

41126  
94



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
Campus Aragón.**

**"DISEÑO DE UNA PRENSA PARA LA UNIÓN DE  
MATERIALES COMPUESTOS LAMINARES"**

**T É S I S**  
**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA:**

***FÉLIX RAMÍREZ ELORZA***

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. EN I. JAVIER JIMÉNEZ GARCÍA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**OCTUBRE 2003.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

*A la Universidad Nacional Autónoma de México,*

*Forjadora y guía de hombres y mujeres que contribuyen al progreso de México.*

*A la Escuela Nacional de Estudios Profesionales, campus Aragón,*

*Mi alma mater, templo de enseñanza, que al recibirnos en su seno, nos da la oportunidad de crecer y de ser mejores seres humanos cada día.*

*A mis maestros,*

*Con respeto y gratitud, por su paciencia y dedicación, porque al ser transmisores de conocimiento son la base de nuestra formación profesional.*

*A mis padres,*

*Como un presente de gratitud por toda una vida de amor, entrega, sacrificios, desvelos y por ese ejemplo constante que más que inducir nos "arrastra" a ser hombres de bien.*

*A mis amigos,*

*Con especial cariño, por su apoyo incondicional y por lo que significa en mi vida.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*A mis hermanos (as),*

*Por el apoyo moral e incondicional  
que me han ofrecido durante toda  
mi vida.*

*A mis sobrinos (as),*

*Como un legado y apoyo para su  
crecimiento.*

*A mi asesor: Dr. Javier J.,*

*Por todo su apoyo y por que sabe lo  
que a sus alumnos les conviene y  
como inducirlos a lograrlo.*

*Al Centro Tecnológico de Aragón y en  
especial al grupo GAMM.*

*A Ing. Sergio Aguilar*

*Porque con los debates y pláticas que tuvimos  
con la idea de "salvar al mundo" y con los  
ejemplos, hizo que aprendiera a tomar las  
primeras grandes decisiones en mi vida y poner  
los cimientos que sostendrán mi vida futura.*

*A todos:*

*¡ Muchas Gracias !*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Solo aquel ser humano que se encuentra en la tempestad puede conocer su grandeza y su pequeñez....

Anónimo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ÍNDICE

## Simbología

## Introducción

<b>I. Materiales compuestos.</b>	<b>3</b>
I.1. Historia de los materiales compuestos.	3
I.2. Clasificación de los materiales compuestos.	5
I.2.1. Materiales compuestos reforzados con partículas.	6
I.2.1.1. Partículas endurecidas por dispersión.	6
I.2.1.1.1. Consideraciones en la selección del dispersante.	7
I.2.1.2. Materiales compuestos particulados verdaderos.	8
I.2.2. Materiales compuestos reforzados con fibras.	8
I.2.2.1. Predicción de las propiedades de los compuestos reforzados con fibras.	9
I.2.2.2. Módulo de elasticidad.	10
I.2.2.3. Resistencia mecánica.	11
I.2.2.4. Fibras discontinuas.	12
I.2.2.5. Características de los componentes reforzados con fibras.	12
I.2.2.5.1. Relación de aspecto.	12
I.2.2.5.2. Fracción volumétrica de fibras.	12
I.2.2.5.3. Orientación de las fibras.	12
I.2.2.5.4. Propiedades de la fibra.	13
I.2.2.5.5. Propiedades de la matriz.	14
I.2.3. Materiales compuestos laminares.	15
I.2.3.1. Regla de las mezclas.	15
I.2.3.2. Laminares.	16
I.2.3.3. Recubrimientos duros.	17
I.2.3.4. Metales de revestimiento.	17
I.2.3.5. Bimetales.	17
I.2.3.6. Estructuras de tipo emparedado "sándwich".	19

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<b>II. Tipos de unión de materiales compuestos.</b>	<b>24</b>
II.1. Adsorción y humectación (impregnabilidad).	24
II.2. Reacción o interdifusión.	27
II.3. Atracción electrostática.	28
II.4. Enlace químico.	29
II.5. Adhesión mecánica.	29
II.6. Adhesivos.	30
II.6.1. Clasificación de los adhesivos.	30
II.6.1.1. Clasificación general.	31
II.6.1.2. Clasificación por la temperatura de unión.	31
II.6.1.3. Clasificación por el origen.	31
II.6.1.4. Clasificación por el método de unión.	32
II.6.1.5. Adhesivos convertibles y no convertibles.	32
II.6.1.6. Clasificación según el ingrediente mayoritario.	33
II.6.1.7. Adhesivos estructurales.	34
II.6.1.8. Preparación de superficies.	35
II.6.1.9. Elección del adhesivo.	36
<b>III. Mecanismos de Presión.</b>	<b>37</b>
III.1. Tipos de prensas.	37
III.1.1. Clasificación según la fuente de energía.	38
III.1.2. Clasificación en función de los arietes.	38
III.1.3. Clasificación de acuerdo al diseño del bastidor.	38
III.1.4. Clasificación de acuerdo al método de aplicación de potencia al ariete.	38
III.1.5. Clasificación de acuerdo al propósito de la prensa.	39

<b>IV. Diseño de la prensa.</b>	51
IV.1. Cálculos de la presión.	55
IV.2. Potencia de las bombas.	62
IV.3. Cálculo de las cisternas.	66
IV.4. Cálculos de la tina.	67
IV.5. Cálculos para el diámetro de los cables.	72
IV.6. Diámetro por torsión de la flecha de transmisión.	76
IV.7. Diámetro por el método de los momentos máximos.	82
IV.8. Selección del reductor.	87
IV.9. Modelado computacional.	89
<b>V. Análisis de resultados.</b>	92
<b>Conclusiones.</b>	95
<b>Bibliografía</b>	97



## Simbología y abreviaturas.

<u>Símbolo</u>	<u>Significado</u>	<u>Unidades SI</u>
A	área	m
D, d	diámetro	m
$E_c$	módulo de elasticidad del compuesto	$\frac{N}{m^2}$
$E_f$	módulo de elasticidad de la fibra	$\frac{N}{m^2}$
$E_m$	módulo de elasticidad de la matriz	$\frac{N}{m^2}$
F	fuerza (en general)	N
$F_{eq.}$	fuerza equivalente	N
F.S.	factor de seguridad	Adimensional
$F.S.$	factor de servicio	Adimensional
$f$	fracción volumétrica	Adimensional
$f_m$	fracción volumétrica de la matriz	Adimensional
$f_f$	fracción volumétrica de la fibra	Adimensional
G	módulo de elasticidad al cortante	Pa
g	aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$
H	altura (en general)	m
$H_1$	altura en el punto 1	m
$H_2$	altura en el punto 2	m
$H_c$	altura en el centroide	m

J	momento de inercia	$m^4$
$K_c$	conductividad térmica del compuesto	$\frac{W}{m^2K}$
$K_m$	conductividad térmica de la matriz	$\frac{W}{m^2K}$
$K_f$	conductividad térmica de la fibra	$\frac{W}{m^2K}$
$l_c$	longitud crítica de la fibra	m
L	longitud, largo	m
m	masa (en general)	kg
$m_{Máx.}$	masa máxima	kg
M	momento flexionante	N-m
P	presión	$\frac{N}{m^2} = Pa \text{ y atm}$
Pote.	potencia	Watts, HP
Q	caudal	$\frac{m^3}{s}$
Ry	reacción en el eje Y	N
Rx	reacción en el eje X	N
S	módulo de sección	$m^3$
t	tiempo	s
T	tensión (en general)	N
$T_{1x}, T_{2x}$	tensiones en los puntos 1 y 2 del eje X	N
$T_{1y}, T_{2y}$	tensiones en los puntos 1 y 2 del eje Y	N
T	par de torsión	N-m

$T_T$	par de torsión total	N-m
$V$	volumen (en general)	$m^3$
$V_{m\acute{a}x.}$	volumen máximo	$m^3$
$v$	velocidad (en general)	$\frac{m}{s}$
$v_1$	velocidad inicial	$\frac{m}{s}$
$v_2$	velocidad final	$\frac{m}{s}$
$V$	fuerza cortante (vertical)	N
$W$	peso (en general) o carga total	N
$W_{cc}$	peso en cada cable	N
$\theta$	deformación angular	radianes y grados
$\theta_T$	deformación angular total	radianes y grados
$\theta_{AB}, \theta_{BC} \dots$	deformación angular parcial en la sección indicada.	radianes y grados
$\rho$	densidad	$\frac{kg}{m^3}$
$\rho_c$	densidad del compuesto	$\frac{kg}{m^3}$
$\rho_f$	densidad de la fibra	$\frac{kg}{m^3}$
$\rho_m$	densidad de la matriz	$\frac{kg}{m^3}$
$\gamma$	peso específico	$\frac{N}{m^3}$
$\sigma$	esfuerzo (en general) axial o normal	Pa

$\sigma_p$	esfuerzo permisible	Pa
$\sigma_{PT}$	esfuerzo permisible a tensión	Pa
$\sigma_{real}$	esfuerzo real	Pa
$\sigma_f$	esfuerzo de fluencia	Pa
$\sigma_c$	conductividad eléctrica del compuesto	$\frac{m}{\Omega mm^2}$
$\sigma_f$	conductividad eléctrica de la fibra	$\frac{m}{\Omega mm^2}$
$\sigma_m$	conductividad eléctrica de la matriz	$\frac{m}{\Omega mm^2}$
$\tau$	esfuerzo cortante (en general)	Pa
$\tau_f$	esfuerzo de fluencia a cortante	Pa
$\tau_p$	esfuerzo permisible a cortante	Pa
$\tau_{M\acute{a}x.}$	esfuerzo cortante máximo	Pa
$\tau_{M\acute{a}x.Total.}$	esfuerzo cortante máximo total	Pa

K

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **Introducción.**

Debido a que los materiales compuestos presentan propiedades únicas que los materiales de manera individual no pueden incorporar, su aplicación a nivel mundial ha tenido un incremento notable, en gran medida por su elevada resistencia específica (relación resistencia – peso), factor primordial que ha favorecido su incursión en distintas áreas tecnológicas, entre las que destacan la aeronespacial y automotriz, áreas que son dos de los principales activadores de la economía de los países, así como la industria petrolera y turismo en nuestro país.

Sin duda alguna, por las características propias de los materiales compuestos, sus aplicaciones dependen, no sólo del reconocimiento de sus propiedades, sino de la imaginación de grupos ínter y multidisciplinarios en las áreas de ingeniería, para la generación de equipos, estructuras, dispositivos y sistemas de producción, que permitan un manejo adecuado del material, la facilidad de manufactura, y la versatilidad requerida en el procesamiento de los diversos materiales compuestos, con el objetivo primordial de optimizar las condiciones operativas de las empresas.

Tal problemática se presenta en muchas de las empresas nacionales e internacionales que están tratando de incursionar en el desarrollo tecnológico de los materiales compuestos, ya que en muchos de sus procesos de fabricación se requieren de equipos especiales que garanticen, la estabilidad dimensional y la mejor calidad superficial en sus productos, o incluso la apertura de nuevas líneas de fabricación, ya que con dichos equipos se podrían manufacturar piezas más complejas y de mayor tamaño respecto a las que se producen en la actualidad.

Por ello el eje rector de este proyecto es el diseño de una prensa que utiliza como principio fundamental las fuerzas hidrostáticas, para poder unir materiales compuestos laminares, con la característica primordial de que la compresión ejercida sea homogénea y que en ella se pueda variar la presión, para el manejo de diversos materiales, controlando el acabado superficial de los productos elaborados, implementando la ergonomía y seguridad en los dispositivos y todo ésto a un menor costo, en comparación con la aplicación de sistemas mecánicos.

Cabe resaltar que los mecanismos de unión son de vital importancia para que se pueda lograr una adecuada unión de los materiales compuestos, ya que éstos permiten la rigidez y la resistencia adecuada en la interfase del compuesto.

Sin duda, la unión de los materiales compuestos se fundamenta en las características propias de cada uno de los constituyentes, pero en general se atribuye que los mecanismos principales de unión son los siguientes: adsorción y humectación (impregnabilidad), reacción o interdifusión, atracción electrostática, enlace químico, adhesión mecánica, y los adhesivos. Cabe mencionar que dichos mecanismos se pueden aplicar aisladamente o en forma combinada, para garantizar las propiedades finales del compuesto.

Asimismo los mecanismos de presión o prensas, son dispositivos que nos permiten aplicar cargas de magnitudes muy elevadas, que se pueden utilizar en distintas aplicaciones, como en el caso del trabajo en frío de los metales y sus aleaciones y la manufactura de automóviles y aviones, siendo el conjunto de sistemas idóneo que facilita la producción en serie, disminuyendo con ello los costos de fabricación.

## **I. Materiales compuestos.**

Los materiales compuestos, también llamados compósitos, se definen como una combinación interna de materiales que difieren en composición o forma, en los cuales los diferentes constituyentes mantienen sus propiedades individualmente, pero actúan en conjunto, propiedades únicas en los compuestos que no es posible lograr en los constituyentes por separado, [1].

### **I.1. Historia de los materiales compuestos.**

Los materiales compuestos no son una novedad, éstos han sido utilizados por el hombre a través del tiempo, sólo que en la antigüedad se utilizaban tal y como se encontraban en la naturaleza, como la madera que servía y sigue sirviendo como un excelente material estructural, o el adobe que era el material con el que se hacían las construcciones y estaba compuesto de arcilla y paja principalmente, pero contenía otros elementos como estiércol y baba de nopal; ésta última era utilizada para darle el acabado.

Conforme fue pasando el tiempo y las necesidades de dar soluciones se hicieron más complejas, se crearon nuevos materiales como el hierro fundido, hormigón, ladrillo, vidrio, caucho y acero, los cuales solucionaron muchas de las necesidades existentes, pero por sus características y por las necesidades que la ingeniería y los tiempos exigían resultaban ser muy limitados.

Por lo tanto, los materiales compuestos, como la mayoría de los materiales y los inventos que han cambiado la historia del hombre, nacieron principalmente por una necesidad, dar soluciones en todos los campos de la ingeniería, mejorar u optimizar un proceso, una máquina, reducir costos, peso, que en el campo aerospacial es llamada resistencia específica y que es una de las características más importantes. En este último caso, el ahorro energético con frecuencia puede justificar los costos más elevados del material.

Porque así como el hombre ha ido evolucionando, ha sido necesario buscar nuevas maneras de estructurar los materiales y hacer investigaciones cada vez más minuciosas, a niveles microscópicos, para lograr proporcionar materiales estructurales que tengan propiedades mas allá de los que existen actualmente.

Así es como nacen los materiales compuestos, que como mencionamos en la definición, son llamados así porque se componen de diferentes materiales, todos ellos con características y propiedades individuales que los distinguen, pero que en conjunto mejoran notablemente dichas características y propiedades, como si se sumaran para obtener un material superior.

Estos materiales, de acuerdo a la aplicación, pueden seleccionarse para proporcionar combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a temperaturas elevadas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.

Con base en la combinación de materiales, los compuestos pueden ser metal-metal, metal-cerámica, metal-polímero, cerámica-polímero, cerámica-cerámica o polímero-polímero.

Los compuestos metal-cerámica, por ejemplo, incluyen las herramientas de corte de carburo cementado, el titanio reforzado con fibras de carburo de silicio y el acero esmaltado.

En esta misma combinación, metal-cerámica, podemos mencionar el caso de las bujías de los motores de automóviles.

En los compuestos metal-metal, podemos mencionar a la plata de acuñación de los Estados Unidos que está formada por una aleación cobre-níquel y a los bimetales que son materiales utilizados en los indicadores y controles de temperatura, aprovechando los diferentes coeficientes de dilatación térmica; los bimetales pueden actuar como interruptores de circuito, así como termostatos.

Por otro lado, una combinación de materiales metal-polímero, la tenemos en los cables conductores, en los cuales el cobre (metal) está recubierto por polietileno (polímero), que aísla al cobre para que, en el caso de la corriente, ésta no fluya en otras direcciones, y pueda causar accidentes.

El polietileno es probablemente el polímero que más se usa en la vida diaria, su uso se extiende a bolsas, envases, juguetes, chalecos a prueba de balas, etc.

Una combinación polímero-polímero, se encuentra en el caso de los neumáticos de los automóviles, éstos están formados en la rodadura por un polímero llamado poli-estireno-butadieno-estireno; en los costados del neumático, el polímero es poli-isopreno, y en el interior contiene otro tipo de polímero llamado poli-isobutileno, que es un caucho sintético o elastómero, que es impermeable a los gases, o sea que puede mantener a los gases por mucho tiempo. Este polímero también se usa para hacer las cámaras de los neumáticos, y los balones de baloncesto son cubiertos en su interior por este tipo de polímeros.

Los neumáticos, se encuentran en uno de los puntos mas críticos de un automóvil, porque de ellos dependen incluso las vidas de los pasajeros, es por eso que también son reforzados con hilos y alambres que en este caso funcionan como fibras.

El vidrio, es un material cerámico, que combinado en capas con una de plástico da como resultado un material compuesto cerámica-polímero, el cual es



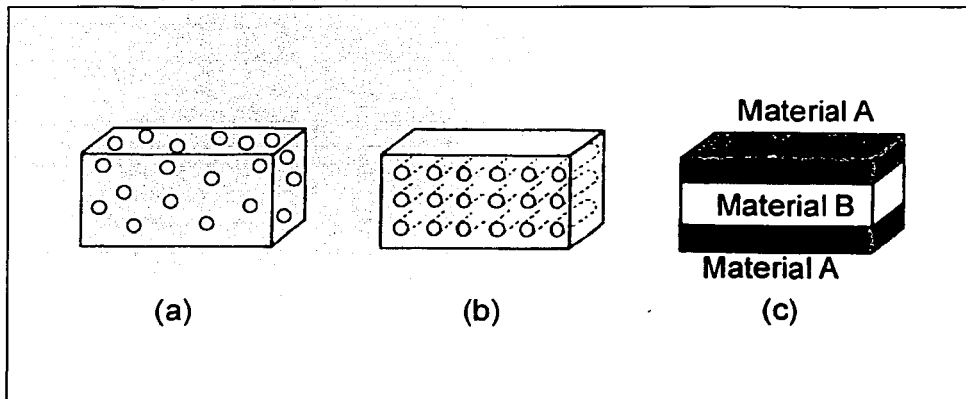
muy utilizado en los parabrisas de los automóviles, para que cuando ocurran accidentes o choques fuertes los cristales no salgan despedidos, o dañen a los ocupantes de los mismos.

## 1.2. Clasificación de los materiales compuestos.

Hoy en día existe una cantidad muy grande y variable de materiales compuestos, todos ellos cumpliendo una función en alguna rama de la ingeniería, algunos con aleaciones muy especiales como en la aeronáutica y otros no tanto, de tal manera que sería una tarea difícil hacer una clasificación de cada uno de ellos.

De una manera general, los materiales compuestos pueden clasificarse en tres categorías dependiendo de las formas de los materiales y éstas son:

- Compuestos con partículas.
- Compuestos con fibras.
- Compuestos laminares.



**Figura 1.** Comparación de los tres tipos de materiales compuestos. (a) Con partículas, (b) Reforzados con fibras y (c) Laminares.

Por ejemplo, el concreto, mezcla de cemento, grava y arena es un compuesto particulado; la fibra de vidrio, que consta de fibras de vidrio en un polímero, es un compuesto reforzado con fibras y la madera terciada o "triplay" que tiene capas alternadas de madera chapada con veta es un compuesto laminar, [2].

### **1.2.1. Materiales compuestos reforzados con partículas.**

En los materiales compuestos reforzados con partículas, las partículas de un material duro y frágil dispuestas de una manera discreta y uniforme se rodean por una matriz más blanda y dúctil.

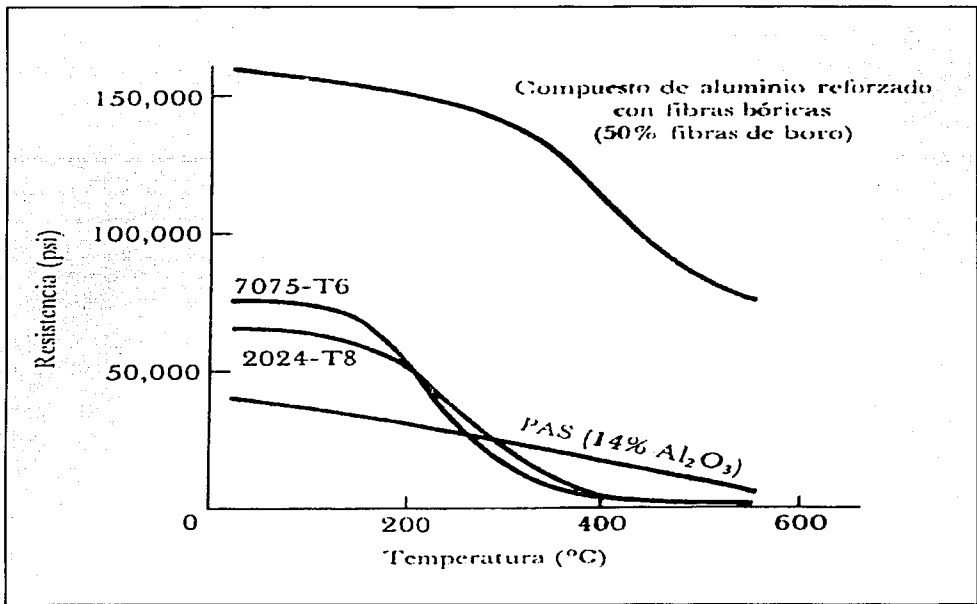
Los materiales compuestos reforzados con partículas se pueden subdividir en dos categorías generales, basadas en el tamaño y la sustancia de las partículas que influyen en las propiedades del compuesto. Estas categorías son:

- a) Los compuestos endurecidos por dispersión.
- b) Los compuestos con partículas propiamente dichos.

#### **1.2.1.1. Compuestos endurecidos por dispersión.**

En este tipo de compuestos, el tamaño de las partículas es muy pequeño con diámetro de 100Å a 2500Å, debido a que las partículas pequeñas obstaculizan el movimiento de las dislocaciones y producen un efecto pronunciado de endurecimiento.

A temperaturas normales, los compuestos endurecidos por dispersión no resultan más resistentes que las aleaciones metálicas de dos fases. Sin embargo, debido a que los compuestos endurecidos por dispersión no se ablandan catastróficamente debido al sobrevejecimiento, el sobreveimiento, el crecimiento de grano o al engrosamiento de la fase dispersa, la resistencia del compuesto decrece gradualmente conforme se incrementa la temperatura. Sin embargo, la resistencia a la termofluencia es superior a la de los metales y las aleaciones.



**Figura 2.** Comparación del esfuerzo de fluencia del polvo de aluminio sinterizado (PAS), endurecido por dispersión con dos aleaciones de aluminio convencionales de alta resistencia, de dos fases. El compuesto tiene ventajas a unos 300 °C. Se considera un compuesto de aluminio reforzado con fibras como comparación.

#### 1.2.1.1.1. Consideraciones en la selección del dispersante.

Las propiedades de los compuestos endurecidos por dispersión se pueden optimizar si se consideran los siguientes aspectos.

- a) La fase dispersa, por lo común un óxido duro y estable, debe ser un obstáculo efectivo para el deslizamiento.

- b) El material disperso debe tener un tamaño, forma, distribución y cantidad óptimos.
- c) El material disperso debe tener una baja solubilidad en el material de la matriz. Además, no debe de ocurrir ninguna reacción química entre el dispersante y la matriz.
- d) Se debe lograr una buena unión entre el material disperso y la matriz. Una pequeña solubilidad del dispersante en la matriz puede servir para producir una unión firme.

#### **1.2.1.2. Materiales compuestos particulados verdaderos.**

Estos compósitos contienen grandes cantidades de partículas gruesas que no obstaculizan de manera efectiva el deslizamiento.

Los compuestos con partículas incluyen muchas combinaciones de metales, cerámicas y polímeros; su objetivo es producir combinaciones poco frecuentes de propiedades y no para mejorar la resistencia. Ejemplos típicos de este tipo de compuestos son:

Los carburos cementados, contactos eléctricos, polímeros y moldes y corazones para fundición.

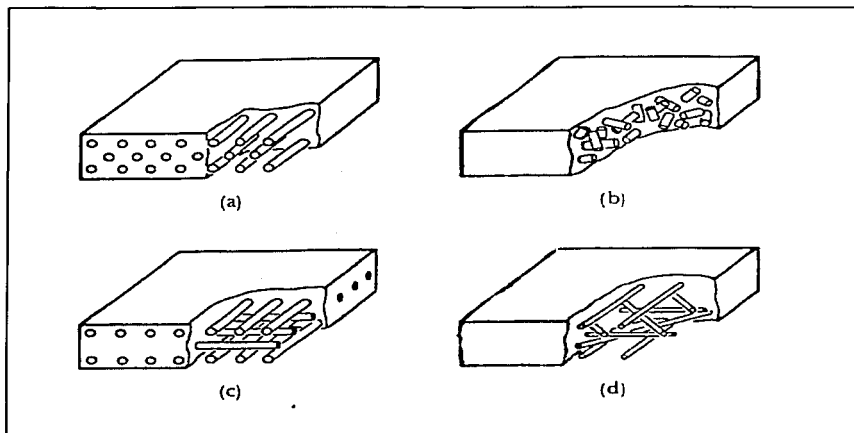
#### **1.2.2. Materiales compuestos reforzados con fibras.**

Estos compuestos mejoran la resistencia al esfuerzo, a la fatiga, la rigidez y la relación resistencia-peso, a través de la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada.

Existe una enorme variedad de materiales reforzados con fibras. Durante siglos la paja ha sido utilizada para darle resistencia a los adobes. En las estructuras de concreto se introducen como refuerzo varillas de acero. Las fibras vítreas en una matriz polimérica producen la fibra de vidrio para aplicaciones de transporte y aeroespaciales. Las fibras hechas de boro, grafito y polímeros proporcionan un refuerzo excepcional. Aún los diminutos monocristales de materiales cerámicos llamados whiskers, bigotes o triquitas han sido desarrollados para este objeto.

Los materiales reforzantes se ordenan también en una variedad de orientaciones (figura 3). Las fibras vítreas cortas orientadas aleatoriamente se encuentran presentes en la fibra de vidrio. Se pueden usar arreglos unidireccionales de fibras continuas para producir deliberadamente propiedades

anisotrópicas. Las fibras pueden colocarse en forma de telas o ser producidas en forma de cintas. Se pueden cambiar de orientación en las capas alternadas de cintas.



**Figura 3.** Varias morfologías de compuestos reforzados con fibras: (a) Fibras continuas unidireccionales, (b) Fibras discontinuas orientadas al azar, (c) Fibras ortogonales y (d) Fibras en capas múltiples.

### 1.2.2.1. Predicción de las propiedades de los compuestos reforzados con fibras.

La regla de las mezclas predice siempre la densidad de los compuestos reforzados con fibras.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{-----(1)}$$

Donde:

$f$  = Fracción volumétrica  
 $\rho$  = Densidad

Y donde los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra, respectivamente. Además, la regla de las mezclas predice con precisión las conductividades eléctrica y térmica de los materiales reforzados con fibras a lo largo de la dirección de las fibras, si éstas son continuas y unidireccionales.

$$K_c = f_m K_m + f_f K_f \quad \text{-----}(2)$$

$$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f \quad \text{-----}(3)$$

Donde K es la conductividad térmica y  $\sigma$  la conductividad eléctrica, [2].

### 1.2.2.2. Módulo de elasticidad.

Cuando se aplica una carga paralelamente a las fibras continuas unidireccionales, la regla de las mezclas predice con precisión el módulo de elasticidad.

$$E_c = f_m E_m + f_f E_f \quad \text{-----}(4)$$

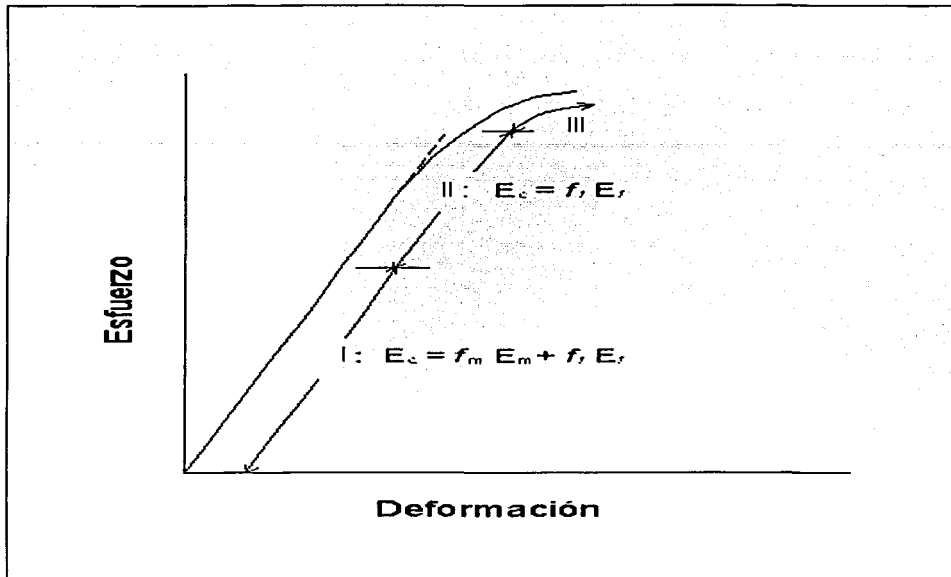
Sin embargo, cuando el esfuerzo aplicado es muy grande, la matriz se empieza a deformar y la curva esfuerzo-deformación ya no es lineal (figura 4).

Puesto que la matriz ahora contribuye poco a la rigidez del compuesto, el módulo puede ser calculado de manera aproximada por la ecuación (5):

$$E_c = f_f E_f \quad \text{-----}(5)$$

Cuando la carga se aplica perpendicularmente a las fibras, cada componente actúa independientemente del otro. El módulo del compuesto es ahora:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f} \quad \text{-----}(6)$$



**Figura 4.** Curva esfuerzo-deformación para un compuesto reforzado con fibras. A bajos esfuerzos, el módulo de elasticidad está dado por la regla de las mezclas. A esfuerzos mayores, la matriz se deforma y la regla de las mezclas ya no se cumple.

### I.2.2.3. Resistencia mecánica.

La resistencia a los esfuerzos de un compuesto depende de la unión entre las fibras y la matriz, y se encuentra limitada por la deformación de ésta última. En consecuencia, la resistencia es casi siempre menor que la calculada por la regla de las mezclas.

Otras propiedades como la ductilidad, tenacidad, resistencia a la fatiga y termofluencia son aún más difíciles de predecir que la resistencia a la tensión.

#### **1.2.2.4. Fibras discontinuas.**

Las propiedades del compuesto son más difíciles de predecir cuando las fibras son discontinuas. Debido a que los extremos de cada fibra soportan menos carga que el resto de la fibra, la resistencia del compuesto es inferior a la predicha por la regla de las mezclas.

El error se reduce cuando la longitud real de las fibras  $l$  es mayor que una longitud de fibra crítica  $l_c$ , o más precisamente, cuando la relación longitud-diámetro de las fibras  $\frac{l}{d}$  excede un valor crítico. Esta relación llamada relación de aspecto, afecta significativamente las propiedades del compuesto.

#### **1.2.2.5. Características de los compuestos reforzados con fibras.**

Gran diversidad de factores deben ser considerados cuando se diseña un compuesto reforzado con fibras.

##### **1.2.2.5.1. Relación de aspecto.**

Las fibras continuas, que proporcionan las mayores resistencias, son a menudo difíciles de producir y de introducir en el material de la matriz. En cambio, las fibras discontinuas con una alta relación de aspecto son más fáciles de introducir en una matriz, produciendo así una gran rigidez y resistencia.

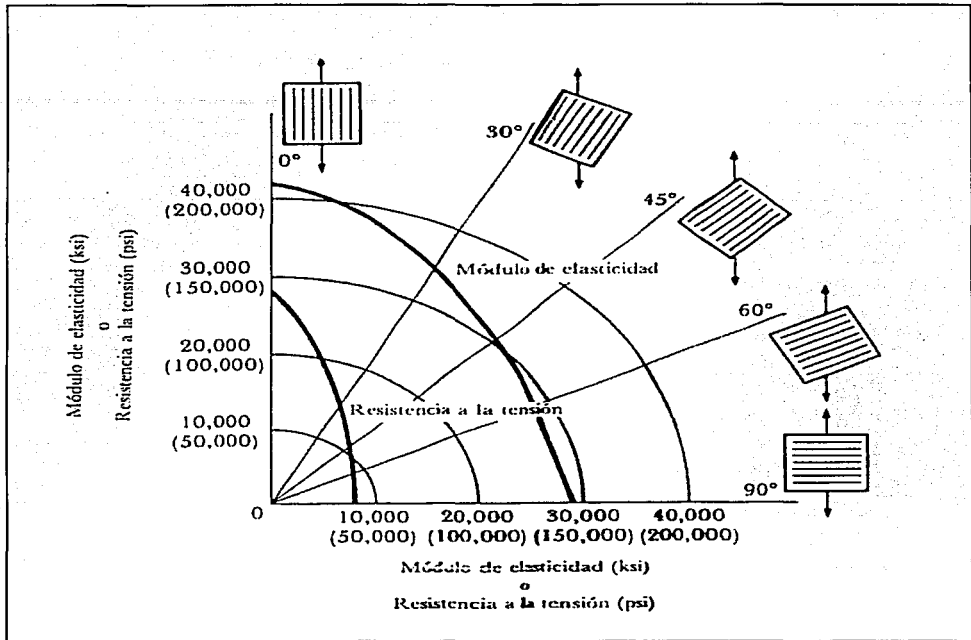
##### **1.2.2.5.2. Fracción volumétrica de fibras.**

Una mayor fracción volumétrica de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del compuesto. El límite superior, de aproximadamente 80%, está determinado por la posibilidad para rodear las fibras con el material de la matriz.

##### **1.2.2.5.3. Orientación de las fibras.**

Las fibras unidireccionales tienen rigidez y resistencia óptimas cuando la carga aplicada es paralela a las fibras (figura 5). Sin embargo, las propiedades son muy anisotrópicas (es decir, varían con la orientación o dirección de las coordenadas de referencia). Podemos en su lugar, usar fibras colocadas de una manera ortogonal o en capas cruzadas; sacrificando la máxima resistencia se obtienen propiedades más uniformes en el compuesto.





**Figura 5.** Efecto de la orientación de las fibras con respecto al esfuerzo aplicado en un compuesto de fibras de boro en matriz de titanio.

#### 1.2.2.5.4. Propiedades de la fibra.

El material de la fibra debe ser fuerte, rígido, ligero y tener una elevada temperatura de fusión. La resistencia específica y el módulo específico están definidos por:

$$\text{Resistencia específica} = \frac{\sigma}{\rho} \quad \text{-----}(7)$$

$$\text{Módulo específico} = \frac{E}{\rho} \quad \text{-----}(8)$$

Donde: E es el módulo de elasticidad,  $\sigma$  es el esfuerzo de fluencia y  $\rho$  es la densidad. Los materiales con una resistencia específica y un módulo específico altos, son preferidos para utilizarse como fibras.

El mayor módulo específico se encuentra en los materiales que tienen número atómico y enlace covalente bajos, como el grafito y el boro. Estos dos elementos tienen también alta resistencia mecánica y alta temperatura de fusión.

Deben usarse en un material compuesto, debido a que son demasiado frágiles y reactivos como para ser usados solos.

El Kevlar, nombre comercial de un polímero poliamida aromático endurecido con una estructura principal constituida por anillos de benceno, tiene excelentes propiedades mecánicas aunque su temperatura de fusión es baja.

La alúmina y el vidrio también son ligeros y tienen elevada resistencia y módulo específico. El berilio y el tungsteno, aunque con enlaces metálicos, tienen un gran módulo que los hace útiles para ciertas aplicaciones. Los bigotes de gato (whiskers) tienen mayor resistencia y rigidez; sin embargo, son discontinuos y su producción es complicada y costosa.

#### **1.2.2.5.5. Propiedades de la matriz.**

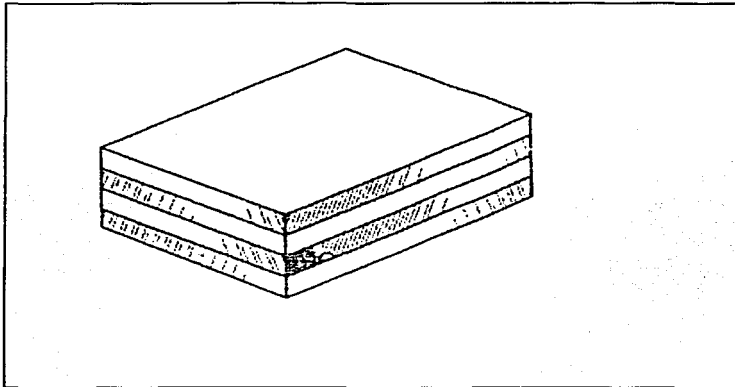
Estos materiales son por lo común tenaces y dúctiles para transmitir la carga a las fibras y evitar que las grietas causadas por fibras rotas se propaguen a todo el compuesto.

La matriz debe ser resistente a fin de contribuir en la resistencia total del compuesto.

Finalmente, la temperatura de fusión influye en las propiedades de la matriz. Los polímeros pueden utilizarse desde un máximo de 80 °C en poliésteres a 315 °C en resinas poliamídicas. Las matrices metálicas permiten mayores temperaturas de operación.

### **I.2.3. Materiales compuestos laminares.**

Los compuestos laminares incluyen recubrimientos muy delgados, superficies protectoras más gruesas, revestimientos, elementos bimetálicos o bimetálicos, laminados y muchos otros. En la figura 6 se muestra un material compuesto laminar convencional.



**Figura 6.** Material compuesto laminar convencional.

Muchos compuestos laminares son diseñados para mejorar la resistencia a la corrosión mientras se mantiene un bajo costo, alta resistencia o bajo peso. Otras aplicaciones importantes incluyen una superior resistencia al desgaste o abrasión, una mejor apariencia y características poco usuales de expansión térmica.

#### **I.2.3.1. Regla de las mezclas.**

Algunas propiedades de los materiales compuestos laminares paralelamente al laminado se pueden determinar a partir de la regla de las mezclas, la cual implica el cálculo del promedio ponderado de las propiedades de los materiales constituyentes. La densidad, la conductividad térmica y eléctrica, así como el módulo de elasticidad pueden calcularse con poco error.

$$\text{Densidad} = \rho_c = \sum f_i \rho_i \quad \text{-----}(9)$$

$$\text{Conductividad eléctrica} = \sigma_c = \sum f_i \sigma_i \quad \text{-----}(10)$$

$$\text{Conductividad térmica} = K_c = \sum f_i K_i \quad \text{-----}(11)$$

$$\text{Módulo de elasticidad} = E_c = \sum f_i E_i \quad \text{-----}(12)$$

Los compuestos laminares son muy anisotrópicos, es decir, que sus propiedades varían con la orientación o dirección de las coordenadas de referencia. Las propiedades perpendicularmente al laminado son:

$$\text{Conductividad eléctrica} = \frac{1}{\sigma_c} = \sum \frac{f_i}{\sigma_i} \quad \text{-----}(13)$$

$$\text{Conductividad térmica} = \frac{1}{K_c} = \sum \frac{f_i}{K_i} \quad \text{-----}(14)$$

$$\text{Módulo de elasticidad} = \frac{1}{E_c} = \sum \frac{f_i}{E_i} \quad \text{-----}(15)$$

### I.2.3.2. Laminares.

Los laminares (o laminados) son capas de materiales unidos por un adhesivo orgánico. Un compuesto laminar muy conocido es la madera contrachapada (o triplay), en la cual un número impar de chapas u hojas de madera veteada se aplica de modo que la veta quede en ángulo recto en cada capa alternada. Las hojas se pegan con un adhesivo como la resina fenólica o la resina amino. El triplay permite fabricar productos de madera en dimensiones grandes, siendo baratos y resistentes a rajaduras y deformaciones.

El vidrio de seguridad es un compuesto laminar, en el cual un adhesivo plástico, como el burital polivinilo, une dos hojas de vidrio; el adhesivo impide que vuelen los fragmentos de un vidrio cuando éste se rompe.

Los laminados adhesivos combinan características poco comunes, incluyendo poco peso, inactivación de la flama, resistencia al impacto y corrosión, fácil conformabilidad y maquinabilidad, y características útiles de aislamiento.

### **I.2.3.3. Recubrimientos duros.**

Capas superficiales duras y resistentes al desgaste pueden ser depositadas sobre materiales más suaves y dúctiles mediante técnicas de soldadura por fusión, denominadas de recubrimiento protector.

Las aleaciones para tal objeto incluyen clases endurecibles de acero, hierros y aceros que producen carburos de alta dureza, aleaciones a base de cobalto y ciertas aleaciones no ferrosas. Las barras de compuesto de carburo de tungsteno pueden usarse también para proporcionar carburo de tungsteno en la superficie de desgaste. Procedimientos similares de soldadura pueden mejorar la resistencia a la corrosión o al calor en las superficies.

### **I.2.3.4. Metales de revestimiento.**

Los materiales para este fin son compuestos metal-metal. Un ejemplo es la plata de acuñación de Estados Unidos. Una aleación Cu-80%-Ni se une por ambos lados a una aleación Cu-20%-Ni. La aleación de alto níquel da un color plata, mientras que un corazón predominante de cobre da un bajo costo.

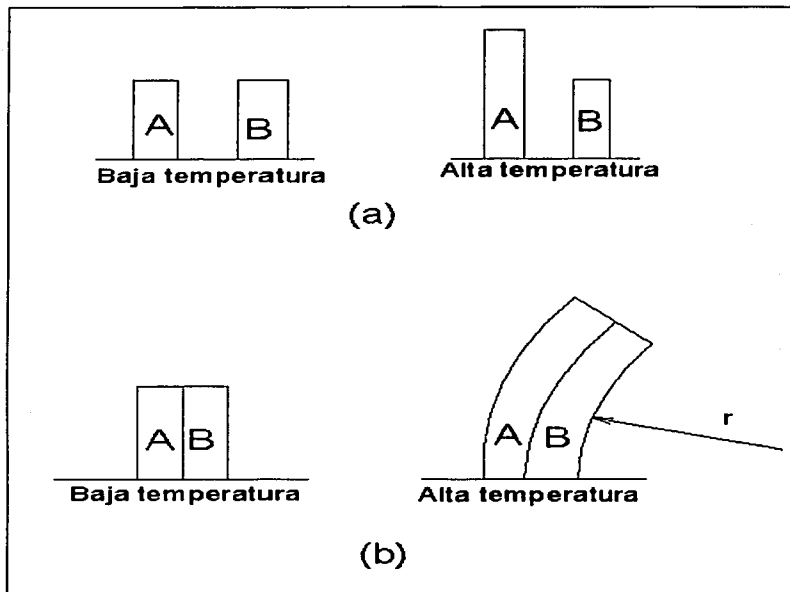
Los materiales de revestimiento tienen una combinación adecuada de buena resistencia a la corrosión y mecánica.

El Alclad es un compuesto, en el cual el aluminio comercialmente puro se une con aleaciones de aluminio de mayor resistencia. El aluminio puro protege de la corrosión a la aleación más resistente. Este metal se utiliza en la construcción de aeronaves, cambiadores de calor, edificios y tanques de almacenamiento, donde son deseables las combinaciones de resistencia a la corrosión, resistencia mecánica y ligereza.

### **I.2.3.5. Bimetales.**

Los indicadores y los controles de temperatura utilizan los diferentes coeficientes de dilatación térmica de dos metales en un compuesto laminar (figura 7). Si se calientan dos piezas de metal, el metal con mayor coeficiente de dilatación se alargará más. Si las dos tiras de metal están rígidamente unidas, la diferencia entre sus coeficientes provoca que en el elemento bimetalico se produzca una curvatura. Si uno de los extremos de la tira queda fijo, el extremo libre se moverá. La cantidad de movimiento depende de la temperatura; midiendo

la curvatura o deflexión de la tira se puede determinar la temperatura. De modo semejante, si el extremo libre de la tira activa un relevador, la tira puede encender o apagar un horno o un acondicionar de aire para regular la temperatura.



**Figura 7.** Efecto del coeficiente de dilatación térmica en el comportamiento de los materiales. (a) El incremento de la temperatura aumenta la longitud en uno de los metales más que la del otro. (b) Si los dos metales se encuentran unidos (tira bimetálica), la diferencia en la expansión produce curvatura en la tira.

La deformación de la tira metálica está dada por el radio de curvatura  $r$  que se produce. Si las dos tiras son del mismo espesor, entonces:

$$\frac{1}{r} = \frac{24(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T}{t \left[ 14 + \frac{E_2}{E_1} + \frac{E_2}{E_1} \right]} \text{-----(16)}$$

Donde  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  son los coeficientes de dilatación térmica  $\left( \frac{\text{plg}}{\text{plg}^\circ\text{F}} \right)$ ;  $E_1$  y  $E_2$  son los módulos de elasticidad (psi),  $\Delta T$  es el cambio de temperatura ( $^\circ\text{F}$ ) y  $t$  es el espesor de la tira (plg). Conforme se incrementa la diferencia en el coeficiente de expansión, o bien la temperatura, disminuye el radio de curvatura, lo cual determina una gran deflexión.

Los metales utilizados para los bimetales deben tener:

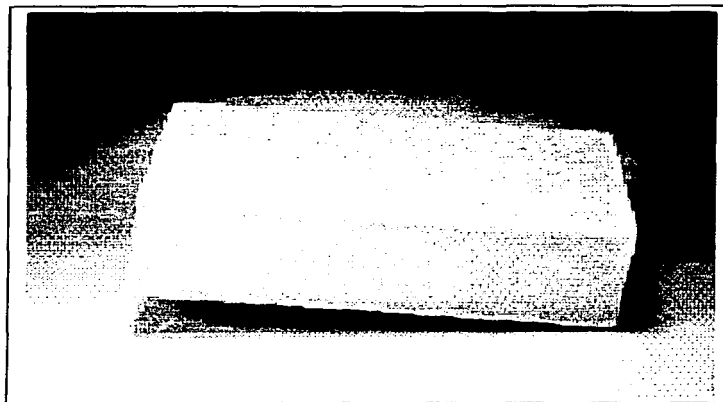
- a) Coeficientes de dilatación muy diferentes.
- b) Características reversibles y repetibles de expansión.
- c) Un alto módulo de elasticidad de modo que el dispositivo bimetálico pueda funcionar.

A menudo la tira de bajo coeficiente se hace de "Invar", una aleación hierro-níquel, mientras que la de alto coeficiente puede ser de latón, monel, manganeso-níquel-cobre, níquel-cromo-hierro o níquel puro.

Los bimetales pueden actuar como interruptores de circuito, así como termostatos; si una corriente muy alta circula a través de la tira, el calentamiento provoca una deflexión y abre el circuito, [2].

#### **1.2.3.6. Estructuras de tipo emparedado "sándwich".**

Los materiales emparedados tienen capas delgadas de un material expuesto, unidas con un material ligero de relleno, como la espuma plástica. Ni el relleno ni el material expuesto son fuertes o rígidos, pero el compuesto posee ambas propiedades (figura 8).



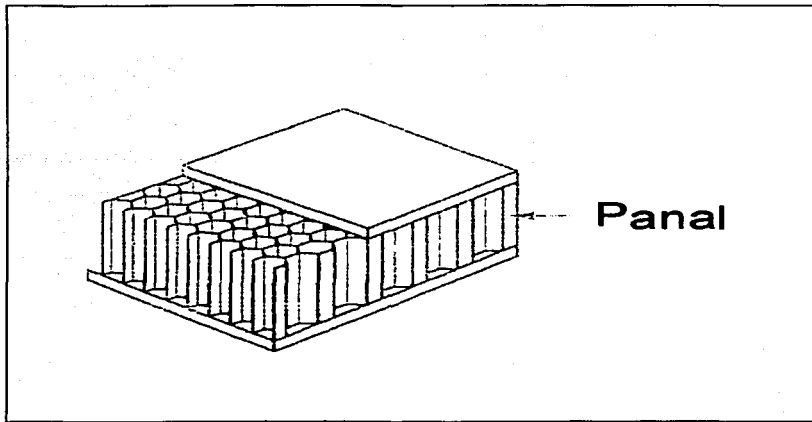
**Figura 8.** Estructura sándwich con corazón de espuma plástica.

Otro ejemplo conocido es el cartón corrugado. A un centro de papel corrugado se pega por ambas caras una capa de papel grueso, ni el papel corrugado ni el papel de las caras son rígidos, pero su combinación sí lo es.

Un ejemplo importante es la estructura en panal utilizada en las aeronaves. Puede producirse un panal pegado entre sí uniendo tiras delgadas de aluminio en sitios apropiados. Esta estructura también se conoce como Honeycomb (panal).

El material del panal es desplegado o expandido para producir un panel celular de muy baja densidad que por sí mismo es inestable. Cuando se pega una hoja de aluminio a cada lado del panal se obtiene un emparedado muy rígido, fuerte y excepcionalmente ligero (figura 9).





**Figura 9.** Estructura sándwich de panal.

La razón de usar una estructura "sándwich" es obtener un material con una alta relación de resistencia y rigidez al peso.

Las estructuras "sándwich" ofrecen un conjunto de valores que no pueden ser igualados por los materiales estructurales actualmente conocidos. Ésta es una de las razones por la cual los materiales compuestos han empezado a sustituir a los materiales tradicionales, en un número de aplicaciones cada vez más extenso y también, creando día con día nuevas posibilidades en muchos sectores de la actividad técnico-científica y constructiva moderna.

En este punto es importante mencionar que los materiales compuestos laminares que serán comprimidos, para ser unidos, por nuestra prensa son en su mayoría de este tipo (materiales compuestos laminares tipo sándwich) y entre ellos se encuentran combinaciones de: cartón, PVC, aluminio, fibra de vidrio y madera, los cuales son pegados con resinas epoxi, adhesivos bicomponentes, adhesivos doble cara, poliuretanos, entre otros.

En términos generales, las principales ventajas que presentan los materiales compuestos, basadas en una serie poco común de propiedades de orden físico, químico y mecánico pueden sintetizarse de la siguiente manera:

- a) Características mecánicas excepcionales, fácil y ampliamente adaptables a las necesidades.

Tratándose de materiales no homogéneos sino de compuestos, con una infinidad de combinaciones posibles y por consiguiente una multitud de valores específicos, la exacta apreciación cuantitativa de cada una de sus características ofrece un campo extenso de variaciones. A tal efecto no debe olvidarse que las propiedades finales de un material compuesto son siempre la resultante de una cantidad de factores y elementos capaces de combinar entre sí, de manera diferente y en proporción variable, que no sólo influyen, modifican y determinan sus características, sino que constituyen la razón misma de su dilatada versatilidad, basada justamente en la posibilidad de fabricarlos "a la medida" para cada necesidad o aplicación particular.

- b) Resistencia específica.

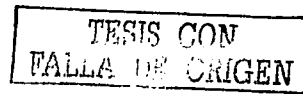
Las relaciones resistencia/peso bastante más favorables que las correspondientes al acero, aluminio, fibra de vidrio y a muchas otras aleaciones especiales. Esta importante característica brinda la posibilidad de reemplazar al acero, con una ganancia en peso con todas las ventajas que supone, principalmente en los costos de manejo de materiales.

- c) Resistencia al choque.

Una de las características más notables de la estructura "sándwich" es sin lugar a dudas su extraordinaria capacidad de absorción de energía. Dentro de los límites de ruptura, las estructuras sándwich se comportan como perfectamente elásticos sin presentar ningún tipo de deformación permanente, lo cual nos dice que obedecen de forma prácticamente absoluta a la ley de Hooke, según la cual, las deformaciones son proporcionales a las solicitudes y cuando éstas terminan, también las deformaciones desaparecen.

- d) Estabilidad dimensional.

Los materiales compuestos tienen muy bajo coeficiente de dilatación térmica, no se expanden ni se contraen por variaciones de humedad y son lo suficiente fuertes para resistir los esfuerzos de dilatación y contracción de las resinas; estas propiedades son transferidas por las fibras a la estructura "sándwich" que resulta así dotada de una estabilidad dimensional con todas las ventajas inherentes.



e) Condiciones térmicas.

A pesar de que las resinas son en general combustibles, se han logrado formularlos llamados autoextinguibles (no mantienen la combustión). La resistencia al calor en formulaciones estándar admite temperaturas del orden de los 100°C y en especiales de 170°C en servicio permanente, conservando a esta temperatura prácticamente inalterables sus excelentes características iniciales, sin aparente problema de degradaciones en pruebas aceleradas de envejecimiento, aún con materiales químicos.

f) Resistencia química.

La totalidad de las estructuras "sándwich" están exentas de cualquier tipo de corrosión electrolytica y ofrecen normalmente muy buena resistencia contra el ataque de una extensa gama de agentes químicos, de acuerdo con la clase de resinas empleadas.

g) Resistencia a la intemperie.

Años de empleo masivo de estos materiales han demostrado el excelente comportamiento y la óptima resistencia a la intemperie como son: las variaciones en las condiciones atmosféricas, al agua en general, así como frente a la acción destructora de mohos y de microorganismos en general, que tanto daño causan a las estructuras metálicas.

h) Conservación y envejecimiento.

Como puede deducirse fácilmente de su naturaleza y de sus características, los materiales compuestos presentan en general una excepcional resistencia a todas las causas externas de envejecimiento por más rigurosas que éstas sean, soportando prácticamente sin alteraciones de ninguna clase, sucesivas e importantes variaciones de temperatura y humedad, así como la influencia directa de los más diversos agentes de degradación.

Los materiales compuestos que están casi exentos de fenómenos de fatiga o deformación permanente, mantienen inalterables a lo largo del tiempo todas sus mejores propiedades mecánicas aún en el caso de ser sometidos a esfuerzos considerables, no importando si éstos fueran aplicados en forma continua o variable. Ésto permite a la estructura "sándwich" conservar, sin pérdidas apreciables, en el orden mecánico la totalidad de su capacidad y características originales.

## **II. Tipos de unión de materiales compuestos.**

Como se mencionó en el capítulo anterior, para que se logre el éxito en un material compuesto, los refuerzos deben estar fuertemente unidos a la matriz de tal forma que su resistencia y rigidez sean transmitidas al material compuesto.

El comportamiento a fractura también depende de la resistencia de la interfase. Una interfase débil da como resultado un material con baja rigidez y resistencia, pero alta resistencia a la fractura; mientras que una interfase fuerte resulta en un material rígido y resistente, pero con una frágil resistencia a la fractura.

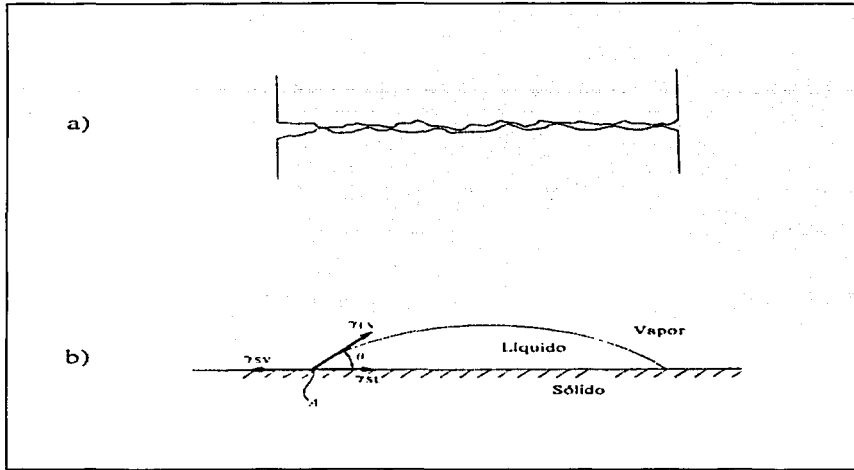
En un sistema sencillo, de un compuesto reforzado con fibras, la unión en una interfase es debida a la adhesión entre la fibra y la matriz. Sin embargo, las fibras están a menudo cubiertas con una capa de material que forma una unión entre la fibra y la matriz.

La adhesión puede ser atribuida a cinco mecanismos principales que pueden tener lugar en la interfase, ya sea aisladamente o en combinación, para producir la unión, dichos mecanismos se explican a continuación, [6].

### **II.1. Adsorción y humectación (impregnabilidad).**

Cuando dos superficies eléctricamente neutras se ponen lo suficientemente juntas hay una atracción física que se comprenderá mejor, considerando la humectación de las superficies sólidas por líquidos. En el caso de sólidos que se coloquen juntos, la rugosidad de la superficie en una escala microscópica y atómica impide que las superficies entren en contacto, excepto en puntos aislados, como se ilustra en la figura 10a. Además, las superficies están usualmente contaminadas. Incluso si se elimina la contaminación y se produce una fuerte adhesión en los puntos de contacto, la adhesión promediada en la superficie total será débil.

Para la humectación efectiva de la superficie de una fibra la resina líquida debe cubrir cada saliente y cada entrante de la superficie para desplazar todo el aire. Deben evitarse también capas de contorno débiles.



**Figura 10.** a) Los puntos de contacto aislados llevan a una adhesión débil entre dos superficies rugosas sólidas. b) Ángulo de contacto ( $\theta$ ) y tensiones superficiales ( $\gamma$ ) para una gota de líquido en una superficie sólida. SV, SL y LV indican interfases sólido-vapor, sólido-líquido y líquido-vapor, respectivamente.

La humectación puede ser entendida con dos simples ecuaciones. La ecuación de Duprè para el trabajo termodinámico de la adhesión  $W_A$ , (ec. 17):

$$W_A = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad \text{-----(17)}$$

Donde  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  son las energías libres de superficie del líquido y sólido respectivamente, y  $\gamma_{12}$  es la energía libre de la interfase líquido-sólido. Esta ecuación puede relacionarse con la situación física de una gota líquida sobre una superficie sólida, usando la ecuación de Young. Cuando se resuelve el equilibrio de las fuerzas en el punto A (figura 10b), entonces la ecuación de Young establece:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos\theta \quad \text{-----(18)}$$

Donde  $\gamma_{sv}$ ,  $\gamma_{sl}$  y  $\gamma_{lv}$  son las energías libres de superficie o tensiones superficiales de las interfaces sólido-vapor, sólido-líquido y líquido-vapor, respectivamente, y  $\theta$  es el ángulo de contacto.

En el caso de que el ángulo de contacto tenga un valor de  $180^\circ$ , la gota de la figura esférica con un único punto de contacto entre el líquido y el sólido, y el impregnado no tendrá lugar.

Cuando el ángulo de contacto es de  $0^\circ$  se produce un impregnado perfecto.

A menudo se considera que el líquido no impregna el sólido si el ángulo de contacto es mayor de  $90^\circ$ .

La tensión superficial de los sólidos es muy difícil de medir mientras que la tensión superficial de los líquidos puede ser determinada de forma relativamente fácil.

La medida de  $\gamma_{sv}$ , puede ser obtenida a partir de la forma en que mojan al sólido líquidos de  $\gamma_{lv}$  conocida. Zisman introdujo el concepto de tensión superficial crítica de mojado  $\gamma_c$ , de forma que sólo los líquidos con  $\gamma_{lv} < \gamma_c$  se extenderán espontáneamente sobre el sólido. Éste es un parámetro útil al considerar el mojado de las fibras por la resina.

Por ello, el vidrio y el grafito con energías superficiales calculadas teóricamente de  $560 \text{ mJ/m}^2$  y  $70 \text{ mJ/m}^2$ , respectivamente, son impregnados rápidamente por las resinas de poliéster y epóxi con energías superficiales de  $35 \text{ mJ/m}^2$  y  $43 \text{ mJ/m}^2$ , respectivamente, siempre y cuando la viscosidad de las resinas no sea demasiado alta.

Por el contrario, será difícil impregnar el polietileno, que tiene una  $\gamma_c$  medida de  $31 \text{ mJ/m}^2$  con estas resinas, y será necesario algún tratamiento superficial.

Puede obtenerse un valor de  $W_A$  combinando las ecuaciones 17 y 18, y poniendo:

$$\gamma_1 = \gamma_{sv}; \quad \gamma_{lv} = \gamma_2; \quad \gamma_{sl} = \gamma_{12} \quad \text{-----(19)}$$

$$W_A = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad \text{-----(20)}$$

$W_A$  representa una unión física resultante de fuerzas de dispersión molecular altamente localizadas, las cuales, en una situación ideal, pueden dar una fuerte adhesión entre la resina y las fibras de carbono o de vidrio. Sin

embargo, este fuerte enlace físico no se consigue usualmente por tres razones las cuales son:

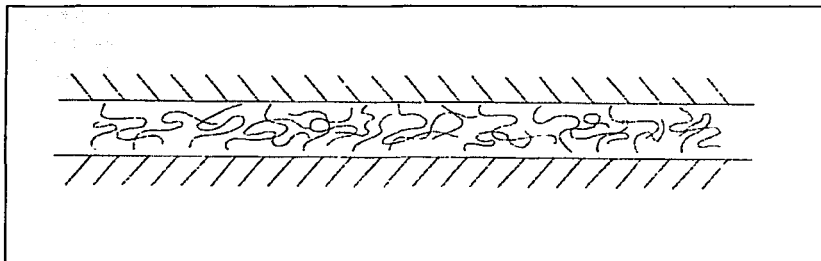
- (a) Porque la superficie de la fibra está contaminada de manera que la energía de superficie efectiva es mucho menor que la del sólido base.
- (b) Por la presencia del aire y otros gases atrapados en la superficie sólida, y
- (c) A causa de la aparición de grandes esfuerzos de contracción durante el proceso de curado, los cuales producen desplazamientos en la superficie que no pueden ser reparados.

La impregnación es particularmente importante en los procesos de fabricación de materiales compuestos que requieren, por ejemplo, la recogida de resina por estopas de fibra y la impregnación de los haces de fibra con resina, [6].

## II.2. Reacción o Interdifusión.

Es posible formar una unión entre dos superficies de polímeros con la difusión de la molécula de polímero de una de las superficies en la red molecular de la otra. La fuerza de la unión dependerá del grado de enmarañamiento molecular y del número de moléculas implicadas (figura 11).

La Interdifusión puede ser promovida por la presencia de agentes plastificantes y disolventes, dependiendo el grado de difusión de la conformación molecular, de los constituyentes que intervengan y de la facilidad de movimiento molecular.



**Figura 11.** Unión formada por enmarañamiento molecular mediante interdifusión en polímeros.

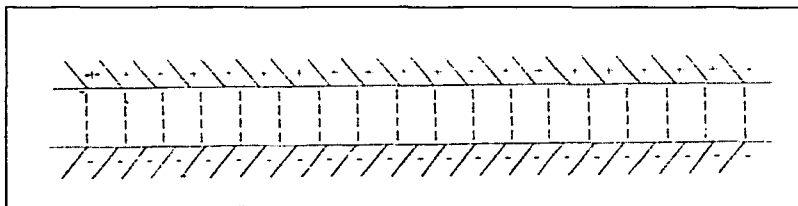
La Interdifusión puede explicar en parte el por que de la unión que se consigue cuando las fibras están recubiertas con un polímero antes de incorporarse a la matriz de polímero.

El fenómeno de Interdifusión ha sido llamado autoadhesión en relación con los adhesivos, [5].

### II.3. Atracción electrostática.

Estas fuerzas de atracción se producen entre dos superficies cuando una de ellas lleva una carga positiva neta y la otra una carga negativa neta, como en el caso de las interacciones ácido-base y del enlace iónico (figura 12).

La fuerza de la interfase dependerá de la densidad de carga. Aunque la atracción electrostática probablemente no haga una contribución principal a la resistencia final de la unión fibra-matriz de los compósitos, muy bien podrá tener un importante papel en la forma en que los agentes que se unen se fijen sobre la superficie de las fibras de vidrio.



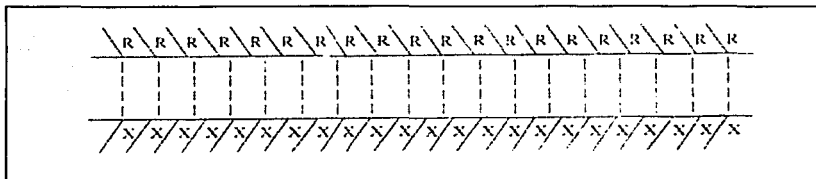
**Figura 12.** Unión formada por atracción electrostática.

También la superficie puede exhibir propiedades aniónicas o catiónicas, dependiendo de los óxidos de vidrio y del pH de la disolución acuosa usada para aplicar los agentes de adhesión (silanos). Por tanto, si se usan silanos funcionales iónicos, se espera que los grupos funcionales catiónicos sean atraídos hacia una superficie aniónica y viceversa. Esto implica que controlando el pH las moléculas de silano pueden ser orientadas sobre la superficie del vidrio para obtener un efecto de acoplamiento óptimo, el cual, ciertamente, casi implica algo de enlace químico puesto que la atracción electrostática sola no sería resistente al agua, [6].



#### II.4. Enlace químico.

Éste es de particular interés para materiales compuestos de fibra porque ofrece la explicación principal para el uso de agentes adhesivos en las fibras de vidrio y la resistencia de unión entre las fibras de carbono y las matrices de polímeros. Se forma un enlace químico entre un grupo químico de la superficie de la fibra y un grupo químico compatible de la matriz. La fuerza de la unión depende del número de enlaces por unidad de área y tipo de enlaces, y el fallo de la superficie implica la separación de los enlaces. Los procesos de formación y separación de la unión son, de alguna manera, de equilibrio dinámico activo térmicamente (figura 13), [6].

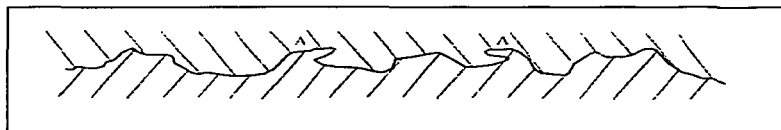


**Figura 13.** Enlace químico formado entre los grupos R de una superficie y los grupos X de la otra.

#### II.5. Adhesión mecánica.

Algo de unión puede producirse puramente por la interpenetración mecánica de dos superficies. Una resina que moje completamente la superficie de la fibra seguirá cada detalle de esta.

La resistencia de esta interfase a tracción probablemente no será alta a menos que haya un gran número de entrantes y salientes en la superficie de la fibra (puntos A en la figura 14). La resistencia en cortadura (esfuerzos cortantes) puede ser muy significativa y dependerá del grado de rugosidad.



**Figura 14.** Unión mecánica formada cuando un polímero líquido moja una superficie sólida rugosa.

Un factor muy distinto que también está relacionado con la rugosidad de la superficie de la fibra es la posibilidad de incrementar la fuerza de la unión a través de, por ejemplo, una unión química a causa de la mayor área de la superficie que está disponible.

Además de los aspectos geométricos simples de la adhesión mecánica, hay muchos esfuerzos internos en un material compuesto que se desarrollan durante las operaciones de procesado y el ensayo mecánico que afectan la resistencia aparente de la unión fibra-matriz.

Así, por ejemplo, la contracción de resina durante el curado de polímeros termoestables y la dilatación térmica diferencial de la matriz y las fibras, pueden producir esfuerzos de tracción, compresión y cortadura en la interfase, dependiendo de la geometría de las fibras y de la pieza, [6].

## **II.6. Adhesivos.**

Desde la antigüedad el hombre ha sentido la necesidad de unir materiales y para ello empleó inicialmente *adhesivos naturales* que permitían su uso únicamente en materiales porosos en los que penetraban.

Posteriormente la química permitió crear *adhesivos sintéticos* capaces de realizar la adhesión no de forma mecánica sino físico-química y unir materiales tales como vidrio, porcelana, metales, etc.

Si bien la aparición de los adhesivos sintéticos modernos se inicia en 1910 con la aparición de las resinas fenol-formaldehído, no es sino hasta la década de los 40's cuando aparecen las primeras aplicaciones estructurales con la utilización de los adhesivos a base de nitrilos y acrílicos.

Los adhesivos verdaderamente estructurales, aparecidos a partir de la década de los 50's, fueron adhesivos basados en resinas termoestables fenólicas y epóxis a los que se les adicionaba un elastómero (caucho sintético) para proporcionarles flexibilidad. Fue "Araldit", de Ciba-Geigy, el primer adhesivo comercial con base epóxi con responsabilidad estructural.

### **II.6.1. Clasificación de los adhesivos.**

En función del criterio a seguir para la elección de un adhesivo pueden hacerse varias clasificaciones, las cuales se mencionan a continuación, [5]:

### **II.6.1.1. Clasificación general.**

Esta clasificación está basada en función de la utilidad final que el adhesivo tendrá, teniendo los siguientes adhesivos:

- a) Metal-metal.
- b) Metal-plástico.
- c) Usos generales.
- d) Papel y embalaje.
- e) Plásticos.
- f) Cerámicos.

Esta clasificación tiene el inconveniente de que pueden encontrarse adhesivos que sirvan para varias aplicaciones o que permitan unir materiales de distintos grupos. Además, pueden hacerse otras muchas clasificaciones según sea la forma física en que se presentan comercialmente, su composición química, propiedades mecánicas, etc.

### **II.6.1.2. Clasificación por la temperatura de unión.**

Tomando como base la temperatura ambiente pueden establecerse distintos grupos, según sean los requerimientos de temperatura para que la unión se realice, en general marcados por los materiales a unir:

- a) Endurecimiento por debajo de la temperatura ambiente.
- b) Endurecimiento a temperatura ambiente sin aporte de calor.
- c) Temperatura de endurecimiento intermedia (desde temperatura ambiente hasta 100°C).
- d) Endurecimiento con aporte de calor a temperaturas superiores a 100°C.

### **II.6.1.3. Clasificación por el origen.**

#### **Adhesivos naturales.**

- a) **Animales:** Albúmina, goma animal, caseína, cera de abeja, lacas.
- b) **Vegetales:** Resinas naturales, goma arábica, tragacanto, colofonia, aceites y ceras.
- c) **Minerales:** silicatos, ceras minerales como la parafina, resinas, asfaltos.

- d) **Elastómeros:** Caucho natural y derivados.

**Adhesivos sintéticos.**

- e) **Elastómeros, caucho sintético y derivados:** Mezclas de butilo, poliisobutileno y polibutadieno; estireno y acrilonitrilo, poliisoprenos, poliuretanos, siliconas y polisulfuro.
- f) **Termoplásticos:** Derivados de la celulosa, polímeros y copolímeros vinílicos.
- g) **Termoestables:** Poliésteres, poliamidas, poliacrilatos, polisulfonas, aminoplastos, epóxidos y modificados, resinas fenólicas y sus modificaciones, poliésteres insaturados poliaromáticos, furanos.

**II.6.1.4. Clasificación por el método de unión.**

Esta clasificación se refiere al estado físico o al método de aplicación del adhesivo, y se tienen adhesivos:

- a) Sensibles a la presión (solución).
- b) Fundidos por el calor, tales como el betún asfáltico (hot-melt).
- c) De endurecimiento químico (polimerizables).
- d) Por eliminación del disolvente (PSAs).

**II.6.1.5. Adhesivos convertibles y no convertibles.**

e) **Convertibles**

Son aquellos adhesivos que experimentan transformación química en su proceso de adhesión, fundamentalmente procesos de reticulación y uniones intercadenas en el proceso de "curado".

f) **No convertibles**

Son los que no presentan procesos de reticulación o cualquier otro proceso químico que forme enlaces covalentes. En general son menos resistentes ya que la unión es mecánica.

### II.6.1.6. Clasificación según el ingrediente mayoritario.

- a) **Adhesivos termoplásticos:** Formados por resinas termoplásticas o por elastómeros. Son aquellos que funden de manera reversible, son solubles en disolventes, pierden propiedades mecánicas con el calor y presentan fenómenos de agrietamiento. Los adhesivos termoplásticos presentan demasiado ablandamiento, problemas de fluencia y bajas propiedades frente a temperaturas altas. Se aplican en estructuras que soporten cargas pequeñas. Dentro de los adhesivos termoplásticos se están extendiendo rápidamente los de tipo hot-melt o fundibles para la adhesión de láminas de recubrimiento a paneles, para la construcción de interiores y para la unión de láminas de vidrio.

Los adhesivos del tipo de los <<cauchos termoplásticos>> se encuentran comercializados en forma de látex o disolvente. Se trata de productos muy versátiles entre los que se incluyen los cauchos naturales y modificados, neopreno, butilo, estireno-butadieno, acrilonitrilo-butadieno, etc.

- b) **Adhesivos termoestables:** Las resinas empleadas polimerizan y reticulan entre los sustratos y en el proceso puede producirse reacción química entre adherente y adhesivo. Algunas resinas pueden policondensar, liberando agua como subproducto (caso de fenólicas y aminoplastos) exigiendo la aplicación de calor y presión, mientras que otras (epóxi, acrílicas, poliuretanos...) lo hacen con la adición de ciertos productos promotores y catalizadores de reacción. Su principal característica es que una vez alcanzado su endurecimiento no son fundibles o recuperables en presencia de calor como es el caso de los termoplásticos, ya que en ellos se produce transformación química durante el curado. Su principal ventaja sobre los anteriores radica en el hecho de que se comportan mejor a temperaturas mayores, tienen mejores propiedades mecánicas, resistencia a los ultravioleta, radiación, humedad, agentes atmosféricos, etc. En general los adhesivos estructurales son siempre termoestables. Se presentan en forma de líquidos, pastas, películas, sólidos, etc.
- c) **Adhesivos formados por mezclas de resinas-cauchos:** Se trata de los adhesivos conocidos como de alta tenacidad. Aprovechan las propiedades de cada componente (resistencia de la resina y elasticidad del elastómero) que les hace ser útiles cuando existe riesgo de impacto combinado con cargas altas. Las mezclas más comúnmente empleadas son nitrilo-fenólicas y neoprénicas-fenólicas.

### II.6.1.7. Adhesivos estructurales.

Entendemos como adhesivo estructural aquel que, usado en combinación con un material estructural, trabaja de modo que la junta o línea de encolado no falle cuando el material sea sometido a tensiones de hasta su límite elástico y permita que la estructura funcione según requerimientos mecánicos y físicos. En general se trata de adhesivos formados por dos polímeros, uno termoestable (modificado o no) y otro termoplástico incluyendo ciertos elastómeros. Se utilizan sobre todo en el pegado de estructuras tipo sándwich.

Atendiendo a un criterio resistente puramente numérico resulta difícil encontrar la frontera entre adhesivo estructural y no estructural, pudiendo definirse como estructural aquel que supere a temperatura ambiente los 10Mpa de resistencia a tracción.

Entre los adhesivos estructurales más utilizados se encuentran los de base epóxida, derivados de las resinas de poliéster, neopreno fenólico, nitrilo-fenólico, epóxi-fenólico, nylon-epóxi y caucho-fenólico.

- a) **Acrilatos:** Líquidos, dos componentes que se aplican por separado sobre las superficies a unir. Endurecen en 3-4 minutos. El 60-70% de su resistencia total se adquiere a los 15-30 minutos de aplicado.
- b) **Cianoacrilatos:** Son líquidos de endurecimiento ultrarrápido formados por un solo componente. Estables a temperatura ambiente. Han de ser extendidos en capa muy delgada, al así hacerlo, el inhibidor escapa y el monómero se transforma en polímero. Deben ser aplicados sobre superficies muy lisas y ajustadas, de modo que no sirven para superficies en las que deban realizar una función de relleno. No dan buenos resultados en materiales porosos.
- c) **Anaeróbicos:** Son líquidos en presencia del oxígeno del aire y endurecen en ausencia del mismo. Al igual que los cianoacrilatos son de endurecimiento muy rápido.
- d) **Resinas Fenólicas.** Los adhesivos a base de resinas fenólicas proporcionan buenos valores de cortaduras (hasta 40 Mpa), pero presentan alta contracción durante el curado y tienen baja resistencia al pelado, al impacto y son frágiles, porque en general van asociados con un elastómero o un termoplástico para mejorar estas propiedades.
- e) **Resinas Epoxi:** Se presentan comercialmente en forma sólida, líquida, pasta o películas y dentro de cada grupo existen de endurecimiento en caliente con aporte de calor y de endurecimiento a temperatura ambiente. Se trata de adhesivos que pueden realizar la función de relleno de material entre las superficies de los materiales a unir. Este tipo de resinas tienen las siguientes propiedades:

- Gran poder de adherencia sobre vidrio, porcelana, hormigón, caucho vulcanizado, materias plásticas, aleaciones metálicas, madera, materiales compuestos, etc.
- Poca contracción durante el curado.
- Muy buenas propiedades mecánicas y elásticas.
- Capacidad de trabajar desde muy bajas temperaturas hasta 200°C.
- Buena resistencia química incluso frente a ácidos no concentrados.
- Estabilidad frente al envejecimiento.

f) **Poliuretanos:** Son adhesivos bicomponentes, aunque existen una variedad de monocomponentes elásticos de curado con calor e incluso a temperatura ambiente en presencia de aire. Su principal aplicación radica en perfiles plásticos o metálicos entre los que se requiera una aplicación relativamente elástica, con suficiente superficie de pegado, y que pueda soportar vibraciones. Son adhesivos que permiten adherir superficies porosas o irregulares entre las que deba hacerse una función de llenado o acoplamiento. Estos adhesivos trabajan bien desde temperaturas bajas hasta unos 80°C, pero no poseen elevada resistencia química o frente a radiaciones tales como ultravioleta.

#### II.6.2. Preparación de superficies.

La calidad de la unión pegada depende tanto de la calidad del adhesivo como de la preparación de las superficies a unir. Cuanto más escrupulosa es la limpieza de las superficies de los adherentes, más se mejora la mojabilidad del adhesivo por no haber grasas o suciedad. Esta operación de limpieza tiene importancia crítica cuando se quieren lograr adhesiones estructurales.

Sin embargo, algunos materiales metálicos (por tener óxido en su superficie) o plásticos (por ser apolares) deben someterse a un tratamiento superficial añadido al de limpieza.

En general, estas preparaciones suelen ser:

- Tratamiento mecánico: lijado, granallado metálico, chorro de arena, etc.
- Tratamiento químico de la superficie.
- Tratamientos diversos: eléctricos, flameado, imprimaciones, etc.

No obstante, el grado de limpieza antes de comenzar una operación de pegado depende tanto de los sustratos como del adhesivo empleado.

El tratamiento superficial aconsejado depende del estado de la superficie, la cual a su vez es función del tipo de material y de la historia anterior del mismo. En general la composición del sustrato es siempre distinta a la del material base.

Debemos tomar en cuenta que para el caso de adhesivos estructurales de capa delgada, las fuerzas de adherencia entre adhesivo y sustrato son mayores que las fuerzas de cohesión interna del adhesivo. Por ello, deberán buscarse, siempre que esto sea posible, uniones con poco espesor de adhesivo (menor que 0.2 mm) para que prevalezca el efecto de las primeras sobre las segundas. De esta manera se consigue la transmisión de esfuerzos sin separación cohesiva del adhesivo.

### **II.6.3. Elección del adhesivo.**

Será necesario, antes de elegir un adhesivo, tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. Naturaleza de los materiales a unir.
2. Estado de las superficies a unir.
3. Rigidez.
4. Resistencia mecánica de la unión.
5. Resistencia al pelado, vibraciones, fatiga, etc.
6. Temperatura de servicio.
7. Entorno químico (agentes atmosféricos, agua marina, productos corrosivos...).
8. Necesidad de estanqueidad o aislamiento (térmico, eléctrico...).
9. Facilidad para la puesta en obra (aplicación de presión, temperatura, superficie...).
10. Consideraciones económicas.



### **III. Mecanismos de presión.**

Los mecanismos de presión o prensas, son mecanismos que se utilizan en los trabajos y procesos en donde se necesitan la aplicación de fuerzas y presiones de magnitudes superiores, algunas veces con características especiales y otras de una manera común y corriente.

Desde el punto de vista de la capacidad podemos definir una prensa como una máquina que nos sirve para ejercer una presión o una fuerza, por lo general mayor que la presión atmosférica, la cual de acuerdo al tipo de prensa y al trabajo que se esté haciendo tiene sus características especiales.

Las prensas, normalmente son utilizadas en trabajos donde se requiere una gran fuerza que ya no es medida en kilogramos, sino en toneladas; son utilizadas para el trabajo en frío de los aceros y metales diversos, formado, punzonado, cizallado y muchas otras aplicaciones.

Las prensas tienen capacidad para la producción rápida, por consiguiente se pueden conservar bajos costos de producción.

Tienen una gran adaptabilidad especial para los métodos de producción en masa, como lo evidencia su gama de aplicaciones en la manufactura de automóviles y aviones, artículos de ferretería, juguetes y utensilios para cocina.

#### **III.1. Tipos de prensas.**

Es difícil hacer una clasificación de las máquinas prensadoras, ya que la mayoría de ellas son capaces de desarrollar varios tipos de trabajo. Sin embargo, a algunas prensas diseñadas especialmente para una operación, se les puede conocer por el nombre de la operación.

La clasificación más sencilla que se puede hacer de las prensas está en relación a la fuente de energía, ya sea operada manualmente o con potencia. Muchas de las máquinas operadas manualmente se usan para trabajos ligeros con láminas delgadas de metal, principalmente en campo, pero la mayoría de la maquinaria para producción se opera con potencia.

Otra forma de agrupar a las prensas, está en función del número de arietes, o los métodos para accionarlos. La mayoría de los productores las nombran de acuerdo al diseño general del bastidor, aunque se pueden designar de acuerdo con el arreglo de la transmisión de la energía o el propósito principal para el que se usará la prensa, [10].

Los tipos más generales de clasificación de prensas son los siguientes, [10]:

**III.1.1. Clasificación según la fuente de energía.**

1. Manual.
2. Potencia.
  - a) Mecánica.
  - b) Vapor, Gas, Neumática.
  - c) Hidráulica.

**III.1.2. Clasificación en función de los arietes.**

1. Vertical de simple efecto.
2. Vertical de doble efecto.
3. En cuatro correderas.
4. De configuración especial.

**III.1.3. Clasificación de acuerdo al diseño del bastidor.**

1. De banco.
2. Inclinable.
3. De escote.
4. De puente.
5. De costados rectos.
6. Yunque.
7. Columna.

**III.1.4. Clasificación de acuerdo al método de aplicación de potencia al ariete.**

1. Manivela.
2. Leva.
3. Excéntrica.
4. Tornillo de potencia.
5. Cremallera y piñón.
6. Junta articulada.
7. Hidráulica.
8. Palanca acodillada.
9. Neumática.

### **III.1.5. Clasificación de acuerdo al propósito de la prensa.**

1. Cizallas de escuadrar.
2. Cizallas de círculos.
3. Dobladora.
4. Punzonado.
5. Extruído.
6. Empalmado.
7. Enderezado.
8. Forzado.
9. Acuñaado.
10. De transferencia.
11. Roedora.
12. Estirado.
13. Revólver.
14. Forja.

Se deben considerar varios factores para seleccionar el tipo de prensa que se deberá usar en un trabajo dado, por ejemplo, el tipo de operación, tamaño de la pieza, potencia requerida y la velocidad de la operación.

A continuación se presentará una breve explicación de las prensas más utilizadas a nivel tecnológico.

#### **A. Prensa mecánica.**

La Prensa Mecánica consta de un motor eléctrico que hace girar un volante de inercia que sirve de acumulador de energía. La energía se entrega a la parte móvil de la prensa (carro) mediante un embrague o acoplamiento.

La entrega de la energía es rápida y total, gastando en cada golpe una fracción de la capacidad de trabajo acumulada. Se usan para trabajos de corte, estampado, forja y pequeños embutidos.

#### **B. Prensa hidráulica.**

La prensa hidráulica se basa en el conocido principio de Pascal, alimentándose un pistón de gran diámetro con fluido a alta presión y bajo caudal consiguiendo altísimas fuerzas resultantes.

Las prensas hidráulicas tienen carreras más prolongadas que las prensas mecánicas y desarrollan plena fuerza a lo largo de toda la carrera.

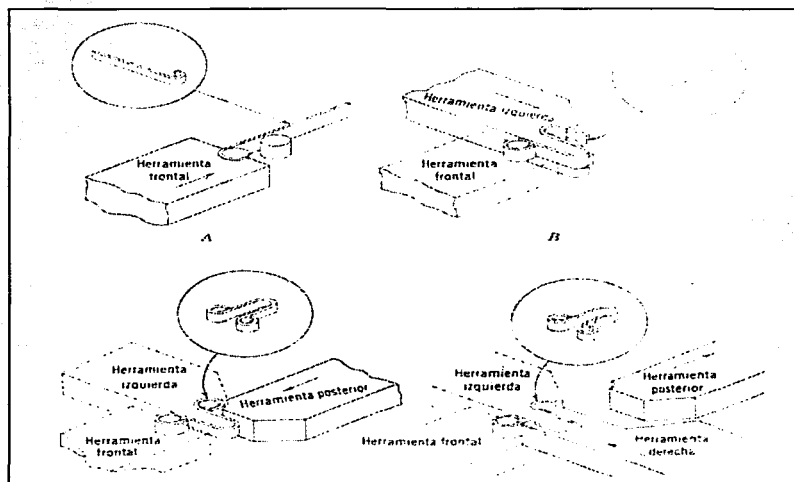
La entrega de energía es controlada en cada momento tanto en fuerza como en velocidad por lo que se mantiene el control constante del proceso. Se usan en operaciones de embutido profundo, en procesos de altas solicitaciones como acuñado, aglomerado de metales en polvo, extruído, laminado, moldeo de plástico y forjado.

### C. Prensa de cuatro correderas.

La máquina básica tiene cuatro correderas con transmisión de fuerzas separadas 90 grados que se controlan independientemente por levas para moverse en forma progresiva siguiendo un ciclo.

La máquina de cuatro correderas se puede equipar con punzones, herramientas para corte y recorte, dispositivos elevadores y selectores, taladros y en algunos casos un punzón vertical.

En este tipo de máquina el proceso puede ser casi automático y permite la fabricación masiva de piezas.

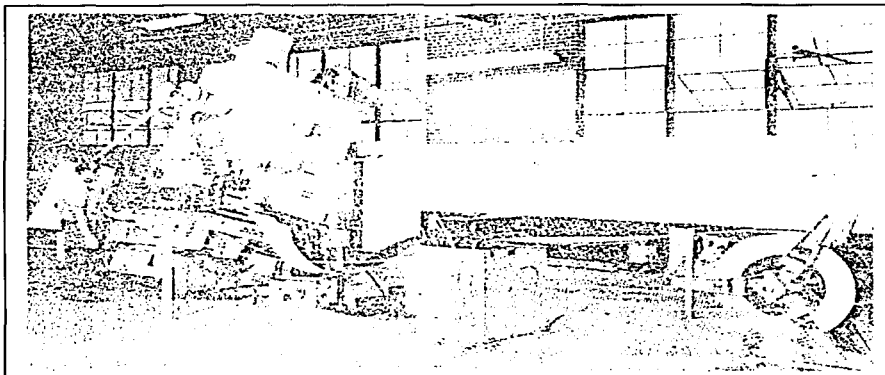


**Figura 15.** Secuencia de operaciones en una máquina de cuatro correderas para el formado de una grapa de ballesta.

#### **D. La prensa inclinable.**

Este tipo de prensas se usan para doblado, punzonado, recortado y operaciones similares que se hacen a piezas de tamaño pequeño. Normalmente son ajustables en el ángulo desde uno vertical hasta uno bastante inclinado, (figura 16).

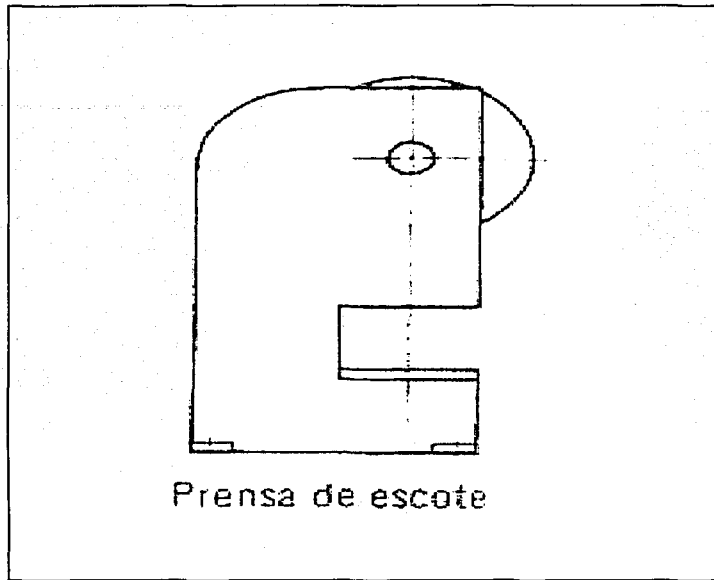
El bastidor inclinado de la máquina permite que las piezas trabajadas y los desperdicios de material se descarguen de la prensa por medio de la gravedad.



**Figura 16.** Prensa inclinable de bastidor con escote de manivela simple con alimentación de doble rodillo. Capacidad 1MN.

#### **E. Prensa de escote.**

La prensa de escote o de bastidor en C, se llama así debido a la disposición de la abertura del bastidor (figura 17). Proporcionan un excelente espacio libre alrededor de las matrices y permiten usar la prensa para piezas largas o anchas; son usadas para el estampado.

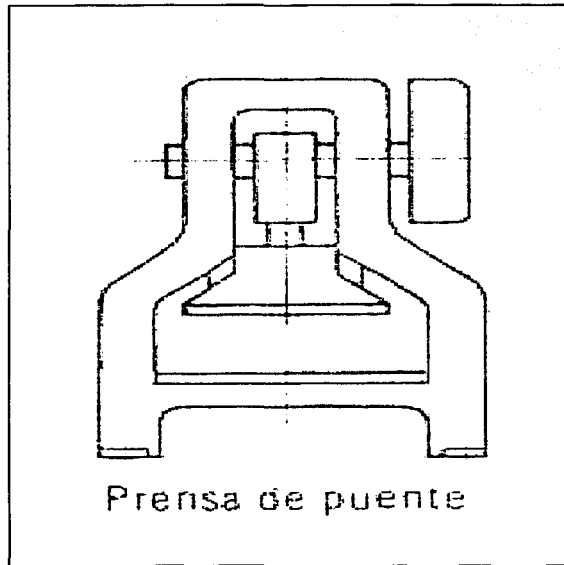


**Figura 17.** Diseño típico de bastidor de prensa de escote.

#### **F. Prensa de puente.**

En la prensa de puente la parte más baja del bastidor es ancha, para permitir el trabajo de lámina de metal de áreas grandes; la parte superior es angosta (figura 18).

Los cigüeñales son pequeños en relación con el área de la corredera y la bancada de la prensa, ya que estas prensas no están diseñadas para trabajo pesado. Son utilizadas para recortado, doblado y desbarbado.



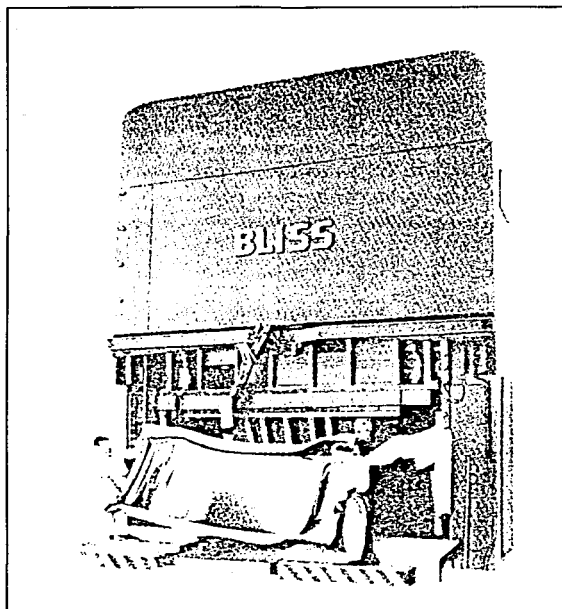
**Figura 18.** Diseño típico de bastidor de prensa de puente.

### **G. Prensa de costados rectos**

Conforme aumenta la capacidad de una prensa, es necesario incrementar la resistencia y rigidez del bastidor.

Las prensas de costados rectos son más fuertes, pues las grandes fuerzas son soportadas hacia arriba en dirección vertical por los costados del bastidor, esto permite que la estructura de la prensa no sufra deformaciones y por consiguiente, la alineación de punzones y matrices no se vea afectada.

En la figura 19 se muestra una gran prensa cerrada de costados rectos con palanca acodillada de doble efecto.



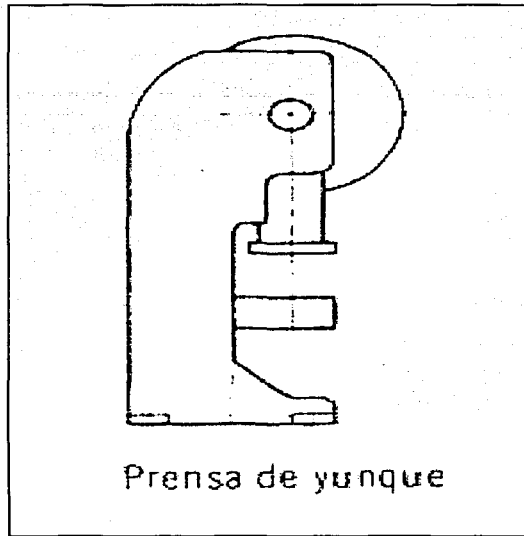
**Figura 19.** Prensa de costados rectos y palanca acodillada.

Los bastidores de costados rectos se usan también en las prensas hidráulicas, en las que hay impactos de cargas pesadas, tal como en el conformado de material de calibre grueso, forjado en prensa, acuñado y embutido profundo.

#### **H. Prensa de yunque.**

Las prensas de yunque tienen un eje grueso que se proyecta desde el bastidor de la máquina, en lugar de la bancada ordinaria, (figura 20). Este tipo de prensa se usa principalmente en objetos cilíndricos que implican operaciones de empalmado, reborde de contornos, punzonado, remachado y repujado.





Prensa de yunque

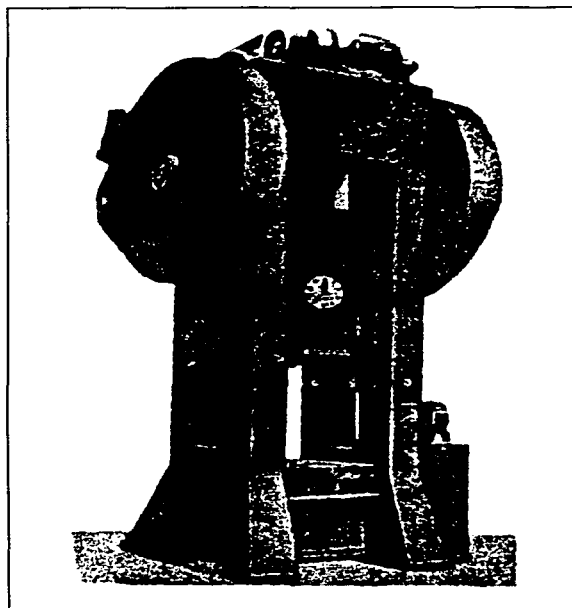
**Figura 20.** Diseño típico de bastidor de prensa de yunque.

### **I. Prensa de manivela.**

En este tipo de prensas, la energía del volante se puede transmitir al eje principal, ya sea directamente o con un tren de engranajes, (figura 21).

Este tipo de prensas son usadas para los procesos de punzonado, recortado y desbarbado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



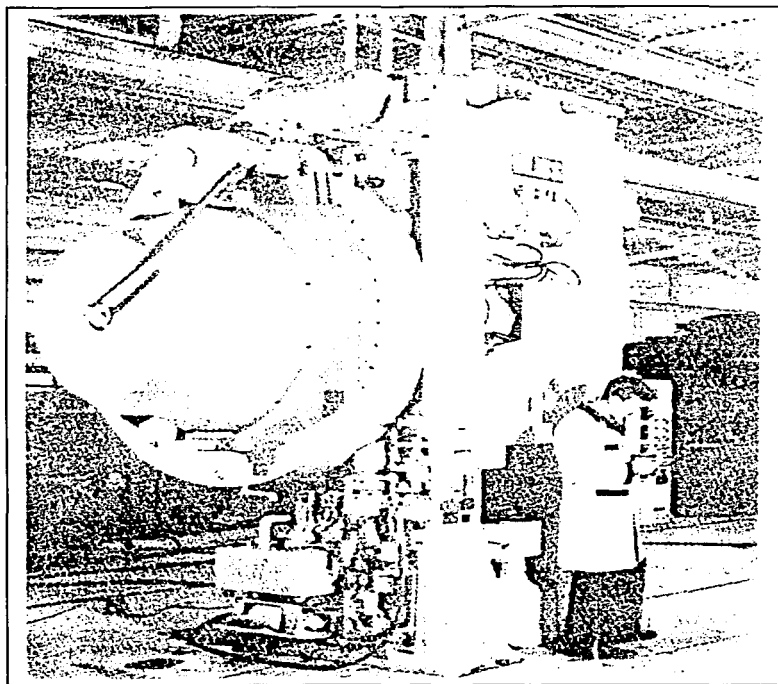
**Figura 21.** Prensa de manivela de doble montante.

#### **J. Prensa de junta articulada.**

Las prensas de junta articulada están diseñadas para el trabajo rudo con cargas concentradas como son: el acuñado, calibrado y repujado fuerte, siendo muy voluminosas para soportar las grandes cargas concentradas que se les aplican, (figura 22).

Este tipo de prensas tienen un uso amplio en el acuñado de monedas, medallas, llaves ciegas, placas para automóvil, cajas para relojes y utensilios de plata.

También se pueden efectuar operaciones de cabeceado en frío, enderezado, estampado pesado y otras similares.



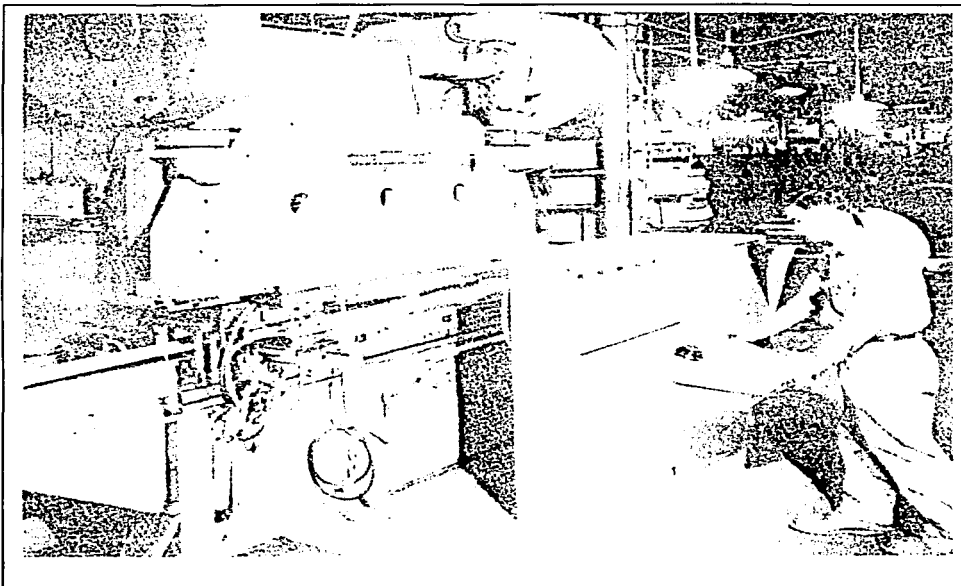
**Figura 22.** Prensa de junta articulada con bastidor de hierro fundido; capacidad 5.3 MN.

#### **K. Prensa dobladora.**

Las prensas dobladoras se usan para doblar, formar, rebordear, repujar, desbarbar y punzonar lámina metálica de bajo calibre, (figura 23).

Las prensas dobladoras tienen carreras cortas y están equipadas comúnmente con un mecanismo impulsor de tipo excéntrico.

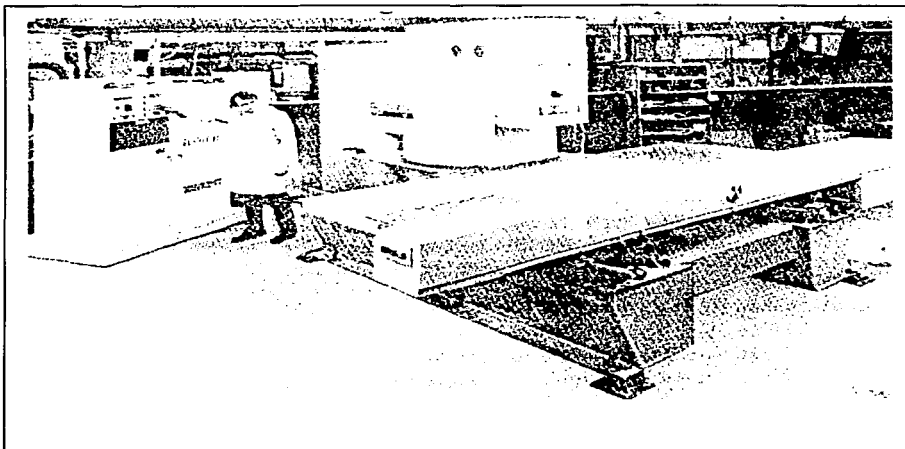
La capacidad de presión requerida de una prensa dobladora para un material dado, se determina por la longitud de la pieza, el espesor del metal y el radio mínimo interior del doblado, éste último, normalmente es igual al espesor del material.



**Figura 23.** Prensa dobladora controlada con tarjetas.

#### **L. Prensa de revólver.**

Las prensas de revólver se adaptan especialmente a la producción de piezas de lámina metálica que tengan diversos modelos de agujeros de muchos tamaños. En las prensas convencionales de esta clase se prepara una plantilla para guiar al punzón y el tamaño del agujero se selecciona haciendo girar un revólver que contiene los punzones, (figura 24).



**Figura 24.** Prensa revólver de 0.27 MN que usa computadora de control numérico.

#### **M. Prensa de transferencia.**

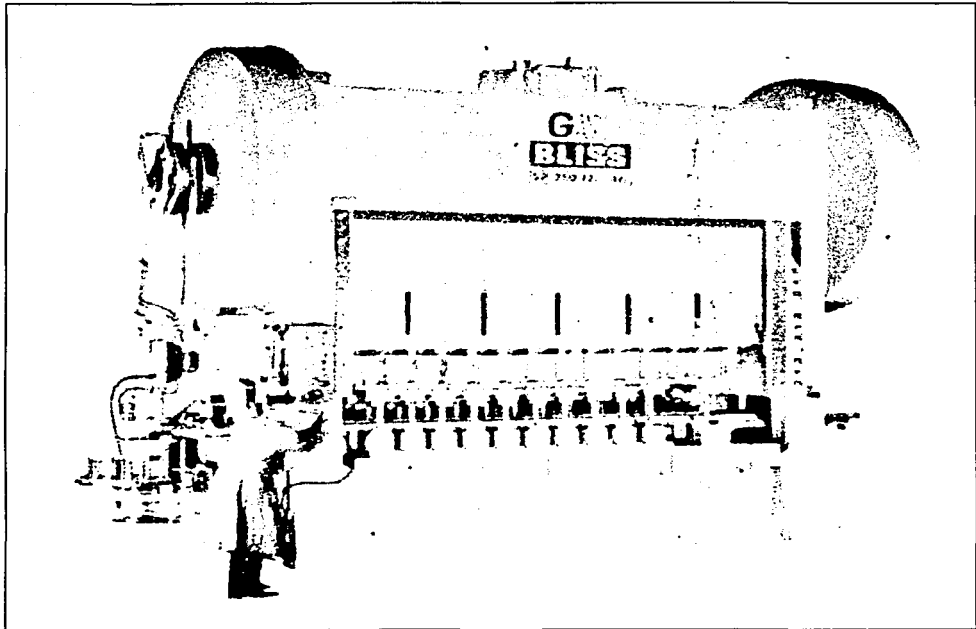
Las prensas de transferencia son capaces de realizar simultáneamente operaciones consecutivas, cuando son completamente automáticas, (figura 25).

Para que una prensa de este tipo sea de uso económico se debe de tener una gran producción, pues su ritmo normal es de 500 a 1500 piezas por hora.

El material se alimenta a la prensa en forma de rollos o habilitados desde un apilamento alimentador. En la operación el material se mueve de una estación a la siguiente por medio de un mecanismo sincronizado con el mecanismo de la corredera.

Las piezas manufacturadas con esta prensa incluyen faros para carrocerías, cascos para el tambor del freno, charolas para cubos de hielo, puertas para refrigerador y piezas para estufas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Figura 25.** Prensa de transferencia con capacidad de 2.2 MN que produce 1600 placas terminales para arrancar por hora.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV. Diseño de la prensa.

Debido a que la empresa "Tecnología de Materiales Compuestos", esta incursionando en el conformando de materiales compuestos laminares, manejando diversas magnitudes, que van desde 12 m<sup>2</sup> hasta 54 m<sup>2</sup>, de una manera rudimentaria, su nivel competitivo se ve considerablemente reducido, por no cumplir con las especificaciones mínimas requeridas en estos productos, como la estabilidad dimensional requerida, el acabado superficial y los tiempos de fabricación.

Como se puede observar dicha problemática implica un gran reto para las distintas áreas de las Ingenierías, ya que comúnmente no existe en la actualidad un dispositivo que reúna las características requeridas para el simple manejo de materiales con las dimensiones indicadas.

Cabe mencionar que para la elaboración de la propuesta del proyecto, se analizó la posibilidad de utilizar exclusivamente sistemas mecánicos, pero esto nos condujo a una problemática mayor, la elevación de los costos de diseño y fabricación, generados por las propias geometrías de los componentes implicados, ya que se tendrían que manejar placas de acero con espesores considerables, tanto para la base como para la compresión de los materiales compuestos, asimismo sistemas hidráulicos de gran potencia, que pudieran levantar las placas, maquinados especiales y sistemas de elevación muy complejos (tabla 1).

ítem	Cantidad - Descripción	Material Medidas	Costo unitario	Costo total
1	30 Placas rectificadas, incluyendo material (15 de base y 15 de plancha)	PL 1 [plg] esp. x1.20 [m] x 3 [m]	\$ 15,000	\$ 450,000.00
2	Material estructural para soportar toda la carga	Monten tipo I		\$ 30,000.00
3	Soldaduras para unión de estructura	E-7018	\$20	\$ 4,000.00
4	16 Cilindros hidráulicos		\$ 10,000	\$ 160,000.00
5	Fleje rectificado			\$ 5,000.00
6	4 unidades de potencia, para mover a los cilindros hidráulicos		\$ 25,000	\$ 100,000.00
7	Estructura de concreto armado			\$ 80,000.00
8	Trabajos especiales de nivelación de placas			\$ 40,000.00
9	Conexiones varias, tubería, válvulas, etc			\$ 40,000.00
10	Mano de obra			\$ 800,000.00
			<b>Total</b>	<b>\$ 1,709,000.00</b>

**Tabla 1.** Costos aproximados de la prensa con elementos puramente mecánicos.

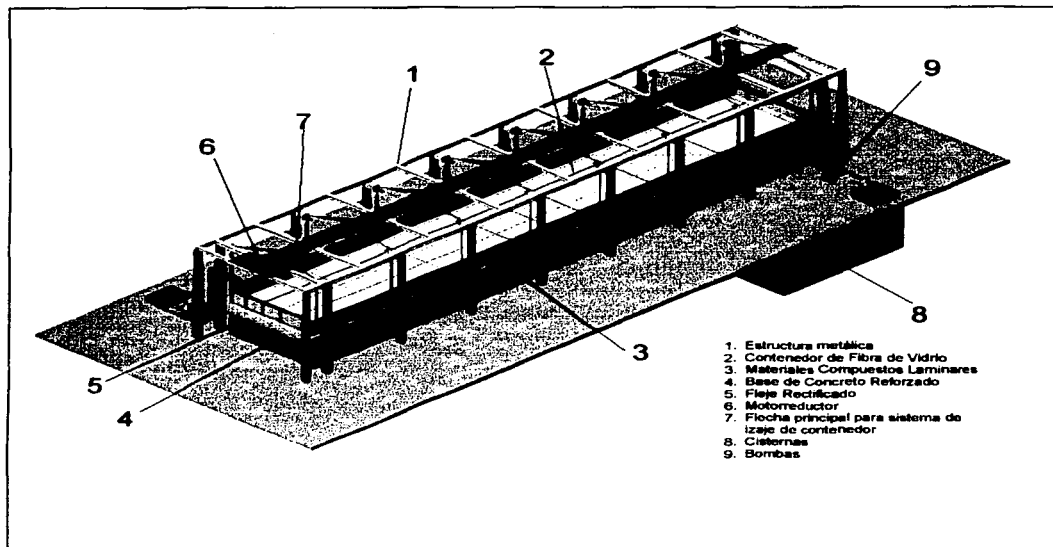
ítem	Descripción	Costo Unitario	Costos
1	Flecha principal con coples		\$ 15,000.00
2	Material para estructura		\$ 400,000.00
3	Fabricación de estructura		\$ 30,000.00
4	8 Chumaceras de piso	\$ 375	\$ 3,000.00
5	18 tornillos de ½ x 3 ½		\$ 100.00
6	2 Bombas	\$ 2,000	\$ 4,000.00
7	Fabricación de tina		\$ 36,500.00
8	Soleras de acero inoxidable		\$ 1,300.00
9	Estructura de concreto armado		\$ 80,000.00
10	Motorreductor		\$ 15,000.00
11	Cables para 16 tirantes	\$ 30	\$ 2,160.00
12	16 Poleas de 8 pulg.	\$ 1000	\$ 16,000.00
13	Fleje rectificado		\$ 5,000.00
14	Cisternas	\$ 20,000.00	\$ 40,000.00
15	Tubería y conexiones		\$ 5,000.00
16	Placas de montaje		\$ 10,000.00
17	Tornillería en general		\$ 1,000.00
18	Dispositivos de seguridad		\$ 15,000.00
19	Soldaduras		\$ 2,000.00
20	Cimentación de la plancha		\$ 160,000.00
21	Mano de obra		\$ 400,000.00
		<b>Costo total</b>	<b>\$ 856,060.00</b>

**Tabla 2.** Costos aproximados de los elementos que componen la prensa hidrostática.

Después de haber efectuado una evaluación de las distintas alternativas de diseño y fabricación para dicho dispositivo, se determinó que la opción más viable para ajustarse a los requerimientos planteados, era la implementación de un sistema que utiliza como principio fundamental las fuerzas hidrostáticas (tabla 2 y figura 26), lo que garantiza de manera contundente que la presión ejercida es completamente homogénea, pudiéndose variar en un rango establecido.

A continuación, en la figura 26, se muestra un esquema general de la prensa para la unión de materiales compuestos laminares con las partes principales que la componen, así como las características de las mismas, para que se tenga una idea más clara de lo que se está explicando.





**Figura 26.** Esquema general de la prensa para unir materiales compuestos laminares y las partes principales que la componen.

Como podemos ver, dicho sistema se compone principalmente de: una base de concreto reforzado con dimensiones de 3m de ancho por 18m de largo, dando un área de 54 m<sup>2</sup>, que es el tamaño del material con mayor dimensión que se va a comprimir en dicha prensa; una estructura metálica, un contenedor de agua, que debe cubrir toda el área de la base de concreto, construido en fibra de vidrio y reforzado con soleras de acero inoxidable; dos bombas, dos cisternas y un sistema de izaje completo que se compone de un motorreductor, una flecha de transmisión, construida en acero AISI 1045 la cual cubre todo el largo de la base; y 16 pares de cables de acero, así como sistemas de seguridad que protegen al trabajador en todo momento que se encuentre laborando en dicha máquina.

El funcionamiento de la prensa en términos generales es el siguiente:

Inicialmente la tina reposa sobre la base de concreto, en este momento la tina se encuentra vacía; cuando se van a comprimir materiales compuestos laminares, la tina se levanta con el sistema de izaje, hasta la altura máxima, para

que los operarios puedan trabajar con toda libertad y acomodar los materiales así como los adhesivos.

Una vez que se acomodan los materiales y se aplican los adhesivos, la tina se baja hasta asentar con los materiales preparados, se conectan las tuberías y se encienden las bombas para llenar la tina hasta el nivel que se requiera por las características de los materiales y se deja en reposo hasta que los adhesivos fragüen.

Cuando los adhesivos han fraguado y los materiales compuestos laminares están comprimidos, se extrae el agua de la tina, enviándola de nueva cuenta a las cisternas, en donde se encontraba al inicio del proceso.

Seguido se levanta la tina, ya vacía, con el sistema de izaje hasta la altura máxima, y los materiales son retirados y puestos en el transporte que los llevará a su embarque o al lugar donde serán utilizados.

Todo este proceso dura aproximadamente 2 horas, que por los tamaños de los materiales es un tiempo adecuado.

Cabe señalar que todo el proceso de acomodo de materiales y aplicación de adhesivos es de manera manual, por lo que esta parte del proceso podría ser mejorada.

Para lograr el diseño de dicho sistema se tuvieron que calcular los siguientes parámetros: Presión, potencia de las bombas, dimensiones de las cisternas, diámetro de cables, diámetro de flecha de izaje, entre otros, que en las páginas siguientes se explican.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV.1. Cálculos de la presión.

El dato de la presión que se necesita para la correcta compresión y adhesión de los materiales compuestos se tomó físicamente, del hecho y de la manera como la empresa hacía la compresión de sus materiales.

Tenían cargas distribuidas en toda el área del material, pero de manera aleatoria, lo que provocaba que el material, una vez fraguado el adhesivo, sufriera deformaciones bastante severas ya que ni el pegado, ni la carga eran uniformes.

Por lo tanto, se tomó el peso de las cargas, se dividió entre el área y se determinó que la presión que se necesitaba para la correcta adhesión de los materiales compuestos era menor a 1 atm.

Entendiéndose 1 atm como el valor de la presión que ejerce una columna de mercurio con una altura de 76 cm, al nivel del mar, y es equivalente a  $1.03346 \text{ [kg/cm}^2\text{]} = 101300 \text{ [Pa]} \text{ (N/m}^2\text{)} = 14.7 \text{ [lb/plg}^2\text{]}$  (experimento realizado por el físico italiano Torricelli en el Siglo XVII), [9].

Por este motivo, una presión de 76 cm Hg. recibe el nombre de atmósfera (atm) y se emplea como unidad de presión.

La presión calculada para la correcta compresión de los materiales compuestos es de  $0.04 \text{ [atm]} = 4040 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0.04134 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ .

Con estos datos, podemos calcular la altura que deberá tener la columna de agua para podernos dar la fuerza que necesitamos, de la siguiente forma:

Debido a que la presión:

$$P = \frac{F}{A} \text{ -----(21)}$$

De donde la fuerza:

$$F = P \times A \text{ -----(22)}$$

Donde:

$$A = 3 \text{ [m]} \times 18 \text{ [m]} = 54 \text{ [m}^2\text{]} \text{ -----(23)}$$

$$P = 4040 \text{ [N/ m}^2\text{]} \text{ -----(24)}$$

Sustituyendo valores en la ec. (22),

$$F = 4040 \times 54 \text{-----(25)}$$

$$F = 218160 \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right] = [\text{N}] \text{-----(26)}$$

Pero como la Fuerza:

$$F = m \times g \text{-----(27)}$$

La masa es igual a:

$$m = \frac{F}{g} \text{-----(28)}$$

Donde:

$$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} \text{-----(29)}$$

$$F = 218160 \text{ [N], (de la ec. 26)}$$

Sustituyendo valores en la ec. (28):

$$m = \frac{218160}{9.81} \text{-----(30)}$$

$$m = 22238.53 \text{ [kg]} \text{-----(31)}$$

Debido a que la densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{-----(32)}$$

El Volumen es:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{-----}(33)$$

Donde:

$$\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

$$m = 22238.53 \text{ [kg], (de la ec. 31)}$$

Sustituyendo valores en la ec. (33):

$$V = \frac{22238.53}{1000} \quad \text{-----}(34)$$

$$V = 22.24 \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{-----}(35)$$

Ya obteniendo el volumen, podemos determinar la altura (H) que debe tener la columna de agua en la tina por medio de:

$$V = A \times H \quad \text{-----}(36)$$

De donde la altura:

$$H = \frac{V}{A} \quad \text{-----}(37)$$

Donde:

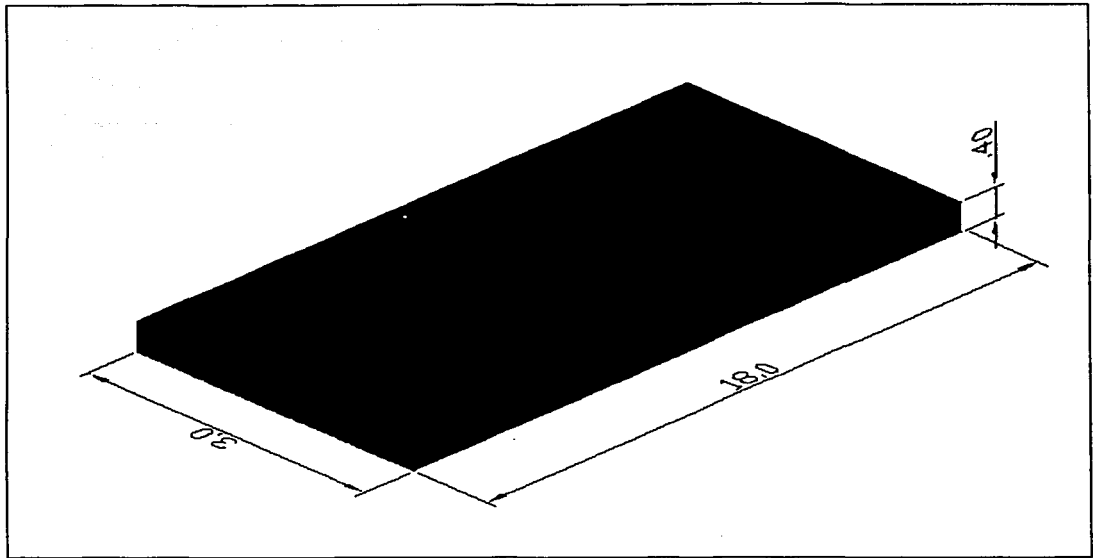
$$V = 22.24 \text{ [m}^3\text{], (de la ec. 35)}$$

$$A = 54 \text{ [m}^2\text{], (de la ec. 23)}$$

Sustituyendo valores en la ec. (37):

$$H = \frac{22.24}{54} \quad \text{-----}(38)$$

$$H = 0.4118 \text{ [m]} \approx 0.40 \text{ [m]} \quad \text{-----}(39)$$



**Figura 27.** Dibujo del paralelepípedo de columna de agua calculada.

La altura de la tina se considerará con un excedente para poder contener la presión máxima solicitada por ello se tomará como altura máxima 0.60m.

Debido a que los materiales compuestos laminares que se comprimirán, tendrán diferentes espesores, es lógico notar que necesitarán diferentes parámetros como son: volumen, masa, fuerza y presión, los cuales se pueden obtener para una determinada altura de columna de agua en la tina, de la siguiente manera:

Sabemos que el volumen:

$$V = H \times A \quad \text{—————(40)}$$

Tomando la altura máxima de la tina:

$$H = 0.60 \text{ [m]} \quad \text{—————(41)}$$

$$A = \text{constante} = 54 \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{-----(42)}$$

Sustituyendo valores en la ec. (40):

$$V_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = 0.60 \times 54 \quad \text{-----(43)}$$

$$V_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = 32.4 \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{-----(44)}$$

Por otro lado:

$$m_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = \rho \times V_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} \quad \text{-----(45)}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 1000 \text{ [kg / m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = 32.4 \text{ [m}^3\text{]}$$

Sustituyendo en la ec. (45):

$$m_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = 1000 \times 32.4 \quad \text{-----(46)}$$

$$m_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = 32400 \text{ [kg]} \quad \text{-----(47)}$$

Tambi3n la fuerza:

$$F = m \times g \quad \text{-----(48)}$$

Donde:

$$m_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x.}} = 32400 \text{ [kg]}, \text{ (de la ec. 47)}$$

$$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Sustituyendo en la ec. (48):

$$F = 32400 \times 9.81 \quad \text{-----(49)}$$

$$F = 317844 \text{ [N]} \quad \text{-----(50)}$$

La presión es:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{-----(51)}$$

Donde:

$$F = 317844 \text{ [N]}, \text{ (de la ec. 50)}$$

$$A = \text{constante} = 54 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores en la ec. (51):

$$P = \frac{317844}{54} \quad \text{-----(52)}$$

$$P = 5886 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{-----(53)}$$

Como:

$$1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{-----(54)}$$

$$P = \frac{5886}{1.01 \times 10^5} \quad \text{-----(55)}$$

$$P = 0.0583 \text{ [atm]} \quad \text{-----(56)}$$

Es importante destacar que este mismo procedimiento se puede aplicar para las diferentes alturas, obteniendo así la tabla 3.



Altura H [m]	Volumen $V = HA$ [m <sup>3</sup> ]	Masa $m = \rho V$ [kg]	Fuerza o Peso $W = mg$ [N]	Presión $P = F/A$ [N/m <sup>2</sup> ]	Presión [atm]
0.60	32.4	32,400	317,844	5886	0.0583
0.50	27.0	27,000	264,870	4905	0.0486
0.40	21.6	21,600	211,896	3924	0.0389
0.30	16.2	16,200	158,922	2943	0.0291
0.20	10.8	10,800	105,948	1962	0.0194
0.10	5.4	5,400	52,974	981	$9.7 \times 10^{-3}$
0.05	2.7	2,700	26,487	490.5	$4.86 \times 10^{-3}$
0.01	0.54	540	5,297.4	98.1	$9.71 \times 10^{-4}$

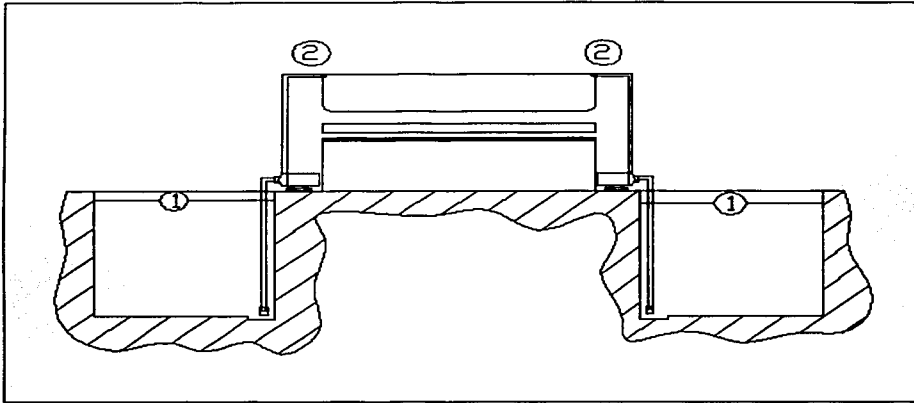
**Tabla 3.** Relación altura-presión para los distintos rangos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV.2. Potencia de las bombas.

Para el cálculo de la potencia de las bombas se procedió de la siguiente manera.

Tomando como volumen de control un tubo de flujo que incluya al estanque (1) o cisterna y toda la instalación hasta la salida de la tubería (2), (figura 28), al aplicar la ecuación de energía entre ambas secciones tenemos:



**Figura 28.** Corte transversal que muestra el arreglo de la instalación completa, con los límites del volumen de control.

$$H_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{\text{Pote.}}{\gamma Q} = H_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{-----(57)}$$

Despejando y reagrupando términos obtenemos:

$$\frac{\text{Pote.}}{\gamma Q} = (H_2 - H_1) + \left[ \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right] + \left[ \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right] \quad \text{-----(58)}$$

En este caso la potencia es positiva, ya que se incorpora al fluido.

Como:

$$H_2 - H_1 = 3 \text{ [m]} \quad \text{-----(59)}$$

$$P_1 = P_2 = \text{Presión atmosférica} \quad \text{-----(60)}$$

$$v_1 = 0 \quad \text{-----(61)}$$

$$\gamma = \text{Peso específico} = \rho g \quad \text{-----(62)}$$

Entonces nuestra fórmula (58) de la energía se transforma en:

$$\frac{\text{Pote.}}{\rho g Q} = (H_2 - H_1) + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{-----(63)}$$

Despejando a Pote. tenemos:

$$\text{Pote.} = \rho g Q \left[ (H_2 - H_1) + \frac{v_2^2}{2g} \right] \quad \text{-----(64)}$$

Esta es la fórmula que nos permite calcular la potencia de cada una de las bombas.

Donde:

$$\text{Pote.} = \text{potencia de la bomba [Watts]} \quad \text{-----(65)}$$

$$\rho = \text{densidad del agua} = 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{-----(66)}$$

$$g = \text{gravedad} = 9.81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \quad \text{-----(67)}$$

$$Q = \text{gasto o caudal} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad \text{-----(68)}$$

$$H_2 - H_1 = \text{diferencia de alturas} = 3 \text{ [m]} \quad \text{-----(69)}$$

$$v_2 = \text{velocidad a la salida} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{-----(70)}$$

Como ya mencionamos, se pretende utilizar dos bombas para el llenado del recipiente, el cual deberá contener 32.4 m<sup>3</sup> como volumen máximo. Este volumen se dividirá entre las dos bombas de agua considerando como tiempo de llenado 20 minutos.

$$V_{\text{máx.}} = \frac{32.4}{2} = 16.2 \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{-----(71)}$$

$$t = 20 \times 60 = 1200 \text{ [seg]} \quad \text{-----(72)}$$

Para que se cumpla lo anterior, el gasto deberá ser de:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{16.2}{1200} \quad \text{-----(73)}$$

$$Q = 0.0135 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad \text{-----(74)}$$

Una vez obtenido el gasto podemos calcular la velocidad a la salida por medio de la ec. (75):

$$v_2 = \frac{Q}{A} \quad \text{-----(75)}$$

Considerando el diámetro de la tubería igual a 2.0 [plg] = 0.0508 [m]; tenemos:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.0508)^2}{4} \quad \text{-----(76)}$$

$$A = 2.03 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{-----(77)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (75), tenemos:

$$v_2 = \frac{0.0135}{2.03 \times 10^{-3}} \quad \text{-----(78)}$$

$$v_2 = 6.65 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \text{-----}(79)$$

Reagrupando valores calculados y datos conocidos:

$$Q = 0.0135 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad \rho = 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad H_2 - H_1 = 3 \text{ [m]}$$

$$v_2 = 6.65 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad g = 9.81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Sustituyendo los datos en la ecuación (64) de la potencia, tenemos:

$$\text{Pote.} = 1000 \times 9.81 \times 0.0135 \times \left[ (3) + \frac{(6.65)^2}{(2 \times 9.81)} \right] \text{-----}(80)$$

$$\text{Pote.} = 132.44 \times [5.25] \text{-----}(81)$$

$$\text{Pote.} = 695.31 \text{ [Watts]} \text{-----}(82)$$

Como: 1 [HP] = 746 [Watts]

$$\text{Pote.} = \frac{695.31}{746} \text{-----}(83)$$

$$\text{Pote.} = 0.932 \text{ [HP]} \text{-----}(84)$$

$$\text{Pote.} \approx 1.0 \text{ [HP]} \text{-----}(85)$$

Por lo tanto, la capacidad de cada una de las bombas que se van a utilizar para desplazar un volumen de 32.4 m<sup>3</sup> de agua, de las cisternas a la tina, en un tiempo de 20 minutos, deberán ser de aproximadamente 1H.P.

Notas: En este caso no se han tomado en cuenta las pérdidas, que por fricción, en la tubería y en los elementos de esta pudiera haber, debido a que el recorrido que hará el agua será muy pequeño.

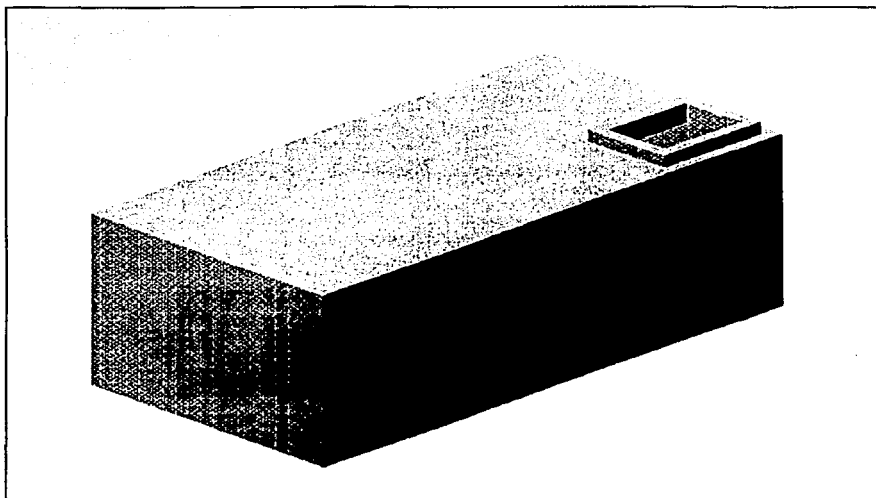
#### IV.3. Cálculo de las Cisternas.

Las cisternas que se proyectaron fueron calculadas para contener el volumen máximo de agua, para la altura máxima de la tina; en este caso estamos hablando de a la altura de 0.060 [m], corresponde un Volumen de 32.4 [m<sup>3</sup>].

Se propusieron: Dos Cisternas de agua con las siguientes dimensiones interiores:

$$\begin{aligned}\text{Ancho} &= 2.0 \text{ [m]} \\ \text{Altura} = H &= 2.0 \text{ [m]} \\ \text{Largo} = L &= 4.1 \text{ [m]}\end{aligned}$$

Dando un volumen cada una de ellas de 16.4 [m<sup>3</sup>]; y un volumen total de 32.4 [m<sup>3</sup>].



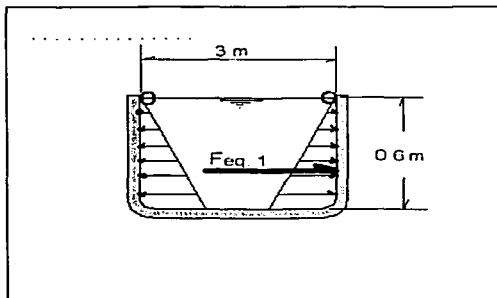
**Figura 29.** Dibujo de Cisterna con dimensiones interiores de 2 [m] x 2 [m] x 4.1 [m] y volumen de 16.4 [m<sup>3</sup>].

#### IV.4. Cálculos de la tina.

Como ya se mencionó, la tina o contenedor está diseñado para fabricarse con material de fibra de vidrio, reforzada con polímero, eso internamente, y también reforzada con soleras de acero inoxidable que irán incrustadas dentro de la fibra de vidrio para darle la mayor rigidez posible, al ser llenada con el agua.

Cabe también mencionar que, el agua será distribuida por medio de un tubo de 50.8 [mm] (2 plg) de diámetro que va en la periferia superior de la tina, haciendo la función de bastidor, ya que las soleras que internamente refuerzan a la fibra de vidrio, terminarán abrazando al tubo de distribución de agua. Por otro lado, este mismo tubo lleva barrenos que distribuirán el agua de manera que no halla tantas salpicaduras de agua que pudieran mojar a los materiales compuestos en proceso.

Para el cálculo de la magnitud de las fuerzas que actúan en las paredes de la tina por la carga del agua se procedió de la siguiente forma:



**Figura 30.** Corte transversal de la tina (a lo ancho) donde se representa el prisma de presión generado en las paredes de 18 [m].

Considerando idealmente que las paredes son perpendiculares entre sí y partiendo de la figura 30, podemos ver que, puesto que la superficie es vertical, la presión aumenta linealmente desde la superficie, generando un "prisma de presión".

La fuerza equivalente es igual a:

$$F_{eq} = \frac{1}{2}(\gamma H)(LH) \quad \text{-----(86)}$$

donde:

$\gamma$  = peso específico del fluido, que en este caso es agua.

H = es la altura que tiene la columna de agua.

L = es la longitud del lado del cual se este calculando la fuerza.

Reduciendo terminos semejantes:

$$F_{eq.} = \frac{1}{2} \gamma H^2 L \quad \text{-----(87)}$$

En nuestro caso,

$$\gamma = \rho g = (1000 \times 9.81) = 9810 \left[ \frac{N}{m^3} \right]$$

$$H = 0.6 \text{ [m]}$$

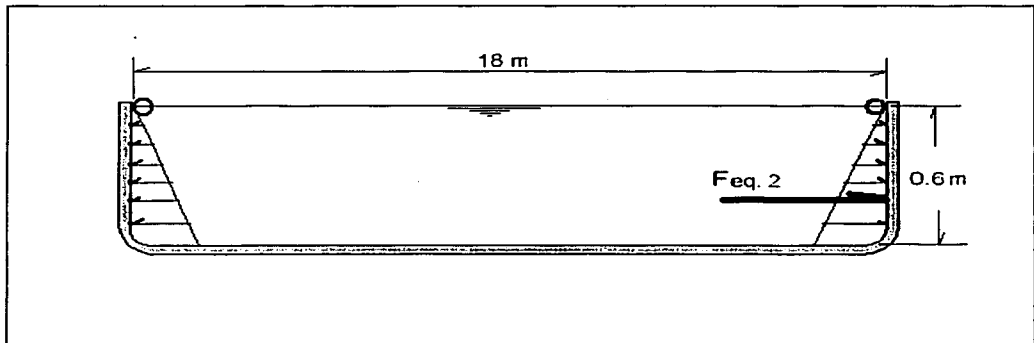
$$L = 18.0 \text{ [m]}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (87):

$$F_{eq.1} = \frac{1}{2} (9810)(0.6)^2(18) \quad \text{-----(88)}$$

$$F_{eq.1} = 31784.4 \text{ [N]} \quad \text{-----(89)}$$

este sería el valor de la fuerza en el lado mas largo de la tina.



**Figura 31.**

Corte transversal de la tina (a lo largo) donde se representa el prisma de presión generado en las paredes de 18 [m].



En el lado más corto (de 3 m) (figura 31):

$$F_{eq,2} = \frac{1}{2}(9810)(0.6)^2(3) \quad \text{-----}(90)$$

$$F_{eq,2} = 5297.4 \text{ [N]} \quad \text{-----}(91)$$

La fuerza equivalente debe de pasar por el centroide del prisma de presión. Para el volumen en consideración, el centroide esta situado a lo largo del eje vertical de simetría de la superficie y a una distancia de H/3 arriba de la base (ya que el centroide de un triángulo se encuentra localizado a H/3 arriba de la base).

Y tenemos que:

$$H = 0.6 \text{ [m]} \quad \text{-----}(92)$$

$$H_c = \frac{0.6}{3} = 0.2 \text{ [m]} \quad \text{-----}(93)$$

Por lo tanto las fuerzas equivalentes 1 y 2 respectivamente, están localizadas a 0.2 [m] de la base de la tina.

Para saber cual es la fuerza ejercida en las caras de la tina por unidad de área, utilizamos la fórmula de la presión:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{-----}(94)$$

Para el lado más largo de la tina (18 m):

$$F_{eq,1} = 31784.4 \text{ [N]}, \text{ (de la ec. 89).}$$

$$A = 0.6 \times 18 = 10.8 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores en la ec. (92):

$$P = \frac{31784.4}{10.8} \quad \text{-----}(95)$$

$$P = 2943 \text{ [Pa]} \quad \text{-----}(96)$$

$$P = 0.03 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \quad \text{-----}(97)$$

Para el lado más corto de la tina (3 m):

$$F_{eq,2} = 5297.4 \text{ [N]} \text{ (de la ec. 91).}$$

$$A = 0.6 \times 3 = 1.8 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores en la ec. (92):

$$P = \frac{5297.4}{1.8} \text{ -----(98)}$$

$$P = 2943 \text{ [Pa]} \text{ -----(99)}$$

$$P = 0.03 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \text{ -----(100)}$$

Por lo tanto, por el principio de pascal, la presión es la misma en todos lados, y concluimos que la presión en la otra cara de la tina es la misma.

Como podemos ver la presión que se ejerce en las paredes de la tina es mínima, por lo tanto, el espesor de la fibra de vidrio se consideró de 3.175 [mm] (1/8 plg), mas 1.6 [mm] (1/16 plg aprox.) como margen por corrosión, dando un espesor total de 4.7 [mm] (3/16 plg) = 0.0047m, sin olvidar que está reforzada con soleras de acero inoxidable y un tubo alrededor que funciona como bastidor.

La fibra de vidrio con resina de poliéster en láminas unidireccionales y paralelo a las fibras, tiene las siguientes propiedades:

$$\text{Densidad} = 1800 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \text{ -----(101)}$$

$$\text{Resistencia a la tracción} = 750 \times 10^6 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \text{ -----(102)}$$

$$\text{Alargamiento de rotura} = 1.8 \% \text{ -----(103)}$$

$$\text{Módulo de Young} = 38 \times 10^6 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \text{ -----(104)}$$

Para sacar el peso total de la tina, primero sacamos los volúmenes parciales de cada una de las paredes y de la base que componen a la tina:

Volumen de la base:

$$V = 3 \times 18 \times 0.0047 = 0.254 \text{ [m}^3\text{]} \text{ -----(105)}$$

Volumen de las paredes de 3 [m] :

$$V = 3 \times 0.6 \times 0.0047 = 0.0085 \text{ [m}^3\text{]} \times 2 = 0.017 \text{ [m}^3\text{]} \text{-----(106)}$$

Volumen de las paredes de 18 [m]

$$V = 18 \times 0.6 \times 0.0047 = 0.051 \text{ [m}^3\text{]} \times 2 = 0.102 \text{ [m}^3\text{]} \text{-----(107)}$$

El volumen total es la suma de los volúmenes parciales:

$$V_T = 0.254 + 0.017 + 0.102$$

$$V_T = 0.373 \text{ [m}^3\text{]} \text{-----(108)}$$

Por otro lado la densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{-----(109)}$$

De donde la masa:

$$m = \rho V \text{-----(110)}$$

Sustituyendo valores en la ec. (110):

$$m = 1800 \times 0.373$$

$$m = 671.14 \text{ [kg]} \text{-----(111)}$$

Para obtener el peso tomamos en cuenta la aceleración de la gravedad = 9.81 [m/s<sup>2</sup>].

$$W = m \times g = 671.14 \times 9.81$$

$$W = 6586.4 \text{ [N]} \text{-----(112)}$$

Este sería el peso de la tina, sólo del material de fibra de vidrio. El armazón de solera de acero inoxidable tiene una masa de 50 kg que convertida a peso sería:

$$W = m \times g = 50 \times 9.81 = 490.5 \text{ [N]} \text{-----(113)}$$

Por lo tanto el peso total de la tina es:

$$W_T = 6586.4 + 490.5$$

$$W_T = 7076.9 \text{ [N]} \text{-----(114)}$$

#### IV.5. Cálculos para el diámetro de los cables.

Para calcular el diámetro de los cables que van a soportar el peso de la tina al subir y bajar, se procedió de la siguiente manera:

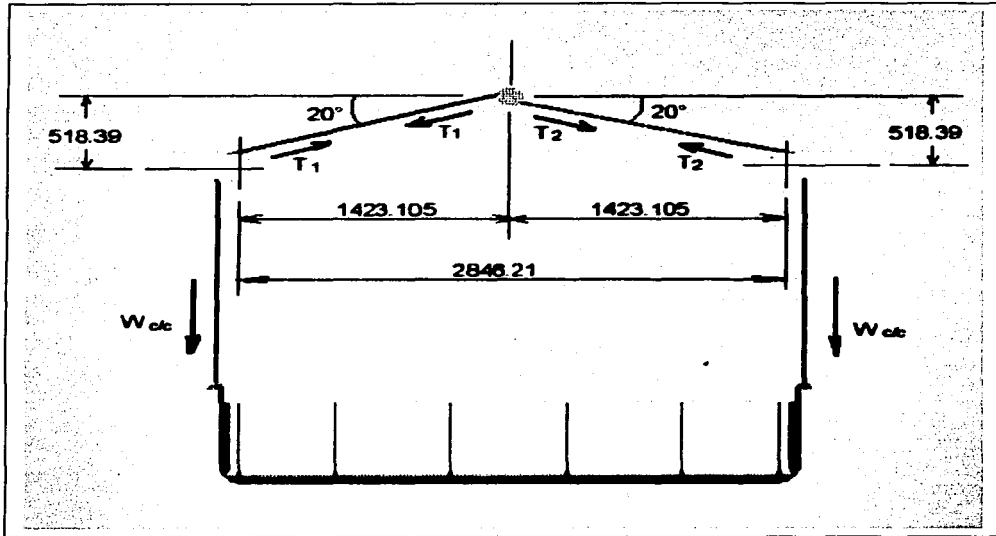


Figura 32. Esquema de flecha, cables y tina.

Partiendo del esquema de la figura 32, que muestra el arreglo que existe entre la flecha, los cables, la tina y las fuerzas y tensiones que actúan entre ellos:

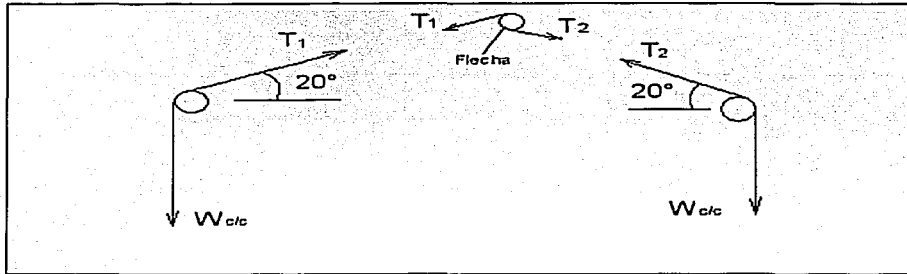
Los datos que conocemos para calcular el área suficiente y por consiguiente el diámetro que deben tener los cables que van a soportar el peso de la tina son los siguientes:

$$W_T = 7076.9 \text{ [N]} \quad \text{-----(115)}$$

Este peso se considera distribuido entre los 16 cables, en partes iguales, por lo tanto, el peso que soporta cada cable es:

$$W_{c/c} = \frac{7076.9}{16} \text{-----(116)}$$

$$W_{c/c} = 442.3 \text{ [N]} \text{-----(117)}$$



**Figura 33.** Tensiones implícitas en el arreglo.

Como la polea es deslizante se considera sin fricción, y como el cable es continuo y el sistema está en equilibrio, entonces:

$$T_1 = W_{c/c} \text{-----(118)}$$

Ya con este dato, podemos calcular el área necesaria para soportar los esfuerzos implicados, así como el diámetro por medio de la ecuación del esfuerzo:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{-----(119)}$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo permisible a la tensión [N/m<sup>2</sup>]

F = Fuerza [N]

A = Area de la sección del cable [m<sup>2</sup>]

De tablas, [14] obtenemos el esfuerzo permisible a la tensión del acero, y se tiene:

$$\sigma_p = 40 \times 10^6 \text{ [Pa]} \text{-----(120)}$$

De la ec. (118) podemos decir que:

$$F = T_1 = T_2 = 442.3 \text{ [N]} \quad \text{-----}(121)$$

Despejando el área de la ec. (119):

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad \text{-----}(122)$$

Sustituyendo datos en la ec. (122):

$$A = \frac{442.3}{40 \times 10^6} \quad \text{-----}(123)$$

$$A = 1.10 \times 10^{-5} \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{-----}(124)$$

Nuestro cable es circular, así que el área es:

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad \text{-----}(125)$$

Igualando las ecuaciones (124) y (125) y haciendo los despejes necesarios:

$$\frac{1}{4} \pi D^2 = 1.10 \times 10^{-5} \quad \text{-----}(126)$$

$$D^2 = \frac{1.10 \times 10^{-5}}{1/4\pi} \quad \text{-----}(127)$$

$$D = 3.75 \times 10^{-3} \text{ [m]} \quad \text{-----}(128)$$

$$D = 3.75 \text{ [mm]} = 0.148 \text{ [plg]} \approx \frac{5}{32} \text{ [plg]} \quad \text{-----}(129)$$

Por lo tanto el diámetro de los cables deberá ser al menos de 5/32 de pulgada que es el equivalente a 3.97 [mm]:

Para comprobar que el cable cumple con lo establecido y que no va a fallar en el momento en que esté trabajando, calculamos el Factor de Seguridad, el cual siempre deberá tener un valor mayor a 1:

El esfuerzo real en el cable es:

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{P}{A} = \frac{442.3}{1/4\pi(3.97 \times 10^{-3})^2} \text{-----}(130)$$

$$\sigma = 35731071.87 \text{ [Pa]} \text{-----}(131)$$

El esfuerzo permisible, de  $40 \times 10^6$  [Pa] (ec. 120) tiene un factor de seguridad con respecto al esfuerzo de fluencia del acero ( $248 \times 10^6$  Pa), [14]:

$$\text{F.S.} = \frac{\sigma_f}{\sigma_p} = \frac{248 \times 10^6}{40 \times 10^6} \text{-----}(132)$$

$$\text{F.S.} = 6.2 \text{-----}(133)$$

El factor real de seguridad del cable de  $3.97 \times 10^{-3}$  [m] de diámetro con respecto al esfuerzo de fluencia es:

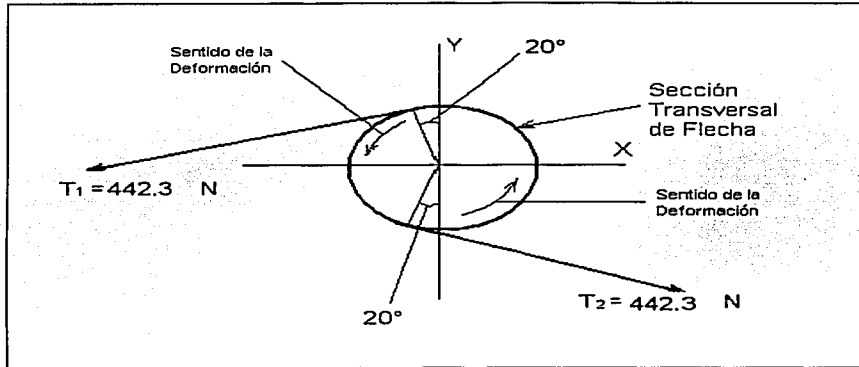
$$\text{F.S.} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{\text{real}}} = \frac{248 \times 10^6}{36 \times 10^6} \text{-----}(134)$$

$$\text{F.S.} = 6.88 \text{-----}(135)$$

Por lo tanto podemos decir que el diámetro de los cables es el idóneo para la aplicación sin riesgo de que ocurra una falla.

#### IV.6. Diámetro por torsión de la flecha de transmisión.

Por otra parte, una vez conociendo la magnitud de las fuerzas que actúan en la flecha, en cada uno de los cables (ec. 121), podemos calcular los pares de torsión y la deformación angular, así como el esfuerzo cortante.



**Figura 34.** Sección transversal de flecha y el par de tensiones o fuerzas que actúan en ella.

Determinamos el par de torsión generado por las fuerzas, partiendo de la ecuación (136):

$$T = F \times d \quad \text{-----(136)}$$

Donde:

$F$  = Fuerza torsionante [N]

$T$  = Par de Torsión [N-m]

$d$  = Diámetro de la sección circular de la flecha [m]

El diámetro de la flecha es:

$$d = 54 \text{ [mm]} = 0.054 \text{ [m]} \quad \text{-----(137)}$$

Las tensiones :

$$T_1 = T_2 = F = 442.3 \text{ [N]} \quad \text{-----(138)}$$



Sustituyendo estos valores en la ec. (136):

$$T = 442.3 \times 0.054 \text{ [m]} \quad \text{-----(139)}$$

$$T = 23.88 \text{ [N-m]} \quad \text{-----(140)}$$

De lo anterior se deduce que el par de torsión que actúa en cada par de cables en la flecha vale 23.88 [N-m].

**El esfuerzo cortante máximo** que actúa en cada par de cables es:

$$\tau_{\text{Máx.}} = \frac{16T}{\pi \times d^3} \quad \text{-----(141)}$$

Donde:

$$T = \text{Par de torsión} = 23.88 \text{ [N-m]} \text{ ( de la ec. 140)}$$

$$d = \text{diámetro de la flecha} = 0.054 \text{ [m]}$$

Sustituyendo los valores en la ec. (141):

$$\tau_{\text{Máx.}} = \frac{16 \times 23.88}{\pi \times (0.054)^3} \quad \text{-----(142)}$$

$$\tau_{\text{Máx.}} = 772366 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{-----(143)}$$

$\tau_{\text{Máx.}} = 772366 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] = \text{Esfuerzo Cortante Máximo en cada uno de los cables.}$

Como podemos observar en las figuras 26 y 34, los ocho pares de cables, generan ocho pares de fuerzas que van a actuar en el mismo sentido torsionando la flecha, y como podemos ver, el par total estará aplicado en la base de la flecha junto al motorreductor en el momento en que este arranque, por lo tanto deducimos que el par torsional total que será aplicado a la base de la flecha en el momento del arranque equivale a la sumatoria de los ocho pares de fuerzas aplicados a lo largo de ella.

Entonces el par total es:

$$T_T = (23.88) \times (8) = 191.04 \text{ [N-m]} \quad \text{-----(144)}$$

Por lo tanto el esfuerzo cortante máximo total que recibe la sección de la flecha en su base es de:

$$\tau_{\text{Máx.Total}} = \frac{16(191.04)}{\pi \times (0.054)^3} \quad \text{-----(145)}$$

$$\tau_{\text{Máx.Total}} = 6,178,928.076 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{-----(146)}$$

Por otro lado **la deformación angular total**, sería la sumatoria de todas las deformaciones y la obtenemos de la siguiente manera:

Sabemos que la deformación angular es :

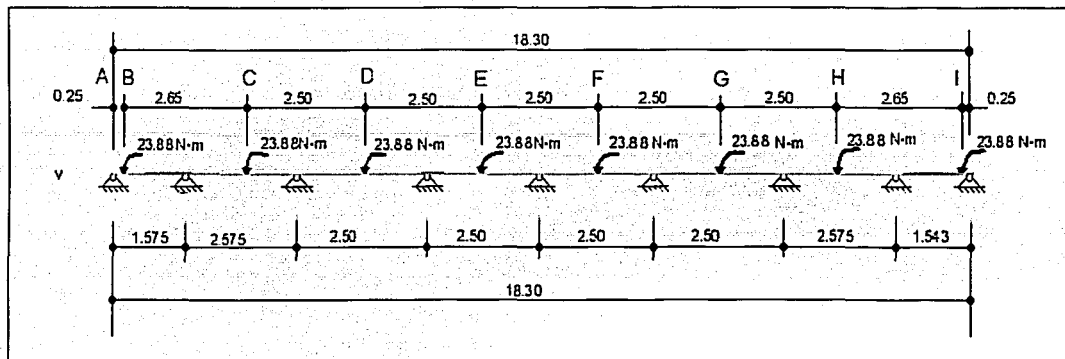
$$\theta = \frac{TL}{JG} \quad \text{-----(147)}$$

$$G = 80 \times 10^9 \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad \text{-----(148)}$$

L = Longitudes individuales en cada sección de la flecha.

$$J = \frac{\pi \times d^4}{32} = 8.35 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]} \quad \text{-----(149)}$$

T = 23.88 [N-m] = par torsional en cada par de los cables.



**Figura 35.** Diagrama de cuerpo libre de la flecha que muestra las secciones y las distancias en donde son aplicados los pares de fuerzas a lo largo de la flecha.

Así como se muestra en la figura 35, a todo lo largo de la flecha la podemos dividir en secciones y obtener la deformación en cada una de ellas como a continuación se muestra.

$$\theta_{AB} = \frac{(23.88)(8)(0.25)}{66800} = 0.0007 \text{ [rad]} \quad \text{-----(150)}$$

$$\theta_{BC} = \frac{(23.88)(7)(2.65)}{66800} = 0.0066 \text{ [rad]} \quad \text{-----(151)}$$

$$\theta_{CD} = \frac{(23.88)(6)(2.5)}{66800} = 0.0053 \text{ [rad]} \quad \text{-----(152)}$$

$$\theta_{DE} = \frac{(23.88)(5)(2.5)}{66800} = 0.0044 \text{ [rad]} \quad \text{-----(153)}$$

$$\theta_{EF} = \frac{(23.88)(4)(2.5)}{66800} = 0.0035 \text{ [rad]} \quad \text{-----(154)}$$

$$\theta_{FG} = \frac{(23.88)(3)(2.5)}{66800} = 0.0027 \text{ [rad]} \quad \text{-----(155)}$$

$$\theta_{GH} = \frac{(23.88)(2)(2.5)}{66800} = 0.0018 \text{ [rad]} \quad \text{-----(156)}$$

$$\theta_{HI} = \frac{(23.88)(1)(2.65)}{66800} = 0.0009 \text{ [rad]} \quad \text{-----(157)}$$

$$\theta_{Total} = \theta_{AB} + \theta_{BC} + \theta_{CD} + \theta_{DE} + \theta_{EF} + \theta_{FG} + \theta_{GH} + \theta_{HI} \quad \text{-----(158)}$$

$$\theta_{Total} = 0.0007 + 0.0066 + 0.0053 + 0.0044 + 0.0035 + 0.0027 + 0.0018 + 0.0009 \quad \text{-----(159)}$$

$$\theta_{Total} = 0.0259 \text{ [rad]} \approx 1.48^\circ \quad \text{-----(160)}$$

**El factor de seguridad de la flecha** lo calculamos por medio de la ecuación 161 que está basada en el esfuerzo de fluencia a cortante del material:

$$\tau_p = \frac{\tau_f}{F.S.} \quad \text{-----(161)}$$

Donde:

$\tau_f$  = Esfuerzo de fluencia a cortante del material

$\tau_p$  = Esfuerzo Permisible a cortante

F.S. = Factor de Seguridad

Como ya mencionamos, el acero que se utilizó para la fabricación de la flecha es AISI-1045, el cual tiene un esfuerzo de fluencia a cortante de:

$$\tau_f = 145 \times 10^6 \text{ [Pa]} \quad \text{-----(162)}$$

Y un esfuerzo cortante permisible de :

$$\tau_p = 100 \times 10^6 \text{ [Pa]} \quad \text{-----(163)}$$

Si despejamos a F.S. de la ecuación (161) vemos que el esfuerzo permisible, tiene un factor de seguridad con respecto del esfuerzo de fluencia de:

$$F.S. = \frac{\tau_f}{\tau_p} = \frac{145 \times 10^6}{100 \times 10^6} \text{-----(164)}$$

$$F.S. = 1.45 \text{-----(165)}$$

Por otro lado, el factor de seguridad real que tenemos en la flecha es :

De la ecuación (146) tenemos:

$$\tau_{\text{Máx.Total}} = \tau_{\text{real}} = 6,178,928.076 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

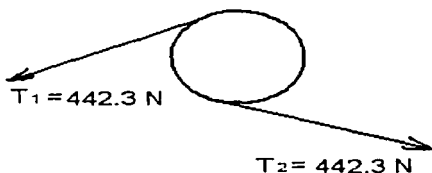
$$F.S._{\text{real}} = \frac{\tau_f}{\tau_{\text{real}}} = \frac{145 \times 10^6}{6,178,928.076} \text{-----(166)}$$

$$F.S._{\text{real}} = 23.47 \text{-----(167)}$$

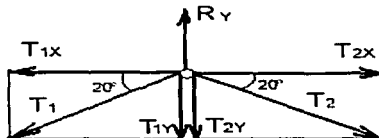
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### IV.7. Diámetro por el método de los momentos máximos.

Como se vio en la sección anterior, la tensión en cada uno de los cables es equivalente a la fuerza que ejerce una parte (1/16) de el peso de la tina, por lo tanto podemos decir que la magnitud de esas mismas fuerzas actúan en la flecha, de la siguiente forma:



Partiendo de lo anterior y haciendo un diagrama de cuerpo libre de las tensiones  $T_1$  y  $T_2$  con sus componentes en los ejes X e Y en el centro de la flecha, tenemos:



$$\Sigma F_x = 0 ; -T_{1x} + T_{2x} = 0 \quad \text{-----(168)}$$

De donde:

$$T_{2x} = T_{1x} \quad \text{-----(169)}$$

Como podemos ver, las fuerzas en el eje X están en equilibrio ya que son iguales.

Por otro lado

$$\Sigma F_y = 0 ; -T_{1y} - T_{2y} + R_y = 0 \quad \text{-----(170)}$$

De donde :

$$R_y = T_{1y} + T_{2y} \quad \text{-----}(171)$$

Sabiendo que :

$$T_{1y} = T_1 \times \text{Sen } \alpha \quad \text{-----}(172)$$

$$T_{1y} = 442.3 \times \text{Sen } 20 \quad \text{-----}(173)$$

$$T_{1y} = 151.27 \text{ [N]} \quad \text{-----}(174)$$

Y que:

$$T_{2y} = T_2 \times \text{Sen } \alpha \quad \text{-----}(175)$$

$$T_{2y} = 442.3 \times \text{Sen } 20 \quad \text{-----}(176)$$

$$T_{2y} = 151.27 \text{ [N]} \quad \text{-----}(177)$$

Entonces:

$$R_y = 151.27 \text{ N} + 151.27 \text{ [N]} \quad \text{-----}(178)$$

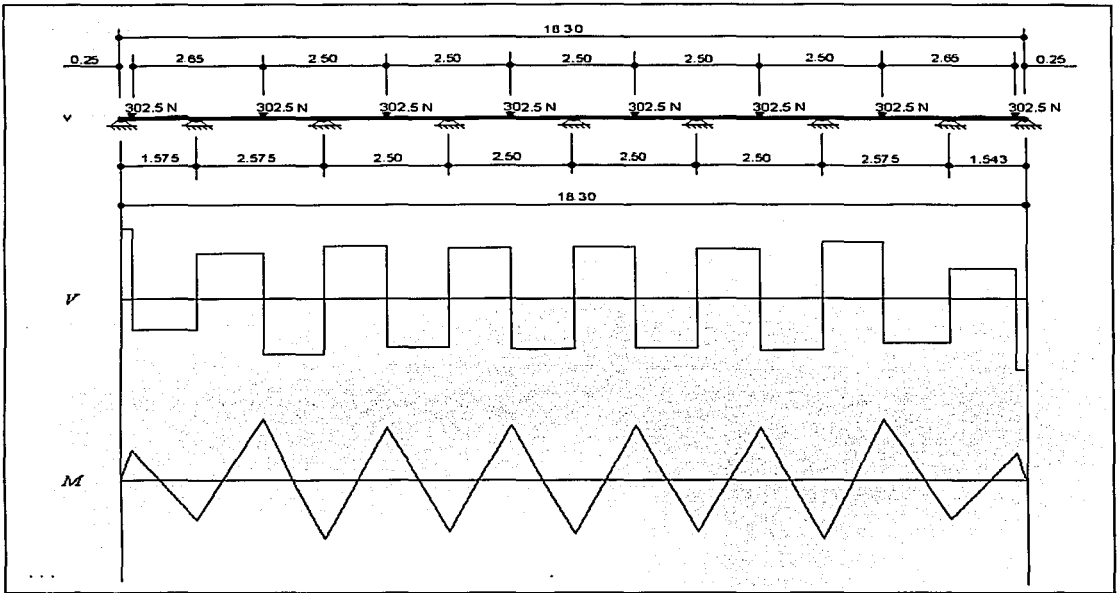
$$R_y = 302.54 \text{ [N]} \quad \text{-----}(179)$$

Por lo tanto en cada par de cables que actúan en la flecha, tenemos una magnitud de 302.54 [N], que actúan en la flecha de manera vertical hacia abajo, flexionándola.

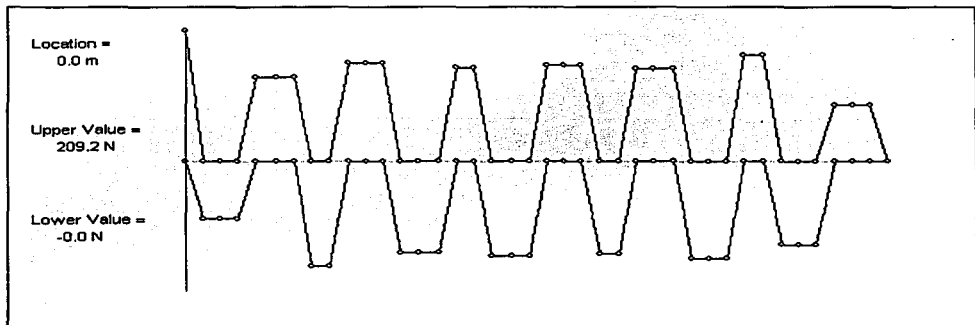
Para conocer el valor del momento flector máximo y la fuerza cortante que actúa en nuestra flecha, con las cargas calculadas en la ec. (179), debemos hacer un diagrama de cuerpo libre, en todo lo largo de la flecha, y se calculan las reacciones con respecto de las fuerzas.

En la figura 36 se muestra el diagrama, en el cual las fuerzas concentradas de 302.54 [N] se encuentran localizadas en el lugar donde, en la flecha, actúan un par de cables y los soportes representan el lugar en donde se encuentran localizadas las chumaceras. En esa misma figura se encuentran representados los diagramas de fuerzas cortantes y de momentos flexionantes.

Por otro lado en las figuras 37 a 40 se encuentran representados los diagramas representativos de las fuerzas cortantes y de los momentos flexionantes máximos y mínimos respectivamente.

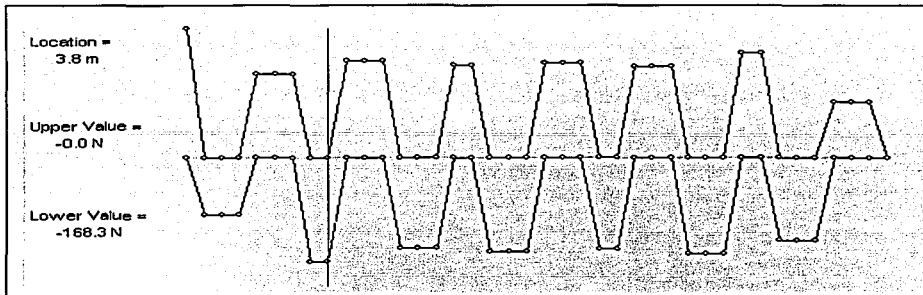


**Figura 36.** Diagrama de cuerpo libre, de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

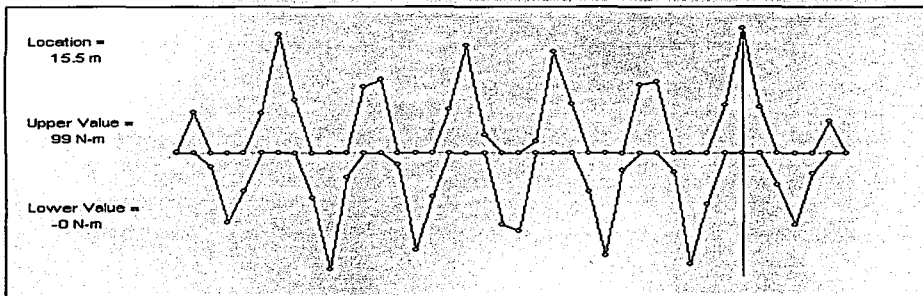


**Figura 37.** Diagrama de fuerzas cortantes en el punto máximo 209.2 [N].

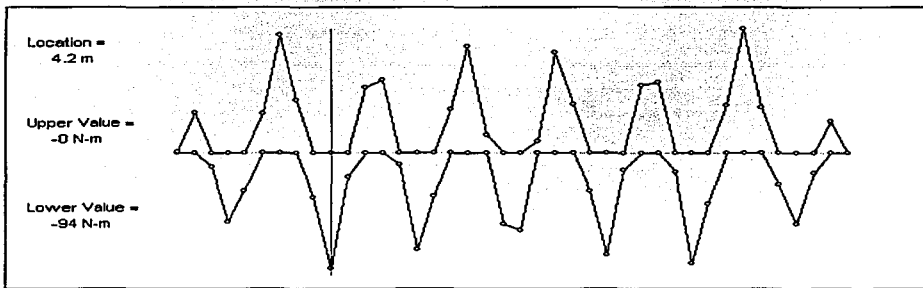




**Figura 38.** Diagrama de fuerzas cortantes con el valor mínimo -168.3 [N].



**Figura 39.** Diagrama de momentos flexionantes con el valor máximo 99 [N-m].



**Figura 40.** Diagrama de momentos flexionantes con el valor mínimo -94 [N-m].

Como podemos observar de la figura 39, el momento máximo se da a 15.5 m del origen en la segunda sección de la flecha y es equivalente a 99 N-m.

La parte de la flecha que soporta el momento flector máximo es la séptima sección de la flecha que tiene las siguientes características:

Longitud 2.575 [m] -----(180)

Carga 302.5 [N] -----(181)

Esfuerzo permisible es de  $110 \times 10^6$  [Pa] -----(182)

Momento máximo 99 [N-m] -----(183)

Con estos datos, podemos calcular el diámetro de la flecha requerido para cotejarlo con el estudio que se hizo con los esfuerzos de torsión.

El módulo de sección para una barra circular sólida es:

$$S = \frac{\pi \times d^3}{32} = \frac{M}{\sigma_f} \quad \text{-----(184)}$$

$\sigma_f$  = esfuerzo por flexión

$$S = \frac{M}{\sigma_f} = \frac{99}{110 \times 10^6} \quad \text{-----(185)}$$

$$S = 9 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{-----(186)}$$

Igualando los módulos de sección

$$\frac{\pi \times d^3}{32} = 9 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]} \quad \text{-----(187)}$$

Haciendo las operaciones necesarias:

$$d = 0.0209 \text{ [m]} \quad \text{-----(188)}$$

$$d \approx 20.9 \text{ [mm]} \approx 0.824 \text{ [plg]} \approx 7/8 \text{ [plg]} \quad \text{-----(189)}$$

#### IV.8. Selección del reductor.

Para la selección del motorreductor se accedió a la información proporcionada por el proveedor así como de los datos que requerimos y que ya se calcularon:

En la ecuación 144 se calculó el par máximo que soportaría la flecha en su base y que por lo tanto sería el reductor quien en última instancia soportaría dicho par.

$$T = 191.04 \text{ [N-m]} \quad \text{-----(190)}$$

Para calcular los caballos de potencia (HP), partimos de la ecuación del par torsional:

$$T = \frac{HP \times 726}{\text{rpm}} \quad \text{(sistema métrico)} \quad \text{-----(191)}$$

de donde:

$$HP = \frac{T \times \text{rpm}}{726} \quad \text{-----(192)}$$

El valor de el par torsional debe estar en las unidades kgf-m, entonces hacemos las conversiones:

$$T = 191.04 \text{ [N-m]} \times \frac{1 \text{ [kgf]}}{9.8066 \text{ [N]}} \quad \text{-----(193)}$$

$$T = 19.48 \text{ [kgf-m]} \quad \text{-----(194)}$$

Se requiere que la tina suba en 20 segundos y baje en el mismo tiempo:

$$\text{Velocidad lineal}(v) = \frac{d}{t} = \frac{2}{20} = 0.1 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{-----(195)}$$

Suponiendo el diámetro de la flecha de 54 [mm] (2-1/8 plg.) y haciendo uso de la ecuación 196:

$$v = \frac{2\pi rn}{60 \times 1000} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{(sistema métrico)} \quad \text{-----(196)}$$

despejando a n:

$$n = \frac{60 \times 1000v}{2\pi r} \text{ [rpm]} \text{-----(197)}$$

sustituyendo valores en la ec. 170:

$$n = \frac{60 \times 1000(0.1)}{2\pi(26.99)} \text{-----(198)}$$

$$n = 35.38 \text{ [rpm]} \text{-----(199)}$$

sustituyendo valores en la ec. 165:

$$HP = \frac{19.48 \times 35.38}{726} \text{-----(200)}$$

$$HP = 0.949 = 1 \text{ [HP]} \text{-----(201)}$$

Basado en un servicio de 8 horas diarias de trabajo uniforme sin sobrecargas, con motor eléctrico como elemento motriz, lo que corresponde a un factor de servicio  $\mathcal{F}P = 1$ , se deberá encontrar un factor de servicio corregido, el cual se calculará con la siguiente fórmula:

$$\mathcal{F}P \text{ corregido} = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \text{-----(202)}$$

Donde:

$$K1 = \text{Máquina accionada} = 1.25 \text{-----(203)}$$

$$K2 = \text{Arranques por hora} = 5 = 1 \text{-----(204)}$$

$$K3 = \text{Horas funcionando al día } 8 = 1 \text{-----(205)}$$

$$K4 = \text{Máquina Motriz} = \text{Motor eléctrico} = 1 \text{-----(206)}$$

Sustituyendo valores en la ec. 202:

$$\mathcal{F}P \text{ corregido} = (1.25)(1)(1)(1) \text{-----(207)}$$

$$\mathcal{F}P \text{ corregido} = 1.25 \text{-----(208)}$$

Haciendo uso de las tablas del proveedor, entramos con un factor de servicio de 1.4 y encontramos un reductor tamaño 35 para 1 [HP] y 37 [rpm] de salida, con una velocidad de entrada de 1750 [rpm].

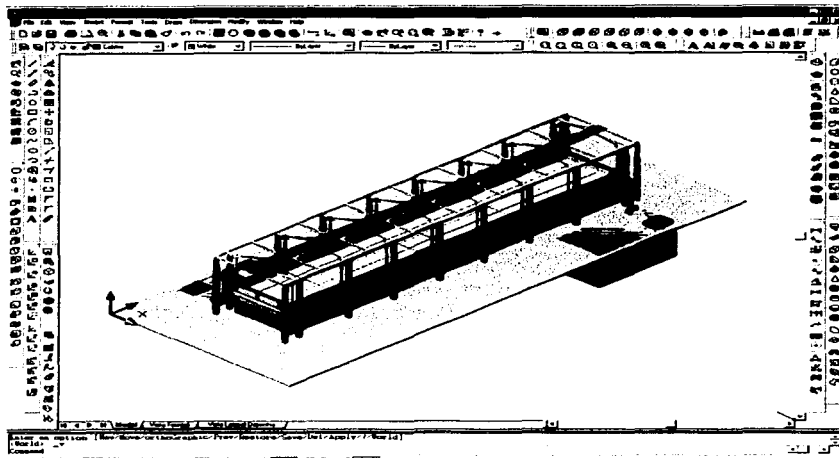
#### **IV.9. Modelado computacional.**

El modelo computacional generado en el software de Autocad nos muestra otra perspectiva de la cual nos apoyamos para diseñar esta prensa, y de la cual la empresa se puede apoyar para hacer su planeación.

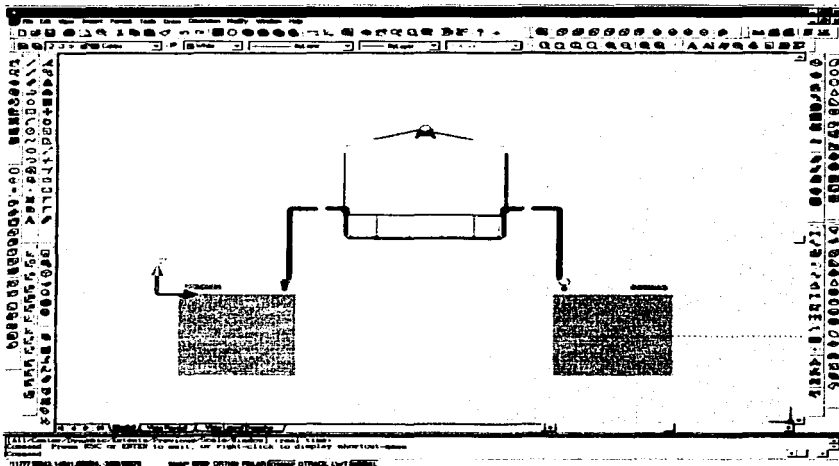
Por medio del modelado se tienen las siguientes ventajas:

- Visualizar las formas de los materiales y posibles fallas antes de proceder a la compra de los mismos.
- Generación de planos diversos como son: planos de fabricación, de ensamble, de detalle de una pieza en particular, etc.
- Rediseño de partes o ensambles si así se requieren.
- Desarrollo de los componentes en tres dimensiones con las medidas reales, con el fin de visualizar los problemas que se podrían presentar en el momento del ensamble de la máquina.
- Las correcciones generadas en el modelo automáticamente se realizan en los planos de fabricación utilizando referencias externas, que es una herramienta del mismo Software.
- Observar y detectar detalles o posibles zonas de dificultad para realizar operaciones posteriores.

En las figuras 41, 42 y 43 se muestra el modelo computacional elaborado, en vistas de isométrica, frontal y lateral, respectivamente.



**Figura 41.** Modelado computacional en el software Autocad 2002. Vista isométrica de prensa hidrostática.



**Figura 42.** Vista frontal de prensa hidrostática.

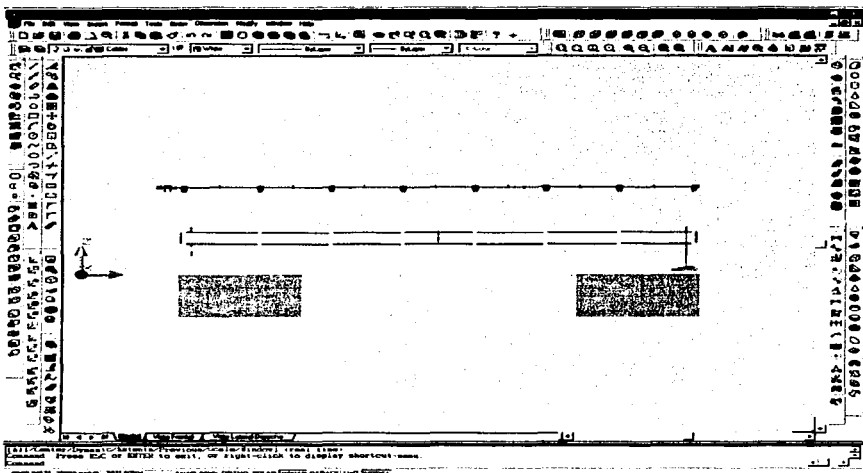


Figura 43. Vista lateral de prensa hidrostática.

## V. Análisis de resultados.

En el cálculo de los cables, en la ecuación 120, se consideró que el esfuerzo permisible de tensión del acero es de  $\sigma_p = 40 \times 10^6$  [Pa], este esfuerzo se tomó considerando una carga de tipo alternante, y como pudimos ver en las ecuaciones 129 nos da un diámetro de 3.75 [mm] (5/32 plg aprox.) y en las ecuaciones 133 y 135, los factores de seguridad respectivos nos dieron 6.2 y 6.88, valores que se consideran altos o muy sobrados. Ahora, si se toma un factor de seguridad igual a 2, y se considera una carga constante, considerando  $\sigma_f = 248 \times 10^6$  [Pa], entonces:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_f}{F.S.}$$

$$\sigma_p = \frac{248 \times 10^6}{2}$$

$$\sigma_p = 124 \times 10^6 \text{ [Pa]}$$

dando un diámetro de 1.77 [mm] que es aproximadamente a 1/16 de pulgada, pero por mayor seguridad se tomó el diámetro de 5/32 [plg].

Por otro lado, en la ecuación 167, de los cálculos para obtener el diámetro de la flecha, parecería que el factor de seguridad es muy elevado (23.47) y que las dimensiones del material son excesivas, pero la deformación total es de 1.48 °, la que nos parece aceptable.

Al principio nosotros consideramos el diámetro de la flecha de 2.125 [plg] que es equivalente a 54 [mm], pero al hacer los cálculos necesarios y comprobar el factor de servicio, el resultado nos arrojó que el diámetro estaba ligeramente sobrado y por lo tanto no cabría la posibilidad de que el elemento fallara a esfuerzos cortantes.

En el análisis por el método de los momentos flexionantes, obtuvimos como resultado (ec. 189) que el diámetro de la flecha debe de ser de 20.9 [mm] que equivale a 7/8 de pulgada aproximadamente, pero en este caso al hacer los cálculos para la deformación total, esta se dispara de tal manera que se obtiene un resultado de 21.65°, la cual nos parece excesiva.

Por esto mismo se hizo una matriz de decisión (tabla 4), variando el diámetro de la flecha y revisando los parámetros de la deformación angular, así como el esfuerzo cortante y el factor de seguridad, dando como resultado que el diámetro de la flecha óptimo debe ser de 2.0 [plg], equivalentes a 50.8 [mm].



<b>Diámetro de flecha</b> [pulgadas] [milímetros] [metros]	7/8 [plg] 22.23 [mm] 0.0222 [m]	1.5 [plg] 38.1 [mm] 0.0381 [m]	2 [plg] 50.8 [mm] 0.0508 [m]	2.125 [plg] 54 [mm] 0.054 [m]
<b>Par de Torsión en cada cable</b> $T = F \times d$ [N-m]	9.83	16.85	22.47	23.88
<b>Esfuerzo Cortante Máximo Total</b> $\tau_{Max.} = \frac{16T}{\pi \times d^3} \cdot \left[ \frac{N}{m^2} \right]$	36606203.65	12413237.8	6983482.23	6178928.076
<b>Factor de seguridad permisible</b> $F.S. = \frac{\tau_l}{\tau_p}$	1.45	1.45	1.45	1.45
<b>Factor de seguridad real</b> $F.S._{real} = \frac{\tau_l}{\tau_{real}}$	3.96	11.68	20.76	23.47
<b>Momento polar de inercia</b> $J = \frac{\pi \times d^4}{32} [m^4]$	$2.38 \times 10^{-8}$	$2.07 \times 10^{-7}$	$6.54 \times 10^{-7}$	$8.35 \times 10^{-7}$
<b>Deformación angular Total</b> $\theta = \frac{T_L}{JG} [rad]$	0.3778	0.0744	0.0313	0.0259
<b>Deformación Total en grados</b> $\theta = \frac{T_L}{JG} \times 57.29 [grados]$	21.65°	4.26°	1.79°	1.48°

**Tabla 4.** Matriz de decisión para el diámetro de la flecha.

Cabe señalar que para la obtención de los valores y de los diagramas de fuerzas cortantes y de momentos flexionantes se utilizó el software llamado Dr. Beam Pro, para que se pudieran calcular todas las cargas y reacciones al mismo tiempo tal y como van a actuar ya en operación, ya que se convierte en un problema isostático.

Por otra parte, como podemos observar en las ecuaciones de la 150 a 157 el par torsionante en cada sección de la flecha va variando, siendo cada vez menor, esto es debido a que se está calculando la deformación individual en cada sección, haciendo como pivote a la sección inmediata anterior.

## **Conclusiones.**

- ✓ Con base en la metodología de la investigación se diseñó una prensa hidrostática para comprimir homogéneamente materiales compuestos laminares desde 12 m<sup>2</sup> hasta 54m<sup>2</sup>.
- ✓ El sistema permite regular la presión ejercida desde 0.0004 hasta 0.06 atm, rango que se estableció a partir de parámetros teóricos y experimentales, considerando el tiempo de fraguado de los adhesivos, las distintas capas y los diversos materiales compuestos laminares que se utilizan.
- ✓ Se determinó que la prensa diseñada tiene una vida útil en las partes móviles de 10 años y en las partes fijas de 15 años, dando en promedio de 12 años de vida útil.
- ✓ Para la correcta operación de la prensa, así como para su mantenimiento, se elaboraron los manuales correspondientes con el fin de que el personal encargado cuente con todos los elementos esenciales para su adecuado funcionamiento.
- ✓ El costo global de la máquina, es de \$800,000.00, aproximadamente y se tiene considerado que el tiempo de recuperación de la inversión sea de medio año, ya que los materiales compuestos que este dispositivo puede manufacturar por sus características pueden ser utilizados en diversas aplicaciones.
- ✓ Es importante destacar que la prensa por el tipo de principio funcional tiene un rango de trabajo tanto para piezas pequeñas como para el tamaño total, aumentando así la productividad empresarial.
- ✓ El tiempo promedio del proceso para la fabricación del material de mayor tamaño es de 2 horas y un incremento o una disminución en este tiempo dependerá de las características de los materiales así como de los adhesivos. Este tiempo podría parecer excesivo pero si tomamos en cuenta las dimensiones máximas (3 m x 18 m) realmente el tiempo es mínimo.
- ✓ El mantenimiento de la prensa es mínimo ya que se reduce a darle mantenimiento a las bombas y al motorreductor, que son las partes que tendrán mayor movimiento, dando costos de mantenimiento mínimos.

- ✓ Como sabemos que el desarrollo tecnológico es una constante en la vida y más en los diseños ingenieriles, la prensa está diseñada para que en ella puedan montarse dispositivos que la hagan más eficiente, por ejemplo en el sistema de aplicación de adhesivos, los cuales son aplicados manualmente en la actualidad e incluso automatizarla en un futuro.
  
- ✓ Cabe mencionar como conclusión que la experiencia personal que me dejó el desarrollo de este trabajo de tesis va a ser muy importante durante el transcurso de mi vida profesional y personal, ya que durante su desarrollo me fui dando cuenta que desconocía muchos aspectos que mi carrera contenía como puede ser la seguridad que se debe tener uno como profesional de que los elementos diseñados no fallen, protegiendo así a las personas involucradas en los procesos, así como la responsabilidad y compromiso que como profesionistas tenemos ante nuestro país.

## Bibliografía

- [1]. ASTM D3878-02a 2003.
- [2]. Askeland, Donald R., (2000), **“The Science and Engineering of Materials”** 3rd ed. Imprime, Boston: pws Pub. , pg. 700 - 812
- [3]. Allen, C.W., (1994), **“Astrophysical Quantities”**, Fourteenth Edition, University of London, The Athlone Press.
- [4]. Gay, Daniel **“Matériaux Composites”**, 8<sup>a</sup> édition revue et augmentée, Ed. Hermes 1999, Paris.
- [5]. Miravete Antonio, **“Materiales Compuestos I”**, Editado por Antonio Miravete, Imprime INO reproducciones, S. A., 829 págs.
- [6]. Derek, hull, **“An Introduction to Composite Materials”**, Cambridge University Press, Trumpington street, Cambridge, CB2 1RP
- [7]. Tsai, Stephen W. **“Diseño y Análisis de materiales Compuestos”**, Antonio Miravete, Ed. Reverté.
- [8]. Shakelford, James F. **“Introduction to Materials Science for Engineers 3/Ed”**, MacMillan Publishing Company a Division of MacMillan Inc., USA 1992.
- [9]. Alvarenga Álvares, Beatriz **“Física General”** tercera Edición, Harla, S.A. de C.V., México 1983, 976 paginas.
- [10]. Amstead B.H., **“Procesos de Manufactura (versión SI)”**, Décima impresión, México, 1995, Ed. Cía. Editorial continental, S.A. de C.V.
- [11]. López Navarro, Tomás, **“Troquelado y Estampación”, Con aplicación al punzonado, doblado, embutición y extrusión**, Ed. Gustavo Gili, S.A.
- [12]. Rossi, Mario, **“Estampado en Frío de la Chapa”**, Estampas, matrices, punzones, prensas y máquinas, Novena edición, Ed. Dossat, S.A. 1979.
- [13]. Groover, Mikell P., **“Fundamentos de manufactura moderna, materiales procesos y sistemas”**, Prentice hall Hispanoamericana, S.A.
- [14]. Gieck, Kurt, **“Manual de Fórmulas Técnicas”**, 30<sup>a</sup>. Edición, 2000 Alfaomega Grupo Editor, S.A.

- [15]. Begeman, Miron L., **“Procesos de fabricación”**, Cía. Editorial continental, S.A., México, 1980.
- [16]. Young, Donald F., **“A brief introduction to fluid mechanics”**, Jhon Wiley & Sons, Inc. 1980.
- [17]. Mott, Robert L., **“Applied strength of materials”**, third edition, Prentice Hall, 1996.
- [18]. Mangonon, Pat L., **“The principles of materials selection for engineering design”**, first Edition, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A. 1999.
- [19]. Fitzgerald, Robert W. **“Mechanics of Materials”**, second edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Massachussets, U.S.A. 1996.
- [20]. Singer, Ferdinand L., **“Strength of materials”**, third edition, Harper & Row Publishers Inc., N.Y. 1980.

Páginas WEB:

- [21]. <http://www.hexcelcomposites.com/>
- [22]. <http://www.psrc.usm.edu/spanish/hware.htm>
- [23]. <http://www.astm.org>
- [24]. <http://www.goodfellow.com/static/s/p.html>
- [25]. <http://www.glasbord.com>
- [26]. <http://www.Kemlitefrp.com>
- [27]. <http://www.fypresa.com>
- [28]. <http://www.quimicaabri.com>