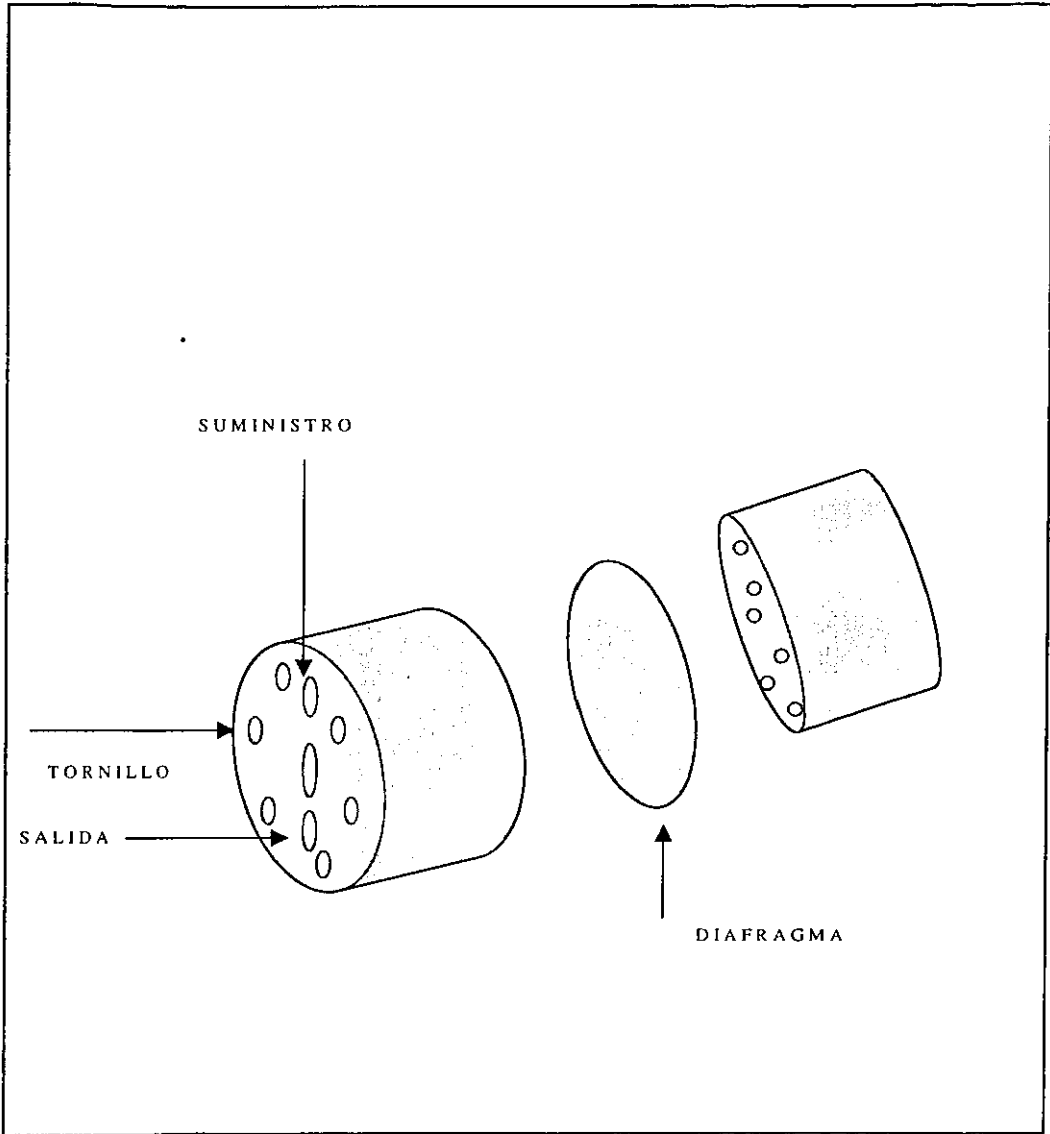


fig. 1.33 SENSOR DE NIVEL NEUMÁTICO.

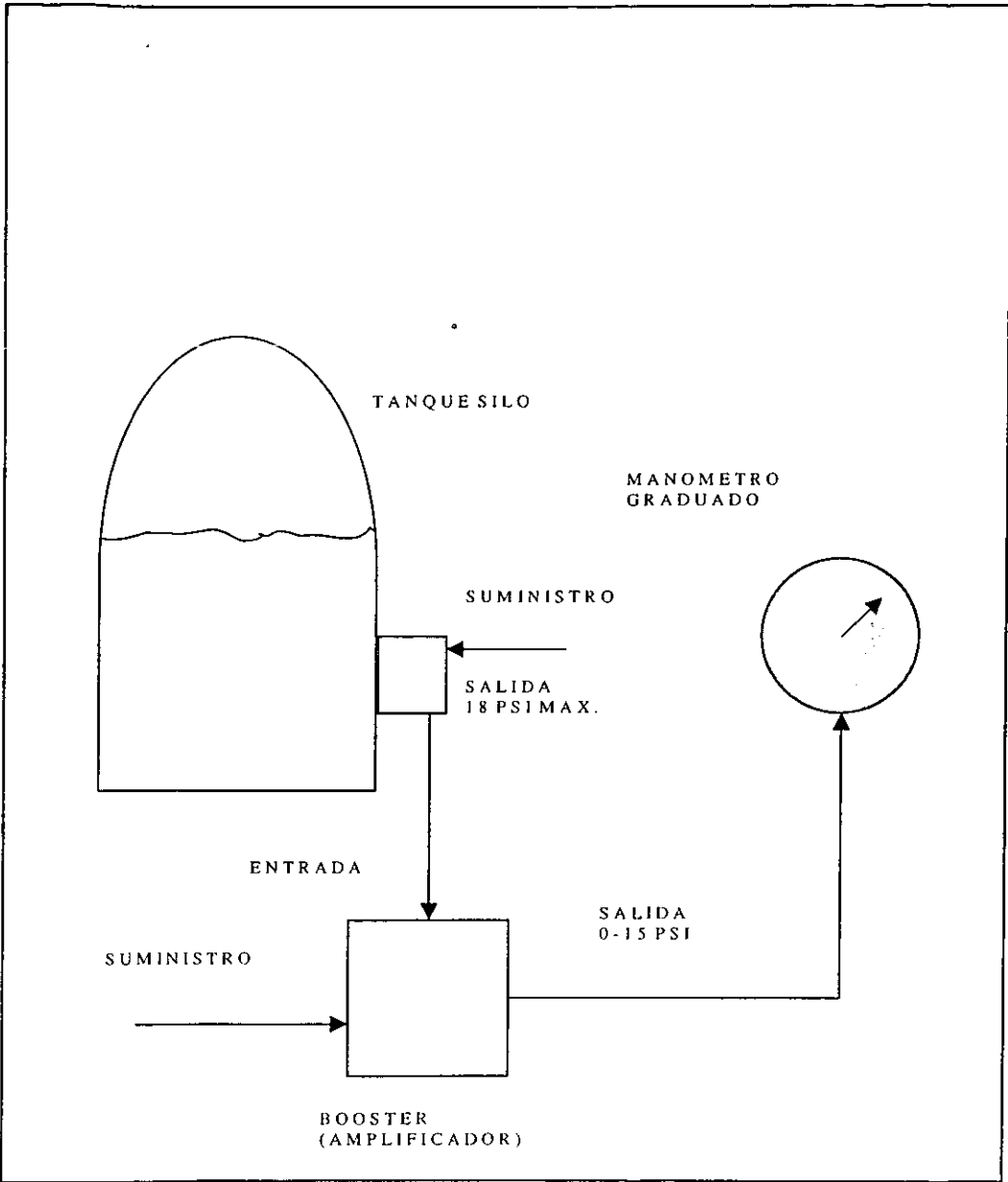


fig. 1.34 INDICADOR DE NIVEL EN SILOS.

MANOMETRO

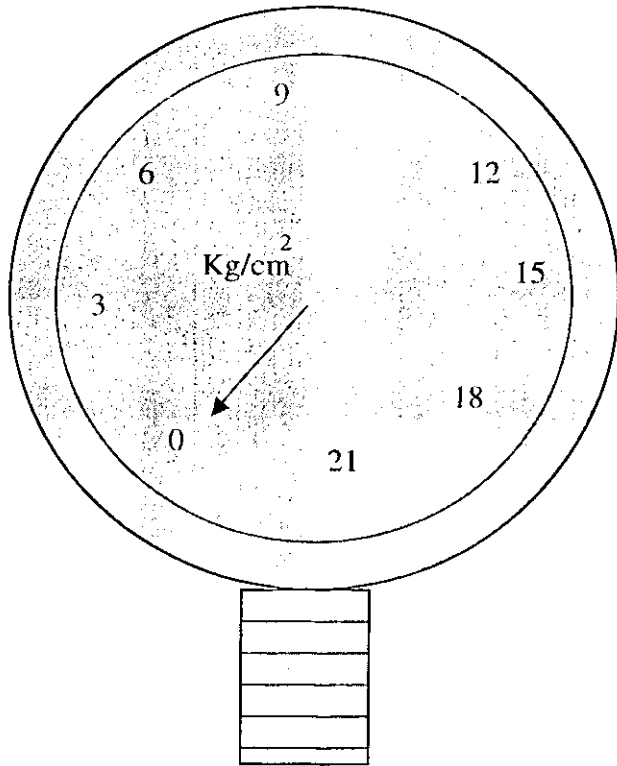


fig. 1.35 MANOMETRO TIPO BOURDON.

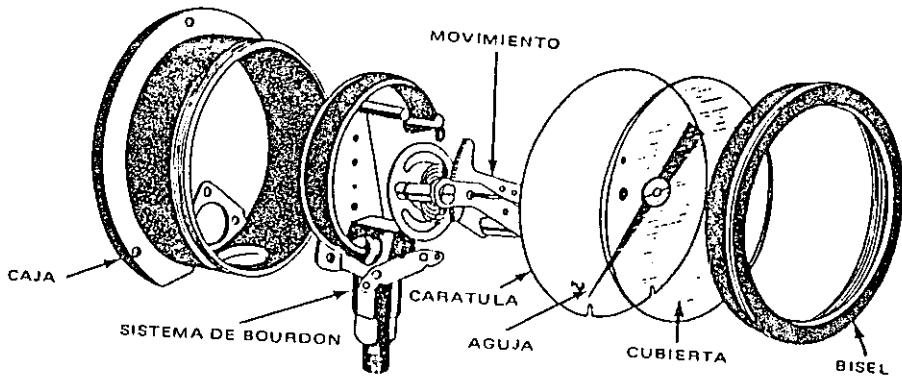


fig. 1.36 MANOMETRO TIPO BOURDON.

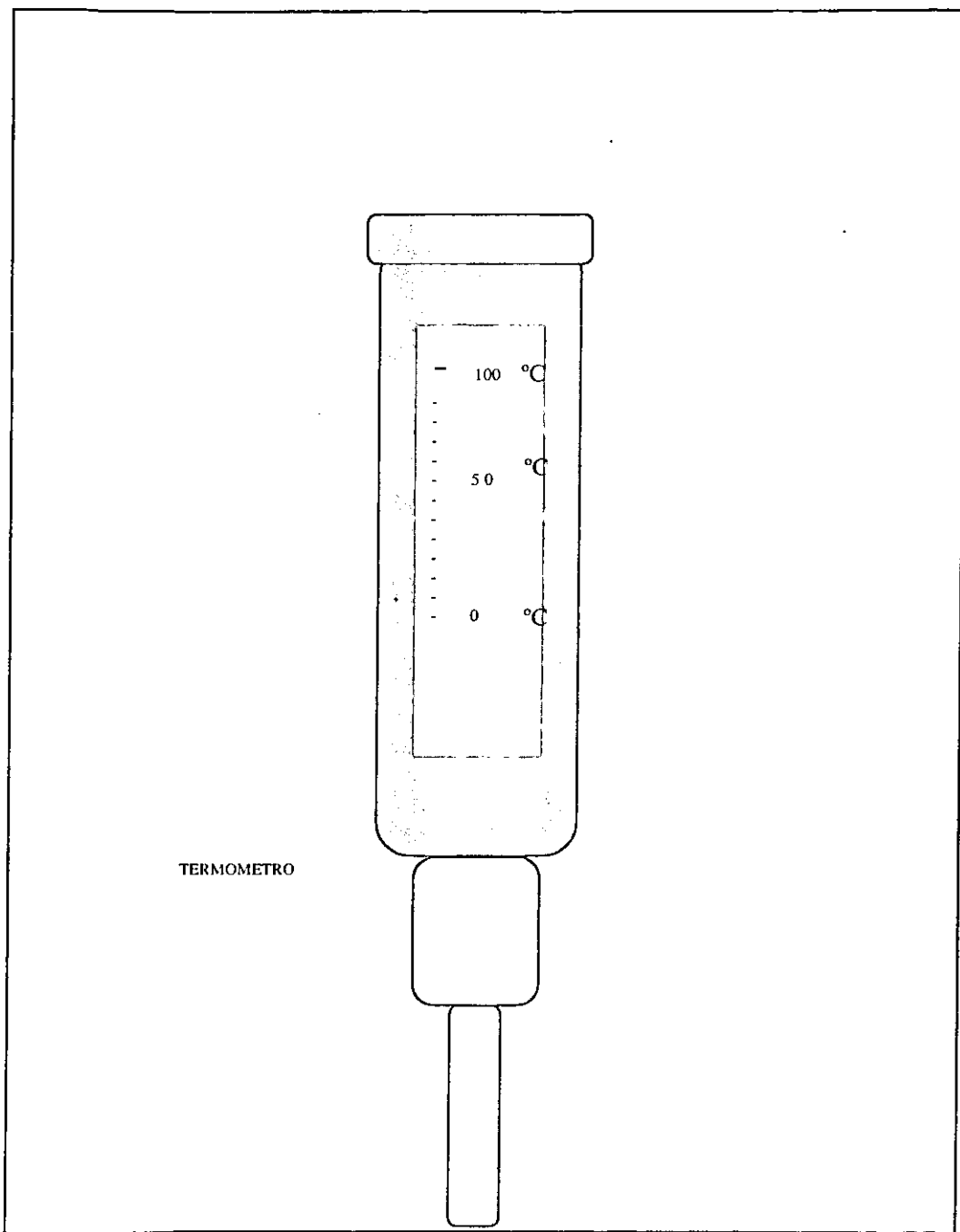


fig. 1.37 TERMOMETRO INDUSTRIAL.



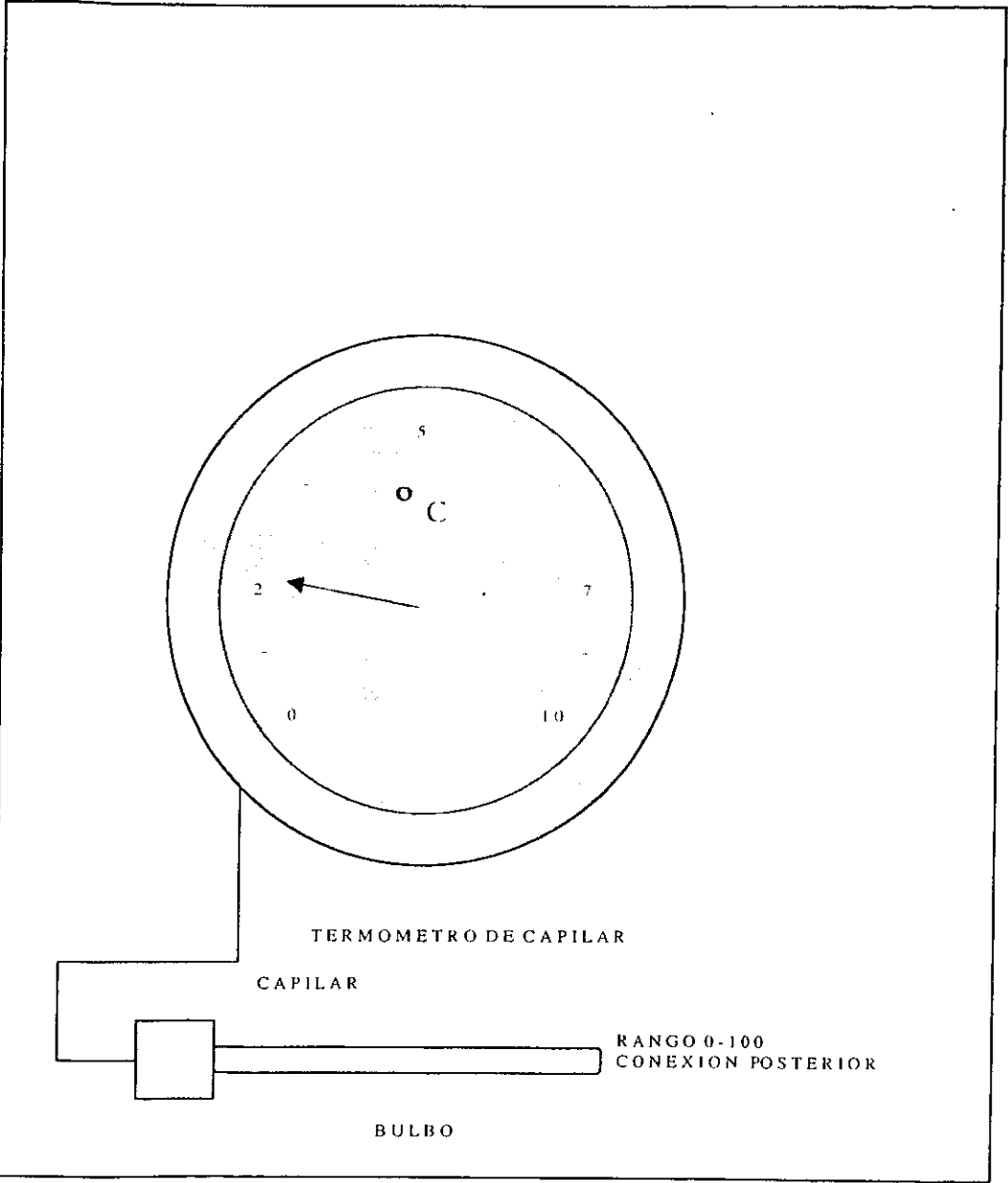


Fig. 1.38 TERMOMETRO DE CAPILAR.

### **1.2.15 Empleo de termómetro y manómetro en proceso.**

Estos equipos, se emplean en nuestro proceso, conectados directamente o a través de termopozos y sellos químicos adecuados, en las zonas o puntos importantes y críticos, para tener una referencia directa de las condiciones en que están operando el proceso. Cuando hay una indicación fuera de lo normal, sea mayor o menor, se empieza a investigar con las referencias de los manómetros y termómetros, para corregir el problema que esté ocasionando la diferencia o fuera de lo normal. Estos son los equipos más sencillos que hay en los procesos industriales, pero son de gran ayuda

### **1.2.16 Resumen descriptivo de proceso.**

El sistema para rehidratación y pasteurización de leche, tiene una capacidad para producir 25000 litros por hora en cada línea, y en total se tiene una capacidad instalada de 75000 litros por hora, ya que existen tres líneas de producción.

El producto consiste en leche descremada en polvo o bien leche entera, agua, grasa vegetal y vitamina A+D3.

El proceso de rehidratación se inicia con el suministro de leche en polvo a la banda transportadora de sacos, esta llevará los sacos hasta la tolva de vaciado, donde, son abiertos y vertidos en la misma, esto se hace manualmente. Posteriormente el polvo es descargado a un tamizador oscilatorio de mallas, inmediatamente el polvo es enviado a un transportador de gusano helicoidal cerrado, el cual, llevará la leche a la tolva de almacenamiento. A la salida de esta se encuentra una válvula rotatoria, la cual regula la alimentación de polvo al liquiverter descargándose a través de un tobogán.

El liquiverter es un tanque con alta agitación, en el cual, se efectúa la reconstitución de la leche. Es donde se está efectuando la mezcla de polvo, grasa con vitamina y agua tratada proveniente del pasteurizador (40 °C).

Después del liquiverter la leche es enviada mediante una bomba centrífuga al tanque de oleaje, este eliminará el aire que se haya incorporado a la leche mediante un sistema de vacío.

La leche es llevada hacia los tanques de reposo por medio de una bomba centrífuga.

El flujo continúa hacia los filtros dúplex, de estos, a la tina de balance, manteniendo una alimentación constante al pasteurizador, transportando el flujo por una bomba centrífuga.

## **CAPITULO 2. Sistema de limpieza cip (clean in place).**

### AREA DE CIP.

- 2.1 Proceso de lavado mediante sistema cip.
- 2.2 Materiales compatibles y diseño de sistemas.
- 2.3 Programa cip.
- 2.4 Cip centralizado.
- 2.5 Sistema cip en planta Tláhuac.
- 2.6 Verificación del efecto limpieza.
- 2.7 Control de temperatura en tanques cip.
- 2.8 Control de nivel de agua en tanques cip.
- 2.9 Rotámetro.
- 2.10 Interruptor de presión.

## **2.5 Sistema cip en planta Tláhuac.**

El sistema de lavado utilizado es C. I. P. tanto para el lavado de equipo de proceso como el de las máquinas envasadoras.

Para las tres líneas de proceso se cuenta con tres sistemas C.I.P., los cuales, consisten en tres tanques de almacenamiento de detergente de acero inoxidable (ver fig. 2.1) con una capacidad de 4 000 lts. cada uno, equipados con válvulas neumáticas para el suministro y retorno de soluciones, el sistema de calentamiento es por inyección de vapor con control de temperatura.

Además, estos tres sistemas C.I.P. se conectan cada uno a los diferentes equipos de proceso, para que entre los tres se lave todo el equipo utilizado a lo largo del proceso. Si así se desea, es posible que los tres equipos funcionen simultáneamente.

En el sistema de control de nivel (método de burbuja), se tenía el problema que al variar la presión de suministro de aire, también variaba la salida de presión. Esto ocasionaba que el nivel en los tanques fuera muy inestable; podía quedar vacío o desparramarse el agua, sobre todo, en el tanque de enjuague que es el que se emplea más. El rango de variación observado en el suministro a el regulador de aire esta en 60 – 90 psi , con esta variación tan grande, no era posible con un regulador de aire sencillo mantener estable la presión de salida, con lo cual, fallaba mucho el sistema, por estar siempre con calibraciones diferentes. El problema descrito es grave, ya que al quedarse vacíos los tanques no se pueden lavar los equipos, y si se tiran soluciones también hay problema, ya que de cualquier manera se pierde tiempo y dinero, que a final de cuentas afecta a la producción. Por lo anterior, al estudiar el problema, se optó por cambiar el regulador de aire por uno de precisión y se eligió el modelo 62v de la marca MOORE . Se instaló este equipo y se calibró el interruptor para el nivel requerido, de acuerdo a la carga hidrostática y prácticamente nos hemos olvidado de estos equipos, porque no se han vuelto a tener fallas de este tipo. El cálculo de la presión de ajuste para una altura de dos metros de líquido en el tanque es como sigue:

$$P = \delta * h \quad ; \quad P = \text{presión} \quad ; \quad \delta = \text{peso específico} \quad ; \quad h = \text{altura}$$

$$P = 1000 \text{ Kg/m}^3 * 2 \text{ m} = 2.74 \text{ psi.}$$

## 2.9 Rotámetro.

Es un medidor de caudal de área variable, en el cual, un flotador cambia su posición dentro de un tubo proporcionalmente al flujo. Es uno de los aparatos más usados para la medición de gasto. En este aparato el fluido entra por la parte inferior del tubo vertical cónico, lo cual, origina que el disco o flotador se desplace hacia arriba. El desplazamiento vertical, cesará en el punto en que la fuerza de arrastre iguale la magnitud de la fuerza de flotación y el peso del disco. En estas condiciones, la posición del disco dentro del tubo será una indicación del gasto. En algunas ocasiones, al rotámetro también se le llama medidor de área, porque el mencionado desplazamiento depende de área transversal comprendida entre el disco y el tubo de vidrio.

## 2.10 Interruptor de presión.

Es un dispositivo que actúa cambiando de posición un switch (contacto), de acuerdo con la presión ajustada. La presión puede ser de diferentes fluidos, por ejemplo: Aire, agua, aceite, etc. El cambio de posición es aprovechado para conectar o desconectar equipos.

El rango de operación, es el intervalo de presión dentro del cual puede ser ajustado el interruptor, para operar subiéndolo o bajando la presión. Por ejemplo: si un interruptor tiene un rango de 1-4 Kg/Cm<sup>2</sup>, este puede ajustarse para operar incrementando la presión de 1-4 Kg/Cm<sup>2</sup>, o dentro de estos valores en cualquier punto intermedio.

### CAPITULO 3. Servicios de planta requeridos.

#### AREA DE SERVICIOS.

- 3.1 Servicios de planta.
- 3.2 Aire comprimido.
- 3.3 Agua.
- 3.4 Calderas.
- 3.5 Energía eléctrica.
- 3.6 Agua de torre.
- 3.7 Agua helada.

## CAPITULO 4.- Estudio de mermas en producto envasado en máquinas IS-7.

### DESCRIPCION DE LA MAQUINA.

- 4.1 Envasado (Máquina IS -7).
- 4.1.1 Producto a envasado.
- 4.1.2 Breve descripción de la IS-7.
- 4.1.3 Sistema de mando IS-7.
- 4.1.4 Sistema de transporte de película.
- 4.1.5 Preparación de la película.
- 4.1.6 Formación de la película.
- 4.1.7 Sellado vertical.
- 4.1.8 Sellado horizontal.

### ESTUDIO DE MERMAS.

- 4.2 Disminución de mermas.
- 4.2.1 Llenado.
- 4.2.2 Equipo de control de nivel.
- 4.2.3 Control de nivel.
- 4.2.4 Válvula posicionadora Moore 73 N.
- 4.2.5 Estudio del problema y localización.
- 4.2.6 Instalación de manómetros en línea de producto.
- 4.2.7 Medición de señal de suministro y señal a válvula posicionadora.
- 4.2.8 Visualizar el nivel en tanque de producto.
- 4.2.9 Posibles soluciones y las implementadas.
- 4.2.10 Opción de solución no implementada por inconveniencia.
- 4.2.11 Costos de soluciones implementadas.
- 4.2.12 Conclusión.

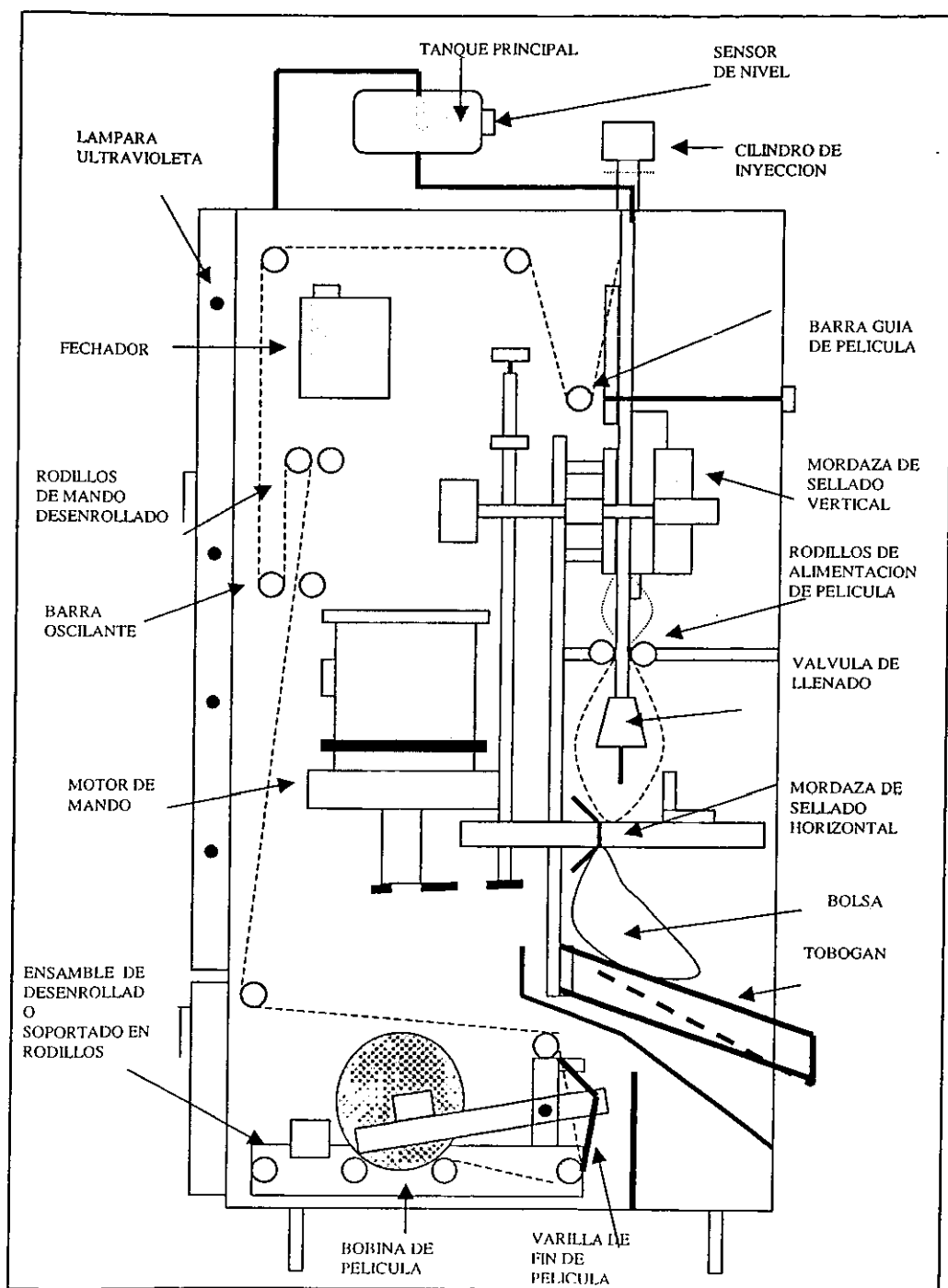


fig. 4.3 ESQUEMA DE MAQUINA ENVASADORA.



### **4.1.3 Sistema de mando IS-7.**

La energía para la IS-7 se suministra mediante un motor de mando sencillo de corriente alterna, que opera a un reductor de velocidad. ver fig. 4.4. La energía mecánica se transfiere a los árboles de levas independientes para la cabeza A y cabeza B, mediante dos embragues y transmisión de cadena principales. Las mordazas de sellado y los mecanismos de transporte de película, se manejan mecánicamente desde cada árbol de levas, mediante tres levas principales. Un sensor de posición (ENCODER) montado en la parte superior del árbol de levas supervisa, de manera continua la rotación del árbol de levas y retransmite esta información a un controlador lógico programable (PLC). Este PLC controla el tiempo de las diversas funciones de operación de cada cabeza.

### **4.1.4 Sistema de transporte de película.**

En cada cabeza, el rollo de película se localiza en la parte posterior de la máquina. El rollo está suspendido en el centro sobre un dispositivo de desenrollado suspendido. La máquina sustrae la película del rollo mediante dos grupos de rodillos activos: los rodillos del mando de desenrollado, en la parte posterior de la máquina y los rodillos de alimentación de la película, al frente, ambos conjuntos de rodillos se manejan desde el árbol de levas.

Las funciones de llenado y sellado al frente de la máquina, determinan el movimiento de la película de un extremo a otro de la cabeza.

Los rodillos de alimentación de película, fig. 4.5, de hule, localizados al frente de la máquina, no corren de manera continua, sino que tiran del tubo de película verticalmente hacia abajo, en una secuencia de ciclos “paro-arranque”, durante el paro, se hace el sello verticalmente en el tubo recién formado. De una manera simultánea, más adelante en la máquina, una bolsa recién llena se sella en la parte superior en sentido horizontal y se corta del tubo, mientras en la misma operación, se sella la parte inferior para la siguiente bolsa.

El tubo de la película avanza el equivalente al tamaño de una bolsa (el llenado de la siguiente bolsa continúa durante el sellado y avance), y se repiten los procesos de sellado.

Los rodillos de alimentación de película se manejan desde el árbol de levas mediante un mecanismo de embrague - freno. Y el tamaño del avance de la película por ciclo (el tamaño de una bolsa) se controla mediante una leva de alimentación de película. ver fig. 4.6

El propósito de los rodillos del mando de desenrollado, recubiertos de hule, que se encuentran en la parte posterior de la máquina, es desenrollar la película de la bobina, a medida que esta se necesita al frente de la máquina. De nuevo, la acción es intermitente y se logra mediante un ensamble de barra oscilante, el cual activa el interruptor de control de desenrollado, con dos posiciones; “ ON/OFF ”.

Diversos rodillos secundarios y guías de película ayudan a controlar la ruta de la película, a lo largo de las diversas etapas de operación.

#### **4.1.5 Preparación de la película.**

Después de que se desenrolla la película, pasa a través del codificador (fechador). Donde se imprime la información de identificación del producto necesaria. La colocación de la impresión esta sincronizada con la acción de los rodillos de alimentación de película.

Después de ser codificada, la película pasa a través de un ensamble de barra guía de película que la alinea correctamente, para la siguiente operación al frente de la máquina, pasando alrededor de un rodillo secundario y sobre la placa central hacia el frente.

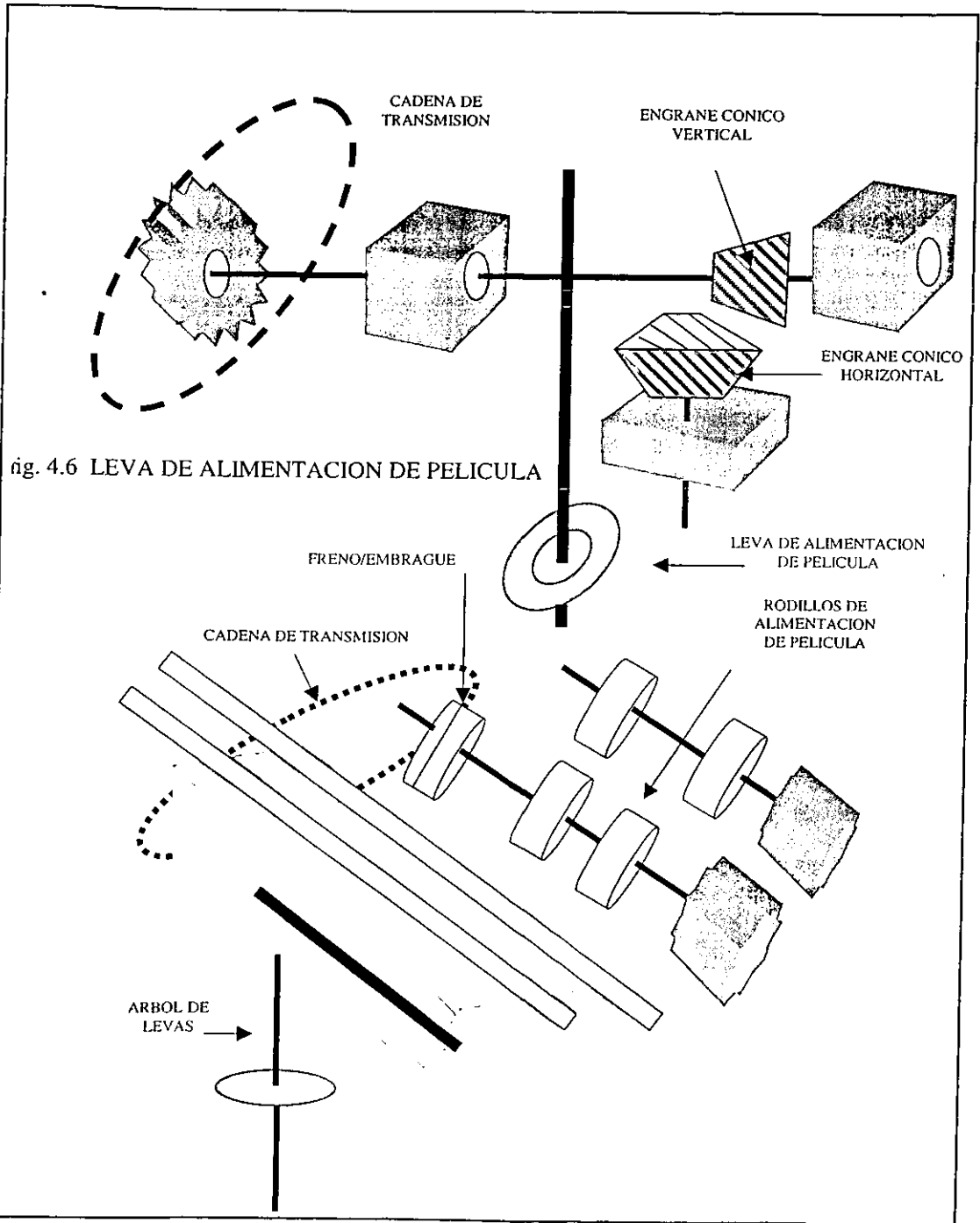


fig. 4.5 TRANSMISION DE CADENA DE ALIMENTACION DE PELICULA.

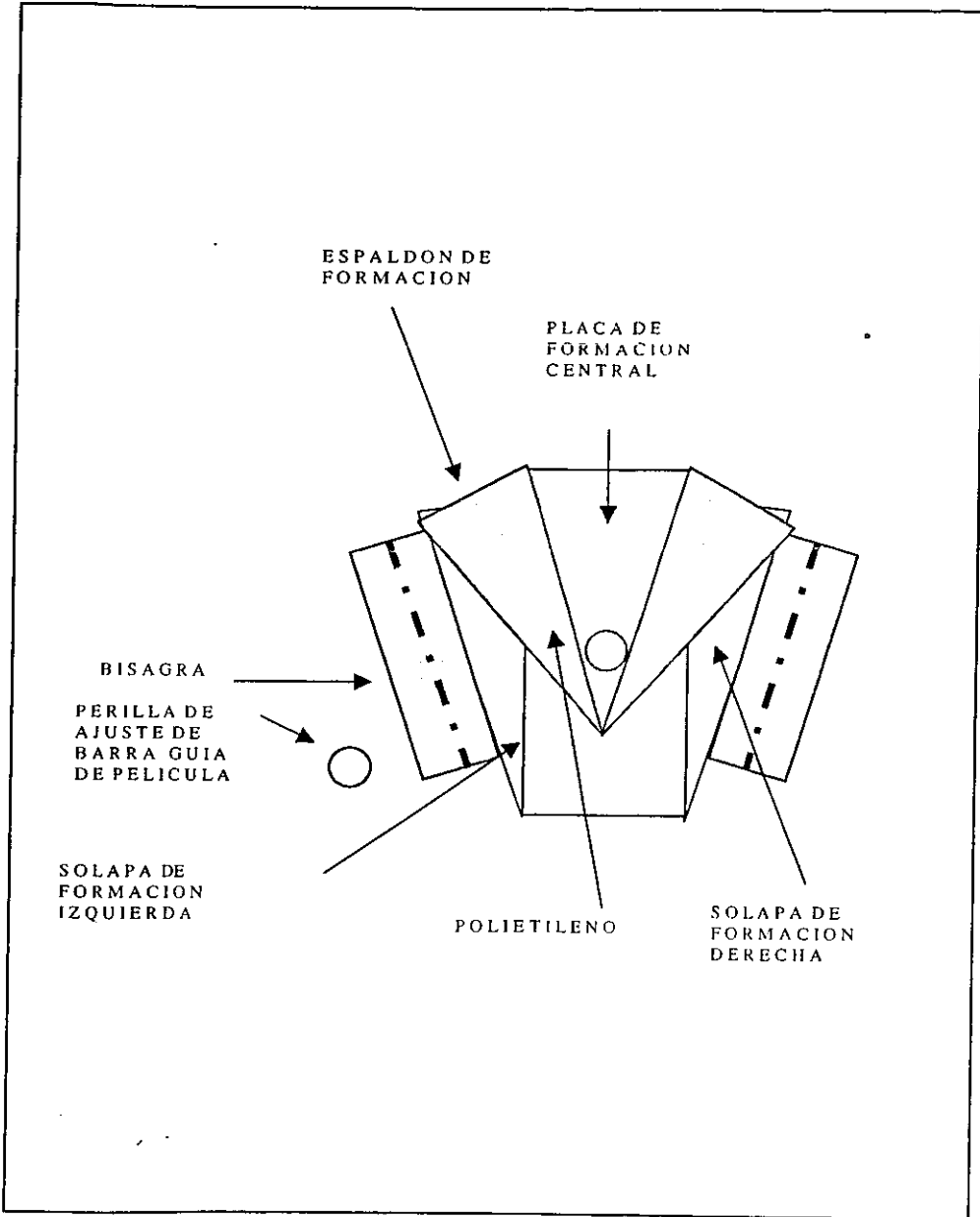


fig. 4.7 COMPONENTES PRINCIPALES DE FORMACIÓN DE PELÍCULA.

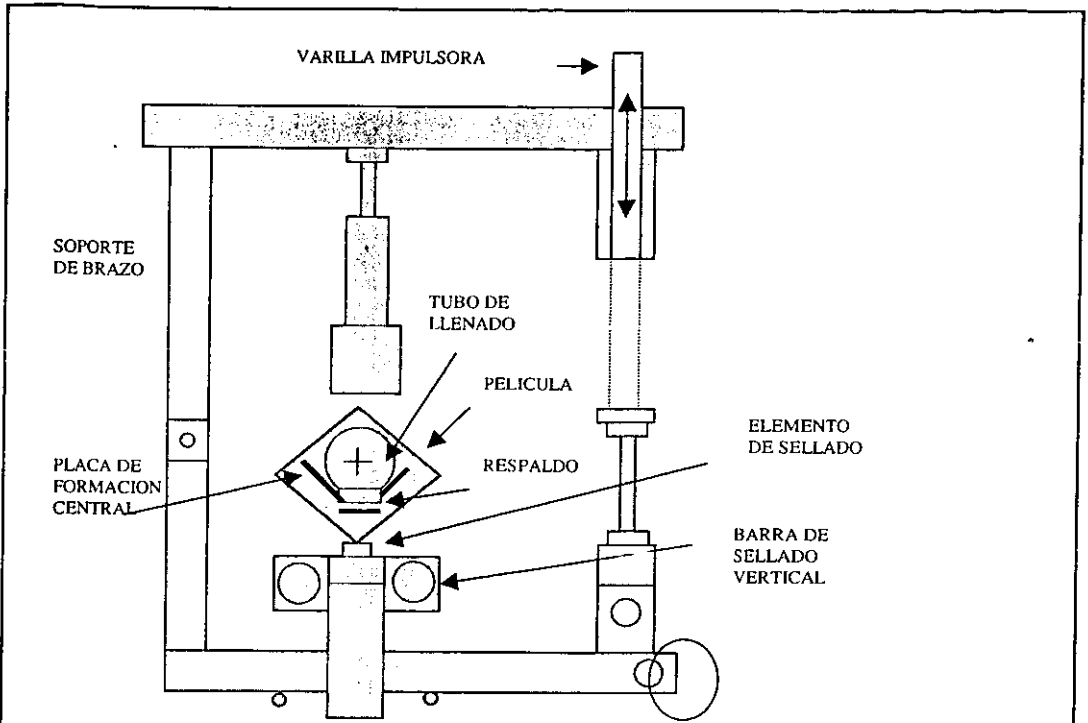


fig. 4.8 SELLADO VERTICAL

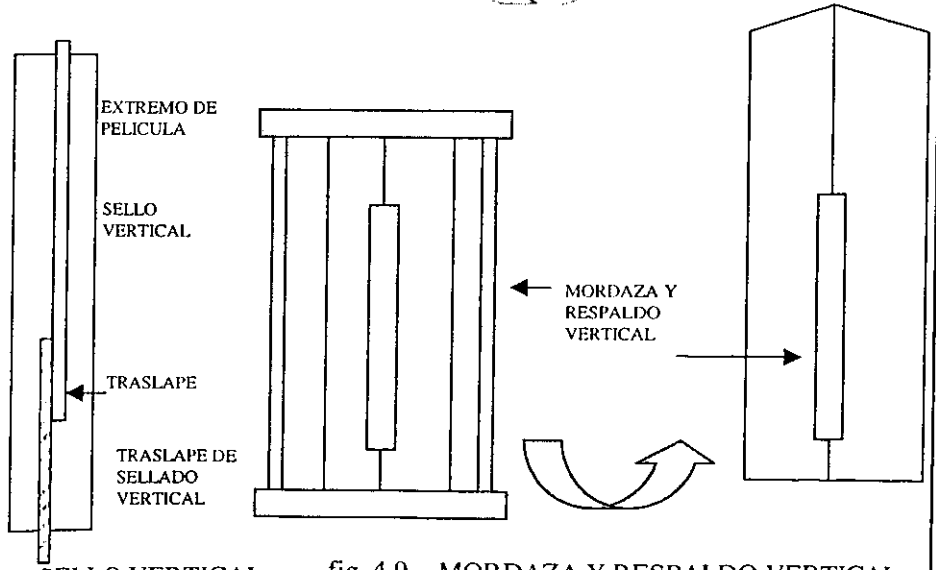


fig. 4.10 SELLO VERTICAL

fig. 4.9 MORDAZA Y RESPALDO VERTICAL

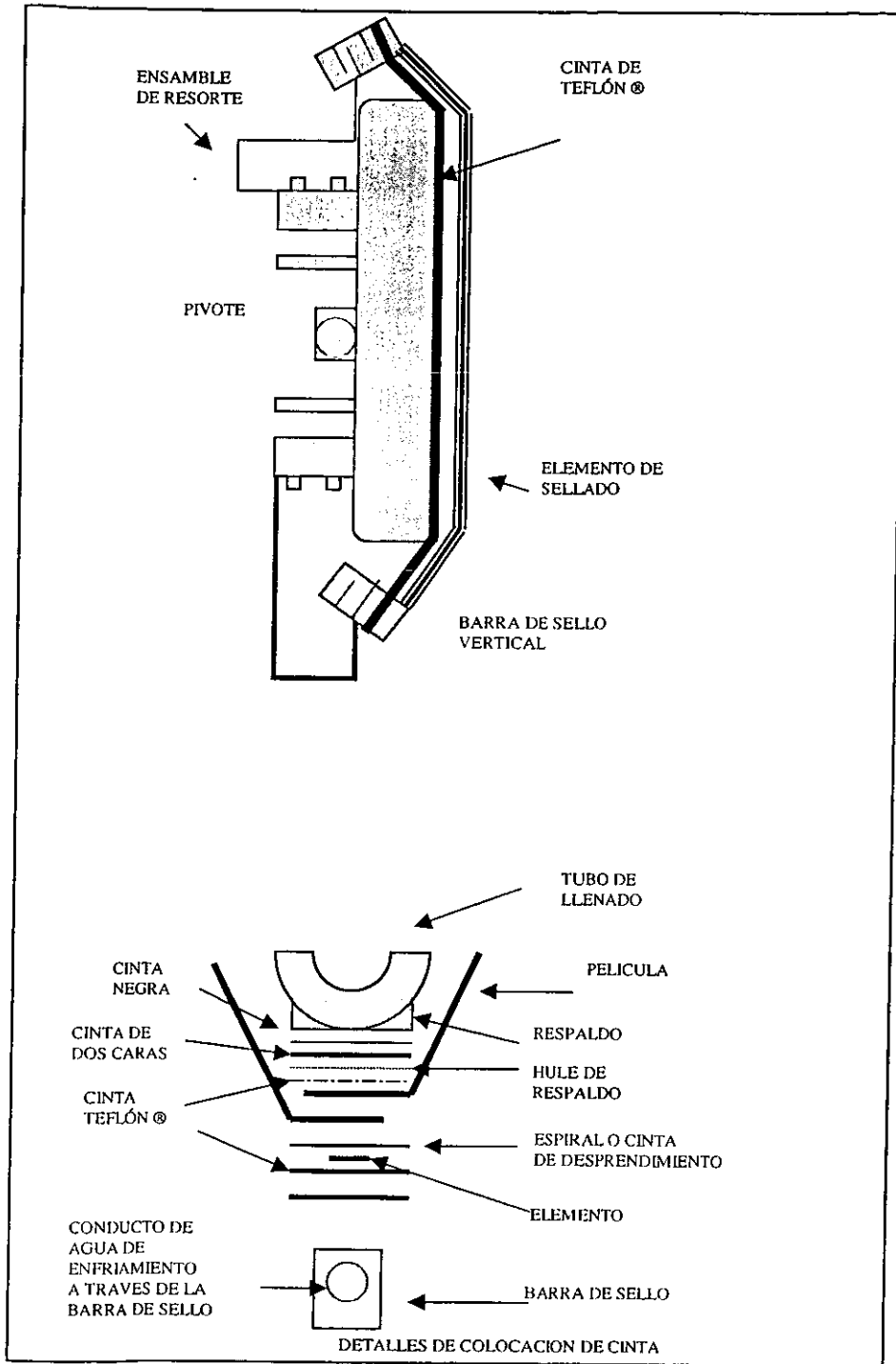


fig. 4.11 ELEMENTO DE SELLADO.

#### **4.1.8 Sellado horizontal.**

La sección de sellado horizontal, fig. 4.12, tiene dos componentes principales: una mordaza de elemento horizontal, fig. 4.13, y una mordaza de respaldo horizontal. fig. 4.14

La mordaza de elemento, como su nombre lo indica, contiene el elemento de calor que crea el sello horizontal. Esta mordaza no se mueve. La mordaza de respaldo, por otra parte, se acciona mediante el árbol de levas principal, la mordaza se desliza hacia adentro y hacia afuera a través de un soporte lineal. Esta mordaza afianza el tubo de película contra la mordaza de elemento durante el sellado y se retrae cuando termina la operación de sellado. El sellado tiene lugar durante la misma pausa momentánea para el sellado vertical más arriba del tubo.

La operación de las mordazas horizontales, es más compleja que la de las verticales, puesto que no sólo sellan la película. De hecho, realizan tres operaciones al mismo tiempo:

1.- “vacían” el área de sellado, esto es, a medida que se juntan, presionan el tubo de película, empujando el producto que se encuentra ahí hacia atrás del tubo de película. Después cuando las mordazas se cierran herméticamente, el hule del respaldo se conforma alrededor del elemento y la cara de la mordaza del elemento, exprimiendo tanto aire y producto restantes como sea posible fuera del área de sellado.

2.-En una acción programada de sellado similar a la de la operación de sellado vertical, crean el sello superior de la bolsa llena y un sello inferior para la siguiente bolsa que se debe llenar.

3.- Cortan la bolsa llena del tubo de película.

Una complicación adicional, es que las mordazas horizontales deben lograr buenos sellos a través de dos capas de película a lo largo de la mayor parte de la bolsa, pero también en tres capas en el traslape vertical.

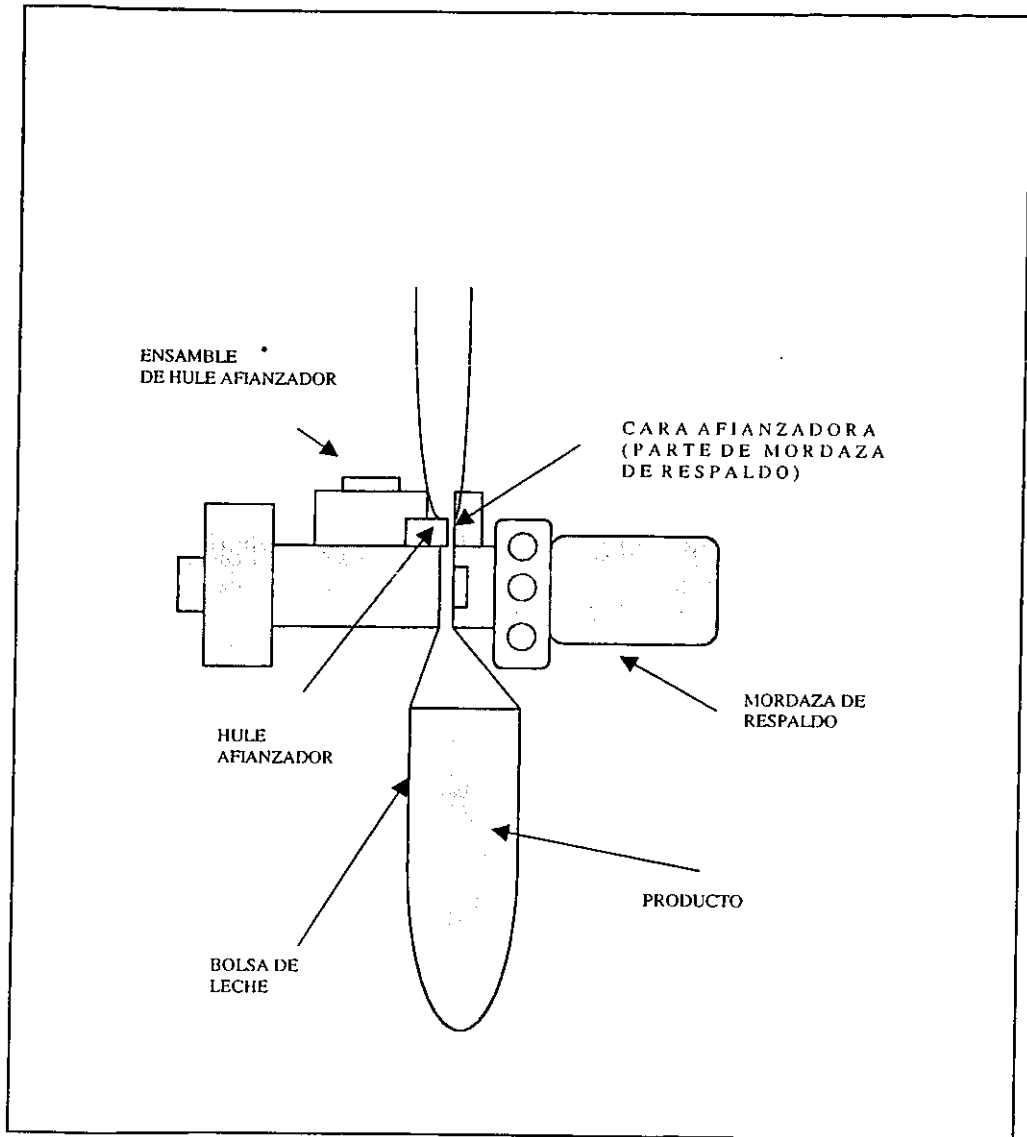


fig. 4.12 ENSAMBLE DE HULE AFIANZADOR Y DEFLECTOR DE BOLSA.



## **4.2 Disminución de mermas.**

La causa que inicialmente identificamos como problema, que originaba la variación en peso de las bolsas, fue una variación en el nivel del tanque de producto, por lo cual, nos enfocamos a estudiar manuales respectivos y a tomar lecturas de presión en la línea, en los suministros de aire y lecturas de señales neumáticas principalmente.

### **4.2.1 El sistema de llenado.**

La fig. 4.15, de la IS-7 incluye cuatro subsistemas principales: el tanque de producto, el tubo de llenado, el ensamble de válvulas de llenado y el actuador de la varilla de llenado.

Para asegurar la buena presión de llenado, el producto se debe suministrar al tanque a una presión constante. El propósito del tanque de producto es: mantener la precisión de llenado, al mantener constante el flujo del producto al resto del sistema de llenado. Esto se logra, mediante controles de nivel que mantienen un nivel constante de producto en el tanque y por tanto, una columna de producto en la válvula de llenado.

El producto fluye a través del tubo de llenado, que se extiende hacia abajo dentro del tubo de película, a un punto justo arriba de las mordazas horizontales. La cantidad real de producto que fluye en el tubo de película se controla mediante la válvula de llenado, en la base del tubo de llenado.

La válvula de llenado fig. 4.16, se encuentra en el extremo inferior de la varilla de llenado, que corre hacia arriba por dentro del tubo de llenado y está conectada al actuador de la varilla de llenado, en la parte superior de la máquina. Al elevar y descender la varilla de llenado, el actuador, controlado neumáticamente, abre y cierra la válvula, la cual ajusta en la base del tubo de llenado. A lo largo de la producción, la válvula de llenado permanece abierta, permitiendo que el producto fluya dentro del tubo de película de manera continua.

Para mantener el nivel de producto tan estable como sea posible, el tanque de producto se ajusta mediante un controlador de nivel, que incluye un flotador dentro del tanque. Un pequeño cambio en la posición del flotador activa la señal de salida neumática (3 - 15), que controla la posición de la válvula de suministro de producto, montada en la entrada del tanque de producto. Esta válvula es un posicionador MOORE 73N con el cuerpo de la válvula ensamblado (ACTUADOR). En la fig. 4.17 se muestra el control de nivel y en la figura 4.18 tenemos el posicionador Moore.

El tanque de producto se ventila mediante una tubería en el centro de la tapa. Durante la producción, por lo general existe una línea de ventilación sanitaria conectada a esta salida, mediante un conector de tres abrazaderas para dirigir todo producto al piso ó a un tanque de recuperación, en caso de que el tanque de producto rebase su nivel.

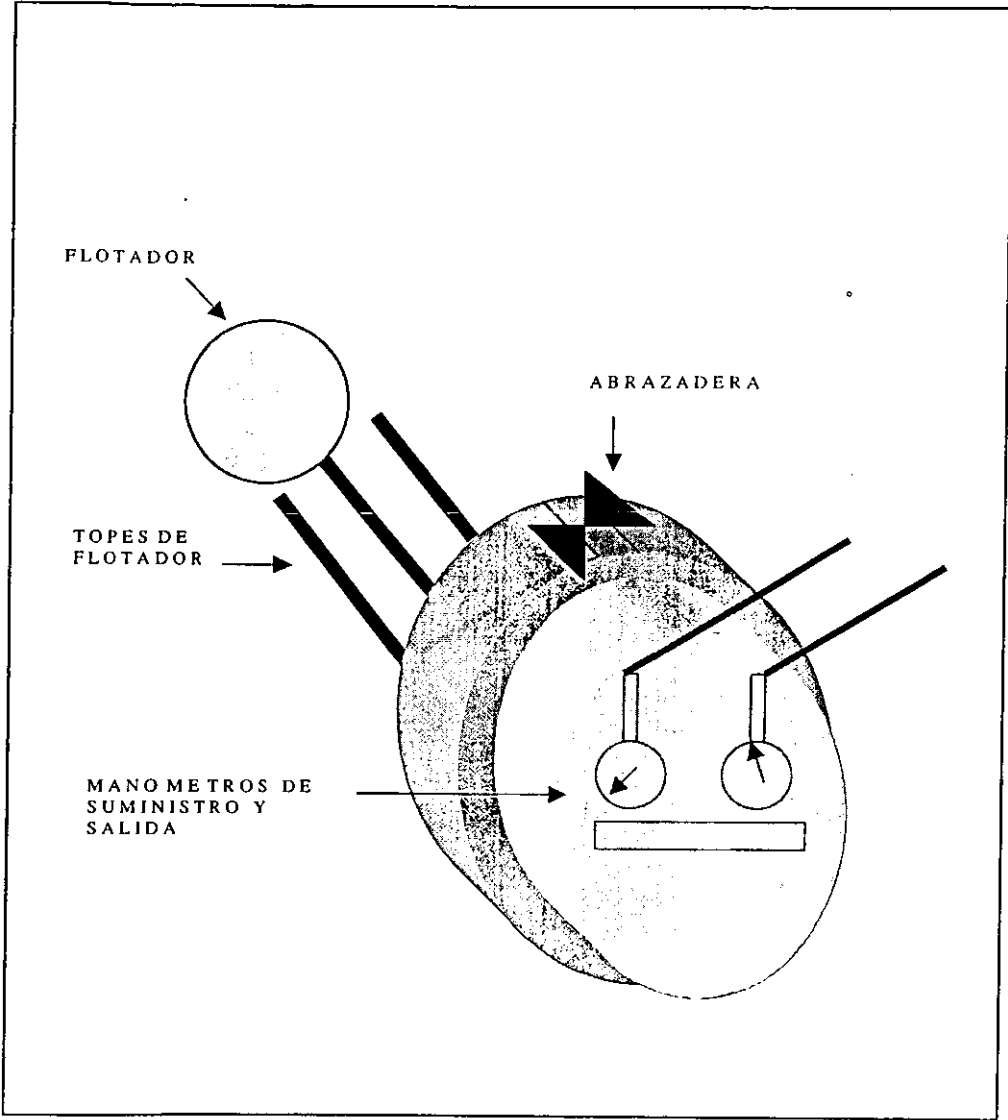


fig. 4.17 CONTROL DE NIVEL DE LIQUIDO.

#### 4.2.4 Válvula posicionadora MOORE 73N.

El modelo 73N es una válvula posicionadora que se monta directamente al actuador. Este equipo usa la fuerza ejercida por el aire y diafragmas en un actuador neumático con resorte. La acción de control de esta válvula es desplazando su vástago, para abrir o cerrar tuberías, tanques, etc. La señal de control que llega a la válvula, en nuestro caso, procede del controlador de nivel de flotador, que se tiene en el tanque de producto.<sup>24</sup>

La señal de control es 3 - 15 psi

Carrera de el vástago ¼ - 4"

Presión de suministro 90 psi máx.

Conexión

1/4 NPT

Actuador

2 1/2"

En la fig. 4.15 se muestra el circuito de llenado (inyección) de producto a las bolsas (tubo de polietileno).

La fig. 4.20 muestra el circuito completo de control de nivel y llenado a las bolsas. Este último es el circuito neumático hasta la señal que acciona al pistón de inyección.

---

<sup>24</sup> MOORE, SERVICE INSTRUCTIONS-SERIE 73N- VALVE POSITIONER, P. 1-9, 1991.

#### 4.2.9 Posibles soluciones y las implementadas.

Hechas las observaciones anteriores y tomando las mediciones que se consideran necesarias, en base al estudio del circuito de control neumático se encuentra el primer problema, que ocasionaba variación en peso de las bolsas.

Al efectuar la medición de suministro de aire y señal a válvula posicionadora, se observa que estaban intercambiadas las mangueras (de suministro y señal) en todas las 9 máquinas envasadoras. Por lo que el primer paso de solución fue; conectar adecuadamente el posicionador, además; se comprueba que las válvulas estén bien calibradas y todas responden a 3 - 15 psi. en su desplazamiento de carrera. Una vez corregido este primer problema, se tiene una mejoría notable en cuanto a variación de peso en las bolsas, ya que no pasaban ahora de 2100 gr.

El conocer el valor de presión del producto (60 psi.) en la línea, fig. 4.19, nos permite establecer de acuerdo a la gráfica presión del producto V.S. presión suministro de válvula, que la presión del producto vence al posicionador, permitiendo que entre producto al tanque aunque esté lleno. Es decir no cierra la válvula posicionadora. Por lo cual, se toma la determinación de reducir la presión en la línea de producto y aumentar la presión de suministro de aire al posicionador.

Aumentando la presión de suministro de aire al posicionador de 30 a 60 psi y realizando las conexiones necesarias en el circuito de control tenemos:

- Mejora el sellado de la válvula posicionadora, aunque no sella del todo.
- Sigue venciendo un poco la presión del producto a la válvula.
- Disminuyen las variaciones de peso en las bolsas a 2090 gr. como máximo.

Con las soluciones anteriores ya implementadas mejoró el control de nivel y la dosificación a las bolsas de leche fue más estable, pero aún no era suficiente. Por lo que se continuó con la opción de reducir la presión de producto a las máquinas.

Se decidió implementar la instalación de una válvula reguladora de presión a la entrada de cada máquina envasadora y reducir la presión a un máximo de 2 kg/cm<sup>2</sup>. Ya que el fabricante recomienda una presión de entrada de producto a la máquina de 1.5 a 2 kg/cm<sup>2</sup>.

Una vez instalada la válvula reguladora en una máquina y ajustada la presión de salida a 1.5 kg/cm<sup>2</sup> se observa disminuir otro poco el exceso en peso de las bolsas. Ahora tenemos un máximo en peso de las bolsas de 2080 gr.

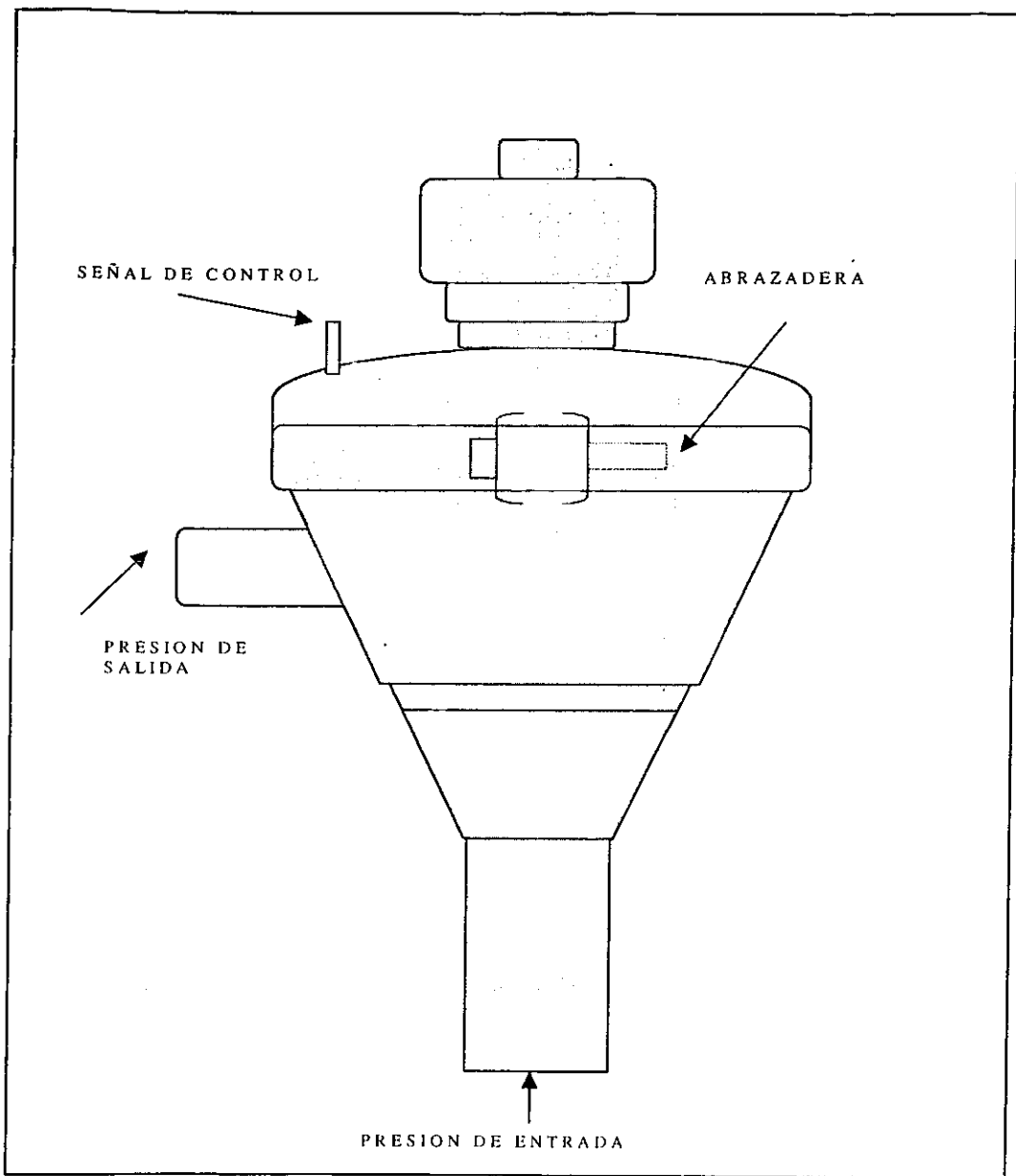
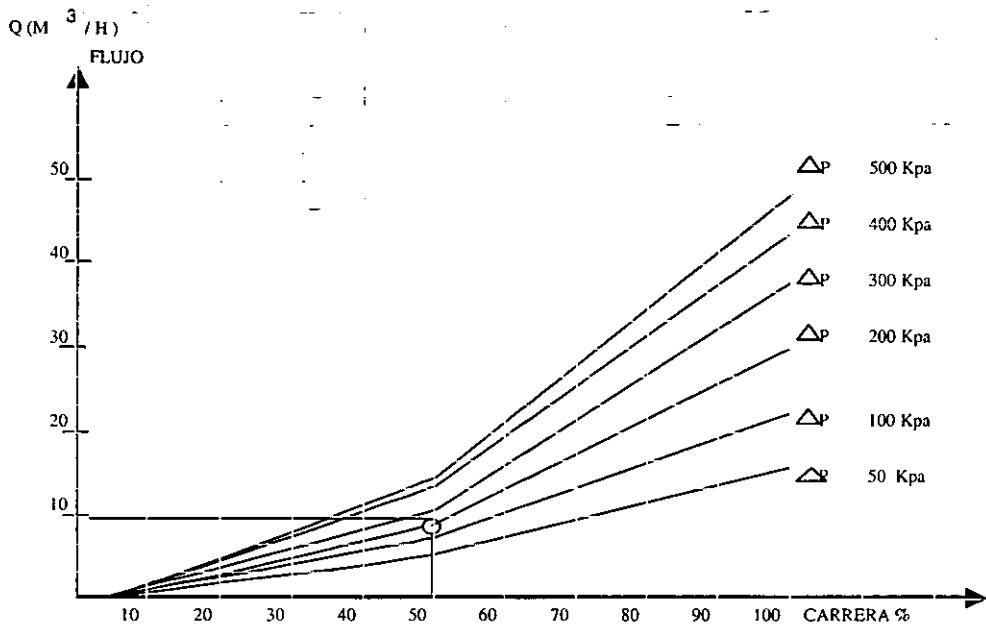
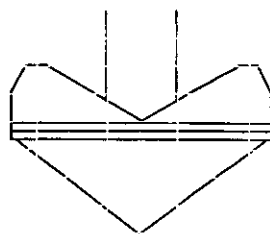


fig. 4.21 VALVULA REGULADORA DE PRESION LKM.



100000 Pascales = 1 Bar = 1.02 Kg/Cm<sup>2</sup>



VASTAGO DE VALVULA (OBTURADOR)

fig. 4.22

DIAGRAMA DE CAPACIDAD - CAIDA DE PRESION

Al tener el accesorio prototipo, para visualizar el nivel real de producto, se estuvo en condición de observar el nivel y poder calibrar y estandarizar en todas las máquinas un nivel similar. Este accesorio no se deja instalado de manera permanente por cuestión de sanidad, pero se emplea, cuando el mecánico reparador de la máquina tiene duda de la calibración del nivel.

Una vez que se logró tener un control en el peso de las bolsas aceptable, los operarios de las máquinas ajustan la inyección lo más aproximado al promedio de los límites inferior y superior permitido, teniendo con esto, bolsas con peso correcto. Además, se evita al máximo parar una máquina ó cabeza para evitar desestabilizar el nivel, por el cambio momentáneo de presión y flujo de producto.

En las siguientes líneas, se deducirán matemáticamente las relaciones empleadas para calcular las presiones, velocidad y gasto del fluido empleado para inyectarlo a las bolsas.

Sea la figura 4.23 una conducción por la que circula un fluido ideal. Escojamos un sistema de coordenadas cartesianas O-xyz. Sea un punto  $A_1 (x, y, z)$ . Sea  $A_1 A_2$  un elemento infinitesimal de la trayectoria de este punto que en régimen permanente coincidiría en la línea de corriente. Los puntos  $A_1 A_2$  están infinitamente próximos a una distancia  $ds$ . Sean  $v_x v_y v_z$  las componentes del vector  $v$ , velocidad del punto A;  $v$  será tangente a la trayectoria.<sup>26</sup>

En la figura 4.23  $A_1 A_2$  es un elemento diferencial  $ds$  de la trayectoria de una partícula de fluido. La velocidad en el punto  $A_1$  es  $v$  y en el punto  $A_2$  es  $v + dv$ . Si el régimen es permanente, la velocidad en un punto fijo del espacio ( $A_1$  o  $A_2$ ) no varía con el tiempo.

---

<sup>26</sup> CLAUDIO MATAIX, MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS, P. 96-98, 1988.

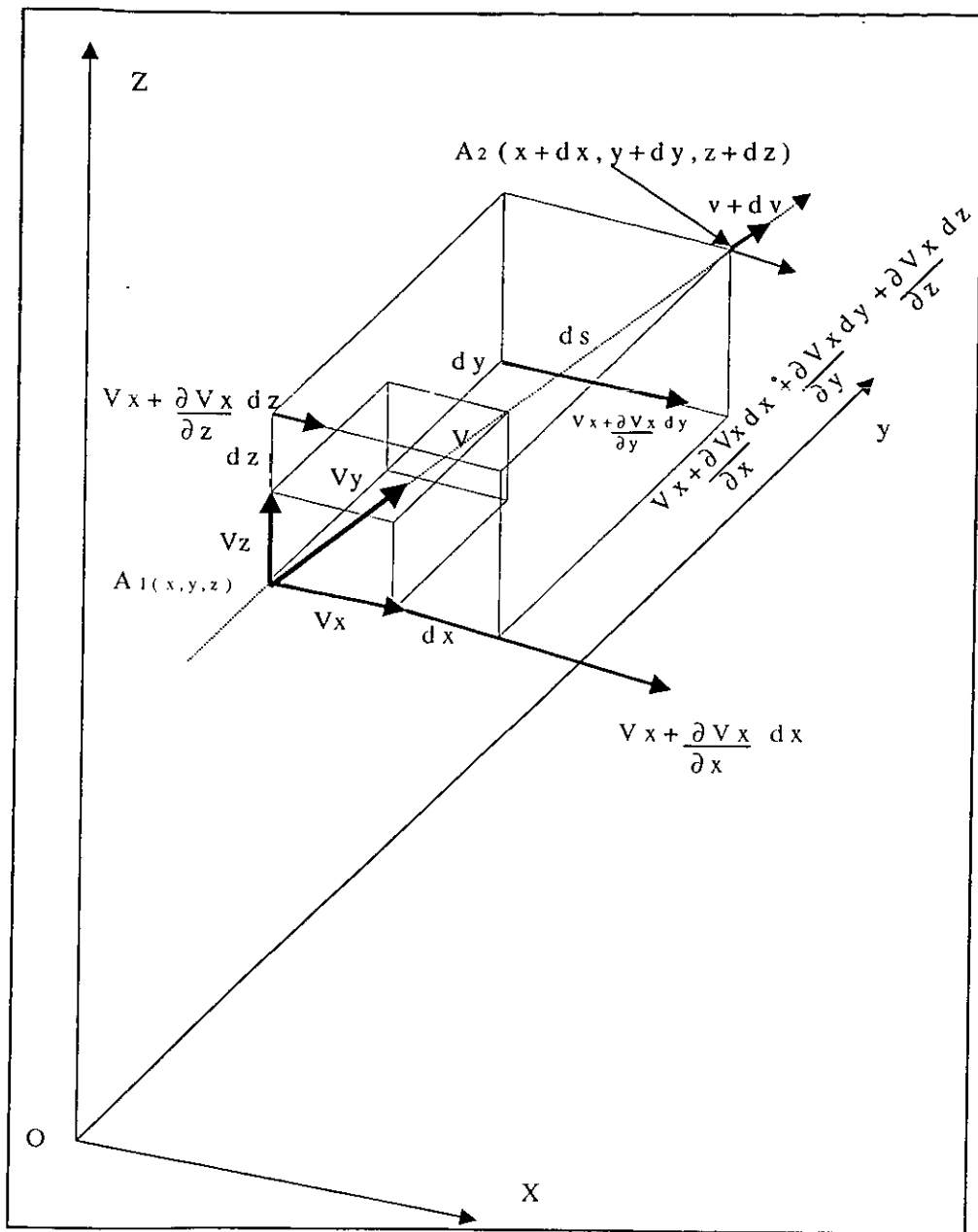


Fig. 4.23

ECUACIONES DIFERENCIALES DEL  
MOVIMIENTO DE UN FLUIDO IDEAL,  
O ECUACIONES DIFERENCIALES DE  
EULER.



En general, la velocidad  $v$  (y por lo tanto sus componentes  $v_x, v_y, v_z$ ) en cada punto del fluido dependerá del punto de que se trate y del tiempo que se considere.

Matemáticamente:

$$V_x = f_1(x, y, z, t)$$

$$V_y = f_2(x, y, z, t)$$

$$V_z = f_3(x, y, z, t)$$

En un instante  $t$  determinado estas ecuaciones nos dan la velocidad del fluido en cada punto del espacio, es decir, la configuración del flujo en ese instante; mientras que en un punto determinado  $(x, y, z)$ , las mismas ecuaciones nos dan la variación de la velocidad con el tiempo en ese punto.

Se tiene por tanto:

$$dv_x = \partial v_x / \partial t \, dt + \partial v_x / \partial x \, dx + \partial v_x / \partial y \, dy + \partial v_x / \partial z \, dz$$

$$dv_y = \partial v_y / \partial t \, dt + \partial v_y / \partial x \, dx + \partial v_y / \partial y \, dy + \partial v_y / \partial z \, dz \quad --1$$

$$dv_z = \partial v_z / \partial t \, dt + \partial v_z / \partial x \, dx + \partial v_z / \partial y \, dy + \partial v_z / \partial z \, dz$$

y dividiendo los dos miembros de las tres ecuaciones anteriores por  $dt$  se tiene:

$$dv_x / dt = \partial v_x / \partial t + v_x \partial v_x / \partial x + v_y \partial v_x / \partial y + v_z \partial v_x / \partial z$$

$$dv_y / dt = \partial v_y / \partial t + v_x \partial v_y / \partial x + v_y \partial v_y / \partial y + v_z \partial v_y / \partial z \quad --2$$

$$dv_z / dt = \partial v_z / \partial t + v_x \partial v_z / \partial x + v_y \partial v_z / \partial y + v_z \partial v_z / \partial z$$

Las ecuaciones anteriores nos dan las componentes de la aceleración en cada punto y cada instante de tiempo. Si el movimiento es permanente, en un punto cualquiera del espacio, la velocidad no varía con el tiempo; por tanto

$$\partial v_x / \partial t = \partial v_y / \partial t = \partial v_z / \partial t = 0 \quad --3$$

y por tanto, las ecuaciones número 2 de la aceleración en régimen permanente serán, teniendo en cuenta las ecuaciones número 3:

$$dv_x / dt = v_x \partial v_x / \partial x + v_y \partial v_x / \partial y + v_z \partial v_x / \partial z$$

$$dv_y / dt = v_x \partial v_y / \partial x + v_y \partial v_y / \partial y + v_z \partial v_y / \partial z \quad --4$$

$$dv_z / dt = v_x \partial v_z / \partial x + v_y \partial v_z / \partial y + v_z \partial v_z / \partial z$$

(ecuaciones de la aceleración en régimen permanente).

$$v_x \partial v_x / \partial x + v_y \partial v_x / \partial y + v_z \partial v_x / \partial z = - (1/\rho * \partial p / \partial x)$$

En la ecuación correspondiente al eje z, se ha de introducir en el segundo miembro la fuerza debida a la gravedad, indicada en la figura 4.24.

$$- \rho g dx dy dz$$

con lo que se obtienen las tres ecuaciones siguientes:

$$dv_x/dt = - (1/\rho * \partial p / \partial x)$$

$$dv_y/dt = - (1/\rho * \partial p / \partial y) \quad \text{--5}$$

$$dv_z/dt = - g - (1/\rho * \partial p / \partial z)$$

e introduciendo las ecuaciones de la aceleración se obtiene finalmente:

$v_x \partial v_x / \partial x + v_y \partial v_x / \partial y + v_z \partial v_x / \partial z = - (1/\rho * \partial p / \partial x)$	
$v_x \partial v_y / \partial x + v_y \partial v_y / \partial y + v_z \partial v_y / \partial z = - (1/\rho * \partial p / \partial y)$	--6
$v_x \partial v_z / \partial x + v_y \partial v_z / \partial y + v_z \partial v_z / \partial z = - g - (1/\rho * \partial p / \partial z)$	

(régimen permanente, fluido ideal e incomprensible, la fuerza de la gravedad es la única fuerza exterior).

En régimen uniforme la aceleración es igual a cero. Si suponemos, en primer lugar que las líneas de corriente son horizontales y escogemos el eje x en la dirección de la corriente, el eje y horizontal y perpendicular a dicha dirección y el eje z vertical, la tercera ecuación 5 se reduce a:

$$0 = - g - (1/\rho * \partial p / \partial z)$$

$$\partial p / \partial z = - \rho g$$

$p = - \rho g z + C$
----------------------

O sea  $p + \rho g z + C = \text{cte}$  es la ecuación de la hidrostática. Si el régimen es uniforme y las líneas de corriente no son horizontales, eligiendo de nuevo la dirección de la corriente como eje  $x$  y como ejes  $y, z$  dos ejes perpendiculares entre sí, situados en el plano transversal, la integración de las dos ecuaciones correspondientes a los ejes  $y, z$  convenientemente planteadas, nos conduciría de nuevo a la misma ecuación de la hidrostática.

Tomando las ecuaciones número 5, y multiplicando la primera ecuación por  $dx$ , la segunda por  $dy$  y la tercera por  $dz$ , tendremos:

$$dv_x/dt dx = -(1/\rho * \partial p/\partial x) dx$$

$$dv_y/dt dy = -(1/\rho * \partial p/\partial y) dy \quad \text{--7}$$

$$dv_z/dt dz = [-g - (1/\rho * \partial p/\partial z)] dz$$

Sumando miembro a miembro las tres ecuaciones anteriores:

$$dv_x/dt dx + dv_y/dt dy + dv_z/dt dz = -g dz - (1/\rho)[\partial p/\partial x dx + \partial p/\partial y dy + \partial p/\partial z dz] \quad \text{--8}$$

como:  $dx/dt = v_x$  ;  $dy/dt = v_y$  ; y  $dz/dt = v_z$ ,

El primer miembro de la ecuación 8 se transforma en:

$$v_x dv_x + v_y dv_y + v_z dv_z = \frac{1}{2} d(v^2_x + v^2_y + v^2_z) = \frac{1}{2} d(v^2)$$

Si se diferencia el segundo miembro se obtiene el primero, lo que demuestra la validez del primer signo igual. Por otra parte, el cuadrado de la diagonal  $v$  de un paralelepípedo es igual a la suma de los cuadrados de sus aristas  $v_x, v_y, v_z$ , lo que demuestra la validez del segundo signo igual.

Al suponer que el régimen es permanente,  $p$  no es función de  $t$ , y su diferencial total será:

$$dp = \partial p/\partial x dx + \partial p/\partial y dy + \partial p/\partial z dz$$

con lo cual la ecuación 8 se transforma en:

$$dp/\rho + g dz + [d(v^2)/2] = 0$$

integrando esta última ecuación, entre dos puntos cualquiera 1 y 2, situados en una misma línea de corriente, que en régimen permanente coincide con la trayectoria del movimiento y siguiendo con la hipótesis de un fluido incomprensible ( $\rho = C$ ), se tiene:

$$p_1/\rho + gz_1 + v_1^2/2 = p_2/\rho + gz_2 + v_2^2/2 \quad --9$$

que nos dice, que la suma  $p/\rho + gz + v^2/2$  es constante a lo largo de una misma línea de corriente, ya que los puntos 1 y 2 son dos puntos cualesquiera de esta línea, o sea:

$$p/\rho + gz + v^2/2 = C \quad --10$$

dividiendo los dos miembros de esta última ecuación por g se tiene:

$$p/\rho g + z + v^2/2g = C \quad --11$$

o bien:

$$p_1/\rho g + z_1 + v_1^2/2g = p_2/\rho g + z_2 + v_2^2/2g = C \quad --12$$

Las ecuaciones 9-12 son expresiones diversas de la ecuación de Bernoulli para un hilo de corriente, que según las hipótesis establecidas en su deducción, son solamente válidas para el fluido ideal e incomprensible que se mueve en régimen permanente. Además, los puntos entre los que se establecen estas ecuaciones se suponen que están situados en una misma línea de corriente.

**Haciendo cálculos para el agua, demostrando como influye la variación de nivel en el gasto de salida del tanque de producto.**

El volumen de fluido que saldrá del depósito a través de la salida para inyectarlo a las bolsas de leche se calculará considerando que es un depósito abierto.

Aplicaremos la ecuación de Bernoulli tomando en cuenta la figura 4.25.

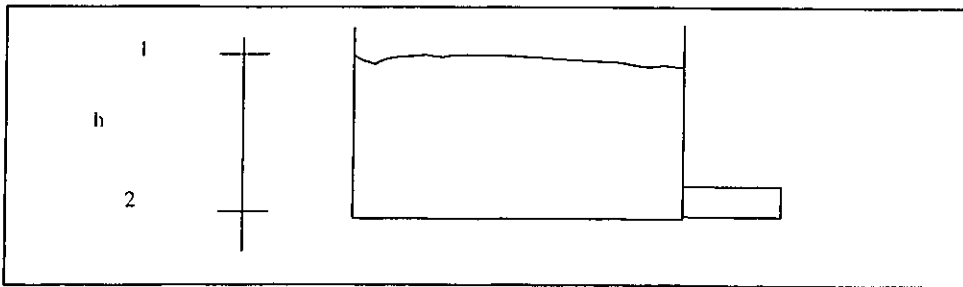


Fig. 4.25 DEPOSITO ABIERTO

1 es la parte superior de nivel.

2 es el orificio de salida.

Si  $p_1 = p_2$  ya que están a la atmósfera.

$h_1 = 1$  (altura 1)

$h_2 = 2$  (altura 2)

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + h_1 \rho g = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + h_2 \rho g$$

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + h_1 \rho g = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + h_2 \rho g$$

Si el tanque es grande  $v_1$  se puede aproximar a cero. Resolvemos para  $v_2$ , y se obtiene la ecuación de Torricelli:

$$h_1 \rho g = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + h_2 \rho g$$

$$\rho = \text{cte}$$

$$h_1 g = \frac{1}{2} v_2^2 + h_2 g$$

$$h_1 g - h_2 g = \frac{1}{2} v_2^2$$

$$(h_1 - h_2) g = \frac{1}{2} v_2^2$$

$$2g (h_1 - h_2) = v_2^2$$

$$v_2 = (2g (h_1 - h_2))^{1/2} \quad 28$$

el flujo está dado por:

$$Q = A V_2$$

$$P = \delta h = 1000 \text{ Kg/m}^3 * 1.46 \text{ m} = 1460 \text{ Kg/m}^2 \quad L = 146 \text{ cm} = h$$

(deseada)

para una mayor altura:

<sup>28</sup> FREDERICK J. BUECHE, PH. D., FISICA GENERAL, MC GRAW HILL, P.133, MEXICO,1982.

Teniendo un incremento en el nivel de producto de 2 centímetros calcularemos la presión, velocidad y gasto del producto.

$$P = 1000 \text{ Kg/m}^3 * 1.48 = 1480 \text{ Kg/m}^2 \quad L = 148 \text{ cm}$$

$$\phi = \text{coeficiente de fricción} = 1 \quad h = \text{altura}$$

$$V_{146} = \phi (2gh)^{1/2} = 1 (2 (9.81) \text{ m/s}^2 (1.46 \text{ m}))^{1/2} = 5.3521 \text{ m/s}$$

$$V_{148} = \phi (2gh)^{1/2} = 1 (2 (9.81) (1.48))^{1/2} = 5.3886 \text{ m/s}$$

$$Q = \phi \varepsilon A (2gh)^{1/2} ; A = \Pi r^2 = \Pi (1.25)^2 ; \quad = 4.9 \text{ cm}^2$$

$\varepsilon$  = coeficiente de contracción = 1 para orificios con bordes redondeados.

$r$  = radio del tubo de la boquilla del tubo de inyección.

Calculando el caudal para una altura con dos centímetros de diferencia:

$$h = 146 \text{ cm}$$

$$Q = 1 (1) (4.9) / 1000 * (2 (9.81) (1.46))^{1/2} = 157.3515 \text{ lt/min.}$$

Para  $h = 148$

$$Q = 1 (1) (4.9) / 1000 * (2 (9.81) (1.48))^{1/2}$$

$$Q = 158.4 \text{ lt/min}$$

Como puede observarse de los cálculos anteriores, con un pequeño cambio en el nivel de producto cambia la presión, velocidad y gasto en el suministro de producto a cada bolsa de leche. Por lo cual, es importante que el nivel lo mantengamos lo más estable posible.

Calculando el caudal en la boquilla de inyección a diferentes alturas de nivel en el tanque de producto; Tabulando y graficando tenemos en la figura 4.26 lo siguiente:

$$Q = A * V$$

ALTURA H (cm)	CAUDAL Q (lt/min)
140	154.08
142	155.18
144	156.27
146	157.35
148	158.42
150	159.49
152	160.55

fig. 4.26a

CAUDAL EN LA BOQUILLA DE INYECCIÓN.

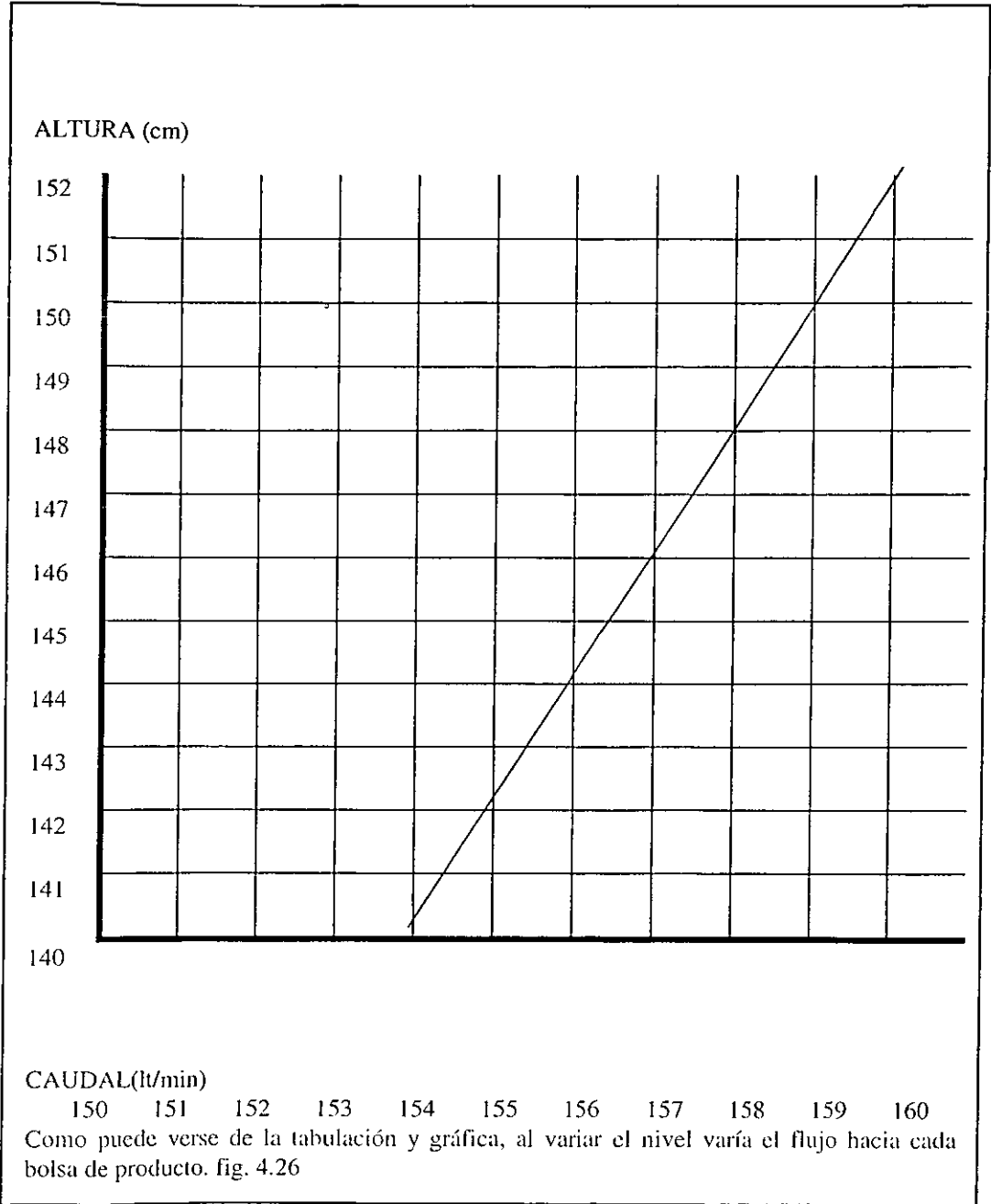


fig. 4.26b GRAFICA CAUDAL-ALTURA.



El volumen deseado en cada bolsa es de 2000 ml.

$$V = 2000 \text{ ml}$$

y si tenemos :  $\delta = W / V$

donde:  $\delta =$  peso específico

$W =$  peso

$V =$  volumen

$$W = \delta * V$$

Si tenemos en el producto un peso específico de  $1.029 \text{ gr/cm}^3$

sustituyendo valores.

$$W = 1.029 (2000) = 2058 \text{ gr}$$

El rango de peso aceptado por control de calidad es de 2059-2070 gr.

Si tenemos un peso en la bolsa 2070 gr tendremos un sobrevolumen de:

$$W = \delta * V ; \quad V = W / \delta = 2070 / 1.029 = 2011.66 \text{ ml.}$$

Por lo que el sobrevolumen es de 11.66 ml.

Deducción matemática de la expresión de presión, empleada para calcular la carga hidrostática en la inyección de producto a las bolsas. Sea la figura 4.27 una porción de líquido (elemento diferencial).

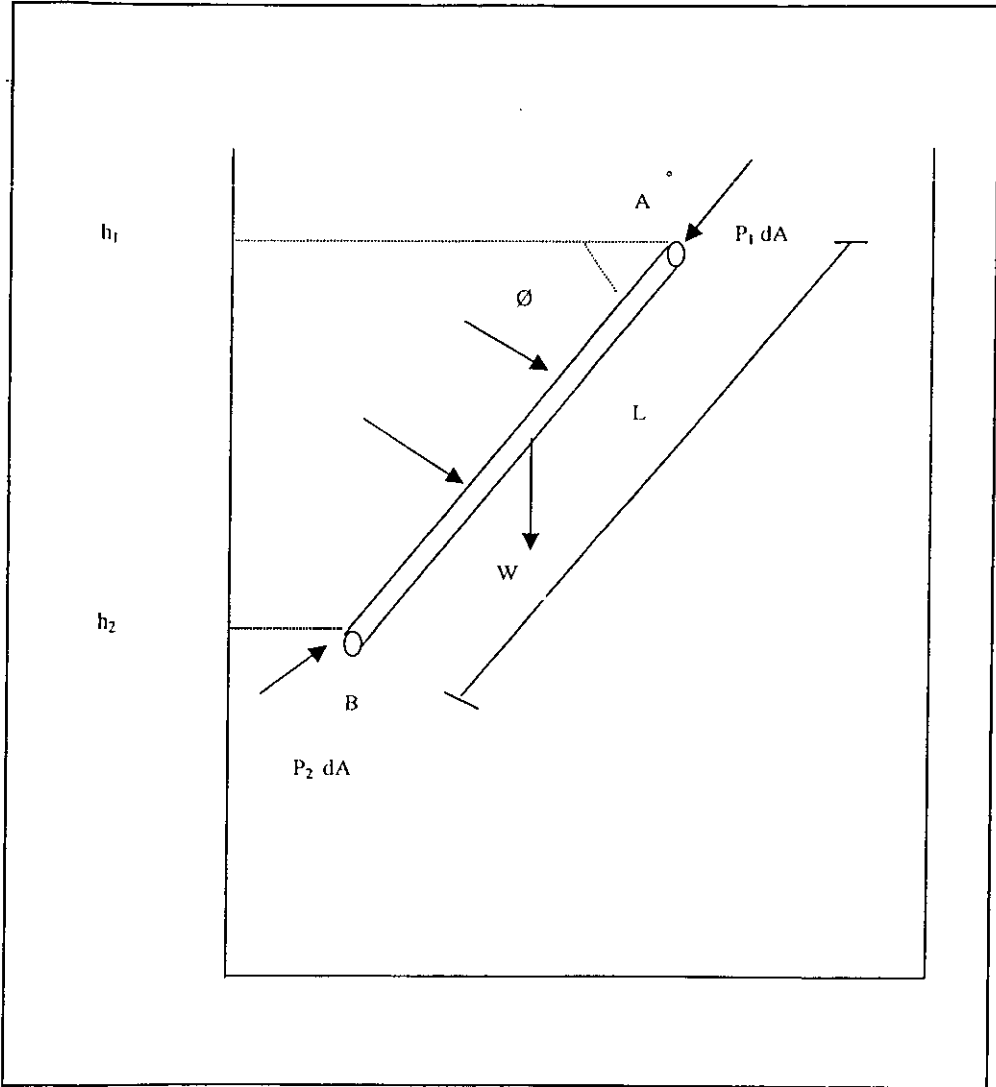


fig. 4.27 PORCION DE LIQUIDO (ELEMENTO DIFERENCIAL).

#### **4.2.10 Opción de solución no implementada por inconveniencia.**

También se pensó en la opción de reducir la presión en cada una de las tres líneas de envasado (no por máquina). La idea era la de reducir el diámetro de los impulsores de las bombas, pero, esta idea se desechó porque se reducía el gasto y esto era inconveniente para el volumen de producto que se necesitaba.

La otra idea que pensó el área de ingeniería de planta fue; el de fabricar un depósito de producto más grande (alto) para tener mayor nivel. Desde un inicio de esta idea, comentamos con ellos que no ayudaría en nada, ya que la presión de la descarga en la inyección sólo aumentaría, pero seguiría teniendo las variaciones, por lo que sugeríamos fabricar el depósito más grande, pero a lo ancho. Ya que la presión del producto en este caso depende de la altura de la carga hidrostática.

Una opción que se está analizando en estos momentos y que para nosotros es la mejor, consiste en la instalación de variadores de frecuencia en las tres líneas de envasado. Con esto, podríamos garantizar una presión constante de producto al depósito, sería también necesario instalar sensores de presión con sello químico. Con estos equipos instalados se reduciría al máximo la variación de peso en las bolsas de leche. La razón por la que no se ha implementado es por la inversión que es alta, pero se realizara, ya que los beneficios lo justifican.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- CATALOGO COMPAÑIA BALLUFF.  
SENSORES CAPACITIVOS DE PROXIMIDAD BCS.  
ED: COMPAÑIA FRED A.
- 2.- CATALOGO COMPAÑIA INVALCO.  
MEDIDOR DE FLUJO INVALCO TIPO TURBINA WS  
ED: COMPAÑIA INVALCO  
1983
- 3.- CATALOGO COMPAÑIA INVALCO.  
DIVISOR DE FRECUENCIA W-300 CM  
ED: COMPAÑIA INVALCO  
1978
- 4.- CATALOGO COMPAÑIA MOORE  
VALVULA POSICIONADORA MOORE 73 N  
ED: COMPAÑIA MOORE  
1981
- 5.- CATALOGO COMPAÑIA TRI-CLOVER INC  
CONTROL DE NIVEL LLC- 93 MOD. 30-101  
ED : COMPAÑIA TRI-CLOVER INC.
- 6.- CATALOGO COMPAÑIA TRI CLOVER INC.  
VALVULAS ACTUADAS POR AIRE 361 . 361 TR . 371  
ED: TRI-CLOVER INC.
- 7.- CATALOGO COMPAÑIA CVC  
VIBRADORES . BOLLETIN AV-78  
ED: COMPAÑIA CVC
- 8.- CATALOGO COMPAÑIA APC  
VALVULAS ACTUADAS POR AIRE CATALOGO 01-90  
ED: COMPAÑIA APC
- 9.- CATALOGO COMPAÑIA BECKMAN INDUSTRIAL  
REGISTRADOR 2500  
ED: COMPAÑIA BECKMAN INDUSTRIAL
- 10.- CATALOGO COMPAÑIA APV. CREPACO  
SENSOR DE NIVEL CON - P - 360314  
ED: CATALOGO COMPAÑIA APV