

3  
28j.



*Universidad Nacional Autónoma  
de México*

---

---

*Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLAN"*

**DISEÑO, FABRICACION Y MANTENIMIENTO  
DE MOLDES PARA POLIESTIRENO  
EXPANDIBLE "EPS".**

**T E S I S**

*Que para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico Electricista*

*p r e s e n t a*

*Luis Alejandro Amato Martinez Garza*

*Director: ING. SAMUEL PEREZ DIAZ*

*Cuautitlán - Izcalli, Estado de México 1987*



## **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.

INDICE:

INTRODUCCION.	5
CAPITULO I CARACTERISTICAS GENERALES DEL MATERIAL.	6
I-1 GENERALIDADES DE LA TRANSFORMACION DEL EPS.	6
I-2 PROPIEDADES DEL EPS.	10
CAPITULO II DISEÑO DE PIEZAS MOLDEADAS EN EPS.	28
II-1 REQUERIMIENTOS.	28
II-2 CALCULOS DE DISEÑO.	36
II-3 LOS REQUERIMIENTOS EN FUNCION DE LOS COSTOS, EL BALANCE OPTIMO Y VARIABLES A CONSIDERAR.	39
CAPITULO III HERRAMIENTALES.	41
III-1 PARTES Y FUNCIONAMIENTOS BASICOS.	41
III-2 DISEÑO DEL MOLDE.	45
III-3 SISTEMAS AUXILIARES.	51
CAPITULO IV FABRICACION DE HERRAMIENTALES.	57
IV-1 MODELOS PARA FUNDICION.	57
IV-2 VACIADO EN METAL.	58
IV-3 MAQUINADOS.	59
IV-4 ENSAMBLE FINAL Y ACABADOS.	62
CAPITULO V. MANTENIMIENTO DE MOLDES.	64
V-1 PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	64
V-2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y SUS CAUSAS.	65
APENDICE I. FOTOGRAFIAS DE TODO EL PROCESO.	67
CONCLUSIONES	69

## INTRODUCCION:

El principal objetivo de este trabajo es dar un panorama amplio de lo que es el poliestireno expandido "EPS", sus principales usos, su forma de fabricación y los alcances que puede tener en todas las ramas de la industria.

Se pretende además hacer un documento donde todas las personas que deseen conocer acerca de este material, puedan tener acceso a la información de una manera técnica, pero a la vez de fácil comprensión y lo más completa posible, haciendo alusión principalmente a los moldes, que por ser la inversión más fuerte a la que se enfrenta toda aquella persona ó empresa que requiera usar el EPS representa el principal motivo de abstención a su uso.

Para la realización de este trabajo se usará como ejemplo para lograr un mayor entendimiento, el diseño y fabricación de una caja individual de EPS para videocassettes, con objeto de contar con muestras físicas representativas de todos y cada uno de los pasos seguidos para lograr el proceso. Lo que se llevará al cabo, será en realidad la fabricación de una cavidad piloto, la que es una práctica muy usual en la industria de los plásticos ya que se puede contar anticipadamente a la fabricación de un molde de alta producción, con piezas de muestra y dado el caso se pueden hacer los cambios pertinentes, sin tener que trabajar en múltiples cavidades.

## CAPITULO I CARACTERISTICAS GENERALES DEL MATERIAL

El poliestireno expansible es la materia prima para elaborar la espuma de poliestireno (EPS).

El poliestireno expansible consiste en partículas esféricas de poliestireno que contienen dentro de su estructura un hidrocarburo volátil, mismo que sirve como agente expansor y al aplicarse calor provoca que dichas partículas se reblandezcan y que aumenten su tamaño.

### 1) Forma de suministro

El poliestireno expansible se encuentra disponible en forma de perlas sueltas con un diámetro que va desde 0.4 a 2.0 mm. y de acuerdo con sus aplicaciones específicas, se producen dos tipos:

**Poliestireno expansible normal.** - Utilizado para la fabricación de cuerpos moldeados.

**Poliestireno expansible retardante a la flama (RAF).** - Empleado para la obtención de casetones y placas con la característica de autoextinguibilidad.

### 2) Almacenamiento

El poliestireno expansible debe guardarse en lugares frescos (20° C) y ventilados en su envase original cerrado, en estas condiciones tiene una estabilidad de 3 meses aproximadamente, debiéndose procesar el contenido de los recipientes en poco tiempo, una vez abiertos.

### 3) Transformación

La espuma de poliestireno (EPS) es un plástico de estructura rígida celular

# POLIESTIRENO EXPANSIBLE

TIPO	GRADO	TAMAÑO DE PARTICULA MALLA U.S. STD	MINIMO RETENIDO EN MALLA U.S. STD (m.m.)	DENSIDAD DEL PRODUCTO EXPANDIDO (g/lt)	APLICACIONES
N-40					
		6 8 10 12 16 20 25 30 40 45 50			
AA	N RAF		93% Entre 8 y 16 (2.39 - 1.19)	10 - 20	Block aligerante, bovedilla, flotadores
A	N RAF		97% Entre 10 y 20 (2.01 - 0.84)	10 - 35	Block aligerante, bovedilla, paneles, placa térmica, piston
B	N RAF		97% Entre 16 y 30 (1.19 - 0.58)	15 - 40	Pánies, ductos, muros, picos térmicas, cuerpos moldeados.
C	N RAF		96% Entre 25 y 40 (0.71 - 0.43)	20 - 60	Cuerpos moldeados, envases térmicos, artículos decorativos.
T	N		86% Entre 40 y 45 (0.40 - 0.35)	30 - 70	Envases térmicos, artículos decorativos.
		(m.m.) 3.3 2.4 2.01 1.7 1.2 0.8 0.7 0.6 0.4 0.35 0.30			

GRADO: N Poliestireno expansible normal.  
RAF Poliestireno expansible retardante a la flama.

**CARACTERISTICAS DEL POLIESTIRENO EXPANSIBLE:**  
Apariencia: perlas duras blancas o translúcidas.  
Densidad aparente: 550 - 650 g/lt.  
Contenido de humedad: 0.3% máximo.  
Composición poliestireno: 93 - 97%.  
Agente neumático: 3 - 7%.

que contiene hasta un 98 % de aire encapsulado, con propiedades que dependen fundamentalmente de la densidad e influenciadas por la calidad del moldeo (grado de fusión).

La transformación del poliestireno expansible se lleva al cabo en tres etapas:

- a) Preexpansión
- b) Reposo intermedia
- c) Moldeo.
- a) Preexpansión.

Debido a que contiene un agente expansor en su estructura interna y a que es un material termoplástico (se reblandece por la acción del calor) el poliestireno expansible se preexande, es decir, aumenta su volumen preferentemente en presencia de vapor de agua saturado y seco.

El equipo en donde se lleva a cabo esta operación se conoce como preexpansor, el cual permite una expansión libre a una temperatura que varía entre 90 y 120 (°C) y por agitación evita las aglomeraciones y una mejor distribución del vapor.

Es en la preexpansión en donde se controla la variable que determina prácticamente todas las propiedades de EPS: la densidad, la cual se puede variar de acuerdo a los requerimientos del producto final.

Para la obtención de densidades bajas (10-12 g/lit) generalmente el material es sometido a una doble preexpansión, mismas que se hacen dando un tiempo corto de reposo entre ambas preexpansiones.

#### b) Reposo intermedio

Después de la preexpansión, el material se transporte neumáticamente a silos, en donde se somete a un reposo, en donde el material se seca y el aire penetra en las perlas preexpandidas para lograr una estabilidad térmica y estructural. La duración del reposo depende de la densidad aparente y del tamaño de las perlas preexpandidas pudiendo ser de pocos minutos a varios días.

#### c) Moldeo.

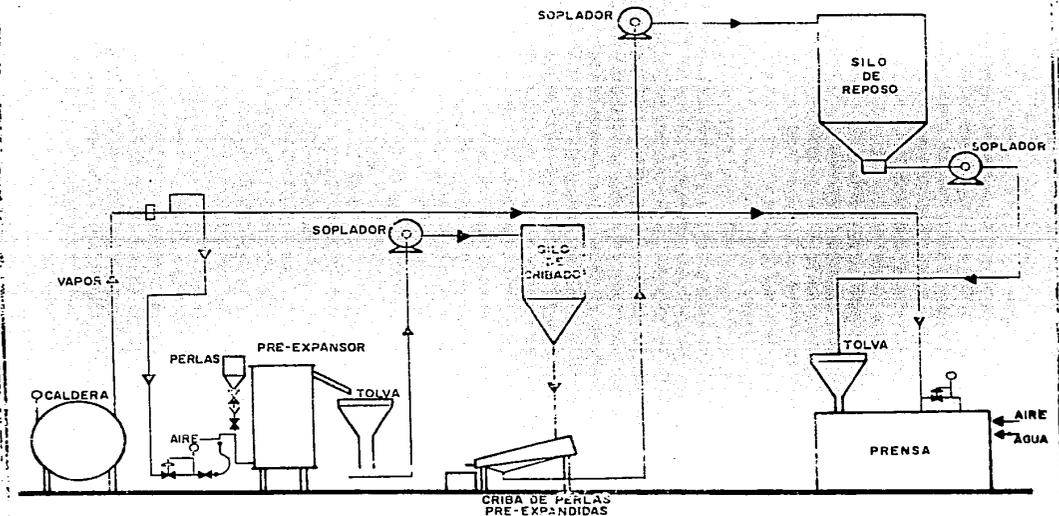
Los moldes se llenan completamente con las perlas preexpandidas y reposadas, las cuales se calientan a una temperatura entre  $100^{\circ}\text{C}$  y  $120^{\circ}\text{C}$ , generalmente con vapor saturado.

En esta operación las perlas preexpandidas se reblandecen y nuevamente se expanden y al encontrarse en un espacio cerrado, determinado por el molde, se sueldan entre sí.

El ciclo de moldeo generalmente consta de tres pasos: llenado del molde, calentamiento y entriamiento; y el tiempo en que se lleva a cabo depende del vapor del agua, densidad y espesor de la pieza moldeada entre otros factores.

Es en el moldeo en donde se determina el grado de fusión de las perlas preexpandidas, el cual junto con la densidad, son las variables responsables de la gran mayoría de las propiedades del EPS.

# PROCESO DE TRANSFORMACION A E.P.S



## 1-2 PROPIEDADES DEL EPS.

La espuma de poliestireno posee una serie de propiedades que, como se mencionó en la sección anterior, son dependientes de la densidad y se ven influenciadas por el grado de fusión.

Los datos presentados en esta sección fueron obtenidos de especímenes moldeados bajo condiciones óptimas, siendo los valores reportados para cada propiedad, un promedio de una serie de pruebas.

Por lo anterior dichos valores no deben ser considerados como una especificación o como mínimos y para aplicaciones prácticas de donde alguna propiedad sea crítica, su determinación deberá basarse en especímenes moldeados a la densidad apropiada de acuerdo con las condiciones imperantes de producción.

Las propiedades de la espuma de poliestireno pueden clasificarse de la siguiente forma:

- a) Propiedades mecánicas
- b) Propiedades térmicas
- c) Propiedades de absorción de agua
- d) Propiedades de transmisión de vapor de agua
- e) Propiedades de flotación
- f) Propiedades inertes
- g) Propiedades de absorción de energía
- h) Propiedades eléctricas
- i) Propiedades de resistencia contra agentes externos
- j) Propiedades de flamabilidad
- k) Propiedades toxicológicas

a) Propiedades mecánicas.

La espuma de poliestireno es un material dúctil.

La curva-esfuerzo-deformación para un material dúctil es una línea recta hasta el límite proporcional, debido a que mantienen una relación constante.

Después del límite proporcional, un material dúctil desarrollará una deformación adicional sin necesidad de aplicar una fuerza adicional (punto de cede).

Después del límite elástico, el esfuerzo se incrementará nuevamente hasta alcanzar un valor máximo.

Un material dúctil continuará deformándose después del valor máximo de esfuerzo, mientras que un material quebradizo fallará en este punto.

Un material que ha sido sometido a esfuerzo hasta el punto de cede, mantendrá cierta deformación permanente (permanent set) al suprimir todo el esfuerzo.

Para materiales con puntos de cede bien definidos, es común reportar tanto el esfuerzo al cede como el máximo esfuerzo.

La curva esfuerzo-deformación para EPS no tiene bien definidos los puntos de cede, por tal motivo se reportan los valores máximos de esfuerzo para tensión, flexión y corte. (Figuras 1, 2 y 3)

figura N<sup>o</sup>1  
RESISTENCIA A LA TENSION

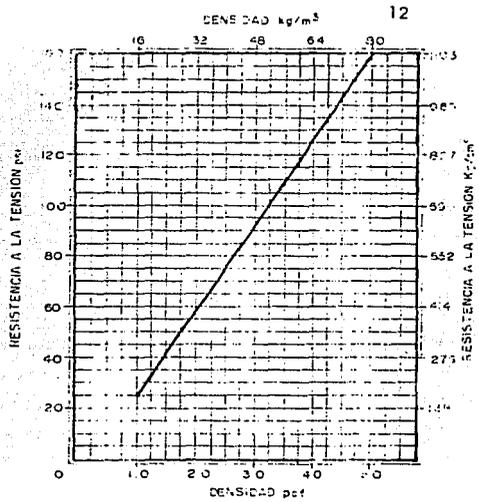
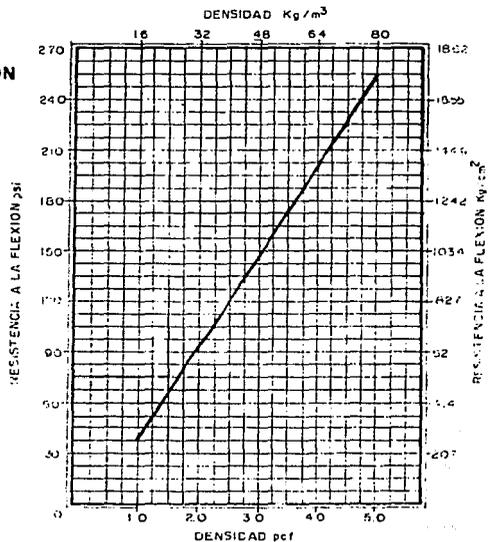


figura N<sup>o</sup>2  
RESISTENCIA A LA FLEXION



En relacion al esfuerzo a la compresión en la figura 4 se reportan los valores para varias deformaciones (5, 15 y 25 %).

figura N° 3  
RESISTENCIA AL CORTE

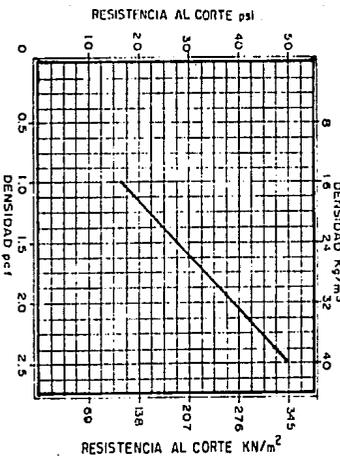
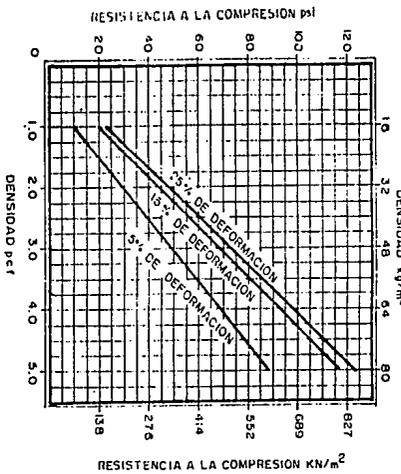


figura N° 4

RESISTENCIA A LA COMPRESION



Dado que el límite proporcional para el EPS sucede aproximadamente del 3% de deformación, más allá de este punto el resultado será una deformación permanente, cuyos valores se presentan en la figura 5 para varias densidades.

Figura 5  
Tabla de compresión

	Densidad		Porcentaje de deformación final después de una deformación de:			
	lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	10%	20%	30%	40%
1	16		2.3	5.4	10.3	14.3
2.5	40		3.1	9.6	15.3	24.2
3	48		3.8	9.8	17.7	24.3
4.5	72		4.0	11.7	18.6	27.7

b) Propiedades térmicas .

El EPS no es quebradizo a temperaturas bajo cero.

Pruebas con especímenes no acondicionados a  $-73.3^{\circ}\text{C}$  ( $100\text{ F}$ ) por espacio de 48 horas, demostraron no perder resistencia al impacto, comparadas con especímenes acondicionados a  $22.8^{\circ}\text{C}$  ( $73^{\circ}\text{F}$ ).

El efecto que tienen las temperaturas elevadas sobre el EPS, es una acelerada declinación de sus propiedades mecánicas (Figuras 1 a 5) hasta alcanzar la llamada "Resistencia cero" a aproximadamente  $87.8^{\circ}\text{C}$  ( $190^{\circ}\text{F}$ ).

El EPS puede expandirse o amollarse cuando es expuesto a temperaturas elevadas, a una mayor densidad, disminuye la temperatura a la cual puede amollarse (figura 6). Efecto de la temperatura en

superficies moldeadas.

Figura 6

Densidad		Temperatura de exposición, °F (°C)		
lb/ft <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	125 (52)	150 (66)	175 (79)
1	16	sin cambio	sin cambio	sin cambio
2	32	sin cambio	sin cambio	sin cambio
4	64	sin cambio	ligeramente amollada	amollada
6	96	sin cambio	ligeramente amollada	extremadamente amollada.

El EPS no debe ser expuesto continuamente a temperaturas mayores de  $79.4^{\circ}\text{C}$  ( $174^{\circ}\text{F}$ )

El bajo coeficiente de conductividad térmica del EPS (figura 7), ha sido efectivamente utilizado para aislamiento a bajas temperaturas y, a diferencia de otros materiales aislantes, dicho coeficiente del EPS disminuye al disminuir la temperatura medio promedio (figura 8).

FIGURA No. 7

CONDUCTIVIDAD TERMICA k, A 23.05°C (75°F)

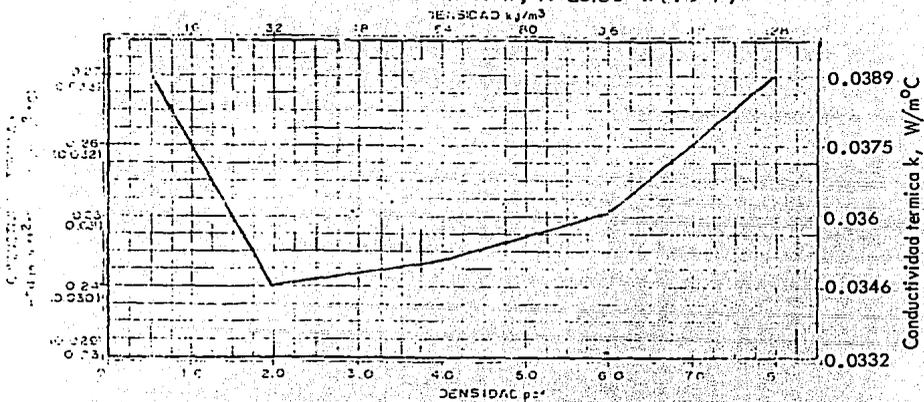
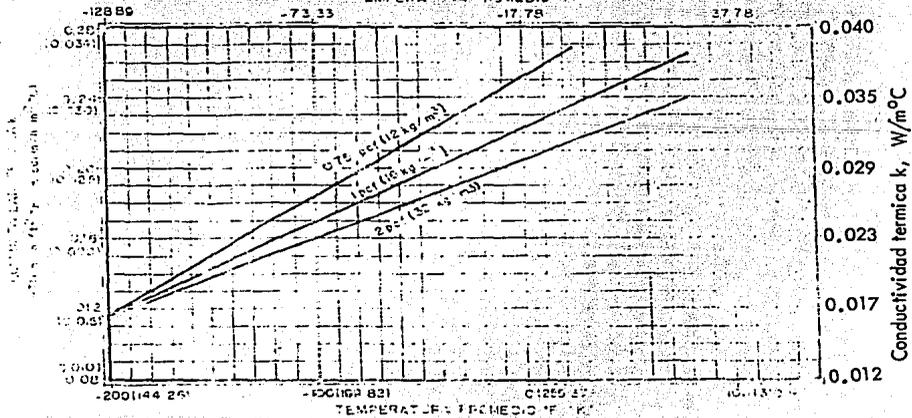


FIGURA No. 8

CONDUCTIVIDAD TERMICA k RANGO DE TEMPERATURA MEDIA ARRIBA DE 166.67°C (300°F)

TEMPERATURA PROMEDIO



Debido a que el agua absorbida incrementa la conductividad térmica de un material, la conductividad térmica del EPS fué medida antes y después de sumergir el material por 48 horas bajo una cabeza de agua de 3 m.; el incremento en la conductividad fué del 8 %, lo cual indica que la cantidad de agua absorbida por el EPS fué mínima.

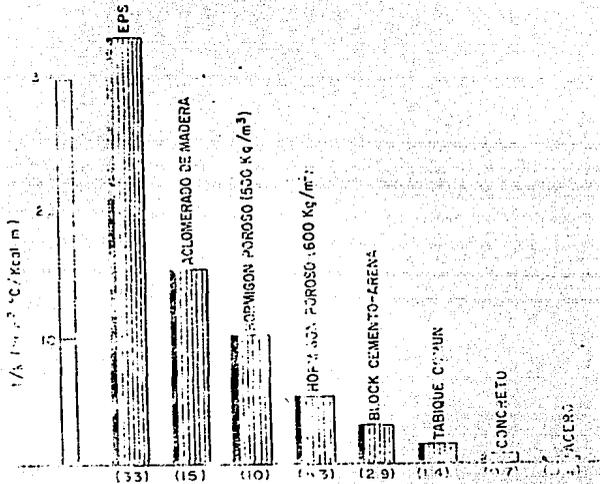
La siguiente tabla describe los requisitos que cumple el EPS para ser un buen aislante térmico

Exigencias para alcanzar un coeficiente de conductividad térmica favorable	Cumplimiento de las exigencias por el EPS.
Baja conductividad térmica de la substancia básica.	Poliestireno: $K=0.086-0.134$ Kcal m/hr m <sup>2</sup> ° C
Elevado contenido de aire encerrado en celdas (el coeficiente de conductividad térmica del aire en reposo, dentro de las celdas, es muy bajo).	Contenido máximo de aire: 98 % en volumen.
Máximo número posible de celdas de aire, ó sea pequeñas y bien distribuidas (con ello, convección y radiación dentro de los poros muy escasa).	Número de las celdas aprox. 5,000 millones por m <sup>3</sup> .
Celdas cerradas (para que no pueda penetrar humedad (acción capilar).	Celdas cerradas No hay acción capilar.
Elevada resistencia a la difusión de vapor.	Coeficiente de resistencia a la difusión = 80.
Escaso contenido de humedad.	Humedad higroscópica de equilibrio para 100 % de humedad atmosférica relativa (20° C): 0.06 % en volumen.
Escasa absorción de humedad.	Absorción de humedad promedio: 3 % en volumen.

En la figura 9 se muestran comparativamente los coeficientes de resistencia térmica del EPS y de algunos materiales de construcción.

Figura 9

Coefficiente de resistencia térmica de  
diversos materiales de construcción



### c) Propiedades de absorción de agua.

La absorción de agua se lleva a cabo por un mecanismo llamado CAPILARIDAD y consiste en el movimiento de agua hacia el interior de un cuerpo hasta lograr un equilibrio, en el contenido de humedad, con el medio externo, teniendo en consideración que las distintas capas de dicho cuerpo retendrán tanta más agua como mayor sea su tensión capilar.

Como se mencionó anteriormente, la capacidad de absorción de agua de un

material afecta inversamente al coeficiente de transmisión de calor, K.

En el caso del EPS, la absorción de agua es baja debido a que su estructura celular no interconectada evita la absorción por capilaridad hacia el interior de la pieza moldeada (Figura 10).

ABSORCIÓN DE AGUA					
DENSIDAD NOMINAL	Espesor	Resistencia térmica	Especificación, max.	Real	Especificación, max.
1	100	0.04	0.12	0.24	---
2	100	0.08	0.12	0.20	---
2.5	100	0.12	0.12	0.20	0.59
3	100	0.16	0.12	0.20	0.59
5	100	0.24	0.10	0.15	0.49

Figura N° 10

#### d) Propiedades de transmisión de vapor de agua.

La transmisión del calor entre dos cuerpos húmedos a distinta temperatura puede acelerarse (con respecto a la existente entre cuerpos secos) ya que cuando en el cuerpo que está a mayor temperatura se evapora agua; el vapor de agua formado se difunde hacia el que está a menor temperatura en donde se condensa.

De esta forma, con el vapor, se transporta calor en forma latente de un cuerpo húmedo que se encuentra a mayor temperatura que otro.

Un proceso de este tipo interviene, por ejemplo, en la transmisión de calor a través de los materiales de construcción porosos y húmedos.

Aunque el EPS presente valores bajos de transmisión de vapor de agua (TVA)

no se considera una barrera de vapor. Como regla general, la TVA varía inversamente con la densidad como se muestra en la figura-11.

Figura 11  
Transmisión de vapor de agua  
(en 24 horas)

Densidad		Gramos/ in <sup>2</sup>	Gramos 100 in <sup>2</sup>
lb/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>		
1	16	8.3-15.3	0.5-1.0
2	32	4.2-5.6	0.27-0.36
2.5	40	3.5-4.8	0.23-0.31
3	48	3.5-4.8	0.23-0.31
4	64	2.8-4.2	0.18-0.27
5	80	2.8-4.2	0.18-0.27

#### e) Propiedades de flotación

La densidad del EPS es baja en relación con la del agua, pudiendo la espuma ser tan ligera como  $16 \text{ kg/m}^3$  (y aún  $10 \text{ kg/m}^3$ ) comparada contra  $1,000 \text{ kg/m}^3$  del agua.

La capacidad de flotación en agua por metro cúbico del EPS es determinada en forma aritmética restando la densidad de la espuma de la del agua. El resultado es el peso en kilogramos que puede ser soportado por un metro cúbico de EPS en agua.

Por ejemplo, si se considera al EPS con una densidad de  $16 \text{ kg/m}^3$ , significa que un metro cúbico puede soportar, en el agua, un peso de 984 kg.

La estructura de celda cerrada del EPS tiene una ventaja sobre recipientes llenos de aire, utilizados también en aplicaciones de flotación y es que

estos, al ser perforados, pierden el aire de su interior y con ello sus propiedades de flotación, mientras que recipientes rellenos con EPS pueden ser perforados sin pérdida de la capacidad de flotación.

#### f) Propiedades inertes

El EPS es completamente inerte a los metales; cualquier corrosión de éstos al estar en contacto con el EPS es causada por otros factores, siendo los más frecuentes: el aire en presencia de humedad, la acción de una celda electrolítica en contactos bimetálicos y la presencia de agentes alcalinos ó ácidos.

Con objeto de demostrar estas propiedades del EPS, una pieza moldeada fué sumergida por 30 minutos en agua hirviendo. El agua extraída tuvo un pH de 7.2 comparado con el valor de 7.1 que es el característico del agua "neutra".

#### g) Propiedades de absorción de energía

Debido a sus múltiples celdillas llenas de aire, el EPS posee un gran poder de amortiguamiento que le permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones.

Estas propiedades son muy importantes cuando se desea utilizar el EPS en cuerpos moldeados, empaques principalmente, en donde las características de absorción al impacto (energía) son determinados dejando caer un peso conocido sobre la superficie del material en cuestión midiendo el cambio en aceleración (g) en el impacto.

Cuanto más se reduzca la aceleración, más eficiente será el material.

El EPS posee la máxima protección (en empaque) en el rango de densidad entre 16 y 19 kg/m<sup>3</sup>, a un específico esfuerzo estático.

Para lograr un diseño óptimo de empaques de EPS es necesario considerar el valor g, la tensión estática y la altura de la caída, para así determinar el espesor necesario de pared (figura 12). Cuando se desea resistencia a la vibración, es necesario tomar en cuenta otros factores (Figura 13).

figura Nº 12

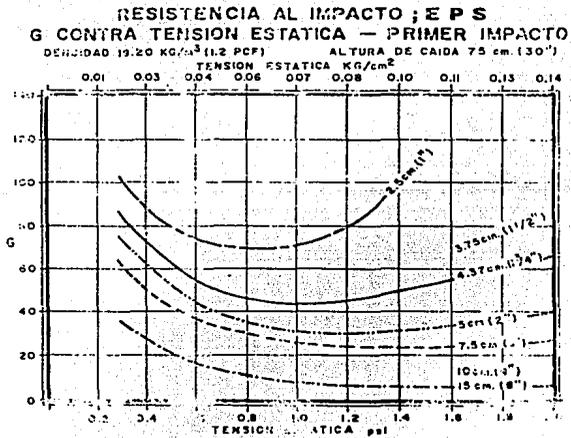
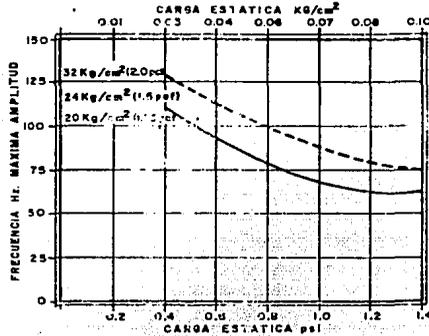


figura N° 13  
RESISTENCIA A LA VIBRACION



#### h) Propiedades eléctricas

Las características eléctricas del EPS son muy similares a las del aire.

Esto se aplica tanto a la resistencia al arco, como también a otras propiedades eléctricas. (Figura 14).

Figura 14

Propiedades eléctricas

Densidad: 2 lb/ft<sup>3</sup> (32 kg/m<sup>3</sup>)

Frecuencia	Constante dieléctrica	Factor de disipación
60	1.19	0.0005
1.000	1.07	0.0035
1.000.000	1.02	0.0005

El EPS se funde alrededor del sendero del arco tan pronto como éste penetra en la espuma.

La pérdida dieléctrica del EPS es baja y permanece relativamente inalterable después de un almacenamiento de 5 meses.

i) Propiedades de resistencia al ataque de :

1.- Reactivos químicos

El EPS tiene la misma resistencia a los reactivos químicos que el poliestireno de uso general (GP).

La mayoría de los ácidos y sus soluciones acuosas no atacan al EPS; sin embargo, ácidos oxidantes fuertes como el nítrico y el perclórico, lo descomponen. Ácido sulfúrico fumante, cloro y bromo también atacan al EPS. Soluciones alcalinas y saladas, sin importar su concentración, temperatura y tiempo de exposición, no afectan químicamente al EPS.

2.- Solventes.

La delgada pared de la celda y su gran superficie expuesta, hacen que el EPS sea especialmente sensible al ataque de los solventes. Los solventes que afectan al poliestireno de uso general en un menor grado pueden colapsar las celdas de la espuma.

Hidrocarburos clorados y aromáticos, ésteres, acetonas y aceites esenciales con alto contenido de terpeno, son excelentes solventes para el EPS, así como la porción de hidrocarburos aromáticos de la gasolina, nafta y aceite mineral.

Alcoholes alifáticos bajos y glicoles pueden ejercer acción solvente en el EPS, pero alcoholes altos causan reblandecimiento, así también como ácido acético glacial, algunos hidrocarburos insaturados y aceites esenciales de bajo contenido de terpeno.

El EPS no se reblandece ni se hincha después de la exposición a aceites lubricantes por 70 horas; si se sospecha de la presencia de solventes, pruebas de debenser realizadas con una duración y temperaturas preestablecidas.

### 3.- Hongos y bacterias.

Se ha observado que el EPS no es atacado por hongos ni mantiene el crecimiento bacteriano.

Si se presentase el crecimiento de hongos y bacterias sobre el EPS, sería evidencia de que la espuma ha sido ensuciada, aportando esta suciedad los nutrientes para el crecimiento de hongos y bacterias.

Ha sido probada la resistencia del EPS a los hongos de acuerdo a la prueba de la Federal Housing Administration (FHA).

"Test Procedures to Determine the Acceptability of  
Perimeter, Insulation for Concrete Floor on Ground",  
11 de junio de 1956, párrafo V.

### 4.- Hormigas, termitas y roedores

El EPS no tiene un valor alimenticio, por lo que no atrae hormigas, termitas ó roedores, éstos masticarán a través del EPS hasta llegar a su alimento ó a establecer una morada cómoda.

#### i) Propiedades de flamabilidad.

El EPS tiene un calor de combustión de 17,400 BTU/lb, los productos de la combustión son: monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua y hollín (carbón). Dado que el EPS es combustible, no debe ser expuesto a la flama

abierta u otras fuentes de ignición.

El EPS grado RAF, posee la característica de autoextinguibilidad, esto es que la flama deja de propagarse una vez que se ha retirado la fuente de ignición; esto se logra adicionando un compuesto halogenado, generalmente bromo, al poliestireno expansible en su proceso de fabricación.

La autoextinguibilidad hace del EPS-RAF, un material que cumple los requerimientos del mercado de la construcción debido a que, dentro de éste, existen aplicaciones en las que el EPS se encuentra expuesto y, por consiguiente, susceptible de convertirse en una fuente de propagación de la flama si llegase a ocurrir un incendio.

#### k) Propiedades toxicológicas.

##### 1.- Contacto personal

El EPS en cualquiera de sus grados, Normal o Raf, ha sido designado como un material inócuo.

No han sido detectados efectos dañinos a la salud en personas que han estado trabajando por años en contacto con el EPS bajo condiciones de exposición muy variadas en numerosas plantas transformadoras.

##### 2.- Contacto con alimentos.

En lo referente al EPS grado normal, tanto el poliestireno como el agente

expansor, cumplen todos los requerimientos de las regulaciones para empaque de alimentos, derivados del Food, Drug and Cosmetic Act of 1938. Dichas regulaciones no incluyen al EPS grado RAF, ya que contienen un aditivo no aprobado; ésto se aplica también al EPS pigmentado ó con otros aditivos si estos pueden migrar a alimento y si no están reconocidos como seguros por la FDA (Food & Drug Administration).

Por lo anterior, cuando se considere al EPS para empaques en contacto con alimentos, debe hacerse una cuidadosa evaluación en las condiciones apropiadas antes de ser utilizado.

### 3.- Combustión

Debido a la característica del EPS de contener hasta 98 % de aire encapsulado, los gases desprendidos durante su combustión, no representan concentraciones consideradas como tóxicas.

## CAPITULO II DISEÑO DE PIEZAS MOLDEADAS EN EPS.

### II-1 REQUERIMIENTOS:

Para poder lograr un diseño integral de piezas en este material, se requiere de la consideración de varios factores, no todas de carácter técnico, pero que sin embargo deben ser tomados en cuenta. A continuación se expondrán los aspectos más importantes que se deben tener presentes para la fabricación de una pieza, y en la mayoría de los casos, es conveniente la fabricación de una cavidad piloto como referencia. Por la razón de que muchas veces lo que se contempla funcional en planos, ya llevado a la realidad física, no cumple con todas las exigencias requeridas sobre todo en los aspectos de funcionalidad y apariencia.

Lo que primero se debe hacer para lograr un buen diseño, es definir completamente todas las necesidades y requerimientos que debe cumplir la pieza. En el caso del EPS, la razón principal para su uso es la protección de aparatos u objetos delicados, ya sea como aislante térmico para productos sensibles a los cambios de temperatura y humedad, o bien para protección contra impacto y vibraciones de transporte, ya que posee hasta el momento inmejorables cualidades para estos fines, combinando además una presentación agradable y estructura suficiente para desempeñarse por si mismo como un empaque integral.

Otras de las variables que juegan un papel importante dentro del diseño es el costo, debido a que el EPS es caro, no siempre se puede usar en las condiciones óptimas sino que muchas veces se tienen que hacer combinaciones

con cartón o algún otro material de empaque para abaratar el producto y lograr con esto ahorros. Este punto será objeto de un análisis a fondo más adelante.

Otro de los motivos para utilizar el EPS, es la apariencia y presentación que dan al producto empacado, ya que su aspecto es agradable y poco común pudiendo lograrse apariencias muy sofisticadas empleando una serie de técnicas existentes como son material pigmentado antes de moldearse (esto se hace durante el proceso de preexpansión) o bien pintar el producto ya moldeado o incluso flokearlo, estas entre otras técnicas que existen y que pueden cambiar radicalmente la presentación del material.

En esta sección se ha considerado al EPS como un material que una vez moldeado, va a formar parte de un producto como empaque en la mayoría de los casos. Pero también se dan los casos en donde el EPS es el producto, como ejemplo de tales casos están las hieleras, los tortilleros, las macetas y otros varios, que fueron hechos para venderse por si mismos y no como parte de un conjunto, como material de empaque.

A continuación se enlistan las variables más importantes que habrán de tomarse en cuenta para el diseño de piezas de EPS.

- Sensibilidad del producto a empacar.
- Altura de cada del producto a empacar.
- Estiba.
- Peso del producto.

- Peso del empaque.
- Cantidad de empaques requeridos, entre otros.

Todos estos puntos serán tratados brevemente enseguida, pero algunos de ellos serán vistos a detalle en el punto 11-3.

Analizemos ahora por separado cada punto:

Sensibilidad del producto a empacar.

Cuando usemos el EPS para proteger contra impacto y vibraciones a algún aparato delicado que así lo requiera, debemos determinar la sensibilidad del producto del que se trata, y en base a ello calcular la cantidad de material que debemos poner para que el impacto se absorba. Para tal fin existe una tabla en la que debemos basarnos para la obtención de estas cantidades, dicha tabla fué determinada empíricamente por los fabricantes de EPS en Alemania, y se basa en la cantidad de aceleraciones que pueda resistir cada producto sin sufrir alteraciones, tomando como patrón la aceleración de la tierra.

Dicha tabla aparece en la figura 21 y nos indica la altura que debe tener cada una de las costillas o nervios deformables, así como el número de éstos. Suponiendo que esta altura sea de 45 mm. sería absurdo hacer un empaque cuyas paredes tuvieran un espesor homogéneo de los 45 mm. antes mencionados, además de que esto traería consecuencias desastrosas al recibir un golpe la caja, ya que sería prácticamente imposible que un espesor homogéneo se deforme, debido a que el EPS a pesar de ser un material blando, en áreas considerables tiene una resistencia a la deformación grande por lo que sería necesario colocar

<b>ESPESOR DE LAS COSTILLAS (cm)</b>	<b>ALTURA H (cm) DE CAIDA.</b>
0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 1.3 1.4 1.7 2.0 2.5 0.6 0.8 0.9 1.0 1.1 1.3 1.5 1.9 2.2 2.5 3.0 3.8 0.8 1.0 1.1 1.3 1.5 1.7 2.0 2.5 2.9 3.3 4.0 5.0 1.0 1.3 1.4 1.6 1.8 2.1 2.5 3.1 3.6 4.2 5.0 6.3 1.3 1.5 1.7 1.9 2.2 2.5 3.0 3.8 4.3 5.0 6.0 7.5 1.5 1.8 2.0 2.2 2.5 2.9 3.5 4.4 5.0 5.9 7.0 8.8 1.7 2.0 2.2 2.5 2.9 3.3 4.0 5.0 5.7 6.7 8.0 10.0 1.9 2.3 2.5 2.8 3.2 3.8 4.5 5.6 6.4 7.5 9.0 11.3 2.1 2.5 2.8 3.1 3.6 4.2 5.0 6.3 7.2 8.4 10.0 12.5 2.5 3.0 3.3 3.8 4.3 5.0 6.0 7.5 8.6 10.0 12.0 15.0	20 30 40 50 60 70 80 90 100 120
<del>120 100 80 60 40 30 25 20</del>	<b>SENSIBILIDAD DE LA MERCANCIA (G)</b>
32.0 26.6 24.0 21.3 18.6 16.0 13.3 10.7 9.3 8.0 6.7 5.3 24.0 20.0 18.0 16.0 14.0 12.0 10.0 8.0 7.0 6.0 5.0 4.0 19.2 16.0 14.8 12.8 11.2 9.6 8.0 6.4 5.6 4.8 4.0 3.2	20 25 30
<b>AREA QUE DEBEN CUBRIR LAS COSTILLAS (cm<sup>2</sup>/kg)</b>	<b>DENSIDAD (Kg/m<sup>3</sup>)</b>

FIGURA 21

un envolvente de alrededor de 15 mm. además de costillas de 30 mm. sobresaliendo de éste; así entonces al recibir un golpe las costillas tendrán la capacidad de deformarse y absorber las aceleraciones que de otra manera se transmitirían directamente al producto en el interior de la caja.

TABLA DE SELECCION DE SENSIBILIDAD:

MUY SENSIBLES G 35 ó menor	SENSIBLES G entre 40 y 75	POCO SENSIBLES G Mayor a 75
Instrumentos de precisión con partes delicadas.  Aparatos electrónicos.	Equipo electromecánico. Máquinas de escribir e impresoras. Calculadoras. Televisores. Equipo óptico. Huevos.	Equipo doméstico. Lavadoras. Refrigeradores.

#### Altura de caída:

Esta altura debe ser prevista en base a las condiciones a las que vaya a estar expuesto el producto durante el tiempo que el empaque esté en función, por ejemplo, si el producto va a ser estibado hasta dos metros de altura, ésta deberá ser la altura de protección. Pero si solo deseamos protegerlo de la caída que pueda sufrir al estar siendo manejado por personal, entonces la altura estará en el orden de un metro.

#### Estiba:

Este punto es esencial contemplarlo para el diseño de cualquier impacto, por el hecho de que la transportación así como el almacenamiento tienen costos considerables, y se debe optimizar el espacio. Pero hay que tener en cuenta que a medida que apilamos un empaque encima de otro, el peso que irá soportando el de más abajo se irá incrementando en la proporción que vayamos aumentando productos, si el artículo empacado es delicado, todo el peso deberá ser absorbido por las paredes del empaque, para evitar que aquel lleve alguna carga y en consecuencia, estas deberán ser más robustas incrementándose también el costo del empaque. Existen técnicas para estructurar las cajas sin que éstas se vuelvan demasiado pesadas, pero básicamente dependerá del ingeniero y de su estilo personal el obtener el balance adecuado. Este se contemplará más adelante.

**Peso del producto:**

Este aspecto, así como la sensibilidad del producto, influyen directamente en la cantidad de poliestireno que deberá ser usado, de aquí que en muchos de los casos donde el EPS juega un papel de protección, el empaque no sea íntegramente de este material, sino que se utilicen combinaciones. Por el momento solamente se comenta esto, siendo este punto objeto de un análisis posterior.

**Peso del empaque:**

Debe ser considerado por el costo que implica, ya que día a día se ve incrementado.

Para que nos podamos dar una idea de como interviene el peso del material dentro del costo de una pieza, debemos analizar la siguiente tabla:

Peso del empaque (en gramos)	% aproximado de influencia en el costo total de la pieza.
De 1 a 25	8
De 26 a 100	del 9 al 40
De 101 a 240	del 41 al 75
de 241 en adelante	del 76 al 98

Esto se explica de la siguiente forma:

Cuando el peso del material es poco, su influencia en el costo final de la pieza moldeada es muy bajo con respecto al costo del tiempo máquina

Pero cuando la pieza moldeada es de más de 2,500 grs., los papeles se invierten y entonces el costo del ciclo de moldeo es relativamente despreciable con respecto al costo del material (en piezas de más de 5 kgs. es aproximadamente el 3 %) siempre y cuando los moldes cumplan con la eficiencia promedio de todos los moldes para EPS.

#### Cantidad de empaques requeridos:

Este punto es similar al que se considera en todas las máquinas de alta producción y se refiere al incremento del costo del molde con respecto al decremento en el costo por pieza al aumentar el número de cavidades en el molde.

## II-2 CALCULOS DE DISEÑO.

SE REQUIERE UNA CAJA QUE PROTEJA A LOS VIDEOCASSETTES DE LAS ALTAS TEMPERATURAS QUE SE REGISTRAN EN EL INTERIOR DE LOS AUTOMOVILES DURANTE EL DIA Y A PLENO RAYO DEL SOL.

DATOS: De acuerdo con una prueba destructiva llevada al cabo en el laboratorio de Ingeniería de Empaque de Avon Cosmetics de México S. A., se determino que para que el videocassette se dañe se requieren de 16.6 BTU/hr. Lo que equivale a una temperatura de aproximadamente 60°C.

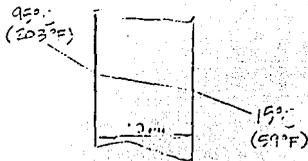
La maxima temperatura registrada dentro del auto fue de 95°C, con lo que el cartucho se ve afectado. (203°F).

Suponiendo que la temperatura inicial del automovil son 15°C (59°F).

El area del empaque son : 32 in<sup>2</sup>

Espesor de nuestro empaque : 3/8" (10mm). (Este espesor es el mínimo recomendado para trabajar con este material, para evitar conflictos durante el llenado de la cavidad de moldeo. Ademas se pretende un empaque que no sea muy voluminoso.

Ahora haciendo el calculo de cuantos BTU's sera capaz nuestro empaque de ahisar por hora, tenemos:



- q.- Transferencia de calor(BTU/hr)
- A.- Area (in<sup>2</sup>)
- k.- Constante del material (BTU/hr-°F-ft)
- dT.- Diferencial de temperatura (°F)
- dN.- Diferencial de longitud (espesor, in)

k para el EPS es 0.02075 BTU/hr-°F- ft  
Entonces el empaque dejara pasar: 4.7 BTU/hr

LO QUE DE ACUERDO A PRUEBAS SOLO LOGRARA ELEVARLE LA TEMPERATURA AL INTERIOR DEL EMPAQUE A 39°C.

$$q = 0.02075 \text{ BTU/hr-ft-}^{\circ}\text{F} \times 32 \text{ in}^2 \times (59 - 203 \text{ }^{\circ}\text{F}) / 0.373 \text{ in} / (12 \text{ in}/1 \text{ ft}) \times (1 \text{ ft} / 144 \text{ in}^2)$$

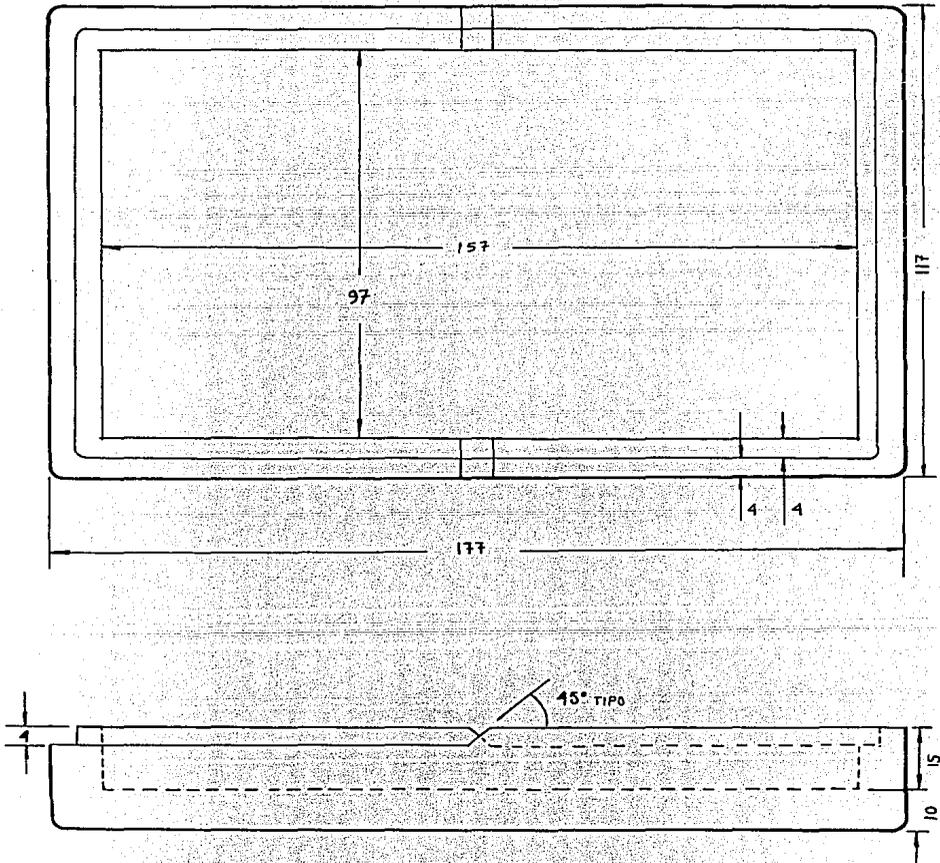
$$q = -21.25 \text{ BTU/hr.} \quad 16.6 - 21.25 = 4.7 \text{ BTU/hr.}$$

Como el caso del empaque para videocassettes es de protección térmica, y siendo este tipo de casos los de menor frecuencia, se dará un ejemplo de un clásico caso de protección contra impacto, que son los más usuales.

Se pretende empaquetar un amplificador de potencia marca Philips, cuyo peso es de 3,5 Kg., para protegerlo de una caída desde una altura de 60 cm. Su sensibilidad es de 40 G's. y se pretende usar material de 30 Kg/m<sup>3</sup> de densidad.

Ahora viendo la tabla de la figura 21, sobre el renglón de la sensibilidad buscamos el valor de G igual a 40, después subimos hasta parar en el renglón de la altura de caída, en este caso 60 cm. (columna extrema derecha) y vemos que dicho valor es 3.8 que corresponde al espesor de la costilla deformable. Posteriormente buscamos la altura que debe tener la costilla, de acuerdo con la densidad que hallamos decidido usar, este dato se busca en la parte inferior de la columna extrema derecha y de la misma forma que se hizo anteriormente. Vemos entonces que el dato es 6.4, mismo que será multiplicado por el peso del producto, para de esta forma obtener el área que deben sumar todas las costillas en conjunto.  $6.4 \times 3.5 = 22.4 \text{ cm}^2$

En cuanto al diseño de la pieza, cada persona podrá determinar la forma de acuerdo a su estilo y gusto personales, procurando desde luego esté configurado de tal forma que se optimice la absorción de los impactos.



DISEÑO PARA CAJA DE VIDEOCASSETTES  
 espesor tipo: 10 mm.      ángulos de salida: 1° en interiores / 30° en exteriores.

### II-3 LOS REQUERIMIENTOS EN FUNCION DE LOS COSTOS, EL BALANCE OPTIMO Y VARIABLE ES A CONSIDERAR.

Como se ha mencionado superficialmente con anterioridad, en muchos de los casos al empaacar con EPS, no será rentable hacerlo al 100% con este material. Para la comprensión de ésto valgámonos del ejemplo que todos hemos visto en el mercado, dicho ejemplo se refiere a los aparatos de TV. Para empaacar una televisión de 20 pulgadas en una caja de EPS, tendríamos que hacer en primer lugar, un molde del orden de los 50 millones de pesos, la cantidad de televisores a producirse no depreciarían adecuadamente el costo del molde, ya que por más alta que fuera a ser su producción, a cada televisor le tocaría una carga monetaria grande solo por este concepto, ésto sin tomar en cuenta el costo que tendría una caja hecha íntegramente de EPS que andaría alrededor de los \$45000 y hay que tomar en cuenta que de acuerdo a lo establecido por las compañías japonesas, el costo de empaque de un producto no debe superar el 3 % del costo del artículo mismo. Pongamos como ejemplo a dos compañías japonesas que trabajan en México y tienen por norma empaacar todos sus artículos con poliestireno, dichas empresas son Sony y Panasonic cuyos productos salen al mercado utilizando siempre combinaciones de poliestireno con cajas de cartón y es por esto que siempre vemos cabezales y esquineros de EPS que brindan protección satisfactoria al producto.

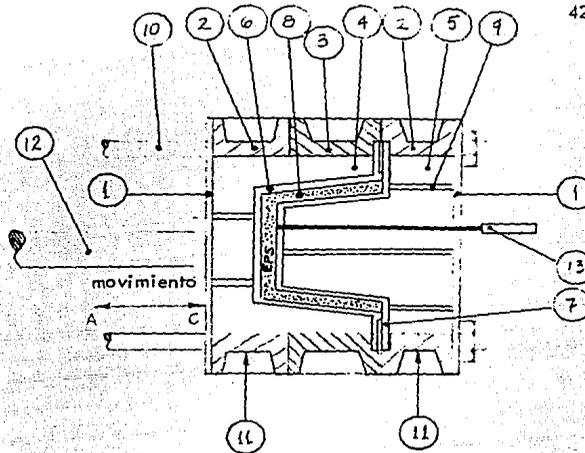
Lo que manda para escoger la alternativa más conveniente en cada caso, no es otra cosa sino la lógica elemental y la experiencia manejando todas las opciones con EPS a nuestro alcance, en este subtema se podrían dar una infinidad de consejos y ejemplos, pero la concepción de cada persona sería incompleta, por lo que si a alguna persona le interesa aprender más del tema o pretende dedicarse a esta rama, solo en base a vivencias y experiencias logrará diseñar y llevar al cabo moldes y productos que se desempeñan eficientemente para cada caso especial, ya que casos muy parecidos pueden arrojar soluciones radicalmente diferentes y cada caso planteará problemas particulares y requerirá de una solución propia. Por ende la idea fundamental es dar las bases y lineamientos que hay que considerar y dejar que cada persona haga sus propias consideraciones.

## CAPITULO III HERRAMIENTALES

Debido a que los moldes para EPS están sujetos ya en operación a constantes variaciones de temperatura dentro de un rango de los 40 a los 140 grados centígrados y esto sucede con una frecuencia de alrededor de 1,000 ciclos por día, se requiere pues que los herramientas sean de un material con una resistencia adecuada y con una alta conductividad térmica, cualidades que posee el aluminio y que en base a pruebas la liga que mejores resultados ha dado ha sido la alcoa 356.

### III-1 PARTES Y FUNCIONAMIENTOS BASICOS

Todo molde para EPS estará siempre formado por dos partes fundamentales; estas son el lado móvil y el lado estacionario, cada una de ellas se compone además de varias partes independientes que forman en conjunto un lado completo. Como sus nombres lo indican, el lado estacionario permanece fijo al lado inmóvil de la prensa de moldeo y el lado móvil se sujetará a la parte de la prensa con capacidad de movimiento. Cada lado del molde estará sujeto mediante tornillos a una cámara hermética que permitirá hacer subir la presión ya sea de aire o de vapor cuando se le permita la entrada. Para una comprensión integral se debe ver la figura 31 la cual muestra un corte de un ensamble de cámara y molde además de describir cada una de las piezas involucradas en el dibujo .



- 1.- Placas de respaldo
- 2.- Marcos para camara
- 3.- Marco de extension
- 4.- Camara movil
- 5.- Camara estacionaria
- 6.- Lado movil (hembra)
- 7.- Lado estacionario (macho)
- 8.- Cavity de moldeo (EPS)
- 9.- Postes de soporte
- 10.- Barras guía de prensa
- 11.- Entradas y salidas de vapor, aire y agua
- 12.- Embolo de piston hidraulico
- 13.- Inyector neumatico

CORTE TRANSVERSAL DE UN MOLDE CERRADO Y MONTADO EN LA PRENSA, CON TODOS SUS ACCESORIOS COMPLETOS.

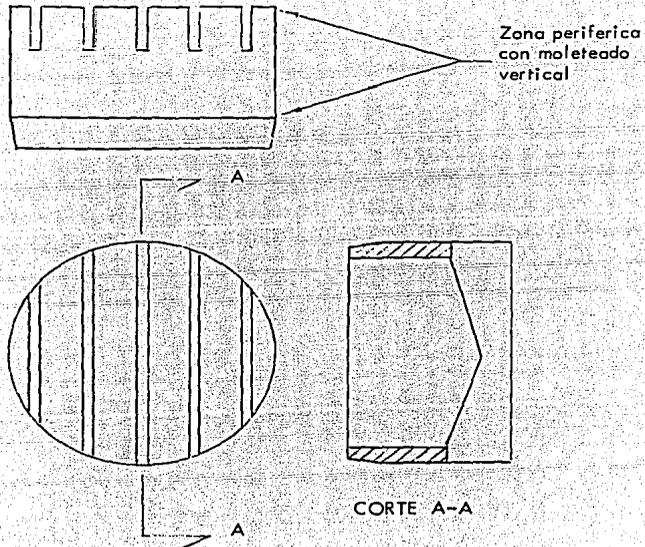
FIGURA 31

Antes de entrar a dar una explicación mayor debemos recordar que el proceso es en base a vapor, agua y aire básicamente, para permitir que dichos elementos puedan llegar a la materia prima una vez que ésta ya se encuentra ocupando la cavidad de moldeo, toda esta se cubrirá con unos dispositivos conocidos como ventilas que no son otra cosa sino pequeñas "coladeras" que permiten que circulen vapor, aire y agua, evitando que las miles de perlas de EPS salgan del molde y se vayan hacia las cámaras provocando posteriormente severos daños a los sistemas de la prensa moldeadora. Podemos apreciar un dibujo de estos dispositivos en la figura 32.

A continuación describiremos algunos elementos que desconocemos hasta el momento y que aparecen en la figura 31.

**Placas de respaldo:** son placas de aluminio de alrededor de 1 pulgada, de aluminio comercial rolado cuya única función es tapar las partes posteriores de las cámaras. Se unen por medio de tornillos a las cámaras y además sirven para que los postes se atornillen a ellas como respaldo posterior, cada poste así como las cámaras llevan empaques de buna para evitar fugas.

**Cámara de vapor:** Son cajas sin fondo ni tapa que permiten dar profundidad a la cámara de vapor cuando esta es formada por el lado posterior con las placas de respaldo y por el lado anterior con el molde formando así cámaras herméticas. El material con el que están hechas también es aluminio. Cuando los moldes son de escasa altura, la profundidad que éstas brindan es suficiente para alojarlos. (Ver lado estacionario, figura 31).



MATERIAL: LATON COMERCIAL

FIGURA 32

Marcos de extensión: su único fin es aumentar la profundidad de las cámaras cuando se utilicen moldes altos (ver lado móvil, Fig. 31).

Postes de soporte: Son barros de aluminio que impiden que el molde se flexione al existir presión en la cámara, se atornillan por ambos lados y en algunas ocasiones pueden ser contemplados desde el diseño y ser integrales al molde de fundición. Usualmente son de 1 pulgada de diámetro y se colocan en un promedio de 1 por cada dm. cuadrado.

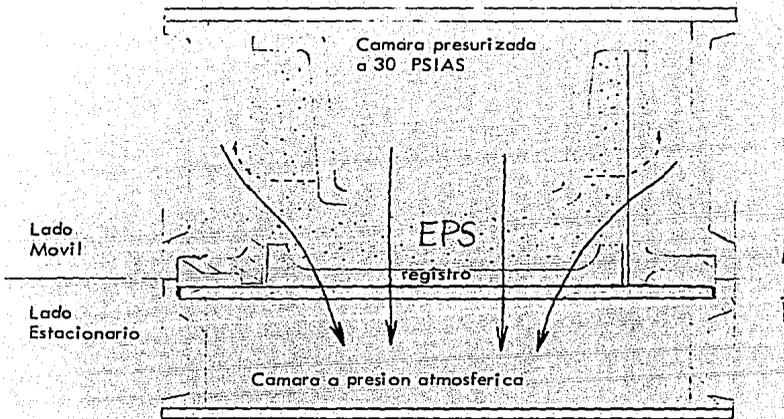
### III-2 DISEÑO DEL MOLDE.

Cuando las piezas se requieran de poca altura se puede pensar en un molde del tipo espalda plana, estos moldes tienen la característica de que no dan problemas para desmoldear la pieza una vez que el ciclo ha terminado, ya que como su nombre lo indica, del lado estacionario son completamente planos; su uso más frecuente es en cajas donde las paredes usualmente son por completo planas. La restricción que existe para el uso de estos es el hecho de que mientras va aumentando la altura de la pieza a moldear, el herramental se va haciendo menos eficiente, esto a consecuencia de que en uno de los dos pasos de vapor que existen en cada ciclo de moldeo, la función que este debe desempeñar se ve restringida. Este paso se llama JET-STEAM y su función es la de cruzar al poliestireno con vapor para que este se fusione y expanda tomando la forma de la cavidad de moldeo. Opera presurizando una de las cámaras, y al no tener el vapor otra salida, tiende a irse a la otra cámara que se encuentra a presión atmosférica pasando a través del EPS. Como podremos apreciar en la

figura 33, el vapor no cruza al material en las zonas punteadas ya que de ambas paredes exteriores tenemos la misma presión, con lo que se pierde el efecto de JET STEAM. Fijándonos como cruza el vapor a la pieza de la figura 34 en donde se representa un molde clásico hembra-macho, nos daremos cuenta de la diferencia. Otra de las desventajas que vemos en el molde de espalda plana es que a medida que aumenta la altura, la diferencia de espesores entre la parte más alta y la más baja de las paredes verticales se acentúa por tener ángulos de salida encontrados. Por lo tanto no es conveniente hacer moldes de este tipo para piezas de altura mayor de 12 cms.

Analizando ahora las desventajas de los moldes hembra y macho veremos que la pieza siempre quedará alojada en un bajo relieve (hembra) y esto siempre representará alguna implicación de desmoldeo. Siempre que fabriquemos moldes de este tipo tendremos que contemplar que la pieza permanezca en la hembra cuando la prensa ya esté abierta porque de no hacerse así el agarre que tendría la pieza por su propia contracción sería enorme presionando fuertemente al macho. Por el otro lado las ventajas de estos moldes son que podemos mantener piezas con espesores homogéneos y que sabemos siempre estarán bajo el efecto del JET STEAM en todas las zonas de la cavidad de moldeo.

Un aspecto básico que debemos considerar es el de mantener un balance térmico en el molde, por lo que nunca debemos, en la medida de lo posible tener concentraciones grandes de aluminio, porque para enfriarlas se requerirá de más tiempo que el necesario para enfriar todas las paredes que mantengan



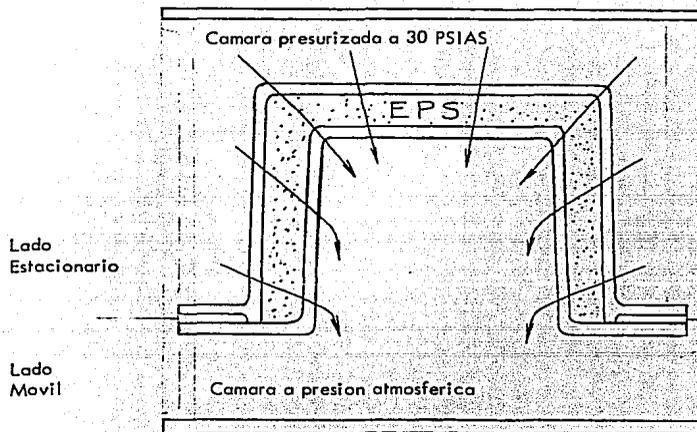
### MOLDE CLASICO DEL TIPO "ESPALDA PLANA"

Rutas seguidas por el vapor: 

Las partes mas altas de las paredes no reciben el "JET STEAM" por estar la misma presion por ambos lados.

Los angulos de salida son opuestos.

FIGURA 33



MOLDE CLASICO DEL TIPO "HEMBRA/MACHO"

Rutas seguidas por el vapor: →

Angulos de salida paralelos.

FIGURA 34

un espesor similar. Así mismo cuando se trate de moldes de múltiples cavidades donde se tengan diferentes alturas entre ellas (como puede ser el caso de una caja cuya tapa sea de mucho mayor altura que su base o viceversa) se deberán cuatraplear las bases con las tapas para mantener así un balance adecuado, ya que si concentráramos a todas las cavidades de mayor altura de un solo lado, tendríamos en primer lugar mayor cantidad de aluminio de un lado del molde que del otro y además para la colocación de agujas, cuya técnica se discutirá posteriormente tendríamos problemas de acceso. (Ver figura 35).

Siempre que de moldes se hable se tocará el tema de los ángulos de salida, los moldes de poliestireno no son la excepción y en base a experiencia de años de fabricantes alrededor de todo el mundo se han determinado para piezas en condiciones normales de altura (dicha altura se refiere a relaciones de máximo de una tercera parte con respecto al ancho de la pieza) treinta minutos en exteriores y un grado en interiores (hembras y machos respectivamente).

**Acción lateral:** en los moldes de inyección de plásticos es común encontrar mecanismos de acción lateral, esto se logra con pernos inclinados que al abrir la prensa provocan que una parte del molde se desarticule permitiendo desmoldar a una pieza que tenga altos o bajos relieves sobre las paredes en el sentido de apertura de la prensa. Pero en los moldes para EPS se deberá evitar en la medida de lo posible y solo en casos indispensables incluirla, como ya que para lograr piezas en moldes cuyo material es de una resistencia mu-

MOLDE DE CAVIDADES MÚLTIPLES LADO ESTACIONARIO (HEMBRAS)



IMPROPIO

Molde termicamente desbalanceado



PROPIO

Molde termicamente balanceado

Acceso de la herramienta (mototool): ———→  
 Acceso bloqueado de la herramienta: - - - - -→

FIGURA 35

cho menor que la del acero (material usado en moldes de inyección) este tipo de mecanismos resultaría no factible. Sin embargo, cuando por necesidades inevitables se tengan que usar acciones laterales, estas serán accionadas por pistones neumáticos que estarán alojados dentro de las cámaras, lo que resultará en un incremento severo de la complejidad de fabricación.

Son tan delicados los moldes que para darnos una idea de lo que debemos protegerlos, hoy que observar la figura 36 donde se aprecia que los moldes nunca deberán tener contacto entre sí y que para efectuar el cierre a presión se utilizan las cámaras y marcos de extensión.

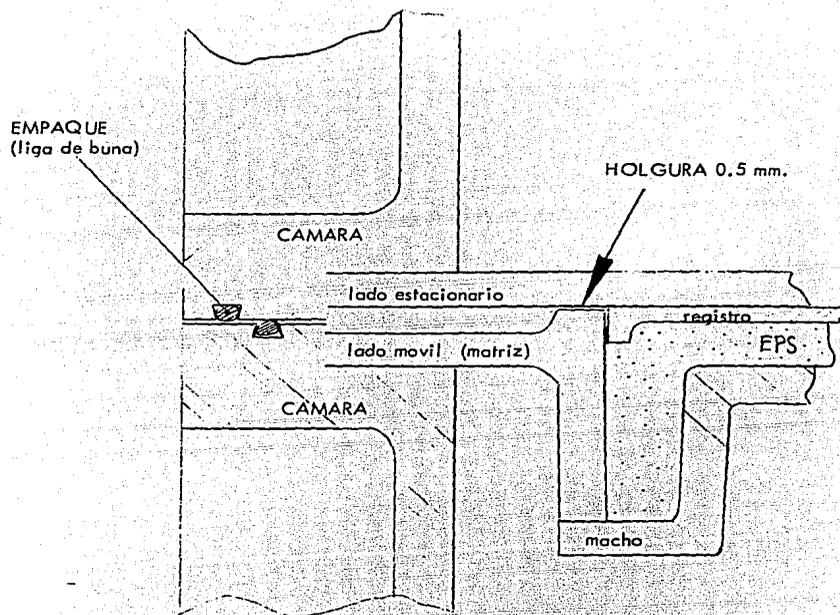
### III-3 SISTEMAS AUXILIARES.

Los sistemas auxiliares para los herramientas son los siguientes:

- Sistema de desmoldeo
- Sistema auxiliar sensor de presiones
- Sistema auxiliar sensor de temperatura

Hablemos de cada uno por separado para definir sus funciones; primeramente veamos los sistemas auxiliares de desmoldeo, mismos que dividiremos en dos ramos para su análisis.

Sistemas de tipo neumático y sistemas mecánicos. Estos últimos son unos botadores que funcionan como las válvulas de una cámara de combustión de un automóvil tomando como fuente de movimiento la acción de apertura y cierre de la prensa, por medio de una rejilla que se encuentra dentro de la



Corte de un molde tipo espalda plana montado con la prensa cerrada.

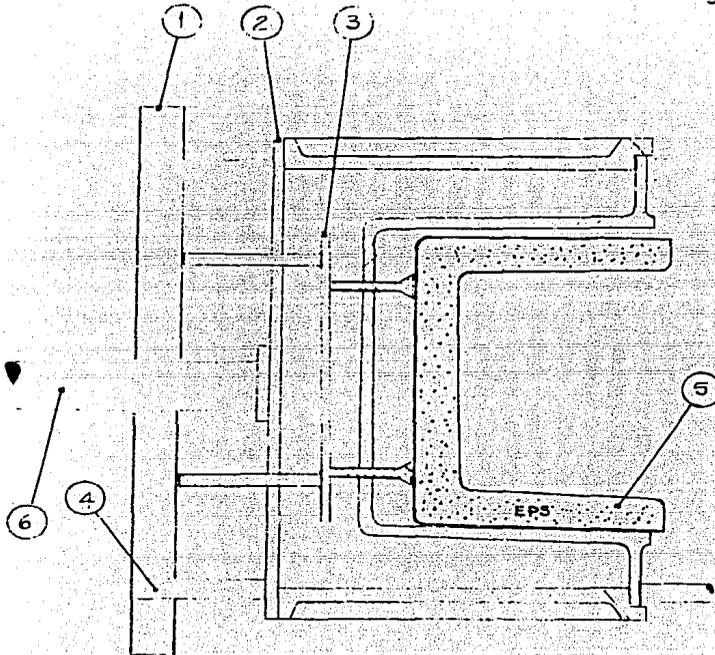
FIGURA 36

cámara móvil, misma que empuja a los botadores que se encuentran distribuidos en la cavidad de moldeo. Esta rejilla a su vez se encuentra unida a unas barras posteriores que salen a través de la placa de respaldo y que al abrir la prensa pegan en la parte trasera de la máquina, antes de que el lado móvil termine su movimiento, para un mayor entendimiento veamos la figura 37.

Los botadores neumáticos funcionan por medio de un pistón accionado por aire y reciben la señal para actuar de una válvula solenoide que es excitada por el control en el paso de eyección. Los pistones son colocados dentro de las cámaras de vapor.

#### Sistema auxiliar sensor de presión.

Al expandirse EPS dentro de la cavidad de moldeo genera una presión en contra del molde. Esto es aprovechado para detectar cuando la pieza ya está en el punto óptimo de expansión y es conveniente pasar a los pasos subsecuentes del ciclo. La manera de hacerlo es colocando un bulbo de presión en la cavidad de moldeo el cual pueda sensar la presión ejercida por el EPS sobre su superficie. Estos bulbos son fabricados por la gente que hace las máquinas, especialmente para este fin y fueron objeto de años de experimentación. Este tipo de sensores pertenece a la última generación tecnológica en este ramo. Un bulbo es más que suficiente para detectar la presión y mandar la señal al control electrónico para que este a su vez, se encargue de pasar al siguiente paso. La colocación de dicho bulbo deberá ser escogida cuidadosamente sobre una zona representativa del



LADO MOVIL DEL MOLDE MONTADO EN PRENSA EN POSICION  
COMPLETAMENTE ABIERTA.

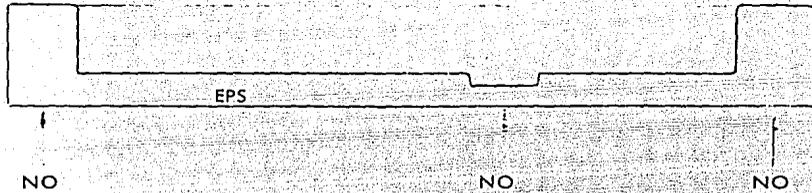
Respaldo de maquina	1
Placa de respaldo de camara movil	2
Sistema expulsor	3
Barras guia de movimiento	4
Pieza semiexpulsada	5
Embolo de piston hidroneumatico	6

FIGURA 37

espesor promedio de la pieza, ya que de no ser así, la medición se vuelve errónea (Ver figura 38)

#### Sistema auxiliar sensor de temperatura.

Este sistema funciona de igual manera que el sistema anterior y no es otra cosa sino un termómetro acoplado a la cámara para determinar si en algún momento la temperatura excede la previamente calculada. Sin embargo, cuando esto sucede, la respuesta es bloquear el paso de vapor y no como en el caso anterior de salto al siguiente paso.



**CORTE DE UNA CAJA DE PAREDES LATERALES GRUESAS Y ADELGAZAMIENTO EN LA BASE PARA PATA DE GOMA DEL APARATO A EMPACAR**

**Las zonas donde se indica NO, deben ser excluidas para la colocacion del bulbo sensor pues no se comportaran como el resto de la pieza.**

**FIGURA 38**

## CAPITULO IV. FABRICACION DE HERRAMENTALES.

Ya que los tamaños y formas de los moldes son tan variados, sería sumamente caro hacer los moldes siguiendo el mismo proceso usado para moldes de inyección, por esto aquí se utiliza el método de fundición, aprovechando además que el material que vamos a trabajar se presta para el proceso.

### IV.1 MODELOS PARA FUNDICION.

Para la fabricación de un molde de aluminio para EPS, primeramente se requiere hacer un modelo de madera, que va a servir para moldear la arena que recibirá el metal fundido. Dicho modelo es exactamente igual al molde una vez vaciado en aluminio, excepto porque el modelo es un 1 % más grande que el molde, por el hecho de que el aluminio se contrae al enfriarse y también porque en el modelo de madera se aumentan las dimensiones en las zonas donde habrá de maquinarse que es donde se requiere de algún acabado de ensamble ó ajuste.

Normalmente los modelos de madera no se tallan de un bloque de madera, sino que se usan tablas y pedacera para hacerlos. Su unión se lleva al cabo mediante clavos pequeños y pegamento como se puede apreciar en el modelo de caja para videocassett.

Una vez terminado el modelo, se pueden utilizar barniz y cera o "primer" y relleno plástico para dejar las superficies de contacto con la arena lisas y con esto evitar que se desmorone al sacar el modelo. El modelo para videocassett está acabado con barniz y cera, utilizando esta última para la fabricación de la mayoría de los radios requeridos, lo que resulta mucho más sencillo que hacer-

los de madera.

#### IV-2 VACIADO EN METAL.

Para llevar al cabo este paso se debe tener la arena para fundición en las condiciones requeridas y óptimas de humedad, si la arena está demasiado seca, no tendrá la capacidad de mantener la forma y se desmoronará y si por el contrario, está demasiado húmeda provocará que la pieza de fundición tenga poros, que no son otra cosa sino el gas desprendido de la evaporación de la humedad excesiva.

Se debe contar también con cajas para fundición del tamaño adecuado al modelo. La manera de moldear la arena es sencilla y se lleva al cabo en 2 etapas. Utilizando 2 cajas de moldeo, mismas que están registradas entre sí y que unidas formarán la cavidad que aceptará posteriormente al metal fundido, se coloca al modelo justo a la mitad de las 2 cajas y se entierra. Posteriormente se separan las 2 cajas y se saca el modelo el cual deja un espacio vacío con su forma al momento de unir nuevamente las dos cajas. Este espacio será el ocupado por el aluminio que penetrará como líquido. Este proceso de moldeo de arena es en realidad mucho más complejo de lo que aquí se comenta, sin embargo el explicarlo requeriría de un trabajo que en realidad no se justifica para los fines de este documento. Para todas las personas que quieran adentrarse más en el tema, existen libros para este fin.

Hay algunas consideraciones para este proceso las cuales solo se mencionarán rápidamente.

Los modelos de madera deberán tener ángulos de salida para permitir su desmoldeo de la arena y nunca podrán tener altos o bajos relieves en las paredes en el sentido de desmoldeo pues al ser enterrados no podrían ser sacados sin romper la arena (Ver figura 41). Para tal efecto se emplean los llamados corazones, los cuales funcionan dejando un hueco especial en la arena para posteriormente ocuparlo con un postizo de arena previamente moldeado.

Siempre deberá buscarse un plano sobre el modelo donde se hará la separación de las 2 cajas de moldeo. Será conveniente usar uno que nos coincida con un plano del modelo, de tal manera que nos resulte la operación lo más sencilla posible (Ver figura 41).

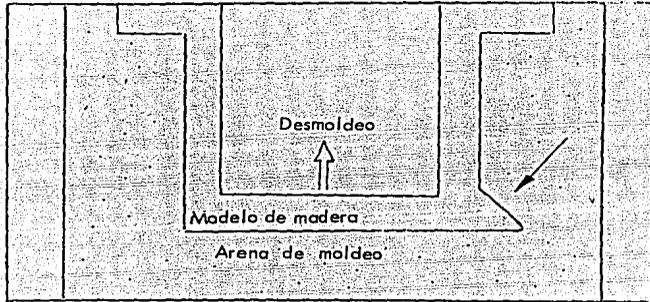
#### IV-3 MAQUINADOS.

Se procura siempre maquinar lo menos posible, ya que el exceso de este tipo de operaciones encarecería mucho al molde, por lo que desde el modelo de madera se planea cuales serán las superficies a maquinar y se aprovecha que el EPS permite que las caras de la cavidad de moldeo tengan un acabado de 250 \* lo que se puede conseguir puliendo a mano, ya que la naturaleza del EPS impide que sus superficies, aún las de mejor calidad, tengan un acabado libre de imperfecciones.

Las superficies del molde que definitivamente sí tienen que ser maquinadas son las zonas de ajuste con las cámaras de vapor, las áreas de cierre de molde así como las uniones atornilladas de 2 partes independientes, pero de un mismo lado, como lo es en los casos del lado móvil de los moldes tipo espalda plana.

\* las unidades de esta cifra son micras.

## CORTE DE UNA CAJA DE MOLDEO CON ARENA Y MODELO



cajas de arena

NEGATIVO: —————→  
NO DESMOLDEA

FIGURA 41

La parte más relevante del maquinado es la de barrenar agujas y vents. Las agujas son pequeños barrenos de  $3/64$ " de diámetro, usados principalmente en las paredes verticales y zonas de conflicto e intrincadas de difícil acceso, donde no se pueda usar el taladro vertical para hacer barrenos para vents, las agujas se hacen con mototool de 30,000 RPM, logrando con esto una vida más larga por broca, ya que como son tan delgaditas se rompen con frecuencia, pero con algo de práctica y la ayuda que brinda la gran velocidad a la que giran, impiden que se doblen y en consecuencia se rompan. Los barrenos de  $3/64$ " se deben colocar ordenadamente a cada  $3/4$ ".

En cuanto a los barrenos para vents, los diámetros deberán ser poco menores que el diámetro del mismo vent, con el objeto de que exista un ajuste entre el molde y cada vent, para mantenerlos siempre en su sitio sin opción a movimiento. Como los vents están hechos de barra de latón comercial se pueden hacer en diámetros desde  $3/16$ " hasta  $3/4$ ", siendo los más usuales los de  $3/8$ ". Como los vents llevan un moleteado exterior, aumentan del diámetro nominal de la barra de la que estén hechos, un promedio de entre 0.005" y 0.010", por lo que los vents de  $3/8$ " (0.375") quedarán en un promedio de 0.383". La broca usada para este tipo de vents será entonces de 0.368", que es la broca letra "U". La manera de ensamble se verá a detalle posteriormente, mientras tanto diremos la distancia entre centros de barreno para los diferentes tamaños de vents.

Ø del vent	Distancia entre centros
3/16"	3/4"
1/4"	1"
5/16"	1 1/8"
3/8"	1 1/4"
1/2"	1 3/4"
3/4"	2 1/2"

Estos datos han sido obtenidos de manera experimental en base a práctica de varios años.

Finalmente diremos que los barrenos para unir con tornillo 2 partes de un mismo lado, no deberán estar nunca más cerca de 2 1/2 diámetros entre sí, con respecto al diámetro del tornillo usado. Así mismo la separación de los barrenos más cercanos a las esquinas, nunca deberá ser inferior a 40 mm., para evitar el debilitamiento de las matrices.

#### IV-4 ENSAMBLE FINAL.

A pesar de haber sido maquinadas las zonas de ajuste entre las diferentes partes del molde, siempre existirán imperfecciones que se deben corregir en el ensamble final. Esta operación se hace a mano, utilizando herramientas delicadas como son limas, entre otras. En esta etapa se colocan los vents y para facilitar el trabajo estos deben estar en agua con hielos cuando menos un par de horas antes de empezar la maniobra, esto con el objeto de que se contraigan y que permitan el ser colocados en su lugar más fácilmente. Sus ranuras siempre deberán ir orientadas en una sola dirección para facilitar su limpieza cuando

esta se haga usando medios mecánicos y manualmente.

Los tornillos deberán ser colocados con compuesto antiferrante Garlock tipo A, ya que de no hacerlo así, una vez trabajado el molde será sumamente difícil removerlos, llegando al grado de descabezarlos frecuentemente.

Cuando por alguna causa queden imperfecciones en la cavidad de moldeo, ya sean poros o rayones, deberán ser resanados con plastiacero Devcon, que es el único relleno que soporta los efectos del vapor.

## CAPITULO V. MANTENIMIENTO DE MOLDES.

Todos los mecanismos requieren de mantenimiento, los moldes para EPS no son la excepción, de hecho estos más que ninguno requieren de supervisión y servicios constantes, por lo que se han diseñado técnicas de servicio las cuales es conveniente seguir al pie de la letra para evitar reparaciones mayores posteriores.

### V-1 PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Cada molde que es usado sin importar lo prolongada que haya sido su operación, requiere de mantenimiento al ser desmontado de la máquina, dicho mantenimiento debe ser proporcionado lo más rápido posible, ya que el proceso es a base de vapor y como todos sabemos el vapor tiene la tendencia a crear depósitos de sarro, los cuales resultan sumamente perjudiciales al molde, por impedir una adecuada transferencia y disipación del calor, además de bloquear tanto agujas como vents. Por lo tanto de no llevarse al cabo oportunamente recién bajado el molde, el sarro se endurecerá trayendo como consecuencia un incremento considerable en el trabajo de mantenimiento.

Como primer paso, se tiene que sumergir el molde en un ácido llamado "P-3" cuyo uso es delicado y ataca la piel, por lo que se deberá usar guantes. Como es más denso que el agua y además se evapora al contacto con el aire, se le mantiene en una charola del tamaño de los moldes más grandes, cubierto con una capa de agua de 10 cm. de espesor como mínimo, para evitar que se fugue

a la atmósfera, no solo por el hecho de que sus vapores son tóxicos, sino también

\*(Distribuido por Quinzifios S. A.)

porque su costo es excesivamente alto y su adquisición es difícil.

El molde deberá mantenerse 10 minutos sumergido en el ácido y al sacarlo se le debe dar un baño de agua con un chorro de alta presión, este tratamiento remueve al sarro que en esta circunstancia queda como gelatina y en consecuencia el agua se lo lleva con facilidad. Sin embargo este ácido no ataca al poliestireno y cuando dicho material tapa vents ó agujas, se hará necesario removerlo mediante métodos de acción mecánica; para este fin existen unos manguillos que en la punta tienen insertados un pedazo de fleje con la punta angulada, de tal forma que puede ser introducido en las ranuras de los vents. Las agujas se limpian rebarrendo. Este se deberá hacer cuando mucho a cada 1000 ciclos.

## V-2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y SUS PRINCIPALES CAUSAS.

Las principales causas del mantenimiento correctivo son roturas ó fisuras sobre el molde, siendo otra causa frecuente el cambio total de vents, acumulamiento excesivo de sarro por la parte posterior del molde, desprendimiento de partes atornilladas y despedazamiento total del molde. Entre otras, las antes mencionadas son las importantes por su frecuencia.

Las fisuras son corregidas reforzando al molde por su parte posterior, cuidando siempre el exceso de metal. Estas fallas aparecen cuando la altura de los postes no ha sido ajustada adecuadamente.

Colocando una placa de latón de máximo 1/4" por la parte posterior del molde, se barrenan tanto el molde como la placa simultáneamente y después se machuelea y se colocan los tornillos que serán cortados la ras por

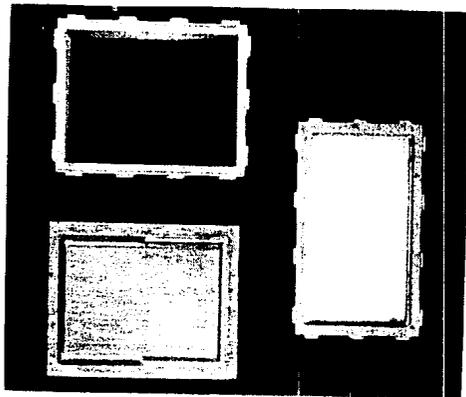
el lado de la cavidad de moldeo. La otra opción para reparar las fisuras es la soldadura, pero ya que esta requiere de equipo y personal especializado para su aplicación, solo es usada en piezas de pequeño tamaño que puedan ser introducidas en hornos para su tratamiento, además de ser sumamente cara.

Cuando se ha acumulado una gruesa capa de sarro, el procedimiento del ácido no es funcional, pues tendría que repetirse múltiples ocasiones para lograr los resultados requeridos, es por esto que se utiliza el Sand Blast con micro esfera de fibra de vidrio, proceso que da excelentes resultados.

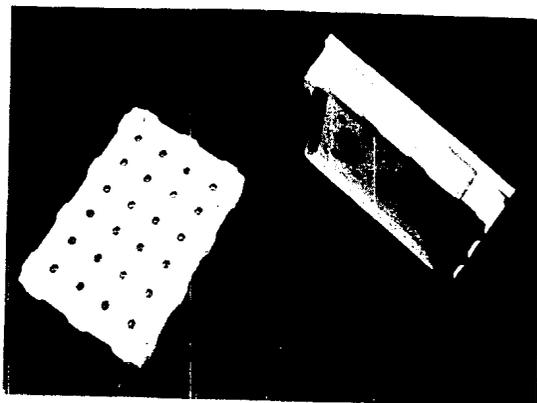
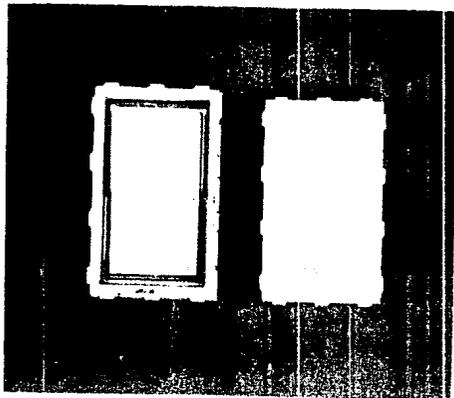
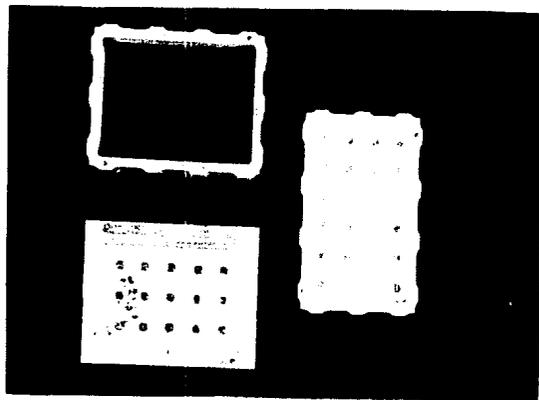
Cuando el molde ha trabajado en exceso, el material tiende a cristalizarse y puede quebrarse con facilidad. Se calcula la vida promedio de un molde en 400,000 ciclos, existiendo moldes que han llegado al millón de ciclos. Pero cuando esto sucede, el único remedio será el de reemplazar el molde por uno nuevo.

Cuando se haga necesario el reemplazo de la totalidad de los vents, se utilizarán los de la medida inmediata superior.

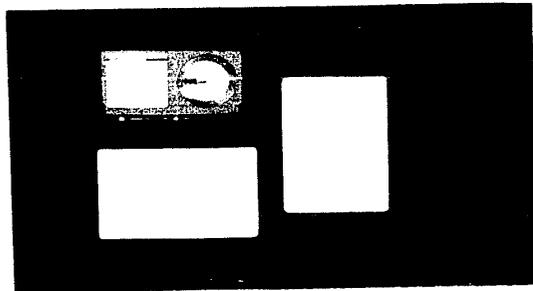
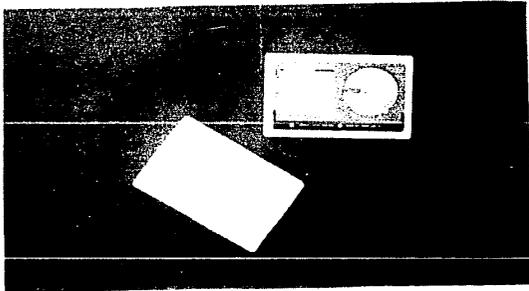
Modelos de madera, (1er. paso).



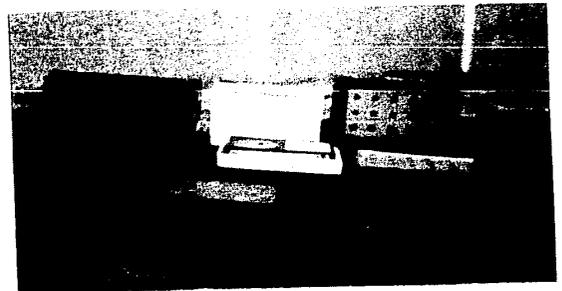
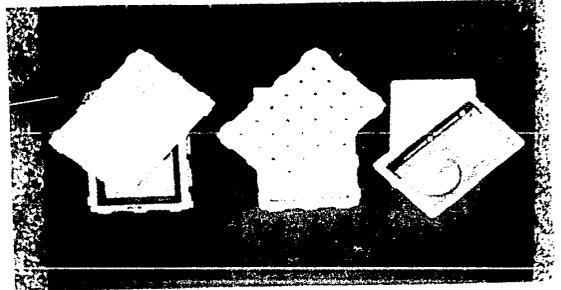
Molde de aluminio completamente terminado,  
(2o. paso).



Producto Final, Caja moldeada en EPS (3er. paso).

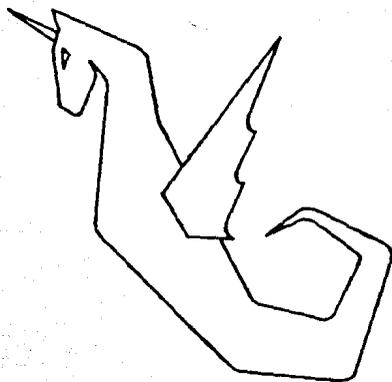


Apresiacion Simultanea de los tres pasos principales.



## CONCLUSIONES.

Creo que este trabajo cumplió con el objetivo planteado inicialmente, por el hecho de que al finalizarlo se obtuvieron resultados satisfactorios en lo que respecta a todo el proceso de fabricación de piezas físicas, desde el diseño de la pieza y fabricación del molde, hasta la obtención de empaques moldeados con EPS, quedando además abierta la posibilidad para las personas que así lo deseen, de obtener de una manera fácil y sencilla piezas de poliestireno expandible, con la ventaja de que dentro de la Facultad, se cuenta con todos los recursos necesarios para hacerlo sin recurrir a proveedores foráneos. Así mismo, muchas personas que pudieron observar el proceso de cerca, conocieron más a fondo las características de este material y de esta forma se cubre también una de las principales partes del objetivo, que es la de dar mayor difusión al POLIESTIRENO EXPANDIBLE "EPS" ( EXPANDEN POLYESTIRENE ) .



AMATTO

BIBLIOGRAFIA

MODERN PLASTICS ENCILOPEDIA .	AÑOS 1979
	1981
	1982
	1983
	1986
TUBERT CO, MACHINARI AND MATERIALS	1976
PRODESA, NUEVAS TECNOLOGIAS	1982
POLICLES "LA ESPUMA DE POLIESTIRENO COMO MATERIAL DE EMPAQUE"	1984.