

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA, según acuerdo número 00933087 con fecha 29-1-93.

ESCUELA DE INGENIERÍA



"DISEÑO DE UNA BLOQUERA RECICLADORA DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE"

T E S I S

PRESENTADA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

R E S E N T A
D G A R J I M É N E Z L Ó P E Z

PROFESOR DE TESIS: ING FRANCO ANTONIO OSUNA GARZÓN
GUADALAJARA, JALISCO, 2000.



CLASIF: TE IEM 2000 JLM

ADQUIS: 50686

FECHA: 10/07/03 4

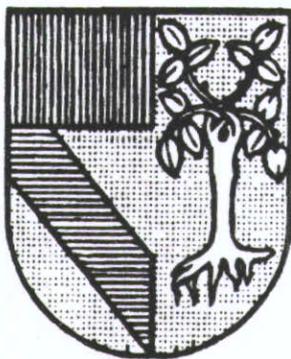
DONATIVO DE _____

\$ _____ agregar 47579

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA, según acuerdo número 00933087 con fecha 29-I-93.

ESCUELA DE INGENIERÍA



"DISEÑO DE UNA BLOQUERA RECICLADORA DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE"

T E S I S

PRESENTADA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

P R E S E N T A
EDGAR JIMÉNEZ LÓPEZ

ASESOR DE TESIS: ING FRANCO ANTONIO OSUNA GARZÓN
GUADALAJARA, JALISCO, 2000.



UNIVERSIDAD PANAMERICANA
SEDE GUADALAJARA

DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACION

EDGAR JIMENEZ LOPEZ

Presente

En mi calidad de Presidente de la Comisión de Exámenes Profesionales y después de haber analizado el trabajo de titulación en la alternativa tesis titulado “ **DISEÑO DE UNA BLOQUERA RECICLADORA DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE**”, presentado por Usted, le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado de Examen Profesional, por lo que deberá entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

Atentamente

EL PRESIDENTE DE LA COMISION

Zapopan, Jal., marzo 06 del 2000



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

SEDE GUADALAJARA

Noviembre 30 de 1999

COMITÉ DE EXÁMENES PROFESIONALES
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Hago constar que el alumno: **EDGAR JIMENEZ LOPEZ**, ha terminado satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado: **“DISEÑO DE UNA BLOQUERA RECICLADORA DE POLIESTIRENO EXPANDIBLE”**, que presentó para optar por el título de la Licenciatura en Ingeniería Electromecánica.

Se extiende la presente para los fines que convengan al interesado.

Atentamente

ING. FRANCO ANTONIO OSUNA GARZON
Asesor de Tesis
Escuela de Ingeniería Electromecánica

DEDICATORIAS

A DIOS:

Por dejarme llegar a esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES:

Por su apoyo.

A MIS HERMANOS:

Por ayudarme a resolver todos los problemas que se me
presentaron durante mi carrera.

A MIS MAESTROS:

Quienes fueron los que me guiaron en mi preparación
académica.

ÍNDICE

	Página	
1	Introducción.	1
1.1	Planteamiento del problema.	2
1.2	Justificación.	2
1.3	Criterios Teórico-Metodológicos.	5
2	Conceptos Teóricos.	7
2.1	Conceptos teóricos del "Poliestireno Expandible".	7
2.2	Propiedades del "Poliestireno Expandible".	7
	a) Propiedades mecánicas.	8
	b) Propiedades térmicas.	13
	c) Propiedades higroscópicas.	13
	d) Propiedades químicas.	15
	e) Propiedades de absorción de energía.	16
3	Aplicaciones del bloque de poliestireno.	18
3.1	Aligerante.	18
3.2	Aislamiento térmico y acústico.	19
3.3	Marinas flotantes.	24
3.4	Carreteras.	25
4	Conceptualización de la Bloquera, Requerimientos y Especificaciones.	28
4.1	Ambiente de la máquina.	28
4.2	Especificaciones.	31
5	Diseño de la Bloquera.	41
5.1	Paredes.	41
5.2	Sistema de alimentación de vapor y perla.	48
5.3	Puerta.	48
5.4	Platillos.	59

5.5	Pared móvil.	63
5.6	Base.	70
5.7	Proceso continuo.	82
6	Costo de la Bloquera.	83
	Conclusiones.	87
	Bibliografía.	89
	Apéndice I.	90

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el diseño de máquinas requiere de conocer campos tan diversos e interesantes tales como mecánica de materiales, estática y dinámica, electricidad, electrónica y ahora el manejo de software avanzados para complementar y lograr un diseño óptimo de las máquinas; además de realizar una gran cantidad de pruebas de tipo estático y dinámico a cada elemento de la máquina que lo requiera, para asegurar que en el ensamble se obtenga, como resultado, una máquina con un funcionamiento óptimo y duradero.

Por otra parte la necesidad de aplicar y desarrollar nuevos materiales, que sean baratos y de alta calidad, y que ofrezcan una amplia gama de aplicaciones, es parte del avance tecnológico en el cual somos partícipes de muchas maneras, y principalmente porque nosotros mismos somos quienes demandamos este tipo de bienes.

El uso del "Poliestireno Expandible" es relativamente reciente, desde hace 25 años; y su gran versatilidad es ejemplo claro del avance tecnológico en que vivimos.

El empleo de máquinas moldeadoras de "Poliestireno Expandible" es clave en esta industria del plástico, siendo su demanda creciente. Estas máquinas moldeadoras son llamadas más específicamente BLOQUERAS, las cuales son indispensables para el desarrollo de nuevos empaques y productos de poliestirenos, además de que estos bloques de poliestireno, por sí solos, tienen un vasto rango de aplicación.

1.1 Planteamiento del Problema.

Hoy en día el mundo de la industria es más competido y agresivo en todos los aspectos, desde el servicio al cliente hasta la investigación y desarrollo de nuevos productos, que permitan a la empresa ganar posición y permanecer en el mercado. Así es como "Aislantes y Empaques" ve el mercado.

"Aislantes y Empaques" es una empresa mexicana líder en la expansión del poliestireno y la más grande en su clase en toda la República Mexicana. El interés de esta empresa por esta tesis es: "Apoyar el desarrollo máquinas procesadoras del 'Poliestireno Expandido' con tecnología propia, capaces de crear productos de la más alta calidad mundial".

Un aspecto importante, que es necesario mencionar y el cual motivó a "Aislantes y Empaques" a apoyar esta tesis, fue el costo tan elevado que se tiene que pagar por la tecnología de punta en este ramo, la cual, cabe mencionar, proviene del continente europeo, más específicamente Alemania e Italia.

1.2 Justificación.

Se entiende, pues, que el avance tecnológico forma y debe formar parte de la vida de cualquier empresa. "Aislantes y Empaques", como cualquier otra empresa, desea aumentar la calidad en sus productos, su variedad y también disminuir el tiempo de entrega y costo de producción, con el propósito de asegurar al cliente. Y claro está que para lograr esto es necesario contar con máquinas eficientes y muy flexibles que incrementen la productividad en el proceso.

El "Poliestireno Expandible" tiene varias características que lo hacen muy versátil, siendo una de éstas en la que ésta tesis se enfoca, y es, precisamente, que el poliestireno es reciclable. Es necesario realizar un proceso de compresión y mezcla para poder reutilizar el poliestireno. Básicamente el problema surge en el momento de utilizar el material a reciclar, ya que tiene una forma física muy irregular (pues se tritura), y es por eso que el producto terminado es de baja calidad; así que para elevar esa calidad lo que se hace es mezclar el material a reciclar, llamado comúnmente "triturado" con material virgen, de manera que el producto sale con una calidad desde regular hasta buena dependiendo del porcentaje de material triturado que contenga el producto. Pero el problema no se queda ahí, ya que el concepto de calidad no es exclusivamente el porcentaje de material virgen y triturado que pueda tener el producto, sino que también se mide dependiendo de la distribución que tenga el material virgen con el triturado. En la Fig. 1 se puede ver como el material virgen y el triturado forman capas entre sí, provocando que la calidad del producto decaiga considerablemente; mientras que en la Fig. 2 se puede ver el caso ideal en donde el material virgen y el triturado están perfectamente mezclados entre sí.

Una observación importante en cuanto al alcance de esta tesis es que se enfoca exclusivamente al desarrollo mecánico de una bloquera. Para tener una idea más clara de lo que es una bloquera la se definirá por el momento como una máquina que tiene como función la de expandir el poliestireno en una cámara hermética, cuyo producto es un bloque de dimensiones

Perla virgen

"Triturado"

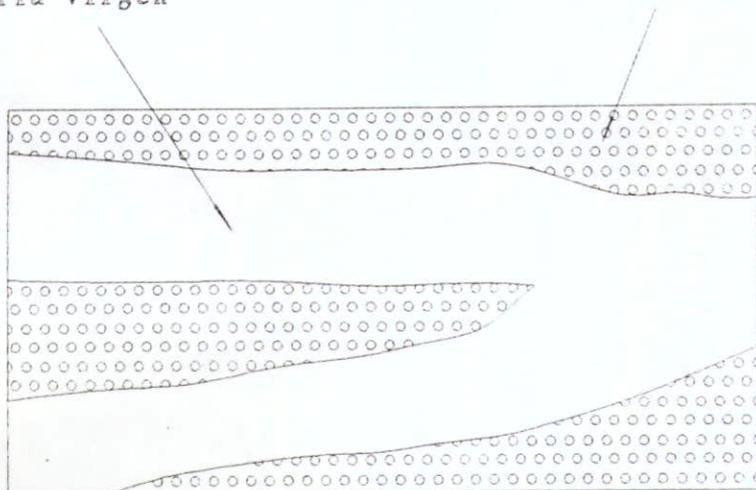


Fig. 1

Mezcla perfecta de "Perla virgen"
 y material "Triturado"

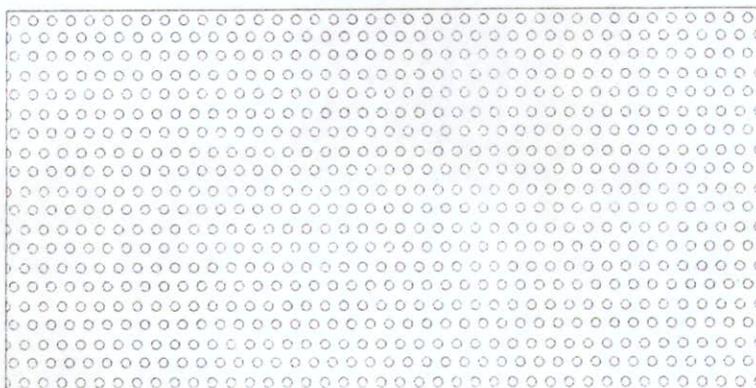


Fig. 2

estándar. Una bloquera recicladora es aquella que tiene la facultad de expandir de manera apropiada el material triturado con el material virgen. El material virgen, llamado perla de poliestireno es aquel que nunca antes ha sido procesado, se caracteriza por ser de forma esférica y puede tener varios tamaños, desde un milímetro de diámetro hasta un centímetro, básicamente.

En la actualidad la mezcla del material triturado y virgen se limita a la producción de bloques exclusivamente.

1.3 Criterios Teórico-Methodológicos.

El primer paso consiste en obtener información de las bloqueras de expansión de poliestireno típicas como puede ser construcción y sus materiales, y entender su funcionamiento. Esta información se puede obtener de manuales y literatura especializada y por observación en la operación de estas máquinas.

Una vez entendido su funcionamiento, el segundo paso es el de checar posibles especificaciones ya estandarizadas, como por ejemplo el tamaño del bloque, factores de compresión, fuerzas de desprendimiento, presión y temperatura de trabajo, además de identificar las variables de operación claves. Todo esto se obtiene, como ya se mencionó, por medio de consulta de manuales técnicos del poliestireno así como manuales de operación de las máquinas y, sobretodo, esto con asistir a la planta para ver operar este tipo de máquinas.

Toda esta información nos ayudará a diseñar nuestra bloquera en base a los conceptos de la mecánica de materiales. Todos los movimientos de los mecanismos de la bloquera no producen velocidades ni aceleraciones considerables, así que su estudio se enfoca básicamente a la estática y teoría de elasticidad.

Conclusión: El objetivo de esta tesis se puede expresar como el desarrollo de una máquina moldeadora de bloques de poliestireno hecho por una excelente mezcla de triturado y perla virgen, y cuyo costo sea menor al de una bloquera convencional en el mercado.

2. CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1 Conceptos básicos del "Poliestireno Expandible".

El poliestireno expandible que, por las grandes ventajas que ofrece al mercado actual, ha encontrado sus principales puntos de consumo en tres grandes áreas:

+ La construcción. En donde el poliestireno tiene varias funciones como son el de aligerante, aislador térmico y acústico, en la fabricación de concreto ligero, en marinas flotantes, y hasta en la construcción de carreteras.

+ Empaque. Principalmente se usa para la protección de productos industriales, como son computadoras, televisores, etc.

+ Productos desechables. Aquí caen todos los demás productos que no entran en las dos anteriores clases, como son los tortilleros, hieleras, cajas para fruta, flotadores, artículos navideños, semilleros y los vasos térmicos entre otros.

2.2 Propiedades del "Poliestireno Expandible".

El "Poliestireno Expandible" posee una serie de propiedades las cuales están determinadas básicamente por la densidad a la que se encuentra y por el grado de fusión alcanzado durante el moldeo así como por la naturaleza propia del polímero. En general, las propiedades del "Poliestireno Expandible" necesarias para el diseño de los productos se clasifican en [6]:

- a) *Propiedades mecánicas*
- b) *Propiedades térmicas*
- c) *Propiedades higroscópicas*
- d) *Propiedades químicas*
- e) *Propiedades de absorción de energía*

a) PROPIEDADES MECÁNICAS

La curva esfuerzo-deformación del "Poliestireno Expandible" es como la de los materiales elastoplásticos, en donde se obtiene una línea recta hasta el límite de cedencia y después del límite elástico, el esfuerzo se incrementa nuevamente hasta alcanzar un valor máximo, después de este valor se llega al punto de esfuerzo de ruptura [6].

Quando un material se somete a un esfuerzo mayor al de cedencia, éste experimenta una deformación permanente aún cuando el esfuerzo desaparezca. Cuando se maneja un material que tiene puntos de cedencia bien definidos se pueden determinar todos los demás puntos de la curva de esfuerzo-deformación del material. Debido a que el "Poliestireno Expandible" no tiene puntos de cedencia bien definidos, generalmente se determinan los valores máximos en la determinación de tensión (Fig.3), corte (Fig.4) y flexión (Fig.5). Una de las propiedades más importantes del "Poliestireno Expandible" es su gran resistencia a la compresión (Fig.6).

Una nota importante a comentar es que las piezas moldeadas con este material no alcanzan su condición óptima de trabajo sino hasta los dos días de haberse manufacturado;

*Resistencia a la Tensión
vs. Densidad kg / m³*

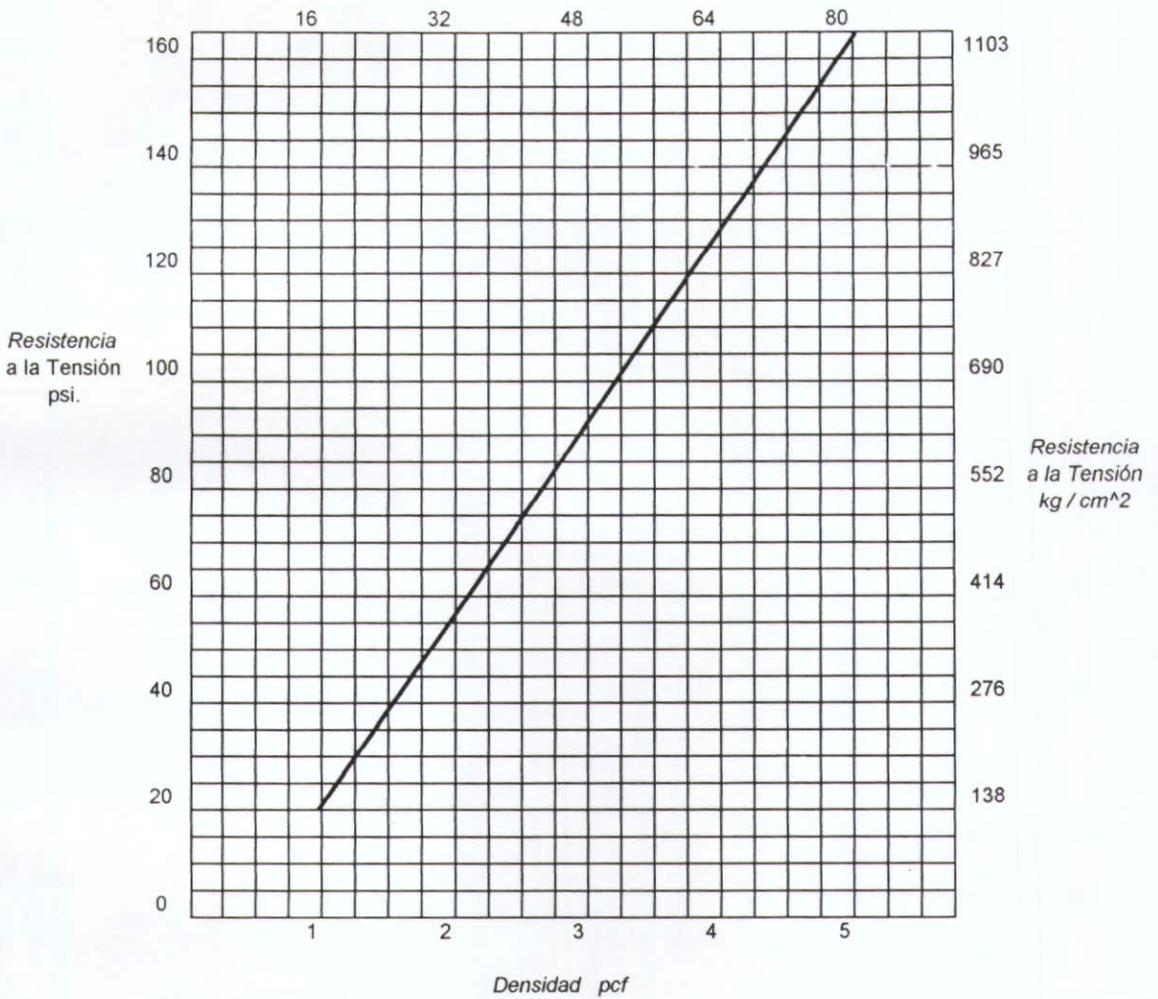


Fig.3

*Resistencia al Corte
vs. Densidad kg / m³*

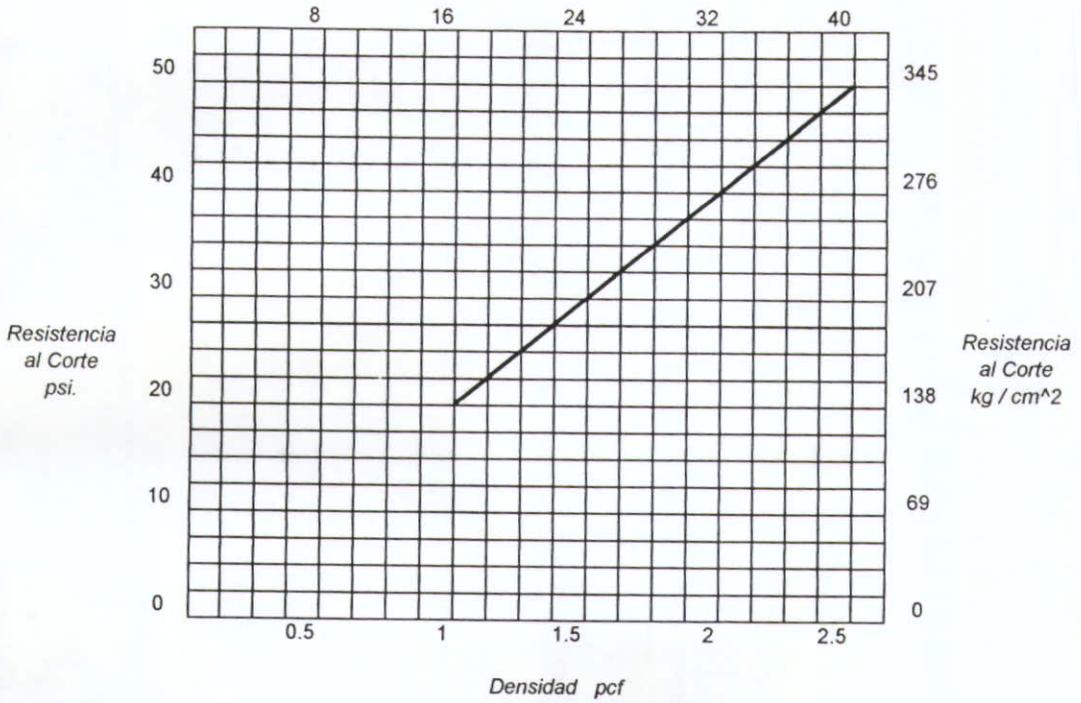


Fig.4

*Resistencia a la Flexión
vs. Densidad kg / m³*

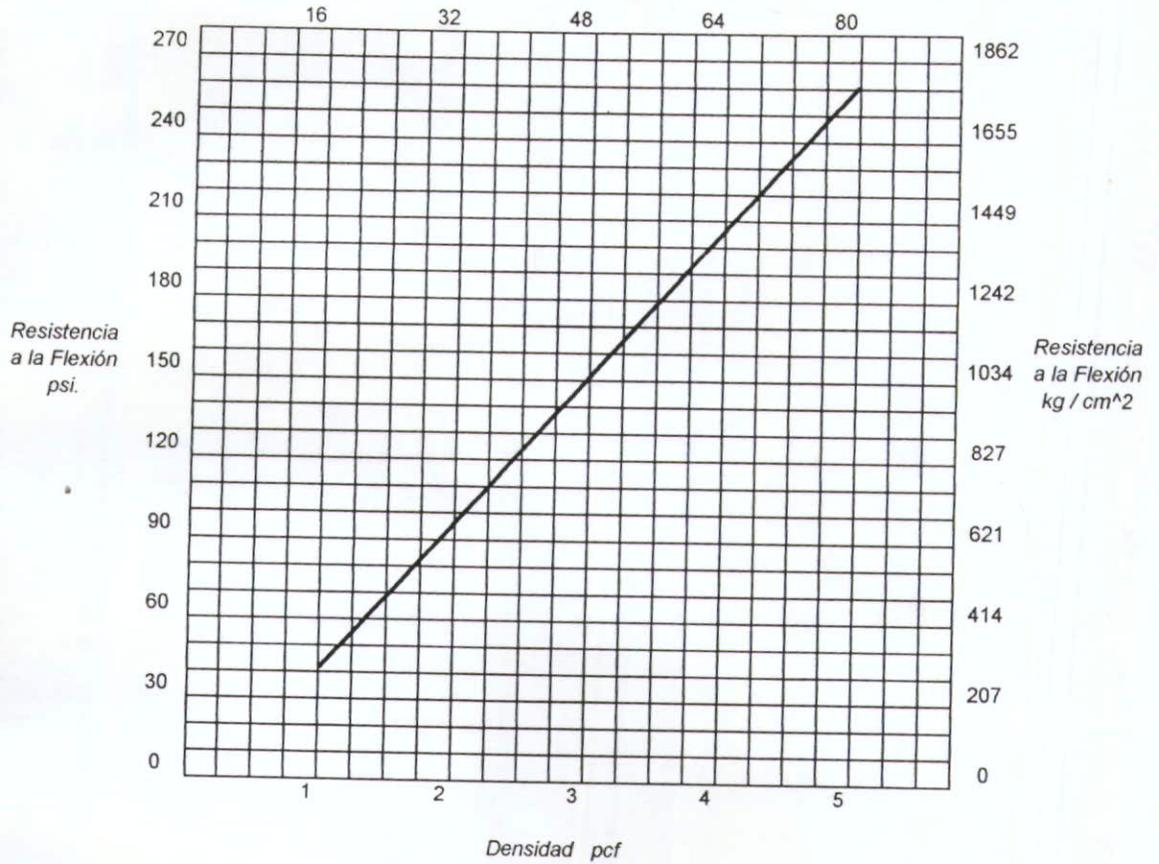


Fig.5

Resistencia a la Compresión
vs. Densidad kg/m^3

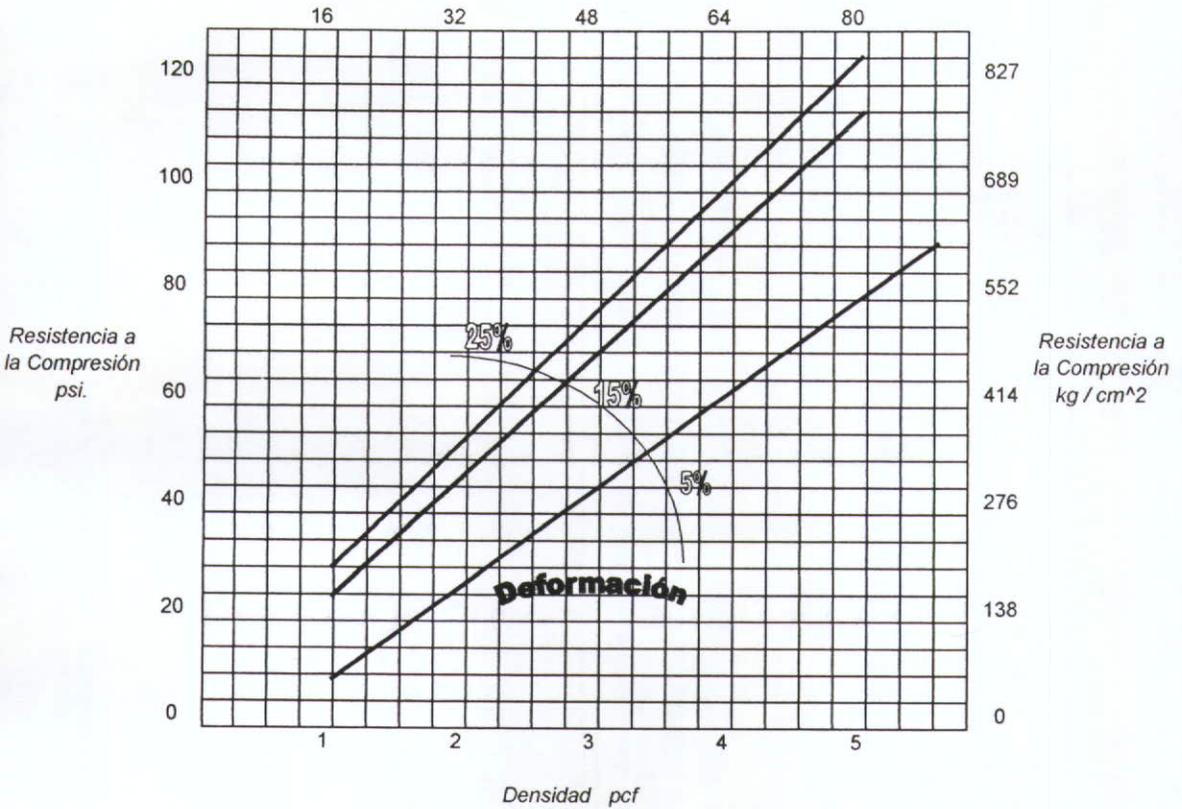


Fig.6

ya que después de haberse moldeado, éstas piezas conservan una "sensibilidad", esto hasta que el vacío parcial formado en las celdas, que resulta del enfriamiento y condensación del vapor, sea equilibrado por la absorción de aire.

b) PROPIEDADES TÉRMICAS

El "Poliestireno Expandible" tiene un bajo coeficiente de conductividad térmica (Fig.7), gracias a esto se emplea en sistemas donde se requiere reducir al máximo el gradiente de temperatura. Hay varios factores necesarios a comentar respecto a este punto.

A temperaturas bajo cero el "Poliestireno Expandible" no es quebradizo, y no pierde sus propiedades al impacto. A altas temperaturas el "Poliestireno Expandible" pierde sus propiedades mecánicas hasta llegar al punto de "resistencia cero" el cual se alcanza a los 88°C aproximadamente. Por lo que se recomienda no exponer este material de manera continua a temperaturas mayores de 80°C [6].

c) PROPIEDADES HIGROSCÓPICAS

+ Absorción de agua. El "Poliestireno Expandible" es un material que no es soluble en agua, ni la absorbe, esto debido a la estructura que presenta, que es la que no permite la absorción del agua por capilaridad. Sin embargo, una pequeña cantidad puede absorberse en los huecos de la estructura del material, la cual varía dependiendo de la densidad del material (Tabla 1). Mientras más baja sea la densidad la capacidad de absorción de la pieza es mayor, y viceversa [6].

Conductividad Térmica a 24°C.
vs. Densidad kg/m^3

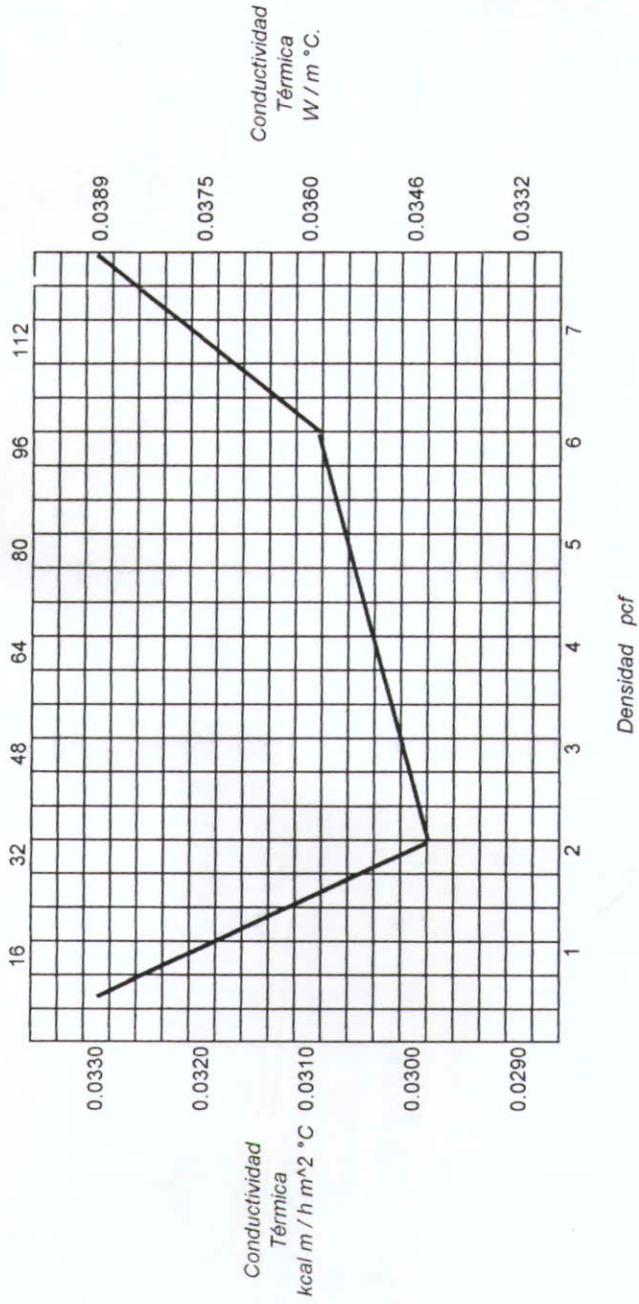


Fig.7

"Absorción del Agua en el Poliestireno"

Densidad Kg/m ³	Kg. Agua absorbida por m ²
16	0.24
24	0.20
32	0.20
40	0.20
48	0.20
80	0.15

Tabla 1

d) PROPIEDADES QUÍMICAS

Hay elementos que degradan o descomponen el "Poliestireno Expandible" al estar en contacto directo como son sustancias químicas, bacterias, fuego, etc. [6].

+ Reactivos químicos. El "Poliestireno Expandible" es un poliestireno natural que resiste algunos ácidos y sustancias acuosas. Es conveniente no exponer este material a ácidos como el nítrico, el perclórico, ácido sulfúrico, cloro y bromo, los cuales lo descomponen. Soluciones alcalinas y saladas no afectan para nada el "Poliestireno Expandible".

+ Solventes. El "Poliestireno Expandible" normalmente se descompone al contacto con los solventes.

+ Hongos y bacterias. El "Poliestireno Expandible" no favorece el crecimiento de bacterias ya que no contiene sustancias que puedan resultar nutrientes para el desarrollo de estos microorganismos, de igual manera, los hongos tampoco crecen sobre superficies de este material. En los casos en

que se presenta el crecimiento de estos organismos es por que el material ha sido contaminado, lo cual puede suceder después de que el material se a expuesto al ambiente contaminado. El "Poliestireno Expandible" no es atacado tampoco por hormigas, termitas o roedores.

+ Combustión. El "Poliestireno Expandible" es un material combustible, por lo que no debe exponerse a la flama o fuentes de ignición. El "Poliestireno Expandible" tiene un calor de combustión de 17,400 Btu/lb, donde los compuestos derivados por esta combustión son monóxido de carbono, agua y hollín.

+ Propiedades toxicológicas. El "Poliestireno Expandible" es un producto inocuo por lo que no tiene efectos negativos al encontrarse dentro de un ambiente en el que los seres humanos o cualquier ser vivo tuviera contacto directo con este material, ya sea por inhalación, contacto físico e inclusive por ingestión, no provoca reacción alguna en el organismo.

e) PROPIEDADES DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA

Debido a la estructura que posee el "Poliestireno Expandible" y al alto porcentaje de aire contenido, este producto tiene una gran capacidad de amortiguamiento que le permite absorber la energía que se produce al ser sometido a golpes y vibraciones [6].

Es gracias a esta propiedad por la que el "Poliestireno Expandible" se prefiere para el empaque de productos frágiles que tienen que ser transportados.

Conclusión: El "Poliestireno Expandible" tiene tantas propiedades, que hoy en día lo que falta es encontrarle más aplicaciones. El encontrar más aplicaciones a este material garantiza a la empresa penetrar y extender su mercado, y si eso se logra entonces, la empresa tiene mayores posibilidades de permanecer en el mercado.

3. APLICACIONES DE LOS BLOQUES DE POLIESTIRENO.

3.1 Aligerante.

Debido a la gran demanda de viviendas y edificaciones, consecuencia del crecimiento demográfico; los constructores actualmente buscan opciones que los lleven a menores costos y menores tiempos de construcción, dando así lugar a la sustitución de los elementos rígidos y pesados para fabricación de losas por elementos más ligeros y con un menor trabajo estructural, que permiten reducir el tiempo de mano de obra y dar un mayor avance a la construcción de la losa.

El poliestireno es uno de los productos que surgen como una respuesta a esta necesidad, ya que es posible optimizar el uso del acero de refuerzo y la cantidad de concreto en las losas. El primer producto obtenido de los bloques de poliestireno para esta aplicación es el *casetón*, seguido después por el sistema *vigueta-bovedilla* hasta los *paneles estructurales* [6].

Casetón: El casetón es una pieza de poliestireno en forma de bloques, el cual se fabrica en densidades aproximadamente de 10 kg/m^3 , esto le da la ligereza a las piezas, razón por la cual un solo trabajador puede manejar paquetes de hasta diez piezas cada uno, con lo que se reducen considerablemente los tiempos de la obra en el tendido de losa (Fig. 8a). Es precisamente en esta aplicación donde se recicla el mayor porcentaje del poliestireno ya que los casetones se forman de hasta un 30% de material triturado.

El casetón se fabrica en diversas medidas dependiendo de los requerimientos del constructor. El poliestireno se integra a la sección de losa que no está sujeta a esfuerzos mecánicos.

Vigueta-Bovedilla: Es una alternativa muy económica para las construcción de losas, principalmente en viviendas, en las cuales no se requieren grandes cantidades de acero de refuerzo (Fig. 8b).

3.2 Aislamiento térmico y acústico.

El poliestireno es un excelente aislante térmico ya que tiene una de las conductividades térmicas más bajas dentro de los materiales empleados para construcción. Asimismo posee un bajo coeficiente de transmisión acústica debido a su estructura interna en forma de celdas múltiples que contienen aire [6], las cuales absorben gran parte de las vibraciones generadas en las edificaciones por pisadas, voces y sonidos de aparatos eléctricos o mecánicos (Fig. 9a).

El uso del poliestireno permite además obtener ahorros considerables de energía al emplear sistemas de calefacción y aire acondicionado, ya que se mantienen las temperaturas interiores durante periodos más prolongados, por lo que se requiere que los equipos de acondicionamiento funcionen durante menos tiempo.

Placa Térmica: El uso más difundido de la placa aislante térmica y acústica es en la construcción de vivienda (Fig. 9b), edificios comerciales, locales comerciales y

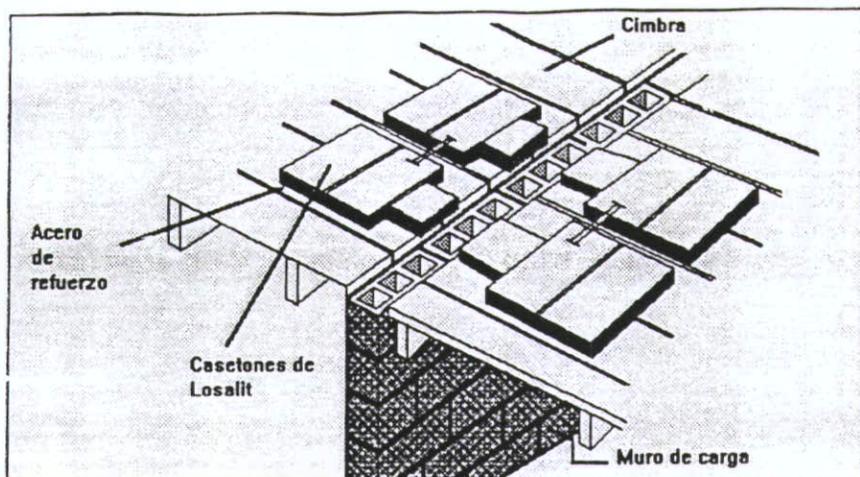


Fig. 8a

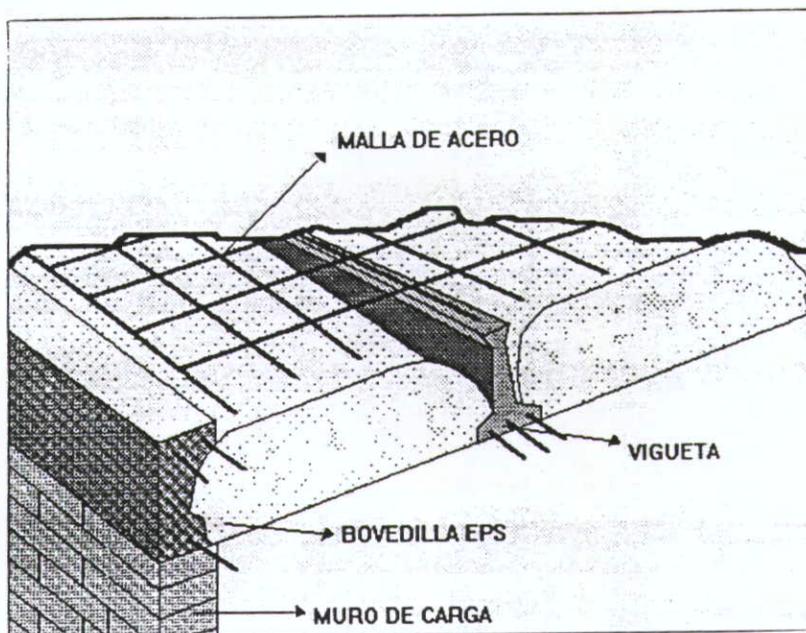


Fig. 8b

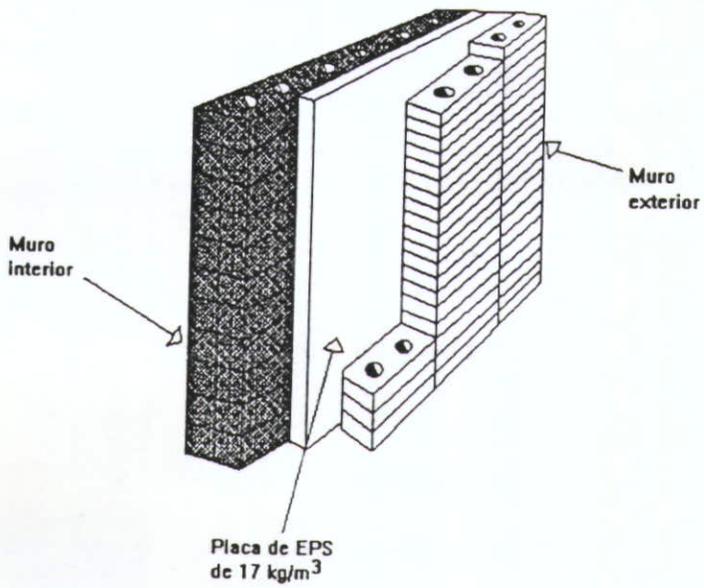


Fig. 9a

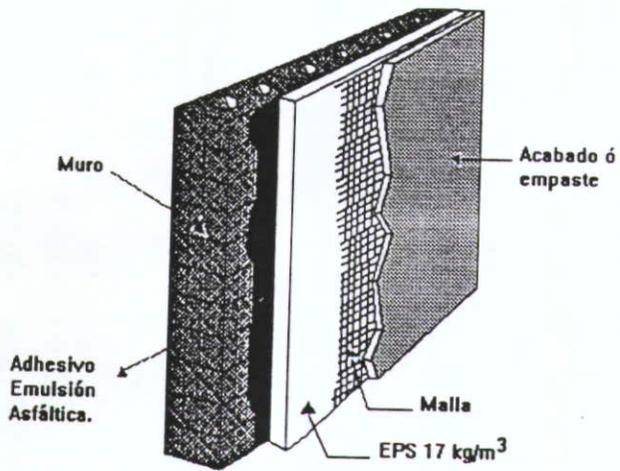


Fig. 9b

principalmente en la industria de la refrigeración y en todos los casos en que se requiere de una temperatura controlada.

Plafón: El *plafón* o *cielo falso* ocupa un lugar importante en la construcción en general, este tiene por objeto no solo el ser agradable a la vista, sino además ayuda a conservar temperaturas adecuadas en locales comerciales, oficinas, cines, hospitales, etc. Pero lo que lo hace tan demandante es la facilidad con que se realizan las labores de mantenimiento de ductos, tuberías e instalaciones eléctricas que se encuentran ocultas por el *plafón*, con tan solo remover las placas que sean necesarias sin ningún problema.

El *plafón* consiste de placas de poliestireno (Fig. 10) que pueden llevar acabados diversos en su cara visible que van desde figuras o cortes diseñados sobre la misma placa, hasta la aplicación de tirol u otros acabados que realzan la vista. Además proporcionan un efecto de iluminación más eficiente ya que el *plafón* tiene un alto índice de reflexión de la luz.

Medias Cañas: Utilizadas para el aislamiento térmico en las tuberías y equipos de procesos criogénicos (Fig. 11), cumplen con las siguientes funciones:

- Reducir la ganancia de calor.
- Facilitar el control de temperatura en los procesos.
- Evitar la condensación de vapor de agua o la formación de hielo en superficies frías.

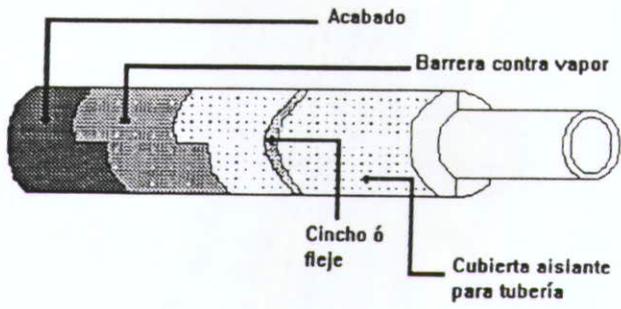
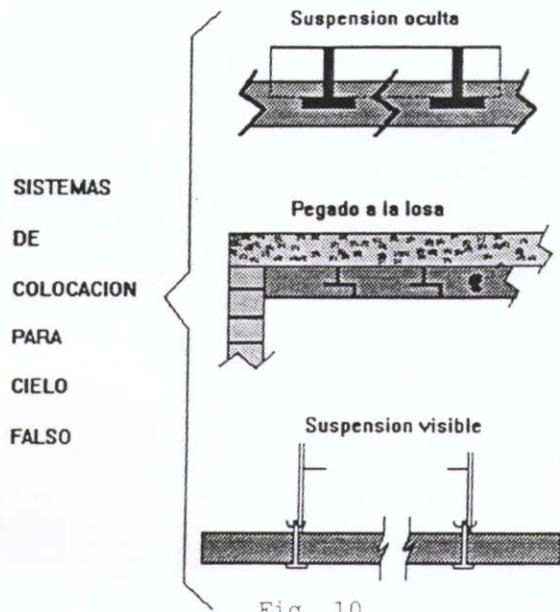


Fig. 11

- Aminorar las fluctuaciones de temperatura cuando no existe algún medio para controlarlas.

3.3 Marinas flotantes.

El bloque de poliestireno resulta un material idóneo para aplicaciones de flotación, esto es debido al alto contenido de aire atrapado y que le proporciona características que lo hacen útil para estas aplicaciones.

El bloque de poliestireno puede ser empleado para la construcción de marinas flotantes, casas flotantes y balsas. La ventaja de usar estos bloques es su no disminución de la capacidad de flotación aún cuando el material es perforado. Esto significa que los bloques de poliestireno son más seguros contra los daños mecánicos que los elementos de flotación de estructura unicelular, tales como los barriles o tambores [6].

Algunas de las características que hacen del poliestireno un material adecuado para esta aplicación son:

- No es un material tóxico.
- Es estable en el manejo ya que no sufre daños durante el mismo, además puede ser cortado fácilmente para adecuar las dimensiones requeridas.
- No libera polvos ni se fragmenta.
- Tiene capacidad permanente de flotación.
- No se pudre ni es corrosivo.
- No despidе olores aún estando húmedo.

3.4 Carreteras.

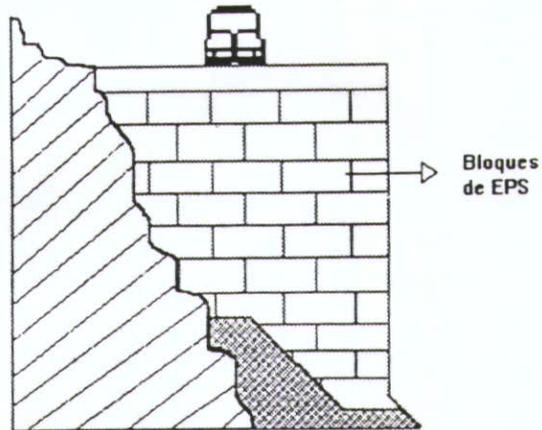
Cuando se construyen carreteras y suelos, debe considerarse que estos tienden a deformarse y hundirse con el paso del tiempo, el qué tan rápido ocurre esta deformación está ligado directamente a la carga que incide sobre el suelo.

La baja resistencia de los subsuelos son una pobre resistencia a la carga (Fig. 12a), implica que las cargas concentradas deben eliminarse tanto como sea posible para así evitar que las capas del suelo sean desplazadas hacia los lados.

Cuando se tiene que realizar una reparación, esta normalmente resulta costosa, cuando se emplean las técnicas convencionales para el mejoramiento de suelos. Al emplear materiales ligeros, el peso del terraplén de la carretera o de la construcción, se reduce considerablemente y con esto también se reduce la carga sobre el subsuelo (Fig. 12b).

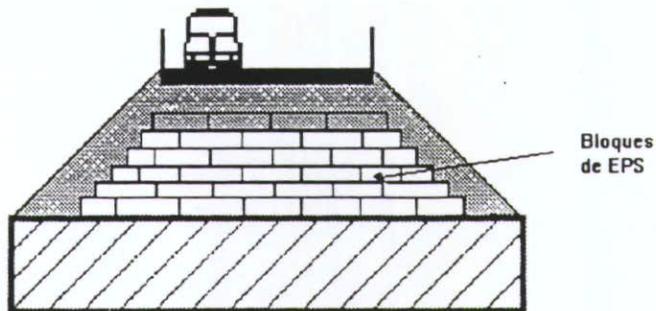
Es aquí donde se hace importante la aplicación de los bloques de poliestireno como un material ligero que reduce los hundimientos. El desarrollo de esta técnica de construcción se basa en la experiencia obtenida con placas de poliestireno aplicadas como protección contra la formación de hielo en carreteras y vías de ferrocarril en el país de Alemania. Las propiedades que hacen del bloque de poliestireno idóneo para la construcción de carreteras son:

- Buen comportamiento bajo cargas estáticas o dinámicas.



TERRAPLANES IRREGULARES.
 Reconstrucción de áreas
 inclinadas.

Fig. 12a



TERRAPLANES DE CARRETERAS
 Cargas reducidas sobre subsuelo, en comparación
 con los terraplenes convencionales.

Fig. 12b

- Mínima absorción del agua.
- No se degrada ni reacciona con sustancias presentes en el subsuelo.
- No se desarrollan hongos o bacterias.
- Sus propiedades no se ven afectadas a bajas temperaturas.

En los países europeos es muy común el empleo de bloques de poliestireno:

- Como infraestructura en suelos de escasa capacidad de carga.
- Como relleno de contrafuertes de puentes, para reducir la presión de la tierra, causada por fuerzas horizontales que son generadas por el desplazamiento de vehículos.
- Para reconstruir taludes en carreteras que se han derrumbado.

Conclusión: El mercado de la construcción en México crece día a día, debido a la urbanización de las ciudades más importantes del país, esto implica una creciente demanda de productos de bloques de poliestireno y por lo tanto de máquinas moldeadoras de bloques de poliestireno.

4. CONCEPTUALIZACIÓN DE LA BLOQUERA, REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES.

4.1 Ambiente de la máquina.

"Aislantes y Empaques" planta Guadalajara se compone de varias naves de producción que son básicamente cuatro: prensas, bloqueras, corte y serigrafía. La nave de bloqueras consta de 8 silos con capacidad cada uno de 60 m^3 , un silo para el material triturado con una capacidad de 672 m^3 que se encuentra afuera de la nave debido a su tamaño, además se cuenta con una máquina trituradora de 5 hp y dos bloqueras ambas de dimensiones 0.56 m (22 plg.) x 1.22 m (4 pies) x 4.88 m (16 pies); una es vertical totalmente automática y la otra es horizontal totalmente manual.

La bloquera que se propone en esta tesis es vertical de 0.56 m (22 plg.) x 1.22 m (4 pies) x 2.44 m (8 pies) con doble alimentación: una de triturado y otra de perla virgen (Fig. 13), control manual o automático dependiendo del que se desee instalar.

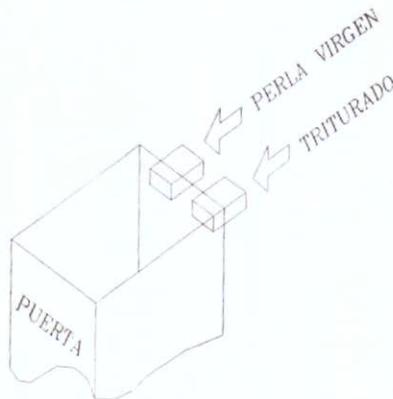


Fig. 13

Los ocho silos sirven para almacenar la perla virgen y la mezcla entre ésta y el triturado, el cual ya va directamente a las bloqueras para su procesamiento. Pero como nuestra bloquera toma los elementos directamente de sus respectivos silos, ahorramos el espacio de hasta dos silos, los cuales pueden ser ocupados ahora por más material de perla virgen, lo cual nos aumenta instantáneamente la capacidad de producción de bloques.

Una bloquera tiene como elementos primarios la perla de poliestireno (virgen y/o triturado) y vapor de agua saturada. Otros elementos necesarios son energía eléctrica (para el sistema hidráulico), aire comprimido y agua. La mano del hombre se puede decir que dependerá del control que se le deseé instalar, ya que puede ser tan sofisticado que no sea necesaria su intervención; o también cabe el caso contrario en que el operario controle totalmente el funcionamiento de la máquina. En este último caso el operario deberá tener una gran capacitación.

Por el tipo de conexiones de las tuberías para el vapor, el agua y los silos de la materia prima, es necesario una altura de aproximadamente 6 metros en la nave, mientras que el área requerida para la instalación de esta máquina será de aproximadamente de 3.5 m x 2 m para la máquina (Fig.14).

Para el almacenaje de los bloques de poliestireno es suficiente una altura de 3 metros. Aunque en la realidad en un almacén para este tipo de productos se debe tener 6 m de altura libre, porque hay máquinas que tienen la capacidad de

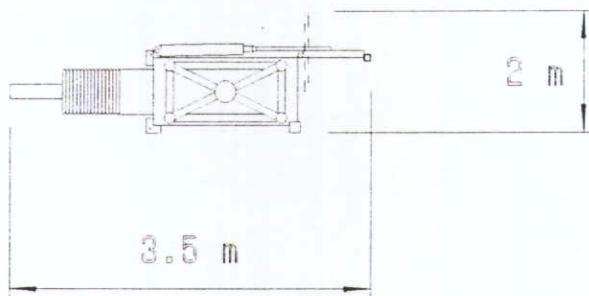
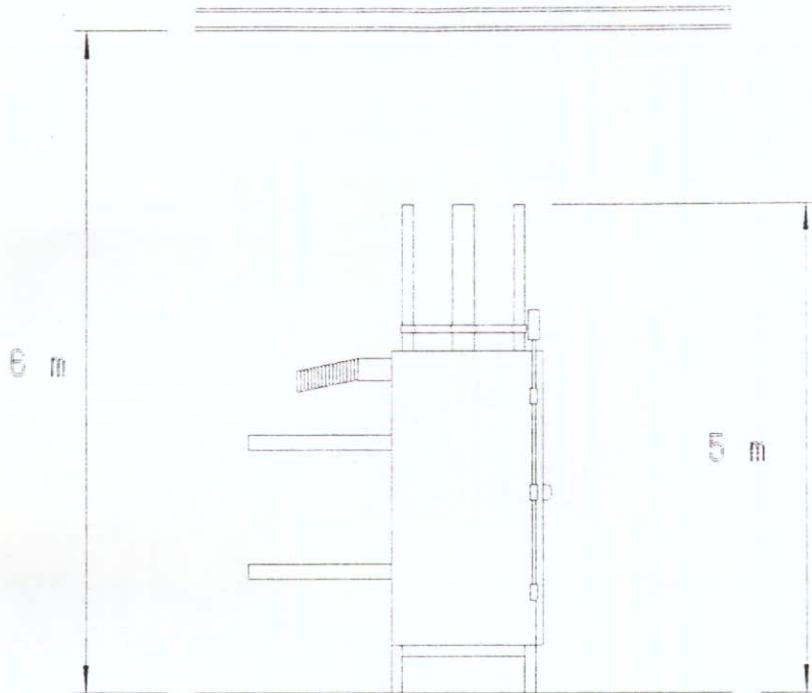


Fig. 14 Dimensiones Generales

producir bloques de hasta 5 metros de altura como las que existen en la planta de Guadalajara.

4.2 Especificaciones de la Bloquera.

Máquina: Bloquera Recicladora de Poliestireno Expandido.

Posición: vertical.

Alimentación de la perla: horizontal por arriba.

Dimensiones del producto (bloque): 2.44 m (8 pies) x 1.22 m (4 pies) x 0.56 m (22 plg.).

Temperatura de operación (máx.): 128°C.

Presión de operación (máx.): 150 kPa (1.5 bar).

Para la operación de la máquina y almacenaje del producto será suficiente un operario, la acción de "acomodar" el bloque toma alrededor de 30 segundos, los bloques de estas dimensiones pesan cuando mucho 35 kg. El hacer un bloque toma, dependiendo del material a emplear, de entre 15 a 20 minutos, si el procedimiento se lleva a cabo manualmente. La bloquera se encuentra evidentemente en un ambiente húmedo, así que sus partes deberán estar pintadas, cromadas, galvanizadas o con cualquier otro tratamiento o protección, que eviten su corrosión.

Esta bloquera de poliestireno, como su nombre lo indica, es una máquina que produce bloques de poliestireno triturado. La bloquera es una cámara que debe estar cerrada herméticamente, con un ancho y una profundidad estándar de 0.56 m (22 plg.) y 1.22 m (4 pies) respectivamente; la cual puede tener diferentes largos. Las dimensiones de ancho y profundo ya mencionadas, son consideradas como estándar, esto

obedece a que hay máquinas que procesan el bloque de poliestireno, como son cortadoras, desbastadoras y transportadoras, que están diseñadas para manejar bloques de esa medida. Entonces el diseñar una bloquera con dimensiones menores a las estándar es desperdiciar espacio e incrementar el costo del proceso, ya que podría suceder que para completar un pedido (que son por volumen) se necesita más tiempo y energía. Y si se diseñara una máquina para un bloque de dimensiones mayores a las estándar, entonces estamos en un gran problema porque no se podrían procesar en las máquinas posteriores. En cuanto el largo de 2.44 m (8 pies) es un largo muy común y que tiene gran demanda.

La alimentación de la perla virgen o de triturado, puede ser con la cámara cerrada o abierta, es decir, la perla puede entrar a la cámara de la bloquera mediante una abertura específica y exclusiva para esta función, o "a puerta abierta", donde manualmente se introduce la perla a la cámara. Para lograr una apropiada formación del bloque es necesario llenar completamente la cámara. Esto es porque si se deja un volumen dentro de la cámara sin material, al momento de que ocurra la expansión, efectivamente el material va a rellenar ese hueco, pero la densidad ya no va a ser igual para todo el bloque de poliestireno. Se debe de hacer hincapié en que esto puede llevar a que un bloque sea rechazado por el mismo cliente al no tener una densidad uniforme.

Una vez que se llena la cámara de material y antes de iniciar el proceso de expansión, la cámara tiene que estar "cerrada".

Toda bloquera tiene que generar en el momento de la expansión un flujo de vapor, que "atraviese" su volumen para lograr la expansión, este flujo puede ser generado de unas paredes a otras, de una pared a otra. La rapidez y eficiencia de una bloquera depende del tipo de flujo que se escoja. Para nuestra máquina se considera la mejor opción que el vapor entre por todas las paredes (Fig. 15). Pero para lograr esto tendrán que estar comunicadas unas con otras mediante aberturas en la parte baja como se muestra en las figuras 15 y 16, y una vez lograda la expansión del poliestireno el vapor y los condensados van a salir a la cisterna (Fig. 16).

La bloquera como cualquier máquina debe tener elementos de seguridad, como en el caso del control de la máquina tiene que haber un botón de "Paro de Emergencia", y en los sistemas mecánicos elementos como válvulas de seguridad. Es importante hacer notar que la bloquera es sometida a una presión por el vapor, la cual es aproximadamente de 1 bar, entonces la estructura de la máquina deberá soportar sin ningún problema una presión de 150 kPa (1.5 bar), que será la "Presión de Diseño". Además de estos esfuerzos existen otros que "provienen" del bloque, y se producen cuando se realiza la expansión de la perla que llega a ser de hasta 140 kPa (1.4 bar), la cual paulatinamente va disminuyendo conforme se enfría y el flujo de vapor cesa. Es aquí que se deben determinar algunos elementos de seguridad importantes, como

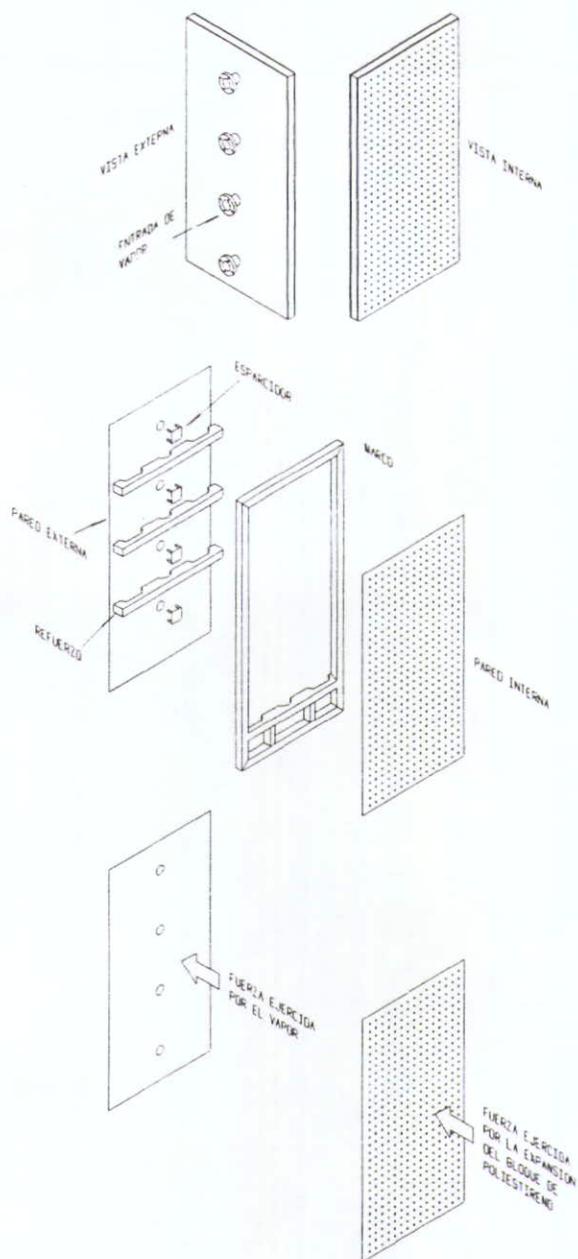


Fig. 15 Construcción de las Paredes

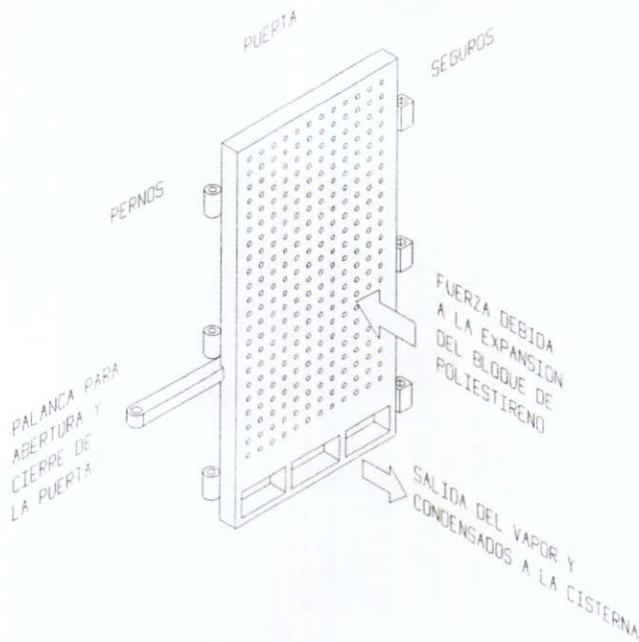
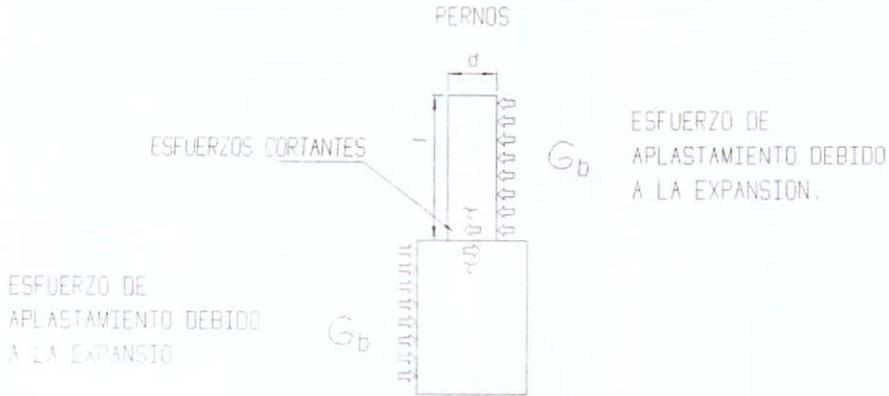


Fig. 16 Puerta

son las válvulas de seguridad y algunos otros elementos de control. Para que la presión del vapor no cause estragos a la máquina se pondrá una válvula de seguridad calibrada a 110 kPa (1.1 bar) en una de las paredes laterales. Si la presión debida a la expansión del bloque excediera 130 kPa (1.30 bar) lo que se hace es cortar el flujo de vapor y esperar hasta que el bloque se enfríe hasta una presión de 10 kPa (0.10 bar).

Lo anterior implica forzosamente, integrar a la máquina medidores de presión para el vapor, medidores de presión en algunos puntos estratégicos sobre las paredes internas de la bloquera.

Un aspecto importante a considerar es que una vez realizada la expansión el material que está en contacto con las paredes de la cámara, se pega a éstas; así que es necesario conocer esa fuerza de adherencia para calcular los pistones de extracción. Estos datos técnicos muy importantes no se encuentran en un manual, sino que son datos muy especializados y que se obtienen de cuestionar a personas expertas en este tipo de máquinas. Después de cuestionar a éstas personas técnicas se obtuvo lo siguiente:

+ Esfuerzo de desprendimiento vertical = 3,447 Pa
(0.50 psi).

+ Esfuerzo de desprendimiento por cortante = 690 Pa
(0.10 psi).

La cualidad de una bloquera recicladora es su capacidad de compresión del material, debido a que el material a reciclar tiene bajo poder de expansión, es necesario compactarlo. La compresión del material depende de un factor llamado "Factor de Compresión" (F.C.), el cual no es más que la relación del volumen del material triturado entre el volumen total de la cámara; mientras más grande sea este valor, mayor será la compresión a aplicar.

$$F.C. = \frac{\text{volumen_triturado}}{\text{volumen_total}} = \frac{\%Triturado}{100\%}$$

Como ejemplo es que si F.C. es menor a 0.10, no se aplica compresión, si F.C.=1.00 la compresión será como sigue:

- 1) La pared móvil comprime el material contenido en la bloquera hasta la mitad de la longitud total del bloque.
- 2) La pared móvil se regresa a su posición inicial y se rellena la cámara.
- 3) La pared móvil comprime un cuarto de la longitud del bloque.
- 4) Se rellena y se inicia el proceso de expansión.

Una característica distintiva de esta bloquera con respecto a otras es su forma de mezclar el material virgen y triturado y la compactación de la materia prima. Para la mezcla del material se pensó en una impulsión hacia dentro de la cámara al mismo tiempo para la perla virgen y el triturado, pero de tal manera que al momento de entrar en la

cámara por entradas distintas, se mezclen entre sí de manera intercalada, este principio se puede imaginar muy similar cuando mezclamos un mazo de barajas.

Para la compresión se pensó en que la pared superior sea la móvil, la cual tendrá un movimiento vertical y un desplazamiento obligado (precarga) de aproximadamente 0.18 m (7 plg.), en donde se encontrarán las entradas del material a procesar. Para calcular el pistón de la pared móvil es necesario conocer el esfuerzo de compactación; el cual, al igual que los esfuerzos para el desprendimiento vertical y horizontal, se obtuvo después de cuestionar a personas técnicas en procesos de expansión del poliestireno.

+ Esfuerzo de compresión = 3,447 Pa (0.50 psi).

El movimiento de la puerta será con tres bisagras a lo largo de la altura de una esquina de la bloquera y se asegurará con tres pernos del otro lado de la puerta fijos la bloquera y serán movidos por un pistón hidráulico de carrera corta que se colocará arriba de la bloquera, la puerta tendrá también un pistón hidráulico para abrirla y cerrarla. La pared móvil también se asegurará con cuatro pernos dos por un lado horizontalmente y otros iguales pero opuestos; todos accionados por un pistón hidráulico.

La admisión del vapor será por distintos puntos de las paredes laterales y traseras. La admisión de agua será exclusivamente por las paredes laterales; el agua es un elemento importante que nos ayuda a enfriar más rápido la pieza y aumenta la capacidad de producción de la bloquera. El

vapor entra a la cámara por medio de barrenos, típicamente se manejan barrenos con diámetro de 0.0012 m (3/64 plg.), y/o ranuras de 0.0012 m (3/64 plg.) x 0.013 m (1/2 plg.), (Fig.17), la cantidad y la distribución de estas pequeñas aberturas son el punto clave para fabricar una bloquera excelente o quedarnos en una bloquera poco eficiente.

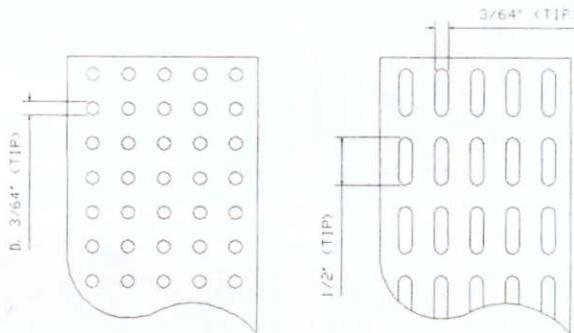


Fig. 17

El mantenimiento para este tipo de máquinas que se recomienda es:

- + Actividad mensual. Chequeo nivel de aceite en el sistema hidráulico y chequeo de cero fugas en las conexiones neumáticas y de vapor, y elementos hidráulicos.

- + Actividad anual. Limpieza interna de la máquina, que básicamente consiste en destapar y limpiar barrenos, ranuras y lijar superficies para quitar sarro. Chequeo de elementos de control (posible calibración) y limpieza de elementos de seguridad.

Conclusión: Una bloquera para poliestireno, es una máquina de un concepto de funcionamiento sencillo, cuyo punto más importante a cuidar es la cantidad y distribución de los barrenos y/o ranuras en cada pared para lograr el flujo más uniforme posible en la cámara de expansión.

5. DISEÑO DE LA BLOQUERA

5.1 Paredes.

Estos elementos de la bloquera son los que van a soportar la presión y dar forma al bloque. Para esto es necesario pensar en varios detalles importantes para su construcción.

1. Por la forma del bloque, tipo ladrillo, y sus dimensiones es necesario que las paredes en su parte interna tengan esa forma y con las dimensiones deseadas del bloque.

2. El vapor es el elemento expansor de la perla, y la perla a procesar tiene 0.003 m de diámetro en promedio, esto nos obliga a diseñar unas paredes con pequeñas aberturas para permitir la entrada del vapor y la vez que la perla no salga al momento de procesarlo.

3. El flujo de vapor deberá de ser lo más uniforme posible con el objetivo de que la expansión sea igualmente uniforme en todo el bloque; con esta idea las paredes internas se tendrán que barrenar y/o ranurar.

4. El vapor no deberá de escapar al exterior sino que tendrá que ir al drenaje. Entonces las paredes internas deberán estar seguidas de placas sólidas que nos permitan lograr esto. Es relevante mencionar que el contacto directo del vapor con la perla provoca una expansión rápida, pero el contacto prolongado hace que la perla termine por quemarse. Por eso se empleará una placa que proteja a la perla del vapor que entra directo a la cámara. El permitir el regreso del vapor al drenaje es con el objeto de:

- a) Recuperar el vapor del agua que ya se ha condensado.
- b) Si se permitiera que el vapor saliera del bloque al exterior sin ninguna dirección dificultaría la visibilidad de los controles de la máquina.

5. Las paredes deberán de tener una rigidez tal que la deflexión máxima provocada por la presión del bloque en la zona más débil de ésta, o sea el punto medio de las paredes, sea de 0.001 m.

Para el cálculo de las paredes se tiene que considerar que son placas de espesor constante apoyadas sobre el contorno. En el caso de las paredes externas se considera como presión de diseño a soportar de 150 kPa (1.5 bar), la deformación máxima será de 0.001 m y el material de la placa será acero al carbono, mientras que las paredes internas serán de acero inoxidable con una deformación de 0.005 m en el centro de la placa.

La razón de usar acero inoxidable en la parte interna es porque este material es muy resistente a la corrosión, no produce el óxido rojizo característico de las partes hechas en acero al carbón; y sobretodo se eligió porque es muy fácil de limpiar.

En el Manual del Ingeniero [8] se encuentran tablas y fórmulas para el cálculo de placas de espesor constante de diferente configuración, para diferentes modos de apoyo y diferentes cargas en el dominio elástico.

"Propiedades de los Aceros"

	Acero al carbono	Acero inoxidable
Densidad (kg/dm ³)	7.78	7.73
Coef. de Poisson	0.292	0.305
Mód. de Elasticidad E (GPa)	206	190

Tabla 2

Las fórmulas y las tablas están destinadas al cálculo de placas rectangulares, triangulares, trapezoidales, circulares, anulares, elípticas, etc. En el presente caso, las placas, son rectangulares, están empotradas (Tabla 3) en sus cuatro lados, es decir, el esquema 6 de la tabla, y su espesor se determinará considerando como un milímetro de deflexión máxima en el centro de la placa, y con una carga uniformemente distribuida en su superficie [8].

$$f_o = M \frac{q * l_x^4}{D}$$

Donde, f_o = deflexión en el centro de la placa.

q = carga sobre la placa.

D = rigidez.

M = multiplicador.

l_x = largo de la placa.

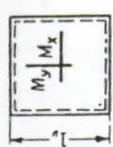
La rigidez está dada por:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

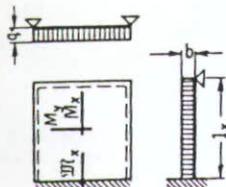
Donde, E = módulo de elasticidad del material.

"Placas Rectangulares apoyadas sobre su contorno, bajo una carga uniformemente repartida"

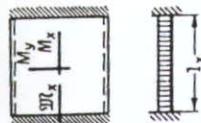
Esquema 1



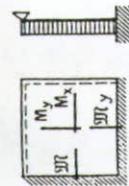
Esquema 2



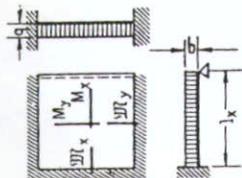
Esquema 3



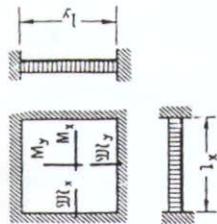
Esquema 4



Esquema 5



Esquema 6



Esquema	l_x/l_y					
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	
	Multiplicadores					para las flechas $q l^4 / D$
1	f_c	0,01013	0,00865	-0,00726	0,00603	0,00498
	M_x	0,0965	0,0820	0,0683	0,0560	0,0456
	M_y	0,0174	0,0243	0,0298	0,0334	0,0359
2	f_c	0,00488	0,00452	0,00407	0,00366	0,00323
	Δl_x	-0,1213	-0,1160	-0,1087	-0,1007	-0,0924
	M_x	0,0584	0,0538	0,0485	0,0428	0,0372
3	M_y	0,00660	0,0104	0,0151	0,0188	0,0221
	f_c	0,00262	0,00253	0,00240	0,00227	0,00212
	Δl_x	-0,0847	-0,0838	-0,0816	-0,0782	-0,0745
4	M_x	0,0413	0,0401	0,0380	0,0350	0,0319
	M_y	0,0017	0,0042	0,0075	0,0103	0,0135
	f_c	0,00468	0,00418	0,00360	0,00308	0,00257
5	Δl_x	-0,1126	-0,1018	-0,0988	-0,0875	-0,0773
	Δl_y	-0,0780	-0,0770	-0,0745	-0,0704	-0,0654
	M_x	0,0535	0,0452	0,0369	0,0290	0,0223
6	M_y	0,0098	0,0153	0,0197	0,0225	0,0252
	f_c	0,00251	0,00234	0,00208	0,00182	0,00154
	Δl_x	-0,0818	-0,0782	-0,0723	-0,0652	-0,0580
	Δl_y	-0,0559	-0,0562	-0,0561	-0,0551	-0,0532
	M_x	0,0399	0,0366	0,0321	0,0271	0,0222
	M_y	0,0038	0,0076	0,0116	0,0144	0,0165

l_x/l_y						
1,00	1,00/0,90	1,00/0,80	1,00/0,70	1,00/0,60	1,00/0,50	
Multiplicadores						para las flechas $q l^4 / D$
	para los momentos $q l^2$			para las flechas $q l^4 / D$		
	0,00406	0,00498	0,00603	0,00726	0,00865	0,01013
	0,0368	0,0359	0,0334	0,0298	0,0243	0,0174
0,0368	0,0368	0,0360	0,0356	0,0320	0,0265	0,01965
	0,00279	0,00361	0,00463	0,00593	0,00750	0,00927
	-0,0847	-0,0926	-0,1015	-0,1101	-0,1170	-0,1218
	0,0318	0,0330	0,0325	0,0310	0,0268	0,0204
0,0243	0,0332	0,0424	0,0554	0,0707	0,0881	0,1081
0,00192	0,00261	0,00355	0,00479	0,00644	0,00844	0,01084
-0,0698	-0,0799	-0,0902	-0,1108	-0,1017	-0,1213	-0,1413
0,0256	0,0306	0,0318	0,0319	0,0292	0,0234	0,0174
0,0158	0,0224	0,0316	0,0445	0,0602	0,0799	0,1018
0,00210	0,00257	0,00308	0,00360	0,00418	0,00468	0,00518
-0,0674	-0,0711	-0,0747	-0,0766	-0,0776	-0,0784	-0,0788
-0,0674	-0,0773	-0,0875	-0,0988	-0,1091	-0,1184	-0,1268
0,0234	0,0226	0,0203	0,0174	0,0126	0,0072	0,0022
0,0234	0,0291	0,0355	0,0426	0,0496	0,0559	0,0618
0,00157	0,00183	0,00205	0,00224	0,00242	0,00254	0,00266
-0,0545	-0,0554	-0,0564	-0,0565	-0,0562	-0,0559	-0,0554
-0,0397	-0,0660	-0,0717	-0,0771	-0,0811	-0,0835	-0,0848
0,0168	0,0151	0,0125	0,0091	0,0059	0,0027	0,0001
0,0128	0,0267	0,0311	0,0350	0,0384	0,0407	0,0421
0,00128	0,00154	0,00182	0,00208	0,00234	0,00251	0,00266
-0,0506	-0,0532	-0,0551	-0,0561	-0,0562	-0,0562	-0,0562
-0,0506	-0,0580	-0,0652	-0,0723	-0,0782	-0,0818	-0,0848
0,0176	0,0165	0,0144	0,0116	0,0076	0,0038	0,0019
0,0222	0,0271	0,0321	0,0366	0,0407	0,0444	0,0472

Tabla 3.

h = espesor de la placa.

ν = coeficiente de Poisson.

A lo largo de las paredes se pueden colocar refuerzos (Fig. 19), de tal suerte que el espesor de la placas disminuye al aumentar la cantidad de los refuerzos. Ya que el área donde actúa la presión del vapor y de la expansión es menor, provocando así mismo una disminución de la fuerza deflectora, y por ende una flecha menor.

En la tabla 3, los datos del multiplicador para el caso de 1.5, 2.5, 3.0 y 3.5 (l_x/l_y), no se encuentran, para obtener el multiplicador para 1.5 se obtiene de una interpolación lineal entre 1.00/0.70 y 1.00/0.60 de la tabla 3. Las demás relaciones l_x/l_y se obtienen de una línea recta entre dos puntos conocidos, donde la ecuación de una recta entre dos puntos es: $y - y_1 = ((y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)) * (x - x_1)$.

Para 2.5 los puntos conocidos son: 1.00/0.60 y 1.00/0.50, la ecuación es: $y = 0.00051x + 0.00149$.

Para 3.0 los puntos conocidos son: 1.00/0.50 y 2.5 (obtenido de arriba), la ecuación es: $y = 0.0005x + 0.00151$.

Para 3.5 los puntos conocidos son: 2.5 y 3.0 (obtenido de arriba), la ecuación es: $y = 0.0005x + 0.00151$.

Sustituyendo la fórmula de la rigidez (D) en la de la deflexión (f_0), se puede obtener la fórmula que determina el espesor de la placa.

$$f_0 = M \frac{q * l_x^4}{D}$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$f_0 = M * \frac{q * l_x^4}{E * h^3} = \frac{12 * M * q * l_x^4 * (1-\nu^2)}{E * h^3}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 * M * q * l_x^4 * (1-\nu^2)}{E * f_0}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 * 0.00280 * 150 * 10^3 \text{ Pa} * 0.348 \text{ m}^4 * [1 - (0.292)^2]}{206 * 10^9 \text{ Pa} * 0.001 \text{ m}}}$$

$h = 0.007 \text{ m}$, para el caso de 6 refuerzos, ver tabla 4.

Esta información nos muestra cómo el espesor de las placas varía considerablemente al aumentar la cantidad de refuerzos; lo importante aquí es emplear el número correcto de refuerzos para que el costo de la placa sea el más bajo, tomando en cuenta que mientras más gruesa sea la placa, más rígida será la máquina.

"Espesor de las Placas por Fórmula de la Rigidez"

l_y/l_x	Flecha (m)	Refuer.	Multip.	Espesor (m)
$1.22/2.44 = 0.5$	.001	0	0.00251	0.089
$1.22/1.22 = 1.0$	.001	1	0.00128	0.028
$1.22/0.813 = 1.5$	.001	2	0.00216	0.020
$1.22/0.615 = 2.0$	.001	3	0.00251	0.014
$1.22/0.488 = 2.5$	.001	4	0.00276	0.011
$1.22/0.407 = 3.0$	.001	5	0.00301	0.009
$1.22/0.348 = 3.5$	.001	6	0.00326	0.007

Tabla 4

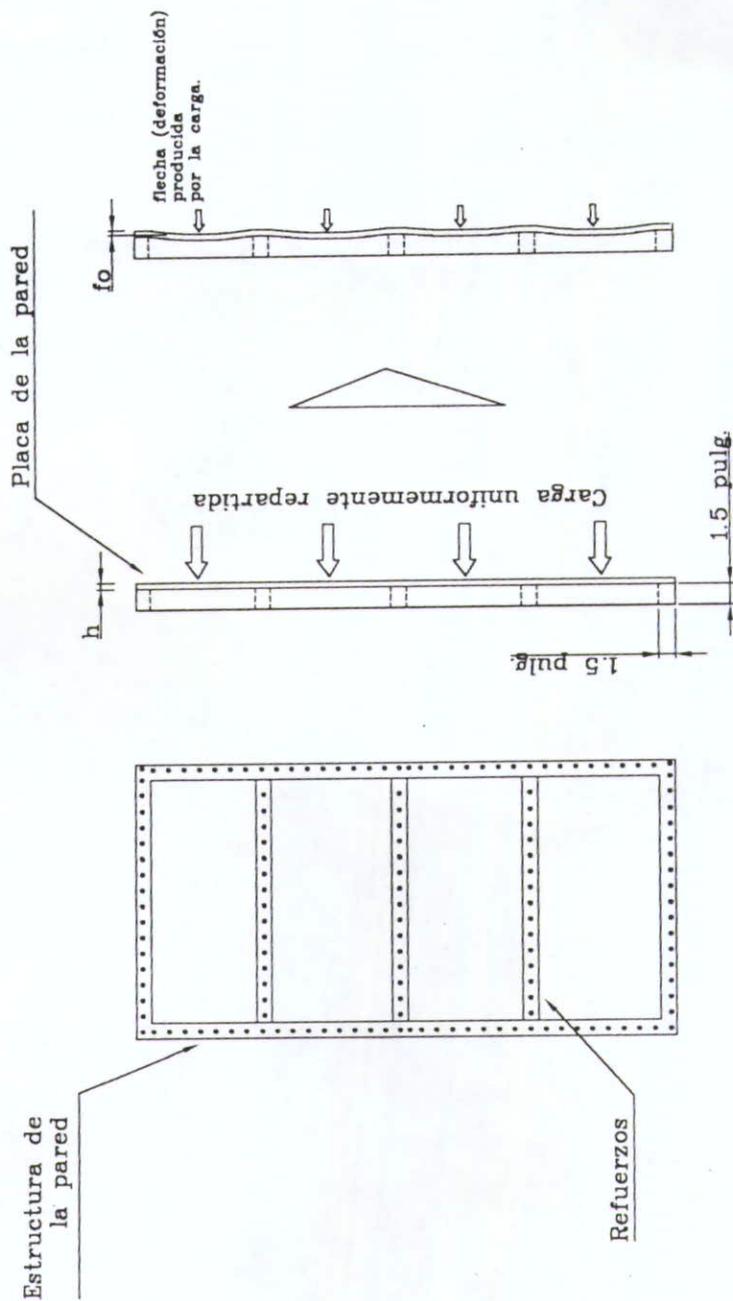


Fig. 19 Comportamiento de las Paredes

De la tabla anterior (Tabla 4) se puede decidir que una pared con 6 refuerzos es bastante buena, de tal manera que el espesor de las paredes (externas) será de 5/16 plg., o sea, 0.008 m.

Ahora, para determinar el espesor de las paredes internas, se hace el mismo procedimiento anterior, sólo que ya se sabe la cantidad de refuerzos de la pared: seis.

"Espesor de las Placas por Fórmula de la Rigidez"

<i>Flecha (m)</i>	<i>Refuerzos</i>	<i>Multiplicador</i>	<i>Espesor (m)</i>
0.005	6	0.00326	0.004 (0.167 plg.)

Tabla 5

De la Tabla 5 se puede decir que el espesor de la pared interna será de 0.005 m (0.1875 plg.). Y la flecha de 5 mm hará que el costo de las paredes sea menor. Además en las paredes internas se deben de colocar medidores de presión en distintos puntos para poder determinar el final del proceso de expansión.

Como se había comentado anteriormente, la mayoría de los técnicos concuerdan que el barreno o el ancho de la ranura recomendable en las paredes internas es de 0.001 m (3/64 plg.), con este diámetro o ancho de barreno se puede manejar densidades de hasta 22 kg/m³, lo cual es suficiente para el tipo de material que se trabaja en estas máquinas.

5.2 Sistema de alimentación de vapor y perla.

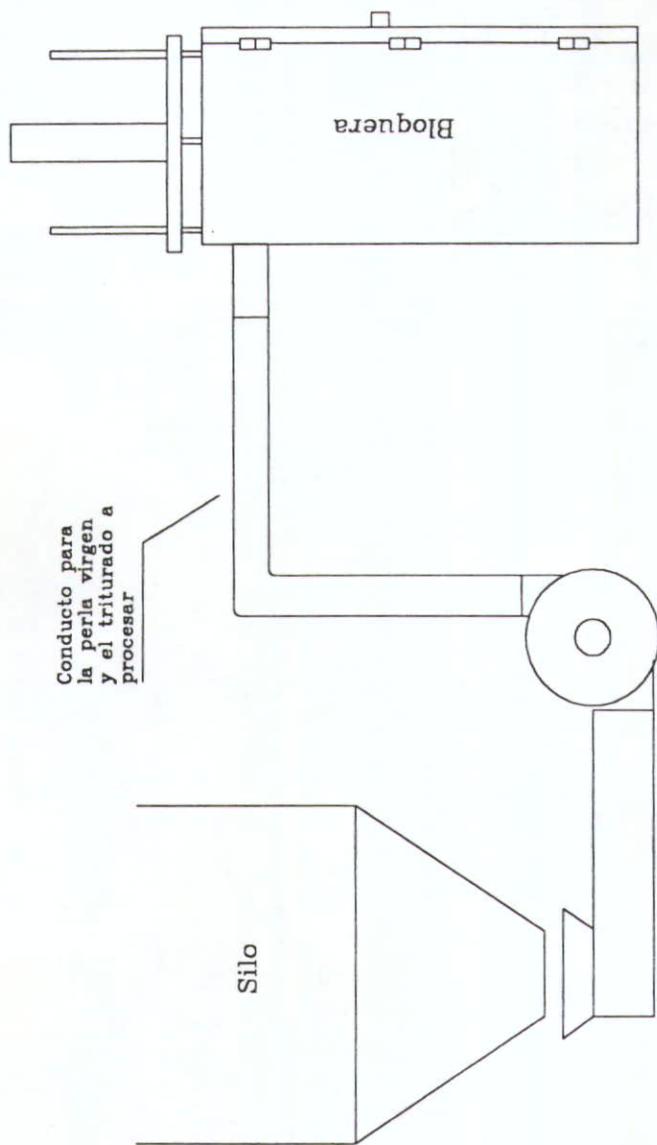
El diseño de la entrada del vapor será múltiple para permitir una rápida distribución del vapor en la cámara. Y como el vapor va a salir por la puerta y por la parte de abajo de la bloquera, será necesario elevarla para poder tener espacio para conectar tuberías de drenado. Además como la bloquera es de posición vertical se anclará para evitar problemas de posibles inclinaciones o movimientos que nos provoquen a la larga problemas con las conexiones de la máquina.

Para la alimentación de la perla se necesitan dos ventiladores de transportación. Uno para la perla virgen y otro para el "triturado" (Fig. 20).

5.3 Puerta.

En la puerta hay varios puntos importantes como son los pernos de las bisagras y el retorno del vapor; pero lo más importante son el mecanismo de aseguramiento de la puerta (lock) y el pistón hidráulico de apertura y cierre.

De datos tomados de las máquinas actuales se tiene que la presión de operación de vapor es de 90 kPa (0.9 bar) máxima, pero la presión ejercida por la expansión del bloque es de 130 kPa (1.3 bar) máxima, la presión de diseño es 150 kPa (1.5 bar). Entonces para calcular el espesor de los pernos se debe primero calcular la fuerza ejercida por la expansión y por el peso de la puerta para compararlas.



Conducto para
la perla virgen
y el triturado a
procesar

Fig. 20 Alimentación de la Materia Prima

+ Expansión.

$$\text{Área} = 0.56 \text{ m} \times 2.44 \text{ m} = 1.3664 \text{ m}^2.$$

$$\text{Presión de expansión} = 150 \text{ kPa.}$$

$$\text{Fuerza de expansión} = 204,960 \text{ N.}$$

+ Peso puerta.

$$\text{Peso (aproximado)} = 4,903 \text{ N (500 kg).}$$

Como se puede ver, la fuerza cortante debida al peso de la puerta es muy pequeña y con obtener el resultado para la fuerza de expansión es suficiente.

Esta fuerza se distribuirá en seis pernos, tres que funcionarán como bisagras y otros tres que harán de seguros. Los pernos tendrán que soportar cargas fluctuantes que aparecen cada vez que se produzca un bloque de poliestireno, por lo tanto podría fatigarse, de ahí entonces que el cálculo para el diámetro de los pernos se hará considerando que tendrán una vida infinita.

Para los pernos se empleará acero AISI 1018 el cual tiene el siguiente esfuerzo último al corte [1]:

$$\tau_U = 320 \text{ MPa.}$$

El límite medio de resistencia a la fatiga por cortante del material está dado por [1]:

$$S'_{SE} = 0.28\tau_U.$$

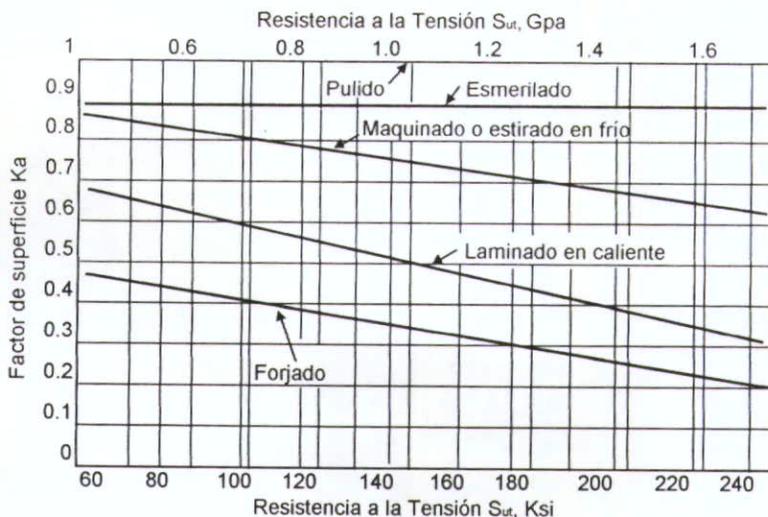
$$S'_{SE} = 0.28 \times 320 \text{ MPa} = 89.6 \text{ MPa.}$$

Este límite medio será afectado por varios factores de ajuste, siendo el resultado el "Límite de resistencia a la Fatiga" S_E [1].

$$S_E = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_{SF}$$

+ Acabado superficial (k_a).

Los pernos serán maquinados, así que de la gráfica 1 se tiene que:



Gráfica 1

$$k_a = 0.87$$

+ Relación de dimensiones (k_b).

Se estima que el diámetro del perno será mayor de 0.008 m (5/16 plg.) y menor de 0.051 m (2 plg.). Entonces de la Tabla 6 se puede aceptar que:

$$k_b = 0.85$$

"Valores de k_b "

1	$d \leq 7.6 \text{ mm}$
0.85	$7.6 \text{ mm} < d \leq 50 \text{ mm}$
0.75	$d > 50 \text{ mm}$

Tabla 6

+ Nivel de confiabilidad (k_c).

Un nivel de confiabilidad del 90% es aceptable, entonces de la Tabla 7 se obtiene:

$$k_c = 0.897$$

"Valores de k_c "

Confiabilidad	Factor de confiabilidad k_c
50%	1.000
90%	0.897
95%	0.868
99%	0.814
99.9%	0.753
99.999%	0.659
99.999 99%	0.584
99.999 999 9%	0.520

Tabla 7

+ Temperatura de operación (k_d).

Los pernos no serán sometidos a temperaturas extremas así que:

$$k_d = 1.00$$

+ Factor de modificación por concentración de esfuerzos (k_e).

De la Tabla I.4, del apéndice I, correspondiente a un elemento con distintos diámetros sometido a torsión se tiene el factor de concentración de esfuerzos:

$$K_{TS} = 1.4$$

La sensibilidad por entalladura "q" para un radio de 0.003 m (1/8 plg.) es:

$$q = 0.95$$

De estos datos se puede calcular k_e dada por la expresión:

$$k_e = \frac{1}{1 + q(K_{TS} - 1)}$$

$$k_e = \frac{1}{1 + 0.95 * (1.4 - 1)} = 0.725$$

+ Efectos diversos (k_f).

Ninguno en consideración.

$$k_f = 1.00$$

+ Límite de resistencia a la fatiga,

$$S_e = 0.87 * 0.85 * 0.897 * 1.00 * 0.725 * 1.00 * 89.6 \text{ MPa}$$

$$S_e = 43.09 \text{ MPa} = 6,250 \text{ psi}$$

El dato obtenido es el esfuerzo cortante máximo permisible, y a partir de éste se obtiene el área y el diámetro mínimo del perno.

$$\tau = \frac{F_{\text{perno}}}{A}$$

Donde, $\tau = 43.09 \text{ MPa}$.

F_{perno} = fuerza cortante sobre cada perno.

A= área sometida a la fuerza cortante.

La cantidad de pernos a utilizar en la puerta será de 6, de los cuales 3 serán bisagras y los otros 3 como pernos seguros. Entonces la fuerza que deberá soportar cada perno es:

$$F_{\text{perno}} = \frac{204,960 \text{ N}}{6} = 34,160 \text{ N}$$

El área y el diámetro de los pernos están dados por:

$$A = \frac{F_{\text{perno}}}{\tau} = \frac{34,16 \text{ kN}}{43,090 \text{ kPa}} = 0.000793 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} A} = 0.0318 \text{ m}$$

Se usarán pernos de diámetro de 0.0318 m (1 1/4 plg.).

El esfuerzo de aplastamiento determinará la longitud mínima del perno, para esto se necesita determinar el esfuerzo de aplastamiento permisible para el material del perno. Para áreas proyectadas de tornillos, pernos o remaches en juntas a cortante (Fig. 21) se tiene:

$$\sigma_b = 0.6\sigma_y \quad [7]$$

$$\sigma_b = \frac{F}{d * l}$$

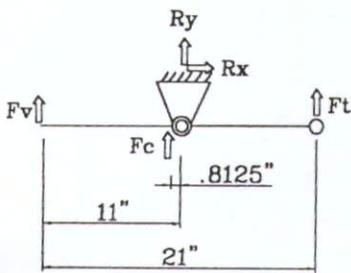
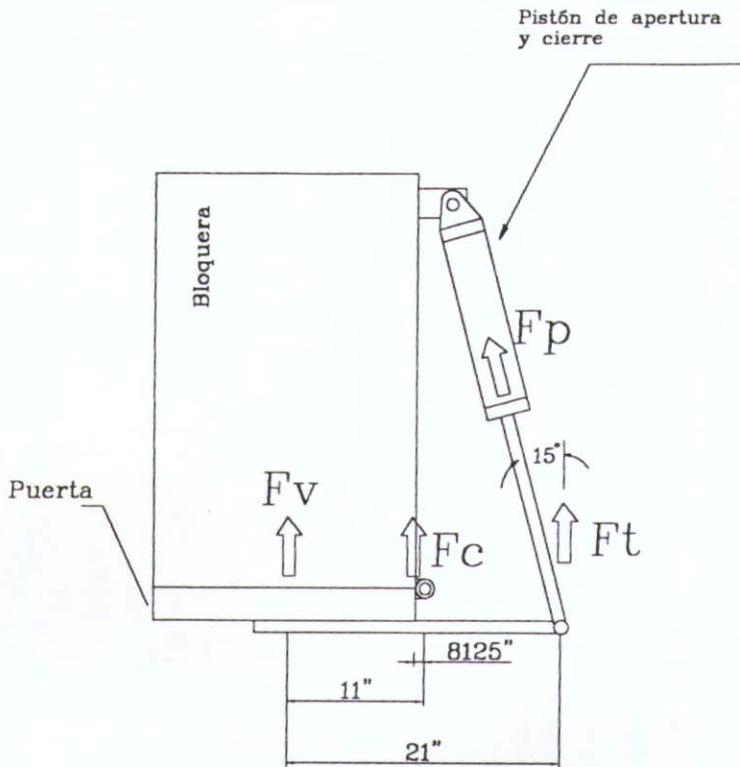
Donde, σ_b = Esfuerzo de aplastamiento.

σ_y = Esfuerzo de cedencia.

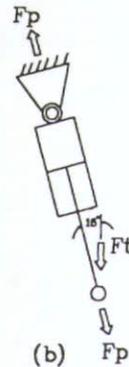
F = Fuerza sometida sobre el elemento.

d = Diámetro del perno.

l = Longitud de trabajo del perno. (Fig. 16)



(a)



(b)

Fig. 21 Diagrama de fuerzas
 para el cálculo del
 pistón de la puerta.

Una vez conocido el dato del esfuerzo de aplastamiento permisible y modificado por el factor de seguridad, se puede determinar la longitud del perno. Para determinar el factor de seguridad (F.S.), se tiene que:

$$F.S. = n1 * n2 * n3$$

Donde, $n1$ = factor de calidad del material (1.1-1.2).
 $n2$ = factor de exactitud de las magnitudes de las fuerzas (1.1-1.2).
 $n3$ = condiciones especiales (2.5-3).

Por lo tanto,

$$F.S. = 1.1 * 1.1 * 2.5 = 2.64$$

Entonces se puede deducir lo siguiente:

$$l = \frac{F * F.S.}{\sigma_b * d}$$

Donde, $F = 34,160 \text{ N.}$
 $F.S. = 2.64$
 $\sigma_y = 248 \text{ MPa.}$
 $d = 0.0318 \text{ m.}$

$$l = \frac{34,160 \text{ N} * 2.64}{148.4 * 10^6 \text{ Pa} * 0.0318 \text{ m}} = 0.019 \text{ m}$$

Este resultado permite proponer un largo de 0.0318 m (1.25 plg.), que es precisamente el diámetro del perno.

Para el cálculo del pistón para abrir y cerrar la puerta se requiere determinar la fuerza mayor entre la de apertura y cierre, es decir, saber cuál de las dos es la más grande. Es evidente que la fuerza de apertura es la más grande, ya que se debe vencer la fuerza de fricción de los pernos más la del desprendimiento vertical, mientras que en el cierre deberá de vencer sólo la fricción de las bisagras.

Para determinar esa fuerza será necesario dibujar los elementos y las fuerzas que actúan para la apertura de la puerta (Fig. 21).

F_V es la fuerza de desprendimiento vertical el cual se determina de la siguiente manera:

$F_V = \text{Area de la puerta} * \text{Esfuerzo desprendimiento vertical (Cap. 4)}.$

$$F_V = (0.56 \text{ m}) * (2.44 \text{ m}) * (3,447 \text{ Pa}).$$

$$F_V = 4,708 \text{ N}.$$

F_C es la fuerza de fricción de las bisagras, el cual está determinado por la siguiente ecuación:

$$F_C = \mu * F_N$$

Donde, F_C = fuerza de fricción.

μ = coeficiente de fricción.

F_N = fuerza normal.

Se puede considerar un coeficiente de fricción de 0.15, el cual corresponde al contacto entre dos piezas de acero en seco [1]. Y la fuerza normal es el peso de la puerta estimado anteriormente de 4,903 N (500 kg.). Entones con estos datos

se puede calcular la fuerza debida a la fricción de los pernos.

$$F_c = 0.15 * 4,903 \text{ N} = 735.5 \text{ N}.$$

De la figura 21, el diagrama de cuerpo libre del inciso (a) se puede hacer una suma de momentos con respecto al centro de la bisagra.

$$\Sigma M = 0.$$

$$F_v(11 \text{ plg.}) + F_c(0.8125 \text{ plg.}) - F_t(10 \text{ plg.}) = 0.$$

Despejando y resolviendo F_t ,

$$F_t = \frac{(51,788 \text{ N} * 11 \text{ plg}) + (735.5 \text{ N} * 0.8125 \text{ plg})}{10 \text{ plg}} = 5,238.36 \text{ N}$$

Del inciso (b) de la figura 21, se puede determinar la fuerza real del pistón, y sería:

$$F_p = \frac{F_t}{\cos 15} = \frac{5,238.56 \text{ N}}{\cos 15} = 5,423.36 \text{ N}$$

Se empleará una unidad hidráulica con capacidad de 1.379 MPa (200 psi), muy común en el mercado. Entonces el cálculo del diámetro del pistón se calcula con la siguiente fórmula.

$$D = \sqrt{\frac{4F_p}{\pi \cdot p}}$$

Donde, D = diámetro del pistón.

F_p = fuerza a vencer por el pistón.

P = presión ejercida por la unidad hidráulica.

Todos los datos para el cálculo de "D" se tienen, $F = 5,423.36 \text{ N}$, $p = 1.376 \text{ MPa}$. Entonces $D = 0.0708 \text{ m}$.

Se debe usar un pistón de 0.78 m (3 plg.) de diámetro. La carrera del pistón será de 14 in .

5.4 Platillos.

Se les llama platillos a los elementos de la bloquera que tienen como función extraer el bloque de poliestireno de la máquina. Lo importante de estos es que evidentemente mientras más grande sean, el esfuerzo es menor en el área que empujan al bloque.

Los platillos, como ya se mencionó, tendrán la función de extraer el bloque de la cámara. Aquí realmente lo que se pide es que el área del platillo sea lo más grande posible para permitir que la deformación en el área de contacto sea la mínima. Aunque esto es poco relevante ya que a la mayoría de los bloques se les "rebana" cada pared con espesor de entre 0.02 m y 0.025 m con el objetivo de dejarlo lo más liso y limpio posible.

Se emplearán dos platillos para permitir que la fuerza se distribuya mejor. Cada platillo será empujado por pistones hidráulicos (Fig. 22).

+ Área de desprendimiento vertical (tensión) figura 23:

$$0.56 \text{ m} \times 2.44 \text{ m} = 1.3664 \text{ m}^2$$

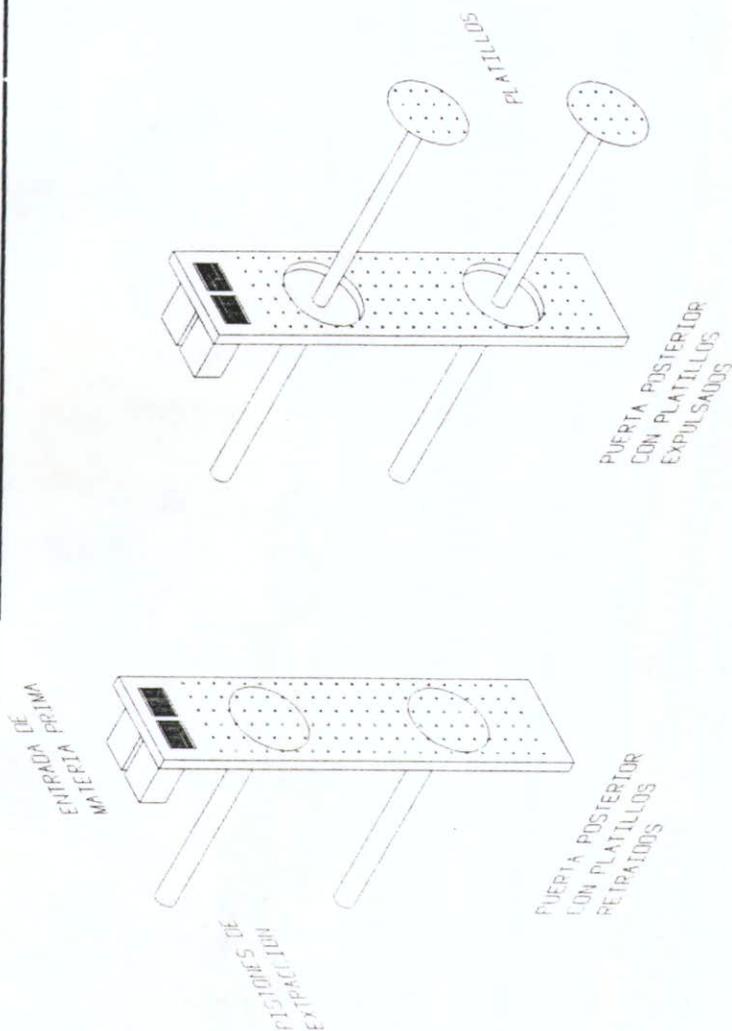


Fig. 22 Sistema de Extraccion

+ Área de desprendimiento horizontal (cortante) figura 23:

- Dos paredes laterales: $2 \times (1.22 \text{ m} \times 2.44 \text{ m}) = 5.954 \text{ m}^2$
- Dos paredes pequeñas: $2 \times (1.22 \text{ m} \times 0.56 \text{ m}) = 1.3664 \text{ m}^2$

La fuerza resultante para la expulsión será:

- Fuerza desprendimiento vertical se obtiene de multiplicar el esfuerzo para el desprendimiento vertical, que se explicó en el capítulo 4, con el área del bloque que se someterá a tensión.

$$F_v = 3,447 \text{ Pa} * 1.3664 \text{ m}^2 = 4,710 \text{ N}$$

- Fuerza desprendimiento horizontal se obtiene de multiplicar el esfuerzo para el desprendimiento por cortante por el área involucrada.

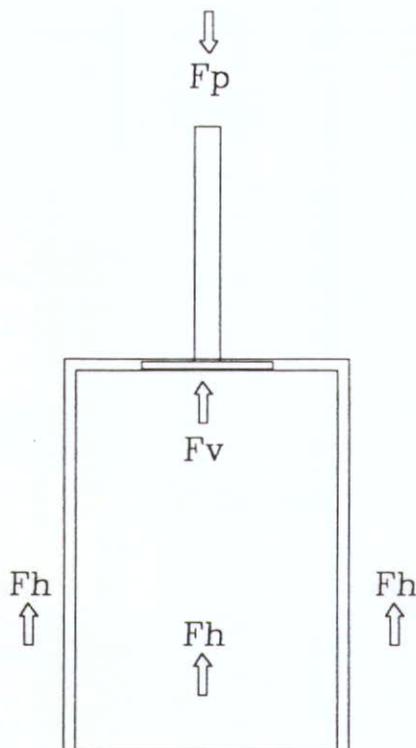
$$F_h = 690 \text{ Pa} * (5.954 \text{ m}^2 + 1.3664 \text{ m}^2) = 5,051 \text{ N}$$

La fuerza total para poder sacar el "bloque de poliestireno" será la suma de $F_v + F_h = 9,761 \text{ N}$. Como se usarán dos pistones entonces cada pistón deberá ejercer una fuerza de $4,880.5 \text{ N}$.

Puntos a considerar:

- Más área implica menor fuerza de aplastamiento ejercida.
- Menor densidad del bloque más aplastamiento tendrá.
- Aplastamiento de diseño de 0.02 m .
- Densidad mínima manejada de 7 kg/m^3 .

La carrera de los pistones será de 1.25 m (49 plg.), una



F_p : Fuerza del pistón.	Cant. 2
F_v : Fuerza vertical	Cant. 1
F_{h1} : Fuerza horizontal de paredes laterales	Cant. 2
F_{h2} : Fuerza horizontal de paredes superior e inferior	Cant. 2

Fig. 23 Fuerzas que actúan en la extracción del bloque.

pulgada mayor que el largo total para que la expulsión sea completa.

El diámetro del pistón se determina de la siguiente forma:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi * p}}$$

Donde, D= diámetro del pistón.

F= fuerza a vencer por cada pistón.

P= presión ejercida por la unidad hidráulica.

Todos los datos para el cálculo de "D" se tienen, F=4,800 N, p = 1.379 MPa. Entonces D = 0.067 m (2.64 plg.).

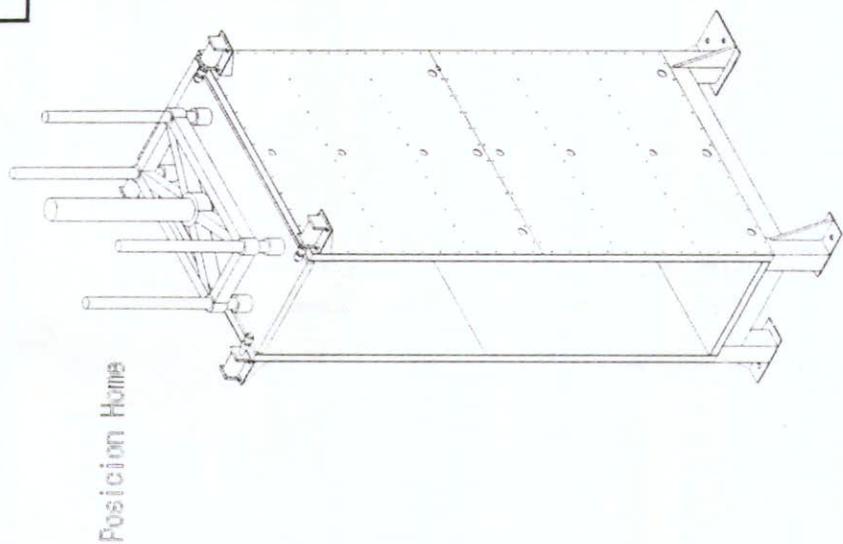
Se debe usar un pistón de 0.07 m (2.75 plg.) de diámetro. Los platillos tendrán un diámetro de 0.43 m (17 plg.).

5.5 Pared móvil.

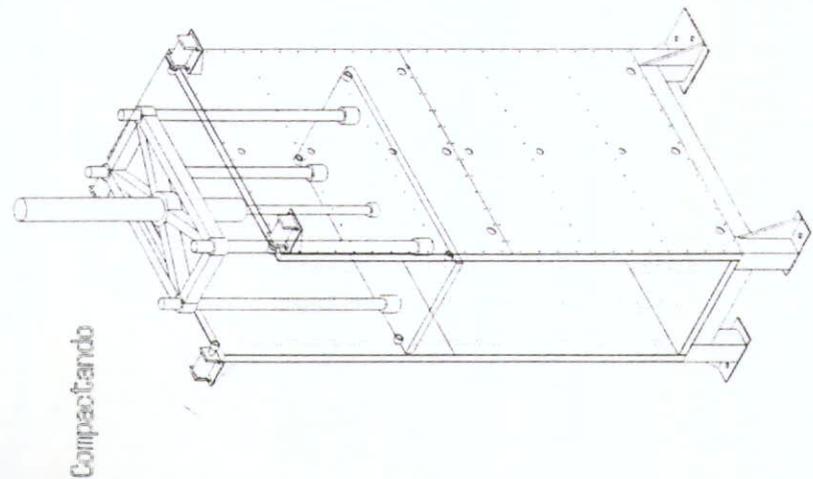
Es la parte de la bloquera que la distingue de las demás como "Recicladora" (Fig. 24).

La pared móvil será movida por un pistón hidráulico y tendrá cuatro barras guías, y será asegurada por dos pernos.

Según el proceso de compresión, la pared deberá de recorrer hasta la mitad del largo total, lo que significa una longitud de 1.22 m (4 pies), pero a esa distancia se le agregan 0.18 m (7 plg.) debidas al "desplazamiento obligado"



Fosicion Home



Compactando

Fig. 24 Pared Movi I

(precarga). Entonces la carreta total será de 1.40 m (55 plg.).

Para el cálculo del diámetro del pistón se requiere la fuerza de compresión que deberá ejercer la pared y la presión de trabajo de la unidad hidráulica.

+Área de la pared móvil = 0.6832 m².

+Presión de compresión = 6,894 Pa.

Por lo tanto la fuerza de compresión es de 4,710 N. Se empleará una unidad hidráulica con capacidad de 1.379 MPa (200 psi) muy común en el mercado.

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot p}}$$

Donde, D= diámetro del pistón.

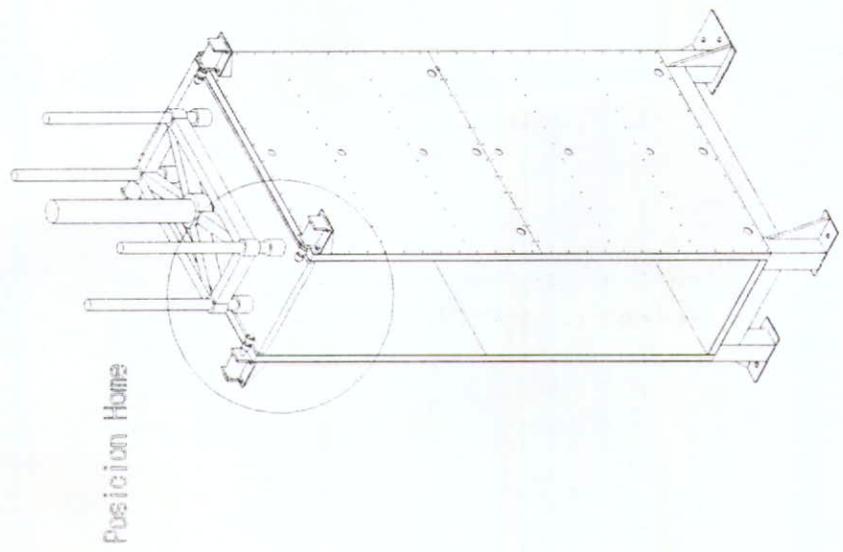
F= fuerza a vencer por el pistón.

P= presión ejercida por la unidad hidráulica.

Todos los datos para el cálculo de "D" se tienen, F=4,710 N, p = 1.379 MPa. Entonces D = 0.0658 m (2.593 plg.).

Se debe de usar un pistón de 0.07 m (2.75 plg.) de diámetro.

Los pernos para la pared móvil se calculan como los de pernos de la puerta (Fig. 25).



Posición Home

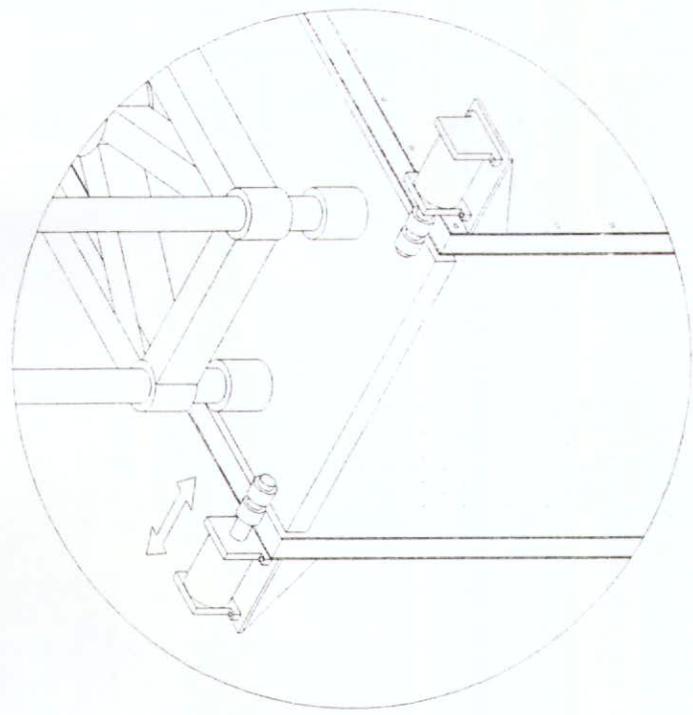


Fig. 25 Seguro de la Pared Movi

Para los pernos se empleará acero AISI 1018 el cual tiene el siguiente esfuerzo último al corte:

$$\tau_U = 320 \text{ MPa.}$$

El límite medio de resistencia a la fatiga por cortante del material está dado por:

$$S'_{SE} = 0.28\tau_U.$$

$$S'_{SE} = 0.28 \cdot 320 \text{ MPa} = 89.6 \text{ MPa.}$$

Este límite medio será afectado por varios factores de ajuste, siendo el resultado el "Límite de resistencia a la Fatiga" S_E .

$$S_E = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_{SE}$$

+ Acabado superficial (k_a).

$$k_a = 0.87 \text{ (estirado en frío).}$$

+ Relación de dimensiones (k_b).

Se estima que el diámetro del perno será mayor de 0.008 m (5/16 plg.) y menor de 0.051 m (2 plg.). Entonces de la tabla se puede aceptar que:

$$k_b = 0.85$$

+ Nivel de confiabilidad (k_c).

Un nivel de confiabilidad del 90% es aceptable, entonces de la tabla se obtiene:

$$k_c = 0.897$$

+ Temperatura de operación (k_d).

Los pernos no serán sometidos a temperaturas extremas así que:

$$k_t = 1.00$$

+ Factor de modificación por concentración de esfuerzos (k_e).

De la tabla de un elemento con distintos diámetros sometido a torsión se tiene que el factor de concentración de esfuerzos es:

$$K_{TS} = 1.4$$

La sensibilidad por entalladura $q = 0$, ya que no hay entalladuras en estos pernos

Con estos datos se puede calcular k_e dada por la expresión:

$$k_e = \frac{1}{1 + q(K_{TS} - 1)} = 1.00$$

+ Efectos diversos (k_f).

Ninguno en consideración.

$$k_f = 1.00$$

+ Límite de resistencia a la fatiga,

$$S_e = 0.87 * 0.85 * 0.897 * 1.00 * 1.00 * 1.00 * 89.6 \text{ MPa}$$

$$S_e = 59.43 \text{ MPa} = 8,620 \text{ psi}$$

El dato obtenido es el esfuerzo cortante máximo permisible, y a partir de éste se obtiene el área y el diámetro mínimo del perno.

$$\tau = \frac{F_{\text{perno}}}{A}$$

Donde, $\tau = 59.43 \text{ MPa}$.

F_{perno} = fuerza cortante sobre cada perno.

A = área sometida a la fuerza cortante.

La cantidad de pernos a utilizar para asegurar la puerta será es de 4 (fig. 25), entonces la fuerza cortante que soportará cada perno es:

$$F_{\text{perno}} = \frac{F_{\text{pared}}}{\text{no. pernos}} = \frac{P_{\text{diseño}} * A_{\text{pared}}}{\text{no. pernos}}$$

$$F_{\text{perno}} = \frac{150 \text{ kPa} * (0.56 \text{ m} * 122 \text{ m})}{4} = \frac{102,480 \text{ N}}{4} = 25,620 \text{ N}$$

El área y el diámetro de los pernos están dados por:

$$A = \frac{F_{\text{perno}}}{\tau} = 0.00043 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} A} = 0.0234 \text{ m}$$

Se usarán pernos de diámetro de 0.0254 m (1 plg.), y cuyo largo se determina de por el esfuerzo de aplastamiento:

$$\sigma_b = 0.6\sigma_y \quad [7]$$

$$\sigma_b = \frac{F}{d * l}$$

Donde, σ_b = Esfuerzo de aplastamiento.

σ_y = Esfuerzo de cedencia.

F = Fuerza sometida sobre el elemento.

d = Diámetro del perno.

l = Longitud de trabajo del perno. (Fig. 16).

Una vez conocido el dato del esfuerzo de aplastamiento permisible y modificado por el factor de seguridad, que es el mismo que se empleó para los pernos de la puerta F.S.= 2.64. Con esto se puede determinar la longitud del perno (Fig. 26). Entonces se deduce lo siguiente:

$$l = \frac{F * F.S.}{\sigma_b * d}$$

Donde, $F = 5,743.5 \text{ lb } (2,605.2 \text{ kg}),$
 $F.S. = 2.64,$
 $\sigma_y = 248 \text{ MPa},$
 $d = 1.00 \text{ in } (0.0254 \text{ m}).$

Sustituyendo estos valores se tiene que $l = 0.018 \text{ m}.$ Este resultado permite proponer un largo de $0.0254 \text{ m } (1 \text{ plg.}),$ que es precisamente el diámetro del perno.

5.6 Base.

Una vez que se tiene la idea de la forma y de los componentes a emplear para la construcción de la bloquera, es necesario determinar el tipo de base y su diseño. Para esto el primer paso es determinar el peso que va a soportar la base, entonces se tiene que estimar los elementos a emplear para la construcción de la bloquera; los cuales son a groso modo:

+ Placa de acero al carbón espesor 0.008 m (5/16 plg.).

<i>Cant.</i>	<i>Medidas</i>	<i>Peso</i>
2	22 x 96 in	84 kg.
2	48 x 96 in	184 kg.
2	22 x 48 in	42 kg.

+ Placa de acero inoxidable espesor 0.005 m (3/16 plg.).

<i>Cant.</i>	<i>Medidas</i>	<i>Peso</i>
2	22 x 96 in	50 kg.
2	48 x 96 in	109 kg.
2	22 x 48 in	25 kg.

+ Barra cuadrada de acero comercial de 0.038 m (1 1/2 plg.).

<i>Longitud</i>	<i>Kg/m</i>	<i>Peso</i>
56.2 m	11.39	640 kg.

+ Pistones hidráulicos.

<i>Cant.</i>	<i>Posición</i>	<i>Peso</i>
2	Platillos	120 kg.
1	Pared móvil	100 kg.
1	Puerta	60 kg.
1	Seguros puerta	15 kg.
1	Seguros pared móvil	15 kg.

+ Ángulo de acero de 0.064 m (2 1/2 plg.) x 0.008 m (5/16 plg.).

Longitud	Kg/m	Peso
13.3 m	7.44	99.0 kg.

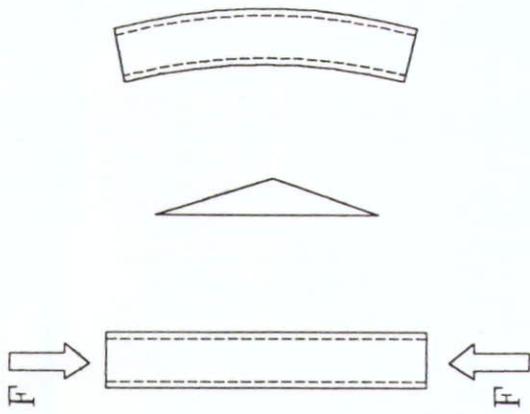
La suma de los pesos que se muestran en las tablas más un 20% por concepto de material extra como tornillos, soleras, placas, etc., dará un peso más confiable. Entonces el peso total estimado es de 18,142 N (1850 kg), este es menor al peso supuesto de 19,613 N (2,000 kg), por lo tanto los resultados obtenidos en los que se usó son confiables.

Para la base se eligió como elementos de su estructura un perfil PTR cuadrado de 0.076 m (3 plg.) [4]. El primer paso es saber si los elementos que van a soportar la bloquera no se deformarán, siendo en este caso las patas las que se comportarán como columnas (Fig. 26). Cada pata tendrá una longitud de 0.381 m (15 plg.), el tipo de perfil tendrá un área de sección transversal de 0.0013 m² (2.01 plg².) según tablas del proveedor, entonces:

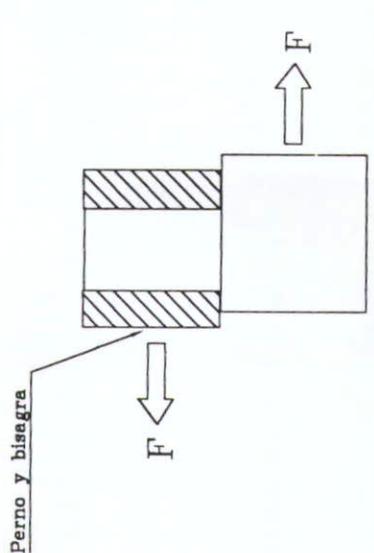
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{18,142 \text{ N}}{0.0013 \text{ m}^2} = 13.95 \text{ MPa}$$

Como este esfuerzo se aplica para las cuatro patas entonces el esfuerzo por pata es:

$$\sigma_{\text{pata}} = \frac{13.95 \text{ MPa}}{4} = 3.49 \text{ MPa}$$



Elemento de la base
que actúa como columna



Deformación de los
pernos debido a
fuerzas de aplastamiento

Fig. 26 Deformación de Pernos y de Columnas

Se calcula la relación de esbeltez (l/r) para la pata para poder determinar si la pata se comporta como una columna corta, intermedia o larga [3].

Donde, l = longitud de la columna.

r = radio de giro de la sección transversal de la columna.

$$\frac{l}{r} = \frac{0.381_m}{0.051_m} = 7.5$$

Considerando que el perfil es acero SA-36 y tomando los datos del código ASME sección II: Materiales [2].

$$\sigma_y = 248.21 \text{ MPa} \quad (36 \text{ ksi})$$

$$\sigma_u = 399.89 - 551.58 \text{ MPa} \quad (58 - 80 \text{ ksi}).$$

Observando que la relación de esbeltez es menor a 10, entonces la estructura de perfil cuadrado se comportará como una columna corta, en cuyo caso el esfuerzo crítico de pandeo puede tomarse como σ_y .

Entonces el esfuerzo crítico será:

$$\sigma_{cr} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$$

Donde, σ_y = esfuerzo de fluencia del material.

F.S. = es el factor de seguridad.

$$\sigma_{cr} = \frac{248.21_MPa}{2.64} = 94.02_MPa$$

El esfuerzo crítico es mucho mayor al esfuerzo real sobre cada pata, así que no habrá pandeo, ni aplastamiento.

El cálculo de la soldadura también se considera para la base. Eligiendo la soldadura por arco y empleando un electrodo 7018 se tiene el siguiente cálculo de su resistencia:

$$P = \tau A$$

Donde, P= fuerza cortante.

τ = esfuerzo cortante admisible.

A= área sometida a fuerza cortante.

Según el código del electrodo se tiene que su resistencia es de 70,000 lb/in² (482.63 MPa), pero por consideraciones de diseño [3] se toma sólo efectivo el 30% de esta fuerza, así que:

$$\tau = 0.3 * 482.63 \text{ MPa} = 144.79 \text{ MPa}$$

$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} aL$$

La soldadura de filete fallará a lo largo de su menor dimensión, la cual es la "garganta". La garganta es la dimensión t de la figura 27.

Donde, a = es el ancho de soldadura depositada.

L = es la longitud de la soldadura.

Obteniendo la resistencia en N por cada unidad de longitud:

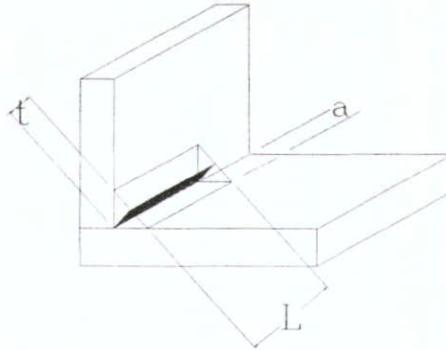


Fig. 27

$$q = \frac{\sqrt{2}}{2} \tau a$$

$$q = \frac{\sqrt{2}}{2} 144.79 \text{ MPa} = 102.38 \times 10^6 * a \text{ N / unidad long.}$$

Donde, q = es la carga soportable por cada unidad de longitud de soldadura.

El peso total de la bloquera es de 18,142 N (1,850 kg). Con esto se puede determinar la longitud de la soldadura; considerando que se aplicará una soldadura de un filete de 0.005 m (3/16 plg.), entonces:

$$a = 0.005 \text{ m}$$

$$q = 102.38 \text{ MPa} * 0.005 \text{ m} = 511,900 \text{ N / m}$$

$$L = \frac{18,142 \text{ N}}{511,900 \text{ N / m}} = 0.035 \text{ m}$$

La longitud total de soldadura deberá ser 0.035 m, y como se va a soldar cada pata con su elemento transversal todo alrededor se asegura su rigidez, ya que en cada unión la longitud de la soldadura es de 0.305 m (12 plg.) y son 8 aplicaciones.

Las placas de pie para las patas son necesarias para una mejor distribución del peso de la máquina y evitar que el concreto donde se apoya se rompa, pues el piso de la planta no está fabricado para soportar esfuerzos muy grandes, esto es debido a que los bloques de poliestireno pesan cuando mucho 50 kg cada uno. La resistencia del concreto se estima en 9.81 MPa (100 kg/cm²). Empleando la fórmula de la fuerza de compresión para el concreto:

$$F_c = 0.85 \cdot F' \cdot A \quad [4]$$

Donde, F_c = fuerza crítica.

F' = resistencia del concreto.

A = área de apoyo.

Lo que se desea encontrar son las dimensiones mínimas permisibles de las placas.

$$F_c = 18,142 \text{ N (1.850 kg)}.$$

$$F' = 9.81 \text{ MPa (100 kg/cm}^2\text{)}.$$

El área total de apoyo deberá ser de:

$$A = \frac{18,142 \text{ N}}{0.85 \cdot 9.81 \text{ MPa}} = 0.0022 \text{ m}^2$$

Inclusive si no se usa ninguna placa el concreto aguantará el esfuerzo, ya que el área de la sección transversal de cada pata es de 21.7 cm² (3.36 in²), pero aún así se propone usar placas de acero de 0.006 m (1/4 plg.) espesor y dimensiones de 0.1 m (4 plg.) x 0.1 m (4 plg.) para cada pata, ya que se requiere anclar la máquina por seguridad.

Para anclar la máquina se emplearán varillas AISI 1018 que serán las anclas. Según el código ASME sección II: Materiales [2], se tiene que para ese material:

$$\sigma_y = 220.63 \text{ MPa} \quad (32 \text{ ksi}).$$

$$\tau_y = 144.79 \text{ MPa} \quad (21 \text{ ksi}).$$

$$\sigma_u = 372.29 \text{ MPa} \quad (54 \text{ ksi}).$$

Para las anclas se calculará la rosca que deberá llevar y con ello el diámetro de la varilla. La rosca se somete a un esfuerzo cortante y fallará en el diámetro medio de éste (Fig. 28).

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde, τ = esfuerzo cortante.

F = fuerza cortante.

A = área sometida al esfuerzo cortante.

Se calcula el esfuerzo cortante crítico τ_{cr} , tomando un factor de seguridad de 2.64.

$$\tau_{cr} = \frac{144.79 \text{ MPa}}{2.64} = 54.85 \text{ MPa}$$

Se puede tomar una fuerza cortante igual al del peso de la bloquera que es de 18,142 N (1,850 kg). Con estos datos se sabe el área de la rosca requerida.

$$A = \frac{18,142 \text{ N}}{54,850 \text{ kPa}} = 0.00033 \text{ m}^2$$

Como en cada placa habrá un ancla y son 4 anclas en total, entonces:

$$A_{rosca} = \frac{0.00033 \text{ m}^2}{4} = 0.000082 \text{ m}^2 = 0.128 \text{ plg}^2$$

En la Tabla 8 se puede ver que la rosca de 1/2"-13 NC es suficiente para soportar una fuerza de 18,142 N (1,850 kg).

El torque de apriete [7] para las anclas es el siguiente:

$$T = 0.20F_i d$$

$$F_i = 0.75F_p \text{ conexiones reutilizables.}$$

$$F_i = 0.90F_p \text{ conexiones permanentes.}$$

$$F_p = A_t S_p$$

Donde, F_i = fuerza de sujeción.

d = diámetro nominal de la rosca.

F_p = carga límite.

Bolt Size a	Coarse Thread Series		8 Lineado Series		Nut Dimensions			Minimum			Maximum Fillet Radius r	Wrench Diameter
	Threads per Inch	Root Area Sq. In.	Root Area Sq. In.	Across Flats	Across Corners	Bolt Spacing	Radial Distance R	Edge Distance E	Radial Distance R			
1/8	13	.126	..	1/8	.969	1 1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
5/16	11	.202	..	1 1/4	1.175	1 1/2	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
3/8	10	.302	..	1 1/2	1.383	1 3/4	1 1/2	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
1/2	9	.419	...	1 3/4	1.589	2 1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
5/8	8	.551	.551	1 3/4	1.796	2 1/2	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
3/4	7	.693	.728	1 3/4	2.002	2 1/2	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
1 1/4	7	.890	.929	2	2.209	2 3/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
1 1/2	6	1.054	1.155	2 1/4	2.416	3 1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
1 3/4	6	1.292	1.405	2 1/4	2.622	3 1/2	2	1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
2	5 1/2	1.515	1.680	2 3/4	2.828	3 1/2	2 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
2 1/4	5	1.744	1.980	2 3/4	3.035	3 3/4	2 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
2 1/2	5	2.049	2.304	2 3/4	3.242	4	2 1/4	1 1/4	1 1/4	1/4	1 1/4	1 1/4
2 3/4	4 1/2	2.300	2.652	3 1/4	3.449	4 1/4	2 1/4	2	2 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4
3	4 1/2	3.020	3.423	3 1/2	3.862	4 1/2	2 1/4	2 1/4	2 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4
3 1/2	4	3.715	4.292	3 3/4	4.275	5 1/4	3 1/4	3 1/4	3 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4
3 3/4	4	4.618	5.259	4 1/4	4.688	5 1/2	3 1/4	3 1/4	3 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4
4	4	5.621	6.324	4 1/4	5.102	6 1/4	3 1/4	3 1/4	3 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4

Bolt and nut dimensions are those given in SAE'S B18.2

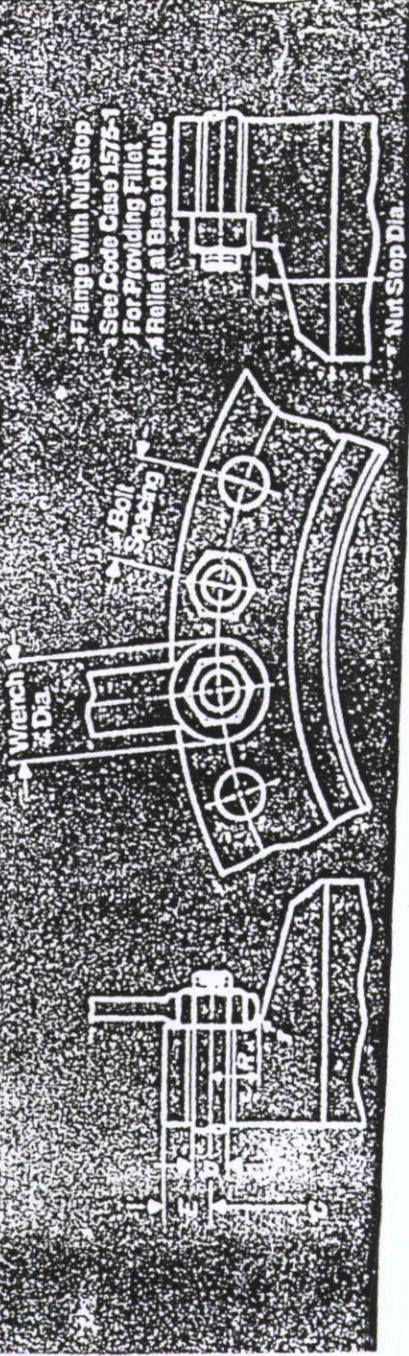


Tabla 8

A_t = área sometida a esfuerzo de tensión (tablas).

S_p = resistencia límite (tablas).

Para conexiones permanentes se tiene que,

$$T = 0.20 * 0.90 * A_t * S_p * d$$

$$T = 0.20 * 0.90 * 0.000082 \text{ m}^2 * 220.63 \times 10^6 \text{ Pa} * 0.013 \text{ m}$$

$$T = 42.33 \text{ Nm}$$

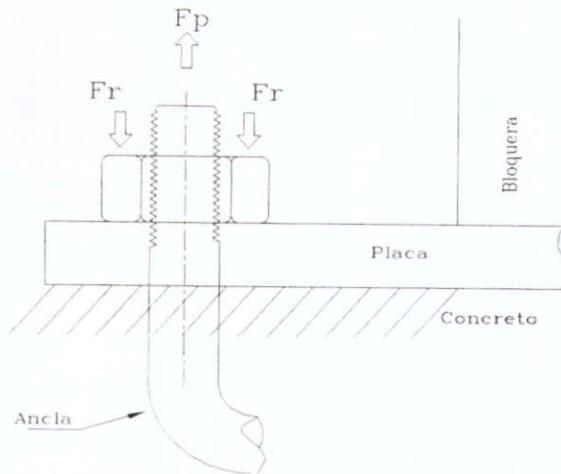


Fig. 28

5.7 Proceso continuo.

Pasos de la máquina para el modelado de bloques de poliestireno:

- 1- Mover platillos hacia atrás.
- 2- Cerrar y asegurar la puerta.
- 3- Quitar seguros de la pared móvil.
- 4- Levantar pared móvil.
- 5- Activar ventilador para la admisión de perla y/o triturado, hasta llenar la cámara del material.
- 6- Bajar pared móvil hasta la altura del bloque a producir. En el caso de trabajar con triturado se efectúa el proceso de compactación dependiendo del factor de compresión.
- 7- Poner seguros a la pared móvil.
- 8- Inicia el proceso de expansión con la entrada paulatina del vapor a la cámara. El vapor empieza a circular entrando por la pared trasera y laterales, y sale por la puerta y pared de abajo, la cual conduce el vapor a un sistema de condensado de agua que posteriormente se va a tratar para su reutilización.
- 9- Una vez terminada la expansión, la cámara deberá esperar a que la presión provocada por el bloque disminuya a la magnitud deseada.
- 10- Quitar seguro y abrir puerta.
- 11- Mover los platillos hacia adelante para extraer el bloque de la cámara.

6. COSTO DE LA BLOQUERA

El costo de un equipo es, muchas veces, un factor decisivo en la toma de decisiones de cualquier proyecto, y ésta no es la excepción. Así que el desglose del material básico y su costo es el siguiente:

- 1) Placa de acero al carbón,
Espesor: 5/16 pulgadas.
Proveedor: Comercializadora de Acero de Guadalajara.
Cantidad: 5 placas (3 x 10 pies).
Precio: \$ 3,633.00

- 2) Placa de acero inoxidable,
Espesor: 3/16 pulgadas.
Proveedor: AISI.
Cantidad: 5 placas (4 x 10 pies).
Precio: \$ 16,187.00

- 3) Barra cuadrada de acero comercial,
Medida: 1 1/2 pulgadas.
Proveedor: AISI.
Cantidad: 10 tramos (6 m).
Precio: \$ 6,963.00

- 4) Ángulo de acero comercial,
Medida: 2 1/2 x 5/16 pulgadas
Proveedor: Comercializadora de Acero de Guadalajara.
Cantidad: 3 tramos (6 m).
Precio: \$ 540.00

- 5) PTR cuadrado de acero comercial,
Medida: 3 x 5/16 pulgadas
Proveedor: Comercializadora de Acero de Guadalajara.
Cantidad: 1 tramo (6 m).
Precio: \$ 487.00
- 6) Pistón hidráulico,
Especificaciones: carrera 49 plg., diámetro 2.75 plg.
Proveedor: Refaccionaria Oleohidráulica
Cantidad: 2
Precio: \$ 17,900 neto c/u.
- 7) Pistón hidráulico,
Especificaciones: carrera 55 plg., diámetro 2.75 plg.
Proveedor: Refaccionaria Oleohidráulica
Cantidad: 1
Precio: \$ 20,500 neto.
- 8) Pistón hidráulico,
Especificaciones: carrera 3 plg., diámetro 2.50 plg.
Proveedor: Refaccionaria Oleohidráulica
Cantidad: 2
Precio: 2,120 neto c/u.
- 9) Pistón hidráulico,
Especificaciones: carrera 14 plg., diámetro 3.00 plg.
Proveedor: Refaccionaria Oleohidráulica
Cantidad: 1
Precio: \$ 8,810 neto.

10)Unidad hidráulica,

Especificaciones: tanque 10 galones, bomba de paletas con
Motor 220 V, 4 hp, caudal 35 gpm

Proveedor: Refaccionaria Oleohidráulica

Cantidad: 1

Precio: \$ 20,650 neto.

11)Mano de obra. La construcción de una bloquera implica tener un taller con el equipo suficientemente grande y completo para llevar a cabo un proyecto así, además de un suficiente personal capacitado. "Aislantes y Empaques", cumple con ambos requisitos. Pero suponiendo que no se contara con equipo y personal disponible, se mandaría el proyecto a una empresa externa que se encargará de construir la bloquera, según especificaciones con el siguiente costo:

Proveedor: Sr. Rafael Murillo

Descripción:

- 1.Armaz la base,
- 2.Armaz las paredes,
- 3.Armaz pared móvil,
- 4.Armaz puerta,
- 5.Instalar paredes con la base,
- 6.Instalar los pistones de platillos y puerta,
- 7.Instalar pared móvil,
- 8.Instalar pistones de seguros,
- 9.Instalar la puerta,
- 10.Instalar las conexiones hidráulicas,
- 11.Instalar las conexiones de la línea de vapor,
- 12.Conectar los ductos de la perla.

NOTA: Los trabajos como el especificado en el inciso (5) y sucesivos, se llevarán a cabo en obra con el objeto de facilitar el trabajo y ahorrar tiempo.

Costo: \$ 25,300 neto.

La suma de todo lo anterior dá un costo aproximado de la bloquera, al cual se le puede aplicar un 15% más, por todos los materiales que no se especifican como soleras, placas, tornillo y tuercas, etc., lo cual acercaría al costo real de este proyecto, el cual sería de:

\$ 162,930 Pesos \approx \$ 16,293 U.S.D.

Comprar una bloquera de estas características, de exactamente estas dimensiones y de manejo totalmente manual y la más barata en el mercado internacional tiene un precio de:
\$ 48,000 U.S.D.

CONCLUSIONES

Esta tesis ha explicado los puntos clave en cuanto al diseño y funcionamiento de una bloquera recicladora de poliestireno expandible, los cuales son:

-El principal elemento de expansión es el vapor de agua saturado seco.

-Por ser vapor de agua el elemento expansor, se recomienda emplear materiales como aluminio y/o acero inoxidable, por lo menos, en las paredes internas. Estos dos materiales son resistentes a la corrosión y de muy buenas propiedades mecánicas, y además son comerciales.

-Toda bloquera recicladora debe tener un elemento compactador, siendo en nuestro caso ese elemento la "pared móvil".

-La pared móvil se mueve respondiendo al "Factor de Compactación".

-Para lograr un bloque de poliestireno muy bien expandido, se necesita un flujo de vapor, el cual atraviese toda la cámara, y por ende, todo el bloque de poliestireno. Esto se logra con una distribución y cantidad correcta de barrenos y/o ranuras.

-Para lo anterior cabe mencionar que habrá más barrenos en las partes medias de las paredes que en los extremos.

-La presión de operación de estos equipos es de 1 bar (máx.).

Hasta aquí se podría decir que se ha completado una parte de un proyecto algo complejo, pues ésta tesis tiene una

alcance de una "Ingeniería de Base", ya que se han citado las generalidades del funcionamiento de una bloquera de poliestireno y se han realizado algunos cálculos que nos ayudaron a determinar el material y el trabajo de mano de obra requerido, y con ellos el costo aproximado de la máquina; con este dato comparamos el precio de una bloquera igual comprada y traída desde Europa.

Una "Ingeniería de Detalle" es recomendable si se desea tener un costo de la máquina más exacto, pues se necesita más trabajo en los componentes mecánicos, el sistema de control, investigación y tecnología reciente, labores de armado y construcción de la máquina, posibles labores de mantenimiento, etc.

El desarrollo de estas máquinas es factible en México, pero al igual que en todos los ramos de la actividad económica, es necesario tener un buen equipo de trabajo empapado de las limitantes y posibles perfecciones de la operación de la máquina, y mucha creatividad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre E. G., DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS, Ingeniería de la UNAM, Edit. Trillas.
2. ASME Code, SECCIÓN II: MATERIALES, 1996.
3. Fitzgerald W., INGENIERÍA MECÁNICA, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México, D.F., 1986.
4. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C., MANUAL DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO, Vol. I, 2ª edición, Edit. Limusa-Noriega, P.P. 140-143.
5. Luthe G. R., ANÁLISIS ESTRUCTURAL, Edit. Alfaomega, 1991.
6. Productos de Estireno, S.A. de C.V., MANUAL TÉCNICO EPS, Vol. II, 1994.
7. Shigley J. y Mischke Ch., DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, 5ª edición, Edit. Mc Graw Hill, 1990.
8. FORMULARIO DEL INGENIERO
9. NOTAS TOMADAS EN LA UNIVERSIDAD COMO ALUMNO.

APÉNDICE I

"Constantes Físicas de los Materiales"

Material	Módulo de elasticidad E [MPa]	Módulo de rigidez torsional G [MPa]	Ceficiente de Poisson	Densidad [kg/dm ³]
Aluminio (todas las aleaciones)	7.11×10^5	2.62×10^4	0.334	2.70
Cobre al berilio	1.24×10^5	4.83×10^4	0.285	8.20
Acero al carbono	2.06×10^5	7.58×10^4	0.292	7.78
Fundición gris	8.93×10^4	4.14×10^4	0.211	7.18
Inconel	2.14×10^5	7.58×10^4	0.29	8.47
Magnesio	3.51×10^4	1.66×10^4	0.35	1.79
Molibdenc	3.31×10^5	1.17×10^5	0.307	10.16
Metal monel	1.80×10^5	6.55×10^4	0.32	8.79
Níquel a la Plata	1.28×10^5	4.83×10^4	0.322	8.72
Acero al Níquel	2.06×10^5	7.58×10^4	0.291	7.73
Bronce fosforoso	1.11×10^5	4.14×10^4	0.349	8.14
Acero inoxidable (18 - 8)	1.90×10^5	6.90×10^4	0.305	7.73
Titanio (puro)	1.04×10^5			4.47

Tabla I.1

"Propiedades de las Secciones"

A = área, cm^2
 I = momento de inercia, cm^4
 J = momento polar de inercia, cm^4
 I/c = módulo resistente de la sección, cm^3
 r = radio de giro, cm
 \bar{y} = distancia del centro de gravedad, cm

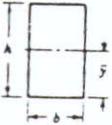
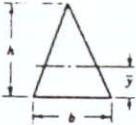
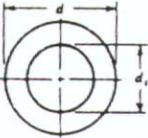
<p>Rectángulo</p> 	$A = bh$ $I = \frac{bh^3}{12}$ $\frac{I}{c} = \frac{bh^2}{6}$ $r = 0.289h$ $\bar{y} = \frac{h}{2}$
<p>Triángulo</p> 	$A = \frac{bh}{2}$ $I = \frac{bh^3}{36}$ $\frac{I}{c} = \frac{bh^2}{24}$ $r = 0.236h$ $\bar{y} = \frac{h}{3}$
<p>Círculo</p> 	$A = \frac{\pi d^2}{4}$ $I = \frac{\pi d^4}{64}$ $\frac{I}{c} = \frac{\pi d^3}{32}$ $J = \frac{\pi d^4}{32}$ $r = \frac{d}{4}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$
<p>Corona circular</p> 	$A = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_i^2)$ $I = \frac{\pi}{64}(d^4 - d_i^4)$ $\frac{I}{c} = \frac{\pi}{32d}(d^4 - d_i^4)$ $J = \frac{\pi}{32}(d^4 - d_i^4)$ $r = \sqrt{\frac{d^2 + d_i^2}{16}}$ $\bar{y} = \frac{d}{2}$

Tabla I.2

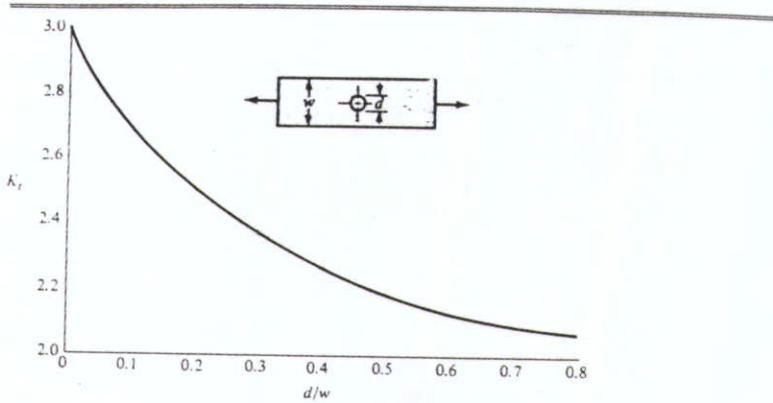
"Equivalentes Decimales de Calibres
de Alambres y Láminas Metálicas"

Nombre del calibre	Americano o Brown & Sharpe	Birmingham o alambre de acero Stubbs	Norma de de Estados Unidos	Norma de los fabricantes +	Alambre de acero o Washburn & Moen	Alambre de cuerda de piano	Alambre de acero Stubbs	Brocas
Empleo principal	Láminas no férricas, alambre y varillas	Tuberías pletinas férricas, alambre plano y acero para muelles	Láminas férricas y planchas 7,8 kg/cm ²	Láminas férricas	Alambre de hierro, excepto alambre de piano	Alambre de cuerda de piano	Varilla de acero para brocas	Brocas y acero para brocas
7/0	0,5800	0,500	0,500	0,4900				
6/0	0,5165	0,46875	0,46875	0,4615	0,004			
5/0	0,4600	0,4375	0,4375	0,4305	0,005			
4/0	0,4096	0,40625	0,40625	0,3958	0,006			
3/0	0,3648	0,375	0,375	0,3625	0,007			
2/0		0,330	0,34375	0,3310	0,008			
0	0,3249	0,340	0,3125	0,3065	0,009			
1	0,2893	0,300	0,28125	0,2850	0,010	0,227		0,2280
2	0,2576	0,284	0,265625	0,2625	0,011	0,219		0,2210
3	0,2294	0,259	0,25	0,2391	0,012	0,212		0,2130
4	0,2043	0,238	0,234374	0,2242	0,013	0,207		0,2090
5	0,1819	0,220	0,21875	0,2092	0,014	0,204		0,2055
6	0,1620	0,203	0,203125	0,1943	0,016	0,201		0,2040
7	0,1443	0,180	0,1875	0,1793	0,018	0,199		0,2010
8	0,1285	0,165	0,171875	0,1644	0,020	0,197		0,1990
9	0,1144	0,148	0,15625	0,1495	0,022	0,194		0,1960
10	0,1019	0,134	0,140625	0,1345	0,024	0,191		0,1935
11	0,09074	0,120	0,125	0,1196	0,026	0,188		0,1910
12	0,08081	0,109	0,109357	0,1046	0,029	0,185		0,1890
13	0,07196	0,096	0,09375	0,0897	0,031	0,182		0,1850
14	0,06408	0,083	0,078125	0,0747	0,033	0,180		0,1820
15	0,05707	0,072	0,0703125	0,0673	0,035	0,178		0,1800
16	0,05082	0,065	0,0625	0,0598	0,037	0,175		0,1770
17	0,04526	0,058	0,05625	0,0538	0,039	0,172		0,1730
18	0,04030	0,049	0,05	0,0478	0,041	0,168		0,1695
19	0,03589	0,042	0,04375	0,0418	0,043	0,164		0,1660
20	0,03196	0,035	0,0375	0,0359	0,045	0,161		0,1610
21	0,02846	0,032	0,034375	0,0329	0,03175	0,157		0,1590
22	0,02535	0,028	0,03125	0,0299	0,0286	0,155		0,1570
23	0,02257	0,025	0,028125	0,0269	0,0258	0,153		0,1540
24	0,02010	0,022	0,025	0,0239	0,0230	0,151		0,1520
25	0,01790	0,020	0,021875	0,0209	0,0204	0,148		0,1495
26	0,01594	0,018	0,01875	0,0179	0,0181	0,146		0,1470
27	0,01420	0,016	0,0171875	0,0164	0,0173	0,143		0,1440
28	0,01264	0,014	0,015625	0,0149	0,0162	0,139		0,1405
29	0,01126	0,013	0,0140625	0,0135	0,0150	0,134		0,1360
30	0,01003	0,012	0,0125	0,0120	0,0140	0,127		0,1285
31	0,008928	0,010	0,0109375	0,0105	0,0132	0,120		0,1200
32	0,007950	0,009	0,01015625	0,0097	0,0128	0,115		0,1160
33	0,007080	0,008	0,009375	0,0090	0,0118	0,112		0,1130
34	0,006305	0,007	0,00859375	0,0082	0,0104	0,110		0,1110
35	0,005615	0,005	0,0078125	0,0075	0,0095	0,108		0,1100
36	0,00500	0,004	0,00703125	0,0067	0,0090	0,106		0,1065
37	0,004453	0,004	0,006640625	0,0064	0,0085	0,103		0,1040
38	0,003965	0,004	0,00625	0,0060	0,0080	0,101		0,1015
39	0,003531	0,004	0,00625	0,0060	0,0075	0,099		0,0995
40	0,003145	0,004	0,00625	0,0060	0,0070	0,097		0,0980

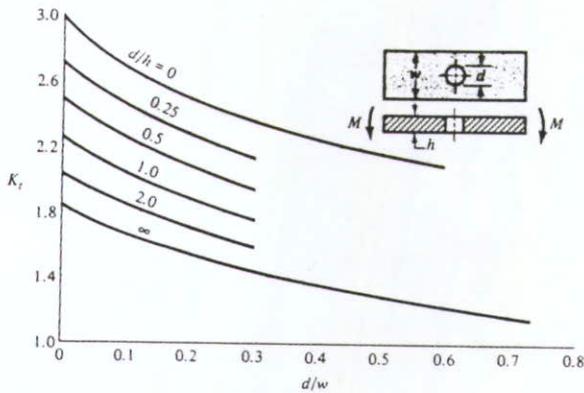
Tabla I.3

"Diagramas de Factores de Concentración de Esfuerzos"

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teóricos K_t^*



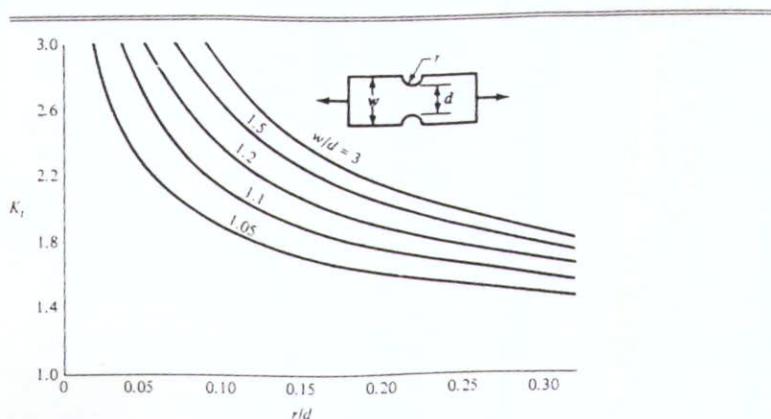
Barra con agujero transversal sometida a tensión o compresión. Simple $\sigma_o = F/A$, donde $A = (w - d)t$ y t es el espesor.



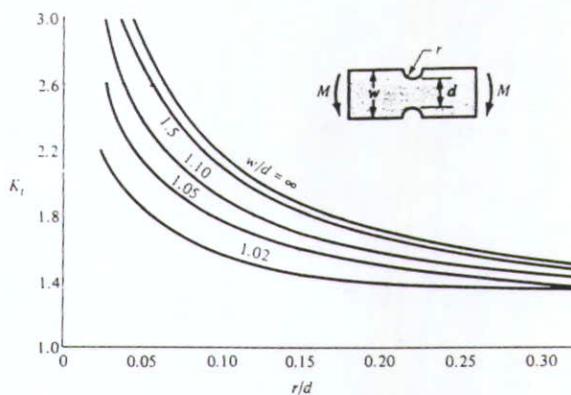
Barra rectangular con agujero transversal sometida a flexión. $\sigma_o = Mc/I$, donde $I = (w - d)h^3/12$.

Tabla I.4

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t . (Cont.)



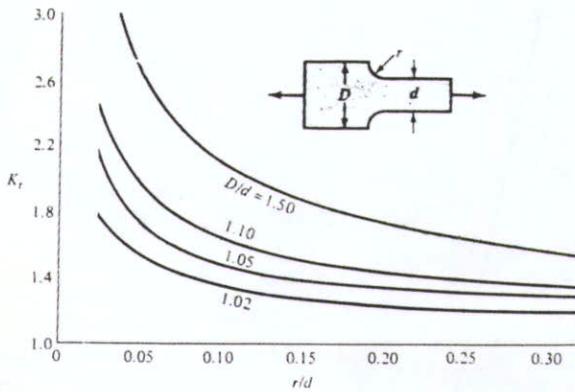
Barra rectangular con ranuras transversales sometida a tensión o compresión simple. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = dt$ y t es el espesor.



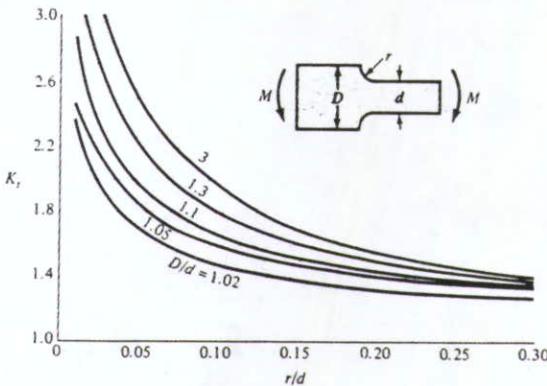
Barra rectangular con ranuras transversales sometida a flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$, $I = td^3/12$, y t es el espesor.

Tabla I.4 (cont.)

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)



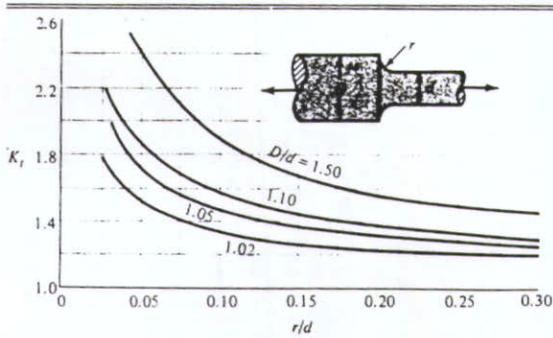
Barra rectangular con entalles transversales sometida a tensión o compresión simple. $\sigma_o = F/A$, donde $A = dt$ y t es el espesor.



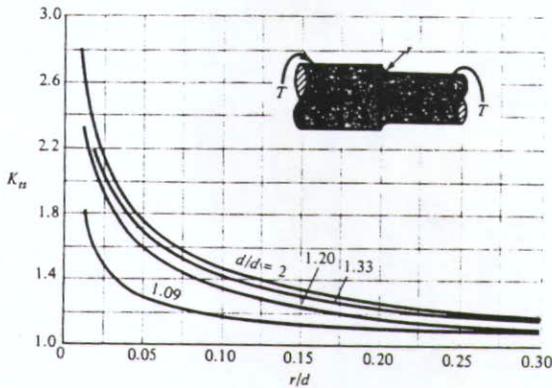
Barra rectangular con entalles transversales sometida a flexión. $\sigma_o = Mc/I$, donde $c = d/2$, $I = td^3/12$ y t es el espesor.

Tabla I.4 (cont.)

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)



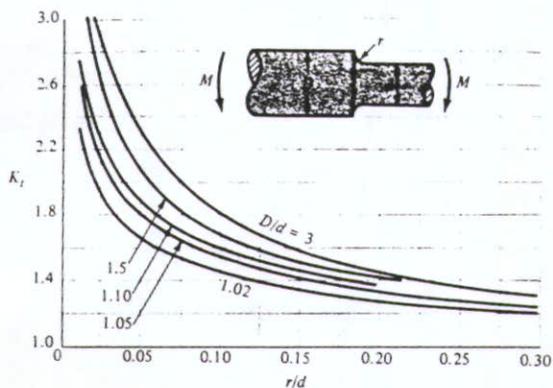
Barra circular con entalle circunferencial sometida a tensión. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.



Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

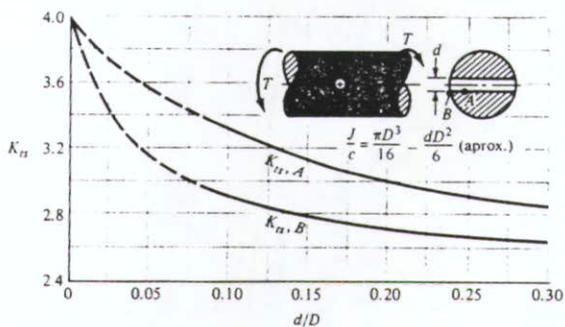
Tabla I.4 (cont.)

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)



Barra circular con entalle circunferencial sometida a flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

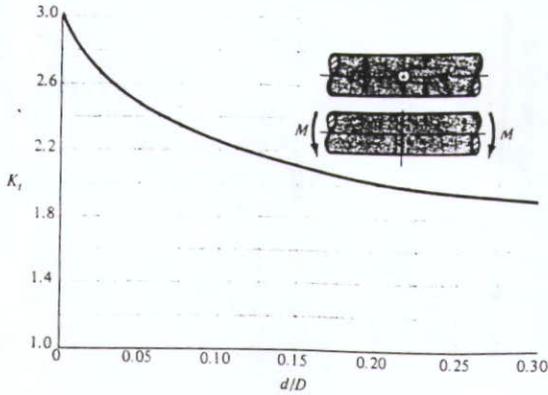
SOG 86



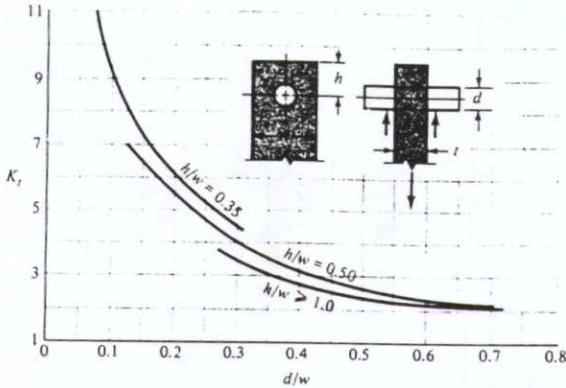
Barra circular con agujero transversal sometida a torsión.

Tabla I.4 (cont.)

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)



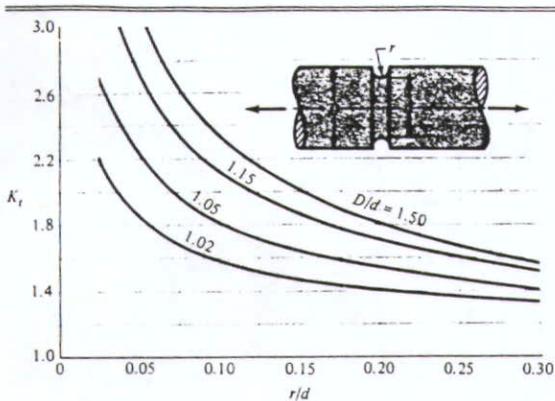
Barra circular con agujero transversal sometida a flexión. $\sigma_0 = M/[(\pi D^3/32) - (dD^2/6)]$, aproximadamente.



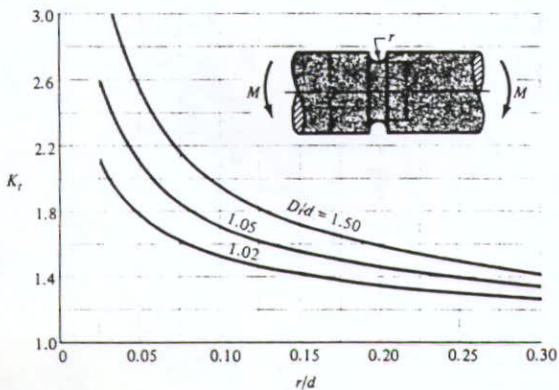
Placa con pasador en agujero. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = (w - d)t$. Cuando exista holgura, K_t debe incrementarse de 35 a 50%. (M. M. Frocht y H. N. Hill, "Stress Concentration Factors around a Central Circular Hole in a Plate Loaded through a Pin in Hole". J. Appl. Mechanics. vol. 7, No. 1, marzo 1940, p. A-5.)

Tabla I.4 (cont.)

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teóricos K_t (Cont.)



Barra circular con ranura circunferencial sometida a tensión. $\sigma_o = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.



Barra circular con ranura circunferencial sometida a flexión. $\sigma_o = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

Tabla I.4 (cont.)

Servitesis

OTRA OPCION PARA SU TESIS

615-18-61

AV. MEXICO 2210

(CASI ESQUINA CON AMERICAS)

