

39  
24



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## “DISEÑO DE UN CONTROLADOR AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE PREEXPANSION DE POLIESTIRENO EXPANSIBLE”.

### T E S I S

Que para obtener el Título de:

**Ingeniero Mecánico Electricista**

Presentan:

- JOAQUIN CORTES ROMERO
- MARCELO A. GALINDO MELENDEZ
- JUAN MANUEL NAJERA PEREZ
- JUAN FERNANDO SANCHEZ BUSTAMANTE
- CARLOS NICOLAS VAZQUEZ MARTIN

Director de Tesis:  
M. en I. JUAN CARLOS ROA BEIZA



MEXICO, D. F.

1989.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

**DISEÑO DE UN CONTROLADOR  
AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE  
PREEXPANSIÓN DE POLIESTIRENO  
EXPANSIBLE**

---

## **INDICE**

---

---

**INTRODUCCION**

1

---

**CAPITULO I**

4

**I PROCESO DE PREEXPANSION DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE**

5

**I.a MATERIA PRIMA**

5

- I.a.1 OBTENCION DE LA ESPUMA DE POLIESTIRENO..... 5
- I.a.2 MANIPULACION PARA OBTENER ESPUMAS..... 6
- I.a.3 ALMACEN DE MATERIA PRIMA..... 7
- I.a.4 PREEXPANSION, COLOREAMIENTO Y CONTROL DE FABRICA..... 13

**I.b VAPOR DE AGUA COMO PORTADOR DE ENERGIA EN LA ELABORACION DE ESPUMA DE POLIESTIRENO**

28

- I.b.1 DEFINICIONES Y UNIDADES DE MEDIDA A UTILIZAR..... 29
- I.b.2 TRANSICION DE FASES..... 29
- I.b.3 PROCESOS TERMODINAMICOS EN LA INSTALACION DE VAPOR..... 34
- I.b.4 OBSERVACIONES  
TEORICAS SOBRE INSTALACIONES COMPLETAS..... 42

**I.c PREEXPANSION DE ESPUMA DE POLIESTIRENO**

80

- I.c.1 CONSIDERACIONES PREVIAS..... 50
- I.c.2 LA PREEXPANSION EN LA PRACTICA..... 54

**I.d MAQUINAS DE PREEXPANSION**

62

- I.d.1 PREEXPANSOR CONTINUO..... 63
- I.d.2 PREEXPANSOR DISCONTINUO..... 66

**I.e PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE**

89

- I.e.1 TIPOS DE ESPUMA DE POLIESTIRENO..... 71
- I.e.2 DENSIDAD DEL PRODUCTO..... 74
- I.e.3 RIGIDEZ DINAMICA..... 80

● I.a.4	ABSORCION DEL SONIDO POR LAS ESPUMAS DE POLIESTIRENO .....	82
● I.a.5	ESTABILIDAD DIMENSIONAL .....	82
● I.a.6	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA .....	84

## CAPITULO II

86

### II TRANSDUCTORES 87

<b>II.a</b>	<b>VARIABLES A REGISTRAR</b>	<b>87</b>
● II.a.1	TEMPERATURA Y SU MEDICION .....	88
● II.a.2	PRESION .....	93
● II.a.3	VALVULAS NEUMATICAS .....	99
● II.a.4	TIPOS DE VALVULAS .....	99
● II.a.5	FORMAS DE CONSTRUCCION .....	102
● II.a.6	CLASIFICACION DE LAS VALVULAS POR LA FORMA DE MONTAJE .....	102
● II.a.7	ACCIONAMIENTO DE LAS VALVULAS .....	102
● II.a.8	VALVULAS DE SOLENOIDE .....	103
● II.a.9	CLINDROS NEUMATICOS .....	105
<b>II.b</b>	<b>CARACTERISTICAS Y SELECCION DE CADA UNO DE LOS TRANSDUCTORES</b>	<b>112</b>
● II.b.1	TRANSDUCTOR SENSIBLE A MATERIALES FERROMAGNETICOS CON MAGNETORRESISTENCIA .....	112
● II.b.2	TRANSDUCTOR QUE UTILIZA RADIACION VISIBLE .....	115
● II.b.3	TRANSDUCTOR DE RESISTENCIA VARIABLE .....	119
● II.b.4	TRANSDUCTOR DE CELDA FOTOVOLTAICA .....	120
● II.b.5	SELECCION DE TRANSDUCTOR A UTILIZAR .....	122
● II.b.6	TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA .....	124
● II.b.7	SENSOR DE PRECISION DE TEMPERATURA DE GRADOS CENTIGRADOS (SERIBLM35) .....	126
● II.b.8	SELECCION DE TRANSDUCTOR A UTILIZAR .....	128
● II.b.9	TRANSDUCTORES DE PRESION .....	128
● II.b.10	SELECCION DE TRANSDUCTOR A UTILIZAR .....	131
<b>II.c</b>	<b>LOCALIZACION OPTIMA DE LOS TRANSDUCTORES</b>	<b>133</b>
● II.c.1	SECUENCIA DE OPERACION .....	133

<b>II.d</b>	<b>DISEÑO DE LA INTERFAZ PARA CADA UNO DE LOS TRANSDUCTORES</b>	<b>137</b>
• II.d.1	INTERFAZ PARA SENSOR DE TEMPERATURA	137
• II.d.2	INTERFAZ PARA SENSOR DE PRESION	138
• II.d.3	INTERFAZ PARA LA SEÑAL DE NIVEL	139
• II.d.4	INTERFAZ PARA LAS SEÑALES DE MANDO	142
<b>II.e</b>	<b>BLINDAJE DE LAS SEÑALES HACIA SUS RESPECTIVAS INTERFAZES</b>	<b>143</b>
• II.e.1	RUTA TIPICA DEL RUIDO	144
• II.e.2	USO DE LA TEORIA DE REDES	145
• II.e.3	METODOS DE ACOPLAMIENTO DE RUIDO	148
• II.e.4	SELECCION DEL TIPO DE CABLE Y BLINDAJE	176
<b>CAPITULO III</b>		<b>178</b>
<b>III</b>	<b>M.C.U.</b>	<b>179</b>
<b>III.a</b>	<b>UNIDAD CENTRAL DE PROCESO M.C.U</b>	<b>180</b>
• III.a.1	PRINCIPIO DE OPERACION Y CARACTERISTICAS	180
<b>III.b</b>	<b>CARACTERISTICAS Y SELECCION DEL TECLADO</b>	<b>189</b>
• III.b.1	GENERALIDADES	189
• III.b.2	ACTUADORES	190
• III.b.3	TECLAS	200
• III.b.4	REALIMENTACION FISIOLOGICA	207
• III.b.5	FORMATOS	208
• III.b.6	MODOS	213
• III.b.7	PRESION SIMULTANEA DE VARIAS TECLAS	218
• III.b.9	INTERFAZ	234
• III.b.10	SELECCION DEL TECLADO	237
<b>III.c</b>	<b>SISTEMAS DE VISUALIZACION Y PREVENCION</b>	<b>238</b>
• III.c.1	SISTEMAS DE VISUALIZACION Y PREVENCION	238

III.d DESARROLLO DEL SOFTWARE NECESARIO	248
• III.d.1 CIRCUITO DE CONTROL	248
• III.d.2 PROGRAMA DE CONTROL	251

---

CONCLUSION	308
------------	-----

---

BIBLIOGRAFIA	308
--------------	-----

---

APENDICES	311
-----------	-----

## **INTRODUCCION**

---

## INTRODUCCION

Actualmente, nuestro país se encuentra en una etapa de recesión económica, lo cual ha llevado a las empresas a desarrollar estrategias que les permitan obtener una posición más favorable dentro del mercado. Para lograrlo, se ha requerido fundamentalmente, mejorar la calidad de sus productos con el fin de satisfacer las exigencias del mercado nacional y a la vez proyectarse, para competir en los mercados internacionales.

Como consecuencia de esto, las empresas han planteado la necesidad de mejorar los procesos de manufactura o producción, implementando controles más eficientes y estrictos incluso, haciendo uso de la más moderna tecnología. Sin embargo, aun cuando los procesos automatizados están en plenitud en otros países del mundo, en el nuestro no se ha manifestado en su totalidad la necesidad de automatizar los procesos de producción, los cuales aún se desarrollan en forma manual o semiautomática. No obstante, al seguir aumentando la participación de la industria nacional en los mercados internacionales, se hace cada vez más evidente la necesidad de aplicar estos recursos.

Trasladando esta problemática a nivel microeconómico, se buscó con este trabajo, dar solución a un problema en particular que permitirá optimizar el proceso de producción de la espuma de poliestireno, para lo cual se diseñó un controlador programable que permitirá automatizar el proceso de preexpansión del poliestireno expansible.

Este trabajo está dividido en tres capítulos, en el primero de ellos se plantea el problema, dando a conocer la naturaleza del proceso, los materiales y los equipos utilizados, así como las actividades y precauciones requeridas por el mismo. El segundo capítulo contiene el análisis, selección y diseño de los dispositivos que permitirán supervisar y controlar el proceso, a través de un circuito electrónico. En el tercer capítulo se proporciona el desarrollo del circuito controlador, el "software" requerido por el mismo y la manera como se protegen las señales utilizadas.

A lo largo de este trabajo siempre se deberá tener en mente las condiciones planteadas en el objetivo, ya que serán la base para alcanzar el éxito deseado.

## **CAPITULO I**

---

## **I PROCESO DE PREEXPANSION DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE**

### **I.a. MATERIA PRIMA**

La materia prima de este proceso es el producto denominado poliestireno expansible. A continuación se describe su obtención y delineamientos generales para el manejo del mismo.

#### **I.a.1 OBTENCION DE LA ESPUMA DE POLIESTIRENO**

La base de la espuma de poliestireno es el estireno, un compuesto, cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno.

Este se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión. Las adiciones de estos pueden influir en las propiedades del futuro cuerpo expandido. Gracias a la mezcla previa con agua, el estireno que contiene el agente de expansión, tras la polimerización en un reactor, se convierte en poliestireno, en forma de pequeñas gotas o perlas. Estas se preparan (lavado y secado) y se clasifican, según su tamaño, mediante tamices. El poliestireno expansible ya acabado se envía en barriles herméticamente cerrados a las fábricas elaboradoras de espuma de poliestireno.

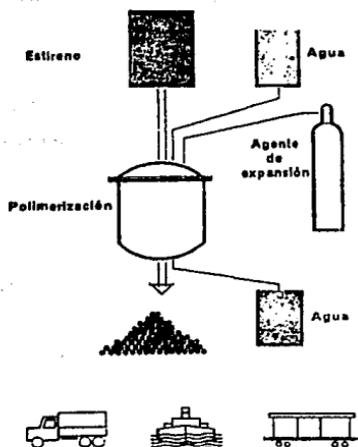


Figura I.a.1

### I.a.2 MANIPULACION PARA OBTENER ESPUMAS

Durante la manipulación, la perla de estireno se somete al agua caliente o al vapor. Con ello se ablanda, después el agente de expansión se dilata y expande las perlas hasta un volumen 50 veces superior al original. La duración e intensidad de la acción determina la densidad del producto (proceso de preexpansión).

Tras un reposo intermedio, durante el cual se difunde aire en las partículas preexpandidas, éstas se llevan a un molde y se

tratan de nuevo con vapor, inflándose y adheriéndose (proceso de expansión).

El bloque así obtenido se corta en placas con alambres incandescentes, con sierras o se expande en seguida en forma de placa. Parte de las placas, para efectos de aislamiento acústico, se tratan posteriormente, mediante un revestido o laminado.

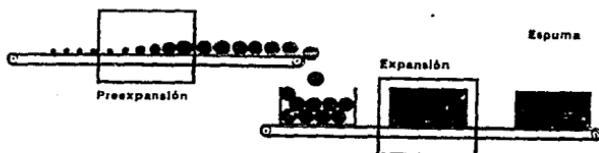


Figura I.a.2

### I.a.3 ALMACEN DE MATERIA PRIMA

Para poder producir de manera económica y alcanzar propiedades constantes de los productos a base de materiales expandidos de perla de estireno es necesario que el fabricante controle continuamente la elaboración de los productos.

Las propiedades de la pieza acabada se han de someter a un control de calidad y depende del fin de aplicación. Así por ejemplo, para placas aislantes de calor son decisivas otras características de calidad que para las piezas de envases. Por esta razón, es necesario vigilar el proceso desde la recepción de la materia prima hasta la finalización del mismo. Ya que, este control se verá reflejado en la calidad del producto final. A continuación se detalla los requerimientos recomendados para el manejo de la materia prima en el proceso de producción.

#### **1.a.3.1 SUPERFICIE NECESARIA**

Normalmente se planea la capacidad necesaria del almacén de materia prima para el consumo mínimo de una semana.

En caso de fábricas grandes es aconsejable prever la capacidad del almacén de materia prima de tal manera que sea posible adquirir una carga completa de camión o vagón de ferrocarril. De cualquier manera hay que disponer de, por lo menos, una reserva.

Para el almacenamiento de tambores, en caso de recibir la materia prima en estos, hay que disponer por tonelada de material de 6-7 m<sup>2</sup> de superficie, incluyendo en este valor los caminos de transporte.

En caso de recibir contenedores de cartón, la superficie necesaria es de sólo de 3-5 m<sup>2</sup>.

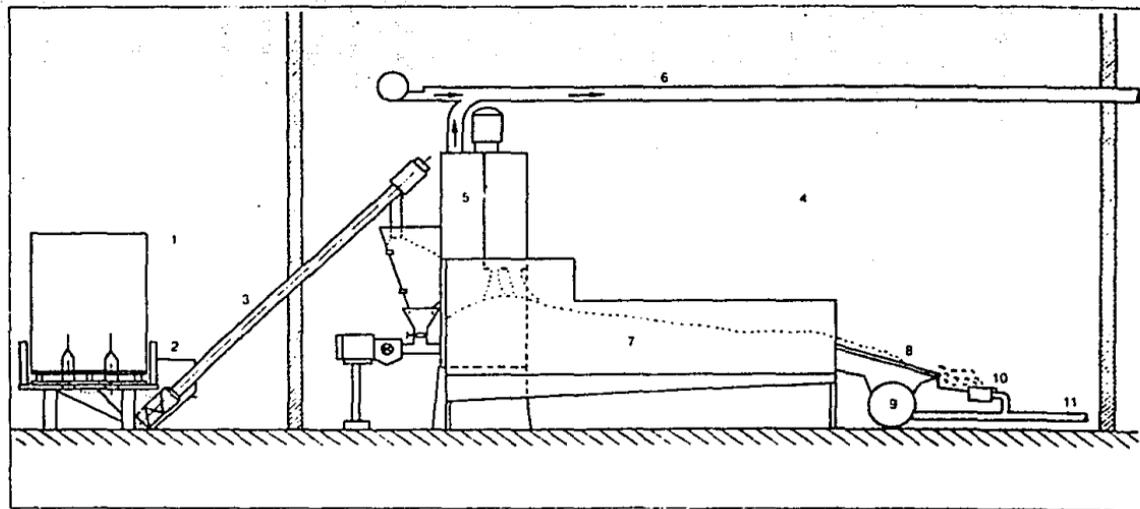
En el diseño de una fábrica de tamaño medio se debe prever el almacenamiento de contenedores de cartón en un sólo nivel, para poder disponer de una capacidad suficiente de apilado en dos niveles, en caso de querer ampliar la fábrica.

Además de ello hay que prever otros 5 m<sup>2</sup> (incluyendo los caminos de transporte) para una estación alimentadora de los contenedores de cartón (fig. 1.a.3).

#### I.a.3.2 MEDIDAS ESPECIALES DE CONSTRUCCION

La materia prima deber ser almacenada en recintos cerrados. En relación a las medidas de seguridad se entiende como carga de incendio la cantidad almacenada en kg por m<sup>2</sup> de superficie de almacén. En el cálculo de la carga de incendio hay que partir siempre, independientemente de la cantidad almacenada momentáneamente, desde el punto de vista que el almacén esté completamente lleno. En caso de que la carga de incendio en el almacén, tratandose de almacenamiento de tambores, no supere 400 kg/m<sup>2</sup>, hay que separar el almacén de los recintos restantes por medio de elementos de construcción resistentes al fuego.

Figura 1.a.3



Transporte de materia prima. Secado, tamizado y transporte

1 Almacén de materia prima

2 Instalación recogedora de materia prima

3 Husillo mecánico de transporte de materia prima

4 Recinto de preexpansión

5 Preexpansor

6 Desviación del vapor sobrante

7 Secador o lecho fluido

8 Tamiz a arpa

9 Esclusa transportadora de rueda celular

10 Molino pequeño para separar aglomeraciones

11 Tubería de transporte

En caso de que la carga de incendio supere estos valores se tendrá que proveer paredes contra incendio según norma DIN 4102 (por ejemplo almacenando contenedores de cartón).

En caso de almacenar menos de 5 ton. en tambores, no hace falta una separación constructiva.

Todas las instalaciones eléctricas tienen que ser realizadas según normas para fábricas con riesgo de incendio.

Para facilitar la entrega de la materia prima se aconseja montar una rampa delante del almacén de la misma.

#### **I.a.3.3 VENTILACION, TEMPERATURA DE ALMACEN**

El poliestireno expansible tiene que ser almacenado en una atmósfera fría. La temperatura del almacén no debe superar 20 °C.

Para evitar la formación de mezclas explosivas de aire-gas hay que prever una ventilación suficiente. Debido a que la mezcla de gas de expansión con aire es más pesada que el aire mismo, hay que instalar la aspiración en la cercanía del suelo. La entrada del aire puede realizarse a través de aperturas debajo del techo. Para el control continuo de la concentración de

gases explosivos deberá encontrarse siempre a disposición un explosímetro. El control debe realizarse en la cercanía del suelo y en esquinas mal ventiladas, sobre todo en días con baja humedad relativa del aire (invierno), porque en esos días aumenta el peligro de carga electrostática.

#### I.a.3.4 TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA

Para facilitar el transporte de la materia prima a los preexpansores se puede proveer una instalación alimentadora (figura I.a.3) que vacía los contenedores de cartón en un embudo situado debajo de ellos, de manera casi completamente independiente. Desde el embudo hay que montar una instalación de transporte a los silos previos a los preexpansores, por ejemplo un husillo o rosca de transporte. El husillo de transporte abastece al silo del preexpansor dependiendo del contenido de este. Estos silos deben tener una capacidad de por lo menos 50 kg.

El transporte puede realizarse también con ayuda de inyectores accionados por aire comprimido o a través de elevadores. En el transporte neumático hay que tomar sobre todo en cuenta que las curvaturas del trayecto de transporte tengan grandes radios (aprox. 6xd), para evitar una abrasión mecánica de la poliestireno expansible. El trayecto de transporte debe estar conectado a tierra.

Los sistemas de transporte mecánico son preferibles a los sistemas neumáticos.

La forma más favorable de embudo de los silos de trabajo, de los preexpansores es aquella de tronco cónico asimétrico. Por el contrario, es completamente desfavorable el tronco cónico de rotación simétrica.

#### **I.a.3.5 CONTROL DE LA MATERIA PRIMA**

Hay que controlar si el suministro corresponde a la mercancía pedida y si consiste de uno o varios "suministros" (reconocible por el número de suministro de seis cifras que no es idéntico al número del bulto). Hay que controlar el estado del recipiente. Los envases eventualmente deteriorados se deben elaborar inmediatamente.

#### **I.a.4 PREEXPANSION, COLOREAMIENTO Y CONTROL DE FABRICA**

Estos primeros pasos de trabajo en la transformación de la perla de estireno se realizan en general por una sola persona. Los pasos citados forman por tanto un campo concreto y cerrado. Para no entorpecer el flujo de material y el proceso de trabajo en la sala de las máquinas hay que instalar los aparatos para la preexpansión y para el coloreamiento en una sala que esté en contacto directo con la sala de las máquinas.

Para fábricas productoras de piezas moldeadas interesan sólo

preexpansores continuos. Para material coloreado debe haber un preexpansor especial para este caso, pudiendo así evitar mezclas con material sin colorear en caso de tener que cambiar el material.

El coloreamiento de la materia prima puede ser realizado facilmente de forma continua con ayuda del husillo transportador, añadiendo colorante en la parte inferior del husillo mecánico de transporte (fig. I.a.3). El proceso de transporte se encarga de colorear uniformemente.

Para ahorrar costos puede ser aconsejable preexpandir sólo en el turno de día. La capacidad de los preexpansores y silos de reposo intermedio hay que calcularlos según este punto de vista.

Para el control de fábrica sirven básculas para medir la densidad al preexpandir. Para determinar estadísticamente el peso de las piezas moldeadas se toman periódicamente muestras al azar, se secan en un secador con alimentación de aire fresco y se pesan finalmente.

#### I.a.4.1 SUPERFICIE NECESARIA

Para el primer preexpansor se necesita aproximadamente 10-15m<sup>2</sup>, para cada uno suplementario 5m<sup>2</sup>. Los lechos fluidos para secar la espuma de poliestireno preexpandida tienen que ser tomados

en cuenta según sea su longitud.

Según la envergadura del control de fábrica hay que considerar mesas de determinadas dimensiones al lado del preexpansor para colocar los aparatos de medición.

En este sector hay que prever también una pared libre para colocar un esquema del transporte neumático, así como una pizarra para anotar el movimiento del material en los silos de reposo intermedio.

#### I.a.4.2 VENTILACION Y TAMIZADO

Para evitar un fuerte aumento de la humedad relativa del aire hay que desviar el vapor de sobra de la preexpansión, desde la tapa del preexpansor al exterior, por medio de tuberías. Para evitar un retroceso de condensado hay que instalar una tubería horizontal después de un trayecto corto de tubería vertical (en caso de varios preexpansores se puede realizar el tubo horizontal en forma de colector). Para lograr la expulsión del vapor hay que instalar en el último tramo de tubería un pequeño ventilador (fig. I.a.3) en el lado de presión. Respecto a la conexión de los trayectos de tubería vertical al colector hay que tener cuidado que el aire del ventilador no empuje el vapor sobrante y el condensado en el preexpansor.

Para evitar defectos de producción en las máquinas automáticas

hay que utilizar sólo material libre de aglomeraciones. Por tanto hay que tamizar el material preexpandido. Este paso se realiza en general después del preexpansor o lecho fluido (fig. I.a.3). Se debe utilizar sólo aquellos tamices que no compacten la espuma de poliestireno (tamiz de arpa, chapas agujereadas vibrantes). El material aglomerado separado puede desmenuzarse posteriormente e introducirse en la tubería de transporte hacia los silos de reposo intermedio.

#### 1.a.4.3 TRANSPORTE DE ESPUMA DE POLIESTIRENO PREEXPANDIDO

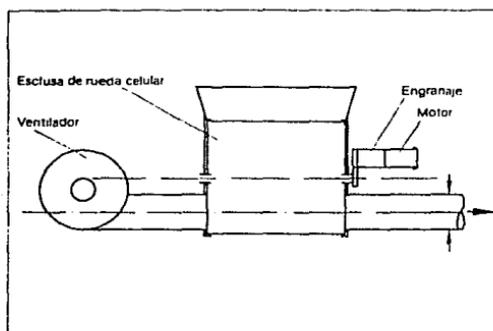
La espuma de poliestireno preexpandido se transporta en general neumáticamente a los silos de reposo intermedio o a las máquinas de expansión.

Las partículas son, inmediatamente después de la preexpansión, muy sensibles a la presión. Por ello, para introducir el material en las tuberías de transporte se debe utilizar sólo esclusas de rueda celular o inyectores por ventilador. El transporte a través de un ventilador debe ser evitado debido a que en este caso las partículas se dañan mecánicamente, aumentando así la densidad de 2 a 5 g/l. Para transportar suavemente el material hay que prever diámetros grandes de tubería y curvaturas igualmente grandes ( $r = 6xd$ ).

En caso de que se expandan densidades muy bajas hay que prever, después del preexpansor, un espacio para estabilizar las par-

tículas antes de transportarlas neumáticamente.

Después de un reposo intermedio suficiente, las partículas han aspirado tanto aire que ya no son sensibles a contracciones. Normalmente se emplean sistemas transportadores por succión colocados sobre los silos de trabajo de las máquinas automáticas, o bien sistemas de transporte a presión que trabajan según el principio del inyector.



Esclusa de transporte de rueda celular para la introducción del preexpandido en el trayecto de transporte neumático

Figura I.a.4

Un esquema real sobre las tuberías de transporte neumático es mostrado por la figura I.a.5.

Esquema de flujo de la materia prima desde el almacén de materia prima (1) a los preexpandidores (2), del preexpandido a

los silos (3), el grupo de silos 3a está llenando, el grupo 3b vaciando, y de allí a las máquinas automáticas (4).

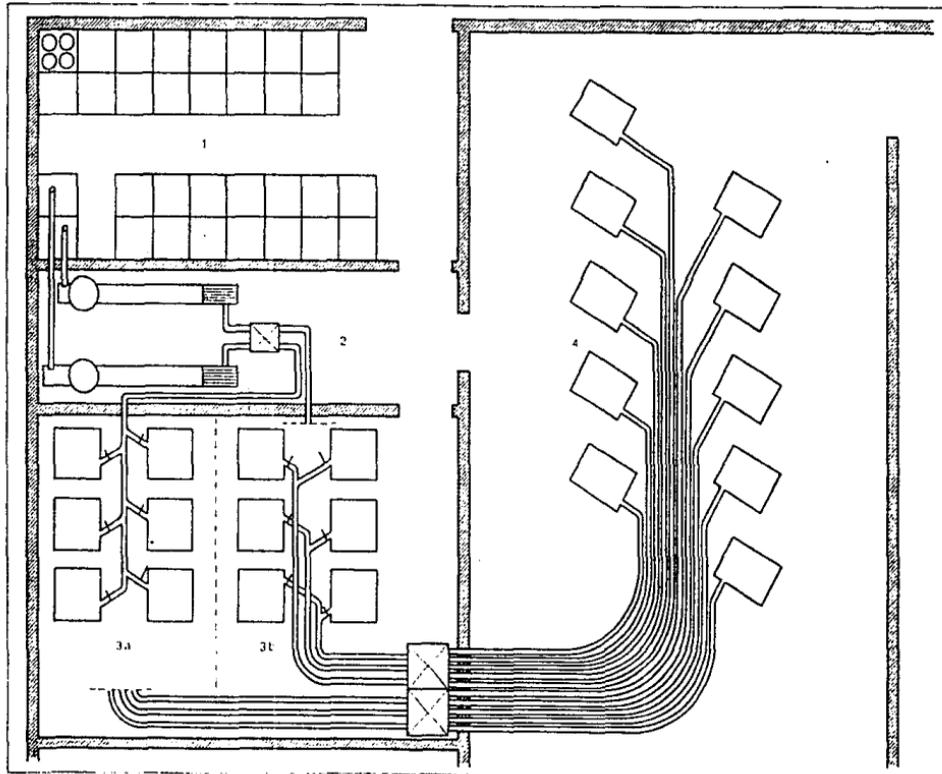


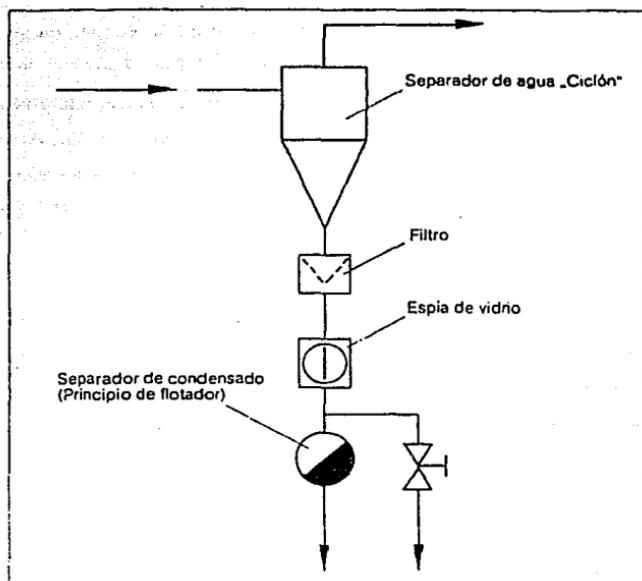
Figura I.a.5  
- 18 -

#### I.a.4.4 INSTALACION

Para obtener siempre una densidad constante hay que tener cuidado en tener siempre una cantidad constante de vapor. La tubería de vapor hacia el preexpansor debe salir, de ser posible, directamente del distribuidor. En caso de que ello no fuera posible, habría que instalar la válvula reductora de presión de vapor bien alejada del preexpansor, o habría que prever un espacio antes del preexpansor, y después del reductor, del cual sale la tubería de impulso al regulador.

A través de ello, la regulación es mucho menos sensible a averías. El diámetro de la tubería de vapor se deduce tomando en cuenta que en la preexpansión es siempre aconsejable elegir un diámetro mayor que el calculado. (Consumo específico de vapor en la preexpansión continua: aproximadamente 0.2-0.4 kg vapor/kg perla de estireno, presión de vapor: max.  $p_v = 0.3$  bar).

Una gran ventaja es instalar un secador en la tubería del vapor, inmediatamente antes de la entrada del vapor en el preexpansor (figura I.a.6). Estos secadores de vapor trabajan según el principio de los separadores "ciclón".



Secador de vapor (Separador de agua "Ciclón") con espia de vidrio y separador de condensado.

Figura I.a.6

#### I.a.4.5 CONTROL DE FABRICACION

Es necesario controlar continuamente el peso aparente del material preexpandido, dado que en caso de un peso aparente muy

elevado se pierde material, y si el material es demasiado ligero existe el peligro de reclamaciones por parte del cliente. En la preexpansión discontinua se debe ensayar cada nuevo suministro y en la preexpansión continua este control se debe repetir además en intervalos suficientes. El ensayo del peso aparente se realiza determinado el peso de un volumen mayor de espuma de poliestireno preexpandido. Se recomienda un control continuo del peso aparente del material preexpandido.

#### **I.a.4.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD RECOMENDABLES PARA LA MANIPULACION DE PARTICULAS DE ESPUMA DE POLIESTIRENO PREEXPANDIDAS**

Las partículas de espuma de poliestireno preexpandidas, que se emplean entre otros también como material de relleno para muebles conformables, como se mencionó, son a base de poliestireno y copolímeros de estireno y, al igual que todas las sustancias orgánicas, son combustibles.

Bajo la acción de llamas o fuentes de ignición grandes, como por ejemplo piezas soldadas incandescentes, las partículas almacenadas de material expandido de espuma de poliestireno se inflaman de modo relativamente rápido, y conducen las llamas a las superficies de las partículas amontonadas y finalmente se queman totalmente. Las partículas almacenadas de material expandido de tipo F que poseen un acabado contra el fuego sólo se pueden inflamar si están expuestas a la acción prolongada de

la llama y se apagan por sí mismas, si se aparta ésta. Por tanto, según la marca de materia prima empleada para su obtención, el riesgo de incendio al trabajar con partículas almacenadas de material expandido es comparable con el de las colchonerías y carpinterías, o todavía menor.

Sin embargo, después de su elaboración expandiendo la materia prima en forma de granulado, las partículas contienen restos del agente de expansión volátil que generalmente dentro de 3-4 semanas después de la expansión escapa de las partículas de material expandido. En este caso el agente de expansión puede producir junto con el aire una mezcla inflamable. Por tanto al manejar partículas de material expandido recién elaboradas o no suficientemente almacenadas hay que prohibir estrictamente el uso de fuego y de llamas abiertas. También se ha de prescindir de otras fuentes de ignición, por ejemplo descargas electrostáticas, trabajos de soldadura, esmerilado o taladrado.

Para el transporte de estas partículas de material expandido son válidas las "Directrices de seguridad para el transporte de Espuma de poliestireno con camiones". No se deben emplear vehículos con espacios de carga cerrados. El almacenamiento sólo se debe realizar en recintos bien ventilados que posean en el suelo una ventilación eficaz.

Los recipientes abiertos se han de vaciar con palas de plástico o cubos de plástico sin asa metálica, en caso de vaciado neumático, con conducciones de plástico o conducciones de metal conectadas a tierra.

También los demás recipientes o conductores metálicos empleados se han de conectar a tierra.

Sólo se deben elaborar partículas de material expandido suficientemente almacenadas.

En los almacenes y lugares de elaboración se han de disponer de extintores (de polvo o de  $CO_2$ ).

#### **I.a.4.7 CARGA ELECTROSTATICA Y PRODUCCION DE CHISPAS EN LA ELABORACION DE ESPUMA DE POLIESTIRENO**

El poliestireno expansible se suministra en forma de perlas y también en granulado. Está exenta de agua y, por lo tanto, es prácticamente un no conductor. Cuando un no conductor se mueve, este se carga electrostáticamente. En las fábricas elaboradoras se puede producir una carga de este tipo en las instalaciones de transporte. Así, un conductor metálico que no esté conectado a tierra, por ejemplo una pala metálica, se carga por inducción cuando se mueve en partículas de poliestireno expansible.

Con una pala metálica cargada electrostáticamente como antes se ha descrito, se puede producir una descarga de chispas. Estas chispas no pueden producir daños en caso de un granulado de plástico normal de grano grueso. Sin embargo, en la espuma de poliestireno una chispa puede producir una detonación debido a lo siguiente: la espuma contiene un hidrocarburo de bajo punto de ebullición como un agente de expansión. Con el medio ambiente forma mezclas aire/gas que pueden detonar. El límite inferior de la ignición está a 1.5% del volumen, el superior a 11% de volumen, es decir que se trata de mezclas de 15 hasta 110 cc de hidrocarburo gaseoso y 985 u 890 cc de aire. La combustión de estas mezclas es instantánea, es decir bajo explosión (estas combustiones rápidas pero reguladas y limitadas a espacios muy pequeños tienen lugar en cualquier motor de gasolina).

Las mezclas hidrocarburo/aire son más pesadas que el aire. Como el hidrocarburo de bajo punto de ebullición se desprende, aunque muy lentamente, del granulado de espuma de poliestireno, al abrir por primera vez un tambor y, sobre todo, al abrir uno parcialmente lleno este cuenta con una mezcla inflamable de aire/gas sobre el granulado de poliestireno. El último caso es el más peligroso ya que el volumen de aire/gas que se encuentra encima del producto es considerablemente mayor y, por lo tanto, la detonación producida por una chispa puede ser mucho más fuerte.

Las siguientes indicaciones sirven para evitar las detonaciones por carga electrostática en la manipulación y elaboración de espuma de poliestireno:

1. Los tambores no se deben abrir en las proximidades de los silos de reposo intermedio ni de los almacenes de productos acabados.
2. Al abrir un tambor por primera vez se debe dejar ventilar breve tiempo antes de extraer el producto. En los tambores metálicos, después de levantar la tapa se abre el saco de polietileno por encima del borde del tambor.
3. Un tambor parcialmente lleno es una fuente especial de peligros. Por tanto, al abrirlo se debe inyectar aire a presión limpio (por medio de un tubo de goma sin pieza metálica en su extremo) para cambiar el aire que contiene hidrocarburos por aire fresco (también se pueden realizar extracciones directas en el tambor o sobre él). Si es posible, los restos de poliestireno expansible de los tambores grandes se deben llevar inmediatamente a otro recipiente más pequeño, también para preservar al producto de la pérdida de agentes de expansión.
4. Emplear sólo palas de plástico para sacar el poliestireno expansible. Las palas de plástico, debido a su pequeña conductividad, no pueden producir chispas ricas en energía. Cuando se emplean cubos de plástico, éstos no deben tener asas metálicas. En las fábricas que elaboran espuma no debe haber palas metálicas.

5. Todas las condiciones metálicas por las que se transporta la espuma de poliestireno han de estar bien conectadas a tierra. Igualmente todas las máquinas, molinos, moldes, etc. y tuberías para la espuma preexpandida o residuos de material expandido moldeado deben estar conectadas entre sí a tierra.
6. Al desmoldar bloques se puede producir, en casos desfavorables, cargas electrostáticas con intensidades de campo de hasta 5000-6000 V/cm. Esta tensión puede originar chispas de ignición en las mezclas de hidrocarburos. Mezclas de hidrocarburo combustibles se producen o se acumulan en las cámaras de vaporizado de los moldes de los bloques durante el tiempo de enfriamiento o descompresión.  
El peligro de carga electrostática se da siempre en superficies grandes de los bloques y por adherencia a la pared del molde. Para evitar elevadas tensiones, se puede disminuir la adherencia del bloque a la pared del molde empleando agentes de desmolde.  
La presencia de una mezcla de hidrocarburo/aire inflamable se puede evitar ventilando las cámaras de vaporizado antes del desmolde (extracción de aire o lavado con aire a presión). Por motivos de seguridad, los silos de trabajo sobre los moldes para bloques recién desmoldados se deben retirar inmediatamente.
7. Las personas que trabajan con la materia prima no deben llevar calzado con suela de goma o de plástico.

8. La humedad relativa del aire no debe ser muy baja en lugares en los que se trabaja con poliestireno expansible: los accidentes por carga electrostática se producen generalmente en invierno, cuando el aire es seco. Mientras que en los locales de trabajo en los que se preexpansiona la espuma con vapor, el aire es húmedo, los locales en que la espuma se extrusiona para su confección u obtención de hojas están muy secos.

Finalmente se debe indicar que en las marcas de poliestireno expansible en forma de perlas, los peligros descritos para la manipulación de la materia prima se dan en menor escala que con la espuma de tipo G 560 granulado.

Con aparatos relativamente poco costosos se puede determinar si la mezcla aire/gas es explosiva o no. Tales aparatos se pueden ajustar también a determinados hidrocarburos e indican el tanto por ciento de hidrocarburo en el aire.

I.b VAPOR DE AGUA COMO PORTADOR DE ENERGIA EN LA ELABORACION DE ESPUMA DE POLIESTIRENO

**Máquinas de elaboración.**

La fuente de energía más importante en la elaboración de espuma de poliestireno es el vapor de agua. El estado en que se encuentra este vapor de agua es de gran importancia respecto a la calidad de los productos a fabricar y respecto a la transformación de la espuma de poliestireno.

Debido a que una instalación inadecuada de vapor es en muchos casos la causa de dificultades que surgen elaborando espuma de poliestireno, se explicarán, además del tema central "instalación de vapor", las bases teóricas necesarias para comprender los principios termodinámicos que surgen en la vaporización.

## I.b BASES TEORICAS

### I.b.1 LAS DEFINICIONES Y UNIDADES DE MEDIDA QUE SE UTILIZAN A CONTINUACION SON:

Temperatura	O (°C)
Presión	p (bar sobrepresión)
Volúmen específico	v (m <sup>3</sup> /kg)
Volúmen	V (m <sup>3</sup> )
Cantidad de calor	Q (kcal)
Unidad de calor (Entalpia)	i (kcal/kg)
Calor de evaporación	r (kcal/kg)
Parte vaporizada en el vapor húmedo	x (-)
Cantidad de vapor	D (kg/h)
Valor característico de una válvula	Cv (m <sup>3</sup> /h)
Entropía	s (kcal/kg °F)
Potencia de una caldera	N (t/h)
Masa (p de un molde)	m (kg)
Calor específico	c (kcal/kg °C)
Tiempo	T (h, seg)
Cantidad de ciclos por hora	n (1/h)
Velocidad	w (m/seg)

### I.b.2 TRANSICION DE FASES

Con ayuda de un ejemplo se explicará la transición del agua del estado líquido al estado gaseoso y el significado de las definiciones vapor húmedo, vapor saturado y vapor sobrecalentado.

A un recipiente que contiene un litro de agua a 0 °C (punto 1) se le añade continuamente una cantidad determinada de calor (fig. I.b.1).

Por cada kcal que se le añade a 1 kg de agua, aumenta la temperatura de éste por 1 °C. Por ejemplo, para calentar agua de 0 °C A 60 °C, hacen falta, según lo explicado, 60 kcal

(punto 2).

Después de haber añadido 100 kcal se llega, a presión normal, al punto de ebullición del agua (punto 3).

Para transformar 1 kg de agua con temperatura de ebullición (punto 3) a vapor saturado, hacen falta, a presión normal, 540 kcal (definición del calor de evaporación).

La cantidad necesaria de calor para llegar al punto intermedio 5 en la zona de transición (vapor húmedo), se calcula como sigue:

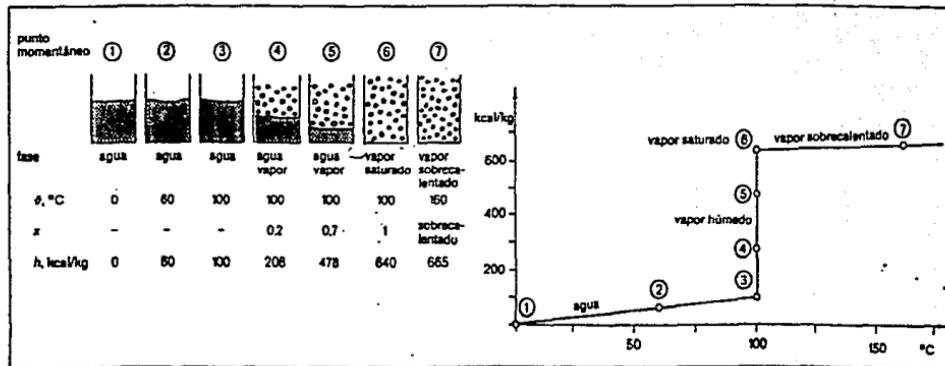
calentar 1 kg de agua hasta el punto de ebullición = 100 kcal

vaporizar 0,7 kg de agua (ó  $x=0,7$ )  $0,7r = 0,7 \times 540 = 378$  kcal

contenido de calor i por cada kg de mezcla de vapor = 478 kcal

Durante la transformación del agua a temperatura de ebullición (punto 3) a vapor, se mantiene la temperatura constante a pesar de que se añade continuamente calor. Esta temperatura permanece constante hasta que se haya vaporizado la última gota de agua. Este estado en el que el vapor se encuentra saturado y seco se llama vapor saturado (punto 6).

Figura 1.b.1



El vapor saturado es una fase inestable pues ya una pequeña cantidad de calor que se le añade o se le quite produce vapor sobrecalentado (por ejemplo punto 7) o vapor húmedo (por ejemplo punto 5).

La figura 1.b.2 muestra la transición de fases a presiones diferentes. La temperatura de ebullición del agua aumenta a medida que sube la presión.

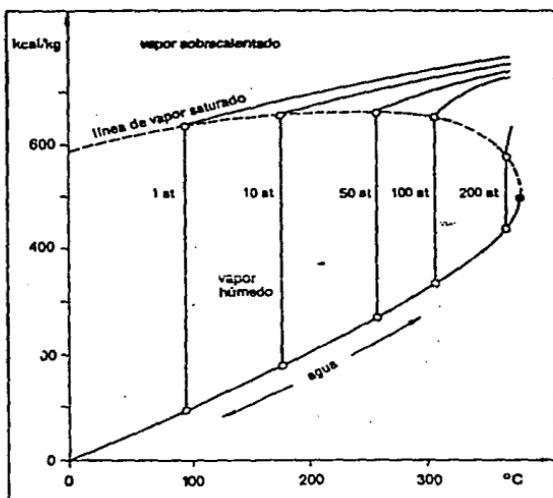


Figura 1.b.2

Ese es el principio con el que trabajan las ollas de presión, en las que, según la presión existente en ellas, se producen temperaturas sobre 100 °C. Con presiones más bajas a la presión normal (por ejemplo en montañas altas), el agua hierve ya a temperaturas bajo 100 °C.

Para evaporar completamente agua a temperatura de ebullición, es decir, transformar el agua en vapor saturado y seco a la misma temperatura, hay que añadir 5,4 veces más calor que al calentar agua de 0 °C hasta la temperatura de ebullición. Esta cantidad de calor se libera nuevamente durante la condensación. Pequeñas cantidades de calor que se le añadan al vapor saturado tienen como consecuencia comparablemente grandes sobrecalentamientos.

En toda la zona de vapor húmedo se encuentra la temperatura de ebullición o del vapor saturado, la cual depende solamente de la presión. Las indicaciones de presión y temperatura, por tanto, no son suficientes para determinar el estado del vapor (tomando como excepción la zona del vapor sobrecalentado), debido a que, a la misma presión, todas las mezclas de vapor-agua tienen la misma temperatura.

El vapor de agua es un gas incoloro y por tanto invisible. Lo que normalmente se denomina como "vapor visible" son en realidad gotas de agua distribuidas en pequeñísimas cantidades

y por tanto, una mezcla vapor-agua.

### 1.b.3 PROCESOS TERMODINAMICOS EN LA INSTALACION DE VAPOR

Los procesos más importantes que surgen en una instalación de vapor de una fábrica transformadora de espuma de poliestireno son:

- 1.- Transición de vapor sobrecalentado a vapor húmedo por pérdida de calor.
- 2.- "Secado" de vapor con un separador de agua.
- 3.- Estrangulación de vapor.
- 4.- Cambio del estado del vapor en la caldera.

Estos procesos individuales y su actuación común en la instalación completa se explicarán a continuación con ayuda del diagrama de Mollier, en el que están conjugados, en una forma adecuada para la técnica, todos los valores del vapor.

Debido a la extracción inconstante de vapor y por tanto, a los desequilibrios de presión de vapor y contenido de humedad relacionados con ella, no es posible seguir exactamente los procesos termodinámicos en la instalación del diagrama. Por otro lado, el diagrama sirve para la observación de una

instalación debido a que los procesos en una instalación de vapor, partiendo de los valores extremos del "campo de la caldera", se pueden reunir en una "banda" que contiene todos los desequilibrios.

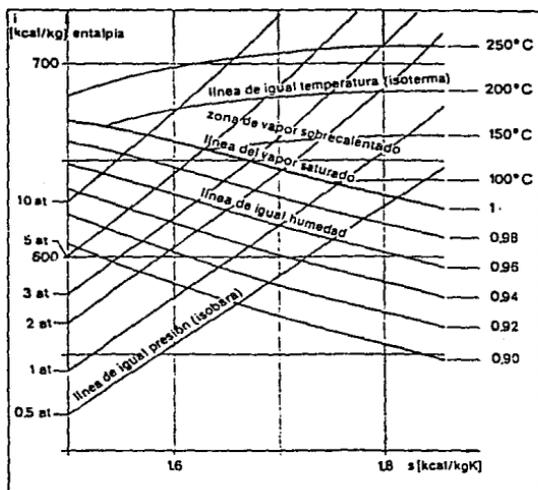


Figura I.b.3

**1.b.3.1 TRANSICION DE VAPOR SOBRECALENTADO EN VAPOR HUMEDO POR PERDIDA DE CALOR**

Este proceso se explicará con ayuda de la figura 1.b.4.

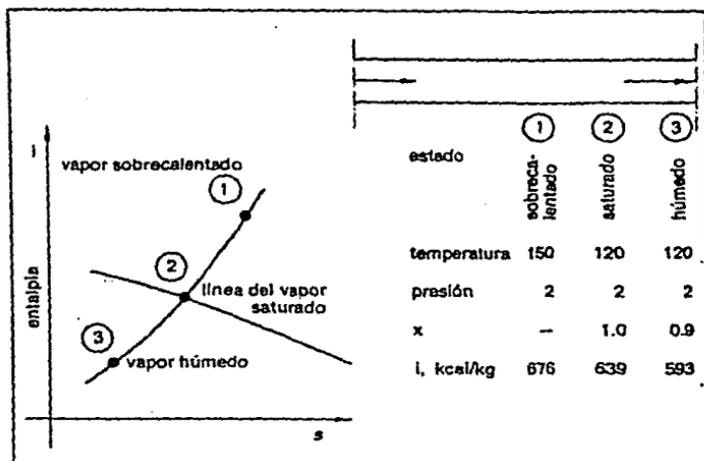


Figura 1.b.4

Vapor sobrecalentado (punto 1) pasa por una tubería sin aislar. Debido a que éste cede continuamente calor a la atmósfera, se enfría hasta llegar a convertirse en vapor saturado (punto 2).

Si después de esto sigue perdiéndose calor el vapor comienza a condensarse. Con ello se forma una mezcla agua-vapor, llamada vapor húmedo (punto 3), cuyo estado se denomina como valor  $x$ . De donde  $x$  es el contenido de vapor, en el vapor húmedo. Para la definición no tiene importancia si el agua se encuentra en forma de pequeñas gotas o en conjunto.

Debido a que la presión en la tubería permanece constante (la pérdida de calor es despreciable), el punto que representa cada estado del vapor se mueve en el diagrama de Mollier por una línea isobara (línea de presión constante) en dirección al vapor húmedo.

#### I.b.3.2 "SECADO" DEL VAPOR HÚMEDO.

Separación de agua, demostrado con el ejemplo del "ciclón" o separador de agua.

Como es mostrado en la figura I.b.5, se inyecta vapor húmedo (punto 1) con la presión  $p_1$ .

Debido a la fuerza centrífuga se separa el porcentaje de agua completamente del vapor y se elimina. El vapor sale del separador casi seco y saturado (punto 2) con la presión  $p_2$  (pérdida de presión en el ciclón  $p = p_1 - p_2$ ).

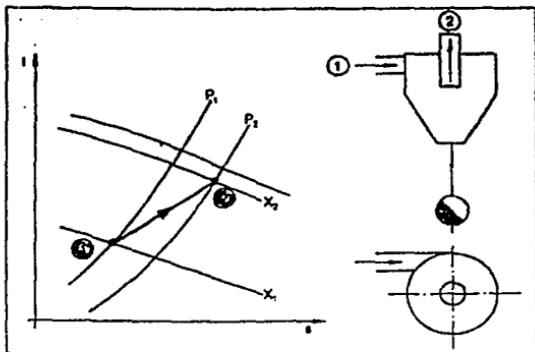


Figura I.b.5

### I.b.3.3 ESTRANGULACION DE VAPOR.

Con ayuda de una válvula reductora se reduce vapor con presión  $p_1$  a una presión posterior  $p_2$ , según mostrado en la figura I.b.6.

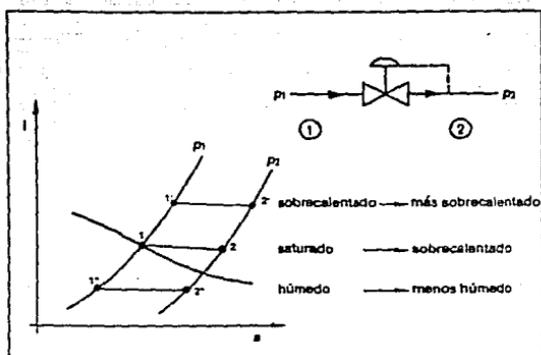


Figura I.b.6

El proceso de estrangulación está representado en el diagrama de Mollier (fig. I.b.7) con los estados del vapor húmedo (índice N, relacionado a una caldera extremadamente esforzada), saturado (índice S, relacionado a una caldera poco esforzada),

sobrecalentado (índice U; aparece por ejemplo al aprovechar vapor sobre calentado de turbinas).

Debido a que durante el proceso de estrangulación no se añade ni quita calor, permanece la cantidad de calor  $i$  del vapor, constante (la pérdida de calor de la válvula reductora a la atmósfera es despreciable). Por ello aparece el proceso de estrangulación en el diagrama de Mollier como una recta horizontal que, según punto de partida, se mueve en dirección al secado de vapor ( $p1N \rightarrow p2N$ ) o al sobrecalentamiento ( $p1S \rightarrow p2S$ ). Al contrario de gases ideales, en los que la temperatura no cambia durante el proceso de estrangulación, al estrangular vapores sobrecalentados cambia un poco la temperatura ( $p1U \rightarrow p2U$ ) (efecto Joule-Thomson).

#### I.b.3.4 "CAMPO DE TRABAJO" DE UNA CALDERA.

Una caldera con gran contenido de agua o un acumulador de vapor pueden producir inmediatamente grandes cantidades de vapor, según la caída de presión y según su contenido de agua (desequilibrio  $x_{Max} - x_{Min}$ ).

Los estados de vapor, en una caldera con gran volumen de agua, por ejemplo de tres tiros de llama y tubos ignífugos, aparecen en el diagrama de Mollier, en el así llamado, "campo de trabajo", figura I.b.7b, en el que aparecen todos los puntos de trabajo, en un estado continuo de transformación.

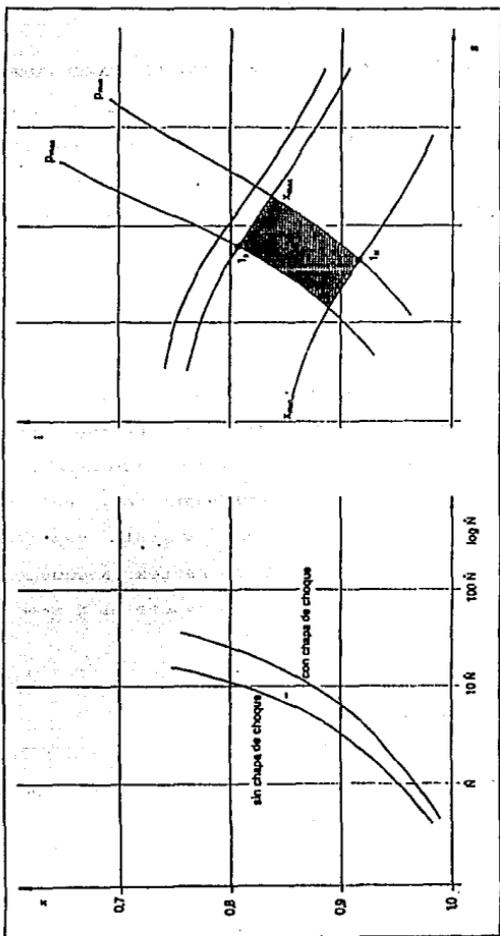


Figura I.b.7a, I.b.7b

#### **I.b.4 OBSERVACIONES TEORICAS SOBRE INSTALACIONES COMPLETAS**

El vapor seco (saturado) es sumamente adecuado para la elaboración de espuma de poliestireno. Vapor sobrecalentado produce a menudo dificultades en el moldeo, como "quemaduras", contracciones, zonas encogidas, mala soldadura interna y formación de grumos en la preexpansión. Vapor húmedo al contrario, aumenta el tiempo de enfriamiento (calor contenido en el agua adicional) y dificulta el corte con hilos incandescentes.

Por estos motivos, la instalación de vapor tiene que estar concebida de tal manera que los consumidores reciban constantemente vapor saturado con la debida presión. Tomando en cuenta los continuos cambios del estado del vapor en la caldera, hay que instalar diferentes aparatos como: válvula reductora, se parador de agua y cosas similares en partes adecuadas de la tubería, así como dimensionar de manera exacta el grosor de las tuberías, aislarlas, etc.

##### **I.b.4.1 INSTALACIONES ESTABLES**

Una instalación se denomina estable, si la calidad del vapor al entrar en el consumidor, por ejemplo un preexpansor, permanece constante a pesar de variaciones en la caldera (u otras influencias).

A continuación se explicarán dos instalaciones, por principio diferentes.

Las cifras, una a continuación de otra, describen el recorrido de los cambios de estado del vapor en las instalaciones, dibujadas esquemáticamente, o bien, en el diagrama de Mollier. Las diferentes posibilidades (campo de la caldera) se limitan por los dos recorridos extremos dibujados (rayado: sumamente húmedo, sin rayar: sumamente seco) en una "banda", que termina, en el caso ideal de una instalación estable, en el punto de trabajo del consumidor.

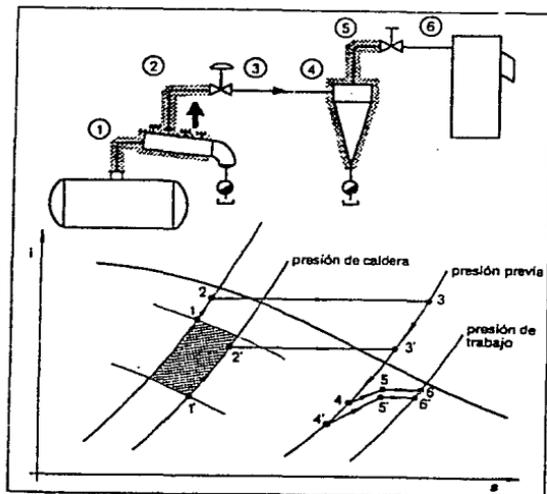


Figura I.b.8 Instalación estable I

Los valores extremos del campo son de gran importancia para las próximas observaciones.

1: presión máxima  
(x max)

al consumir porcentaje mínimo  
de agua poco vapor

1': presión mínima  
(x min)

Estado al consumir porcentaje  
de agua máxima momenta-  
neamente una gran cantidad

#### Instalación I

El agua arrastrada de la caldera se retiene en parte dentro del distribuidor (1 ---> 2) y se separa. A través de tuberías ascendentes a las estaciones reductoras se logra que pase poquísima agua a través de los asientos de las válvulas, tomando vapor de forma normal (mayor vida). El vapor sobrecalentado por la estrangulación (2 ---> 3) se convierte en el trayecto sin aislar a continuación, por pérdida de calor, en vapor húmedo (3 ---> 4). En un ciclón a continuación (cercano al distribuidor) se separa casi totalmente el agua (4 ---> 5). Al efectuar la reducción posterior se desplaza el punto de trabajo del consumidor, mas cerca todavía a la línea del vapor saturado.

## Instalación II

El vapor se inyecta sin reducir la presión de caldera, en una tubería aislada hasta cerca del consumidor. Después de la reducción (2 ---> 3) y un pequeño trayecto de tranquilización, sigue, como en la instalación I, un separador de agua (3 ---> 4) y una segunda reducción (4 ---> 5).

Al contrario de la instalación I, se deja el agua arrastrada de la caldera (y el agua de condensado) en el vapor. Al reducir la presión se arremolina el agua en la válvula (gran velocidad de corriente) y se evaporiza. Para evitar sobrecalentamientos durante la estrangulación, es suficiente evaporar pequeñas cantidades de agua. Al reducir la presión por ejemplo de 8 a 2 bar (sobrepresión) hace falta solamente un porcentaje de agua del 2,5 %. En la práctica se recomienda trabajar con una cantidad mayor que la calculada. El agua que sobra, se separa en el ciclón colocado a continuación. (Control a través del espía de vidrio; si hay poca agua, dejar un trayecto de la tubería antes de la reducción sin aislar).

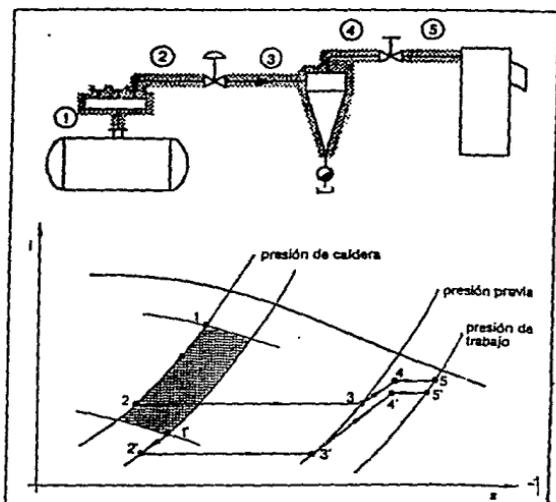


Figura I.b.9 Instalación estable II

#### Comparación de las dos instalaciones estables

Instalación I: Reducción a mayor distancia del consumidor, y como consecuencia, tubería larga a baja presión con gran diámetro (al mismo tiempo presión más baja); necesidad de no aislar algunas partes para lograr pérdidas de calor. Debido al peligro de sobrecalentar, se mantiene la presión de la caldera a valores bajos (4 - 6 bar sobrepresión).

**Instalación II:** Transformación del vapor sobrecalentado en vapor húmedo más efectiva y por tanto, más económica. El paso de vapor se realiza mayormente en tuberías aisladas, con un diámetro relativamente pequeño, en proporción a las altas presiones reinantes (8 a 16 bar sobrepresión para que sirva una caldera pequeña con alto poder de acumulación). Los asientos de las válvulas se someten a mayores esfuerzos.

### I.b.4.2 INSTALACION INESTABLE

La figura I.b.10 muestra la construcción de una instalación inestable, no recomendable.

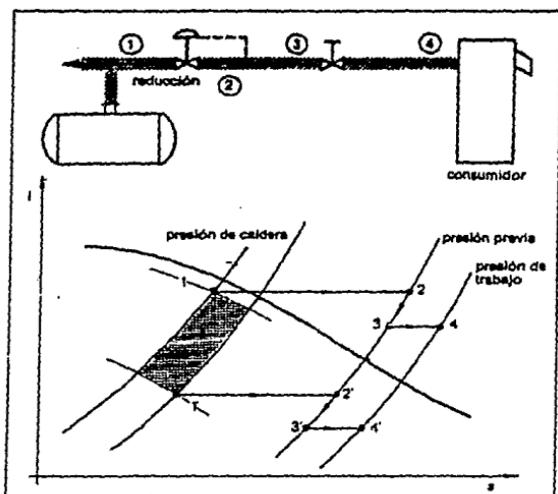


Figura I.b.10 Instalación inestable

El vapor se conduce de la caldera al consumidor a través de tuberías aisladas. El escalonamiento de la presión se efectúa en una estación reductora (presión de la caldera ---> presión previa) y una estranguladora (presión previa ----> presión de trabajo).

Si la caldera solo tiene que alimentar un consumidor, se produce un vapor relativamente seco en relación a la baja cantidad de vapor que se está consumiendo (punto 1) y se sobrecalienta al estrangularlo (punto 2). A través de la tubería aislada, el vapor no se puede enfriar lo suficiente y se inyecta al consumidor, después de la segunda estrangulación, sobrecalentado (4). Si al contrario se exige mucho de la caldera (por ejemplo: por medio de moldes para bloques y máquinas automáticas adicionales), ésta produce, bajando la presión, vapor húmedo (se arrastra agua, punto 1) que a través de las posteriores reducciones (2' a 4') se seca un poco, pero que entra como vapor húmedo en el consumidor. Así es por ejemplo posible que al preexpandir, el material preexpandido salga en cortos plazos húmedo o aglomerado. Además de ello, esta instalación, en la que el estado del vapor diverge entre 4 y 4', puede ser influida por las temperaturas del ambiente o por el tiempo (pérdidas diferentes de calor).

## **I.c        PREEXPANSION DE ESPUMA DE POLIESTIRENO**

La transformación de la espuma de poliestireno en material expandido tiene lugar generalmente en tres fases: preexpansión, reposo intermedio y expansión.

### **I.c.1      CONSIDERACIONES PREVIAS**

La espuma de poliestireno se compone de un plástico térmico, y de un hidrocarburo de carbono de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Al calentarlo se ablanda el poliestireno y al mismo tiempo aumenta la presión de vapor del agente de expansión. De esta manera las partículas se dilatan hasta un volumen de diez hasta cincuenta veces mayor que el original. Un litro de material expandido contiene muchos millones de moléculas cerradas, de 0.1-0.3 mm de tamaño y de aproximadamente 0.0001 mm de espesor de pared.

#### **I.c.1.1    PORTADOR DE ENERGIA**

Al contrario que los demás portadores de energía, el vapor de agua destaca por una propiedad especial: penetra más rápidamente en las moléculas que se forman de lo que el agente de expansión. Por tanto, la capacidad de expansión de la espuma de poliestireno en vapor de agua es mayor que en otros medios. Por esta razón y debido al mayor calor de condensación y a la mejor transmisión del calor, en la práctica se emplean casi exclusivamente vapor de agua para la preexpansión de la espuma de poliestireno. Sin embargo, en casos especiales se trabaja

también con aire caliente, por ejemplo en la fabricación de piezas moldeadas de paredes delgadas con un elevado peso volumétrico.

#### **I.c.1.2 PESO ESPECIFICO APARENTE**

El grado de expansión se calcula por medio del peso específico aparente de las partículas expandidas. Se indica en g/l y corresponde aproximadamente al peso volumétrico del material expandido que se va elaborar. Las diversas marcas de espuma de poliestireno alcanzan en la preexpansión distintos pesos específicos aparentes mínimos. Según la marca de espuma de poliestireno y las condiciones de preexpansión (aparato preexpansor y condiciones de vapor) se necesitan diferentes tiempos de preexpansión para conseguir el peso específico aparente mínimo.

Si esta se calienta más tiempo de lo que es necesario para alcanzar el peso específico aparente mínimo, entonces disminuye la sobrepresión en el interior de las moléculas, las partículas se contraen y el peso específico aparente aumenta de nuevo.

El peso específico aparente en función del tiempo de preexpansión se puede representar en la curva. Para cada marca de espuma de poliestireno, con el mismo aparato preexpansor y las mismas condiciones de vaporizado, se muestra en las curvas determinadas (ver figura I.c.1). Es característico de todas

Las marcas de esta es que la pequeña nueva elevación del peso específico aparente cuando se prolonga el tiempo de preexpansión más allá del correspondiente para la obtención del peso específico aparente mínimo.

El tiempo para alcanzar el peso específico puede variar de una partida a otra. Por tanto, para cada nueva partida se debe vigilar, mediante un control del peso específico aparente, las condiciones de preexpansión o las medidas ajustadas en la instalación de preexpansión.

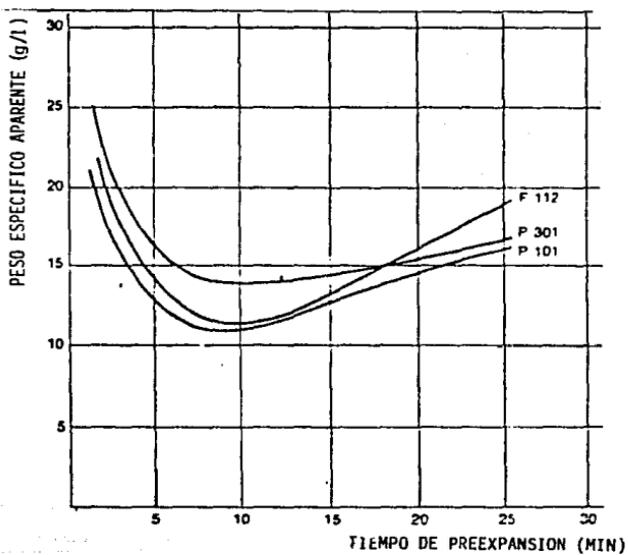


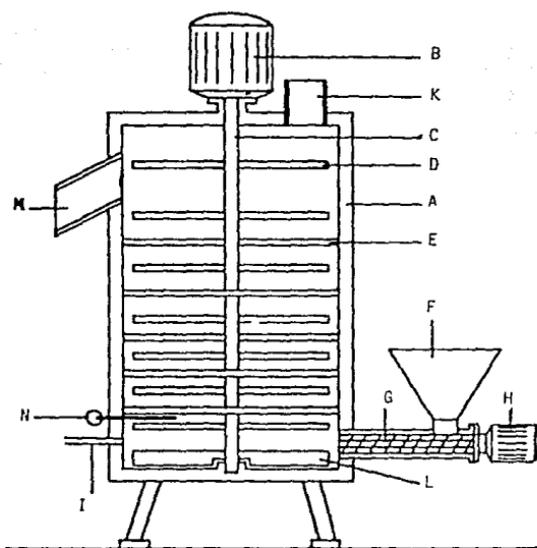
Figura I.c.1

## **I.c.2 LA PREEXPANSION EN LA PRACTICA**

El peso específico aparente se determina por la temperatura y el tiempo de reposo de la espuma de poliestireno en la instalación de preexpansión. La temperatura depende de la presión del vapor o de la presión parcial del vapor en una mezcla de vapor-aire. En las instalaciones de preexpansión continuas (trabajo continuo; ver figura I.c.2) el tiempo de permanencia se puede influir ajustando la altura de reboso o la dosificación de la materia prima y en los aparatos discontinuos (trabajo discontinuo; ver figura I.c.3) variando la pesada, rara vez ajustando la altura de expansión.

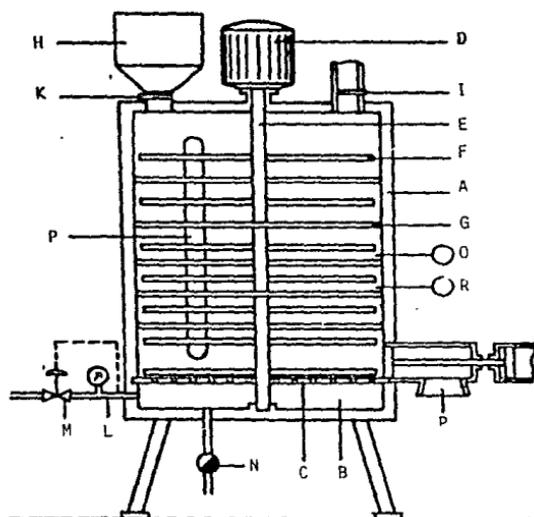
### **I.c.2.1. PREEXPANSION CON VAPOR**

Para obtener un peso específico aparente medio constante se debe tener una cantidad constante de vapor. Para evitar variaciones en la presión de vapor, que puedan ser originadas por el consumo variado de otros consumidores, debe realizarse la alimentación de vapor de la instalación de preexpansión por medio de una conducción separada del distribuidor de vapor presión de caldera. Para reducir la presión se recomienda un regulador proporcional sencillo que a ser posible se debe instalar lejos (unos diez metros) del preexpansor. El diámetro de las tuberías debe ser el diámetro inferior a 25 mm.



- |                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| A.- PARED DEL RECIPIENTE        | G.- HUSILLO DE TRANSPORTE           |
| B.- MOTOR DEL AGITADOR          | H.- MOTOR DEL HUSILLO DE TRANSPORTE |
| C.- EJE DEL AGITADOR            | I.- ENTRADA DE VAPOR                |
| D.- PALAS DEL AGITADOR          | K.- SALIDA DE VAPOR                 |
| E.- BARRAS                      | L.- RASQUETA                        |
| F.- TOLVA PARA LA MATERIA PRIMA | M.- SALIDA DEL MATERIAL             |
|                                 | N.- TERMOMETRO                      |

Figura I.c.2



- |                                      |                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| A.- PARED DEL RECIPIENTE             | K.- CIERRE PARA LA MATERIA PRIMA      |
| B.- CAMARA DE DISTRUBUCION DEL VAPOR | L.- ENTRADA DE VAPOR                  |
| C.- SUELO PERFORADO                  | M.- REGULACION DE LA PRESION DE VAPOR |
| D.- MOTOR DEL AGITADOR               | N.- SALIDA DEL AGUA CONDENSADA        |
| E.- EJE DEL AGITADOR                 | O.- SALIDA DEL MATERIAL               |
| F.- PALAS DEL AGITADOR               | P.- MIRILLA                           |
| G.- BARRAS                           | Q.- INDICADOR DE PRESION              |
| H.- TOLVA PARA LA MATERIA PRIMA      | R.- INDICADOR DE TEMPERATURA          |
| I.- VALVULA PARA LA DEPRESION        |                                       |

Figura I.c.3

### **I.c.2.2. PREEXPANSION CON MEZCLA DE VAPOR-AIRE**

En la preexpansión continua hasta obtener pesos específicos aparentes de más de 25 g/l, es ventajoso añadir aire al vapor en proporción equilibrada. Mientras con vapor puro en la zona de entrada del vapor de la instalación de preexpansión no debe bajar de 100 °C y por cierre parcial del paso de la cantidad de vapor se pueden originar, sin embargo, temperaturas inestables, mezclando aire se pueden ajustar, durante un tiempo prolongado de trabajo, temperaturas constantes de unos 100 °C hasta menos de 80 °C. Para la mezcla vapor-aire han sido desarrollados dos métodos: ajuste de la temperatura mediante regulación PI, ajuste de la temperatura mediante regulación con inyector.

#### **I.c.2.2.1. AJUSTE DE LA TEMPERATURA MEDIANTE REGULACION PI**

El vapor y el aire se conducen a través de una válvula reductora y un cierre parcial de paso a un tubo de mezcla y a continuación a través de una abertura lateral del aparato de preexpansión a la instalación de expansión. En una instalación automática se mide la temperatura en el tubo de mezcla. En caso de que la temperatura sea superior a la que se desea ajustar, abre un regulador la válvula de cierre de conducción de aire y si la temperatura es demasiado baja, se cierra la válvula algo más. Con los dispositivos de regulación usuales en el comercio se puede mantener una temperatura constante en el tubo de mezcla de más o menos 25 °C.

### **I.c.2.2.2. AJUSTE DE LA TEMPERATURA MEDIANTE REGULACION CON INYECTOR**

La cantidad de vapor necesaria para el peso específico aparente mínimo determinada en un ensayo previo, se ajusta con una válvula reductora de presión. Abriendo o cerrando la válvula de la abertura de aspiración del aire del inyector se puede variar la cantidad de aire de mezcla y por tanto la temperatura en el aparato de preexpansión para obtener mayores pesos específicos aparentes.

Dispositivos de regulación de este tipo lo suministran las casas que fabrican los aparatos de preexpansión también para la instalación posterior.

### **I.c.2.2.3. CONSUMO DE VAPOR**

Teóricamente para expandir 1 kg de espuma de poliestireno son necesarios 134 kJ. Esta cantidad de calor la suministra 0.06 kg de vapor, cuando se supone que el vapor saturado pasa de  $P = 1$  bar y se transforma completamente en agua de 100 °C.

Naturalmente en la práctica se necesita más vapor, porque la transmisión de calor del vapor a las partículas de la espuma de poliestireno depende de las condiciones de flujo. Para la preexpansión de la espuma de poliestireno se necesita en la práctica: aproximadamente 0.1 kg de vapor por kg de espuma de poliestireno para un peso específico aparente de 40- 50 g/l.

Aproximadamente 0.4 kg de vapor por kg de espuma de poliestireno para un peso específico aparente de 13-14 g/l.

### **1.c.2.3. PREEXPANSION A UN PESO ESPECIFICO APARENTE BAJO POR MEDIO DE UNA PREEXPANSION DOBLE**

Para la obtención de gran cantidad de material expandido ligero (11-15 kg/m<sup>3</sup>) la preexpansión en dos fases es más económica que sólo una preexpansión con aparatos de trabajo discontinuo. El primer proceso de preexpansión se realiza convenientemente en una instalación de preexpansión continua, la misma que se emplea para la preexpansión de espuma de poliestireno para la obtención de piezas moldeadas. El tiempo de reposo intermedio después de la primera preexpansión es de 5 hasta 8 horas. La segunda preexpansión se realiza igualmente en instalaciones de preexpansión de trabajo continuo.

La espuma de poliestireno preexpandido se lleva con un husillo de regulación sin fin con una capacidad de 60-100 m<sup>3</sup>/hora hasta el fondo del segundo preexpansor. También lateralmente al fondo se introduce de forma continua una gran cantidad de vapor. Las perlas llegan por tanto inmediatamente a la zona más caliente, pasan el aparato de abajo hacia arriba en la zona menos caliente y salen del recipiente como en la primera expansión por una abertura lateral. El husillo cargado siempre completamente, lleva sólo poco aire (no deseado) y proporciona tiempos de permanencia constantes. Se deben intentar tiempos de

permanencia cortos de 40 hasta 60 segundos con una temperatura máxima posible de 100 °C por lo menos en la mitad inferior del recipiente de agitación y un paso cuidadoso de las perlas de la segunda expansión "de caliente hacia frío". Para obstaculizar la corriente de aire, que se "agita" desde arriba, se recomienda una construcción estrecha con una relación de altura-diámetro de por lo menos 1:2. Las medidas principales dependen de la capacidad deseada y del peso específico aparente. Como valor de orientación para el peso específico aparente después de la primera fase de preexpansión se puede multiplicar el peso específico aparente final por 1.5. Este depende de la marca de espuma de poliestireno y de la instalación de preexpansión. Tomando por ejemplo un peso específico aparente de 12 g/l, en la primera fase de preexpansión se debe intentar alcanzar aproximadamente 18 g/l (véase figura I.c.4).

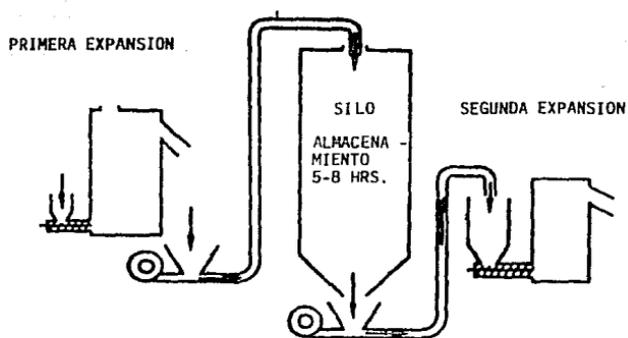


Figura I.C.4

#### **I.d MAQUINAS DE PREEXPANSION**

La máquina más sencilla para preexpansor de poliestireno expansible, es simplemente un recipiente que contenga agua caliente, y dependiendo de la temperatura de esta se obtendrá el expandido deseado. En la producción industrial, se conocen dos tipos de máquinas preexpansoras continuas y discontinuas. Los dos tipos de preexpansores los constituyen genéricamente los siguientes equipos.

1. Un recipiente de acero inoxidable tipo 316 de un espesor de pared de 3/16".
2. Un agitador de acero inoxidable tipo 316, que su resistencia mecánica y sus dimensiones, serán función de lo requerido por el tamaño del preexpansor. Este agitador esta constituido por un eje central y palas.
3. Barras de acero inoxidable tipo 316.
4. Una transmisión que puede ser acoplamiento directo a través de poleas banda.
5. Motor reductor donde las características del motor son 25 H.P., 220 - 440 volts., 900 R.P.M., 60 Hz. a prueba de explosión. Y el reductor con una relación de 10-1, además existen casos que por economía se instala un juego de

poleas, donde la relación debe ser también 10-1.

#### I.d.1 PREEXPANSOR CONTINUO

Estos preexpansores son llamados así por que su operación es continua, pues en estos la alimentación, entrada de vapor y salida de material son constantes y solo se interrumpiran cuando se suspenda la alimentación del poliestireno expansible. Algunas veces es necesario hacer una mezcla de aire-vapor, para acelerar la salida de material preexpandido.

En estos equipos la densidad de salida de la espuma de poliestireno depende de:

- a) Velocidad gasto de suministro del poliestireno expansible en kg/seg.
- b) Velocidad gasto del vapor o mezcla aire vapor en kg/seg.
- c) La distancia entre el fondo y la salida del material.

Otros datos son que la entrada de vapor no es en el fondo si no ha cierta altura, además tangencial a la pared del preexpansor. La alimentación es por la parte inferior del tanque, y la presión de operación es atmosférica.

Este tipo de preexpansores son los mas comunes en el mercado, pues su desarrollo de estos ha sido en Europa, lugar donde las bajas temperaturas son altamente extremosas, y para poder

reducir sus costos de operación de calefacción recurrieron al poliestireno expansible, el cual para poder tener las características de aislamiento se necesitan densidades de 15 g/l. a 35 g/l., por lo que estos preexpansores son ideales.

Cuando se extendió el poliestireno expansible a México, se encontró que además del mercado del aislamiento térmico, también existía un gran potencial de venta en la Industria de la Construcción como Aligerante de Lozas. Pero para poder entrar competitivamente este material tendría que ser más ligero (10 g/l).

Esta densidad de 10 g/l. se puede lograr con mucha dificultad con dos pasos, en los preexpansores continuos las dificultades son las siguientes.

Pasar el preexpandido nuevamente por el preexpansor 2o. paso.

Requerir ciclos de reposo intermedio antes del 2o. paso.

Costo adicional de operación por 2o. paso.

Debido a estas dificultades, se dio paso a la construcción de Preexpansores Discontinuos.

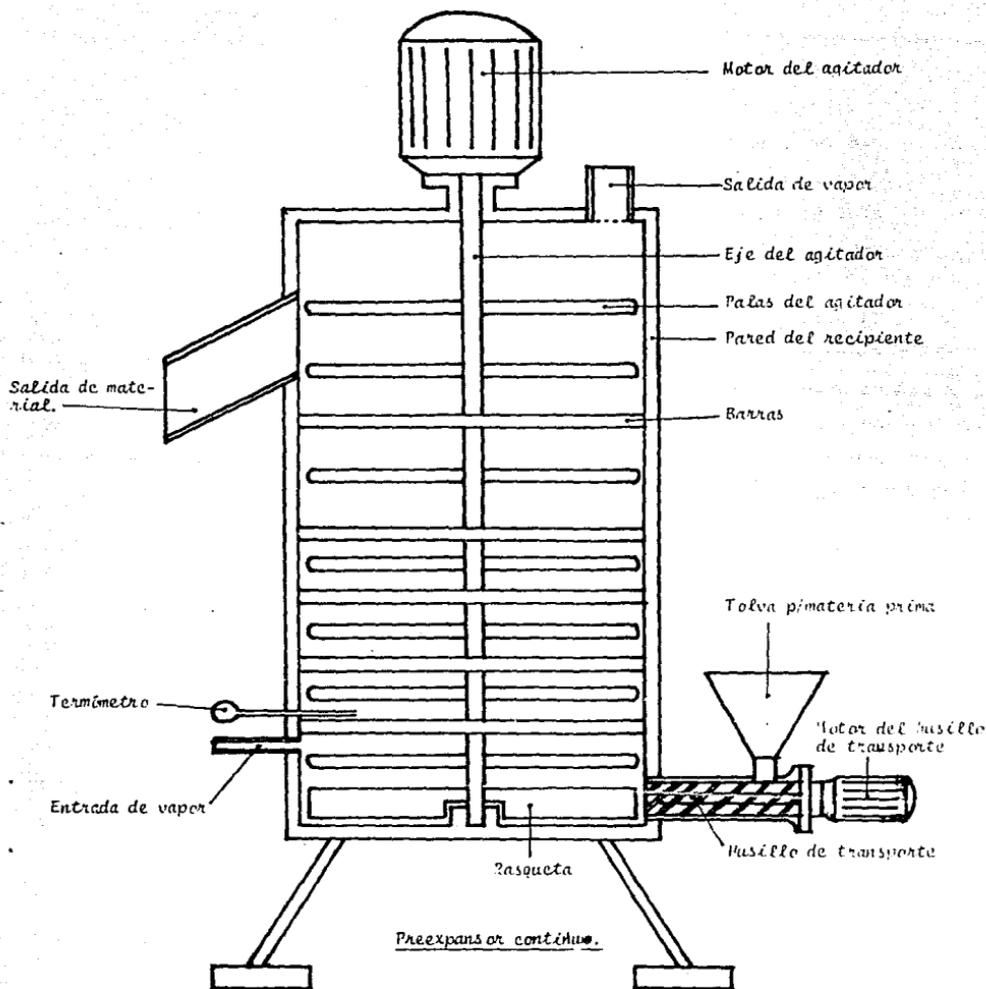


Figura I.d.1

### **I.d.2 PREEXPANSOR DISCONTINUO**

Estos preexpansores son llamados así por su operación es en ciclos, o sea, se introduce material, se preexpande y se vacía así sucesivamente.

En estos la entrada de material es por la parte superior en forma de cascada, cuentan con un doble fondo, donde entre el fondo y en el intermedio se forma de cámara de vapor, que hace que el vapor pase a través de una serie de ventilas distribuidas uniformemente en el fondo intermedio y no de choque como en el preexpansor continuo. Además la salida de material será a la altura del segundo fondo, En donde la salida del vapor es igual que la entrada de material, y la entrada de vapor por ciclos, o sea, intermitente.

En este tipo de preexpansores la densidad del material depende de

- a) Cantidad de material suministrado.
- b) Tiempo de permanencia del material dentro del pre-expansor.
- c) Número de veces de entrada de vapor y alivios de vapor.

En los Preexpansores Discontinuos se logran densidades de hasta 9 g/l y con una sola pasada del producto por la máquina, además del ahorro en tiempo y costo de operación.

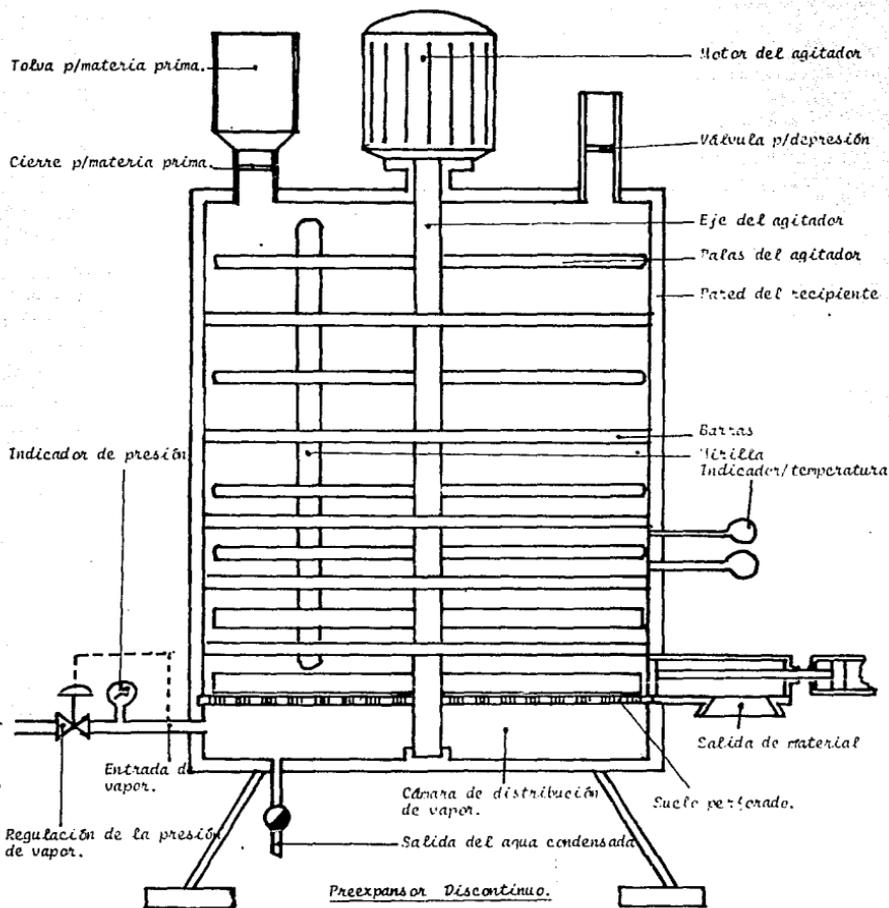


Figura I.d.2

Aunque la operación parece mas compleja, pues en estos existe una secuencia de operación y por lo tanto, requiere de mas equipos como son.

Válvula de entrada de material

Válvula de venteos.

Válvula de salida de material

Indicador de nivel de material

Solo en la inversión inicial se manifiestan y estos se recuperan pronto por la productividad que con este tipo de equipos se obtiene.

## **Ie PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE**

Durante muchos años, las espumas de poliestireno se han empleado con éxito para resolver problemas técnicos de la construcción, ya que su textura especial, constituye un material que esta predestinado a un empleo constante como amortiguante en edificios. Entre sus numerosas ventajas se pueden mencionar:

### **Poco peso:**

Las espumas de poliestireno contienen hasta el 98.7% en volumen de aire, por consiguiente, el peso de la espuma es muy bajo.

### **Moléculas cerradas:**

Un m<sup>3</sup> de espuma de Poliestireno contiene de tres a seis mil millones de celdillas cerradas llenas de aire.

### **Estanquidad:**

Por estar formada con moléculas cerradas, absorbe minúsculas cantidades de agua líquida, y no causa capilaridad alguna.

### **Bajo coeficiente de conductividad térmica:**

El aire en reposo, dentro de las celdillas cerradas, es un pésimo conductor de calor; esto, junto a la escasa conductividad térmica del material básico, da un coeficiente de conductividad extremadamente bajo (aproximadamente 0.028 kcal/mh°).

**Elevada resistencia a la difusión:**

Gracias a sus moléculas cerradas, la posibilidad de daños debidos a humedades, bajo condiciones normales, disminuye en forma considerable.

**Buena resistencia mecánica:**

Las espumas de poliestireno tienen una alta resistencia a los esfuerzos mecánicos y una ausencia de sensibilidad al despostillado.

**Resistencia al esfuerzo cortante:**

La correcta resistencia al esfuerzo cortante hacen de estas, un material adecuado para construcciones y recubrimientos autorresistentes.

**Buena elasticidad:**

El poder amortiguante de las distintas espumas elásticas de Poliestireno alcanza los límites superiores en aislamiento acústico.

**Resistencia al envejecimiento:**

Las espumas de Poliestireno desafían en alto grado a la vetustez.

**Resistencia a hongos y parásitos:**

Estas espumas no sirven como sustrato nutritivo de parásitos, hongos o bacterias de putrefacción, no obstante si pueden ser dañadas por roedores e insectos.

**Amplio campo térmico:**

Las espumas de poliestireno se emplean para aislar temperaturas entre -150 °C y 90 °C pudiendo aumentarse hasta 100 °C, mediante un almacenamiento adecuado. Este intervalo térmico satisface prácticamente todas las exigencias posibles.

**Difícil inflamabilidad:**

Existe un tipo de espuma (tipo "F") con propiedades antiinflamables que cumple con las normas y disposiciones internacionales de protección contra incendios.

**I.e.1 TIPOS DE ESPUMA DE POLIESTIRENO.****Espuma de poliestireno tipo "P" (tipo estándar):**

Es el mas barato y se distingue de los demás, porque tiene las mejores propiedades mecánicas.

**Espuma de Poliestireno tipo "F" (dificilmente inflamable):**

Este tipo de espuma se puede identificar facilmente por su distintivo, que consiste en una tira roja adicional en la parte frontal de las placas.

La propiedad "dificilmente inflamable" es muy importante sobre todo en los casos donde la espuma es colocada sin recubrimiento.

Los valores mecánicos y la resistencia a la difusión, son algo inferiores a los de la espuma tipo "P" no obstante, satisface perfectamente las normas internacionales al respecto.

Con pinturas ordinarias (salvo las espumosas de protección contra fuego), la inflamabilidad se atenúa en gran medida llegando a anularse.

**Espuma de Poliestireno tipo "H" (resistente a los aceites y a la gasolina):**

Al contrario de los cuerpos expandidos de espuma tipo "P" y "F", la espuma tipo "H" resiste la bencina y el aceite, sin embargo no resiste los carburantes que contienen benceno. Las demás propiedades son equivalentes a las de la espuma tipo "P" excepto en su precio el cual es mayor para la espuma tipo "H" (aproximadamente 20%).

Las espumas de Poliestireno tipo "H" solo se fabrican con densidades aparentes mayores o iguales a 20 kg/m<sup>3</sup>.

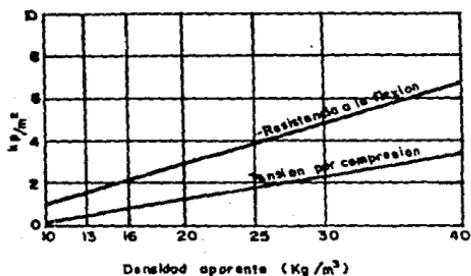


Fig. 1e-1.a Resistencia a la flexión según DIN-53423 y tensión por compresión según DIN-53421 (breve tiempo) para espumas de poliestireno tipo "P".

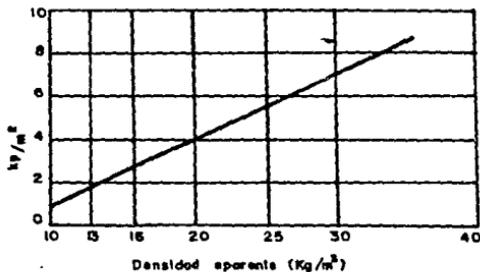


Fig. 1e-1.b Resistencia a la compresión (que actúa largo tiempo) para espumas de poliestireno tipo "P".

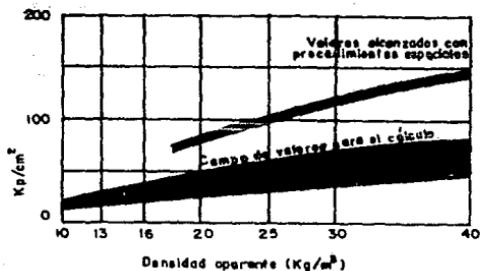


Fig. Ie-1.c Coeficiente de resistencia a la difusión para espumas de poliestireno tipo "P".

#### I.e.2 DENSIDAD DEL PRODUCTO

Antes de la expansión, el poliestireno tiene una densidad aparente de  $1000 \text{ kg/m}^3$  y un peso, en montón confuso, de  $600 \text{ kg/m}^3$ .

Se suministra en forma de partículas redondas con un diámetro de 0.3 a 2.5 mm. según el tipo. Las perlas de poliestireno se preexpanden en agua caliente o vapor. Por efecto del calor, el

poliestireno se reblandece y a la vez se dilata el agente expansor. De esta manera, según sea la intensidad y duración del tratamiento, se produce un aumento de volumen de hasta 50 veces. El peso específico así obtenido, corresponde a la densidad aparente del material acabado.

Al bajar la temperatura, se enfria primero la capa externa, con lo cual ya no es posible una contracción. Durante el siguiente reposo, penetra aire en los huecos.

Para la expansión ulterior se llena, hasta el borde, un molde provisto de paredes perforadas, con material preexpandido. Las partículas se expanden nuevamente por caldeo con vapor, y ya que no existe ninguna posibilidad de entumecimiento, las partículas se comprimen entre sí hasta soldarse unas con otras.

Las propiedades mecánicas del producto terminado dependen en gran medida de la densidad aparente, así como de la calidad de la soldadura de los elementos (el poliestireno bien soldado al romperse, se parte a través de las partículas y no a través de las uniones).

Contrariamente a lo que se cree, el coeficiente de conductividad de espuma de poliestireno de baja densidad aparente no es más favorable que el de alta densidad porque, en el primer caso, a consecuencia de la difusión a través de las paredes de

las celdillas tiene un efecto mayor de intercambio de calor, que en el último.

Los productos terminados se clasifican, según su densidad, en los siguientes tipos:

**Tipo 1 :**

La espuma tipo 1 posee una densidad aparente de 13 kg/m<sup>3</sup>. Se distingue por una tira azul claro en la cara frontal de la placa.

Las propiedades mecánicas así como la resistencia a la difusión son inferiores a las de los otros tipos, aplicandose solo en casos donde se tienen esfuerzos mecánicos moderados. Este tipo de espuma es la mas económica.

**Tipo 2:**

Posee una densidad aparente de 16 kg/m<sup>3</sup>. Se distingue por una tira amarilla en la cara frontal de la placa.

Las propiedades mecánicas y su resistencia a la difusión satisfacen casi todas las exigencias, y su precio es aproximadamente un 15% superior al del tipo 1.

**Tipo 3:**

Posee una densidad aparente de 20 kg/m<sup>3</sup>. Se reconoce por una tira negra al frente de la placa.

Tiene una resistencia mecánica relativamente alta y una elevada resistencia a la difusión, lo cual la hacen muy adecuada, sobre todo para la construcción de cámaras frigoríficas y para piezas sometidas a grandes esfuerzos mecánicos (por ejemplo, azoteas). El precio del tipo 3 es aproximadamente 40% superior al del tipo 1.

**Tipo 4:**

tiene una densidad de 25 kg/m<sup>3</sup>. Se distingue por dos tiras negras al frente de la placa. Tiene una aplicación similar a la del tipo 3, en especial para trabajos mas rudos tales como azoteas transitables.

**Tipos especiales:**

Se pueden fabricar tipos especiales con una densidad mas elevada pero solo se suministran por pedido. No se marcan con ningún distintivo especial y tienen aplicaciones muy singulares tales como maceteros, maquetas, etc.

**Propiedades generales de las espumas de Poliestireno (según la densidad aparente)**

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo especial
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	13	16	20	40
Color	blanco	blanco	blanco	blanco
Tensión por compresión (kp/cm <sup>2</sup> )	0.6-1.1	0.8-1.4	1.1-1.8	3.2-3.8
Resistencia al esfuerzo cortante (kp/cm <sup>2</sup> )	4.5-5.5	5.5-7	7-9	13-13.5
Resistencia a la flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	1.5-2.4	1.9-3.0	2.5-3.9	6-7
Resistencia a las vibraciones (100 hz)	después de 5 millones de vibraciones, inalterado.			
Estabilidad dimensional al calor, de material alsecado.				
- breve tiempo (°C aprox.)	100	100	100	100
- largo tiempo con carga con 500 kp/m <sup>2</sup> (°C aprox.)	85	85	85	85
con 2000 kp/m <sup>2</sup> (°C aprox.)	70-75	75-80	80-85	85
Estabilidad al frío	sin limitación de aplicación a bajas temperaturas.			
Coefficiente de resistencia a la difusión	40	50	60	100
Fuerza de aspiración capilar	ninguna	ninguna	ninguna	ninguna
Absorción de agua (sumergido) después de 8 días (%)	0.4-2	0.4-0.8	0.3-0.7	0.2-0.5
después de un año (%)	4-6	3-5	3-4	2-3

Propiedades generales de los distintos tipos de espuma de poliestireno.

	Tipo P	Tipo F	Tipo H
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	20	20	20
Color	Bianco	Bianco	Bianco
Tensión por compresión (kp/cm <sup>2</sup> )	1.1-1.4	0.9-1.2	1.1-1.4
Resistencia al esfuerzo cortante (kp/cm <sup>2</sup> )	6.5-7	5.5-6.5	7.0-8.0
Resistencia a la flexión (kp/cm <sup>2</sup> )	2.5-3.0	2.0-2.5	3.0-3.5
Resistencia a vibraciones mecánicas	Después de 5 millones de vibraciones, inalterado.		
Estabilidad dimensional al calor del material almacenado			
- breve tiempo (°C aprox.)	100	100	100
- largo tiempo bajo carga con 500 kp/m <sup>2</sup> (°C aprox.)	85	85	85
con 2000 kp/m <sup>2</sup> (°C aprox.)	80-85	80-85	80-85
Estabilidad al frío	Sin limitaciones de aplicación a bajas temperaturas.		
Coefficiente de resistencia a la difusión (valor aprox.)	80	50	70
Fuerza de aspiración capilar	ninguna	ninguna	ninguna
Absorción de agua (sumergido) después de 8 días (% en vol.)	0.5	0.6	0.7
después de un año (% en vol.)	4	5	6

### 1.e.3 RIBIDEZ DINAMICA

La espuma de poliestireno normal tiene una rigidez dinámica relativamente elevada (escaso poder amortiguador). A través de un proceso de elasticificación, se eleva el poder amortiguante del material y con ello se alcanza una rigidez dinámica tan baja (ver fig. 1.e.2) que se puede situar entre los mejores materiales para aislamiento acústico.

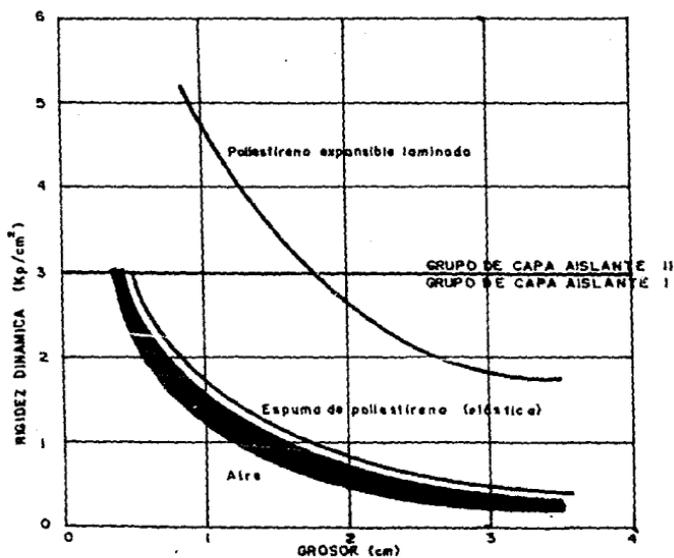


Fig. 1.e.2 Rigidez dinámica de la espuma de poliestireno y del aire.

La elastificación se consigue de las siguientes maneras:

**1) Laminado o prensado:**

Haciendo pasar la placa terminada entre dos cilindros distantes entre sí, aproximadamente  $1/3$  del espesor de la placa, o bien prensando ésta hasta  $1/3$  de su espesor con distensión posterior, la rigidez dinámica disminuye de tal modo, que la espuma laminada (elástica) alcanza valores de los grupos de capas aislantes (DIN 18164), para espesores superiores a 18 mm, y es adecuado para amortiguar el ruido de pisadas en todos los tipos de suelo. Se distingue mediante una tira verde adicional, al frente de la placa.

**2) Expansión posterior:**

Dejando reposar una placa de espuma, cortada de un bloque, en un autoclave de vapor, la rigidez dinámica desciende a menos de  $3 \text{ kp/cm}^2$ . La rigidez dinámica del poliestireno postexpandido (elástico) es un poco superior al óptimo teórico, de ahí que también es adecuado para el aislamiento contra la propagación del ruido.

**3) Perfiles:**

Perfilando la cara inferior de las placas, aumenta su amortiguación por contacto y con ello se alcanza una baja rigidez dinámica.

#### **4) Esteras de perlas:**

Pegando, con un adhesivo adecuado, perlas de poliestireno preexpandido sobre un cartón acanalado se forma una estera de baja rigidez dinámica.

#### **1.e.4 ABSORCIÓN DEL SONIDO POR LAS ESPUMAS DE POLIESTIRENO**

A causa de sus moléculas cerradas, el poliestireno normal tiene un coeficiente de absorción de sonido muy pobre, sin embargo este se puede mejorar abriendo los poros de la superficie, agujereando las placas terminadas. Logrando así la obtención de espumas de adecuadas para la absorción del sonido.

#### **1.e.5 ESTABILIDAD DIMENSIONAL**

Según DIN 18 164, apartado 3.2.1, se permite una tolerancia dimensional de  $\pm 0.5\%$  como máximo. Esto debe ser tomado en cuenta por el colocador.

La dilatación térmica que se observa en todos los materiales, también influye en las dimensiones de los trozos colocados. Por ejemplo, para una diferencia de 30 °C, la dilatación longitudinal es de 2 mm/m.

La contracción del producto en sí, al correr el tiempo, es muy pequeña (ver figura 1.e.3). Sin embargo, contrariamente a la

dilatación térmica, es un proceso irreversible.

Como se puede observar en la figura I.e.3, la contracción de la placa colocada se puede evitar dejándola reposar durante un tiempo prolongado.

Las influencias sobre la estabilidad dimensional se han de estudiar especialmente en el caso de colocación al aire libre (por ejemplo, cielos rasos colgantes, y placas sandwich).

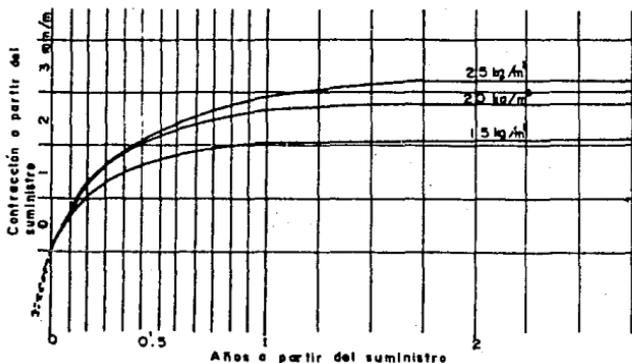


Fig I.e.3 Contracción a partir de la fecha de suministro de las espumas de poliestireno.  
La curva es válida para un reposo de 35 días en la fábrica.  
Si se suministran antes, se produce una contracción superior; de ahí la exigencia de material reposado.

## I.e.6 COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA

Las propiedades térmicas de la espuma de poliestireno se pueden observar mediante la siguiente comparación:

Exigencias para alcanzar un coeficiente de conductividad térmica favorable.	Cumplimiento de las exigencias por la espuma de poliestireno.
Baja conductividad térmica de la sustancia básica.	Poliestireno: = 0.15 kcal/mh°
Elevado contenido de aire encerrado en celdas (el coeficiente de conductividad térmica del aire en reposo, dentro de las celdas, es muy bajo).	Contenido promedio de aire: 98% en volumen.
Máximo número posible de celdas de aire (pequeñas y bien distribuidas). Con ello, la convección y la radiación dentro de los poros será muy escasa.	Número aproximado de celdas: 5,000,000 por m <sup>3</sup>
Celdas cerradas para que no pueda entrar humedad.	Celdas cerradas. No hay acción capilar.
Elevada resistencia a la difusión de vapor	Coefficiente de resistencia a la difusión: = 20 a 140.
Escaso contenido de humedad	Humedad higroscópica de equilibrio para 100% de humedad relativa atmosférica a 20 °C: = 0.06% en volumen.
Escasa absorción de humedad	Absorción promedio de humedad = 5%

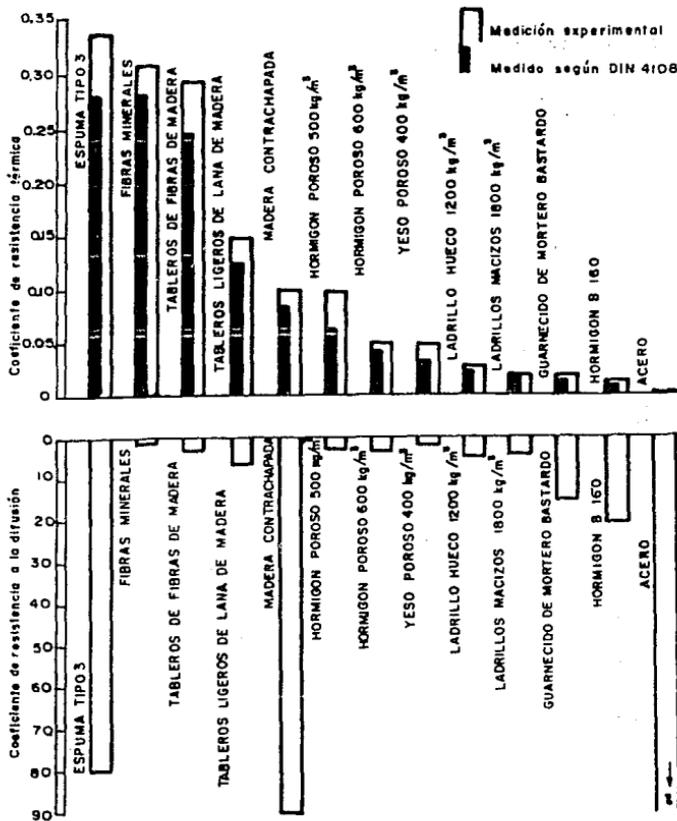


Fig. 1.e.4

Coefficiente de resistencia térmica y coeficiente de resistencia a la difusión de materiales de construcción.

## **CAPITULO II**

---

## II TRANSDUCTORES

### II.a VARIABLES A REGISTRAR

En el proceso de elaboración de espuma de poliestireno o poliestireno expansible, se presentan una serie de variables que es necesario controlar, con el fin de que el producto elaborado opere dentro de los rangos de presentación y de calidad en cuanto a sus propiedades y resistencia físicas, tales como:

- a).- Poco peso.
- b).- Estanquidad.
- c).- Bajo coeficiente de conductividad térmica.
- d).- Elevada resistencia a la difusión.
- e).- Buena resistencia mecánica.
- f).- Correcta resistencia al esfuerzo cortante.
- g).- Buena elasticidad.
- h).- Resistencia al envejecimiento.
- i).- Resistencia a la acción de hongos y parásitos.
- j).- Amplio campo térmico.

De acuerdo a lo anterior, habrá necesidad de llevar un registro o control de las variables que intervienen en dicho proceso.

Estas son principalmente, las siguientes:

- 1.- Temperatura.
- 2.- Presión.
- 3.- Cuatro válvulas neumáticas.

Por tal motivo, a continuación explicaremos brevemente el concepto de cada una de estas variables, en que consisten, sus principales unidades de medición, y, los instrumentos empleados en su lectura o registro.

#### II.a.1 TEMPERATURA Y SU MEDICION

La temperatura es un índice de la energía interna relativa de la masa. En un gas perfecto la temperatura es un verdadero índice de su actividad molecular. Un gas perfecto que no tuviese energía interna alguna se hallaría a la temperatura más baja que puede concebirse ( $-273,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), es decir, a la del cero absoluto. La temperatura es el potencial térmico causante del flujo calorífico.

En ingeniería se utilizan las escalas centigrada y fahrenheit. En dichas escalas la temperatura de ebullición del agua pura es  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ , respectivamente, cuando la presión atmosférica es la normal ( $1,033\text{ kg/cm}^2$ ), y la de congelación a la misma presión es  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ , respectivamente. En la figura II.a.1 se representa la relación existente entre ambas escalas, y en ella puede observarse que el intervalo existente entre el punto de ebullición y el de congelación del agua pura vale 100 grados en la escala centigrada ( $^{\circ}\text{C}$ ) y 180 grados en la escala fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

	212	672	100	373
	32	492	0	273
	0	460	-17,8	255,2
<i>Fahrenheit (F)</i>				
<i>Fahrenheit absoluta (F abs)</i> <i>ó Rankine (R)</i>				
<i>Centigrada (C)</i>				
<i>Centigrada absoluta (C abs)</i> <i>ó Kelvin (K)</i>				
<i>Cero abs</i>	-459,7	0	-273,2	0
	(-460)			

Escalas termométricas

Figura II.a.1.

Por lo tanto, se podrá escribir:

$$t_{\text{F}} = \frac{180}{100} t_{\text{C}} + 32$$

$$t_{\text{C}} = \frac{100}{180} (t_{\text{F}} - 32)$$

en donde:

$t_f$  = temperatura, grados F

$t_c$  = temperatura, grados C

El cero absoluto se halla a  $-273,2$  °C y  $-459,7$  °F. De esta manera la temperatura absoluta Fahrenheit (°F abs. ) será:

$$^{\circ}\text{F abs.} = ^{\circ}\text{F} + 460 = ^{\circ}\text{R},$$

denominado grados Rankine (°R), y la temperatura centigrada absoluta (°C abs. ) será:

$$^{\circ}\text{C abs.} = ^{\circ}\text{C} + 273 = ^{\circ}\text{K},$$

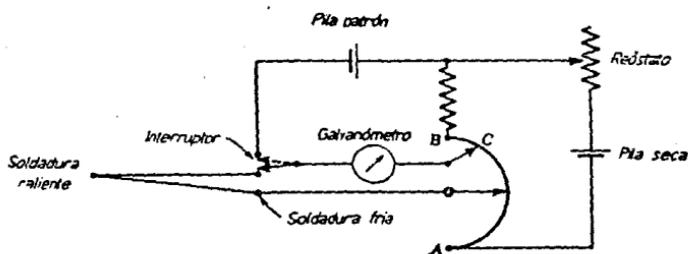
denominado grados Kelvin (°K).

La mayoría de las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas se dilatan al aumentar su temperatura. Si esta dilatación es relativamente uniforme entre amplios límites de temperatura, la sustancia puede utilizarse como medio termométrico en el supuesto que sean adecuadas otras propiedades. El mercurio es la más corriente de estas sustancias, porque posee un coeficiente de dilatación muy elevado, y como consecuencia pueden leerse directamente pequeñas variaciones de temperatura sin necesidad de recurrir a una amplificación.

En 1821, SEEBECK, físico alemán, observó que si dos alambres de metales distintos se unían formando un bucle, se producía una corriente eléctrica en el circuito, con la consiguiente fuerza electromotriz (f.e.m.), cuando las uniones se hallaban a diferente temperatura. Este fenómeno se conoce como efecto

Seebeck, y las pilas termoeléctricas o termopares, se fundan en este principio. LORD THOMPSON descubrió que la f.e.m. desarrollada entre las uniones era proporcional a su diferencia de temperatura. Intercalando un galvanómetro en un circuito de esta clase indica un valor proporcional a la diferencia de temperaturas existente entre las uniones.

Para llevar a cero la lectura del galvanómetro se utiliza un potenciómetro, en el cual la f.e.m. del termopar se contrapone a la f.e.m. de una pila seca. De esta forma no circula corriente y la resistencia del circuito no afecta a la lectura. En estas circunstancias la temperatura es proporcional al potencial desarrollado. Para calibrar la pila seca se utiliza una pila patrón. La figura II.b.2 representa el esquema de un potenciómetro típico.



Potenciometro típico: (A-B) hilo, (C) compensador de soldadura fría

Figura II.b.2

La importancia de estudiar la temperatura como variable a registrar en el proceso de elaboración de poliestireno expansible, radica en el hecho como se mencionó anteriormente, que la fuente de energía más importante en la elaboración de éste, es el vapor de agua; ya que de los diferentes portadores de energía, el vapor de agua destaca por una propiedad especial: penetra más rápidamente en las moléculas que se forman ocupando el lugar del agente de expansión. Por tanto, la capacidad de expansión del poliestireno expansible, es mayor que en otros medios. Por esta razón y debido además al mayor calor de condensación, y la mejor transmisión de este, en la práctica se emplea casi exclusivamente vapor de agua para la preexpansión.

Del mismo modo; de los diferentes tipos de vapor producidos, el vapor seco saturado, es el más adecuado en la elaboración del poliestireno expansible, ya que el vapor sobrecalentado tiene inconvenientes, tales como: dificultades en el moldeo, "quemaduras", contracciones, zonas encogidas, mala soldadura interna y la formación de grumos en la preexpansión. Por el contrario, el vapor húmedo aumenta el tiempo de enfriamiento, además de que dificulta el corte del material. De lo anterior se desprende la enorme importancia que reviste controlar dicha temperatura de vapor, y la consiguiente aplicación de su transductor de temperatura.

## II.a.2 PRESION

Se denomina presión (P) la fuerza por unidad de superficie ejercida por un medio sobre sus límites. En este caso de los gases, la presión es debida al bombardeo de sus límites fijos por las moléculas en movimiento de dichos gases. Los gases normalmente llenan el espacio limitado por sus límites reales; sin embargo si tales límites son indefinidos, como en el aire libre, estos no llenan el universo, pero tienen una densidad más grande en la superficie de la tierra debida a la atracción gravitatoria. Puede expresarse en unidades tales como kg/cm<sup>2</sup>, psi (libras por pulgada cuadrada), bar y atmósferas; si bien se normalizó en Pascal (Newton por metro cuadrado = N/m<sup>2</sup>) de símbolo (Pa) de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14, que tuvieron lugar en Paris en Octubre de 1967 y 1971, y según la Recomendación Internacional no. 17 ratificada en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal.

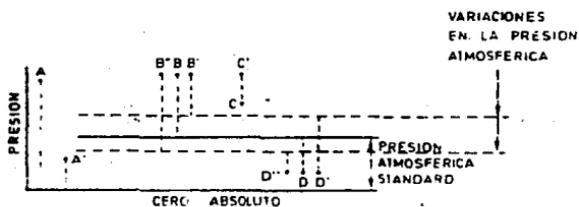
En la siguiente tabla de unidades de presión figuran las equivalencias entre estas unidades.

	Psi	pulgada c. d. a.	pulgada c. d. Hg	atmósfera	kg/cm <sup>2</sup>	cm c. d. a.	mm c. d. Hg	bar	Pa
psi	1	27.68	2.034	0.0680	0.0703	70.71	51.72	0.0687	7142
pulgada c. d. a.	0.0361	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.540	1.868	0.0024	256.4
pulgada c. d. Hg	0.4912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.57	25.4	0.0333	3484
atmósfera	14.7	406.79	29.2	1	1.033	1033	760	1.0131	1.01x10 <sup>5</sup>
kg/cm <sup>2</sup>	14.22	393.7	28.96	0.9678	1	1000	735.6	0.98	98100
cm c. d. a.	0.0142	0.3937	0.0289	0.00096	0.0010	1	0.7355	0.001	100
mm c. d. Hg	0.0193	0.5353	0.0397	0.0013	0.0013	0.0013	1	0.00133	133
bar	14.5	408	29.99	0.987	1.00	1000	750	1	10 <sup>5</sup>
Pa	0.00014	0.0039	0.00029	0.0987x10 <sup>-5</sup>	0.102x10 <sup>-5</sup>	0.01	0.0075	10 <sup>-5</sup>	1

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. En la figura II.a.3 se indican las clases de presión que los instrumentos miden comunmente en la industria.

La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura II.a.3).

La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar ésta presión es próxima a 760 mm (29.9 pulgadas) de mercurio absolutos o 14.7 p.-i.a. (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.



Diferentes clases de presión

Figura II.a.3

La presión relativa es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura II.a.3). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos B' y B''), lo cual es despreciable al medir presiones elevadas.

La presión diferencial es la diferencia entre dos presiones. Puntos C y C'.

El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D''). Esta expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

El campo de aplicación de los transductores de presión, que son los instrumentos utilizados en la medición de ésta, es amplio y abarca desde valores muy bajos (vacío) hasta presiones de miles de  $\text{kg/cm}^2$ . Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

#### Elementos mecánicos:

Se dividen en (1) elementos de medida directa que miden la presión comparandola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, barómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana), y (2) elementos primarios elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios elásticos más empleados son: El tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

#### Elementos electromecánicos:

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

#### Elementos electrónicos:

Los transductores electrónicos se emplean para la medida de alto vacío, son muy sensibles y se clasifican en los siguientes tipos:

Mecánicos. Fuelle y diafragma.

Medidor McLeod.

Termopar

Térmicos Pirani

Bimetal

Filamento caliente

Ionización Cátodo frío

Radiación

De todo lo anterior, podemos establecer que existe una gran cantidad y tipos diferentes de transductores de presión, por lo que su adecuada selección en el control del proceso de expansión del poliestireno expansible es de primer orden, ya que este proceso se caracteriza por una extracción inconstante de vapor, presentándose un desequilibrio de presión de vapor y de contenido de humedad relacionado con éste, lo cual trae como consecuencia que no sea posible seguir los procesos termodinámicos de la instalación en el diagrama de Mollier. Además de que siempre se deberá suministrar vapor a una presión definida, sin que ésta se vea influenciada por variaciones de presión en la caldera.

### II.a.3 VALVULAS NEUMATICAS

Las válvulas neumáticas que intervienen en el proceso de elaboración del poliestireno expansible son:

- 1.- Entrada de material.
- 2.- Alimentación de vapor.
- 3.- Venteos o descargas de vapor.
- 4.- Salida del material.

Por tanto el empleo adecuado del transductor que de las señales de actuar de dichas válvulas, es requisito indispensable para el correcto proceso de elaboración.

Las válvulas son dispositivos dotados de cierres automáticos usados en las conducciones de líquidos o gases y destinados a permitir el paso del fluido en un sentido e impedirlo en el opuesto.

### II.a.4 TIPOS DE VALVULAS

Las válvulas para los sistemas neumáticos se fabrican en una amplia gama de medidas que abarcan funciones relacionadas con la dirección, el caudal y la presión del aire comprimido. El tamaño suele especificarse por la medida de las roscas de las lumbreras; así una válvula de 1/4" tendrá lumbreras roscadas para conectar un tubo roscado interiormente a 1/4". A pesar de su antigüedad, esta denominación pone de relieve la conjugación entre medidas de válvulas y de tubo. La típica gama de medidas

abarcada por los fabricantes es la de 1/8" a 2" (3 a 50 mm) para uso industrial en general. Estas válvulas suelen especificarse para presiones de hasta 10.5 kg/cm<sup>2</sup>. No obstante, se fabrican válvulas para mayores presiones para minas, aviación, otros sistemas de alta presión y aplicaciones especiales. Algunos tipos de válvulas neumáticas también son adecuadas para otros fluidos, incluso para hidráulica de baja presión. Las presiones máximas, en tal caso, no suelen ser iguales para el aire que para los líquidos.

Las características de las válvulas pueden estudiarse desde el punto de vista de la función, de la forma de accionamiento, del comportamiento aerodinámico y de la construcción. Por lo que se refiere al usuario, también cuentan el método de montaje y la forma de las conexiones, aunque en realidad se trata de características constructivas. Este tipo de características puede influir también en la función, o en la elección de una válvula para una función particular.

Los tipos de válvulas se dividen, según la función, en tres grandes grupos:

- a).- Válvulas de control direccional.
- b).- Válvulas de control de presión.
- c).- Válvulas de control de flujo.

Además, hay varias válvulas de funciones especiales que no encajan fácilmente en ninguno de estos grupos y que podríamos clasificar en el de varias.

Según la forma de accionamiento tendremos:

- a). Mando manual; por ejemplo, botón, palanca, pedal, etc.
- b). Mando mecánico; por ejemplo, levas, rodillos, palancas, etc.
- c). Mando por solenoide; directamente o pilotadas.
- d). Pilotadas; por ejemplo, por presión neumática.

Las válvulas pequeñas pueden ser accionadas por cualquiera de los métodos descritos. El retorno puede ser por muelle (mecánico) o por aire (neumático). Las válvulas grandes suelen accionarse manualmente o por aire (pilotaje). Excepcionalmente, las válvulas grandes de servicios especiales pueden ser controladas por cilindros.

El comportamiento aerodinámico tiene que ver, fundamentalmente, con la resistencia ofrecida por la válvula, o caída de presión, en su posición de funcionamiento "abierta". Esta caída de presión depende principalmente de la sección transversal que la válvula presenta y también de la longitud y de la forma de los pasos.

#### II.a.5 FORMAS DE CONSTRUCCION

Las válvulas también puede clasificarse por su forma de construcción, cada una de las cuales puede ser adecuada para una función o funciones determinadas, sin que ello implique unas características superiores. No obstante, cada forma constructiva tiene sus particularidades que serán preferidas o explotadas por cada fabricante.

#### II.a.6 CLASIFICACION DE LAS VALVULAS POR LA FORMA DE MONTAJE

Las válvulas pueden fabricarse como unidades integradas o para montarlas como elementos en una base común o conectarlas a un colector. En el primer caso pueden describirse como de montaje "en línea". Las otras dos formas son, respectivamente, la de montaje en placa base y en colector.

#### II.a.7 ACCIONAMIENTO DE LAS VALVULAS

El accionamiento neumático puede ser directo, indirecto o por pilotaje. La válvula directamente accionada por aire recibe una señal de presión directamente sobre un pistón formado por una tapa extrema o por la máxima sección del extremo (o de los extremos) del vástago de la válvula (fig. II.a.4). El movimiento por aire puede ser en un sentido (con retorno con muelle) o en ambos. Ambos sirven para establecer movimientos de dos posiciones. Para los movimientos en tres posiciones se crea una posición central aplicando una señal de presión simultáneamente en ambos extremos, y, a medida que se desea, se

libera la presión en uno u otro de los extremos.

#### II.a.8 VALVULAS DE SOLENOIDE

En las primeras válvulas accionadas por solenoide se utilizaba una bobina de armadura recta para el movimiento del elemento de la válvula. Este principio aun se emplea en las válvulas de mando directo por solenoide, pero tiene ciertos inconvenientes para válvulas grandes, ya que el conjunto solenoide debe ser grande y se necesita mucha corriente para generar el esfuerzo lineal requerido.

La solución habitualmente preferida es la de la válvula piloto, de solenoide. Este controla una válvula piloto que, a su vez, controla la válvula principal mediante la presión de pilotaje. Esta válvula piloto viene a ser pues, un interruptor neumático y puede utilizarse en una variedad de configuraciones, tal como se ve en la siguiente tabla:

Configuración	Estado normal	Acción del muelle	Fuerza del muelle	Observaciones
DOS VIAS	Cerrada	sólo retención, sin fuerza de presión	Elevada	Precisa un bobinado y una corriente relativamente grandes
	Abierta	sólo retorno del pistón	Ligera	Alta relación presión/flujo para los mismos bobinado y corriente
TRES VIAS	Cerrada	mantiene el pistón contra la presión	Muy ligera	Máxima relación presión/flujo para los mismos bobinado y corriente
	Abierta	sólo retorno del pistón	Ligera	Equiparable a la de 2 vías, configuración abierta

TABLA II.a.1 Diversas configuraciones de las válvulas piloto de solenoide.

## II.a.9 CILINDROS NEUMATICOS

Un cilindro neumático es un accionador lineal que transforma la presión de suministro de aire comprimido en movimiento lineal y fuerza lineales. La fuerza disponible es función de la presión de aire y del área de la sección del émbolo. Los cilindros neumáticos se fabrican en una amplia gama de medidas desde 12.5 mm (1/2") de interior con fuerzas de pocos kilos hasta los de 660 o 710 mm (14 o 16") de interior capaces de esfuerzos de 5000 y 6000 kg con el suministro normal de la red neumática. Dichos cilindros suelen especificarse para presiones de hasta 8 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con la presión normalmente suministrada por la mayoría de los compresores. Algunos pueden trabajar a presiones superiores, del orden de 17.5 kg/cm<sup>2</sup>. No hay ventajas especiales al trabajar con presiones más altas sino, más bien, inconvenientes.

Podemos dividir los cilindros neumáticos en tres amplios grupos:

1. Cilindros de simple efecto con una lumbrera de admisión y un solo sentido de actuación. La carrera de retorno se efectúa por gravedad, por una carga o por un muelle interior. Estos cilindros se pueden subdividir en:
  - a) Normalmente en retracción, en cuyo caso, la carrera útil es la de salida o de extensión. El cilindro sirve para "empujar".

b) Normalmente en extensión. La carrera útil es de retracción y el cilindro "tira" de la carga.

2. Cilindros de doble efecto con dos lumbreras (una en cada extremo). El cilindro actúa en ambos sentidos al admitir aire comprimido alternativamente por una lumbrera, mientras la otra se comunica al escape. Estos cilindros se subdividen en:

a) De simple vástago, más frecuentes y con la ventaja de que solo requieren una empaquetadura.

b) De vástago pasante, que se extiende por ambos extremos del cilindro. Esta versión ofrece ventajas en cuanto a rigidez e igualdad de esfuerzos en ambos sentidos, porque el área efectiva del émbolo es igual en ambos lados.

3. Cilindros gemelos o en tandem, cada uno de los cuales lleva unas lumbreras de suministro. Las variantes son:

a) Conexión por delante, con un vástago común para ambos cilindros. Se puede dar presión a cada cilindro independientemente, pero el movimiento resultante es común.

- b) Conexión por detrás, con los vástagos orientados hacia el exterior e independencia de movimientos de los émbolos.

Entre otros tipos especiales de cilindros neumáticos, cabe citar los de impacto, los rotativos, los de diafragma, los motores neumáticos y los hidroneumáticos.

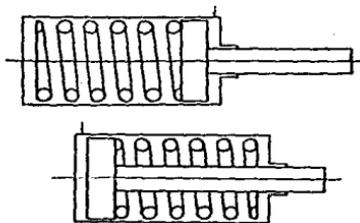


Figura II.a.4 Cilindros de simple efecto y retorno por muelle,

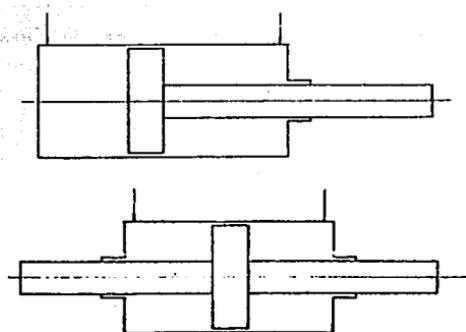


Figura II.a.5 Cilindros de doble efecto. De vástago simple y de vástago pasante.

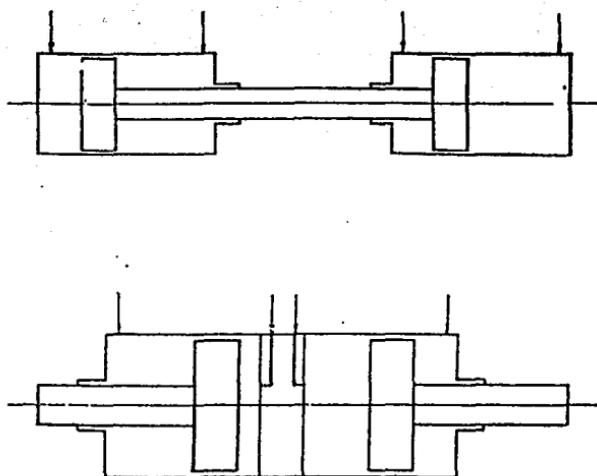


Figura II.a.6 Cilindros en tandem. Conexión frontal y conexión trasera.

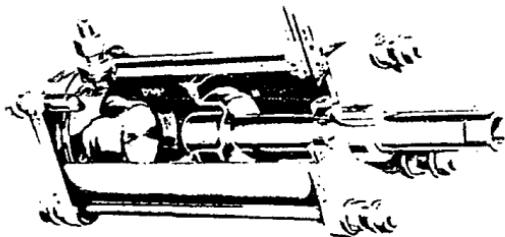


Figura II.a.7 Cilindro neumático ligero

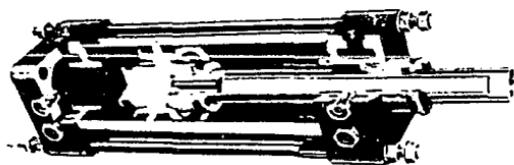
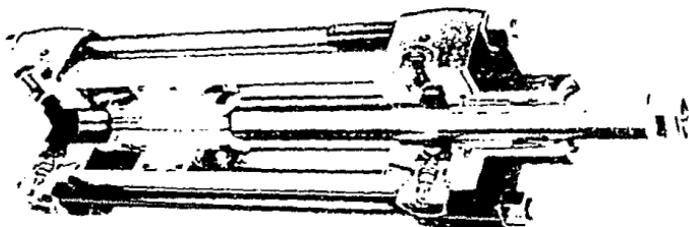


Figura II.a.8 Cilindro neumático medio.



**Figura II.a.9 Cilindro neumático pesado.**

## **II.b CARACTERISTICAS Y SELECCION DE CADA UNO DE LOS TRANSDUCTORES**

Cabe mencionar que un transductor es un dispositivo que opera bajo el principio de transformar una entrada, que representa una variable física, en una eléctrica o mecánica.

### **II.b.1 TRANSDUCTOR SENSIBLE A MATERIALES FERROMAGNETICOS CON MAGNETORRESISTENCIA**

#### **PRINCIPIOS DE OPERACION.**

Este modelo es muy similar en cuanto a constitución general y características a los descritos de efecto Hall, diferenciándose de ellos en que utilizan como sistema de detección una resistencia dependiente de la inducción magnética. La única diferencia práctica es que la tensión producida en un generador Hall depende de la polaridad del campo, mientras que esta polaridad no tiene ninguna influencia en la magnetorresistencia. El valor óhmico de éstas aumenta cuando lo hace el campo magnético que las atraviesa. Dependiendo de la aplicación, esta puede ser fijada por medio de un pegamento aislante sobre un sustrato magnético (hierro o ferrita) o sobre un sustrato no magnético (cerámico o epoxy). Este tipo de detector de proximidad, cuando incorpora los imanes permanentes necesarios para su funcionamiento, recibe el nombre comercial de magnetorresistencia (fig.

11.b.1). El imán permanente M es cerámico y polariza a esta con un campo tal que la sitúa en una zona lineal de su característica aproximadamente sobre los 6,000 gauss. Un aumento de este campo magnético incrementará el valor medio de la magnetorresistencia ( $450 \Omega \pm 30\%$ ) hasta 1,000  $\Omega$  aproximadamente. La disminución del campo decrementará el valor óhmico hasta unos 100  $\Omega$  para  $B = 0$ .

#### CARACTERISTICAS MEDIAS.

Sensibilidad: La damos como R en función de B; resistencia con campo nulo, 115  $\Omega$ ; resistencia con B igual a 6,000 gauss 450  $\Omega$ ; sensibilidad al campo 0.2  $\Omega$ /gauss.

Coefficiente de temperatura: 0.7 % por  $^{\circ}\text{C}$

Temperatura de operación:  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $130^{\circ}\text{C}$ .

Velocidad: a) En sustrato magnético hasta 1 MHz  
b) En sustrato no magnético, hasta 10 MHz

Potencias manejables: Limitadas por la máxima disipación de la magnetorresistencia (500 mW a  $25^{\circ}\text{C}$ ).

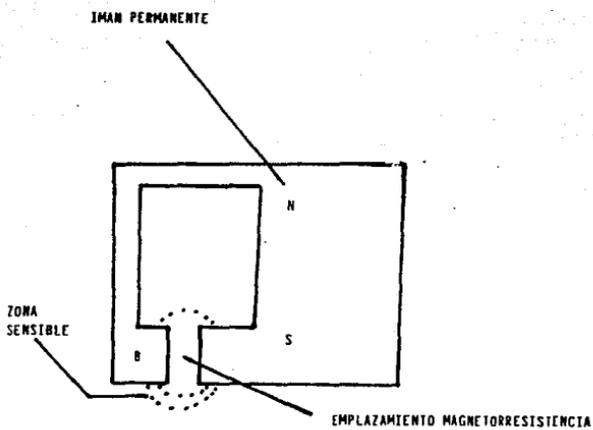


Fig 11.b.1. DETECTOR CON MAGNETORRESISTENCIA POLARIZADO

## II.b.2 TRANSDUCTOR QUE UTILIZA RADIACION VISIBLE.

### PRINCIPIO DE OPERACION

Los retroreflexivos, cuyo funcionamiento es posible dentro de amplios límites de frecuencia de radiación, poseen modelos comerciales tanto en la banda de infrarrojos como en la visible. La elección de una frecuencia determinada depende exclusivamente de la aplicación, buscándose el medio que pueda resultar más eficaz y económico. La radiación visible da lugar a sistemas más económicos y versátiles mientras que la infrarroja se utiliza cuando es preciso trabajar con una iluminación ambiente elevada (incluso luz solar). En ambos casos el principio de funcionamiento responde al mismo diagrama de bloques que se muestra en la figura II.b.2. Como se comprende fácilmente, en este detector, la emisión se halla modulada (troceada), lo que hace más fácil su reconocimiento, eliminando los problemas de ruidos que existen en los detectores que funcionan bajo el principio por la figura II.b.3. Las señales interiores de sincronización permiten al demodulador local sincronizar las señales recibidas con las transmitidas. La modulación de la radiación transmitida puede estar codificada, de forma que cada emisor-receptor sólo reconozca la suya, eliminando problemas de interferencias en equipos que trabajen relativamente próximos entre sí. Todo el conjunto es de estado sólido, siendo el elemento emisor de la radiación el punto más débil del sistema. Cuando ésta es infrarroja, se utilizan LED

de estado sólido, y en la banda visible, lámparas de larga vida que alcanzan las 60,000 horas.

#### **CARACTERISTICAS MEDIAS.**

**Objetos a detectar:** Cualesquiera capaces de reflejar la radiación.

**Potencia necesaria:** 10mW, en funcionamiento de -40°C a 70°C.

**Sensibilidad:** - Movimiento lineal 0.002"

- Movimiento angular 0.2°

Las aplicaciones de este tipo de detector de proximidad se reducen a aquellas que no pueden ser cubiertas por modelos más económicos y pequeños. En los tipos que utilizan radiación infrarroja, debido a no ser está visible, cabe mencionar la detección de intrusos, con o sin luz ambiente. Los demás tipos se prestan bien al control de posicionado de grandes elementos como control de puertas y ascensores, o sustitución de otras aplicaciones por su más fácil instalación, como control de tráfico, estacionamientos, estaciones de peaje, etc.

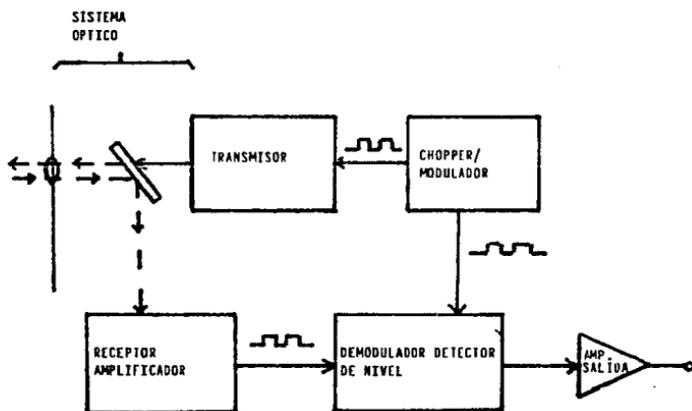


Fig 11.b.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN DETECTOR RETRORREFLEXIVO

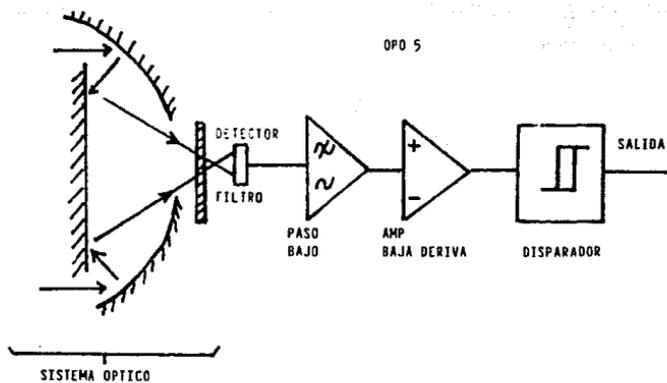


Fig II.b.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN DETECTOR DE INFRARROJOS



#### **II.b.4 TRANSDUCTOR DE CELDA FOTOVOLTAICA**

##### **PRINCIPIO DE OPERACION.**

El principio se ilustra en la figura II.b.4. La construcción incluye tres capas: una placa base de metal, un material semiconductor y una delgada capa transparente de metal. Esta capa transparente puede ser una laca conductora depositada con un atomizador. Cuando la luz incide sobre la barrera entre la película transparente de metal y el material semiconductor, se genera un voltaje como se muestra en la figura II.b.5. La salida del dispositivo depende en gran parte de la resistencia de carga R. La variación del voltaje a circuito abierto respecto a la excitación, se aproxima a una función logarítmica, pero se puede lograr un comportamiento más lineal disminuyendo la resistencia de carga.

##### **CARACTERISTICAS MEDIAS.**

Sensibilidad: 1 mA/lumen o  $10^{-7}$  watt/cm<sup>2</sup>-lumen.

Respuesta a la frecuencia:  $1 \times 10^{-7}$  watt/cm<sup>2</sup>-lumen; responde en el rango de MHz.

Temperatura: Variaciones de 10 % cada 40 °C.

Tipo de salida: Voltaje.

Observaciones: Económico, comportamiento no lineal, algunos efectos por envejecimiento.

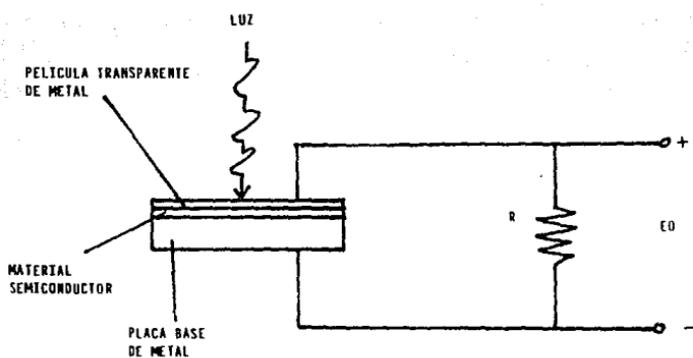


Fig. II.b.4. DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

#### II.b.5 SELECCION DE TRANSDUCTOR A UTILIZAR

Utilizaremos un transductor con la combinación de radiación visible y celda fotovoltaica; ver figura II.b.5. Las características de este transductor serán una resistencia máxima a una presión de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 115 °C. Debido a que nuestro transductor medirá el volumen de espuma de poliestireno para evitar problemas engañosos de volúmenes se utilizará una instalación triangularizada de este transductor en el preexpansor de poliestireno expansible. También tendremos en cuenta las posibles obstrucciones de nuestro transductor, para evitar tal problema instalaremos un conducto de aire inyectado a nuestro transductor; ver figura II.b.5.

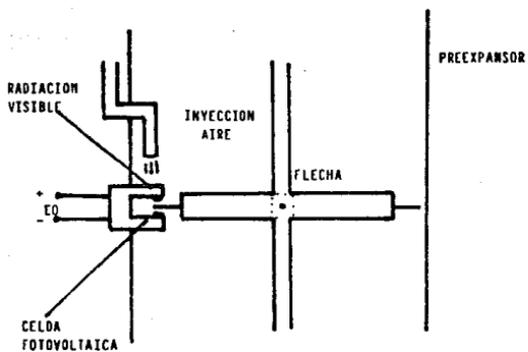


Fig 11.b.5. TRANSDUCTOR DE: RADIACION VISIBL/CELDA FOTOVOLTAICA

## II.b.6 TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

### II.b.6.1 TERMOPAR

#### PRINCIPIO DE OPERACION.

Se basa en 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 frío) se mantienen a distinta temperatura (figura II.b.6). Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoelectrónicos 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.

#### CARACTERISTICAS MEDIAS.

Intervalo de medida de temperaturas:

- a)  $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- b)  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+95\text{ }^{\circ}\text{C}$
- c)  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $370\text{ }^{\circ}\text{C}$

F.E.M. (Fuerza electromotriz):  $0.052\text{ milivolts}/^{\circ}\text{C}$

Límites de error del termopar:

Tipo:	a	b	c
Regular:	$\pm 2\%$	$\pm 0.8\%$	$\pm 0.75\%$
Premium:	$\pm 1\%$	$\pm 0.4\%$	$\pm 0.375\%$

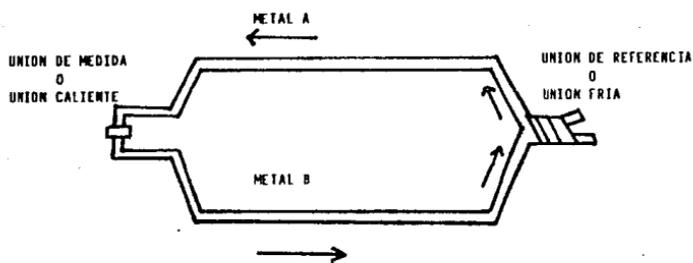


Fig II.b.6. TERMO PAR.

**II.b.7 SENSOR DE PRECISION DE TEMPERATURA DE GRADOS  
CENTIGRADOS (SERIE LM35).**

**PRINCIPIO DE OPERACION.**

Este sensor es un circuito integrado sensible a la temperatura del medio ambiente que le rodea, esto quiere decir que su voltaje de salida será linealmente proporcional a la temperatura ambiente (ver figura II.a.7).

**CARACTERISTICAS MEDIAS.**

Voltaje de operación: 4 a 30 volts.

Impedancia baja de salida 0.1  $\Omega$  para 1 mA de carga.

Rango básico de temperatura: - 55 °C a +150 °C.

Linealidad: +10 mV/°C.

Corriente de salida: 10 mA.



## **II.b.8 SELECCION DE TRANSDUCTOR A UTILIZAR**

Utilizaremos el sensor de precisión de temperatura de grados centígrados (Serie LM35); por tener el rango necesario para medir una temperatura media de 107°C, por su linealidad, ser económico y su disponibilidad en el mercado. Con este aditamento podemos tener una supervisión precisa de la temperatura del preexpansor.

## **II.b.9 TRANSDUCTORES DE PRESION**

### **II.b.9.1 TRANSDUCTOR PIEZOELECTRICO**

#### **PRINCIPIO DE OPERACION.**

Los elementos piezoeléctricos son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150°C en servicio continuo y de 230°C en servicio intermitente. Su señal de respuesta es lineal y son adecuados para medidas dinámicas; tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios de temperaturas y de experimentar derivación en el cero (transductor piezoeléctrico en figura II.b.8).

#### **CARACTERISTICAS MEDIAS.**

Margen de operación: 0.1 - 600 Kg/cm<sup>2</sup>.

Precisión en toda la escala: 1 %.

Sobrecarga: 20 %.

Temperatura máxima de servicio: 90 °C.

Impedancia de salida:  $\infty$ .

Error de cero por influencia de temperatura ambiental: 1%-4.8%

Resolución: 6 mV/(Kg/cm<sup>2</sup>).

Sensibilidad a vibraciones: Baja.

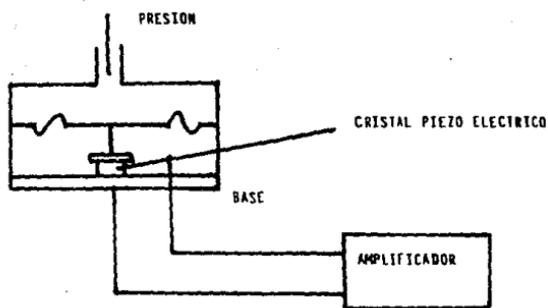


Fig II.b.8. TRANSDUCTOR PIEZO-ELECTRICO

### **II.b.9.2 SENSOR DIFERENCIAL DE PRESION (SERIE MPX)**

#### **PRINCIPIO DE OPERACION.**

El sensor diferencial de presión, se compone por un elemento piezoresistivo de silicio; creando con este un circuito integrado sensible a la presión ejercida hacia él, esto quiere decir que su voltaje de salida será proporcional linealmente a la presión ejercida (Kilopascal=0.145 PSI). (Sensor diferencial de presión figura II.b.9).

#### **CARACTERISTICAS MEDIAS.**

Rango de presión medible: 0 - 1.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Temperatura de operación: -40 a +125 °C.

Temperatura de almacenaje: -50 a +150 °C.

Voltaje de operación: 3 - 10 volts.

Impedancia de salida: 1400 a 3000 Ω.

Tiempo de respuesta: 1 ms.

Sensibilidad: 0.25 mV/(kg/cm<sup>2</sup>).

### **II.b.10 SELECCION DE TRANSDUCTOR**

Utilizaremos el sensor diferencial de presión (serie MPX); por tener el rango necesario para medir una presión media de 0.7 kg/cm<sup>2</sup>, soportar una temperatura media de 107 °C, por su linealidad, ser económico y su disponibilidad en el mercado. Con dichas variables podemos tener una supervisión apta para la presión del preexpansor.

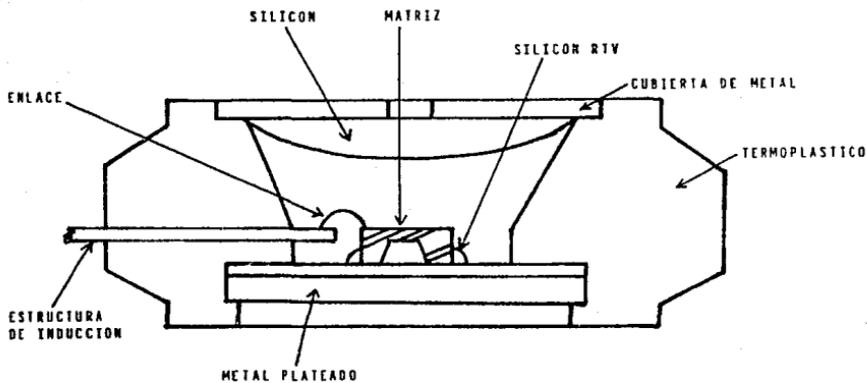


Fig II.b.7.

## II.c LOCALIZACION OPTIMA DE LOS TRANSDUCTORES

Debido a que se desea registrar una señal de presión la temperatura interna del preexpansor, nivel de material y tres señales que nos darán la orden de actuar en cuatro válvulas, las son

1. Entrada de material.
2. Alimentación de vapor.
3. Venteos Descargas de vapor.
4. Salida de material.

### II.c.1 SECUENCIA DE OPERACION

Una vez depositada la cantidad de material en la balsa que se localiza en el preexpansor, se da la señal para la entrada de material. Ya dentro todo el material se cierra la entrada y comienza la entrada de vapor, que se detendrá cuando este llegue a  $0.7 \text{ kg/cm}^2$ , se interrumpirá la entrada de vapor y se abrirá la válvula de venteo hasta llegar la presión a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ . Una vez llegada a la presión antes citada, se cierra esta válvula y se chequea si el nivel es o no el requerido, si resultará que no fuera el nivel indicado se ordenaría nuevamente la entrada de vapor hasta llegar a  $0.7 \text{ kg/cm}^2$ . Ya obtenido el nivel deseado, se sacará todo el vapor para que posteriormente se abra la salida de material, una vez fuera todo el material se cerrará esta válvula y se iniciará otro ciclo.

Trataremos de describir el caso en el siguiente Diagrama de Flujo. En el siguiente Diagrama de GANTT., nos muestra la secuencia con que se hace la operación de preexpansion.

Abrir válvula de entrada.

Entrada de material.

Cierre de válvula.

Entrada de vapor.

Cierre de entrada de vapor.

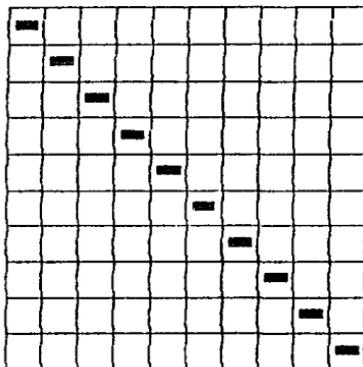
Abrir válvula de venteo.

Cierre de válvula de venteo.

Abrir salida de material.

Salida de material.

Cierre de salida de material.

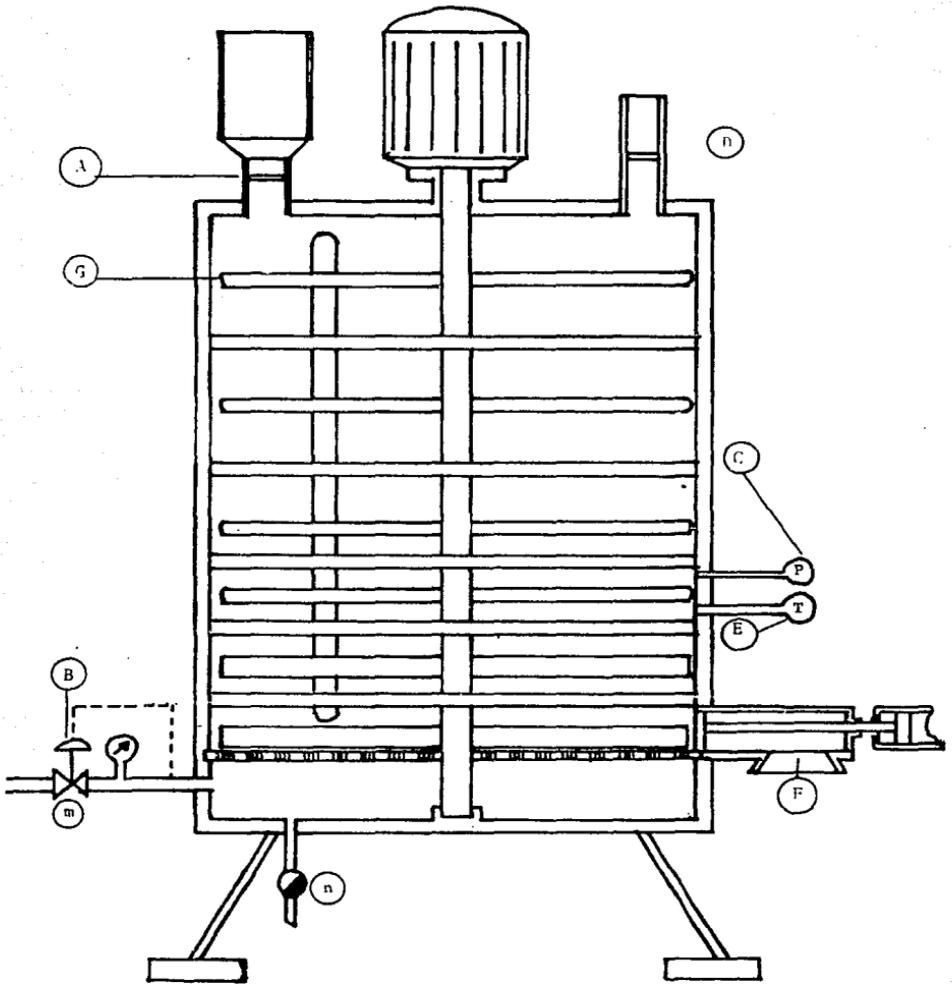


Analizando y estudiando el Diagrama de Flujo, podemos definir la localización de los puntos donde se deben ubicar los transductores:

- Válvula de entrada de material, que debe cerrar una vez entrando todo el material iniciandose el ciclo.
- Válvula de admisión de vapor, que cierra hasta que la presión de vapor es igual a  $0.7 \text{ kg/cm}^2$ .

- c. Medición de la presión = 0.7 kg/cm<sup>2</sup>, 0.3 kg/cm<sup>2</sup> o atmosférica.
- d. Válvula de venteo, esta alivia la presión hasta llegar a 0.3 kg/cm<sup>2</sup>.
- e. Medición de la temperatura de vapor 0-150 °C.
- f. Válvula de salida de material.
- g. Testigo que cheque la altura de material.

En el Diagrama siguiente se muestra físicamente la localización de estos actuadores.



## II.d DISEÑO DE LA INTERFASE PARA CADA UNO DE LOS TRANSDUCTORES

Dadas las características de los transductores seleccionados y considerando que el proceso será controlado por un microprocesador compatible con niveles de voltaje entre cero y cinco volts, las interfases serán básicamente un circuito que lleve las señales de salida de los transductores a los niveles adecuados, y proporcione el acoplamiento de impedancia correcto con las entradas del controlador.

De igual forma las señales de mando enviadas por el controlador, deberán adecuarse a los niveles requeridos por los sistemas a controlar.

### II.d.1 INTERFASE PARA SENSOR DE TEMPERATURA

Como se muestra en la figura II.d.1, la interfase para el transductor de temperatura esta contituida por un red resistiva R1 y R2 la cual permite ajustar el nivel de voltaje recibido, en forma remota, desde el transductor y un amplificador operacional TL072 en configuración no inversora, que permite, a través de su red resistiva R3 y R4, amplificar desde una hasta seis veces ( $GANANCIA = 1 + R3/R4$ ), la señal del sensor de temperatura.



inversora. La red resistiva del amplificador ( $R_1$  y  $R_2$ ), permite aumentar hasta un 10% la señal del sensor.

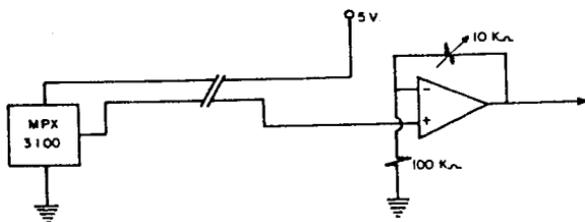


Fig. II.d.2 Interfase para el sensor de presión.

### II.d.3 INTERFASE PARA LA SEÑAL DE NIVEL

Dado que el detector de nivel está construido con un fotosensor, el cual es activado al pasar frente a él una de las paletas del agitador, y que dicha activación cesará cuando el material en expansión alcance el nivel adecuado; la interfase

entre el sensor de nivel y el controlador, será un circuito "one-shot" que se encargará de detectar la ausencia de los

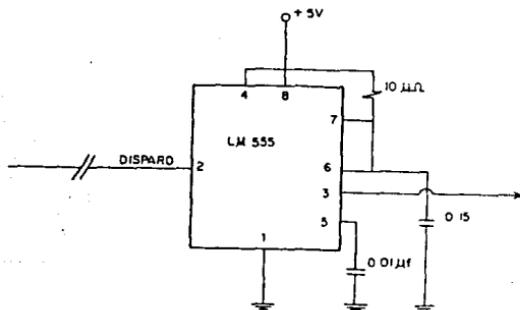


fig. II.d.3.a Circuito "ONE-SHOT".

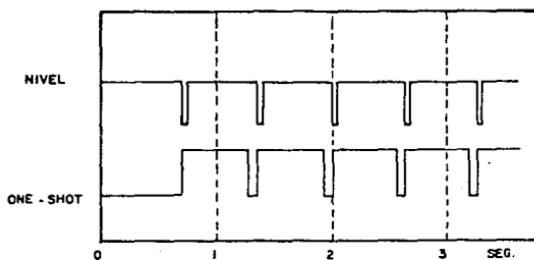


Fig. II.d.3.b Señal proporcionada por el sensor de nivel.

Como se muestra en la figuras II.d.3.a y II.d.3.b la salida del circuito "one-shot" tendrá un nivel alto mientras esté presente la señal del sensor de nivel, cuando esta desaparezca la salida quedará en un nivel bajo y solo volverá a subir si se detecta otro pulso del sensor.

Para evitar una señal de nivel alcanzado falsa, el fotosensor será activado por ambas paletas del agitador y el tiempo de reestablecimiento del "one-shot" será ajustado de tal forma que pueda ser disparado lo más pronto posible por los pulsos del sensor de nivel.

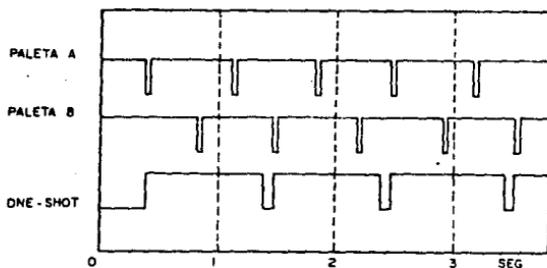


Fig. II.d.3.c Señal del sensor de nivel con activación de las dos paletas del agitador

#### II.d.4 INTERFASE PARA LAS SEÑALES DE MANDO

Las señales de mando que requiere este proceso son aplicadas exclusivamente a la apertura y cierre de válvulas, por lo tanto dichas señales estarán encaminadas a la activación de solenoides que controlan tales válvulas. En la figura II.d.4 se muestra la interfase de mando, contituida por un optoaclopador MOC3011 que aísla el puerto de mando del controlador de los altos niveles de corriente y/o voltaje que requieren los actuadores de las válvulas, y un "TRIAC" actuando como interruptor del control de dichas válvulas.

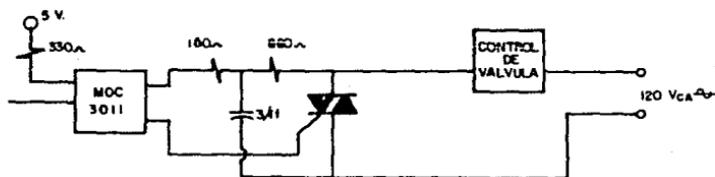


Fig. II.d.4 Interfase de mando.

## II.e BLINDAJE DE LAS SEÑALES HACIA SUS RESPECTIVAS INTERFASES

El amplio uso de circuitos eléctricos y electrónicos para comunicaciones, distribución eléctrica, automatización, computación y otros propósitos hace necesario que diversos circuitos operen muy cerca unos de otros. Muchos de esos circuitos se afectan adversamente entre sí. La interferencia electromagnética, o interferencia de radio frecuencia, es el mayor problema en el diseño de circuitos, y probablemente será más severo en el futuro. El gran número de dispositivos electrónicos en uso común son parcialmente responsables de esta tendencia. Además de que, el uso de circuitos integrados reduce el tamaño del equipo electrónico. Como los sistemas son más pequeños y sofisticados, hay más circuitos en menos espacio, así se incrementa la posibilidad de interferencia.

Actualmente, los diseñadores de equipo deben preocuparse no sólo de que sus circuitos operen bajo condiciones ideales en el laboratorio. Además del trabajo obvio, deben asegurar que el equipo trabaje en el "mundo real", con otros equipos cerca. Esto significa que el equipo no debe ser afectado por fuentes externas de ruido y no debe ser en sí mismo una fuente de ruido. La eliminación o prevención real de interferencia electromagnética debe ser un objetivo principal del diseño.

### II.e.1 RUTA TÍPICA DEL RUIDO

Dentro de la ruta típica del ruido hay tres elementos necesarios para producir el problema del ruido (figura II.e.1). Primero, debe haber una fuente de ruido. Segundo, un circuito receptor que es susceptible al ruido. Y tercero, debe haber un canal de acoplamiento para transmitir el ruido de la fuente al receptor. El primer paso en el análisis del ruido es definir el problema. Esto es, la determinación de la fuente de ruido, del receptor y como la fuente y el receptor están acoplados. En seguida hay tres maneras de romper la ruta del ruido: (1) el ruido puede ser suprimido en la fuente, (2) el receptor puede ser insensible al ruido, o (3) la transmisión a través del canal de acoplamiento puede ser minimizada. En algunos casos, las técnicas de supresión de ruido deben ser aplicadas a dos o a las tres partes de esa ruta.

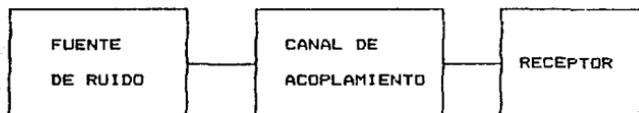


Figura II.e.1

## II.e.2 USO DE LA TEORIA DE REDES

Para la respuesta exacta a la pregunta del como un circuito eléctrico se comporta, las ecuaciones de Maxwell deben ser resueltas. Estas ecuaciones son funciones de tres variables (x, y, z) y del tiempo (t). Las soluciones para cualquier problema simple son muy complejas. Para evitar esta complejidad, se hace uso de una técnica de análisis aproximado llamado "análisis de circuitos eléctricos" que es usada en muchos procedimientos de diseño.

El análisis de circuitos asume lo siguiente:

1. Todos los campos eléctricos están confinados a los interiores de capacitores.
2. Todos los campos magnéticos están confinados a los interiores de inductores.
3. Las dimensiones de los circuitos son pequeñas comparadas con las longitudes de onda bajo consideración.

Siempre que sea posible, los canales de acoplamiento son representados como un conjunto equivalente de componentes de red. Así, un campo eléctrico variable en el tiempo que existe entre dos conductores puede ser representado por un capacitor conectado a los dos (figura II.e.2). Un campo magnético variable en el tiempo que acopla dos conductores puede ser representado por una inductancia mutua entre los dos circuitos (figura II.e.3).

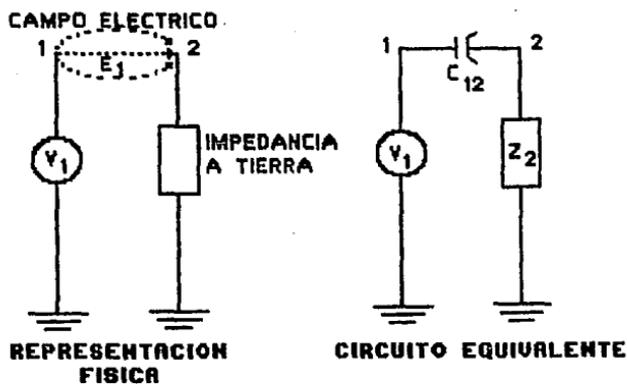


Figura II.e.2

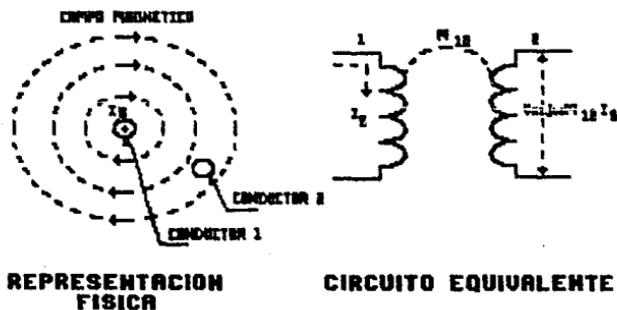


Figura II.e.3

Para que este enfoque sea válido, las dimensiones físicas de los circuitos deben ser pequeñas comparadas con las longitudes de onda involucradas. Por ejemplo, la longitud de onda de una señal de 1 MHz es aproximadamente 300 m y para una señal de 300 MHz es 1 m. Para muchos circuitos electrónicos las dimensiones son menores que estos valores.

Aún cuando las suposiciones anteriores no son verdaderamente válidas la representación a través de este conjunto de elementos es útil por las siguientes razones:

1. La solución de las ecuaciones de Maxwell no es práctica para muchos problemas por las complicadas condiciones de frontera.
2. La representación de componentes, aunque no necesariamente da respuestas numéricas correctas, muestra claramente como el ruido depende de los parámetros del sistema. Por otro lado la solución de las ecuaciones de Maxwell, aún siendo posible, no muestra tales dependencias claramente.

En general los valores numéricos del conjunto de componentes son extremadamente difíciles de calcular con cualquier precisión, excepto para ciertas geometrías especiales. Uno puede concluir, sin embargo, que esos componentes existen, y los resultados pueden ser muy útiles aun cuando los componentes son sólo definidos en un sentido cualitativo.

### II.e.3 METODOS DE ACOPLAMIENTO DE RUIDO

#### II.e.3.1 RUIDO ACOPLADO CONDUCTIVAMENTE

Una de las más obvias maneras, pero frecuentemente no considerada, de acoplamiento de ruido en un circuito es el conductor. Un alambre que corre a través de un medio con mucho ruido puede tomar este y, entonces, conducirlo a otro circuito. Esto causa interferencia. La solución es prevenir que el conductor tome ruido o remover el ruido de este, por desacoplamiento antes de que interfiera con el circuito. El ejemplo más claro es el ruido generado por el suministro de energía.

#### II.e.3.2 ACOPLAMIENTO A TRAVES DE IMPEDANCIA COMUN.

Este tipo de acoplamiento ocurre cuando corrientes de dos diferentes circuitos fluyen a través de una impedancia común. La caída de voltaje a través de la impedancia vista por cada uno de los circuitos es afectada por el otro (figura II.e.4).

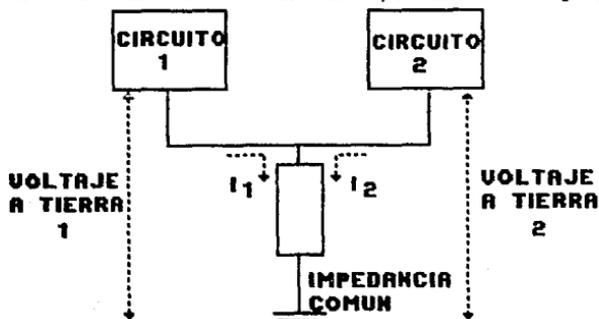


Figura II.e.4

### **II.e.3.3 CAMPOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS.**

La radiación de campos eléctricos y magnéticos da otro medio de acoplamiento de ruido. Todos los elementos del circuito incluyendo conductores radian campos electromagnéticos. Además de estas radiaciones no intencionales, existe el problema de las radiaciones intencionales de fuentes tales como estaciones radiodifusoras y emisoras de radar. Cuando el receptor está cerca de la fuente (campo cercano), los campos eléctrico y magnético son considerados por separado. Cuando el receptor está lejos de la fuente (campo lejano), la radiación es considerada como una combinación de radiaciones eléctricas, magnéticas o electromagnéticas.

### **II.e.3.4. OTRAS FUENTES DE RUIDO.**

Acción galvánica. Si son usados metales diferentes en la ruta de una señal en un circuito, un voltaje de ruido puede aparecer debido a la acción galvánica entre dos metales. La presencia de humedad o vapor de agua en conjunción con dos metales produce una pila química húmeda. El voltaje desarrollado depende de los metales usados y está relacionado por sus posiciones en las series galvánicas. Además del voltaje de ruido producido, el uso de metales diferentes puede producir un problema de corrosión.

Acción electrolítica. Un segundo tipo de corrosión es debido a la acción electrolítica. Causada por un flujo de corriente

directa a través de dos metales con un electrólito entre ellos. Este tipo de corrosión no depende de los metales usados y ocurre aún si ambos son iguales. La tasa de corrosión depende de la magnitud de la corriente y la conductividad del electrólito.

Efecto triboeléctrico. Una carga puede ser producida en el material dieléctrico de un cable, si este no mantiene contacto con los conductores del cable, este efecto es llamado el efecto triboeléctrico. Es usualmente causado por torsión mecánica del cable. La carga actúa como una fuente de voltaje de ruido en el conductor. La eliminación de torceduras agudas y movimiento del cable minimizan el efecto.

Movimiento del conductor. Si un conductor es movido a través de un campo magnético un voltaje es inducido entre las puntas del conductor. Debido a los circuitos de potencia y otros circuitos con alto flujo de corriente, los campos magnéticos existen en muchos ambientes. Si un conductor con bajo nivel de señal es movido dentro de estos campos un voltaje de ruido es inducido en él. Este problema es común en un medio vibracional. La solución es simple: prevenir el movimiento del conductor mediante grapas u otro dispositivo sujetador.

## **II.e.4 BLINDAJE Y ATERRIZADO**

Las dos principales maneras de minimizar la toma de ruido son el blindaje y el aterrizado, ambas técnicas están íntimamente relacionadas. El blindaje reduce considerablemente la cantidad de ruido acoplado, cuando es usado con propiedad. Los blindajes pueden ser colocados en componentes, circuitos, ensamblajes completos o cables y líneas de transmisión.

### **II.e.4.1 INTRODUCCION**

Un blindaje es una pared metálica dispuesta entre dos regiones de espacio, que se utiliza para atenuar la propagación de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos; sirve tanto para no dejar salir el flujo de los campos de la zona que encierra, como para evitar que en una zona protegida entre campo alguno (fig. II.e.5).

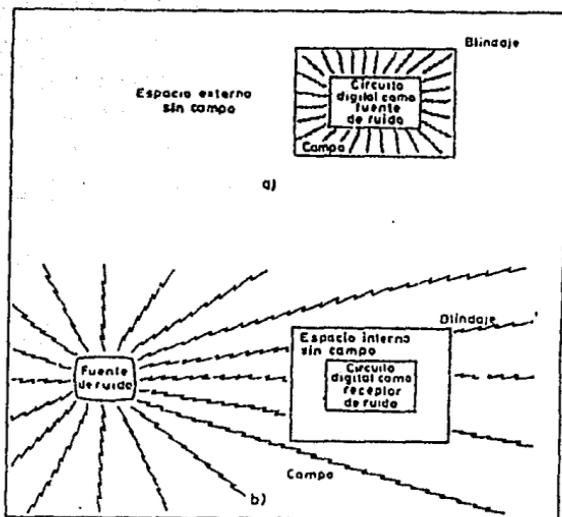


Figura II.e.5

Las características de un campo están determinadas por su fuente, por el medio de propagación y por la distancia entre la fuente y el punto donde está situado el receptor. En un punto cercano al origen las propiedades del campo están determinadas principalmente por las características de la fuente; lejos de ella, las propiedades están determinadas por el medio de propagación. Así, el espacio se puede dividir en dos regiones.

en función de la distancia entre el origen del campo y el punto de observación (fig. II.e.6). Cerca de la fuente está el llamado campo cercano. A una distancia mayor de la longitud de onda dividida por  $2\pi$  se sitúa (aproximadamente un sexto de una longitud de onda) el llamado campo lejano o radiación. Esta zona pertenece a las llamadas ondas planas (campo electromagnético). Así, la transición entre los dos tipos de campo se sitúa en la región cercana a  $\lambda/2\pi$ , siendo  $\lambda$  la longitud de onda.

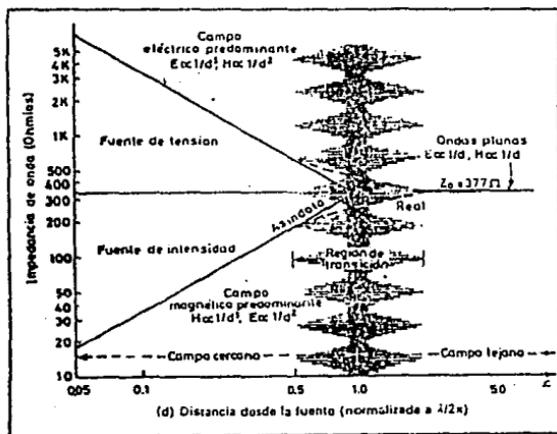


Figura II.e.6

El cociente entre la intensidad de campo eléctrico  $E$ , la intensidad de campo magnético  $B$  tiene unidades de impedancia y se llama impedancia de onda. En el campo lejano,  $E/B$  es igual a

la impedancia característica del medio ( $E/B=Z_0=377 \Omega$  en el aire o en el vacío). En el campo cercano, esta impedancia está determinada por las características de la fuente y la distancia de la fuente al punto desde donde se observan los efectos del campo. Si la fuente tiene una alta intensidad y bajo voltaje ( $E/B < 377 \Omega$ ) el campo cercano es predominantemente magnético. Por el contrario, si la fuente tiene alto voltaje y baja intensidad ( $E/B > 377 \Omega$ ), el campo cercano será principalmente eléctrico (figura II.e.6). La impedancia característica de cualquier conductor es igual a  $Z_s = 3.68 \times 10^{-4} (\mu_r / \epsilon_r)^{1/2} \times (f)^{1/2}$ .

En la zona del campo cercano, si el campo eléctrico es más intenso que el magnético, el primero se atenúa, conforme nos alejamos de la fuente, proporcionalmente a  $(1/d)^3$  ( $d$ =distancia), mientras que el magnético se atenúa proporcionalmente a  $(1/d^2)$ . Contrariamente en esta misma zona, si la intensidad magnética es mayor que la del campo eléctrico, el campo magnético se atenúa a  $(1/d)^3$ , mientras que el eléctrico lo hace proporcionalmente a  $(1/d)^2$ . En el campo lejano, ambos campos se atenúan proporcionalmente a  $(1/d)$  (figura II.e.6).

A frecuencias menores de 1 MHz, la mayoría de los acoplamientos entre equipos electrónicos son debidos al campo cercano, ya que a estas frecuencias se extiende a más de 45 metros (a 30 kHz llega a más de 1 km). En el campo cercano se debe considerar los campos eléctricos y magnéticos por separado.

#### II.e.4.2 EFECTIVIDAD DE LOS BLINDAJES

La efectividad de un blindaje puede especificarse en términos de atenuación en dB de la intensidad de campo. Así, la efectividad  $S$  está definida por el campo eléctrico como  $S=20 \log(E_0/E_1)$  (dB) y para el magnético como  $S=20 \log(B_0/B_1)$  (dB). En las ecuaciones anteriores,  $E_0(B_0)$  es la intensidad de campo incidente y  $E_1(B_1)$  la intensidad de campo que traspasa el blindaje.

La efectividad de un blindaje varía con la frecuencia, la geometría del campo, la posición desde donde el campo es medido, con el tipo de campo que está siendo atenuado y con la dirección de incidencia y de polarización. Los resultados del cálculo de la efectividad sirven para comparar varios materiales en función de su atenuación.

Al incidir una onda electromagnética en una superficie metálica, ésta es parcialmente reflejada por la superficie, y la parte transmitida (no reflejada) es atenuada al pasar a través del blindaje. Este último efecto provoca las llamadas pérdidas por absorción, que son las mismas tanto en campo lejano como cercano. Las pérdidas por reflexión dependen de la impedancia de onda y no son iguales en los campos cercano y lejano.

La efectividad total de un blindaje es igual a la suma de las pérdidas por absorción (A), más las pérdidas por reflexión (R)

más un factor ( $B^{\wedge}$ ) que contabiliza las múltiples reflexiones en los blindajes. Así, se puede escribir  $S=A+R+B^{\wedge}$ (dB). El factor  $B^{\wedge}$  es despreciable si  $A > 10$  dB. Desde un punto de vista práctico  $B^{\wedge}$  se puede despreciar en el caso de campos eléctricos y electromagnéticos y sólo se debe considerar en los campos magnéticos (figura II.e.7).

---

A - pérdidas por absorción (dB)

R - pérdidas por reflexión (dB)

$B^{\wedge}$  - factor de corrección del espesor del blindaje (dB)

S - efectividad del blindaje (dB)

$\sigma_r$  - conductividad relativa del material

$\mu_r$  - permeabilidad relativa del material

f - frecuencia (Hz)

t - espesor del blindaje (metros)

d - distancia desde la fuente del campo al blindaje (metros)

$\delta$  - "profundidad de penetración" del material a la frecuencia del campo (metros)

$$\delta = (2/\omega\mu\sigma)^{1/2} = 66.4 \times 10^{-3} / (f\mu_r\sigma_r)^{1/2}$$

Ecuación 1  $A=131.496t(f\mu_r\sigma_r)^{1/2}$

Ecuación 2  $R=16B-10 \log(\mu_r f/\sigma_r)$  (campo eléctrico)

Ecuación 3  $R=14.6+10 \log(fd^2\mu_r/\sigma_r)$  (campo magnético)

Ecuación 4  $B^{\wedge}=20\log(1-e^{-2t/\delta})$  (este factor es siempre negativo)

---

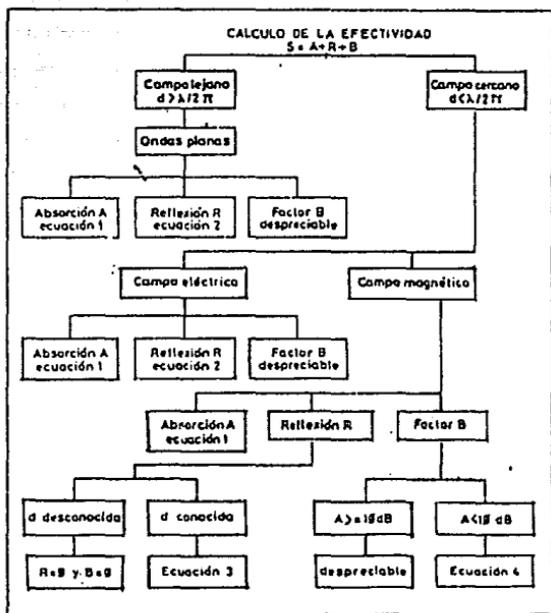


Figura II.e.7

#### II.e.4.3 PERDIDAS DE ABSORCION

Cuando una onda electromagnética pasa a través de un blindaje, su amplitud decrece exponencialmente debido a las corrientes inducidas en el mismo. Estas provocan pérdidas por efecto Joule y por ello disipan calor en el material. La distancia requerida para que la onda sea atenuada  $(1/e)$  veces (37.7% de su valor inicial) está definida como la "profundidad de penetración":  $\delta = (2/\omega\mu\sigma)^{1/2}$ , en metros (tabla II.e.1). Las pérdidas por absorción para la profundidad de penetración son unos 9 dB. Doblando el espesor del blindaje se doblan las pérdidas de absorción. Este efecto constituye el principal mecanismo de blindaje en el caso de campos magnéticos de baja frecuencia.

FRECUENCIA	$\delta$ para cobre mm	$\delta$ para aluminio mm	$\delta$ para acero mm
60 Hz	8.5	10.9	0.86
100 Hz	6.6	8.4	0.66
1 Hz	2.0	2.6	0.20
10 kHz	0.66	0.84	0.08
100 kHz	0.20	0.28	0.02
1 Mhz	0.08	0.08	0.008
10 Mhz	0.02	0.03	0.002

Tabla II.e.1

#### II.e.4.4 PERDIDAS POR REFLEXION

El cálculo de las pérdidas por reflexión es más complicado que el anterior. Las pérdidas por reflexión en la frontera entre

medios (aire y blindaje) están relacionadas con las impedancias características de cada uno de los dos medios, según se ilustra en la figura II.e.8. Cuando una onda atraviesa un blindaje encuentra dos cambios de medio, y si éste es delgado en comparación con la profundidad de penetración, al tener pocas pérdidas de absorción se producirán múltiples reflexiones. Si el blindaje es metálico y el área rodeada es aire ( $Z_1 \gg Z_2$ ). La mayor reflexión ocurre cuando la onda penetra en la pared exterior del blindaje, en el caso de campos eléctricos y cuando la onda deja la cara interna del blindaje, en el caso de campos magnéticos; por ello, para los campos eléctricos, los blindajes delgados también son efectivos. Sin embargo, si se trata de campos magnéticos, al producirse la reflexión principal en la segunda superficie, se tienen múltiples reflexiones y por lo tanto la efectividad del blindaje queda reducida. Las pérdidas por reflexión crecen al disminuir la frecuencia (figura II.e.9) y aumentar la conductividad del material.

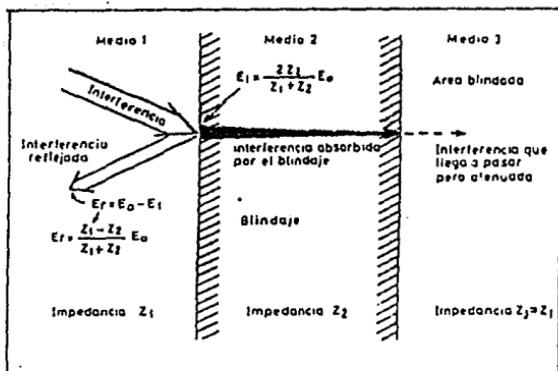


Figura II.e.8

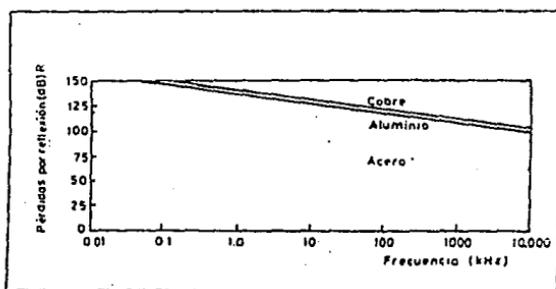


Figura II.e.9

En el caso de campos electromagnéticos (ondas planas), antes de penetrar en el blindaje, la impedancia es igual a la impedancia característica del vacío  $Z_0$  (377  $\Omega$ ) y cuanto menor es la impedancia del material del blindaje, mayores son las pérdidas por reflexión. Las pérdidas totales para una onda plana son equivalentes a la suma de las pérdidas de absorción más las de reflexión (figura II.e.10). En este caso se desprecia el término  $B$  debido a las reflexiones múltiples. Si la absorción  $A > 1$  dB, entonces  $B \approx 11$  dB, y si  $A > 4$  dB,  $B \approx 2$  dB.

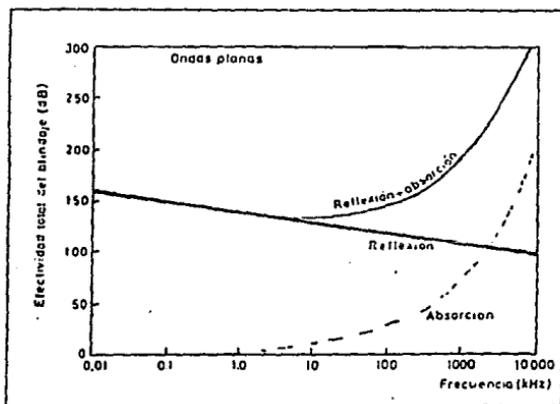


Figura II.e.10

En el campo cercano, la impedancia E/B depende de la fuente del campo (antena) y no del medio de propagación, al contrario de lo que ocurre en el campo lejano. Un campo eléctrico con alta impedancia tiene una mayor reflexión que una onda plana, y un campo magnético de baja impedancia tiene menor reflexión que una onda plana, debido a que las pérdidas por reflexión son una función del cociente entre la impedancia de onda y la impedancia del blindaje. Las pérdidas por reflexión constituyen el principal mecanismo de blindaje en el caso de campos eléctricos.

#### II.e.3.5.6 COMPARACION DE MATERIALES

Si en un blindaje se usa un material magnético en lugar de un buen conductor, se tendrá un incremento de permeabilidad de  $\mu$  y un decremento de la conductividad  $\sigma$ . Esto implicará un aumento de las pérdidas de absorción y una disminución de las de reflexión. Si se tiene un campo magnético de baja frecuencia, este hecho significa una ventaja, debido a que éstos no tienen casi pérdidas por reflexión. En cambio, en el caso de ondas planas, se tendrá un decremento de la efectividad del blindaje al ser el mecanismo de reflexión el principal. En el caso de campos eléctricos también habrá un descenso de la efectividad por la misma razón.

Los materiales magnéticos, al aumentar su frecuencia, disminuye su permeabilidad y está también depende de la intensidad de

campo. Al mecanizarlos cambian sus propiedades magnéticas. Los materiales de alta permeabilidad son adecuados para frecuencias menores a 10 kHz. Es necesario tener en cuenta el no llegar a la saturación magnética del material y, para ello, se debe consultar sus curvas de imantación (curva de histéresis),  $X=f(B)$ , de cada material, para asegurar que la intensidad de campo B no sea tan alta que sature el material. La máxima permeabilidad, y ello, la efectividad máxima del blindaje se tendrá a un nivel medio de la intensidad de campo. Tanto a baja, como a alta intensidad de campo, la permeabilidad baja y, en consecuencia, la efectividad del blindaje también es baja. Para evitar la saturación se pueden utilizar materiales distintos superpuestos combinando adecuadamente sus permeabilidades, es decir, disponiendo el material de baja permeabilidad de cara a la fuente y el de alta permeabilidad en el interior del blindaje donde habrá menor intensidad de campo B.

En resumen, un material magnético ( $\mu$  alta) tiene una mayor efectividad de protección magnética a bajas frecuencias en comparación a los buenos conductores como el cobre. A altas frecuencias, estos últimos son los que tienen mayor efectividad de protección magnética, aumentando su efectividad al aumentar la frecuencia.

Ahora bien, esta efectividad disminuye con la frecuencia si en los blindajes se tiene ranuras y juntas, debido al paso de las

ondas a través de las mismas. Este descenso de efectividad depende principalmente de la máxima dimensión lineal de la ranura (no del área), de la impedancia de onda incidente y de la frecuencia de la fuente del campo. Un número elevado de pequeñas ranuras provocan un descenso menor de la efectividad que una gran ranura con la misma superficie total. La importancia de la pérdida de la efectividad tiene menos que ver con el área del agujero que con la geometría del mismo. Una junta estrecha y larga puede causar más fugas de RF que una fila de agujeros con un área total mayor. En la selección de racks, cajas para circuitos sometidos a interferencia electromagnética debe tenerse en cuenta la continuidad eléctrica en las juntas de los chasis, para evitar estas fugas de RF.

#### II.e.3.5.7 BLINDAJES CONTRA ACOPLAMIENTO CAPACITIVO (CONTRA CAMPOS ELECTRICOS)

En los puntos anteriores se ha tratado el problema de los blindajes desde el punto de vista de los campos. Aquí, de forma más práctica, sin dejar de lado la teoría de campos, se enfoca desde el punto de vista de la teoría de circuitos en la que, como se mencionó, la captación de un campo eléctrico (o magnético) es tratada como acoplamiento capacitivo (o inductivo).

Un blindaje de tipo electroestático contra campos eléctricos debe incluir todos los componentes a proteger, debe conectarse

a un potencial constante que puede ser la tierra física del sistema y debe tener alta conductividad (Cu, Al). Además, se debe considerar que un blindaje mal conectado a la tierra de la fuente de alimentación puede actuar como antena de las radiaciones recibidas.

El acoplamiento capacitivo es debido al paso de señales de interferencia a través de capacitancias parásitas. Este es el caso de la inestabilidad en frecuencia de un oscilador debida al acercamiento de la mano al mismo. En los sistemas digitales, este acoplamiento provoca intermodulaciones en los cables múltiples.

La manera de bloquear el acoplamiento capacitivo consiste en encerrar el circuito o el conductor que se quiere proteger dentro de un blindaje metálico. Este es el llamado blindaje electrostático o de Faraday. Si su cobertura es del 100% (jaula de Faraday), no es necesario conectarlo a la tierra, pero usualmente lo está para asegurar que las capacitancias blindaje-circuito lleven las señales a la tierra y no actúen como elementos de realimentación o de intermodulación.

Un blindaje de Faraday puesto a la tierra se puede usar para romper el acoplamiento entre un circuito generador de ruido y el circuito receptor, tal como se muestra en la figura II.e.11. La figura II.e.11a presenta dos circuitos acoplados capacitiva-

mente a través de una capacitancia parásita existente entre ellos. En la II.e.11b, la capacidad parásita está interceptada por un blindaje de Faraday conectado a la tierra y por ello las corrientes de interferencia van hacia ella. En los circuitos digitales de alta velocidad, es conveniente utilizar este tipo de blindaje en forma de planos a la tierra insertados entre circuitos impresos para eliminar las capacitancias parásitas entre ellos. Otra aplicación común es la de los transformadores blindados electrostáticamente.

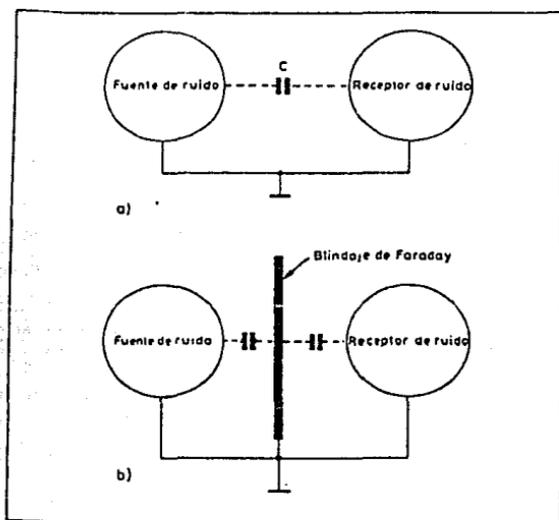


Figura II.e.11

#### II.e.3.5.8 BLINDAJES CONTRA ACOPLAMIENTO INDUCTIVO (CONTRA CAMPOS MAGNETICOS)

Un blindaje magnético efectivo debe encerrar totalmente a los componentes que se quiere proteger y debe tener, como se ha dicho anteriormente, alta permeabilidad. Con este tipo de blindaje es a veces más difícil obtener una buena efectividad en comparación al blindaje electrostático, porque es más fácil tener alta conductividad al mismo tiempo en un blindaje eléctrico que alta permeabilidad y alta conductividad en un blindaje magnético.

En este tipo acoplamiento, el mecanismo físico es el flujo magnético  $B$ , proveniente de cualquier interferencia externa, que induce un voltaje parásito en una espira en el circuito receptor de acuerdo con la ley de Lenz  $V = -NA (dB/dt)$ , donde el número de espiras  $N = 1$  y  $A$  es el área de la espira.

Es necesario tener en cuenta dos aspectos para proteger a un circuito de este acoplamiento. Uno es el de intentar minimizar los campos en la misma fuente que los genera. Esto se consigue reduciendo el área de las espiras en la fuente para provocar la anulación del campo. El otro es reducir la captación inductiva en el circuito receptor, minimizando el área de sus espiras, ya que según la Ley de Lenz, la tensión inducida en una espira es proporcional a su área. Así, los dos aspectos implican la reducción de las áreas.

### II.e.3.5.9 BLINDAJES CONTRA LA RADIODFRECUENCIA

No existe el blindaje perfecto contra campos de alta frecuencia. Como ya se ha dicho, al chocar con la superficie de blindaje, una parte de la onda incidente es reflejada y el resto atraviesa al blindaje, siendo atenuada por éste. Un material con alta conductividad es un buen reflector, un material con alta permeabilidad es un buen absorbedor. El blindaje múltiple da buenos resultados en bastantes casos con una considerable efectividad, sin embargo, no es práctico. Este problema se soluciona utilizando un blindaje compuesto de dos metales diferentes dispuestos el uno junto al otro gracias a un baño galvánico. Es usual blindar con un material ferromagnético galvanizado con cobre dirigido hacia la fuente del campo para provocar una pérdida sustancial por reflexión. La presencia del material ferromagnético provoca luego altas pérdidas por absorción.

Un campo cercano alcanza un radio aproximado de  $1/6$  de la longitud de onda del generador de ruido. A 1 MHz esto ocurre a unos 45 metros y a 10 MHz a unos 4.5 metros. Esto significa que si un generador de interferencia electromagnética está en el mismo lugar que el circuito receptor, es fácil tener un problema de campo cercano.

En el campo cercano de un conductor, que se comporta como una antena vertical, el cociente E/B es mayor que  $377 \Omega$ , lo que

significa que es principalmente un generador de campo eléctrico. Se pueden tener interferencias debido a esta conexión por acoplamiento de campo eléctrico (capacitivo). Los métodos para proteger al circuito de este acoplamiento (blindaje de Faraday), son efectivos contra las interferencias de RF provenientes de una antena.

En el campo cercano a una espira, el cociente E/B es menor de  $377 \Omega$  lo que significa que es principalmente un generador de campo magnético. Las interferencias ocasionadas por una espira lo son por un acoplamiento inductivo. Los métodos de protección contra éste, tales como el plano a tierra o la malla, pueden ser efectivos contra las interferencias de RF provenientes de una espira.

Un caso más difícil de interferencias de RF, de campo cercano o lejano, puede requerir un blindaje de RF. La idea del blindaje de RF es que los campos de interferencia electromagnética que varían con el tiempo inducen corrientes en el material del blindaje. Las corrientes inducidas disipan energía de dos modos: pérdidas por calor (absorción) en el material y pérdidas de radiación (reflexión) al re-radiar sus propios campos sobre el blindaje. La energía necesaria en ambos mecanismos es absorbida de los campos chocantes de interferencia y por ello las mismas quedan sin energía para penetrarlo.

En el campo cercano, las interferencias electromagnéticas podrían tener un 90% de campo B, en cuyo caso, las pérdidas por reflexión son irrelevantes. Sería aconsejable entonces reforzar las pérdidas de absorción a expensas de las pérdidas de reflexión, escogiendo acero. Un mejor conductor que el acero podría ser menos caro pero completamente inefectivo.

#### II.e.3.5.10 CABLE COAXIAL Y CABLE TRENZADO CON BLINDAJE

Cuando se utiliza cables con blindaje, un voltaje de ruido  $V_N$  se induce en el centro del conductor debido a una corriente  $I_B$  en el blindaje. Así, se asume que la corriente del blindaje es producida por un voltaje inducido  $V_B$  a partir de otro circuito. La figura II.e.12 muestra el circuito considerado;  $L_B$  y  $R_B$  son la inductancia y resistencia del blindaje. El voltaje  $V_N$  es igual a

$$V_N = j\omega M I_B$$

La corriente  $I_B$  es igual a

$$I_B = \frac{V_B}{L_B} \frac{1}{j\omega + R_B/L_B}$$

Por tanto

$$V_N = \frac{j\omega M V_B}{L_B} \frac{1}{j\omega + R_B/L_B}$$

Ya que  $L_B = M$  (la inductancia mutua entre blindaje y el centro del conductor es igual a la inductancia del blindaje)

$$V_N = \frac{j\omega}{j\omega + R_B/L_B} V_B$$

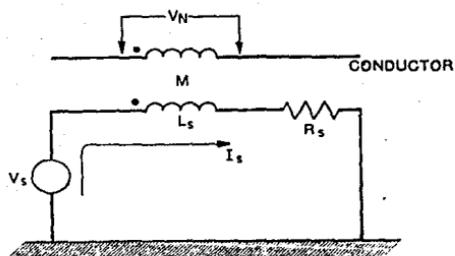


Figura II.e.12

Una gráfica de esta ecuación se muestra en la figura II.e.13. La frecuencia de corte para esta curva es definida como la frecuencia de corte del blindaje ( $\omega_c$ ) y ocurre para

$$\omega_c = \frac{R_s}{L_s} \quad \text{o} \quad f_c = \frac{R_s}{2\pi L_s}$$

El voltaje de ruido inducido en el centro del conductor es cero para dc y se incrementa a casi  $V_s$  para una frecuencia de  $5R_s/L_s$  rad/s. Por tanto, si se permite fluir una corriente en el blindaje, un voltaje es inducido en el centro del conductor que es muy cercano al voltaje del blindaje para frecuencias mayores que cinco veces la frecuencia de corte del blindaje.

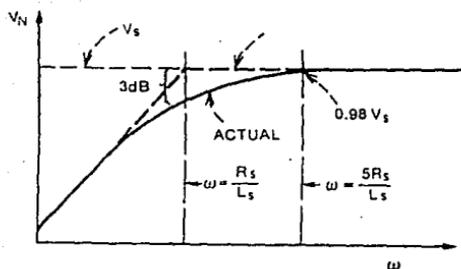


Figura II.e.13

Esta es una propiedad muy importante de un conductor dentro de un blindaje (Tabla II.e.2). Aquí, el cable con blindaje con chapa de aluminio tiene el valor de cinco veces la frecuencia de corte muy alto con respecto a los demás. Esto es debido a el incremento de la resistencia de su blindaje.

Cable	Impedancia ( $\Omega$ )	Frecuencia de corte (kHz)	Cinco veces frecuencia de corte (kHz)
<u>Cable coaxial</u>			
RG-6A (doble blindaje)	75	0.6	3.0
RG-213	50	0.7	3.5
RG-214 (doble blindaje)	50	0.7	3.5
RG-62A	93	1.5	7.5
RG-59C	75	1.6	8.0
RG-SBC	50	2.0	10.0
<u>Cable trenzado con blindaje</u>			
754E	125	0.8	4.0
24Ga	-	2.2	11.0
22Ga	-	7.0	35.0
(blindaje con chapa de Al)			

Tabla II.e.2

Cuando se compara cable coaxial y cable trenzado con blindaje, es importante reconocer la utilidad de ambos tipos de cable a partir del punto de vista de propagación, con respecto a sus características de blindaje (fig. II.e.14). Los cables trenzados son muy útiles para frecuencias abajo de 100 kHz. En algunas aplicaciones, la frecuencia puede alcanzar hasta 10 MHz. Arriba de 1 MHz, las pérdidas en el cable trenzado se incrementan considerablemente.

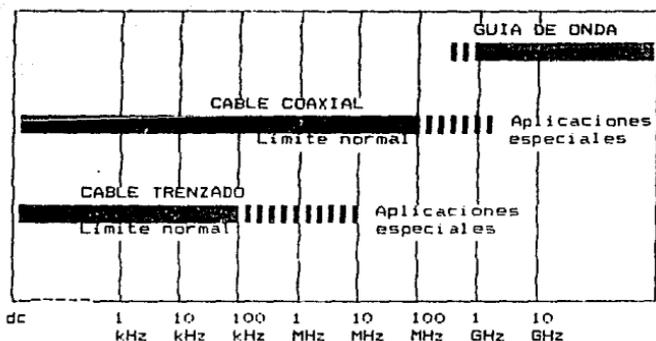


Figura II.e.14

Por otro lado, el cable coaxial tiene características de impedancia más uniformes con pérdidas más bajas. Por tanto, es útil desde frecuencias de cero (dc) hasta frecuencias VHF (de 30 a 300 MHz), con algunas aplicaciones que se extienden hasta UHF (de 300 a 3000 MHz). Arriba de unos cientos de megahertz, las pérdidas en cable coaxial son grandes; aquí, la guía de onda es más práctica. Un cable trenzado tiene más capacitancia que un cable coaxial y, por tanto, no es útil para altas frecuencias o circuitos de alta impedancia.

Un cable coaxial conectado a tierra posee un buen grado de protección contra la toma de capacitancia. Pero si una corriente de ruido fluye en el blindaje, un voltaje de ruido es producido; su magnitud es igual a la corriente de blindaje por la resistencia del mismo. Ya que el blindaje es parte de la ruta de la señal, este voltaje de ruido aparece como ruido en serie con la señal de entrada. Un cable con doble blindaje, o triaxial, con aislamiento entre los dos blindajes puede eliminar el ruido producido por la resistencia del blindaje. La corriente de ruido fluye por la parte externa del blindaje y la señal fluye en la parte interna del blindaje. Estas dos corrientes, por tanto, no fluyen a través de una impedancia común.

Desafortunadamente, los cables triaxiales son costosos e inconvenientes de usar. Sin embargo, un cable coaxial para altas frecuencias actúa como un cable triaxial debido a el efecto "skin". Para un cable blindado típico, el efecto skin es importante para 1 MHz. La corriente de ruido, como se mencionó, fluye en la superficie exterior del blindaje mientras que la señal lo hace por el interior. Por esta razón el cable coaxial es mejor para altas frecuencias.

Un cable trenzado con blindaje tiene características similares a un cable triaxial y no es tan costoso o inconveniente. La

señal fluye en los dos conductores internos y cualquier corriente de ruido fluye en el blindaje. La resistencia común de acoplamiento es eliminada. Además, cualquier corriente de blindaje es acoplada igualmente dentro de los conductores internos por inductancia mutua, y los voltajes por tanto son cancelados.

Un cable trenzado sin blindaje, a menos que esté balanceado, tiene muy poca protección contra la capacitancia, pero es muy bueno para protección en contra de la toma de campo magnético. Los cables blindados proveen mejor protección para señales de baja frecuencia, en donde la toma de campo magnético es el mayor problema. La eficiencia del cable trenzado se incrementa conforme el número de vueltas por unidad de longitud se incrementa.

#### II.e.4 SELECCION DEL TIPO DE CABLE Y BLINDAJE

Dado que se debe proteger la señal contra campos eléctricos y magnéticos indeseables, y se está trabajando en un medio ambiente en donde se encuentran factores físicos (vapor de agua, electrostática por fricción, ruido térmico, etc.) que generan este tipo de campos, es necesario seleccionar un conductor que prevenga cualquier tipo de ruido en la señal. Además, no hay compromiso con la frecuencia de la señal, ya que se está manejando corriente directa. Por tanto, es conveniente seleccionar un cable coaxial del tipo RG-213 dado que no es muy

costoso. También, hay que considerar que se está trabajando en un medio ambiente húmedo, entonces es necesario proteger el cable coaxial contra corrosión, alta temperatura y desgaste, por medio de un blindaje extra, en este caso se introducirá en un tubo tipo conduit conectado a tierra, para evitar cargas electrostáticas que generen ya sea chispa eléctrica, recordar que se encuentra en el medio ambiente una mezcla de aire con gas hidrocarburo, o contra campos inducidos en el mismo.

## **CAPITULO III**

---

### III M.C.U.

#### III.a UNIDAD CENTRAL DE PROCESO MCU (Micro Computer Unit)

Dadas las características del proceso a controlar, y de los transductores seleccionados, las facilidades que ofrecen los diferentes microprocesadores y controladores que hay en el mercado, así como las oportunidades de adquisición de los mismos, el circuito más adecuado para controlar este proceso es el MCU-MC68705-R7, ya que dicho circuito, con su versatilidad en "software", manejo de interrupciones, sus puertos de entrada/salida, su convertidor analógico/digital integrado, su "timer" interno y las memorias "RAM" y "EPROM" formando parte de su arquitectura interna, así como su disponibilidad en el mercado, satisface todas las necesidades que demanda este proyecto.

Complementando las características del microprocesador en sí, se cuenta con circuitos tales como manejadores de display, pertenecientes a la misma familia, lo cual facilita en gran medida la implementación de sistemas de visualización.

Se puede mencionar también que dada su configuración, tiene un precio muy bajo (aprox. 20 dólares) y que su existencia en el mercado mexicano es segura, ya que se maquila en el país.

### III.a.1 PRINCIPIO DE OPERACION Y CARACTERISTICAS

Este circuito es un microcomputador, miembro de la familia M6805 de Motorola y esta compuesto por:

- Una unidad central de procesamiento ("CPU")
- un generador de reloj
- 3776 bytes de memoria "EPROM"
- 192 bytes de memoria "ROM"
- 112 bytes de memoria "RAM"
- tres puertos paralelos (con ocho líneas de entrada y/o salida)
- un puerto analógico con cuatro entradas multiplexadas
- un convertidor analógico digital
- un "TIMER"

Su serie de instrucciones es similar al de la familia MC6800. Es capaz de manejar cuatro tipos de interrupción, dos externas, una desde el "TIMER" y una por "SOFTWARE". Tiene diez modos de direccionamiento, y todos pueden ser aplicados sobre cualquier dirección y tipo de memoria y/o puertos.

#### DESCRIPCION:

La arquitectura del MCU-MC68705-R3, mostrada en la figura III.a.1, ofrece en un mismo circuito, prácticamente todos los elementos necesarios para el procesamiento y control de las variables involucradas en el proceso que nos ocupa.



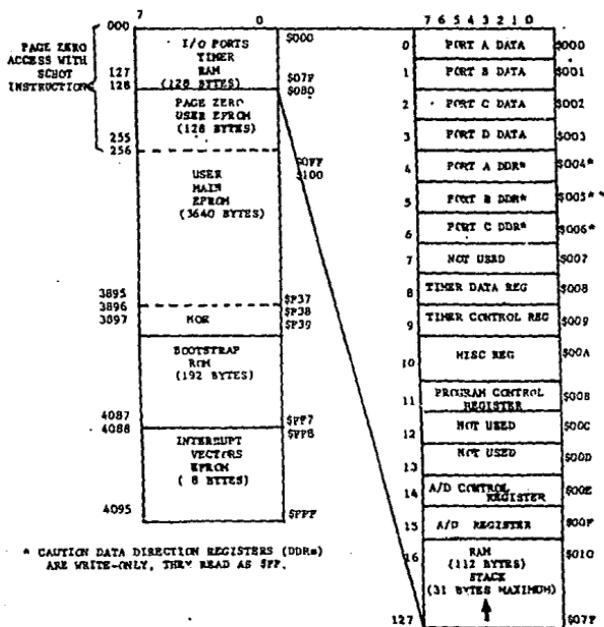


Fig. III.a.2 Mapa de memoria del MCU-MC68705-R3

### **Memoria:**

El "MCU" es capaz de direccionar 4096 localidades de memoria, de las cuales, como lo muestra la figura III.a.2, 3776 son de memoria "EPROM" programable por el usuario, 171 pertenecen al "bootstrap" en memoria "ROM", 112 de memoria "RAM", 16 son registros de control y datos de los puertos, y una para habilitar la opción de sustituir la memoria "EPROM" por memoria "ROM".

El "bootstrap" grabado en memoria "ROM" desde su fabricación, permite transferir desde un dispositivo externo, la información que será grabada en la memoria "EPROM".

### **Unidad central de procesamiento ("CPU"):**

La unidad central de procesamiento es un CPU-M6805 implementado independientemente de la memoria y los dispositivos de entrada-salida. Como se puede observar en figura III.a.1, cuenta con cinco registros de los cuales, el registro "A" de ocho bits es el acumulador y es utilizado por uno de los operandos, en todas las operaciones aritméticas y lógicas. El registro "X" de ocho bits es utilizado normalmente como apuntador, sin embargo en algunas operaciones puede sustituir al acumulador. El contador de programa "PC" es un registro de 12 bits que se encarga de direccionar la memoria donde se encuentra contenido el programa

en ejecución. El apuntador de "stack" "SP" de 12 bits contiene la dirección de memoria que puede ser utilizada como almacén en la atención de interrupciones o llamadas a subrutinas, originalmente es cargado con la dirección 07F. El registro de condiciones "CC" de solo cinco bits (ver fig. III.a.3) indica los resultados de la última instrucción ejecutada. Probando independientemente cada uno de sus bits puede decidirse la siguiente acción a ejecutarse.

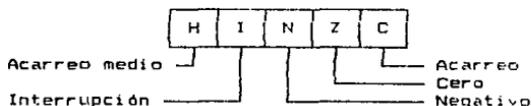


Fig. III.a.3 Registro de condiciones.

#### Timer:

El timer consiste básicamente en un contador programable de ocho bits cuyo reloj puede ser programado a través de un circuito interno de preescala (ver figura III.a.4).

En este circuito, el contador puede ser cargado a través de un programa de control y es decrementado hasta llegar a cero mediante la señal  $fc_{in}$  enviada por el circuito de preescala.

MICROCOMPUTER INTERNAL BUS

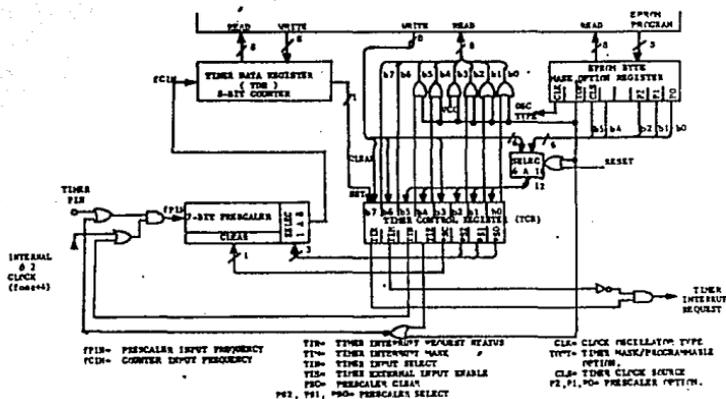


Fig. III.a.4 Arquitectura del timer

Cuando el contador es decrementado hasta cero, se enciende la señal de interrupción "TIR" la cual, puede ser atendida, inhibida o apagada por el procesador de acuerdo al programa en ejecución.

La señal de reloj del timer puede ser proporcionada por una señal interna (32) o por una fuente externa, aplicada a la entrada del "timer" (TIMER/BOOT).

#### Oscilador:

El MC68705 tiene un generador interno de reloj, el cual puede ser utilizado colocando un puente entre las patas "XTAL" y "EXTAL" del circuito, o bien colocando una resistencia de 10 a 55  $\Omega$ , entre "Vcc" y la pata "XTAL"; no obstante se recomienda utilizar un cristal con el propósito de contar con un sistema de reloj mas estable.

#### Puertos:

Los puertos propocionan 32 bit de comunicación de los cuales ocho líneas son solo entradas (puerto "D") y las otras 24 pueden ser programados como salidas, como entradas o una combinación de entrada-salida, sin importar el orden de estas.

Las 32 líneas son totalmente compatibles con los niveles TTL. Además, las líneas del puerto "A" son compatibles con niveles

"CMOS" cuando se utilizan como salidas y las líneas de los puertos "B", "C" y "D" son compatibles con niveles "CMOS" cuando son utilizados como entradas.

El puerto "D" contiene solo líneas de entrada las cuales, pueden ser utilizadas como ocho líneas de entrada digital o como cuatro líneas multiplexadas de entrada analógica.

#### **Convertidor analógico-digital:**

El convertidor analógico-digital de ocho bits, implementado en el "MCU", realiza la conversión de las cuatro señales analógicas que entran por el puerto "D" (ver fig. III.a.5), utilizando la técnica de aproximaciones sucesivas.

Este convertidor funciona en forma continua, utilizando 30 ciclos de máquina para realizar una conversión. Cuando la conversión ha sido concluida, el valor digital es colocado en el registro de resultados (ARR) y se enciende la bandera de conversión completa; volviendo a tomar otra muestra de la señal analógica e iniciando la siguiente conversión.

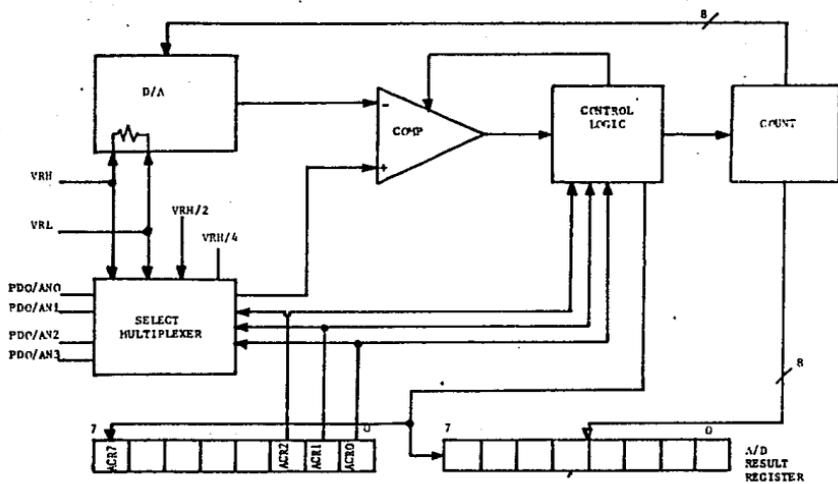


Fig. III.a.5 Diagrama de bloques del convertidor A/D.

### **III.b CARACTERISTICAS Y SELECCION DEL TECLADO**

#### **III.b.1 GENERALIDADES**

Se denomina "teclados" al género de periféricos de entrada, constituidos por un conjunto de botones actuadores, de tal modo que cada botón se corresponda con determinado carácter, función, instrucción o idea.

El tipo de teclas, así como su número y distribución, es determinado por la aplicación concreta que se desee realizar, por lo que no existen modelos genéricos, sino desarrollos específicos.

El número de teclados conectados a un determinado sistema es sumamente variable, oscilando entre cero (tal como sistemas muy simples de instrumentación o automatización) y varias decenas (tal como en sistemas multiterminal de captura y consulta de bancos de datos); no obstante, en sistemas basados en microprocesadores, lo más común es disponer de una unidad, desde donde se suministran al sistema las informaciones básicas en cuanto a selección y control de programas, e introducción de variables.

Fisicamente, el teclado va, regularmente, asociado a otro periférico de salida, tal como una impresora, una pantalla o un visualizador, con lo que el operador obtiene una comunicación bidireccional con el sistema.

### **III.b.2 ACTUADORES**

El componente básico de un teclado es el actuador individual.

Generalmente, cada tecla controla un simple interruptor que permanece abierto mientras el actuador está en descanso y se cierra cuando el actuador es oprimido.

Existe una amplia variedad, relacionándose más adelante los tipos más usuales.

El concepto de conmutación de estado sólido se aplica a veces al describir elementos sin contacto, aunque hablando con propiedad solamente se puede aplicar a una limitada variedad entre la que se cuentan los de efecto Hall o elementos fotosensibles.

#### **III.b.2.1 ACTUADORES MECANICOS CONVENCIONALES**

Los interruptores mecánicos son utilizados básicamente por su economía (fig. III.b.1)

El movimiento mecánico actúa directamente sobre los contactos.

Permiten, sin grandes complicaciones, configuraciones de contactos múltiples.

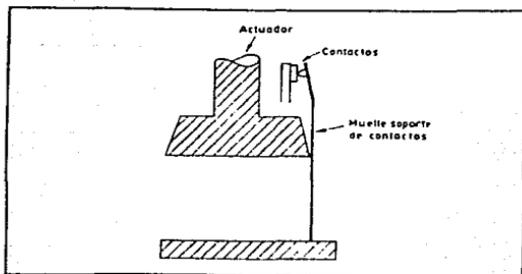


Figura III.b.1

### III.b.2.2 ACTUADORES MECANICOS DE LAMINA FLEXIBLE

Este tipo de interruptor (fig. III.b.2), formado por una serie de láminas sobrepuestas, se basa en la deflexión de un diafragma flexible, dorado por su cara interior, que permite establecer contacto con un circuito impreso a través de aperturas practicadas en un separador dieléctrico.

Una cubierta de silicón protege los contactos contra los contaminantes. Algunas versiones más económicas emplean láminas flexibles de silicón conductor, que sustituyen la cubierta protectora y el diafragma dorado. En algunos casos se emplea una base serigrafiada de tinta conductora como sustrato.

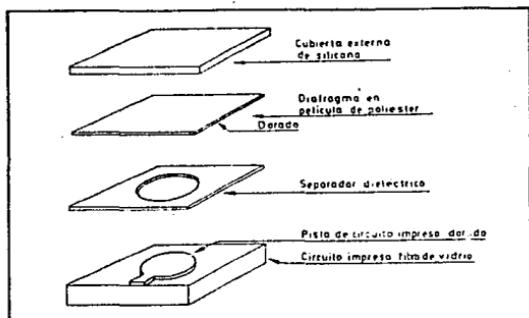


Figura III.b.2

### III.b.2.3 ACTUADORES MECANICOS DE BOVEDILLAS

Estos actuadores (fig. III.b.3) emplean unos discos metálicos embutidos en forma de casquete esférico, que cuando son oprimidos pasan a una condición invertida, estableciendo el contacto requerido.

Emiten un clásico chasquido audible que advierte de su correcta operación.

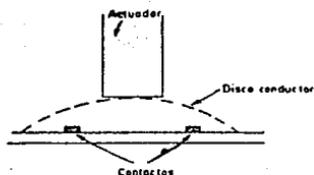


Figura III.b.3

#### III.b.2.4 ACTUADORES REED

Están formados por contactos inmersos en una atmósfera inerte, sellados por una cápsula de vidrio hermética (fig. III.b.4).

El movimiento de la tecla desplaza un pequeño imán permanente que provoca el cierre de los contactos; dada la acción indirecta sobre estos últimos, no se transmiten sobrecargas mecánicas que provoquen fatiga y desgastes prematuros. Por lo anterior y lo hermético del encapsulado que impide la contaminación de los contactos, este tipo de actuadores ofrecen una vida útil unas 5 veces superior al clásico actuador mecánico.

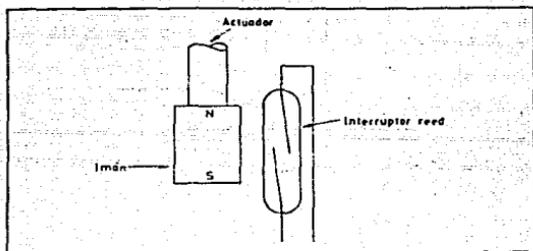


Figura III.b.4

#### III.b.2.5 ACTUADOR CAPACITIVOS

Este tipo de actuadores emplea un cambio en la capacidad de un condensador para entregar una salida (fig. III.b.5).

Emplean dos superficies vecinas sobre un mismo circuito impreso estando una de ellas excitada por la señal alterna de un oscilador, si se aproxima paralelamente una placa conductora sobre ambas superficies, se provoca un acoplamiento entre

ellas, con lo que aparece una fracción de la señal alterna en la salida.

La señal de salida del actuador debe ser convenientemente amplificada y convertida a niveles lógicos.

Existen múltiples variantes tales como los que utilizan contactos sensitivos, sin ningún elemento móvil. Otros diseños emplean bovedillas metálicas cóncavas como elemento de acoplamiento.

Los actuadores capacitivos ofrecen la elevada fiabilidad de los interruptores sin contactos móviles.

Dados los bajos niveles de señal entregada por estos actuadores poseen una extremada sensibilidad a interferencias y unos serios condicionamientos en la estructura electrometálica soporte, trazado de pistas en el circuito impreso y electrónica de amplificación, detección y conversión. Por todo ello sólo aparecen disponibles formando parte de teclados completos producidos por fabricantes especializados.

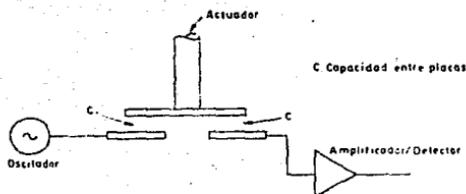


Figura III.b.5

### III.b.2.6 ACTUADORES DE NUCLEOS MAGNETICOS

El elemento conmutador es un núcleo toroidal de ferrita empleado como transformador (fig. III.b.6).

El núcleo es atravesado normalmente por 2 hilos: uno, energizado a alta frecuencia se emplea como primario; el segundo como secundario. El acoplamiento es muy bajo en la posición normal del actuador, donde el núcleo está saturado por el campo del imán permanente. La presión de la tecla desplaza el imán, desaturando el núcleo y generando una salida. Esta última es amplificada, rectificada y trasladada a niveles lógicos.

Su fiabilidad es comparable a los actuadores capacitivos, presentando, del mismo modo que aquellos, una elevada complejidad en el trazado de las pistas del circuito impreso, por lo que generalmente se ofrece como parte integrante de un conjunto completo.

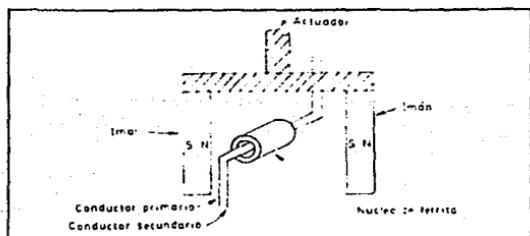


Figura III.b.6

### III.b.2.7 ACTUADORES DE EFECTO HALL

Los sensores de efecto Hall (fig. III.b.7) están formados por una pastilla semiconductorá recorrida por una corriente continua y un campo magnético perpendicular a ella que provoca una deformación de las líneas equipotenciales sobre la superficie del semiconductor, apareciendo una tensión de salida proporcional al producto de la corriente de polarización por la intensidad del campo magnético aplicado.

La conmutación se obtiene al aproximar un imán permanente al sensor, que desarrolla una tensión de salida que es amplificada y convertida en digital.

Generalmente el conjunto formado por el sensor, amplificador, disparador de Schmit, monoestable y opcionalmente una etapa de salida, forma un circuito integrado monolítico (fig. III.b.B) asociado a cada actuador.

Se distinguen dos tipos fundamentales: estático y dinámico. Los actuadores estáticos conducen a su salida, mientras exista campo magnético a su entrada. Los actuadores dinámicos conducen durante cierto período (típicamente 20  $\mu$ s) cuando el campo de entrada supera el nivel de conmutación, pero no lo hacen durante el resto del tiempo que dicho campo permanezca a nivel elevado, ni durante el aislamiento del imán, para ello incorporan un monostable que dispara en el flanco de subida de la señal magnética.

La salida puede estar formada por un transistor de colector abierto, simple o doble, o bien por una compuerta lógica "Y" aceptando señales externas de validación y sincronización.

Dada la ausencia de contactos, la baja impedancia de todas las señales de interconexión y la insensibilidad a polvo, suciedad y contaminantes, este tipo de actuadores ofrece la mayor

fiabilidad (esencialmente duración infinita), sólo limitada por el desgaste del elemento móvil y el resorte de retorno. Este último, en algunos casos, es sustituido por un sistema magnético de retorno, que proporciona simultáneamente una realimentación al facts.

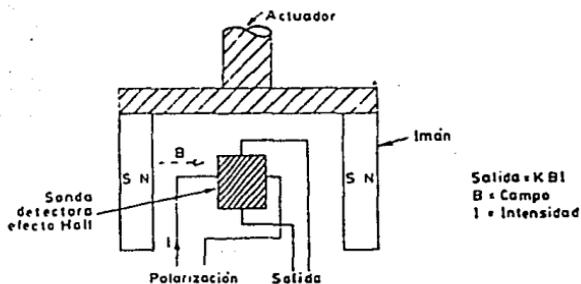


Figura III.b.7

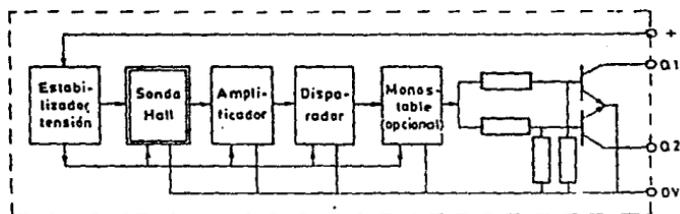


Figura III.b.8

### III.b.3 TECLAS

El elemento unitario componente de un teclado, es el formado por el subconjunto: actuador más tecla, que a menudo es denominado simplemente tecla (fig. III.b.9).

La tecla o capuchón, aún cuando no cumple ninguna función eléctrica, es absolutamente imprescindible con el fin de identificar adecuadamente cada actuador, así como ofrecer una correcta superficie de actuación apropiada a las características fisiológicas de manos y dedos del operador.

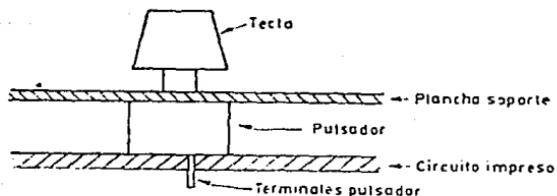


Figura III.b.9

### III.b.3.1 ROTULACION

Con el fin de obtener una correcta identificación de cada uno de los distintos actuadores que componen un teclado es preciso rotular con los grafismos apropiados cada una de las teclas.

El grafismo debe facilitar una rápida localización de la tecla idónea, por lo que debe ser claro y esquemático. Los grafismos correspondientes a las teclas asociadas a caracteres alfanuméricos no presentan evidentemente ningún problema, en cambio, las diversas funciones de control han exigido el desarrollo de una serie de abreviaturas.

Para fijar sobre la tecla su correspondiente grafismo se utilizan distintas técnicas, siendo las más usuales: serigrafía, pantografiado, doble inyección y empleo de teclas transparentes rotulables.

Los métodos serigráfico y pantográfico son similares a los empleados para marcado de paneles metálicos, circuitos impresos, etc.

Las teclas rotuladas por doble inyección (fig. III.b.10) están constituidas por dos etapas. En primer lugar se inyecta una pieza con unas protuberancias en forma de cordón que sigue el perfil del grafismo deseado. A continuación esta primera pieza es utilizada como injerto en un segundo molde con el perfil externo de la tecla. Este segundo molde recibe una inyección de plástico con distinto colorante del injerto, por lo que éste aparece finalmente como un afloramiento de la cresta de la primera inyección, definiendo por tanto, por medio de un color distintivo, el rótulo deseado.

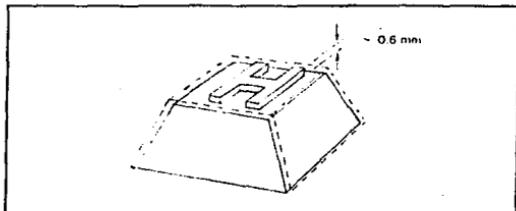


Figura III.b.10

Las rotulaciones serigrafiadas y pantografiadas son sumamente sensibles a la erosión causada por el roce mecánico con los dedos del operador y de los agentes químicos, entre los que deben contarse como más importantes el sudor humano y los líquidos limpiadores. Esta sensibilidad queda totalmente compensada mediante el empleo de doble inyección, por cuanto el plástico utilizado es insoluble a los agentes químicos ambientales y la eventual erosión mecánica provoca un desgaste paralelo tanto en la primera inyección (grafismo) como en la segunda (cuerpo) por lo que mientras esta erosión no desgaste más allá de medio milímetro de plástico, la tecla aparecerá perfectamente legible.

Las ventajas mencionadas de las teclas doblemente inyectadas tienen su contrapartida bajo el punto de vista económico, de tal modo que el costo sólo puede ser amortizado bajo un control de calidad óptimo, que no siempre se cumplen; para solventar estas situaciones (fundamentalmente las series reducidas o prototipos) se han desarrollado unas teclas especiales con la cubierta total o parcialmente transparente. Esta ventana (o cubierta completa, según sea el caso) es desmontable, y permite la inserción de leyendas rotuladas o impresas sobre papel en forma de etiquetas, facilitando de forma excepcional la obtención de teclados especiales en un tiempo mínimo.

Como complemento a los sistemas de rotulación de teclas deben

considerarse otros sistemas de identificación, como el empleo de plástico de distintos colores para diferenciar teclas de especial interés; teclas luminosas mediante diodos LED mono o bicolor o bien mediante lamparitas que iluminan por transparencia rótulos translúcidos; además, existen dimensiones diferentes de la usual cuadrada de 19 mm (3/4") que se toma regularmente como unidad, de 1, 1 1/4, 1 1/2, 1 3/4, 2, 3, 6, 8 y 9 unidades de longitud, así como figuras distintas del cuadrilátero, siendo relativamente normales formas de "L".

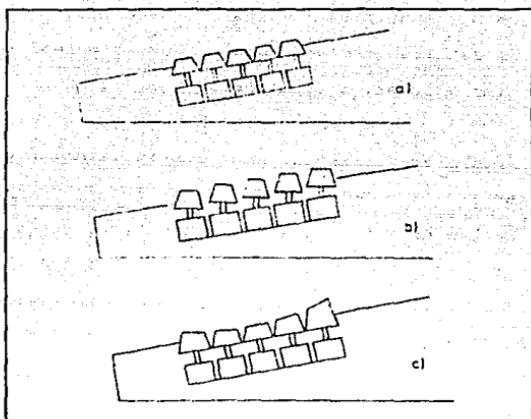
### III.b.3.2 PERFIL

El conjunto formado por la superficie superior de cada una de las teclas puede adoptar distintas configuraciones basadas en las preferencias y aplicaciones deseadas.

Los teclados suelen montarse formando un ángulo de 10° a 13° con la horizontal.

La interacción entre orientación de las teclas e inclinación general del teclado dará lugar a las configuraciones antes indicadas, y que pueden resumirse en tres tipos fundamentales (fig. III.b.11):

- Inclinado ("Sloped")
- Escalonado ("Stepped")
- Esculpido ("Sculped")



Perfiles de teclados: a) inclinado; b) escalonado; c) esculpido.

Figura III.b.11

El teclado inclinado está formado por un conjunto de actuadores y teclas totalmente verticales en origen, que posteriormente se giran, adoptando la inclinación general del teclado, con lo que las superficies superiores de las teclas son coplanarias (salvando la ligera concavidad asociada a cada tecla).

El teclado escalonado está formado por un conjunto de actuadores y teclas no alineados originalmente, sino formado un ángulo entre  $10^\circ$  a  $12^\circ$  (ya sea por cambio de orientación del vástago del actuador, o por la modificación del perfil de la tecla). Al

girar el conjunto, dándole la inclinación general, las superficies superiores de las teclas quedan horizontales, formando filas a distintas alturas, o escalones.

El teclado esculpido presenta una cierta similitud con el escalonado, con la diferencia de que los ángulos iniciales de actuadores y teclas no son comunes a la totalidad de elementos, sino función de la fila donde están situados, de tal modo que las filas superiores forman ángulos más acentuados que el general del teclado, mientras que las inferiores no sólo lo desacentúan sino que llegan a adoptar pendiente negativa. El conjunto adopta con todo ello un perfil curvo.

Los teclados inclinados y escalonados, según diversos estudios, no aportan sustanciales beneficios en cuanto a velocidad, seguridad o comodidad del operador, por lo que se adoptan indistintamente; la costumbre asocia estos teclados a pequeñas calculadoras portátiles y los escalonados a las máquinas de escribir, por lo que según la aplicación tienda más hacia uno u otro sentido, se adopta la solución más próxima.

El teclado esculpido está justificado por razones ergonómicas, de tal modo que las distancias entre las yemas de los dedos, las superficies de apoyo de las teclas se uniformizan, presentando asimismo cada fila de teclas el ángulo de ataque más apropiado. Con todo ello se mejora la velocidad, fiabilidad y

confort del operador, dando por tanto mejores rendimientos en aplicaciones de trabajo pesado. Este tipo, se popularizó inicialmente a partir de los equipos perforadores de tarjetas, y se ha extendido su uso en todos los ámbitos de la informática.

#### III.b.4 REALIMENTACION FISIOLÓGICA

Es la variación de la fuerza de apoyo sobre la tecla, en función de su desplazamiento, que simula la conmutación de un interruptor (fig. III.b.12).



Figura III.b.12

En ocasiones se desea que el teclado simule totalmente una máquina de escribir, una perforadora de tarjetas, u otros equipos similares en que mecánicamente aparece el fenómeno de la respuesta táctil.

A menudo se desea asimismo un "clik" audible, que en muchas ocasiones es utilizado para suplantar la respuesta al tacto, sobre todo cuando se desea realimentación fisiológica en teclados sin contactos, que no lo generan por sí mismos.

Dado que los operadores se adaptan fácilmente a la ausencia del tacto del interruptor, no existe generalmente justificación técnica al incremento de costo y complejidad que supone la generación de la respuesta auditiva.

#### **III.b.5 FORMATOS**

El número de teclas y su distribución relativa es esencialmente variable y sólo puede concretarse para cada aplicación particular; no obstante existen en los catálogos de los fabricantes algunos modelos estándar que se adaptan a un elevado porcentaje de aplicaciones.

Uno de los tipos más comunes es el numérico reducido de 12 teclas (fig. III.b.13). Está formado por 10 teclas asociadas a las cifras del 0 al 9, y dos teclas disponibles para cada aplicación, que se rotulan y se emplean según sea ésta. Existen

leyendas estándar tales como "+" y "-", o "\*" y "#", o "SEND" y "CLEAR"; aún cuando lo más usual es dejarlas en blanco o utilizar distintos colores para identificarlas. Su aplicación más usual (aparte de la telefonía) reside en equipos de control numérico y terminales simples de captura de datos.

7	8	9
4	5	6
1	2	3
*	0	#

Figura III.b.13

Una variante muy común del numérico reducido de 12 teclas, es el homónimo de 16 (fig. III.b.14) que usualmente mantiene las

10 teclas correspondientes a los dígitos decimales, asignando las 6 restantes, bien sea a funciones específicas de la aplicación, o bien sea a codificar los 6 últimos dígitos en la numeración hexadecimal. Sus aplicaciones, aparte de la ya mencionadas, incluyen control de microprocesadores, sistemas de seguridad, verificación de tarjetas de crédito, etc.

7	8	9	A
4	5	6	B
1	2	3	C
F	0	E	D

Figura III.b.14

Entre los teclados alfanuméricos, dado el notable incremento en el número de teclas, las variedades existentes son innumerables. Quizás el tipo más común (al menos entre los fabricantes del teclado) es el equivalente a las máquinas de escribir tipo

"Selectric" (fig. III.b.15) formado por 51 teclas, de las cuales 26 son alfabéticas, 10 numéricas, 8 caracteres especiales, 4 funciones y 3 control de conmutación mayúsculas/minúsculas.

Analizando la distribución de las teclas, puede observarse que no están distribuidas regularmente en sentido vertical (fig. III.b.16), sino existe un desplazamiento ("offset") entre filas consecutivas. Este desplazamiento es una herencia de las máquinas de escribir mecánicas, en las que cada tecla estaba asociada a una palanca que impulsaba el tipo por su extremo; dado el espaciamento de los tipos, se establecía una distribución uniforme de las palancas, con lo que no podía disponerse las teclas en forma cartesiana. Debido a que gran número de operadores provienen del área mecanográfica, se respeta dicha distribución con lo cual se facilita extraordinariamente la familiarización con los nuevos equipos.

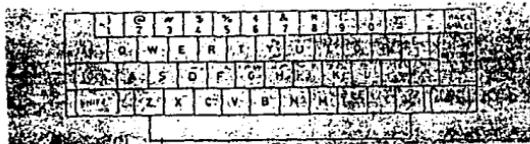


Figura III.b.15

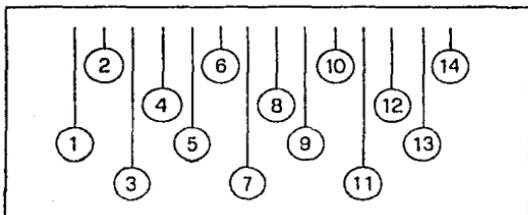


Figura III.b.16

Las peculiaridades lingüísticas propias de cada idioma introducen una nueva dificultad, puesto que aparecen o desaparecen caracteres (como la "Ñ"), en estos casos conviene situar los nuevos grafismos en las posiciones más usuales determinadas por la costumbre mecanográfica .

A menudo se asocia un teclado numérico reducido a la derecha del alfanumérico general, para facilitar la introducción de datos numéricos, mucho más frecuentes que los alfabéticos.

Un ejemplo de realización que combina los puntos antes citados, añadiendo funciones de control específicas de un periférico, puede ilustrar la situación (fig. III.b.17).

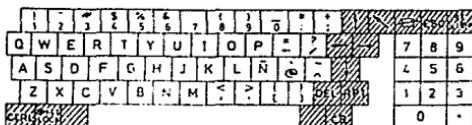


Figura III.b.17

### III.b.6 MODOS

Un teclado de "modo único" admite solamente un código por cada tecla. Los teclados de "modos múltiples" generan dos o más códigos por cada tecla en función de como se utilicen las teclas selectivas. El número de códigos generados por la depresión de una tecla es definido como el número de modos de un teclado.

Los teclados "modo único" son preferidos cuando el número de códigos es reducido; los de dos modos se emplean para disponer de mayúsculas y minúsculas alfabéticas.

Los conjuntos de modo múltiples reducen la productividad del operador puesto que debe utilizarse una mano para activar las

teclas selectivas. Su ventaja consiste en la importante reducción en el número de teclas que lleva aparejado su empleo, siendo este factor primordial cuando no se exige elevada velocidad a la entrada de datos.

Los códigos estándar tales como ASCII o EBCDIC son particularmente adecuados al empleo de múltiples modos, puesto que por su propia estructura se obtienen los códigos de los diversos modos de cada tecla con solo modificar uno o dos bits.

Cuando un teclado debe trabajar en dos modos (mayúsculas-minúsculas) se utiliza una sola tecla para seleccionarlos. Esta tecla no tiene una denominación definida en castellano, por lo que a menudo se denomina como "tecla de mayúsculas", aún cuando sólo cumple la función de conmutar los códigos de mayúsculas y minúsculas en las teclas alfabéticas, mientras que en las numéricas conmuta números y caracteres especiales y en las teclas dedicadas a caracteres especiales conmuta entre sí a dos de ellos. A menudo se utiliza la palabra inglesa "shift" (cambio) por haber sido estandarizada en los países anglosajones para definir esta función.

Esta tecla suele estar duplicada a ambos lados de la barra espaciadora o próxima a los extremos inferiores del área ocupada por las teclas con el fin de facilitar su uso indistinto a la mano adecuada en cada caso.

Cuando debe mantenerse oprimida durante varios caracteres, se acude a un procedimiento de memorización con lo que no es preciso sujetarla.

Se emplean diversos tipos de memorización entre los que cabe citar:

- Enclavamiento mecánico alternativo
- Enclavamiento mecanográfico ("secretary shift")
- Enclavamiento electrónico

Todos estos procedimientos comparten el hecho de que para ser activados es preciso pulsar una tercera tecla y se diferencian en la forma de desactivarse y de informar de su estado. Esta tercera tecla no tienen nombre definido y usualmente se emplea la denominación anglosajona "shift lock".

Los enclavamientos mecánicos alternativos se basan en la utilización de un pulsador especial con enclavamiento mecánico de tal modo que al ser pulsado permanece en posición deprimida, hasta que una nueva pulsación sobre el mismo lo desenclava y le permite volver a la posición de reposo. La información de si está activado o no viene dada por la posición relajada o deprimida que mantiene la tecla.

Los enclavamientos mecanográficos ("secretary shift") se basan en utilizar un varillaje que liga mecánicamente entre sí a las tres teclas de tal modo que para activarlo se pulsa la tercera tecla que permanece deprimida y será liberada sólo cuando se pulse una cualquiera de las dos primeras. Al igual que en el caso anterior, la información relativa a si está activado o no proviene de la posición de la tecla "shift lock".

Los enclavamientos electrónicos están ganando popularidad a medida que las técnicas de integración permiten aumentar en gran manera la cantidad de lógica asociada a cada periférico. Las tres teclas son normales tanto eléctrica como mecánicamente, con la única opción de asociar un piloto señalizador a la tecla "shift lock" (lo que en algunos casos modifica mecánicamente dicha tecla). Su funcionamiento está basado en asociar un biestable que se activa al pulsar la tecla de enclavamiento y se desactiva al pulsar cualquiera de las tres (algunos sistemas no son liberados por la pulsación repetida sobre la tercera). La información relativa a la selección o no del 2º modo de codificación no viene dada en este caso por la posición de ninguna tecla sino por el estado de un flip-flop electrónico que suele visualizarse a través del piloto antes citado.

Cuando se desean 3 o 4 modos, es preciso disponer de otra función de selección distinta de "shift". Dado el reparto de

caracteres de la tabla ASCII (fig. III.b.18) normalmente empleada puede observarse que en posición "normal" al pulsar las teclas se generan los códigos correspondientes a las columnas 3, 6 y 7 (excepción hecha de los caracteres especiales que se rigen por el uso); si se selecciona "shift" se generan respectivamente los códigos de las columnas 2, 4 y 5 (en ocasiones se utiliza "shift" inverso, de modo que en reposo genera mayúsculas y activado, minúsculas). Si deseamos generar algún código de las columnas 0 y 1 (correspondientes a controles de periféricos y transmisión) debemos acudir a un tercer modo, por lo que aparece la nueva tecla "control" que usualmente actúa de manera que si se pulsa provoca que los códigos que en posición "normal" aparecen en columna 6 pasen ahora a columna 0, y los de columna 7 a 1.

	0x	1x	2x	3x	4x	5x	6x	7x
x0	NUL	DLE	SP	0	@	P		p
x1	SON	DC1	!	1	A	Q	a	q
x2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
x3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
x4	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
x5	ENC	NAK	%	5	E	U	e	u
x6	JACK	SYN	&	6	F	V	f	v
x7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
x8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
x9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
xA	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
xB	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
xC	FF	FS	.	<	L	↖	l	↗
xD	CR	GS	-	=	M	]	m	}
xE	SO	RS	.	>	N	^	n	~
xF	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Figura III.b.18

Existe multitud de variantes en cuanto a la teclas selectoras de modo, además de la combinación "Shift"- "Control" ya mencionada. Una de las variantes más comunes es la formada por las dos teclas "Alfa" y "Numérico" empleada en teclados de equipos perforadores de tarjetas y sus sucesores tecnológicos destinados a la captura de datos.

### III.b.7 PRESION SIMULTANEA DE VARIAS TECLAS

Un problema común a cualquier tipo de teclado es el que provoca si se presionan dos o más teclas simultáneamente. Si no se toma ninguna precaución, lo más común es que se provoque una suma

inclusiva de bits dando lugar a la generación de un tercer código que no corresponde a ninguna de las 128 teclas presionadas, perdiendo asimismo la información correspondiente a estas últimas.

Aunque puede parecer que este es un problema de operación ajeno a los equipos, la tecnología ha desarrollado una serie de soluciones que permiten prevenir los defectos humanos de manipulación. Las soluciones más usuales son las siguientes (fig. III.b.19):

- Sobrepresión de 2 teclas
- Inhibición de N teclas
- Sobrepresión de N teclas

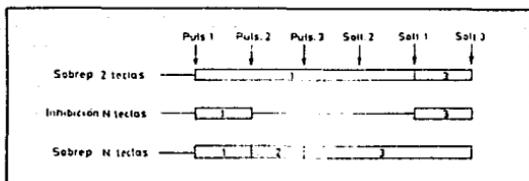


Figura III.b.19

### **III.6.7.1 SOBREPRESION DE DOS TECLAS ("2 KEY ROLLOVER")**

Cuando se presionan varias teclas simultáneamente, sólo se transmite el código asociado a la primera, quedando la segunda y las consecutivas bloqueadas hasta liberar la primera.

Si una segunda tecla fue presionada tras la primera y liberada antes que ésta, no queda registrada, perdiéndose su información.

Este método garantiza que no aparezcan códigos erróneos, pero no impide la pérdida de información.

### **III.6.7.2 INHIBICION DE N TECLAS ("N KEY LOCKOUT")**

Cuando se presionan varias teclas simultáneamente no se generan códigos de salida. Cuando una sola tecla está oprimida, el teclado genera su código, pero cuando se presiona una segunda tecla mientras la primera permanece activa, el teclado no generará ningún código mientras no se libera la primera. Una vez liberada, el código correspondiente a la segunda aparecerá a la salida. Por lo tanto si se presionan N teclas simultáneamente, permanecerá inhibida la codificación hasta que todas las teclas regresen a la posición de reposo, excepto una.

Este procedimiento es similar al de sobrepresión de dos teclas, diferenciándose por el hecho de que en aquél durante la presión múltiple se dispone del código de la primera tecla; mientras

que en éste, durante la presión múltiple, la salida permanece inhibida.

### III.b.7.3 SOBREPRESION DE N TECLAS ("N KEY ROLLOVER")

Cuando se presiona una tecla, se genera su código correspondiente. Si la primera tecla permanece oprimida mientras se presiona una segunda, se generará la salida correspondiente a la segunda tecla.

Si se presiona una tercera tecla mientras las dos primeras (o alguna de ellas) están todavía activas, se generará el código correspondiente a esta tercera tecla.

En un caso extremo, todas las teclas del teclado excepto una pueden ser presionadas; cuando se activa la última tecla, se generará su código asociado.

Este método se encuentra comúnmente en las máquinas de escribir eléctricas, donde ha mostrado su virtud de poder incrementar notablemente la velocidad de tecleo sin generación de errores, ni pérdidas de información.

Generalmente se acepta que los procedimientos de "inhibición de N teclas" o "sobrepresión de dos teclas" son suficientes cuando aparece una indicación visual, tal como iluminación de una pantalla de TRC, impresión sobre papel o similares. El proce-

dimiento de "sobrepresión de N teclas", deseable en todos los casos, es absolutamente necesario cuando no se dispone de información visual asociada al teclado.

### III.b.8 CODIFICACION

Como señales de salida de un teclado pueden utilizarse las conexiones correspondientes a todos y cada uno de los distintos conjuntos tecla-actuador que lo constituyen. Esto puede ser válido para teclados simples formados por un reducido número de teclas; pero es engorroso si el número total supera ciertos umbrales.

Por ejemplo, considerése que un teclado mínimo de 12 teclas; no es posible procesarlo mediante una sola palabra en sistemas basados en procesadores de 8 bits.

Evidentemente se han buscado soluciones mucho más efectivas que han sido centradas en la codificación de los datos de salida.

Esta codificación consiste en numerar de forma binaria cada uno de los distintos códigos emitidos por el teclado, de tal modo que el número total de bits precisos para expresar cualquier código no supera los umbrales de maniobrabilidad.

La codificación más usual para teclados numéricos reducidos es la hexadecimal (o su subconjunto BCD si nos limitamos a dígitos

decimales); en el caso de teclados alfanuméricos se amplía la codificación, siendo el código más usual el ASCII (fig. III.b.18) de 6 o 7 bits según sea reducido o completo, o bien el ERCDIC de 8 bits.

Por circuitos codificadores de un teclado, no sólo se entiende los circuitos precisos para comprimir el número de conexiones, sino además el resto de electrónica asociada a teclas y actuadores; esto incluye, naturalmente, los circuitos destinados a generar las variantes asociadas a cada modo y destinados a prevenir las presiones simultáneas, antes mencionadas.

#### III.b.8.1 REBOTE DE CONTACTOS

Un factor a considerar en los circuitos codificadores es la presencia de rebotes en los contactos.

Cuando se cierra un interruptor, los contactos no se detienen inmediatamente, sino que dado que en el momento del establecimiento del contacto la parte móvil se desplazaba a cierta velocidad, esta energía se restituye elásticamente, provocando una oscilación mecánica. La frecuencia de estos rebotes y tiempo de amortiguación varían en función de las características propias del tipo de interruptor considerado. El tiempo de estabilización varía desde cero en los interruptores sin contactos, hasta 0.5 a 1 ms en tipos más económicos. Los efectos de los rebotes en las salidas codificadas pueden ser

eliminados introduciendo un retardo adecuado en la señal de validación.

Como ejemplo se ilustra la codificación de un teclado de 10 teclas (fig. III.b.20). Consta de 10 actuadores, un codificador tipo 74147 que entrega directamente a la salida BCD y un grupo de compuertas para generar la señal de validación. La compuerta 1 suma lógicamente las salidas de los 4 bits de datos y la tecla del "0", de modo que su salida baja a nivel 0 cuando es oprimida cualquier tecla. El diferenciador formado por las compuertas 2 y 3, así como la constante RC, determina la generación de un impulso de duración  $t$ , superior al tiempo máximo de rebotes, de tal modo que durante el flanco de subida de la señal de "validación" los datos serán estables.

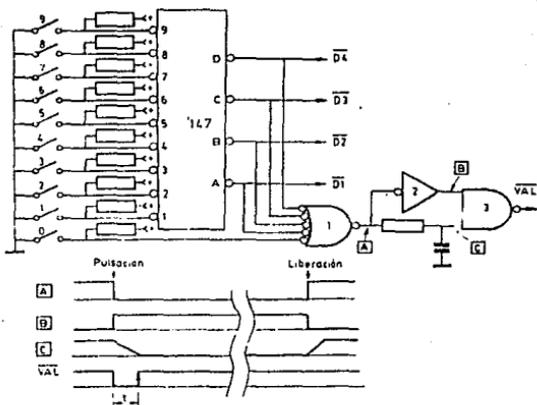


Figura III.b.20

Una ampliación inmediata es precisa para generar los 16 códigos hexadecimales (fig III.b.21). En esta caso en lugar de utilizar el codificador '147, se emplea el '14B, que permite 8 entradas con salida de 3 bits, más las señales GS, EI y EO para encadenado y validación. Para permitir la conexión de las 16 teclas, deberá utilizarse dos circuitos integrados encadenados para transmitir las prioridades de tal modo que si se presionan

simultáneamente dos o más teclas, solamente aparecerá la codificación correspondiente a la tecla de numeración más alta entre las presionadas, impidiendo por tanto mezclas incorrectas. De forma similar a la aplicada para el teclado de 10 teclas, puede generarse un impulso de validación que permita eliminar rebotes.

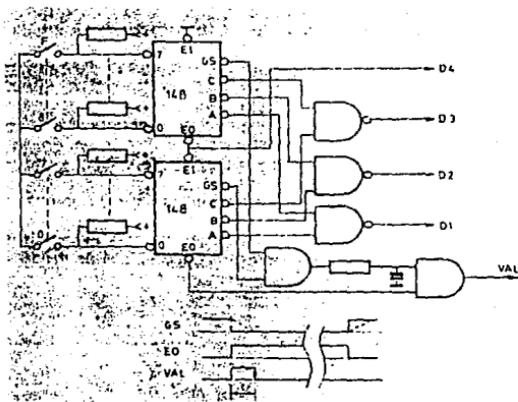


Figura III.b.21

### III.b.8.2 CONEXION MATRICIAL

Cuando el número de teclas sea más elevado (caso típico de teclados alfanuméricos) no es práctico seguir empleando los circuitos codificadores descritos.

La técnica más usual consiste en conectar las teclas en forma matricial, de tal modo que el número total de teclas conectable es igual al número de intersecciones.

Empleando teclas de efecto Hall dinámicas de doble salida puede realizarse un circuito codificador simple pero muy efectivo (fig. III.b.22)

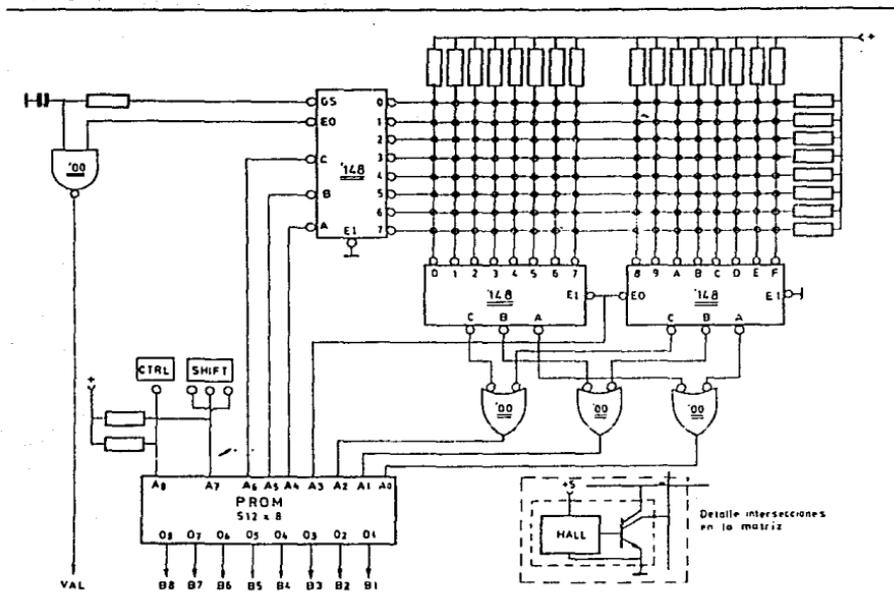


Figura III.B.22

Este teclado permite la conexión de hasta 128 teclas repartidas en una matriz de 8 filas por 16 columnas.

Mediante tres codificadores prioritarios de tipo '148 se obtiene un código de 7 bits, que no corresponde necesariamente a un codificador estándar tal como el ASCII. Con el fin de adaptar la codificación a la norma deseada, así como para obtener un teclado de 4 modos se envían los 7 bits obtenidos, junto con las salidas de las teclas estáticas "Shift" y "Control" a una EPROM de 512x8 bits, que dará lugar a la salida de 8 bits transcodificados apropiadamente. La señal de validación se obtiene de modo similar al mencionado con anterioridad.

### III.b.8.3 EXPLORACION SECUENCIAL

Cuando no se cuenta con teclas de tipo Hall dinámico, se acude como norma general a realizar los circuitos codificadores empleando técnicas de exploración secuencial.

Un circuito clásico es ilustrado en la fig. III.b.23, basado en un contador de 7 bits, un multiplexor y un decodificador de 4 a 16. Las teclas codificadas forman una matriz en la que cada tecla conecta una salida del decodificador con una entrada del multiplexor. El decodificador está conectado por los 4 bits menos significativos y el multiplexor por los 3 más significativos del contador. Cuando se presiona un tecla, se cierra la conexión, de tal modo que cuando el contador alcanza el código

apropiado, el multiplexor conmuta a su salida y dispara un monoestable, que detiene el conteo. El monoestable se redispara continuamente mientras la tecla está presionada.

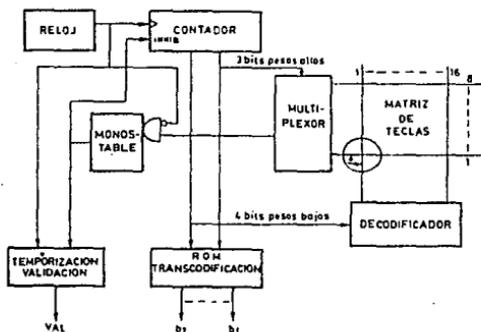


Figura III.b.23

Una EPROM o circuito equivalente realiza la transcodificación y adaptación de modos, aunque esta función puede ser realizada por un microprocesador mediante acceso a una tabla interna en el programa.

Un esquema completo para codificar un teclado de hasta 128 teclas por el método de exploración secuencial resultaría bastante voluminoso si se realiza mediante integrados simples SSI y MSI, máxime si se incorporan circuitos complicados de selección de modos y protectores de sobrepresión de teclas. Estos casos han sido resueltos mediante circuitos integrados MOS-LSI, que realizan todas estas funciones.

#### III.b.B.4 CODIFICACION POR MICROPROCESADOR

Una técnica que se está expandiendo fuertemente consiste en la utilización de microprocesadores como elementos de lógica activa en la codificación de teclados. Esta técnica permite, con un mínimo de componentes, realizar funciones que hasta el presente solamente eran llevadas a cabo directamente por el teclado como periférico. Entre estas funciones cabe mencionar: exploración secuencial; protección contra presión simultánea de teclas; transcodificación; modos múltiples; selección de modo completo; salidas en serie o en paralelo; memoria FIFO en caso de presión más rápida que el posible acceso por parte del CPU; autorrepeticion en teclas seleccionadas (se denomina autorrepeticion al hecho de que se mantiene oprimida una tecla; pasado un tiempo prudente; entre 0.5 a 1 segundo; se repite la validacion del código asociado a un ritmo aproximado de 10 Hz); repeticion por tecla "REPITE" independiente de ciertas teclas o funciones; autorizacion o inhibicion total o parcial del teclado; generacion de señal audible para realimentacion.



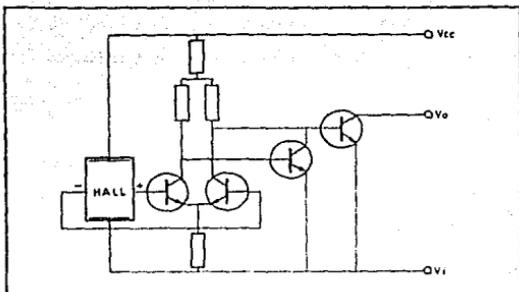


Figura III.b.25

Como microprocesador se emplea el Intel 8021. Este circuito opera a un voltaje único de +5 V, procesa palabras de 8 bits, dispone de una ROM de 1 K palabras, una RAM de 64x8 bits, 21 puertos de entrada/salida un temporizador/contador, todo ello en una cápsula de 28 terminales.

Los módulos del actuador de estado sólido disponen de una entrada y una salida, preparadas para la exploración. La señal es válida cuando la entrada de exploración está activada y la tecla oprimida. Dado que módulo actuador es un interrupto de estado sólido, con salida digital, podrá conectarse directamente con el microprocesador. No es preciso prever rutinas para

eliminación de rebotes, ni circuitos detectores especiales, tales como los que precisan los actuadores capacitivos o de núcleos de ferrita; con todo ello se disponen de mayor espacio en la ROM para permitir incrementar sus prestaciones.

### III.b.9 INTERFAZ

La conexión de un teclado completo a cualquier sistema, generalmente no plantea serios problemas por su simplicidad y baja velocidad de operación.

De hecho basta con tener presentes las señales que entrega. para deducir la interfaz precisa. El caso más usual es el constituido por 7 u 8 bits de datos (depende si se incluye la paridad) y una señal de validación. En casos particulares aparecen señales asociadas a funciones especiales, tales como repetición, ruptura de secuencia, solicitud de identificación, u otras.

Al igual que cualquier otro sistema de entrada/salida en paralelo debe realizarse la interconexión por medio de interrupciones, o bien por "polling".

Para definir la técnica idónea debe tenerse presentes varios factores, entre los cuales hay que contar con que la frecuencia de aparición de información no será jamás muy rápida, pues procede de la acción física de las manos del operador, por lo

que difícilmente existirá un período inferior a 50 ms entre presiones de mayor velocidad.

En los sistemas que hagan uso extensivo de interrupciones puede ser ésta la solución más económica, aunque debe valorarse el tiempo del procesador destinado a atender al periférico, que evidentemente interrumpirá de forma asíncrona.

En muchos casos se prefiere actuar en polling, de tal modo que cuando el teclado dispone de una palabra, memoriza ésta en circuitos de interfaz y activa un bit físico de estado. El procesador, durante la ejecución de las rutinas básicas, explora los bits de estado de ciertos periféricos (tal como el teclado) y dispara una rutina de entrada en momentos que su atención no está destinada prioritariamente a atender fenómenos que exigen mayor velocidad de reacción (fig. III.b.26).

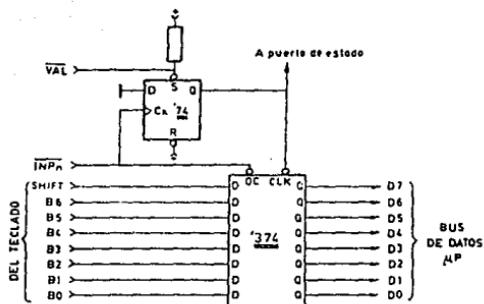


Figura III.b.26

No obstante, la interconexión más usual del teclado es la serie, por cuanto estos periféricos forman parte, normalmente, de terminales interactivas, en las que los datos transmitidos constituyen la información generada a través del teclado.

### III.b.10 SELECCION DEL TECLADO

Como se mencionó en los puntos anteriores, los teclados más idóneos para control de procesos automáticos son los de 12 y 16 teclas. En nuestro caso particular se selecciona uno de 16 teclas, para poder tener a disposición todas las funciones del proceso. Además, por su confiabilidad y resistencia al medio ambiente las teclas son del tipo de Efecto Hall. A continuación se detalla la aplicación de estas:

7 LECTURA DE PRESION MAXIMA	8 LECTURA DE PRESION ACTUAL	9 LECTURA DE PRESION MINIMA	A RESET
4 LECTURA DE TEMPERATURA MAXIMA	5 LECTURA DE TEMPERATURA ACTUAL	6 CARGA DE MATERIAL	B INICIA PROCESO
1 TIEMPO DE VENTEA	2 TIEMPO DE DESALOJO	3 TIEMPO DE CARGA	C CONTINUA
F INYECTA VAPOR	O VENTEA	E DESALOJA	D INTERRUMPIR / ABORTAR PROCESO

Fig. III.b.27

### III.c SISTEMAS DE VISUALIZACION Y PREVENCION

#### III.c.1 SISTEMAS DE VISUALIZACION Y PREVENCION

Un visualizador es un dispositivo que le indica al usuario del estado interno de un proceso por medio de un display de LED o LCD.

##### III.c.1.1 DISPLAY DE LED

Las siglas LED tienen el significado de "Diodo emisor de luz". Existen los siguiente tipos:

- Siete segmentos
- Diez y seis segmentos
- Matricial de 5 x 7
- Matricial de 7 x 9

Lo que respecta al primer tipo, es usado para visualizar números y los demás para alfanuméricos.

Principio de operación.

Este tiene inicio desde la recombinación de portadores de carga que toma lugar en la unión PN. Del lado N como concentración de electrones y del lado P de neutrones. Los electrones se encuentran situados en la banda de energía, mientras los neutrones están en la banda de valencia.

Por lo tanto, decimos que los electrones se encuentran en un nivel mayor de energía que los neutrones, obteniendo la transformación de energía a luz y calor, cuando se realiza la recombinación de estos.

Ahora si consideramos el material del semiconductor transparente tendremos la emisión de la luz por la recombinación mencionada un ejemplo de esto es el "Diodo Emisor de Luz"; una muestra del elemento se observa en la figura III.c.1.

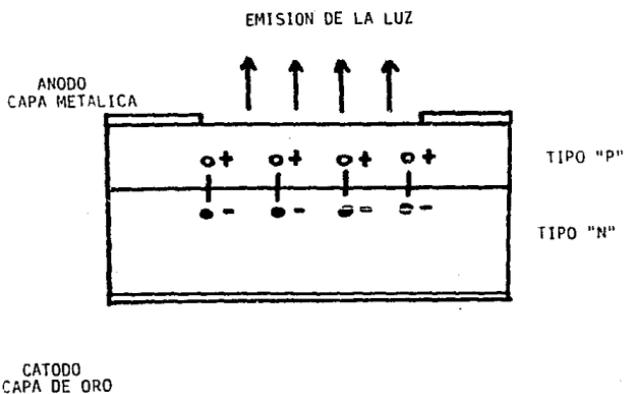


Figura III.c.1

### Características Típicas para un Display de siete segmentos.

- a) Diferencia de Voltaje : 8.4 Volts
- b) Flujo de Corriente : 400 miliamperes
- c) Consumo de Potencia : 400 miliwatts
- d) Ventaja : Es visible en la oscuridad
- e) Desventaja : Consumo de Potencia Alto

### III.c.1.2 DISPLAY LCD

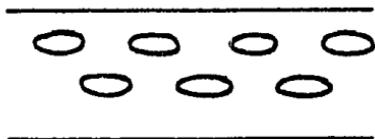
Las siglas LCD tienen el significado de "Display de Cristal Líquido" y se encuentra en los siguientes tipos :

- Siete segmentos
- Diez y seis segmentos

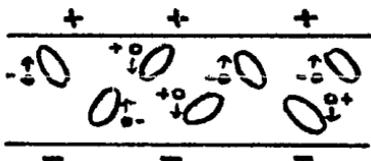
el primero para visualizar números y el segundo para alfanuméricos.

Principio de operación.

Este se desarrolla cuando un campo eléctrico es aplicado a un cristal líquido, creando una turbulencia molecular que causa una dispersión de luz a todas las direcciones, de tal forma que las áreas activadas aparecerán con una brillantez (Este fenómeno es conocido como "Dispersión Dinámica"); cuando no es activado el cristal líquido, este se encontrará transparente (Figura III.c.2.).



A) MOLECULAS LCD SIN CAMPO ELECTRICO



B) MOLECULAS LCD CON CAMPO ELECTRICO

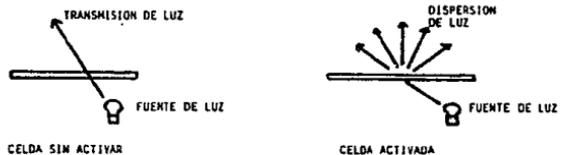
Figura III.c.2

El material de cristal liquido puede ser uno de varios compuestos orgánicos los cuales exhiben las propiedades de un sólido (Como retención de fluidos de un liquido).

El cristal liquido en forma de celda se clasifica de las siguientes formas:

- a) Tipo Transmisor .-Consta de una superficie de cristal liquido entre hojas de cristal metálico transparente con depósitos de electrodos en sus caras internas.
- b) Tipo Reflectivo.-Consta de una hoja de cristal transparente y otra con una cubierta reflexiva.

Los dos tipos se ilustran en la figura III.c.3.



A) CELDA TIPO TRANSMISOR



B) CELDA TIPO REFLECTIVO

Figura III.c.3

### Características Típicas para Display de siete segmentos.

- a) Diferencia de Voltaje : 0.8 Volts
- b) Flujo de Corriente : 25 picoamperes
- c) Consumo de Potencia : 20 picowatts
- d) Ventaja : Consumo de Potencia Bajo
- e) Desventaja : Requiere de iluminación para ser visible en la oscuridad.

#### III.c.1.3 SELECCION Y APLICACION DEL VISUALIZADOR

Utilizaremos display's de cristal liquido por tener un consumo de potencia bajo, considerando su manejo mediante un multiplexor (maestro de la serie CMOS LSI tipo MC145000). El cual esta diseñado para manejar seis LCD's configuración tipo Frontplane (figura III.c.4.).

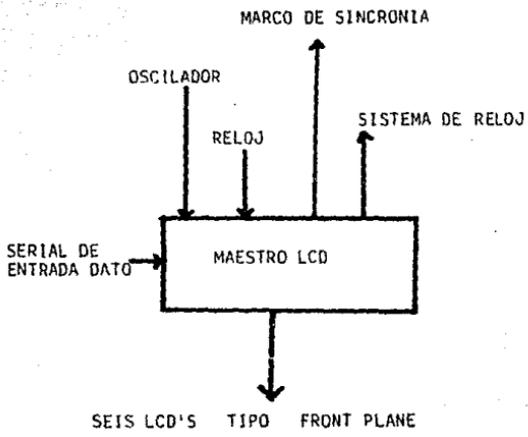


Figura III.c.4

También consideramos que nuestro visualizador estará compuesto por seis display's LCD y manejados por nuestra unidad maestra mencionada anteriormente para visualizar los siguientes mensajes:

- Inicio (Inicio)
- Proceso (Proc.)
- Fin (Fin)
- Suspendido (SUSP.)
- Abortado (Abor.)
- Presión (P)
- Temperatura (°C)

Lo anterior se ilustra en la figura III.c.5.

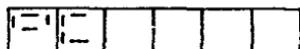
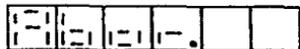
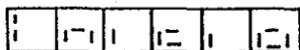
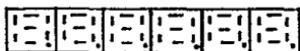


Figura III.c.5

#### III.c.3.4 PREVENCIÓN

El Sistema de Prevención tendrá la función de alertar al usuario de un posible mal funcionamiento de un proceso interno.

En caso extremo de emergencia el proceso será interrumpido, para de esta forma desarrollarse una supervisión y detección del daño causado.

Este sistema deberá ser del tipo audiovisual ,esto quiere decir que utilizaremos un zumbador conectado con una lampara e implementados a nuestro M.C.U. de la siguiente forma:

BIT	Puerto	Señal
1	b	Sobrettemperatura
0	b	Sobrepresión
4	b	Proceso abortado
3	b	Proceso interrumpido

En la figura III.c.6. se ilustra el anterior sistema de monitoreo.

La selección de este tipo de Prevención es con la finalidad de lograr llamar completamente la atención del usuario lo más pronto posible en caso de alarma.

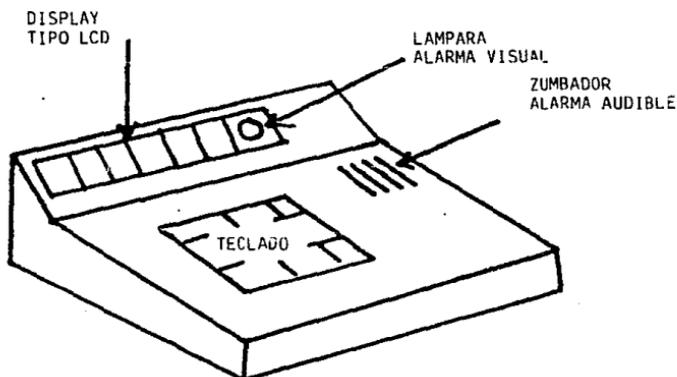


Figura III.c.6

### III.d DESARROLLO DEL SOFTWARE NECESARIO

#### III.d.1 CIRCUITO DE CONTROL

Como se mencionó al inicio de este capítulo, el sistema de control está basado en el circuito MCU-68705-3R, cuyas características permitieron configurar fácilmente, la estructura de dicho sistema, pudiendo separar y distribuir perfectamente, cada una de las funciones requeridas por el proceso, sobre los puertos del microcomputador.

De esta manera, como se muestra en la figura III.d.1, el puerto "A" del controlador se encarga exclusivamente de monitorear el teclado del sistema, el puerto "B" se utiliza para todas las funciones de visualización, el control para la apertura y cierre de válvulas se realiza a través del puerto "C", y el puerto "D" está dedicado a la supervisión de las variables involucradas en el proceso.

En la figura III.d.2 se muestra el diagrama eléctrico del sistema controlador.

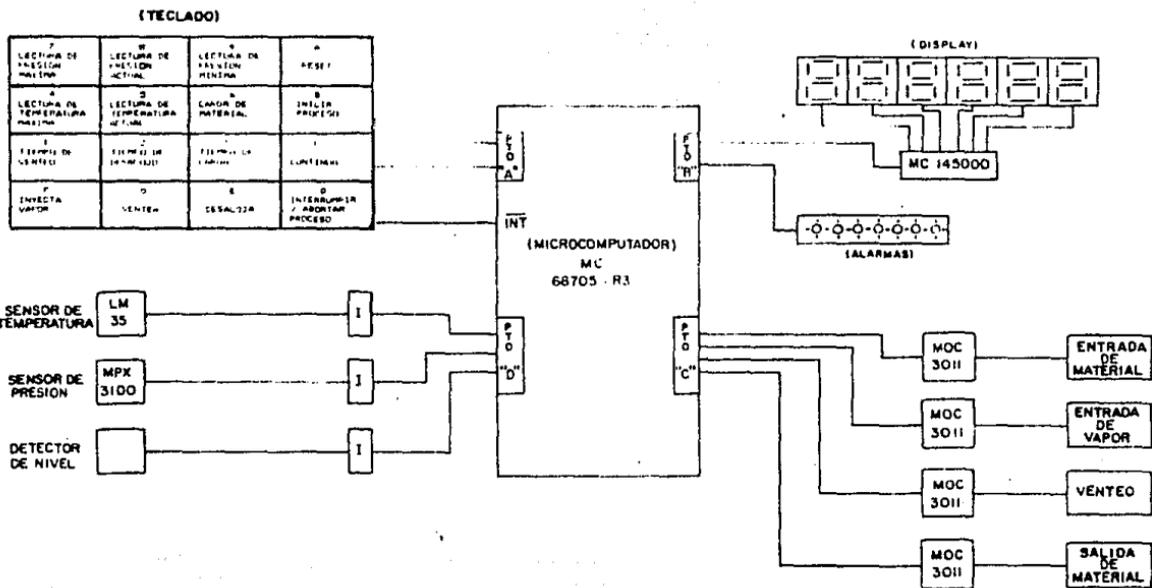


Fig III.D.1



### III.d.2 PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control, contempla cuatro etapas dentro de la operación del preexpansor y el proceso en si (fig. III.d.3):

#### 1) Etapa inicial:

En esta etapa, se establecen las condiciones del proceso, se preparan los puertos para desarrollar su función, se preparan las válvulas para iniciar el proceso y se espera la indicación del operador, quien selecciona cual será la etapa siguiente (Operación manual, Proceso automático o modificación de condiciones de proceso).

#### 2) Etapa de proceso automático:

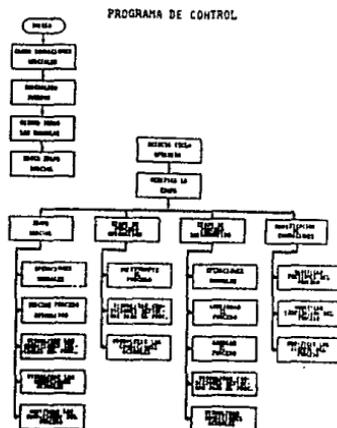
En esta etapa, el programa de control se encarga de ejecutar el proceso en forma totalmente automática. Durante la ejecución, es posible visualizar las condiciones establecidas para el proceso y los parámetros inherentes del mismo, además, se tiene la opción para interrumpir su ejecución y continuar posteriormente en forma manual o automática.

3) Etapa de proceso interrumpido:

Estando en etapa de proceso interrumpido, se pueden visualizar las condiciones establecidas para el proceso y las condiciones del mismo, y de esta manera decidir si se continua en forma automática, en forma manual o si se aborta la ejecución.

4) Etapa de modificación de condiciones:

En esta etapa se pueden modificar las condiciones iniciales de temperatura, presión y tiempos. Estableciendo nuevas condiciones de proceso. Esto permite ejecutar en forma automática procesos de preexpansión con condiciones especiales.





0006 00	CTRLC	DB	0	;Registro de control del puerto C
0007 00	SIMUSD2	DB	0	;No esta utilizado
0008 00	DATOSTIM	DB	0	;Registro de datos del "TIMER"
0009 00	CTRLTIM	DB	0	;Registro de control del "TIMER"
000A 00	SIMUSD3	DB	0	;No esta utilizado
000B 00	PCR	DB	0	; "Program control register"
000C 00	SIMUSD4	DB	0	;No esta utilizado
000D 00	SIMUSD5	DB	0	;NO esta utilizado
000E 00	CTRLD	DB	0	;Registro de control del puerto "D" (analógico)
000F 00	PUERTOCA	DB	0	;Registro de datos del puerto "C" (analógico)
	:			
	:			
0010 00	REGISPRE	DB	0	;Registro de presión
0011 00	REGISTEM	DB	0	;Registro de temperatura
0012 00	BANDERA1	DB	0	;Registro de banderas para el proceso
0013 00	ETAPA	DB	0	;Registro para indicar la etapa del proceso
0014 00	MODIFICA	DB	0	;Registro de banderas de modificación
0015 00	CONDICOR	DB	0	;Registro de condiciones de corte
0016 00	PRESIDA	DB	0	;Registro para almacenar lectura de presión
0017 00	ALMACENA	DB	0	;Registro para almacenar temporalmente
0018 00	ALMACENT	DB	0	;Registro para almacenar temporalmente
0019 00	DATO	DB	0	;Registro para almacenar dato de conversión
001A 00	CENTENAS	DB	0	;Registro para centenas de despliegue
001B 00	DECENAS	DB	0	;Registro para decenas de despliegue
001C 00	UNIDADES	DB	0	;Registro para unidades de despliegue
001D 00	CONTADOR	DB	0	;contador de uso general(1)

001E 00	CONTAD02	DB	0	;contador de uso general
001F 00	CONTAD03	DB	0	;contador de uso general
	;			
	;			
0020		ORG	020	
	;			
0020 00	CARACTE1	DB	0	;caracter 1 de despliegue
0021 00	CARACTE2	DB	0	;caracter 2 de despliegue
0022 00	CARACTE3	DB	0	;caracter 3 de despliegue
0023 00	CARACTE4	DB	0	;caracter 4 de despliegue
0024 00	CARACTE5	DB	0	;caracter 5 de despliegue
0025 00	CARACTE6	DB	0	;caracter 6 de despliegue
0026 00	CODICAR1	DB	0	;codigo del caracter1
0027 00	CODICAR2	DB	0	;codigo del caracter2
0028 00	CODICAR3	DB	0	;codigo del caracter3
0029 00	CODICAR4	DB	0	;codigo del caracter4
002A 00	CODICAR5	DB	0	;codigo del caracter5
002B 00	CODICAR6	DB	0	;codigo del caracter6
	;			
	;			
0030		ORG	030	
	;			
0030 00	PRESMAX	DB	0	;Registro de presion maxima
0031 00	PRESMIN	DB	0	;Registro de presion minima (ventas)
0032 00	PRESZERO	DB	0	;Registro de presion ambiente (cero)
0033 00	TEMPMAX	DB	0	;Registro de temperatura maxima

0014 00	PRESPRO	DB	0	;Registro de presion limite
0015 00	TEMPPRO	DB		;Registro de temperatura limite
0016 00	TIEMALM	DB	0	;registro de tiempo de alimentacion de material
0017 00	TIEMEN	DB	0	;registro de tiempo de venteo
0018 00	TIEMAL	DB	0	;registro de tiempo de salida
0019 00	TIEMFO	DB	0	;registro para modificar tiempos
	;			
	;			
0080		ORG	880	
	;			
0081 97	PMA	DB	997	;presion maxima (1 Kg/cm <sup>2</sup> )
0081 71	PPR	DB	971	;presion de proceso (0.7 Kg/cm <sup>2</sup> )
0082 3F	PMI	DB	93F	;presion minima (venteo) (0.3 Kg/cm <sup>2</sup> )
0083 19	PCE	DB	919	;presion cero (ambiente)
0084 78	TMA	DB	978	;temperatura maxima (120 °C)
0085 69	TPR	DB	969	;temperatura de proceso (105 °C)
0086 02	TIA	DB	902	;tiempo de entrada de material
0087 03	TIW	DB	903	;tiempo de venteo
0088 FE	TIS	DB	9FE	;tiempo de salida de material
	;			
	;			
0099		ORG	990	
	;			
0090 EE	CODIG00	DB	9EE	;codigo de la tecla "0"
0091 ED	CODIG01	DB	9ED	;codigo de la tecla "1"
0092 EB	CODIG02	DB	9EB	;codigo de la tecla "2"

0093 E7	C001603	DB	167	;codigo de la tecla "3"
0094 E8	C001604	DB	168	;codigo de la tecla "4"
0095 D0	C001605	DB	169	;codigo de la tecla "5"
0096 D8	C001606	DB	170	;codigo de la tecla "6"
0097 D7	C001607	DB	171	;codigo de la tecla "7"
0098 BE	C001608	DB	172	;codigo de la tecla "8"
0099 ED	C001609	DB	173	;codigo de la tecla "9"
009A B6	C00160A	DB	174	;codigo de la tecla "0"
009B B7	C00160B	DB	175	;codigo de la tecla "B"
009C 7E	C00160C	DB	176	;codigo de la tecla "C"
009D 7D	C00160D	DB	177	;codigo de la tecla "D"
009E 7B	C00160E	DB	178	;codigo de la tecla "E"
009F 77	C00160F	DB	179	;codigo de la tecla "F"

00A0		DB	180	
------	--	----	-----	--

00A0 06		DB	180	letra "I"
00A1 64		DB	181	letra "J"
00A2 40		DB	182	letra "K"
00A3 E0		DB	183	letra "L"
00A4 40		DB	184	letra "M"
00A5 E4		DB	185	letra "N"
00A6 73		DB	186	letra "O"
00A7 50		DB	187	letra "P"

00A8 E4	DB	9E4	;letra "o"
00A9 EB	DB	9EB	;letra "c."
00AA 00	DB	900	
00AB 00	DB	900	
00AC 71	DB	971	;letra "F"
00AD 40	DB	940	;letra "i"
00AE 64	DB	964	;letra "n"
00AF 00	DB	900	
00B0 00	DB	900	
00B1 07	DB	900	
00B2 95	DB	9B5	;letra "S"
00B3 D6	DB	9D6	;letra "H"
00B4 85	DB	985	;letra "E"
00B5 7B	DB	97B	;letra "P"
00B6 00	DB	900	
00B7 00	DB	900	
00B8 77	DB	977	;letra "A"
00B9 F4	DB	9F4	;letra "b"
00BA E4	DB	9E4	;letra "o"
00BB 6B	DB	96B	;letra "r."
00BC 00	DB	900	
00BD 00	DB	900	

= 0007	FINDCON	EQU	7	¡bit de fin de conversión (bit "d")
= 0007	NIVEL	EQU	7	¡bit 7 del pto. "d" señal de nivel
= 0007	ALIMENTA	EQU	7	¡bit 7 del pto. "c" válvula de alimentación
= 0006	DESALGUA	EQU	6	¡bit 6 del pto. "c" válvula de salida
= 0005	INYECA	EQU	5	¡bit 5 del pto. "c" válvula de vapor
= 0004	VENTER	EQU	4	¡bit 4 del pto. "c" válvula de venteo
= 0001	SOBT	EQU	1	¡bit 1 del pto. "c" señal de sobretemperatura
= 0000	SOBP	EQU	0	¡bit 0 del pto. "c" señal de sobrepresión
= 0007	FINEJ	EQU	7	¡bit 7 del pto. "b" señal de fin de expansión
= 0006	FINSAL	EQU	6	¡bit 6 del pto. "b" señal de fin de salida de sat.
= 0005	PROCETER	EQU	5	¡bit 5 del pto. "b" señal de proceso terminado
= 0004	ABORTO	EQU	4	¡bit 4 del pto. "b" señal de proceso abortado
= 0003	INTEP	EQU	3	¡bit 3 del pto. "b" señal de proceso interrumpido
= 0001	RELOJ	EQU	1	¡bit 1 del pto. "b" reloj del display
= 0000	DISPLAY	EQU	0	¡bit 0 del pto. "b" datos hacia el display
= 0000	TPRO	EQU	0	¡bit 0 de modifica (bandera de temperatura)
= 0001	PPRO	EQU	1	¡bit 1 de modifica (bandera de presión de proceso)
= 0002	PRIN	EQU	2	¡bit 2 de modifica (bandera de presión crítica)
= 0003	TENT	EQU	3	¡bit 3 de modifica (bandera de tiempo de entrada)
= 0004	TVEM	EQU	4	¡bit 4 de modifica (bandera de tiempo de venteo)
= 0005	TSAL	EQU	5	¡bit 5 de modifica (bandera de tiempo de salida de sat.)
= 0020	CARACTER	EQU	420	¡dirección de la tabla de despliegue
= 0050	TABLACAR	EQU	460	¡tabla de caracteres
= 0030	REGCOM	EQU	430	¡registros de condiciones
= 0080	CONTINI	EQU	480	¡tabla de condiciones iniciales



010F 8704		STA	CTRLA	monitorear el teclado
	:			
0111 86FF		LDA	09FF	inicializa el puerto "B" para
0113 8705		STA	CTRLB	senalización
	:			
0115 86FF		LDA	09FF	inicializa el puerto "C" para
0117 8706		STA	CTRLC	control de valvulas
	:			
	:			
0119 8667	INICIO	LDA	99E7	identifica el "inicio"
011B 8709		STA	CTPLTIM	
011D 3F02		CLR	PUERTOC	cierra todas las valvulas
011F 3F10		CLR	ETAPA	inicializa banderas de etapa
0121 3F14		CLR	MODIFICAD	inicializa banderas de modificacion
0123 1013		BSET	0,ETAPA	enciende bandera de etapa "inicia"
	:			
0125 8E0A		LDI	090A	inicializa la tabla de caracteres
0127 4F60	INICAR	CLR	TABLACAR,T	
0129 5A		DECI		
012A 2AFB		BPL	INICAR	
012C 9C		RSP		inicializa el "stack pointer"
012E 9A		CLI		habilita las interrupciones
	:			
012E CD05AA		JSR	MENSAJE1	envia mensaje de inicio
	:			
	:			





0166 E190	CMP	CODIGO,1	:manual
0168 2752	REQ	"	
0164 SA	DECI		: (E) verifica si se desea desalojar
0168 E190	CMP	CODISO,1	:el material en forma manual
0169 2757	REQ	0"	
016F SA	DECI		: (D)
0170 SA	DECI		: (C)
0171 SA	DECI		: (E) verifica si se desea iniciar
0172 E190	CMP	CODISO,1	:el proceso en forma automatica
0174 2740	REQ	100	
0176 SA	DECI		: (A) verifica si se desea iniciar
0177 E190	CMP	CODISO,1	:las condiciones del proceso a
0179 2785	REQ	RESET	:los valores preestablecidos.
0178 SA	DECI		: (R) verifica si se desea modificar
0179 E190	CMP	CODIGO,1	:el valor de la presion minima
017F 2750	REQ	0PM	
0180 SA	DECI		: (B) verifica si se desea ver la
0181 E190	CMP	CODIGO,1	:presion actual dentro del
0183 2750	REQ	DPA	:preexpansor
018F SA	DECI		: (7) verifica si se desea modificar

0186 E190	CMP	COD160,1	¡el valor de la presión de
0188 274F	BEQ	CFP	¡proceso
018A 5A	DECI		¡(6)
018B 5A	DECI		¡(5) verifica si se desea ver
018C E190	CMP	COD160,1	¡la temperatura actual dentro
018E 274E	BEQ	DTA	¡del pre-expansor
0190 5A	DECI		¡(4) verifica si se desea modificar
0191 E190	CMP	COD160,1	¡la temperatura de proceso
0193 274D	BEQ	CTP	
0195 5A	DECI		¡(3) verifica si se desea modificar
0196 E190	CMP	COD160,1	¡el tiempo de carga de material
0198 274D	BEQ	CTC	
019A 5A	DECI		¡(2) verifica si se desea modificar
019B E190	CMP	COD160,1	¡el tiempo de desalaje de material
019D 274D	BEQ	CTE	
019F 5A	DECI		¡(1) verifica si se desea modificar
01A0 E190	CMP	COD160,1	¡el tiempo de venteo
01A2 2719	BEQ	CTV	
01A4 5A	DECI		¡(0) verifica si se desea inyectar
01A5 E190	CMP	COD160,1	¡vapor en forma manual

```

01A7 2710      BEQ   IH
;
01A9 80        RTI
;
01AA CD01F1    DEIN   JSR   DECOINT      ;llama a la rutina de decodificacion
01AD 80        RTI                        ;en etapa de interrupcion
;
01AE CD0259    DEPR   JSR   DECOPRD      ;llama a la rutina de decodificacion
01B1 80        RTI                        ;en etapa de proceso
;
01B2 CD0298    DEVA   JSR   DECOVAR      ;llama a la rutina de decodificacion
01B5 80        RTI                        ;para modificacion de variables
;
01B6 CD0499    IPR    JMP   INIPRO      ;llama a la rutina de proceso automatico
;
01B9 CD0572    IM     JSR   INYECMAN     ;llama a la rutina de inyeccion manual
01BC 80        RTI
;
01BD 1213      DTV    BSET  I,ETAPA      ;enciende bandera de etapa de modificacion
01BF 1814      BSET  TVEN,MODIFICA      ;enciende bandera de modificacion de tiempo
01C1 80        RTI                        ;de ventas
;
01C2 CD0565    VM     JSR   VENTEMAN     ;llama a la rutina de ventas manual
01C5 80        RTI
;
01C6 CD059C    DM     JSR   DESALMAN     ;llama a la rutina de desalojo manual

```

01C9 3F13		CLR	ETAPA	
01CB 1013		BSET	0,ETAPA	
01CD 1C01		BSET	FINSAL,PUERTOS	
01EF 80		RTI		
	:			
01D9 1213	CPM	BSET	1,ETAPA	;enciende bandera de etapa de modificacion
01D2 1414		BSET	PMIN,MODIFICA	;enciende bandera de modificacion de presion
01D4 80		RTI		;inicia
	:			
01D5 CD9305	DPA	JSR	DEPREACT	
01D8 80		RTI		
	:			
01D9 1213	CPP	BSET	1,ETAPA	;enciende bandera de etapa de modificacion
01DB 1214		BSET	PPRO,MODIFICA	;enciende bandera de modificacion de presion
01DD 80		RTI		;de proceso
	:			
01DE CD9333	DPA	JSR	DETRACT	
01E1 80		RTI		
	:			
01E2 1213	CTP	BSET	1,ETAPA	;enciende bandera de etapa de modificacion
01E4 1014		BSET	TPRO,MODIFICA	;enciende bandera de modificacion de temperatura
01E6 80		RTI		;de proceso
	:			
01E7 1213	CTC	BSET	1,ETAPA	;enciende bandera de etapa de modificacion
01E9 1414		BSET	TENT,MODIFICA	;enciende bandera de modificacion de tiempo de
01EB 80		RTI		;entrada de material

```

;
01EC 1213 CTS      BSET  1,ETAPA      ;enciende bandera de etapa de modificacion
01EE 1A14          BSET  1SAL,MODIFICA ;enciende bandera de modificacion de tiempo
01FO 80           RTI                    ;de salida de material
;
;
;
;-----
;Etapa de interrupcion de proceso automatico 000
;-----

```

```

01F1 AECF DECOINT  LDI  #%0F      ;(F) verifica si desea venteo
01F3 E190          CMP  CODIGO,X   ;manual
01F5 27CB          BEQ  VM
;

```

```

01F7 5A          DECI                    ;(E) verifica si desea desalojar
01F9 E190          CMP  CODIGO,X   ;manualmente el material
01FA 27CA          BEQ  DM
;

```

```

01FC 5A          DECI                    ;(D) verifica si desea abortar
01FD E190          CMP  CODIGO,X   ;el proceso
01FF 2736          BEQ  ABOR
;

```

```

0201 5A          DECI                    ;(C) verifica si desea continuar
0202 E190          CMP  CODIGO,X   ;con el proceso
0204 2737          BEQ  PROC
;

```

0206 5A	DECI	
0207 5A	DECI	
0208 5A	DECI	; (9) verifica si desea ver la
0209 E190	CMP	CODIGO,I ;presion sinica (venteo)
0208 2734	BEQ	DPM
;		
0200 5A	DECI	; (8) verifica si desea ver la
020E E190	CMP	CODIGO,I ;presion actual dentro del
0210 27C3	BEQ	DPA ;expansor
;		
0212 5A	DECI	; (7) verifica si desea ver la
0213 E190	CMP	CODIGO,I ;presion de proceso
0215 272E	BEQ	DPP
;		
0217 5A	DECI	
0218 5A	DECI	; (5) verifica si desea ver la
0219 E190	CMP	CODIGO,I ;temperatura actual dentro del
0218 27C1	BEQ	DTA ;preexpansor
;		
0210 5A	DECI	; (4) verifica si desea ver la
021E E190	CMP	CODIGO,I ;temperatura maxima de procesc
0220 2727	BEQ	DTP
;		
0222 5A	DECI	; (3) verifica si desea ver el
0223 E190	CMP	CODIGO,I ;tiempo de entrada de material
0225 2725	BEQ	DTC

```

;
0227 5A          DECI          ;(2) verifica si desea ver el
0228 E190       CMP    CODIGO,I ;tiempo de salida del material
022A 2725       BEQ    DTS
;
022C 5A          DECI          ;(1) verifica si desea ver el
022D E195       CMP    CODIGO,I ;tiempo de ventec
022F 2724       BEQ    DIV
;
0231 5A          DECI          ;(0) verifica si desea inyectar
0232 E190       CMP    CODIGO,I ;vapor en forma manual
0234 279D       BEQ    IM
;
0236 80
;
0238 CD05BA     ABOR          JSR    ABORTA          ;llama a la rutina de aborto
023A CD011F     JNP          JMP    INICIO           ;y regresa al inicio del programa
;
023D 9C          PROC          RSP
023E CD04AD     JNP          JMP    PROCESO         ;regresa a la rutina de proceso automatico
;
0241 CD075E     DPM          JSR    DEPREMIM        ;llama a la rutina de desoligue de
0244 80          RTI          ;presion minima
;
0245 CD0384     DPP          JSR    DEPREPRO         ;llama a la rutina que despliega la
0248 80          RTI          ;presion de procesc

```

```

;
0249 CD02AB DTP JSR DETEMPRO ;llama a la rutina que despliega la
024C 80 RTI ;temperatura de proceso
;
024D CD03CE DTC JSR DETIECAR ;llama a la rutina que despliega
0254 80 RTI ;el tiempo de carga del material
;
0251 CD05FC DTS JSR DETIESAL ;llama a la rutina que despliega el
0254 80 RTI ;tiempo para salida del material
;
0255 CD0416 DTW JSR DETIEVEN ;llama a la rutina que despliega el
0258 80 RTI ;tiempo de venteo
;

```

```

-----
;### Etapa de proceso automatico ###
-----

```

```

0257 -ECC DECCPRD LDI #00C ;(D) verifica si desea interrumpir
0258 E17C CMP CODIGO,r ;el proceso
025D 2735 BEQ INTE
;
025F 5A DECI ;(D)
0260 5A DECI ;(B)
0261 5A DECI ;(A)
0262 5A DECI ;(R) verifica si desea ver la

```

0263 E190	CMF	CODIGO,I	;presion minima (vanteo)
0265 2704	BEQ	DPH	
0267 5A	DECI		; (8) verifica si desea ver la
0268 E190	CMF	CODIGO,I	;presion actual dentro del
026A 2724	BEQ	DPQ2	;preexpansor
026C 5A	DECI		; (7) verifica si desea ver la
026D E190	CMF	CODIGO,I	;presion de proceso
026F 2734	BEQ	DPF	
0271 5A	DECI		; (6)
0272 5A	DECI		; (5) verifica si desea ver la
0273 E190	CMF	CODIGO,I	;temperatura actual dentro del
0275 2715	BEQ	DTA2	;preexpansor
0277 5A	DECI		; (4) verifica si desea ver la
0278 E190	CMF	CODIGO,I	;temperatura de proceso
027A 2700	BEQ	DTP	
027C 5A	DECI		; (3) verifica si desea ver el
027D E190	CMF	CODIGO,I	;tiempo de carga de material
027F 2700	BEQ	DTC	
0281 5A	DECI		; (2) verifica si desea ver el
0282 E190	CMF	CODIGO,I	;tiempo de salida del material

```

0284 27CB      BEQ    DTS

;

0286 5A        DECF                    ;(1) verifica si desea ver el
0287 E19C      CMP    CODIGO,I          ;tiempo de venteo
0289 27CA      BEQ    DTV

;

028B 80        RTI

;

028C CD0333    DTA2      JSR    DETEMACT      ;llama a la rutina que despliega el
028F 8C        RTI                    ;valor de la temperatura Actual

;

0290 CD0305    DPA2      JSR    DEPREACT      ;llama a la rutina que despliega el
0293 80        RTI                    ;valor de la presion actual

;

0294 CD043A    INTE      JSR    INTERRUPT      ;llama a la rutina de interrupcion de
0297 80        RTI                    ;proceso automatico.

;
;
;
;-----;
;888 Etapa de modificacion de variables 888;
;-----;
;

029B AE09      DECOVAR    LOI    8809          ;carga el nueve como maximo valor
029A E190      DTRACION    CMP    CODIGO,I          ;lo compara con el código de la tecla
029C 2708      BEQ    GUARDA      ;si coincide lo analiza, sino

```

029E 5A		DECI		;decrementa "I" y vuelve a comparar.
029F A7FF		CFI	86FF	;si se oprime una tecla mayor a nueve,
02A1 26F7		BME	OTRACOM	;se aborta la modificacion.
02A3 C00119		JMP	INICIO	
	:			
02A6 A600	GUARDA	LDA	8600	;analiza si se trata del digito de
02A8 B110		CFP	CONTADOI	;centenas
029A 2700		BEQ	GUARCEM	
02AC 4C		INCA		;analiza si se trata del digito de
02AD B110		CFP	CONTADOI	;decenas
02AF 2700		BEQ	GUARDEC	
02B1 4C		INCA		;analiza si se trata del digito de
02B2 B110		CFP	CONTADOI	;unidades
02B4 2700		BEQ	GUARUMI	
02B6 C00100		JMP	RESET	
	:			
02B9 BF1A	GUARCEM	STX	CENTENAS	;guarda en registro de centenas y
02BB 3C10		INC	CONTADOI	;enciende bandera de decenas
02BD B1		RTS		
	:			
02BE BF1B	GUARDEC	STX	DECENAS	;guarda en registro de decenas y
02C0 3C10		INC	CONTADOI	;enciende bandera de unidades
02C2 B1		RTS		
	:			
02C3 BF1C	GUARUMI	STX	UNIDADES	;guarda en registro de unidades
02C5 C00608		JSR	DECHEI	;solicita la conversion a hexadecimal ;

02C8 B717		STA	ALMACENA	;lo guarda en el registro "ALMACENA"
02CA 001414		BRSET	TPRO,MODIFICA,GUTPRO	;revisa cual de las variables se desea
02CD 020015		BRSET	PPRO,MODIFICA,GUPPRO	;modificar
02D0 041416		BRSET	PMIN,MODIFICA,GUPMIN	
02D3 061417		BRSET	TENT,MODIFICA,GUTENT	
02D6 081418		BRSET	TVEN,MODIFICA,GUTVEN	
02D9 0A1419		BRSET	TSAL,MODIFICA,GUTSAL	
02DC 3F14		CLR	MODIFICA	;si hay algun error, inicializa banderas de
02DE CC0100		JMP	RESET	;modificacion y regresa hasta condiciones
				;iniciales
02E1 B735	GUTPRO	STA	TEMPRO	;guarda nueva temperatura de proceso
02E3 2017		BRA	FINDCAM	
02E5 B734	GUPPRO	STA	FRESPRO	;guarda nueva presion de proceso
02E7 2013		BRA	FINDCAM	
02E9 B731	GUPMIN	STA	FRESMIN	;guarda nueva presion minima
02EB 200F		BRA	FINDCAM	
02ED B736	GUTENT	STA	TIEALIN	;guarda nuevo tiempo de carga de material
02EF 200B		BRA	FINDCAM	
02F1 B737	GUTVEN	STA	TIEVEN	;guarda nuevo tiempo de venteo
02F3 2007		BRA	FINDCAM	
02F5 B738	GUTSAL	STA	TIESAL	;guarda nuevo tiempo de salida
02F7 2003		BRA	FINDCAM	
02F9 CC0100		JMP	RESET	
02FC 3F14	FINDCAM	CLR	MODIFICA	;inicializa banderas de modificacion
02FE 3F13		CLR	ETAPA	;inicializa banderas de etapa

```

0300 3F1D          CLR     CONTACDI          ;inicializa contador de digitos
0302 CC0119       JMP     INICIO

;
;
;*****
;#
;# Rutinas para visualizar los valores de las variables del #
;# proceso. #
;# #
;# El valor de la variable que se va a desplegar esta contenido #
;# en el registro correspondiente de la variable solicitada, al #
;# terminar la subrutina la informacion queda codificada en los #
;# registros "CARACTEX" lista para ser enviada al "display" #
;*****
;

0305 A603  DEPREACT  LDA     #3              ;solicita la conversion de la
0307 B70E          STA     CTRLD              ;lectura de presion
0309 0F0EFD  CICLO6   BRCLP   FINDCON,CTRLD,CICLO6 ;espera la conversion
030C B60F          LRA     PUERTODA          ;lee el resultado de la conversion
033E CD047E       JER     AJUSTE              ;y lo ajusta
0311 CD05EB       JSR     HEDEDEC           ;solicita la conversion a decimal
0314 CD0444       JSR     CODIFICA          ;solicita la codificacion para display
0317 A673          LDA     #97C
0319 9720          STA     CARACTE1
031B A677          LDA     #977
031D 9721          STA     CARACTE2
031F 3F22          CLR     CARACTE3
0321 B629          LDA     CODICAR4          ;transfiere los caracteres codificados
0323 AE08          ADD     #60B              ;a la tabla de despliegue
0325 9723          STA     CARACTE4
0327 B62A          LDA     CODICAR5

```

0329	B724	STA	CARACTE5	
032B	B62B	LDA	CODICAF6	
032D	B725	STA	CARACTE6	
032F	CD0543	JSR	DESPLI	;llama a la rutina de despliegue
0332	B1	RTS		
0333	A600	DETECT	LDA	#90 ;solicita la conversion de la lectura
0335	B70E	STA	CTRLD	;de temperatura
0337	0F0EFD	CICLO7	BRCLR	FINDCON,CTRLD,CICLO7 ;espera el fin de la conversion
033A	B60F	LDA	PUERTOD0	;lee el resultado de la conversion y
033C	B719	STA	DAT0	;lo almacena en el registro "DAT0"
033E	CD05EB	JSR	HEXDEC	;solicita la conversion a decimal
0341	CD0444	JSR	CODIFICA	;solicita la codificacion para "display"
0344	B633	LDA	#6C3	;carga codigos de despliegue en los registros
0346	B72D	STA	CARACTE1	;utilizados para este fin.
034B	A6D1	LDA	#6D1	;
034A	B721	STA	CARACTE2	
034C	3F22	CLR	CARACTE3	
034E	B629	LDA	CODICAR4	
0350	B723	STA	CARACTE4	
0352	B62A	LDA	CODICAR5	
0354	B724	STA	CARACTE5	
0356	B62B	LDA	CODICAR6	
035B	B725	STA	CARACTE6	
035A	CD0543	JSR	DESPLI	;llama a la rutina de despliegue
035D	B1	RTS		

```

;
035E B631  DEFREMIN  LDA  PRESMIN      ;lee la condicion de presion minima especificada
0360 B719                STA  DATO          ;y lo almacena en el registro "DATO"
0362 CD05EB            JSR  HEIDEC        ;solicita su conversion a decimal
0365 CD0444            JSR  CODIFICA      ;solicita su codificacion para "display"
0368 A673              LDA  #673          ;carga los codigos de despliegue en los
036A B720                STA  CARACTE1      ;registros correspondientes
036C A605              LDA  #605          ;
036E B721                STA  CARACTE2
0370 3F22              CLR  CARACTE3
0372 B629              LDA  CODICAR4
0374 A808              ADD  #608          ;incluye el punto susando el codigo del punto
0376 B723                STA  CARACTE4
0378 B62A              LDA  CODICAR5
037A B724                STA  CARACTE5
037C B628              LDA  CODICAR6
037E B725                STA  CARACTE6
0380 CD0543            JSR  DESPL1        ;llama a la subrutina de despliegue
0383 81                RTS

;
0384 B634  DEPREPRO   LDA  PRESPRO      ;lee la condicion de presion de proc. especificada
0386 B719                STA  DATO          ;y la almacena en el registro "DATO"
0388 CD05EB            JSR  HEIDEC        ;solicita su conversion a decimal
038B CD0444            JSR  CODIFICA      ;solicita su codificacion para "display"
038E A673              LDA  #673          ;carga los codigos de despliegue en los
0390 B720                STA  CARACTE1      ;registros correspondientes

```

0392 B721	STA	CARACTE2	
0394 3F22	CLR	CARACTE3	
0396 B629	LDA	CODICAR4	
0398 AB08	ADD	#006	; incluye el punto sumando el código del punto
039A B723	STA	CARACTE4	
039C B62A	LDA	CODICAR5	
039E B724	STA	CARACTE5	
03A0 B62B	LDA	CODICAR6	
03A2 B725	STA	CARACTE6	
03A4 CD0543	JSR	DESPL1	; llama a la subrutina de despliegue
03A7 81	RTE		
03AB B635	DETEMPRO	LDA	TEMPPRO ; lee la condición de temperatura de proc. especificada
03AA B719	STA	DATO	; y la almacena en el registro "DATC"
03AC CD05EB	JSR	HEXDEC	; solicita su conversión a decimal
03AF CD0444	JSR	CODIFICA	; solicita su codificación para "display"
03B2 A633	LDA	#633	; carga los códigos de despliegue en los
03B4 B720	STA	CARACTE1	; registros correspondientes
03B6 A6D1	LDA	#6D1	
03B8 B721	STA	CARACTE2	
03BA A673	LDA	#673	
03BC B722	STA	CARACTE3	
03BE B629	LDA	CODICAR4	
03C0 B723	STA	CARACTE4	
03C2 B62A	LDA	CODICAR5	
03C4 B724	STA	CARACTE5	

03C6 B628		LDA	CODICAR6	
03C8 B725		STA	CARACTE6	
03CA C00543		JSR	DESPLI	;llama a la subrutina de despliegue
03CD B1		RTS		
	;			
03CE B636	DETIECAR	LDA	TIEALIM	;lee el tiempo especificado para carga de material
03D0 B719		STA	DATO	;y lo almacena en el registro "DATO"
03D2 C005E8		JSR	HEIDEC	;solicita su conversión a decimal
03D5 C00444		JSR	CODIFICA	;solicita su codificación para "display"
03D8 A612		LDA	#612	;carga los códigos de despliegue en los
03DA B720		STA	CARACTE1	;registros correspondientes
03DC A677		LDA	#677	
03DE B721		STA	CARACTE2	
03E0 3F22		CLR	CARACTE3	
03E2 B629		LDA	CODICAR4	
03E4 B723		STA	CARACTE4	
03E6 B62A		LDA	CODICAR5	
03E8 B724		STA	CARACTE5	
03EA B62B		LDA	CODICAR6	
03EC B725		STA	CARACTE6	
03EE C00543		JSR	DESPLI	;llama a la subrutina de despliegue
03F1 B1		RTS		
	;			
03F2 B638	DETIESAL	LDA	TIESAL	;lee el tiempo especificado para salida de material
03F4 B719		STA	DATO	;y lo almacena en el registro "DATO"
03F6 C005E8		JSR	HEIDEC	;solicita su conversión a decimal

03F9 C0444	JSR	CODIFICA	;solicita su codificacion para "display"
03FC A612	LDA	#12	;carga los codigos de despliegue en los
03FE B720	STA	CARACTE1	registros correspondientes
0400 A6B5	LDA	#B5	
0402 B721	STA	CARACTE2	
0404 3F22	CLP	CARACTE3	
0405 B629	LDA	CODICAR4	
0408 B723	STA	CARACTE4	
040A B62A	LDA	CODICAR5	
040C B724	STA	CARACTE5	
040E B62B	LDA	CODICAR6	
0410 B725	STA	CARACTE6	
0412 C0543	JSR	DESPL1	;llama a la subrutina de despliegue
041E 01	RTE		
0415 B637	DETIEVEN	LDA	TIEVEN
041B B719	STA	DATO	;lee el tiempo especificado para venteo
041A C005E9	JSR	HEXDEC	;y lo almacena en el registro "DATO"
041D C06444	JSR	CODIFICA	;solicita su conversion a decimal
0420 A612	LDA	#12	;solicita su codificacion para "display"
0422 B720	STA	CARACTE1	;carga los codigos de despliegue en los
0424 A6B6	LDA	#B6	registros correspondientes
0426 B721	STA	CARACTE2	
0428 3F22	CLR	CARACTE3	
042A B629	LDA	CODICAR4	
042C B723	STA	CARACTE4	



0444	AE09	CODIFICA	LDI	#909	¡carga el maximo valor para centenas
0446	B21A	COMPACEN	CPI	CENTENAS	¡lo compara con el valor de "CENTENAS"
0448	2706		BER	CODICEN	¡si lo encuentra, se va a buscar el codigo
044A	5A		DECI		¡correspondiente si no, intenta con un
044B	24F9		BHS	COMPACEN	¡valor menor. Si no lo encuentra es que
044D	C0062B		JSR	ERROR	¡hubo algun error.
0450	E690	CODICEN	LDA	CODIGO,1	¡toma el codigo correspondiente al valor de
0452	B728		STA	CODICAR1	¡las centenas y lo almacena en el registro de
					¡codigo para centenas.
0454	AE09		LDI	#909	¡carga el maximo valor para decenas
0456	B31B	COMPADEC	CPI	DECENAS	¡lo compara con el valor de "DECENAS" y si lo
045B	2726		BER	CODIDEC	¡encuentra, se va a buscar el codigo correspondiente
045A	5A		DECI		¡si no, lo intenta con un valor menor y si no lo
045B	24F9		BHS	COMPADEC	¡encuentra, es que hubo algun error.
045D	C0062B		JSR	ERROR	
0460	E690	CODIDEC	LDA	CODIGO,1	¡toma el codigo correspondiente al valor de las
0462	B727		STA	CODICAR2	¡decenas y lo almacena en el registro de codigo
					¡para decenas.
0464	AE09		LDI	#109	¡carga el maximo valor para unidades
0466	B31C	COMPAUNI	CPI	UNIDADES	¡lo compara con el valor de "UNIDADES"
046B	2706		BER	CODIUNI	¡si lo encuentra, se va a buscar el codigo
046A	5A		DECI		¡correspondiente si no, lo intenta con un valor
046B	24F9		BHS	COMPAUNI	¡menor. y si no lo encuentra es que hubo
046D	C0062B		JSR	ERROR	¡algun error.
0470	E690	CODIUNI	LDA	CODIGO,1	¡toma el codigo correspondiente al valor de las
0472	B726		STA	CODICAR1	¡unidades y lo almacena en el registro de codigo





-----  
;\*\*\* Rutina para monitorear presion y temperatura \*\*\*  
-----

```
;
04B2 A600 LEE LDA #0000 ;selecciona monitor de temperatura
04B4 B7CE STA CTRLD
04B6 0F0EFD CICLO1 BRCLR FINDCON,CTRLD,CICLO1 ;espera la conversion
04B9 B60F LDA PUERTODA ;toma la lectura de temperatura y
04BB B711 STA PEGISTEM ;la coloca en el registro de temperatura
;
;
04ED A603 LDA #3 ;selecciona monitor de presion
04BF B70E STA CTRLD
04C1 0F0EFD CICLO2 BRCLR FINDCON,CTRLD,CICLO2 ;espera la conversion
04C4 B60F LDA PUERTODA ;toma la lectura de presion y
04C6 B710 STA REGISPRES ;la coloca en el registro de presion
;
;
04C8 B130 CMP PRESMAI ;investiga si no hay sobrepresion
04CA 2419 BHS SOBREPRES
```

04CC 3E11		LDI	REGISTER	;investiga si no hay exceso de
04CE 8333		CPI	TEMPHAX	;temperatura
04D0 2417		BHS	SOBRETEM	
04E2 8134		CMP	PRESPRD	;investiga si ya se alcanzo la
04D4 2504		BLO	PRUEBATE	;presion de proceso
04D6 1012		BSET	0,BANDERA1	
04D8 2006		BRA	FINDEMON	
04DA 8335	PRUEBATE	CPI	TEMPPRD	;investiga si ya se alcanzo la
04DC 2504		BLO	LEE	;temperatura de proceso
04DE 1212		BSET	1,BANDERA1	
04E0 AD08	FINDEMON	BSR	CORTE	;se va a investigar el nivel
04E2 CC04AD		JMP	PROCESO	;regresa para otro ciclo
04E5 1002	SOBREPTE	BSET	SOBP,PUERTO0	;senaliza sobrepresion
04E7 20F7		BRA	FINDEMON	
04E9 1202	SOBRETEM	BSET	SOBT,PUERTO0	;senaliza sobretemperatura
04EB 20F3		BRA	FINDEMON	

-----  
;\*\*\* Rutina de corte y venteo \*\*\*  
-----

;

04ED A603	CORTE	LDA	03	;selecciona el puerto analogico
04EF B7CE		STA	CTRLD	;que monitoree la presion
04F1 1B02		BCLR	INYECA,PUERTO0	;cierra valvula de vapor
;				
04F3 1B02	VENTEO	BSET	VENTEA,PUERTO0	;abre valvula de venteo
04F5 AD30		BSR	PAUSAVEN	
04F7 1902		BCLR	VENTEA,PUERTO0	;cierra la valvula de venteo
04F9 C0EFD	CICLO0	BRCLR	FINDCOM,CTRLD,CICLO0	;espera lectura de presion
04FC B60F		LDA	PUERTODA	;lee presion
04FE 9131		CMP	PRESMIN	;analiza si alcanzo el limite inferior
0500 22F1		BHI	VENTEO	;si no, vuelve a abrir la valvula de venteo
;				
0502 0F0301		BRCLR	NIVEL,PUERTOD0,FINPRO	;revisa el nivel del material
0505 01		RFS		;si no se alcanzo, regresa para otro ciclo

-----  
;\*\*\* Rutina de desalojo de material \*\*\*  
-----

;

0506 1EC1	FINPRO	BSET	FINE1,PUERTOB	;senaliza fin de expansion
0508 1B02		BSET	VENTEA,PUERTO0	;abre la valvula de venteo
050A C0EFD	CICLO4	BRCLR	FINDCOM,CTRLD,CICLO4	;espera hasta que la presion





0540 81		RTS	
	:		
	:		
054E BF19	ENVIA	STX	ALMACENX
0550 1101		BCLR	DISPLAY,PUERTOB
0552 AE08		LDI	08 ;contador de bits
0554 48	OTROBIT	LSLA	
0555 2402		BCC	CERO
0557 1001		BSET	DISPLAY,PUERTOB
0559 1201	CERO	BSET	RELOJ,PUERTOB
055B 1301		BCLR	RELOJ,PUERTOB
055D 1101		BCLR	DISPLAY,PUERTOB
055F 5A		DECI	
0560 26F2		BNE	OTROBIT
0562 BE18		LDI	ALMACENX
0564 B1		RTS	

```

;
;*****
;#
;# Rutinas de operacion manual *****
;#
;# Con estas rutinas se operan en forma manual las valvulas de
;# inyeccion de vapor, venteo y salida de material.
;# Las ordenes son dadas directamente desde el teclado, mientras
;# la tecla de la funcion se encuentra oprimida.
;#*****
;

```

```

;-----

```

```

;### Rutina de venteo manual ###

```

```

;-----

```

```

;

```

0565 CD0305	VENTEMAN	JSR	DEPREACT	;muestra la presion actual
0568 1802		BSET	VENTEA,PUERTO	;abre valvula de venteo
056A 2EF9		BIL	VENTEMAN	;continua hasta que se libere la tecla
056C 1902		BCLR	VENTEA,PUERTO	;cierra la valvula de venteo
056E CD0305		JSR	DEPREACT	;despliega la presion final
0571 01		RTS		

```

;

```

```

;-----

```

```

;### Rutina de inyeccion manual ###

```

```

;-----

```

```

;

```

0572 CD0305	INYECHAN	JSR	DEPREACT	;muestra la presion actual
0575 B130		CMP	PRESMAI	;la compara con el valor maximo
0577 240A		BHS	YAMO	;verificando si no hay sobrepresion
0579 1A02		BSET	INYECA,PUERTO	;si no hay, abre valvula de vapor
057B 2EF5		BIL	INYECHAN	;y la mantiene hasta la liberacion de





05C0 C00543		JSR	DESPLI	;llama a la subrutina de despliegue
05C3 B1		RTS		
	;			
05C4 AE06 MENSAJE3		LDI	8806	;carga codigo para mensaje de
05C6 E6AC M3		LDA	MFIM,X	;fin de proceso (Fin)
05C8 E720		STA	CARACTER,X	
05CA 5A		DECI		
05CB 2AF9		BPL	M3	
05CD C00543		JSR	DESPLI	;llama a la subrutina de despliegue
05D0 B1		RTS		
	;			
05D1 AE06 MENSAJE4		LDI	8806	;carga codigo para mensaje de
05D3 E6B2 M4		LDA	MINT,X	;proceso interrumpido (SUSP)
05D5 E720		STA	CARACTER,X	
05D7 5A		DECI		
05D8 2AF9		BPL	M4	
05DA C00543		JSR	DESPLI	;llama a la subrutina de despliegue
05DM B1		RTS		
	;			
05DE AE06 MENSAJE5		LDI	8806	;carga codigo para mensaje de
05E0 E6B8 M5		LDA	MABO,X	;proceso abortado
05E2 E720		STA	CARACTER,X	
05E4 5A		DECI		
05E5 2AF9		BPL	M5	
05E7 C00543		JSR	DESPLI	;llama a la subrutina de despliegue
05EA B1		RTS		





062B 25F9                    BLD    CONVICEN                    ;las centenas

062A C1                      RTS

062E C00100    ERRORA            JMP    RESET

```
;!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
;#
;### Vectores de interrupcion ###
;#
;!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
;
```

07FB                        DMS    %FFB

0FFB 0100                  DW    RESET

0FFA 0100                  DW    RESET

0FFC 015B                  DW    DECDDI

0FFE 0540                  DW    TITER

TEC 6805 Cross Assembler Version 1.0

---Symbol Table---  
AROR    0237

ABORTA	058A
ABORTO	0004
AJUSTA	047B
AJUSTE	0475
AJUSTER	0483
ALIMENTA	0007
ALMACENA	0017
ALMACENA1	001B
BANDERA1	0012
BUSCA	0137
CAPTURA	0142
CARACT	0545
CARACTE1	0020
CARACTE2	0021
CARACTE3	0022
CARACTE4	0023
CARACTE5	0024
CARACTE6	0025
CARACTER	0020
CENTEN	05F1
CENTENAS	001A
CERO	0559
CICLO1	0486
CICLO2	04C1
CICLO3	04F9
CICLO4	050A
CICLO5	059A
CICLO6	0509
CICLO7	0337
CODICAR1	0026
CODICAR2	0027
CODICAR3	0028
CODICAR4	0029
CODICAR5	002A
CODICAR6	002B
CODICEN	0450
CODIDEC	0440
CODIFICA	0444
COD160	0090
COD1600	0090
COD1601	0091
COD1602	0092
COD1603	0093
COD1604	0094
COD1605	0095
COD1606	0096
COD1607	0097
COD1608	0098
COD1609	0099
COD160A	009A
COD160B	009B

CODIGOC	009C
CODIGOD	009D
CODIGOE	009E
CODIGOF	009F
COGIUMI	0470
COMPACEN	0446
COMPADEC	0456
COMPALUMI	0466
CONDI	0106
CONDICOR	0015
CONINI	0080
CONTADO1	001D
CONTADO2	001E
CONTADOS	001F
CONVICEN	0623
CONVIDEC	0615
CORTE	04ED
CPM	01D0
CPP	01D9
CTC	01E7
CTP	01E2
CTRLA	0004
CTRLB	0005
CTRLC	0006
CTRLD	000E
CTRLTIM	0009
CTS	01EC
CTV	01BD
DATO	0019
DATOSTIM	0008
DECEN	05FB
DECENAS	001B
DECHEX	0609
DECODI	0158
DECDINT	01F1
DECONTEC	0154
DECOFRO	0259
DECOVAR	0298
DEIN	01AA
DEPR	01AE
DEPREACT	0305
DEPREMIN	035E
DEPREPRO	0384
DESALMAN	0592
DESALOJA	0006
DESPLI	0543
DETEMACT	0333
DETEMPRO	03AB
DETEECAR	030E
DETEESAL	03F2
DETEEVEN	0416

DEVA	01B2
DISPLAY	0000
DM	01C6
DPA	01D5
DPA2	02Y0
DPM	0241
DPP	0245
DTA	01DE
DTA2	028C
DTC	024D
DTP	0249
DTS	0251
DTV	0255
ENVIA	054E
ERROR	062B
ESPERA	0133
ESPERINT	0537
ETAPA	0013
FALLA	0495
FINDCAM	02FC
FINDCOM	0067
FINDEMON	04E0
FINEI	0007
FIMPRO	0506
FIMSAL	0006
GUARCON	028Y
GUARDA	0286
GUARDEC	028E
GUARUMI	02C3
GUPMII	02E9
GUPPRO	02E5
GUTENT	02E8
GUTPRO	02E1
GUTSAL	02F5
GUTVEN	02F1
HEIDEC	05E8
IN	0189
INICAR	0127
INICIO	0119
INICOM2	0533
INIPAU	052D
INIPRO	0498
INTE	0294
INTER	0003
INTERRIIP	043A
INYECHAN	0572
INYECTA	0005
IPR	01B6
LEE	0482
LIBERA	0148
NI	054C

N2	05B9
N3	05C6
N4	05D3
N5	05E0
NABO	00B8
MensAJE1	05AA
MensAJE2	05B7
MensAJE3	05C4
MensAJE4	05D1
MensAJE5	050E
NFIN	00AC
NINI	00A0
NINT	00B2
MODIFICA	0914
NPRO	00A6
MULTI	04B9
NIVEL	0007
OTRACOM	029A
OTROBIT	0554
PAUSALIM	0523
PAUSASAL	052B
PAUSATEC	0152
PAUSAVEN	0527
PCE	00B3
PCR	000B
PMA	00B0
PMI	00B2
PHIN	0002
PPR	00B1
PPRO	0001
PRESERO	0032
PRESION	0016
PRESMAI	0030
PRESMIN	0031
PRESPRO	0034
PROC	023D
PROCESO	04AD
PROCETER	0005
PRUEBATE	04DA
PUERTO A	0000
PUERTO B	0001
PUERTO C	0002
PUERTO D	000F
PUERTODD	0003
REGCOM	0030
REGISPRE	0010
REGISTER	0011
REGRESOT	0141
RELDJ	0001
REPITE	013B
RESET	0100

SINUS02	0007
SINUS03	000A
SINUS04	000C
SINUS05	000D
S0BP	0000
S0BPEPRE	04E5
S0BPETEM	04E7
S0BT	0001
TABLACAR	0060
TECLA	0131
TEMPMAX	0033
TEMPPRO	0035
TEMP	0003
TIA	0086
TIEALIM	0036
TIEMPO	0039
TIESAL	0038
TIEVEN	0037
TIMER	0E40
TIS	008B
TIV	0087
TGA	0084
TPR	008E
TPRO	0000
TSAL	0005
TVEN	0004
UNIDAD	0605
UNIDADES	001C
VENTEA	0004
VENTEMAN	0565
VENTEO	04F3
VM	01C2
YAWO	05B3

## PROGRAMA DE CONTROL

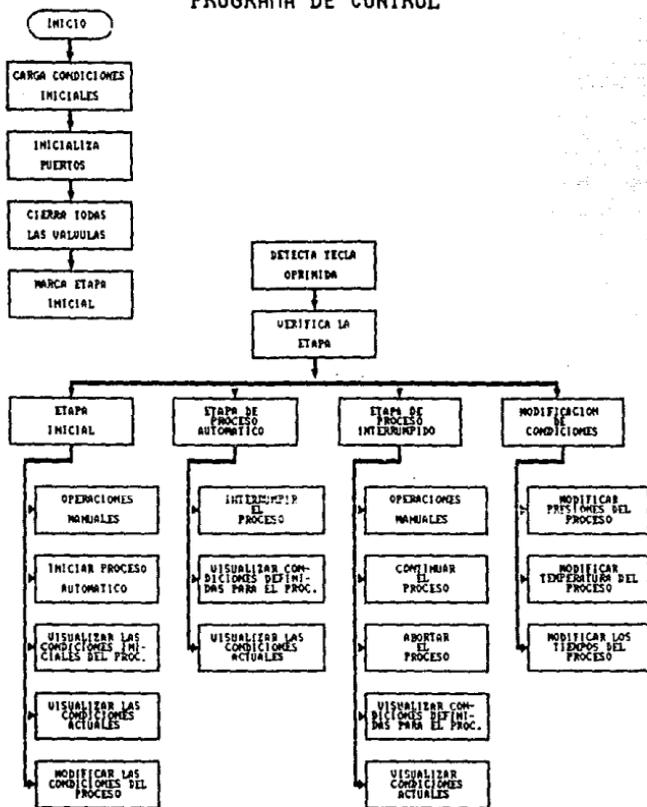


Fig III.d.3

## **CONCLUSION**

---

## CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este sistema se cuidó de seleccionar las opciones que, a nuestro juicio y soportadas por un marco teórico, fueron las más acordes con el objetivo establecido, comprobándose que la automatización de este proceso, proporciona una gran precisión y eficiencia en el control del mismo, obteniéndose con ello:

- a) Productos terminados de mejor calidad, ya que independientemente de las variaciones inherentes a la materia prima, se logran productos más homogéneos, con densidades estandarizadas y sin estratificación.
- b) Precisión en el proceso, puesto que cada una de las variables involucradas, es supervisada y controlada en forma continua a través de un microcomputador el cual además, disminuye en su totalidad los errores de apreciación cometidos por el elemento humano.
- c) Economía en la producción, pues aun cuando la implementación del sistema resulta costosa, un estudio financiero podrá demostrar que la relación costo-beneficio es favorable, ya que la inversión se recupera en un plazo muy corto.

Por lo que respecta al aspecto personal, este trabajo permitió integrar las experiencias profesionales, en diferentes disciplinas, de cada uno de los participantes, cumpliéndose así otro de los objetivos de nuestra formación como profesionistas.

En resumen, la solución propuesta alcanzó los objetivos planteados, lo cual es un punto a favor para que la industria nacional tenga confianza en sus recursos humanos, demostrando que México tiene la capacidad para reducir la actual dependencia tecnológica.

## **BIBLIOGRAFIA**

---

## BIBLIOGRAFIA

1. BELL, David A.. **Electronic Devices and Circuits.**--  
Virginia: Reston Publishing Co.
2. EDMINISTER, Joseph A.. **Electromagnetismo.**-- México:  
McGraw-Hill.
3. FAIRES, Moring Virgil. **Termodinámica.**-- México: Ed. Uthea.
4. GRAY, Paul R. and Robert G. Meyer. **Analysis and Design of  
Analog Integrated Circuits.**-- New York: John Wiley & Sons.
5. HOLLMAN. **Métodos Experimentales para Ingenieros.**-- México:  
McGraw-Hill.
6. JIMENEZ DE CISNEROS, Luis M.. **Manual de Neumática.**--  
México: Ed. Blume.
7. KLINGELNBERG. **Libro Auxiliar del Técnico Macánico.**--  
Madrid: Ed. Labor.
8. MORRISON, Ralph. **Grounding and Shielding Techniques in  
Instrumentation.**-- New York: John Wiley & Sons.

9. OTTO, Henry W.. **Noise Reduction Techniques in Electronic Systems.**-- Ney York: John Wiley & Sons.
10. REYNOLDS, William C.. **Termodinámica.**-- México: McGraw-Hill.
11. SERIE: MUNDO ELECTRONICO. **Interconexión de Periféricos a Microprocesadores.**-- México: Publicaciones Marcombo.
12. SERIE: MUNDO ELECTRONICO. **Transductores y Medidores Electrónicos.**-- México: Publicaciones Marcombo.
13. SEVERNS, W. H., et. al.. **Energía Mediante Vapor, Aire o Gas.**-- México: Ed. Reverte, S.A.

## **APENDICES**

---

**Información técnica**

**Índice**

<p><b>Registro:</b> Capítulo 1 = Informaciones sobre el producto</p> <p>Capítulo 2 = Elaboración</p> <p>Capítulo 3 = Máquinas de elaboración</p> <p>Capítulo 4 = Propiedades de los cuerpos expandidos</p> <p>Capítulo 5 = Métodos de medida y ensayo (para el material expandido)</p> <p>Capítulo 6 = Aplicación</p> <p><b>Número</b> Capítulo 1 Informaciones sobre el producto</p> <p>TI-024/8 <u>Marcas del estudio</u></p> <p>TI-067/1 <u>Ensayos para la materia prima Styropor.</u></p> <p>Capítulo 2 Elaboración</p> <p>TI-020/1 <u>Pérdidas de peso en la elaboración del Styropor para obtener planchas de cuerpos expandidos.</u></p> <p>TI-021/1 <u>Flocado electrolítico de los cuerpos expandidos de Styropor.</u></p> <p>TI-028/5 <u>Coloración de las marcas de Styropor P...</u></p> <p>TI-030/2 <u>Carga electrolítica y producción de chapas en la elaboración de Styropor</u></p> <p>TI-032/2 <u>Control de calidad de los cuerpos expandidos de Styropor.</u></p> <p>TI-036 <u>Instalaciones para purificar los desagües en las fábricas elaboradoras de Styropor</u></p> <p>TI-036/1 <u>Reposo intermedio del Styropor</u></p> <p>TI-043 <u>Contenido en agua y secado de los cuerpos preexpandidos de Styropor</u></p> <p>TI-054/2 <u>Preexpansión de Styropor.</u></p>	<p>TI-055 ✓ <u>Corte con hilo incandescente de bloques de material expandido de Styropor</u></p> <p>TI-057/1 <u>Indicaciones para la obtención de cuerpos expandidos a base de las marcas de Styropor F.</u></p> <p>TI-066 ✓ <u>Control de entrada y fabricación en las fábricas elaboradoras de Styropor</u></p> <p>TI-068/4 <u>Preexpansión de Styropor P 501.</u></p> <p>TI-070 <u>Obtención de planchas expandidas clasificadas a base de Styropor para el amortiguamiento de pasos</u></p> <p>TI-078/1 ✓ <u>Metalizado de materiales expandidos de Styropor</u></p> <p>TI-079/1 <u>Reducción del tiempo de enfriamiento por tratamiento superficial del Styropor</u></p> <p>Capítulo 3 Máquinas de elaboración</p> <p>TI-026/1 ✓ <u>Molinos para la obtención de bloques de cuerpos expandidos de Styropor</u></p> <p>TI-027/2 ✓ <u>Máquinas automáticas para la obtención de piezas moldeadas.</u></p> <p>TI-034/1 ✓ <u>Limpieza de los molinos para la elaboración de Styropor</u></p> <p>TI-035/1 ✓ <u>Instalaciones de preexpansión para la elaboración de Styropor.</u></p> <p>TI-048/2 ✓ <u>Algunas casas suministradoras de instalaciones para la elaboración de Styropor.</u></p> <p>TI-050 ✓ <u>Transporte neumático de Styropor</u></p> <p>TI-061 <u>Ejemplo de una instalación de transporte neumático para Styropor preexpandido</u></p> <p>TI-063/1 <u>Problemas del agua de refrigeración en las fábricas elaboradoras de Styropor</u></p> <p>TI-065 ✓ <u>Ensayo del aire ambiente en cuanto a su contenido en agente de expansión</u></p>
--	---

- TI-067 Fusión de expansión - Dispositivo de medición para la determinación del punto de desmoldo de bloques expandidos
- TI-069 ✓ Criba del Styropor preexpandido
- TI-073 ✓ Vapor de agua como fuente energética para la elaboración de Styropor en cuerpos expandidos
- TI-083 ✓ Sacado del Styropor preexpandido con el lecho fluidizado

#### Capítulo 4 Propiedades de los cuerpos expandidos

- TI-018/2 ✓ Resistencia de los cuerpos expandidos de Styropor a los agentes químicos
- TI-042/1 ✓ Envejecimiento de los cuerpos expandidos de Styropor
- TI-056/2 ✓ Contracción posterior de los bloques y planchas expandidos de Styropor
- TI-060 ✓ Contracción y contracción posterior de las piezas de material expandido de Styropor obtenidas en máquinas automáticas
- TI-062 ✓ Resistencia a la presión de los cuerpos expandidos de Styropor
- TI-072 ✓ Estabilidad de los cuerpos expandidos de Styropor frente a los parásitos animales o vegetales
- TI-075/1 ✓ Las propiedades físicas de los cuerpos expandidos de Styropor en función de la rotura
- TI-088/1 ✓ La conductividad térmica de los materiales expandidos de Styropor

#### Capítulo 5 Métodos de medida y ensayo (para los cuerpos expandidos)

- TI-025 ✓ Medición de la conductividad calorífica en los cuerpos expandidos de Styropor
- TI-075 ✓ Control del contenido en humedad de embalajes a base de cuerpos expandidos de Styropor
- TI-085 ✓ Determinación de la permeabilidad al aire de las planchas de Styropor expandido

#### Capítulo 6 Aplicación

- TI-054 ✓ Medidas de seguridad recomendadas para la manipulación de partículas de Styropor preexpandidas
- TI-074/4 ✓ Películas sobre los cuerpos expandidos de Styropor
- TI-082 ✓ Styromull para el drenaje y el mejoramiento de suelos
- TI-085 ✓ Empleo de la espuma dura de Styropor en el tejado invertido

"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - MATERIALES  
TERMOAISLANTES - FIBRAS MINERALES - ESPE- NOM-C-230-1985.  
CIFICACIONES".

"BUILDING INDUSTRY - THERMAL INSULATION MA-  
TERIALS - MINERAL FIBERS - SPECIFICATIONS".

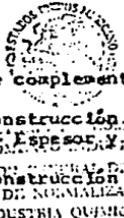
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones mínimas de calidad de fibras minerales obtenidas a partir de roca, escoria ó vidrio, en forma de bloque, placa, colchoneta y rollo, rígidas, semirígidas y flexibles, para usarse como termoaislantes sobre superficies a temperaturas desde 189 K (-84°C) hasta 1023 K (750°C). Para aplicaciones específicas el límite de temperatura debe ser de común acuerdo entre vendedor y comprador.

Nota 1: Para funcionamiento satisfactorio, en aplicaciones en las cuales se alcanzan temperaturas inferiores al punto de rocío del ambiente, se deben usar barreras protectoras de vapor correctamente instaladas para prevenir migración de humedad a través o alrededor del aislante hacia la superficie fría.

2. REFERENCIAS

Esta Norma Oficial Mexicana se complementa con las siguientes en vigor:

- 
- NOM-C-125 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes de Fibras Minerales - Espesor y Densidad - Determinación.
- NOM-C-127 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Muestreo.
- NOM-C-181 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Transmisión Térmica en Estado Estacionario (Medidor del Flujo de Calor) - Método de Prueba.
- NOM-C-189 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Transmisión Térmica (Aparato de Placa Caliente Aislada) - Método de Prueba.
- NOM-C-214 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Características de autoextinguibilidad (Extinción Horizontal) - Método de Prueba.
- NOM-C-226 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Medición de Propiedades de Compresión - Método de Prueba.
- NOM-C-227 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Contracción Lineal por Calor Prolongado - Método de Prueba.
- NOM-C-228 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Adsorción de Humedad - Método de Prueba.
- NOM-C-229 Industria de la Construcción - Materiales Termoaislantes - Curvamiento de la Superficie en Contacto con la Cara Caliente a Alta Temperatura - Método de Prueba.

**NOM-C-238** Industria de la Construcción - Materiales Termoisolantes - Terminología.

**3. DEFINICIONES**

Para los efectos de esta norma se deben considerar las definiciones establecidas en la NOM-C-238 (véase 2 Referencias).

**4. CLASIFICACION**

Los productos objeto de esta norma se clasifican como sigue:

**4.1** Por su temperatura máxima de operación.

Clase I Para usarse hasta 505 K (232°C).

Clase II Para usarse hasta 727 K (454°C).

Clase III Para usarse hasta 811 K (538°C).

Clase IV Para usarse hasta 1023 K (750°C).

**4.2** Por su composición.

Tipo A Fibra de vidrio con aglutinante de resina orgánica.

Tipo B Fibra de vidrio con aglutinante de aceite soluble en agua.

Tipo C Lana mineral de roca o escoria con aglutinada.

Tipo D Lana mineral de roca o escoria con aglutinante de resina orgánica.

Tipo E Lana mineral de roca o escoria con aglutinante de aceite soluble en agua.

**Nota 2:** Cuando se requiere, se puede determinar el grado de combustibilidad de cada uno de los tipos arriba mencionados por un método de prueba establecido de común acuerdo entre vendedor y comprador (recomendándose la NOM-C-214, véase 2 Referencias).

**4.3** Por sus características mecánicas.

Pueden ser rígidas, semirígidas y flexibles según lo establecido en 7.1 y 7.2.

**5. ESPECIFICACIONES**

**5.1** Los productos objeto de esta norma deben cumplir con las especificaciones señaladas en las tablas 1, 2, 3 y 4.

**5.2** Composición.

La fibra debe ser de sustancias minerales tales como roca, escoria o vidrio, procedido a partir de un estado de fusión a formación de fibras.

**5.3** Absorción de humedad.

Cuando se prueba de acuerdo a la NOM-C-220 (véase 2 Referencias), los coeficientes para unirse a bajar temperatura no deben aumentar más de lo permitido en las tablas 1 y 2 referenciadas.

**LINEAR  
INTEGRATED  
CIRCUITS**

**TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B,  
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075  
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

BULLETIN NO. DL-8 12640, SEPTEMBER 1976—REVISED OCTOBER 1979

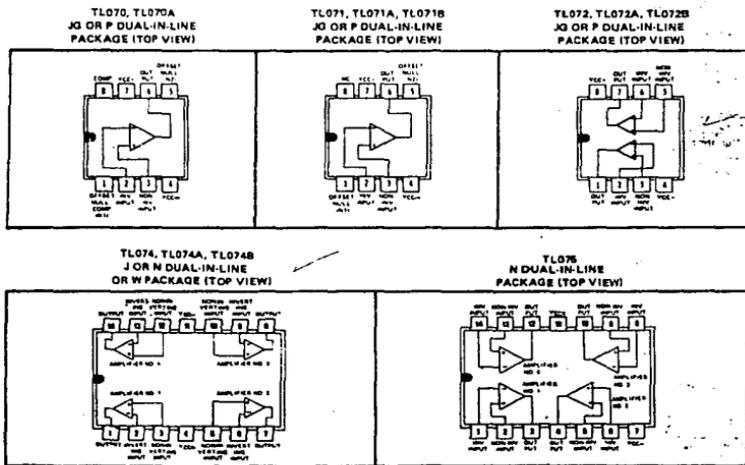
20 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low Noise . . .  $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  Typ
- Low Harmonic Distortion . . . 0.01% Typ
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Low Power Consumption
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . .  $13 \text{ V}/\mu\text{s}$  Typ

**description**

The JFET-input operational amplifiers of the TL071 series are designed as low-noise versions of the TL081 series amplifiers with low input bias and offset currents and fast slew rate. The low harmonic distortion and low noise make the TL071 series ideally suited as amplifiers for high-fidelity and audio preamplifier applications. Each amplifier features JFET-inputs (for high input impedance) coupled with bipolar output stages all integrated on a single monolithic chip.

Device types with an "M" suffix are characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$ , those with an "I" suffix are characterized for operation from  $-25^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ , and those with a "C" suffix are characterized for operation from  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ .



Copyright © 1976 by Texas Instruments Incorporated

**TEXAS INSTRUMENTS  
INCORPORATED**

POST OFFICE BOX 215012 • DALLAS TEXAS 75265

**Signal Conditioned,  
Temperature Compensated,  
0 to 15 PSI Differential  
Pressure Sensor**

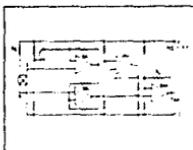
**MPX3100  
(D, DP,  
GP, GVP)**

**X-ducer  
SILICON  
PRESSURE SENSOR**

The Motorola MPX3100 Pressure Sensor is a monolithic element with sensing diaphragm, thin-film resistor network and active linear circuitry on the same chip, providing a completely calibrated, temperature compensated, and signal conditioned high level output. This is accomplished by means of an interactively laser trimmed, four-stage Signal Conditioning System.

The first stage (OA1) compensates the inherent Temperature Coefficient of Offset (TCO) present in a semiconductor pressure sensor, as well as providing a high input impedance to prevent loading of the S-signal output. The second stage (OA2) performs the differential to single-ended conversion necessary to provide a ground referenced output, along with a desirable impedance buffering effect. The third stage (OA3) is a precision voltage reference. Its purpose is to calibrate the zero pressure offset voltage of the entire system, which is comprised of the X-ducer offset and the input offset voltages of OA1, OA2, and OA4. The fourth stage (OA4) accomplishes the full scale span calibration, by means of laser trimming the feedback resistor  $R_f$ . The Temperature Coefficient of Span is compensated through the use of  $R_s$ , the series span resistor, and standard self compensation techniques. (Refer to Motorola Application Note AN840.)

- Temperature Compensated Over 0°C to -85°C
- Unique Silicon Shear Stress Strain Gage
- 0 to 15 PSI (0 to 100 kPa) Differential Pressure Range
- Full Scale Output Calibrated: 0.5 V to 3 V
- Easy to Use Chip Carrier Package
- Basic Element, Single and Dual Ported Devices Available



**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Overpressure	$P_{max}$	200	psi
Supply Voltage	$V_{CC\ max}$	10	Vdc
Storage Temperature	$T_{stg}$	-50 to +150	°C
Operating Temperature	$T_A$	0 to -85	°C

**VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE**

The voltage output of the X-ducer is directly proportional to the differential pressure applied.

The output voltage of the Differential Element, Differential Ported and Gage Ported sensors increases with increasing pressure applied to the pressure side relative to the vacuum side. Similarly, output voltage increases as increasing vac-

uum is applied to the vacuum side relative to the pressure side of these units.

The output voltage of the Gage Vacuum Ported sensor increases with increasing vacuum (decreasing pressure) applied to the vacuum side with the pressure side at ambient.

X-ducer is a trademark of Motorola Inc





PRELIMINARY

## LM35/LM35A, LM35C/LM35CA, LM35D Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ\text{C}$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ\text{C}$  with improved accuracy). The LM35 series is

available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C is also available in the plastic TO-92 transistor package.

### Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$  scale factor
- $0.5^\circ\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^\circ\text{C}$ )
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for  $1\ \text{mA}$  load

### Connection Diagrams

TO-46  
Metal Can Package\*



TL71/5516-1

\*Case is connected to negative pin.

Order Number LM35H, LM35AH,  
LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package H03H

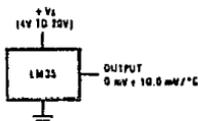
TO-92  
Plastic Package



TL71/5516-2

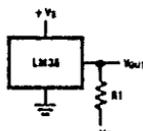
Order Number LM35CZ,  
or LM35DZ  
See NS Package Z03A

### Typical Applications



TL71/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature  
Sensor ( $+2^\circ\text{C}$  to  $+150^\circ\text{C}$ )

Choose  $R_L = -VS/50\ \mu\text{A}$ 

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -350\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

TL71/5516-4

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

## APPLICATIONS OF THE MOC3011 TRIAC DRIVER

Prepared by  
Pat O'Neil

This note describes methods of applying the MOC3011 optically coupled triac driver to provide simple and effective interfaces from logic or microprocessor systems to AC power systems.

### DESCRIPTIONS OF THE MOC3011

#### Construction

The MOC3011 consists of a gallium arsenide infrared LED optically exciting a silicon detector chip, which is especially designed to drive triacs controlling loads on the 115 Vac power line. The detector chip is a complex device which functions in much the same manner as a small triac, generating the signals necessary to drive the gate of a larger triac. The MOC3011 allows a low-power exciting signal to drive a high-power load with a very small number of components, and at the same time provides practically complete isolation of the control circuitry from the power line.

The construction of the MOC3011 allows the same highly successful coupler technology used in Motorola's broad line of plastic couplers (Figure 1). The dual lead

frame with an epoxy undermold provides a stable dielectric capable of sustaining 7.5 kV between the input and output sides of the device. The detector chip is passivated with silicon nitride and uses Motorola's annealing to maintain stable breakdown parameters.

#### Basic Electrical Description

The GaAs LED has nominal 1.5 V forward drop at 10 mA and a reverse biased non-voltage greater than 3 V. The maximum current to be passed through the LED is 50 mA.

The detector has a minimum blocking voltage of 250 Vdc in either direction in the off state. In the on state, the detector will pass 100 mA in either direction with less than 3 V drop across the device. Once triggered into the on (conducting) state, the detector will remain there until the current drops below the hold (latching) current (typically 100  $\mu$ A) at which time the detector reverts to the off (nonconducting) state. The detector may be triggered into the on state by exceeding the forward blocking voltage, by voltage ramps across the detector at rates exceeding the static dv/dt rating, or by photons from the LED. The LED is guaranteed by the specifications to trigger the detector into the on state when 10 mA or more is passed through the LED. A similar device, the MOC3011, has exactly the same characteristics except it requires 15 mA to trigger.

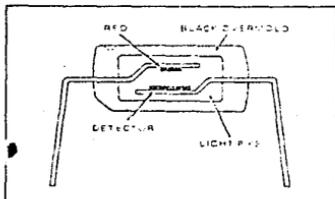


FIGURE 1 - Motorola's Double-Material Coupler Package



# MOTOROLA SEMICONDUCTORS

3501 ED BLUESTEIN BLVD AUSTIN, TEXAS 78721

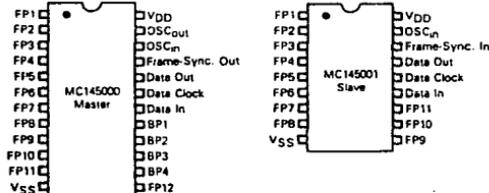
## Advance Information

### MULTIPLEXED LCD DRIVERS MASTER AND SLAVE

The MC145000 (Master) LCD Driver and the MC145001 (Slave) LCD Driver are CMOS devices designed to drive liquid crystal displays in a multiplexed-by-four configuration. The Master unit generates both frontplane and backplane waveforms, and is capable of independent operation. The Slave unit generates only frontplane waveforms, and is synchronized with the backplanes from the Master unit. Several Slave units may be cascaded from the Master unit to increase the number of LCD segments driven in the system. The maximum number of frontplanes is dependent upon the capacitive loading of the backplane drivers and the drive frequency. The devices use data from a microprocessor or other serial data and clock source to drive one LCD segment per bit.

- Microprocessor Compatibility
- Serial Data, Externally Clock
- Multiplexing-By-Four
- Net dc Drive Component Less Than 50 mV
- Master Drives 48 LCD Segments
- Slave Provides Frontplane Drive for 44 LCD Segments
- Drives Segments Up to one Square Centimeter (0.155 Square Inches)
- Display Operating Frequency = 250 Hz Maximum
- Supply Voltage Range = 3 V to 6 V
- Latch Storage of Input Data
- Low Power Dissipation
- Logic Input Voltage Can Exceed V<sub>DD</sub>
- Accommodates External Temperature Compensation
- 24-Pin DIP Configuration — Master
- 18-Pin DIP Configuration — Slave

### PIN ASSIGNMENTS



## MC145000 MC145001

### CMOS LSI

(LOW-POWER COMPLEMENTARY MOS)

### MULTIPLEXED LCD DRIVERS MASTER AND SLAVE



L SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 673



P SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 706



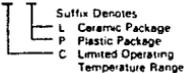
L SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 726



P SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 707

### ORDERING INFORMATION

MC14XXXB



This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields; however, it is advised that normal precautions be taken to avoid application of any voltage higher than maximum rated voltages to the high impedance circuit. For proper operation it is recommended that V<sub>in</sub> and V<sub>out</sub> be constrained to the ranges V<sub>SS</sub> ≤ V<sub>in</sub> ≤ V<sub>DD</sub> and V<sub>SS</sub> ≤ V<sub>out</sub> ≤ 15 V.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level.

**MOTOROLA****SEMICONDUCTORS**

3501 ED. BLUESTEIN BLVD. AUSTIN, TEXAS 78721

**Advance Information****8-BIT EPROM MICROCOMPUTER UNIT WITH A/D**

The MC68705R3 Microcomputer Unit (MCU) is an EPROM member of the M6805 Family of low-cost single-chip microcomputers. The user-programmable EPROM allows program changes and lower volume applications in comparison to the factory mask-programmable versions. The EPROM versions also reduce the development costs and turnaround time for prototype evaluation of the mask ROM versions. This 8-bit microcomputer contains a CPU, on-chip CLOCK, EPROM, bootstrap ROM, RAM, I/O, A/D Converter, and a TIMER.

Because of these features, the MC68705R3 offers the user an economical means of designing an M6805 Family, MCU into his system, either as a prototype evaluation, as a low-volume production run, or a pilot production run.

A comparison table of the key features for several members of the M6805 Family is shown on the last page of this data sheet.

**HARDWARE FEATURES:**

- 8-Bit Architecture
- 12 bytes of RAM
- Memory-Mapped I/O
- 3776 Bytes of User EPROM
- Internal 8-Bit Timer with 7-Bit Prescaler
  - Programmable Prescaler
  - Programmable Timer Input Modes
- 4 Vectored Interrupts — External (I2, Timer (I1), and Software (I0))
- Zero-Cross Detection on INT<sub>1</sub> Input
- 24 TTL-CMOS Compatible Bidirectional I/O Lines (8 Lines are LED Compatible)
- 2-to-8 Digital Input Lines
- A/D Converter
  - 8-Bit Conversion, Monotonic
  - 1-to-4 Multiplexed Analog Inputs
  - $\pm 1/2$  LSB Quantizing Error
  - $\pm 1/4$  LSB All Other Errors
  - $\pm 1$  LSB Total Error (Max)
  - Ratiometric Conversion
- On-Chip Clock Generator
- Master Reset
- Complete Development System Support on EXORCISER<sup>®</sup>
- 5 V Single Supply
- Emulates the MC6805R2
- Bootstrap Program in ROM Simplifies EPROM Programming

**SOFTWARE**

- Similar to M6800 Family
- Byte Efficient Instruction Set
- Easy to Program
- True Bit Manipulation
- Bit Test and Branch Instructions
- Versatile Interrupt Handling
- Versatile Index Registers
- Powerful Indexed Addressing for Tables
- Full Set of Conditional Branches
- Memory Usable as Registers/Flags
- Single Instruction Memory Examine/Change
- 10 Powerful Addressing Modes
- All Addressing Modes Apply to EPROM, RAM, and I/O

• EXORCISER is a registered trademark of Motorola Inc.

This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.

**MC68705R3****HMOS**

(HIGH-DENSITY, N-CHANNEL  
DEPLETION LOAD,  
5 V EPROM PROCESS)

**8-BIT EPROM  
MICROCOMPUTER WITH A/D**

L SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 715

**FIGURE 1 — PIN ASSIGNMENTS**