

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

DISEÑO DE EQUIPO EXPERIMENTAL PARA EL MEJORAMIENTO DE MOLDEO DE PLASTICOS REFORZADOS

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a

VICENTE RIVERA MORAS

304.

México, D. F.

1975



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

CLAS. Tesis

ADQ. 1975

FECHA

PROC. ML 290



QUÍMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

Presidente : Prof. Julio Terán Zavaleta

Vocal : Prof. Victor Perez Amador

Secretario : Prof. Ricardo Vera Graziano

Primer Suplente : Prof. Fernando Iturbe Hermann

Segundo Suplente : Prof. Rolando Barrón Ruiz

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

**Centro de Investigación de Materiales de la Universidad
Nacional Autónoma de México**

SUSTENTANTE

Vicente Rivera Moras

ASESOR DEL TEMA

M. en C. Ricardo Vera Graziano

A la memoria de mi hermana Betty

A mi madre con cariño y eterna gratitud

A mi padre

A mi esposa

A Betita y Vicentito

PERSONAS E INSTITUTICIONES A LAS CUALES AGRADEZCO
SU COLABORACION

M. en C. Ricardo Vera Graziano por su valiosa y eficaz dirección de esta tesis.

Al Centro de Investigación de Materiales por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo.

Al Instituto y Facultad de Ingeniería por las facilidades prestadas para la realización de pruebas mecánicas.

INDICE

	Página
CAPITULO I	
1. - INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
CAPITULO II	
2. - ANTECEDENTES	3
2.1. - Efectos de altas presiones en juntas adhesivas	3
2.2. - Plásticos y refuerzos	4
2.2.1. - Polímeros	4
2.2.1.1. - Resina poliéster	5
2.2.1.2. - Poliestireno	9
2.2.2. - Materiales de refuerzo	14
2.2.2.1. - Fibras	16
2.2.2.2. - Refuerzos granulares	20
2.3. - Métodos de moldeo para polímeros reforzados	22
CAPITULO III	
3. - PARTE EXPERIMENTAL	25
3.1. - Diseño de experimentos	25
3.1.1. - Diagrama de actividades	25
3.1.2. - Documentación y actualización bibliográfica	25
3.1.3. - Materiales	25
3.1.4. - Equipo	27
3.1.4.1. - Prensa	27
3.1.4.2. - Moldes	27
3.1.5. - Procedimientos	27
3.1.5.1. - Métodos de moldeo	27

3.1.5.2. - Construcción y calibración de equipo	28
3.1.5.3. - Preparación de muestras piloto	31
3.2. - Diseño del equipo	31
3.2.1. - Cálculos mecánicos	35
3.2.1.1. - Placas de sustentación	35
3.2.1.2. - Barras guía	45
3.2.1.3. - Platinas	47
3.2.2. - Cálculos térmicos	56
3.2.2.1. - Sistema de calentamiento	56
3.3. - Equipo de medición y control	58
3.3.1. - Sistema de presión	58
3.3.2. - Sistema térmico	62
3.3.3. - Medición de temperatura	62
3.4. - Moldes	62
3.5. - Instalación del equipo	65

CAPITULO IV

4. - RESULTADOS Y DISCUSION	68
4.1. - Calibración del equipo	68
4.1.1. - Alineación	68
4.1.2. - Sistema de presión	68
4.1.3. - Sistema de calentamiento	69
4.1.4. - Sistema de enfriamiento	72
4.1.5. - Deformación elástica de la prensa	80
4.1.6. - Operación del equipo	80
4.2. - Elaboración de muestras	83
4.3. - Pruebas mecánicas	84

CAPITULO V	
5. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
CAPITULO VI	
6. - BIBLIOGRAFIA	91
CAPITULO VII	
7. - APENDICE	94
7.1. - Polimerización y curado de la resina poliéster.	94
7.2. - Procesos de moldeo comunmente empleados en plástico reforzado.	95

LISTA DE FIGURAS

Figura No.		Página
2.1. -	Gráfica del tiempo de gelado y curado de la resina poliéster	8
2.2. -	Gráfica del efecto de la temperatura en el tiempo de post - curado de la resina poliéster	8
2.3. -	Gráfica de los efectos de un refuerzo granular en el grado de contracción de la resina poliéster	21
3.1. -	Diagrama de actividades	26
3.2. a. -	Ciclo de moldeo a baja presión	29
3.2. b. -	Ciclo de moldeo isométrico	30
3.3. -	Diagrama de la prensa diseñada para el moldeo de plásticos a altas presiones y temperaturas	32
3.4. a. -	Modelo de una placa plana cuadrada apoyada en las esquinas, y con una carga uniformemente repartida en una área central	36
3.4. b. -	Diseño y dimensiones en cm de las placas de sustentación, móvil y superior	37
3.4. c. -	Diseño de una placa, para calcular el momento resistente a partir del par formado por las fuerzas internas de tracción y compresión.	42
3.5. a. -	Diseño y dimensiones de la placa móvil	44
3.5. b. -	Diseño y dimensiones de las chumaceras de bronce para mantener lubricada la superficie de las barras guía	44

Figura No.		
3. 6. -	Diseño y dimensiones del área sometida a un esfuerzo cortante en las barras guía	48
3. 7. a. -	Diseño y dimensiones de una platina, vista frontal con su sistema de calentamiento y enfriamiento.	50
3. 7. b. -	Diseño y dimensiones de una platina, vista lateral con su sistema de enfriamiento y calentamiento.	51
3. 8. a. -	Diseño de una barra con una perforación central sometida a compresión y su diagrama de momentos.	54
3. 8. a'. -	Cilindro de pared gruesa sometido a compresión	54
3. 8. b. -	Diseño y dimensiones de las perforaciones en las platinas para determinar su espesor mínimo.	54
3. 9. -	Proyección dimensional de una platina mostrando el arreglo de las perforaciones del sistema de enfriamiento y calentamiento.	55
3. 10. -	Diseño y dimensiones del transductor de presión.	60
3. 11. a. -	Diagrama del sistema eléctrico de una fuente (5 volts. C.D.) de alimentación para el transductor.	61
3. 11. b. -	Diagrama del sistema eléctrico del transductor.	61
3. 11. c. -	Diagrama del sistema eléctrico del amplificador	61
3. 11. d. -	Diagrama del sistema eléctrico de una fuente (12 volts. C.D.) de alimentación para el amplificador.	61

Figura No.

3. 11. e. -	Indicador de voltaje.	61
3. 12. -	Diagrama eléctrico del sistema de calentamiento.	63
3. 13. -	Diagrama del sistema de medición térmica.	64
3. 14. -	Diseño y dimensiones del molde.	66
4. 1. -	Gráfica de presión hidrostática vs. el equivalente en volts, para la calibración del voltímetro y el manómetro.	71
4. 2. -	Gráfica de temperatura vs. tiempo, para determinar la rapidez de calentamiento en las platinas a diferentes voltajes de alimentación.	75
4. 3. -	Gráfica de temperatura vs. tiempo, para determinar la rapidez de calentamiento en las platinas con el 100 % de eficiencia en el voltaje de alimentación.	76
4. 4. -	Gráfica de temperatura vs. tiempo, para un enfriamiento natural de las platinas.	78
4. 5. -	Gráfica de tiempo vs. temperatura, para determinar la rapidez de enfriamiento en las platinas con agua.	79
4. 6. -	Gráfica de desplazamiento vertical vs. presión hidrostática, aplicada a la placa móvil.	82
4. 7. -	Ilustración del método usado para obtener láminas de poliestireno reforzado con fibra de vidrio unidireccional.	85

LISTA DE TABLAS

Tabla No.		Página
2.1. -	Propiedades de la resina poliéster.	10
2.2. -	Propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas de la resina poliéster.	12
2.3. -	Propiedades de la fibra de vidrio.	17
4.1. -	Resultados obtenidos en la calibración del sistema de presión.	70
4.2. -	Datos de temperatura de calentamiento en las platinas en función del tiempo, para diferentes voltajes de alimentación.	73
4.3. -	Datos de temperaturas de enfriamiento en las platinas en función del tiempo, para un enfriamiento natural y con agua.	77
4.4. -	Datos del desplazamiento vertical de la placa móvil en función de la presión aplicada por el gato.	81
4.5. -	Datos de resistencia a la tensión obtenida en las muestras piloto.	86

CAPITULO I

1. - INTRODUCCION Y OBJETIVOS

La creciente demanda y aplicación de los plásticos reforzados en la vida actual se debe, básicamente, a las propiedades y características de trabajo que se pueden obtener de estos materiales. La gran variedad de plásticos y refuerzos utilizables en la fabricación de estos materiales permite obtener productos cuyas propiedades físicas, químicas o mecánicas cumplan con las especificaciones impuestas. Debido a que su uso como elementos instrumentales es limitado, por su costo, es necesario optimizar sus propiedades para reducir la cantidad de materia prima empleada.

El proceso de fabricación de estos materiales tiene gran importancia en sus propiedades finales; por ejemplo, sus propiedades mecánicas son afectadas por la magnitud de esfuerzos internos presentes y por la falta de contacto efectivo entre sus componentes. Los esfuerzos internos se generan durante la formación del producto por los cambios diferenciales de volumen que ocurren entre el polímero y el material de refuerzo, y la falta de contacto interfacial se debe principalmente a que la resina, cuando se aplica, no alcanza a bañar completamente al refuerzo (1). Actualmente estos dos factores son parcialmente controlados añadiendo a la resina cargas inertes y agentes tensoactivos. Sin embargo, ésto además de aumentar el costo, disminuye otras propiedades.

Recientemente se desarrolló una técnica de altas presiones para minimizar esfuerzos interfaciales y maximizar el grado de contacto entre componentes de juntas adhesivas (2). Esta técnica se basa en la ecuación de estado de los polímeros amorfos, tales como poliestireno, polimetacrilato, policloruros de vinilo, -

etc. A elevadas presiones equivalentes a las que se producen en los procesos de inyección, extrucción y moldeo de plásticos, se ha observado que se logra un contacto interfacial completo entre los componentes de los polímeros reforzados y que se pueden controlar los cambios volumétricos diferenciales si se aplica el método adecuado.

El presente trabajo de investigación se basará en este método con el fin de optimizar las propiedades de los plásticos reforzados, con lo cual, se pretende disminuir la cantidad de materia empleada y eliminar la adición a la resina de agentes tensoactivos y cargas destinadas a disminuir la contracción de la resina durante el curado.

Los objetivos del presente estudio son :

1. - Obtener propiedades óptimas en plásticos reforzados mediante la aplicación de un método de moldeo que permite controlar simultáneamente la presión, el volumen específico y la temperatura.
2. - Diseñar y construir un equipo de moldeo que permita variar y controlar efectivamente la presión y temperatura de operación y que permita simular diferentes ciclos de moldeo.
3. - Obtener un mínimo de muestras representativas de plásticos reforzados para determinar el incremento logrado con dicho método.

CAPITULO II

2. - ANTECEDENTES

2.1. - Efectos de las altas presiones en juntas adhesivas.

Un cálculo estimativo de las fuerzas moleculares que intervienen en la adhesión de polímeros con superficies sólidas, conduce a valores de resistencias mecánicas muy superiores a - aquellas que se obtienen en la práctica (1). Esta diferencia ha sido explicada por la presencia de pequeñas imperfecciones y el - desarrollo de esfuerzos residuales en las interfases polímero - adherente.

Los principales métodos usados para minimizar las imperfecciones y esfuerzos residuales son : la protección y limpiado de las superficies adherentes, adición de cargas para reducir la contracción de la resina durante el curado y, el uso de agentes de - acoplamiento o aprestos (3). Ninguno de estos métodos, sin - embargo, ha demostrado ser completamente efectivo.

Recientemente se ha observado que el coeficiente de expansión térmica de polímeros amorfos en estado líquido y vítreo se - puede eliminar por aplicación de altas presiones. Esta idea sir - vió para desarrollar un método de adhesión, el cual fue probado - experimentalmente en juntas adhesivas de poliestireno y vidrio.

Por medio de este método se minimizaron esfuerzos re - siduales e imperfecciones, tales como : falta de contacto interfa - cial y espacios vacíos en el polímero.

Se demostró en ese trabajo (2) que el número de imperfecciones se minimizaban cuando se aplican altas presiones so - bre las juntas adhesivas. Se observó también que, eliminando - los cambios de volumen específico en el polímero durante su so - lidificación, los esfuerzos residuales fueron eliminados. Final -

mente se observó un incremento del 100 % en el esfuerzo a la fractura cuando se maximizaba el contacto interfacial y se eliminaban los esfuerzos residuales.

El método seguido para obtener experimentalmente este efecto se describe en el Capítulo III. Los principios fundamentales que soportan este método son suficientemente generales y por tanto deben permitir su adaptación a la fabricación de plásticos reforzados.

2.2. - Plásticos y refuerzos.

Con objeto de obtener características óptimas en plástico reforzado es necesario seleccionar el material de refuerzo y el polímero empleado de acuerdo a la aplicación específica del producto.

2.2.1. - Polímeros.

Los polímeros empleados en la fabricación de plásticos reforzados conviene clasificarlos en : termoplásticos, termofijos y elastómeros.

- a) . - Los termoplásticos son polímeros que por efecto de la temperatura se convierten en líquidos viscosos. Esta propiedad es aprovechada para dar les la geometría que se desea y para reprocesarlos térmicamente sin que pierdan sus propiedades.
- b) . - Los termofijos, en contraste, no pueden ser fundidos ni disueltos debido a que sus macromoléculas constituyentes se encuentran entrelazadas químicamente entre sí. Esto impide su reprocesamiento si se desea que conserven sus propiedades originales.

c) . - Los elastómeros, aunque son también polímeros reticulares, presentan características elásticas únicas debido a su gran flexibilidad molecular ya que se encuentran por arriba de la temperatura de transición vítrea y a que el grado de entrecruzamiento químico entre sus moléculas es insignificante comparado con los termofijos.

Los polímeros más comúnmente usados en plásticos reforzados corresponden a los termofijos, tales como : las resinas; Poliéster, Fenólicas y Epóxicas. Esto se debe a su gran estabilidad dimensional y propiedades (4).

Entre los termoplásticos los más usados son : las poliamidas, policarbonatos, acrílicos, poliestirenos, acetales, polipropileno y fluorurocarbonos (5).

Los elastómeros, como el acrilonitrilo - butadieno - estireno, hule y neoprenos; también se utilizan extensivamente en la fabricación de plásticos reforzados (6).

2.2.1.1. - Resina poliéster .

Los poliésteres son polímeros de condensación que contienen insaturaciones, las cuales, permiten el entrecruzamiento químico. Los principales comonómeros que usan para su obtención son : un ácido y un alcohol dibásicos.

El entrecruzamiento químico entre las moléculas de la resina poliéster se logra por medio de un agente de enlace reticular normalmente un monómero vinílico, como el estireno.

La reacción química que genera la resina y aquéllas que producen la reticulación química (reacción de curado) aparecen en el apéndice I.1 (polimerización y curado de la resina poliéster).

Las propiedades del sólido dependen del peso molecular -

promedio (P. M.), de la resina y del grado de entrecruzamiento químico. Este último, es función de las insaturaciones presentes en las macromoléculas. El peso molecular se controla por las cantidades relativas de grupos funcionales ácido - alcohol en el momento de hacer la polimerización. El contenido de insaturaciones está determinado por el tipo de comonomero usado. Por ejemplo, el ácido maleico al polimerizar produce una insaturación, mientras que el ácido ftálico es saturado; así pues, las cantidades relativas de estos comonomeros, en las macromoléculas, controlarán la densidad de dobles ligaduras y en consecuencia la capacidad de entrecruzamiento químico de la resina.

Los tipos más comunes de poliéster están hechos a partir de dipropilenglicol condensado con ácido maleico, ortoftálico, isoftálico ó tereftálico (7). Algunas de sus propiedades son las siguientes :

Los poliésteres con ácido ortoftálico son relativamente baratos y con buenas cualidades para el laminado, es por ésto que es el tipo más comunmente empleado en aplicaciones generales.

La resina de ácido isoftálico es, aproximadamente, 25 % más cara que la anterior pero tiene una mayor resistencia al agua. Por esta razón es usada más frecuentemente para la construcción de embarcaciones y aplicaciones marinas.

Las resinas a partir del anhídrido tereftálico son ligeramente más caras que las anteriores. Esta es relativamente nueva, sus propiedades, como resistencia al agua, son iguales o ligeramente mejores que los poliésteres del isoftálico.

Los poliésteres de dipropilenglicol adquieren propiedades auto - extingüibles al agregarle trióxido de antimonio y cloro - parafinas. La adición de estos materiales incrementa el costo del material aproximadamente en un 10 %, aumenta la densidad y disminuye algunas de sus propiedades.

Otro grupo principal de poliésteres insaturados se obtiene-

del bisfenol - A. Estos son tres veces más caros que los otros tipos, son más viscosos y con el curado dan una resina rígida con excelente resistencia al agua y a la degradación en presencia de diferentes sustancias químicas.

El entrecruzamiento químico o curado de las resinas poliéster se logra mezclando con la resina un monómero vinílico, normalmente estireno, y un catalizador, como peróxido de metil - etil - cetona ó peróxido de benzoilo. La velocidad de la reacción se puede modificar por medio de la temperatura o de un acelerador como naf tenato de cobalto. El curado se produce debido a que el monómero - vinílico polimeriza con las dobles ligaduras que contienen las moléculas de poliéster.

El curado pasa por tres etapas :

- a) . - La primera es el gelado o sea la iniciación de la reacción de entrecruzamiento. El tipo de gelado es un parámetro importante debido a que marca el límite trabajable de la resina. Se debe tomar en consideración que a temperatura ambiente éste puede variar desde algunos minutos hasta horas, todo depende de la concentración de catalizador y acelerador. La reacción de curado es exotérmica, una vez que se ha alcanzado el tiempo de gelado, la reacción procede a una mayor velocidad y liberando calor. Obsérvese la gráfica de tiempo - vs. temperatura de reacción en la Figura 2. 1.
- b) . - La siguiente etapa de la reacción de curado es el tiempo de endurecimiento, éste se toma desde el tiempo de gelado hasta el punto en donde la resina está lo suficientemente dura para que el material sea extraído del molde.
- c) . - La última etapa de la reacción del curado es el post - curado, este tiempo puede durar de horas, días o semanas dependiendo

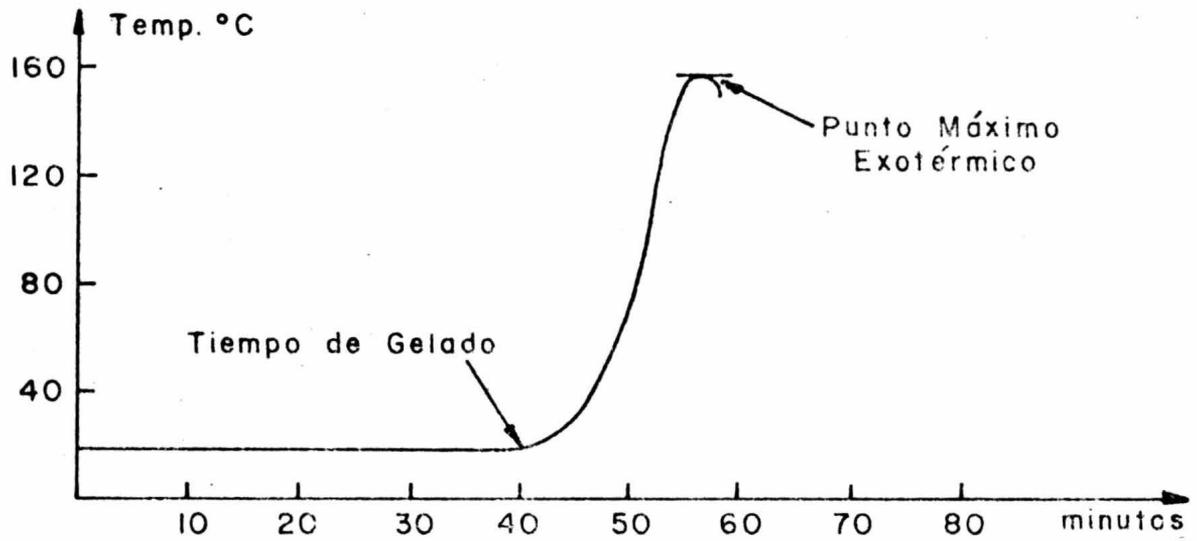


Figura 2.1. Tiempo de Gelado y Curado de resina poliéster.

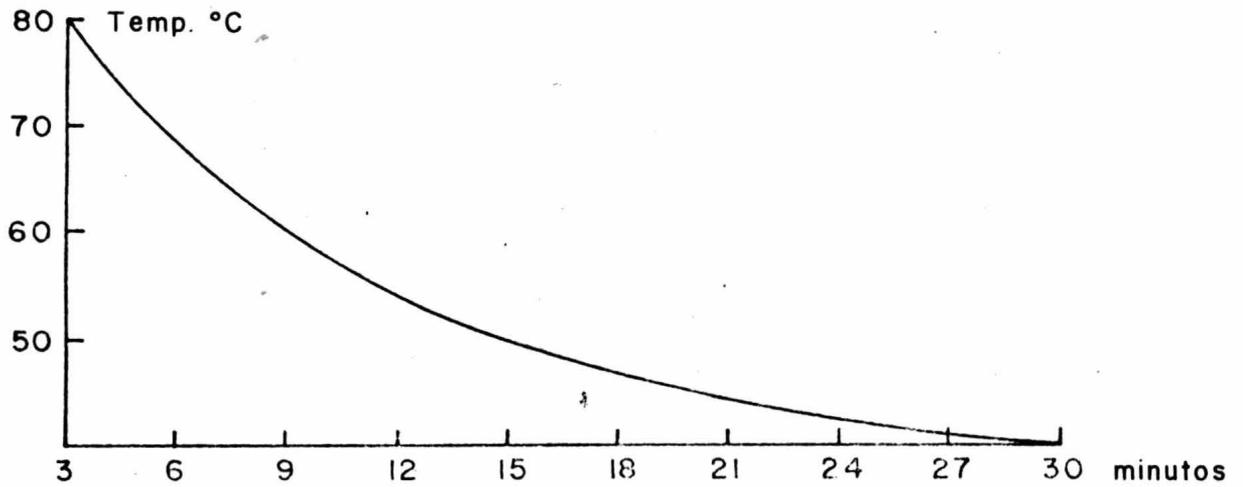


Figura 2.2. Efecto de la Temperatura en el tiempo de Post-Curado de resina poliéster.

do del tipo de resina, el sistema de curado y la temperatura. El tiempo del post - curado puede ser reducido considerablemente a elevadas temperaturas. Una gráfica típica equivalente a los tiempos de post - curado vs. temperatura, se muestra en la Figura 2. 2.

Se debe tomar en cuenta que un exceso de estireno en la resina poliéster curada hace que los puentes de unión entre las cadenas poliéster sean muy largos. En consecuencia el producto resulta quebradizo y de baja temperatura, de distorsión y baja resistencia mecánica, así como aumenta la absorción de agua y disminuye la resistencia al intemperismo.

La resistencia al intemperismo se puede mejorar sustituyendo parcialmente al monómero de estireno por el monómero de metil - metacrilato. En otros tipos de poliéster se mezcla el monómero de estireno con dicloro - estireno para incrementar las propiedades físicas e impartir resistencia al fuego y temperatura (el cianuro de trialilo incrementa la resistencia al calor). En la Tabla 2. 1 se muestran algunas propiedades de las resinas poliéster.

2. 2. 1. 2. - Poliestireno. -

El poliestireno es un termoplástico vinílico, cuya fórmula es : $(CH_2 - CH. C_6H_5)$, y se obtiene por polimerización de adición del estireno. El método de polimerización más común es el termocatalítico, el cual corresponde a una reacción de adición por radicales libres; otro método de polimerización es el de adición iónica.

El método de polimerización tiene un efecto definido en el peso molecular y en la configuración del polímero.

TABLA 2.1

PROPIEDADES DE LA RESINA POLIESTER

PROPIEDADES	POLIESTER
Resistencia a la Tensión, Kg/cm ²	420 - 910
Compresión, Kg/cm ²	910 - 2555
Módulo de Young, Kg/cm ²	21000 - 45000
Gravedad específica, g/cm ³	1.10 - 1.46
Calor específico, cal./g/°C	0.30
Coefficiente de conductividad térmica W/m °C	0.21
Coefficiente de expansión lineal, °C	9.918×10^{-5}
Contracción	0.004 - 0.008
Absorción de agua, %	0.15 - 0.60
Temperatura de deformación (Tg), °C	60 - 204

Por el método termocatalítico se obtiene un poliestireno atáctico y una amplia distribución de pesos moleculares, en contraste, con el método aniónico que se obtiene un poliestireno con una polidispersidad más reducida. Este último sin embargo, es más costoso que el anterior (8).

Algunas de las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de este plástico se muestran en la tabla 2.2. Algunas de estas propiedades están entre límites porque varían de acuerdo al peso molecular y formulación específica (9).

Las aplicaciones de este termoplástico son muy variadas debido a sus características (10). Entre los tipos más comunes se encuentran :

El poliestireno de uso general. Este tiene un alto peso molecular (200,000 - 300,000 Mn), es amorfo debido a su estructura molecular atáctica, transparente, rígido y duro, su baja densidad y bajo costo; lo hacen un material muy empleado comercialmente. Además permite combinarlo con otros polímeros resultando materiales de excelentes propiedades aislantes, térmicas y eléctricas. Este tipo de poliestireno se obtiene relativamente puro por medio de un control adecuado de polimerización y una posterior volatilización de sus oligómeros de bajo peso molecular, sin embargo, se le pueden agregar aditivos que le imparten características específicas, como : bajo punto de fluidez, corto tiempo de endurecimiento y menor temperatura de transición vítrea.

Poliestireno especial; este tipo es muy puro en su estructura química y molecular, y puede contener aditivos especiales para aplicaciones científicas especialmente, por ejemplo; el poliestireno isotáctico, el cual es obtenido por polimerización específica del tipo Ziegler - Natta. Su tacticidad lo hace cristali -

TABLA 2.2

PROPIEDADES MECANICAS, ELECTRICAS Y TERMICAS DEL POLIESTIRENO

		Poliestireno moldeado componentes y laminado sin refuerzo, libre o fluido, uso general, resistente al calor.		Tipo especial resistente al calor y sustancias químicas.	Reforzados con fibra de vidrio - 20 - 30 %.
Módulo de tensión 10^5 psi	D638	4.0 - 6.0	1.5 - 5.0	4.0 - 6.0	8.4 - 12.9
Resistencia a la tensión psi	D638 D651	5000-1200	1500-7000	C500-1200	9000-15000
Elongación %	D638	1.0 - 2.5	2.0 - 80.0	1.4 - 2.5	.75 - 1.30
Resistencia a la compresión psi	D695	11500-16000	4000-9000	11500-16000	13500-18000

TABLA 2.2 (continúa)

Dureza Rockwell (M)	D785	M65-M80	M20-80, R50-100	M65-M90	M-70-M95
Módulo de fle- xión $\text{psix}10^5$	D790	4.3-4.7	3.3-4	- - -	8 - 10
Gravedad espe- cífica	D792	1.04-1.09	1.04-1.10	1.04-1.10	1.20-1.33
Conductividad- térmica. $10^{-4}\text{cal/seg/cm}^2/$ $1 (^\circ\text{C/cm })$.					
Expansión ter - mica. $10^{-5}/\text{in}/\text{in}/^\circ\text{C}$	D696	6.0-8.0	3.4-21.0	6.0-8.0	1.8 - 4.5

zable, aunque la porción cristalina del sólido es relativamente menor comparada con la del polietileno o polioximetileno. Su fase amorfa tiene propiedades muy similares a las del poliestireno de uso general. Este termoplástico tiene una alta temperatura de fusión (210°C), es insoluble en los solventes más comunes del poliestireno atáctico y es opaco debido a la estructura esferulítica de su fase cristalina.

Poliestireno auto - extinguido. Este tiene aditivos inorgánicos tales como óxido de aluminio hidratado, óxido de antimonio y orgánicos como fosfatos de alilos y alquilos, los cuales lo hacen retardante a la ignición ó flama. Es principalmente usado como recubrimiento ó espuma plástica.

El poliestireno es usado para formar varios copolímeros tales como : estireno - butadieno, estireno - acrilonitrilo, estireno - acilo - butadieno, etc. , los cuales adquieren propiedades específicas dependiendo de la cantidad relativa de copolímeros en el producto. El estireno de alto impacto, por ejemplo, tiene un contenido de 5 - 10 % de butadieno. El poliestireno se utiliza también como agente entrecruzante en resina poliéster. Debido a su bajo costo el poliestireno se mezcla con otros plásticos, por ejemplo, el metil metacrilato para obtener un producto barato y con alta resistencia al intemperismo.

2.2.2. - Materiales de refuerzo.

Los materiales que se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas, térmicas o eléctricas de los plásticos se puede dividir de acuerdo con su geometría en : fibras y refuerzos granulares.

Las fibras pueden ser orgánicas e inorgánicas, entre las fibras orgánicas naturales se encuentran : el algodón, yute, lana, seda, henequen, bagazo de caña, etc. Se usan principalmente en la industria textil, en ocasiones mezcladas con otros tipos de fibras sintéticas. Su uso en materiales reforzados estructurales es muy limitado. Las fibras orgánicas sintéticas más usadas son : el nylon, polietileno, poli-propileno, polioximetileno, poliéster, etc. Tienen también mucha aplicación en las industrias textil y en la del hule. Las principales fibras de naturaleza inorgánica son las fibras de vidrio, asbesto, boro, grafito y metálicas. En la fabricación de plásticos reforzados la fibra de vidrio es la que se emplea con mayor frecuencia. Las fibras de boro y grafito son de mayor resistencia que las anteriores y se emplean en aplicaciones estructurales muy especializadas como la Aeronáutica. Las fibras de asbesto imparten al material mejores propiedades aislantes. Finalmente las fibras metálicas tienen su principal aplicación en la industria del hule (11).

Los refuerzos granulares son normalmente inorgánicos, entre los más usados se encuentran : las microesferas de vidrio, el caolín, carbonato de calcio, arena talco, perlita, etc. , dependiendo de su diámetro y resistencia mecánica actúan como verdaderos refuerzos o simplemente como cargas (12).

En estos materiales reforzados la función del refuerzo es la de mejorar propiedades, tales como : resistencia a la frac-tura, módulo de elasticidad, resistencia al impacto, estabilidad dimensional, rigidez, estabilidad térmica, etc. , mientras que el plástico, además de sus características inherentes, mantiene al material de refuerzo en la posición deseada y lo

protege contra la acción del medio ambiente y el desgaste.

2.2.2.1. - Fibras.

Las fibras se emplean principalmente en laminados y tienen la característica de absorber la mayor parte de los esfuerzos en el material e impedir la propagación de fracturas en el plástico.

Fibra de vidrio. En la fabricación de plástico reforzado la fibra empleada con mayor frecuencia es la fibra de vidrio debido a las características que exhiben: alta resistencia a la tensión, excelente estabilidad dimensional, incombustibilidad, inerte a agentes biológicos y químicos, baja densidad y amplia disponibilidad (13). Estas fibras se obtienen de vidrio inorgánico, su principal constituyente es el dióxido de silicio, pero se pueden incorporar agentes químicos que modifiquen sus propiedades.

El tipo de vidrio más usado es el eléctrico ó E. La composición aproximada de este vidrio se muestra en la tabla 2.3.

Las fibras de vidrio se pueden obtener por el método de fundición de esferas o fusión directa del vidrio. La materia prima se mezcla en las proporciones adecuadas y se funde para después ser llevada hacia una cabeza que contiene cientos de orificios delgados de donde se obtienen los filamentos, cada filamento es mecánicamente estirado a la salida del orificio y después recubierto con aglutinante para proteger su superficie del desgaste. Los filamentos así tratados se recolectan en un punto para formar una mecha o un hilo tejido que es posteriormente enrollado en un carrete (15). En la Tabla 2.3 se muestran las principales propiedades de los diferentes tipos de fibra de vidrio.

TABLA 2.3

PROPIEDADES DE FIBRA DE VIDRIO

PROPIEDADES	Tipo :	" E "	" C "	" S "	" A "
Resistencia a la tensión Kg/cm ²		37200	37200	49000	33000
Diámetro cm.		.00025	- - -	.00096	- - -
Módulo de Young Kg/cm ²		.000132 770x10 ³	700x10 ³	880x10 ³	700x10 ³
Temperatura de fusión °C		1315	- - -	1649	- - -
Gravedad específica g/cm ³		2.56	2.49	2.49	2.45
Coefficiente de conducti- vidad térmica, W/m °C		1.04	- - -	- - -	0.94
Coefficiente de expansión térmica, °C		0.49x10 ⁻⁵	- - -	- - -	0.79x10 ⁻⁵
Composición %					
SiO ₂		52.4	63.6	64	72.5
Al ₂ O ₃		14.4	4.0	26	1.5
Fe ₂ O ₃					
CaO		21.8	16.6	10	12.5
MgO					
B ₂ O ₃		10.6	6.7	- - -	Nil
Na ₂ O					
K ₂ O		0.8	9.1	- - -	13.5

El diámetro del filamento varía de 3.25μ para las telas más finas a 14μ o más para las fibras de refuerzo. (μ micras).

Un factor importante en la resistencia de las fibras es su diámetro y longitud. Las delgadas y cortas tienen una pequeña área de superficie, por lo cual la probabilidad de encontrar en sus superficies defectos es muy baja y por lo tanto éstas tienen mucho más resistencia a la ruptura que las fibras gruesas y largas. Los defectos en la superficie de las fibras son puntos de concentración de esfuerzos, dando como resultado una fácil iniciación de fracturas o fisuras que posteriormente terminaran con una prematura ruptura total de la fibra (14). Las fibras continuas (delgadas y largas) tienen, además, como ventajas que transmiten los esfuerzos regularmente a lo largo del material.

Con objeto de que las fibras actúen como verdaderos agentes de refuerzo con los polímeros se requiere de un buen contacto interfacial entre ambos. Esto se logra normalmente por medio de un apresto. Los aprestos usados actualmente son: órgano - silanos o complejos de cromo. El átomo de silicio o cromo produce la adhesión con el vidrio mientras que la parte orgánica reacciona con el polímero. El grupo orgánico del apresto consiste normalmente de un grupo alílico, vinílico, metacrilato o amino que posteriormente reacciona con el polímero o resina (3).

Cuando las fibras de vidrio se usan en forma de colchona, mecha o petatillo, el aglutinante y el apresto se aplican al filamento como una mezcla, la cual se conoce con el nombre de aglutinante de formado.

Productos de fibra de vidrio.

Existen comercialmente varios arreglos de fibra de vi-

drio que se usan en la producción de plásticos reforzados (15). Entre las principales formas están las siguientes :

- a) . - Mecha. La mecha consiste de un hilo continuo formado por filamentos paralelos no tejidos, el tipo de mecha está caracterizado por el número de filamentos que contiene, puede variar de 30 a 120, siendo el más común el de 60 filamentos. Se usa en la producción de plásticos reforzados fabricados por el método de aspersión por filamento dirigido y por moldeo en caliente.
- b) . - Colchoneta. La colchoneta es fabricada de mecha cortada en, aproximadamente, 5 cm. de longitud, las fibras así cortadas se encuentran distribuidas al azar en el plano de la colchoneta y se unen con otras por medio de un recubrimiento formando así la colchoneta. El tipo de recubrimiento usado es importante, tanto para el manejo de la colchoneta como en las propiedades finales del laminado para obtener buenas propiedades, éste recubrimiento debe ser completamente soluble en la resina. La colchoneta se usa principalmente en productos laminados y tiene la propiedad de repartir pseudo - isotrópicamente los esfuerzos mecánicos en el plano de la misma.
La densidad de las fibras en la colchoneta determina la resistencia final del laminado. Un tipo de colchoneta muy ligero se denomina: velo, y se usa principalmente para mejorar el acabado de los laminados y su resistencia al intemperismo debido a que el velo acepta mayor cantidad de resina.
- c) . - El petatillo es una mecha tejida en forma entrecruza-

da en ángulo de 90° , debido a su tejido y continuidad - este material es más resistente que la colchoneta y tiene la característica de repartir los esfuerzos a lo largo de las fibras.

La mecha también es tejida de tal forma que cada hilo se mantiene paralelamente por medio de filamentos de menor densidad, éste se conoce como: tejido de fibras unidireccionales.

2.2.2.2. - Refuerzos granulares.

Los refuerzos granulares tienen como objetivo mejorar algunas propiedades como : rigidez, resistencia a la abrasión y resistencia mecánica aunque en algunos casos se emplean para reducir costos y/o el peso del producto terminado. Estos pueden ser usados solos o en combinación con refuerzos fibrilares.

La resistencia mecánica de los plásticos aumenta por adición de estos refuerzos granulares, debido a que disminuye la contracción que sufre la resina durante el curado. Durante el curado la resina presenta considerables contracciones del orden 0.4 % a 0.8 % en volumen dependiendo de los productos químicos usados y de la densidad de los entrecruzamientos. Contracciones de este orden son suficientes para crear en el material esfuerzos internos que debilitan sensiblemente sus propiedades (7). En la figura 2.3 se muestra el efecto de un refuerzo granular o carga en el grado de contracción de la resina.

El tipo de carga y concentración de la misma en la resina dependen del tipo de resina y propiedades que desean incrementarse. En general las características que deben exhibir estos refuerzos son : bajo costo y disponibilidad, -

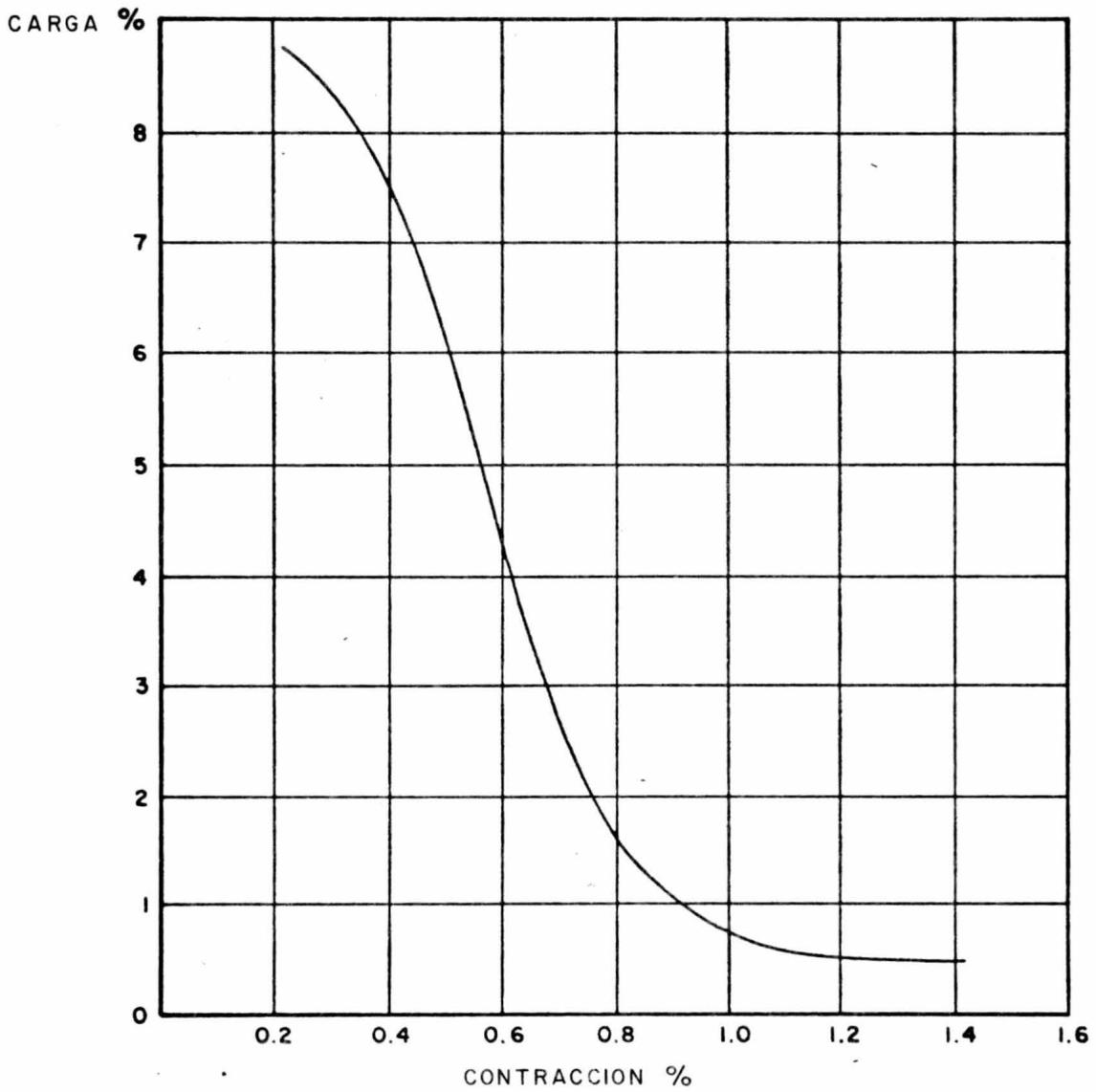


Figura 2.3. Efectos de un Refuerzo Granular (Carga) en el grado de contracción de la Resina Poliéster.

impermeables a aceites y agua, inertes químicamente, no deben influir en el tiempo de gelado y/o curado y de preferencia que no impartan color al producto. El tamaño de partícula es un factor muy importante y debe estar comprendido entre 1 y 5 μ , en algunos casos conviene mezclar partículas de diferente tamaño o hacer mezclas de diferentes compuestos a fin de obtener las características deseadas.

2.3. - Métodos de moldeo para polímeros reforzados.

La forma final de los artículos poliméricos es la estructura funcional y dinámica diseñada para satisfacer necesidades específicas. Sin una forma o geometría, los polímeros son simples agregados moleculares, resinas que sirven sólo como materias primas, para adhesivos recubrimientos orgánicos de superficie, fibras textiles, masas moldeables, etc. La tecnología para convertir estos agregados moleculares en la inmensa variedad de formas de todos los productos plásticos, sugiere una ingeniosa serie de procesos que constituyen la columna dorsal que mueve toda la industria de los polímeros. Entre estos procesos se encuentran aquellos destinados a obtener polímeros reforzados.

Los métodos empleados en la fabricación de polímeros reforzados son los siguientes (9) :

Por moldeo abierto:

- Proceso manual o picado a mano
- Moldeo por aspersion
- Encapsulado
- Filamento dirigido
- Centrifugación
- Poltrusión

Por moldeo cerrado :

- Moldeo a presión y temperatura
 - a) Preforma
 - b) Colchoneta preimpregnada
 - c) Petatillo preimpregnado
 - d) Premezcla
- Moldeo por inyección
- Laminado continuo

En el presente estudio estamos interesados, principalmente, en los métodos de moldeo por presión. En el Apéndice II se indican en forma comparativa los métodos más empleados en la actualidad.

Es necesario tomar en cuenta que la selección del método depende principalmente de los siguientes factores : tipo de resina y refuerzos empleados, cantidades relativas de éstos en el producto, tamaño y forma del producto, acabado de las superficies exteriores y del volumen de producción.

Moldeo a presión y temperatura.

Este proceso de moldeo es adecuado para altas producciones en serie, el costo en este método es menor debido a la rapidez en la producción, un mínimo desperdicio, poca labor para el acabado, y obteniéndose piezas con un alto contenido de material de refuerzo, con un excelente acabado en toda la superficie, excelente reproducción por lo que respecta a tamaño, espesor, etc.

El equipo necesario para esta técnica es de un costo elevado y consiste en prensa, moldes, medio de calentamiento, etc. , y con el inconveniente o desventaja de que las pie-

zas por fabricar tienen que ser sencillas o preformadas (para-
ésto se requiere de un equipo adicional) .

Los métodos de fabricación por preforma son : (los más
empleados) el de cámara plena y el de fibra dirigida. Una vez
fabricada la preforma, se coloca el molde sobre la prensa y pa-
ra el caso de poliéster se vierte sobre de ella (de manera uni-
forme) la resina de moldeo (convenientemente formulada de-
acuerdo con el uso o necesidades que se requieran, i.e. mo-
nómero de estireno, carga, desmoldante interno, catalizador,
etc) . Existe otro método de fabricación con preforma preim-
pregnada, las condiciones de operación son similares a la an-
terior, sólo que con mayor ventaja referente a la inversión del
equipo; no requiere de preforma o mezcladora, obteniéndose -
una mejor uniformidad de espesor en las piezas, un mayor -
ahorro en material, más limpieza en el manejo, etc.

En ambos casos el moldeo se lleva a cabo por medio de -
molde macho y hembra, bien terminados para evitar pérdidas-
de resina y presión con sistema de calentamiento y enfriamien-
to adecuados. Se coloca la fibra de vidrio preformada (o sin -
preformar) en la cavidad del molde hembra y se aplica calor y
presión. Industrialmente se emplean temperaturas desde 100
a 150 ° F y presiones desde 5 a 100 Kg/cm². El proceso es bas-
tante rápido y se obtienen piezas con un buen acabado (16) .

CAPITULO III

3. - PARTE EXPERIMENTAL

3.1. - Diseño de experimentos.

3.1.1. - Diagrama de actividades.

Con objeto de realizar el trabajo de investigación de una manera programada, se formuló un diseño de experimentos que permitiera trabajar coordinadamente. De acuerdo con el Diagrama de actividades, fig. 3.1, se explican a continuación los pasos y los experimentos realizados.

3.1.2. - Documentación y actualización bibliográfica.

Esta parte tiene dos funciones principales : servir de apoyo en cada uno de los siguientes pasos y obtener información respecto a los últimos avances científicos logrados en esta área.

3.1.3. - Materiales.

Los polímeros usados en esta investigación son : - poliestireno (P. S.) atáctico donado por Industrias Resistol, - S. A. , resina poliéster ortoftálica de Química Reichold de México, S. A. y fibra de vidrio tipo " E " en forma de petatillo donado por Vitro Fibras de México, S. A. .

Dos diferentes tipos de aprestos se usaron en las fibras, uno descrito por el fabricante como el indicado para termoplásticos y otro para resina poliéster. El petatillo se suministró en cuatro densidades : uno de 64 extremos, el segundo de 1 hebra con 2 cabos y 30 extremos cada cabo (1.2 - 30.30).

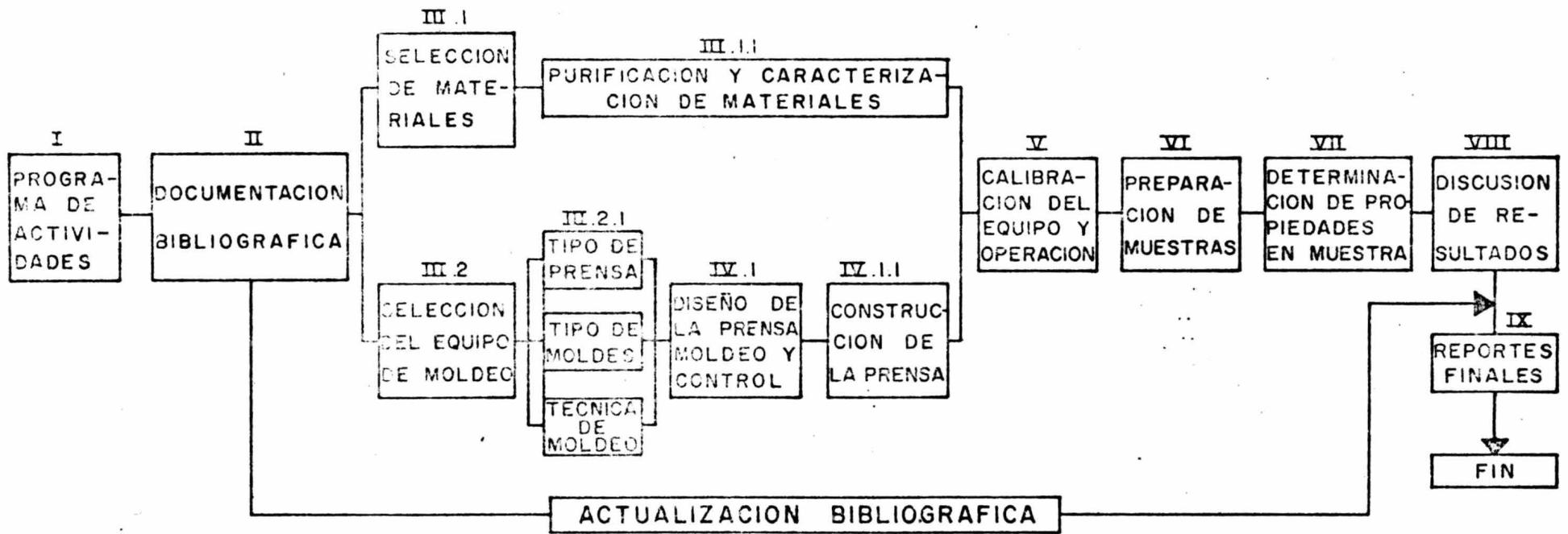


Figura 3.1. Diagrama de Actividades

Un tercero de 2.2 - 20.20 y finalmente otro de 4.2 - 14.14.

3.1.4. - Equipo.

El equipo básico requerido para la elaboración de este trabajo de investigación es : una prensa de alta capacidad con facilidad para simular diferentes ciclos de moldeo.

3.1.4.1. - Prensa.

Las características requerida a la prensa son las siguientes :

- Capacidad de trabajo : 50 toneladas.
- Area de trabajo en cada plato de moldeo : 400 cm^2
- Sistema de calentamiento por medio de resistencias eléctricas.
- Medidor de la presión real en la muestra.
- Sistema para medir desplazamientos lineales.

3.1.4.2. - Moldes.

Para la elaboración de las muestras se especificó un molde macho - hembra de acero para soportar presiones hasta de 1000 kg/cm^2 y con una entrada para insertar el medidor de presión. Se especificó también el terminado de los moldes para lograr un sello que evitará caídas de presión durante la operación de moldeo.

3.1.5. - Procedimientos.

3.1.5.1. - Métodos de moldeo.

Para el diseño de la prensa y el molde se consi-

deró, fundamentalmente, el moldeo de plásticos reforzados - bajo los siguientes ciclos : Ciclo. A. que consiste en calentar la muestra a presión atmosférica y a una temperatura T_1 mayor que su T_g . (fig. 3.2. a) se aplica una ligera presión y se procede a enfriar lentamente la muestra hasta temperatura ambiente. Ciclo. B. Consiste en calentar la muestra a presión atmosférica hasta una temperatura T_1 (fig. 3.2. b) , mayor que el T_g del polímero, tal que al aplicar presión se comprima el líquido a un volumen igual al del sólido en condiciones atmosféricas (punto P) reducir la presión (P) aplicada y la temperatura simultáneamente de tal manera que el volumen del polímero permanezca constante (Línea P - T_a). Dicho ciclo corresponde al moldeo de termoplásticos amorfos reforzados. (2).

Su modificación para aplicarlo a termofijos reforzados se determinó experimentalmente.

Puede observarse que por medio del Ciclo B no se producen esfuerzos internos en la muestra por cambios en su volumen específico.

3.1.5.2. - Construcción y calibración del equipo.

La construcción de la prensa y los moldes se efectuaron de la siguiente manera : las partes que requerían de fundición se hicieron en Industrias Menper, S.A. y las partes de maquinado como son : los moldes y partes pequeñas de la prensa, se trabajaron en el CIM. Con respecto a los accesorios, se compraron aquellos de fabricación nacional, - los demás se construyeron como parte de este trabajo.

La calibración y sistemas de operación del equipo de moldeo se realizó sobre la marcha, ya que depende del diseño y del tipo específico de accesorios y sistema de control. Esta parte es muy importante para obtener resultados precisos y confiables.

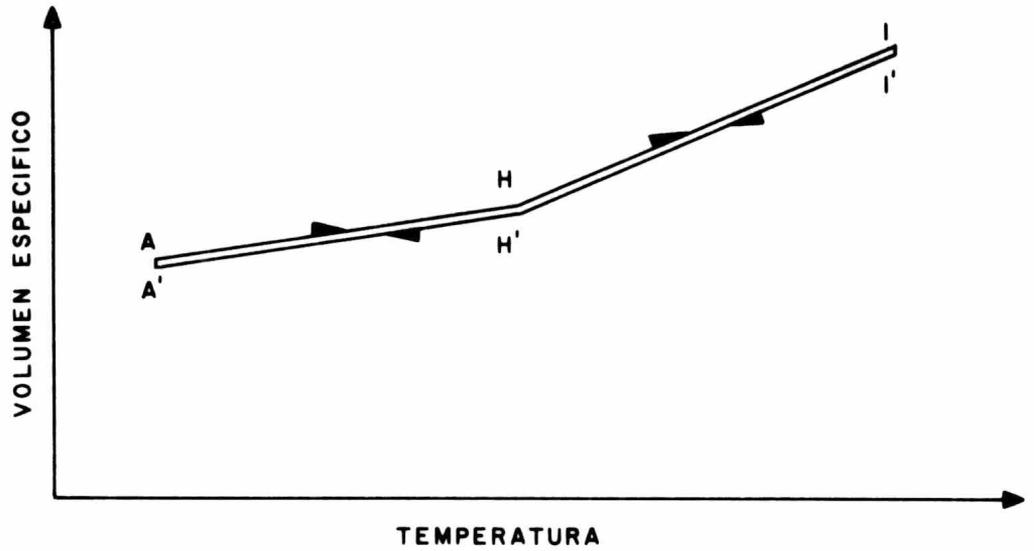


Figura 3.2. a. Ciclo de moldeo a baja presión. La muestra se calienta a presión atmosférica hasta fundirla, línea AH, se aplica una presión de 5 Kg/cm² línea H', se enfría la muestra, línea H' A' y finalmente se baja la presión línea A A'.

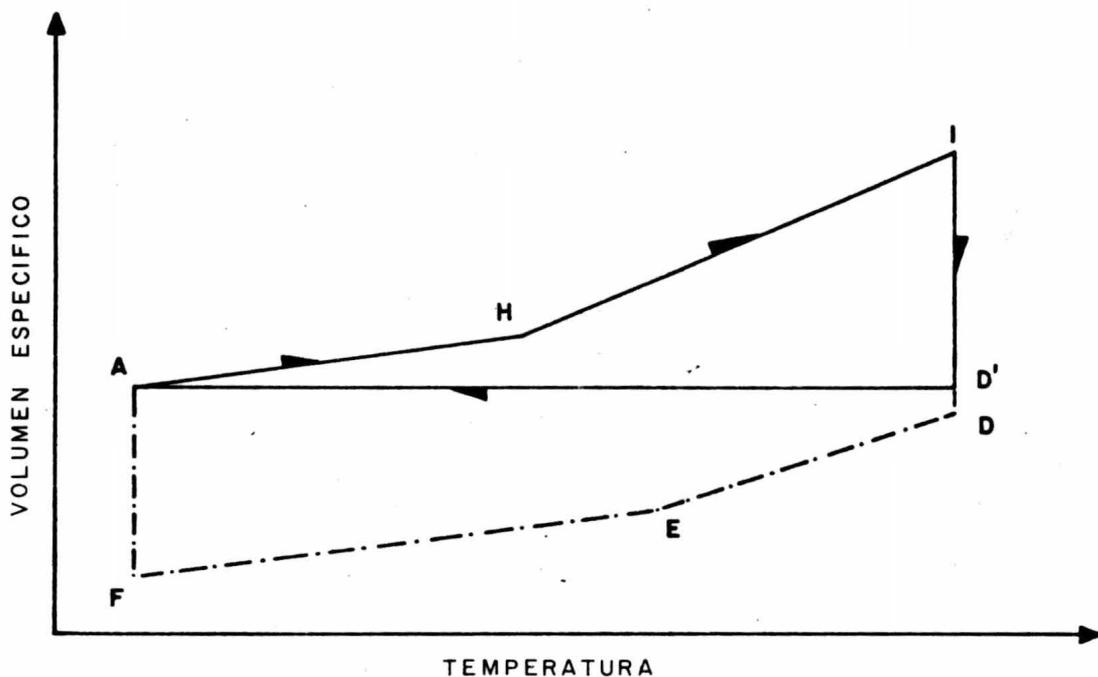


Figura 3.2. b. Ciclo de Moldeo Isométrico. La muestra se calienta a presión atmosférica hasta fundirla, Línea AHI, se aplica una presión tal que el volumen del líquido sea igual al del sólido a condiciones atmosféricas, línea IC. Se enfría la muestra y se reduce paulatinamente la presión, de tal manera que el volumen permanezca constante, línea D' A.

3.1.5.3. - Preparación de muestras piloto.

Para eliminar los aditivos e impurezas que el P.S. pudiera contener se procedió a purificarlo, disolviendo el polímero en benceno y precipitándolo con metanol al 1 - por 4. Se seco, posteriormente, el polímero en un horno - (Precisión Scientific) al vacío a 70 ° C a peso constante.

La caracterización del P.S. se hizo por medio de análisis térmico diferencial en un 990 Thermal Analysis System - de Dupont S.A. de C.V. y se determinó también su posible - tacticidad y la temperatura de transición vítrea (t_g). Se - determinó también su peso molecular (P.M.) por viscosimetría (Viscosímetro Ubelhode) en un baño a temperatura constante (Porta - temp). La resina poliéster se caracterizó por su tiempo de curado y los cambios de volumen con el tiempo, por medio de análisis térmico. El tiempo de curado se estimó también como el tiempo en que la resina adquirió una dureza igual a la del polímero.

La preparación de las muestras piloto se llevó a cabo - de acuerdo con los ciclos de moldeo previamente establecidos. Se observó la calidad de las muestras piloto preparadas asegurando que fueran reproducibles.

Las muestras fueron probadas en una máquina de pruebas (Baldwin Tate - Emery) y los efectos producidos - por el esfuerzo a que fueron sometidas las muestras se - observaron usando un microscopio de campo (Scanning).

3.2. - Diseño del equipo.

El modelo más adecuado para una prensa en función de las características y versatilidad que se requieren del equipo para moldeo de plásticos a altas presiones y temperaturas se muestra en la Figura 3.3. y especificaciones.

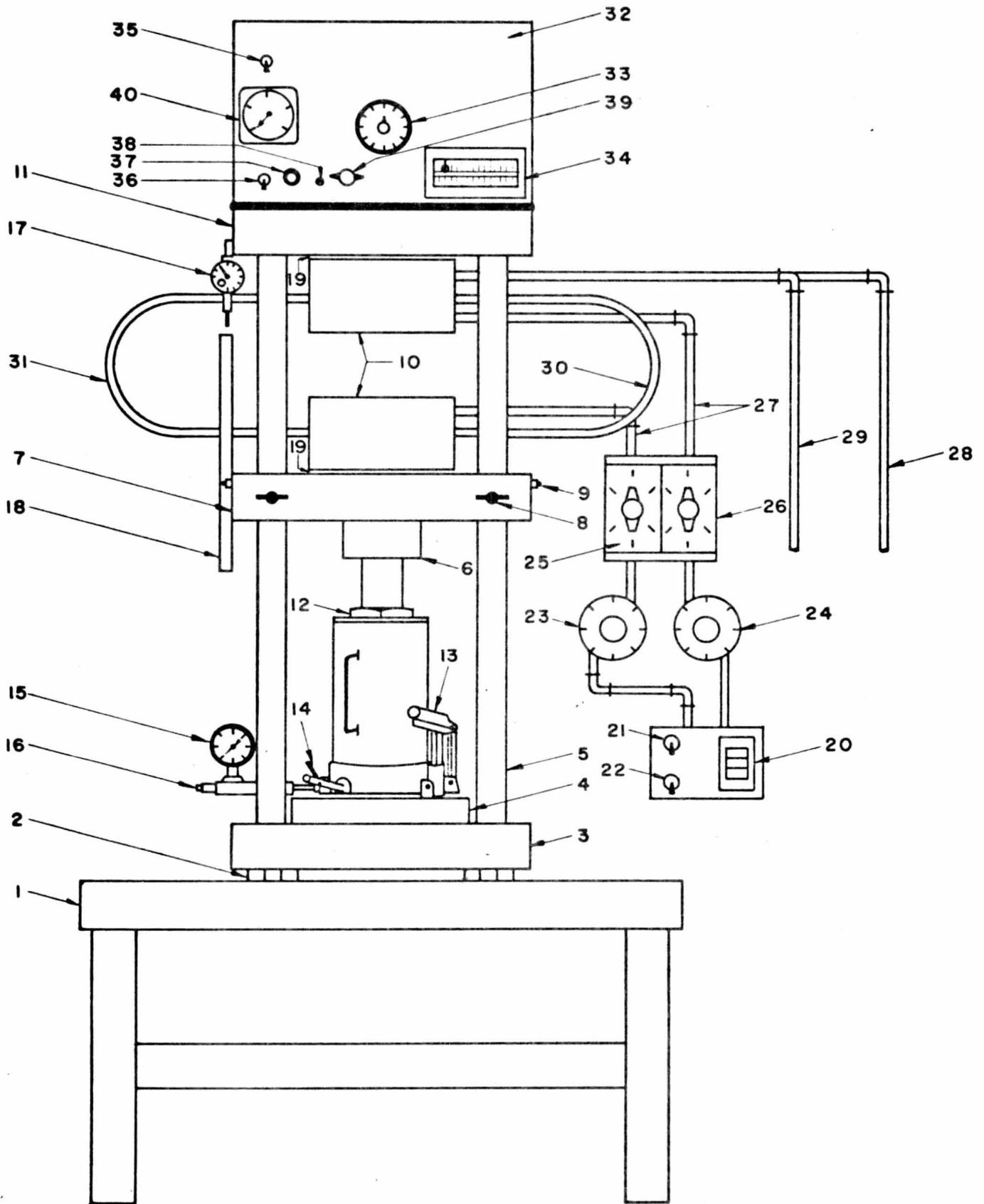


Figura 3.3. Diagrama de la Prensa Diseñada, para moldeo de plásticos a altas presiones y temperaturas.

PRENSA Y EQUIPO

ESPECIFICACION DE PARTES

P r e n s a

- 1) Mesa de la prensa.
- 2) Tornillos exagonales con fondo de gota.
- 3) Placa de sustentación inferior.
- 4) Placa de aumento.
- 5) Barras guías.
- 6) Placas para aumentar el área de contacto.
- 7) Placas de sustentación móvil.
- 8) Tornillos de mariposa para fijar la placa a las barras.
- 9) Graseras (para mantener a las chumaceras lubricadas) .
- 10) Platinas superior e inferior.
- 11) Placas de sustentación superior.
- 12) Gato hidráulico.
- 13) Palanca manual del gato hidráulico.
- 14) Manivela de la válvula de alivio del gato hidráulico.
- 15) Manómetro.
- 16) Conector para manómetro con reducción para acoplar el transductor.
- 17) Micrómetro de carátula.
- 18) Barra de extensión del micrómetro a la placa móvil.
- 19) Placa aislante (para platina y placa superior y para platina y placa móvil) .
- 20) Switch general del sistema térmico.
- 21) Switch platina inferior.
- 22) Switch platina superior.
- 23) Variac platina inferior.

- 24) Variac platina superior.
- 25) Reloj eléctrico platina inferior.
- 26) Reloj eléctrico platina superior.
- 27) Tubería conduit para cables de electricidad platina superior e inferior y tablero.
- 28) Tubería de entrada de agua o aire para enfriar.
- 29) Tubería de salida del agua.
- 30) Manguera que conecta a la tubería de la entrada de agua. Aire para enfriar a la platina inferior.
- 31) Manguera que conecta a la tubería de la salida.
- 32) Tablero de control.
- 33) Selector de canales.
- 34) Indicador de temperatura.
- 35) Switch (para la corriente del voltímetro).
- 36) Switch para amplificador.
- 37) Fusible.
- 38) Piloto.
- 39) Enchufe para transductor de presión.
- 40) Voltímetro de carátula.

El diseño de cada una de las piezas resultó de los siguientes cálculos, los cuales se dividen en : Mecánicos, Térmicos y Eléctricos.

3.2.1. - Cálculos mecánicos.

3.2.1.1. - Placas de sustentación.

Como una medida de seguridad y para aumentar la capacidad de la prensa, todos los cálculos se hicieron - tomando como base que la fuerza máxima aplicada por el gato hidráulico fuera de 50 toneladas.

El número de placas de sustentación son tres de acuerdo con el modelo (Fig. 3.3). Las dimensiones de su longitud y profundidad se escogieron con el fin de proporcionar suficiente estabilidad dimensional al equipo.

Las placas de sustentación deberán tener las siguientes medidas :

Longitud	40.00 cm
Profundidad	40.00 cm
Area	1600 cm ²

El cálculo del espesor de las placas superior e inferior se hizo respecto al comportamiento de una placa plan cuadrada - apoyada en las esquinas y con una carga de 50000 kg uniformemente repartida (17) , como se muestra en la fig. 3.4. a.

Con esta base, el área para el cálculo es de 30 x 30 cm² sobre ésta se colocó una platina cuya área es de 20 x 20 cm² en la que se encuentra distribuida uniformemente la carga de 50000 kg. fig. 3.4. b.

El momento máximo por unidad de longitud (M_u) (Kg cm cm⁻¹) para este caso está dado por :

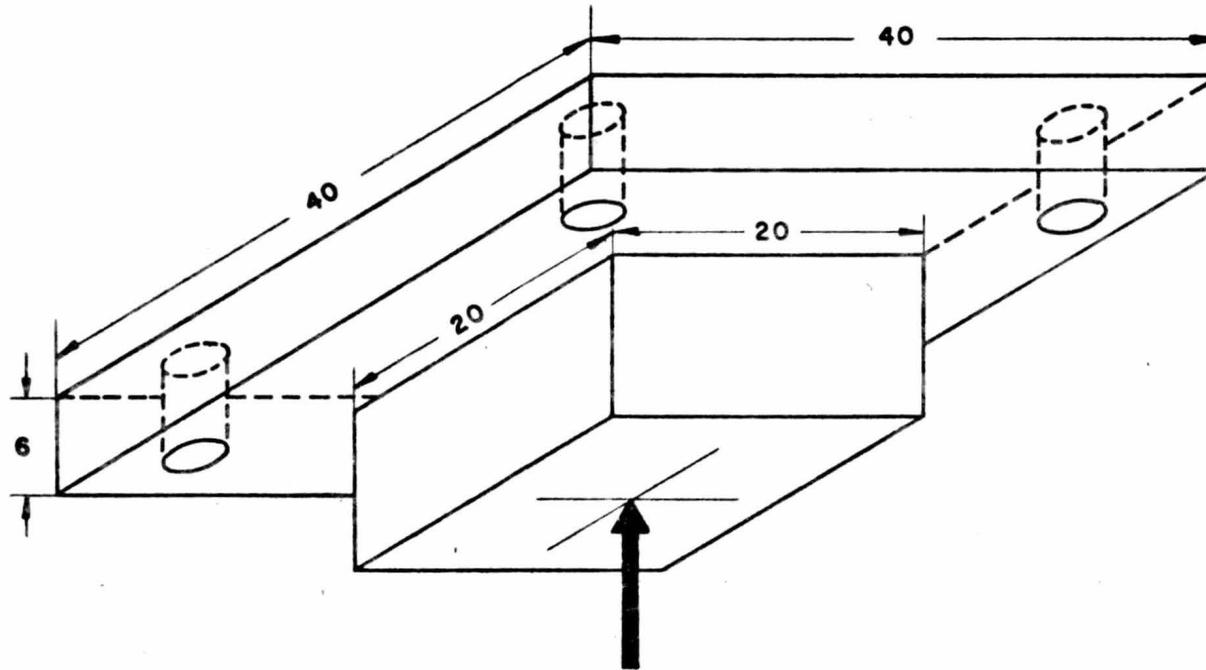


Figura 3.4.a. Modelo de una placa plana apoyada en las esquinas y con carga uniformemente repartida en un área central de $20 \times 20 \text{ cm}^2$.

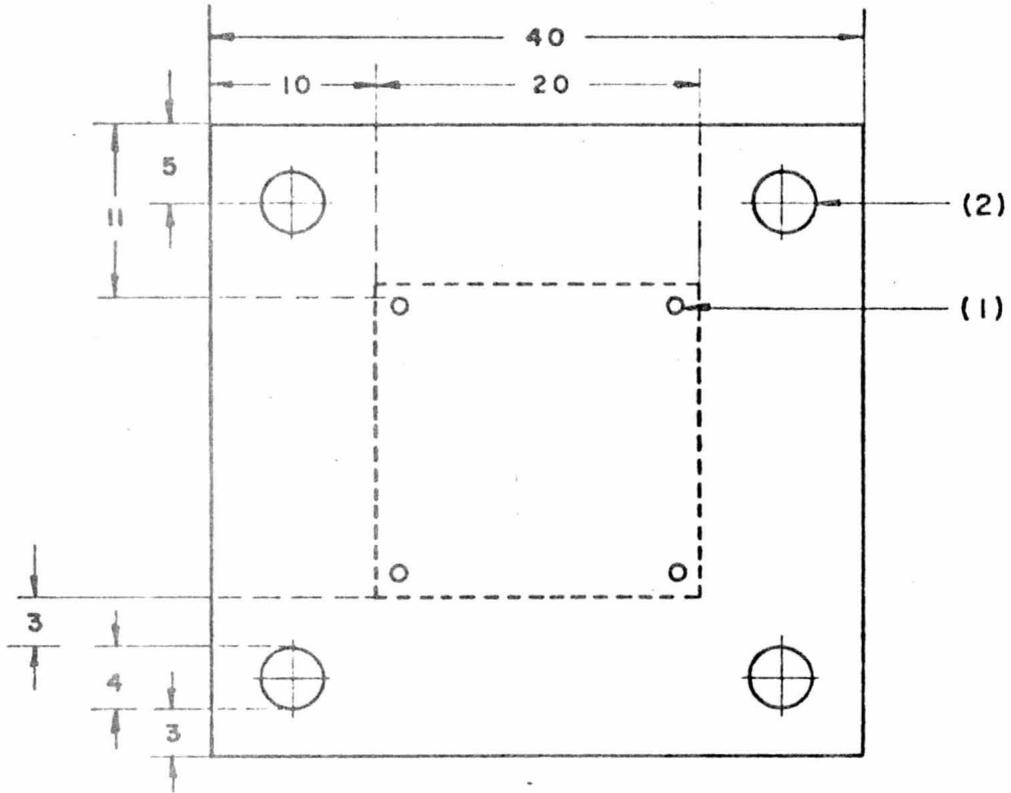


Figura 3.4.b. Diseño y Dimensiones (en cm.) de las placas de sustentación, móvil y superior con perforaciones (1) para fijar platina y (2) para las barras guía.

$$M_u = 0.111 \times P \times a^2 = 0.111 \times 125 \times (30)^2 =$$
$$= 12488 \text{ Kg cm cm}^{-1}$$

$$P = \frac{50000}{20 \times 20} = 125 \text{ Kg cm}^{-2}$$

En donde P en Kg cm^{-2} es la carga por unidad de área y "a" en cm es el ancho de la placa.

Debe aclararse que se está considerando que P está actuando en el área de $30 \times 30 \text{ cm}^2$, que es un factor de seguridad para nuestro diseño ya que en realidad el sistema es una placa con carga uniforme, distribuida parcialmente en el centro.

El Momento máximo (M_{\max}) (Kg cm) está dado por :

$$M_{\max} = M_u \times a/2 = 12488 \times 15 = 187,312 \text{ Kg cm}$$

Para determinar el espesor mínimo (h en cm) se requiere del módulo de sección (S en cm^3) para placas planas, y se obtiene a partir de la siguiente relación :

$$S = \frac{a h^2}{6}$$

La expresión para relacionar S con el esfuerzo de diseño (O_D) es :

$$O_D = \frac{M_{\max}}{S}$$

Por lo tanto

$$\sigma_D = \frac{M_{\max}}{a h^2 / 6}$$

y despejando h

$$h = \frac{6 M_{\max}}{a \sigma_D} \quad 1/2$$

Las placas de sustentación se hicieron con acero tipo - 1040 (notación AISI ó SAE) cuyas constantes elásticas son :

$$E = 2.0 \times 10^6 \text{ Kg cm}^{-2}$$

$$G = 7.6 \times 10^5 \text{ Kg cm}^{-2}$$

$$M = 0.315$$

$$\sigma_P = 4,200 \text{ Kg cm}^{-2}$$

En donde :

E Módulo elástico en tensión

G Módulo elástico en corte

M Coeficiente de Poisson

σ_P Límite elástico

Debido a que el material estará sujeto a cargas de fati -

ga se recomienda (18) que no se someta a esfuerzos mayores de 1/4 de su límite elástico.

$$O_D^* = \frac{P}{4} = \frac{4200}{4} = 1050 \text{ Kg cm}^{-2}$$

O_D^* es el esfuerzo de diseño e = O_D

Por lo que :

$$h = \frac{6 \times 187312}{30 \times 1050}^{1/2} = 5.97 \text{ cm}$$

$$h = 6 \text{ cm}$$

Se requiere también calcular la de flexión máxima (W_{\max}) que sufre la placa con objeto de determinar su estabilidad dimensional.

Las fórmulas para este caso son las siguientes : (17)

$$W_u = \frac{P a^4}{38 D}$$

$$D = \frac{E J}{1 - \nu^2}$$

$$J = \frac{1 \times h^3}{12}$$

En donde :

W_u es la deflexión unitaria en cm cm^{-1}

D es la rigidez a la flexión en Kg cm^2

J es el momento de inercia en cm^4

$$\text{Si } J = \frac{1 \times (6)^3}{12} = 18 \text{ cm}^4$$

$$D = \frac{2.0 \times 10^6 \times 18}{1 - (.315)^2} = 3.996 \times 10^7 \text{ Kg cm}^2$$

$$W_u = \frac{125 \times (30)^4}{38 \times 3.996 \times 10^7} = 6.677 \times 10^{-2} \text{ cm cm}^{-1}$$

$$\text{Si } W_{\max} = W_u \times h / w$$

$$\begin{aligned} \text{Por lo tanto } W_{\max} &= 6.677 \times 10^{-2} \times 6/2 = \\ &= 0.200 \text{ cm} \end{aligned}$$

en donde W_{\max} representa la deformación vertical que sufre la placa en el centro para una carga de 50000 Kg. uniformemente repartida.

Actualmente la prensa trabaja a una capacidad máxima de 20000 Kg por lo que $W_{\max} = .08 \text{ cm}$.

Con objeto de verificar los cálculos se utilizó el criterio de momento resistente (M_r), que se calcula a partir del par formado por las resultantes de las fuerzas internas de tracción (T) y compresión (C) que actúan sobre la sección ah Fig. 3.4.c.

De la relación :

$$C = T = \frac{OD}{C} \times \frac{1}{8} ah^2$$

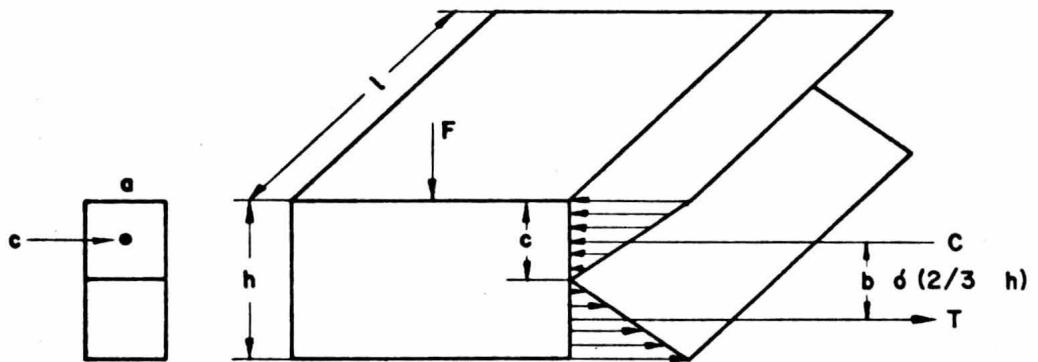


Figura 3.4. c. Diseño para calcular el momento resistente a partir del par formado por las fuerzas internas de Tracción (T) y Compresión (C). (a) ancho de la placa, (b) brazo de palanca (c) barras guía.

$$= \frac{1050}{3} \times \frac{1}{8} (30)(6)^2 = 47250 \text{ Kg}$$

Si el momento resistente (Mr) está dado por :

$$Mr = C \times b$$

En donde b es el brazo de palanca.

$$\text{De la ecuación 1) : } \frac{b}{2} = \frac{2}{3} C = \frac{2}{c} \frac{h}{2} = \frac{1}{3} h$$

En donde $\frac{2}{3} c$ es el momento del centroide del triángulo de la Fig. 3.4.c.

$$b = \frac{2}{3} h \frac{2}{3} (6) = 4$$

$$\text{Por lo tanto } Mr = 47250 \times 4 = 189000$$

El momento resistente es del mismo orden de magnitud - al calculado anteriormente.

Placa Móvil.

La placa móvil de la prensa está sometida a un esfuerzo - de compresión, de 50000 Kg sobre un área de $20 \times 20 \text{ cm}^2$, o sea 126 Kg cm^{-2} y no está sujeto al tipo de deformación de las placas superior e inferior. Sin embargo por razones de seguridad y económicas, se diseñó a un espesor de 6 cm. Fig. 3.5.a.

Para que la placa móvil pueda desplazarse suavemente sobre las barras guías y sin problema de fricción, se diseñó un sistema de lubricación por medio de chumaceras de bronce, figura 3.5.b. Estas mantienen constantemente lubricada toda la

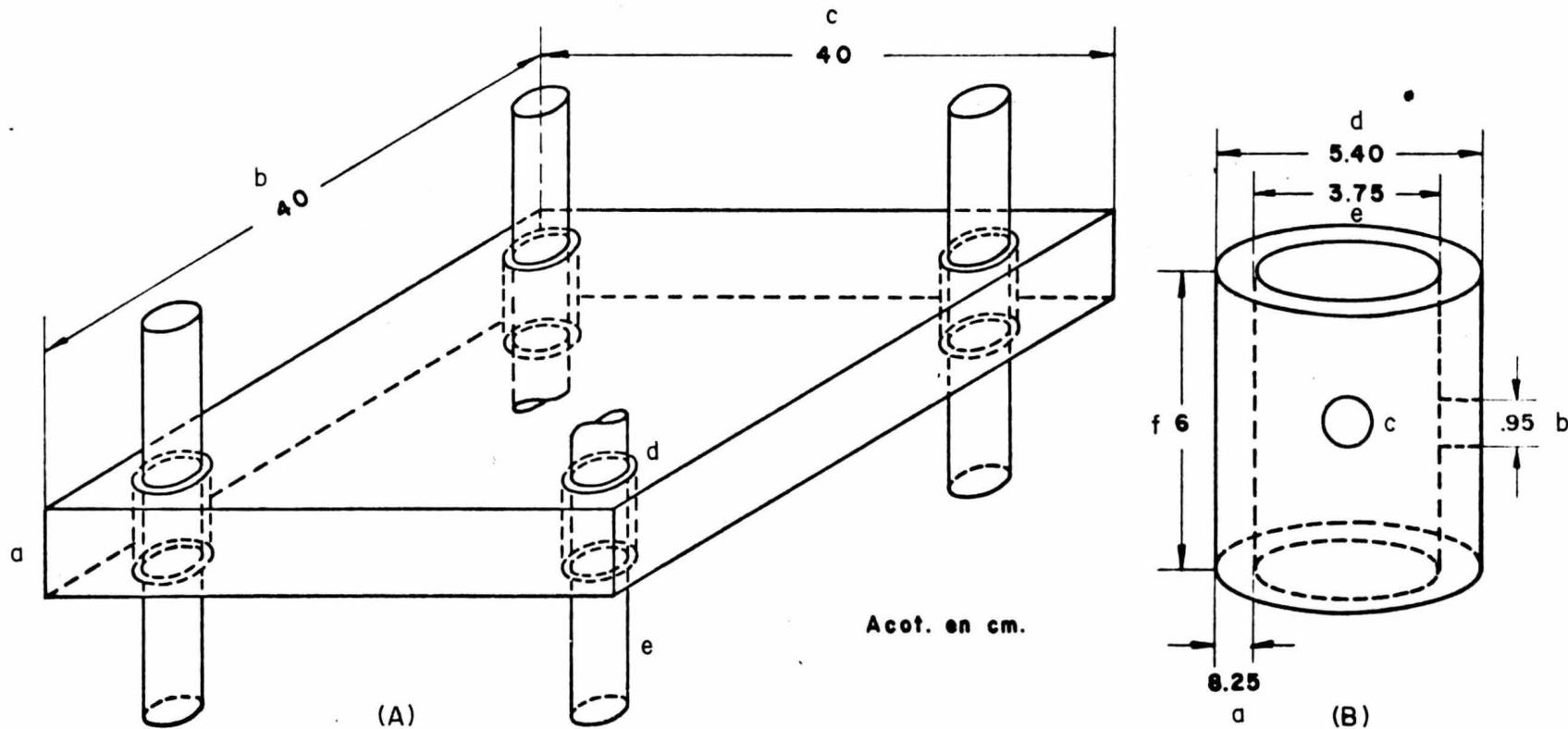


Figura 3.5. A Diseño y Dimensiones (en cm.) de la placa móvil, (a) espesor, (b y c) largo y ancho, (d) chumaceras, (e) barras guía.

Figura 3.5. B Diseño y Dimensiones (en cm.) de la chumaceras de bronce para mantener lubricada la superficie de las barras guía.

(a) pared, (b) perforaciones para tornillos de presión, (c) perforaciones para graseras, (d) diámetro externo, (e) diámetro interno, (f) altura.

superficie de desplazamiento.

Para fijar la placa móvil a cualquier altura y presión se le colocaron unas mariposas (tornillos a presión) de acero, las cuales fijan la placa a las barras guía.

De esta manera se podrá bajar el gato hasta una presión de cero y sin perder la presión aplicada en el molde.

3.2.1.2. - Barras guía.

De acuerdo con el modelo seleccionado se requiere calcular las dimensiones de cuatro barras guía. La longitud (l) de éstas es de 94 cm y se encuentran atornilladas a la placa de sustentación superior, y fijadas a la placa de sustentación inferior por medio de cuatro tuercas hexagonales con fondo de gota.

Las barras guía están sometidas a dos tipos de esfuerzo: uno de tensión que actúa a lo largo de las barras y un esfuerzo cortante que actúa en los hilos de las cuerdas de cada barra.

Se requiere primero calcular el diámetro de las barras para un esfuerzo máximo de 50 000 Kg, de acuerdo con la siguiente relación (19) :

$$A_t = \pi r^2 = \frac{P}{N \cdot t} = \frac{50000}{4 \times 1100}$$
$$A_t = 11.36 \text{ cm}^2$$

En donde :

A_t es el área transversal de las barras

r es el radio de las barras

N es el número de barras

σ_t es el coeficiente de trabajo (igual a 1100 Kg cm^{-2}) para el acero 1018 notación AISI, que fue el material seleccionado de acuerdo a sus propiedades y acabado (20)

$$r = \left(\frac{A_t}{\pi} \right)^{1/2} = \left(\frac{11.36}{\pi} \right)^{1/2} = 1.90 \text{ cm}$$

Por lo tanto el diámetro (D) para cada una de las barras es de 3.80 cm.

El diámetro más aproximado de barras en el mercado es de 1.5 pulgadas o sea 3.81 cm. Con el diámetro de las barras se calcula el área sometida al esfuerzo cortante (A_s) en los hilos de las roscas (21)

$$A_s = G_H \times \pi D_i \times n_f = 0.445 \times \pi \times 3.35 \times 7.82$$

$$A_s = 36.62 \text{ cm}^2$$

$$n_f = \frac{3.48}{.445} = 7.82$$

En donde :

G_H es el grueso del hilo de la rosca

D_i es el diámetro interno de la barra

πD_i es la circunferencia de la rosca

n_f es el número de filetes =

$$\frac{\text{Longitud de la rosca (L)}}{\text{grueso del filete (f)}}$$

como se indica en la figura 3.6.

El coeficiente de trabajo real (o fatiga de trabajo) (σ_t) se calcula para asegurar que la estructura esté siempre en condiciones elásticas mínimas y no exista la posibilidad de deformaciones permanentes. Este coeficiente debe ser menor que el límite de elasticidad del material. Si la carga máxima es de 50000 Kg, ésta se reparte entre cada una de las barras por partes iguales. Por lo tanto, cada una de las cuatro barras estará sometida a una carga de 12500 Kg. La fatiga máxima de trabajo ($\sigma_t \text{ max}$) a la que estarán sometidas las barras se calcula a partir de:

$$\sigma_t (\text{max}) = \frac{F}{A_s} = \frac{12500}{36.51} = 342.37 \text{ Kg cm}^{-2}$$

Por lo tanto la fatiga máxima de trabajo para cada una de las barras es de $342.37 \text{ Kg cm}^{-2}$, la cual es mucho menor que la fatiga de trabajo del material.

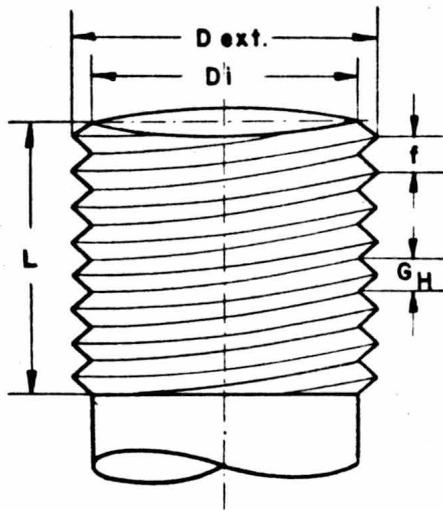
La elongación máxima ΔL de las barras está dada por $\epsilon = \frac{\sigma_t}{E}$ en donde ϵ es la deformación en cm cm^{-1}

$$\epsilon = \frac{1100}{2.1 \times 10^6} = 5.23 \times 10^{-4}$$

$$\Delta L = \epsilon \times L = 5.23 \times 10^{-4} \times 94 = 0.049 \text{ cm}$$

3.2.1.3. - Platinas.

El cálculo del espesor de las platinas, se hizo -



D ext. = 3.81
Di = 3.35
L = 3.48
G_H = .445
f = .445
nf = 7.82

Acot en cm.

Figura 3.6. Diseño y Dimensiones (en cm.) del área sometida a esfuerzo cortante en las barras guía, (D ext.) Diámetro exterior, (L) Longitud de la rosca, (f) filete, (nf) número de filetes (GH) Grueso del hilo de la rosca.

en base a que éstas están sometidas a un esfuerzo de compresión, sin embargo, debido a las perforaciones hechas para las resistencias eléctricas (ver cálculos térmicos 3.2.2) y para el sistema de enfriamiento, se requiere calcular el espesor (b) de éstas para soportar la carga máxima de 50000 Kg sin que exista la posibilidad de deformaciones.

El material seleccionado para su construcción es acero inoxidable Tipo HT, y sus propiedades físicas son : resistencia a la tensión 4900 Kg cm^{-2} , límite elástico 2800 Kg cm^{-2} .

Para los cálculos se consideró que cada perforación en la placa actúa como un cilindro de pared gruesa sometido en su exterior a una presión hidrostática (P_o) y sin presión en su interior. Por lo tanto es suficiente considerar una sola perforación para determinar el espesor de la platina y el espaciamiento entre cada una de las perforaciones. En las figs. 3.7. a y 3.7. b se muestra el diseño de las perforaciones para las resistencias eléctricas y para el sistema de enfriamiento.

Las dimensiones laterales de las platinas se escogieron para proporcionar estabilidad térmica y para tener una área de trabajo máxima :

Longitud	=	20 cm
Profundidad	=	20 cm
Superficie de trabajo	=	400 cm^2
Presión en la superficie (P_o)	=	125 Kg cm^{-2}

Por lo tanto, la presión (P_o) en la pared exterior del cilindro es de 125 Kg cm^{-2} y el radio interior (a) es de 0.635 cm. (ver fig. 3.7. c).

Como el esfuerzo máximo a compresión ($\sigma_f \text{ max}$) acon

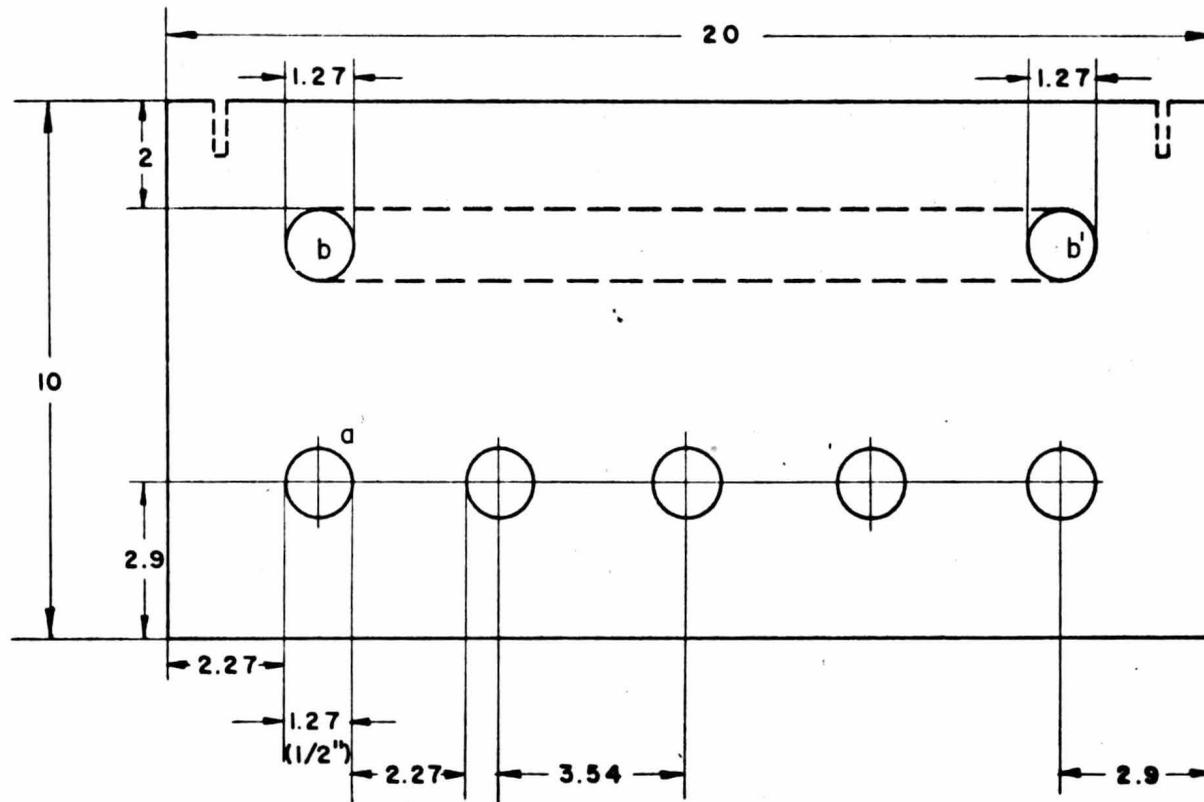


Figura 3.7. a. Diseño y Dimensiones (en cm.) de una platina, vista frontal, con su sistema de calentamiento y enfriamiento, (a) perforaciones para las resistencias eléctricas, (b y b') perforaciones para la entrada o salida del agua o aire, (c) perforaciones con cuerda para fijarla a la palanca de sustentación.

tece en la superficie interior del cilindro. Se tiene que las ecuaciones para este caso particular son (22) :

$$(\sigma_t)_{r=a} = - \frac{2 P_o b^2}{b^2 - a^2}$$

En donde : el signo menos indica que la carga actúa en compresión :

$$\begin{aligned} a &= 0.635 \text{ cm} \\ P_o &= 275 \text{ Kg cm}^{-2} \\ \sigma_t^* &= 700 \text{ Kg cm}^{-2} \end{aligned} \quad \left(\text{Considerándolo como el esfuerzo de diseño despejando } b \text{ de la ecuación.} \right)$$

$$b = \left(\frac{\sigma_t a^2}{\sigma_t - 2P_o} \right)^{1/2} = \left(\frac{700 \times (.635)^2}{700 - 2(275)} \right)^{1/2} = \left(\frac{282.1}{450} \right)^{1/2}$$

$$b = 0.627 \text{ cm}$$

$$b_{\min} = b \times n$$

en donde $n =$ factor de seguridad $= 2$

$$\therefore b_{\min} = .627 \times 2 = 1.254 \text{ cm}$$

El sistema se verificó determinando el área real que soporta el esfuerzo como un sistema de columnas, se deduce que el área real es de 165 cm^2 , o sea, que el esfuerzo máximo (σ_{\max}) es :

$$\sigma_{\max} = \frac{50000}{165} = 303 \text{ kg cm}^{-2}$$

También el factor de concentración de esfuerzos k se calculó de la siguiente manera (17).

$$k = 3 (1 + 1.7 \lambda^2)$$

$\lambda = a / c$; en donde λ es una relación de radios

$$k = 3.65$$

$$\sigma_{\max} = P_0 k = 125 \times 3.65 = 465 \text{ kg cm}^{-2}$$

Es decir el esfuerzo máximo debido a la perforación es inferior al esfuerzo de diseño del material (700 kg cm^{-2}). De acuerdo a los cálculos anteriores, resulta que el diámetro mínimo del cilindro (fig. 3.8 A y A'), es 2.5 cm. Por lo tanto, conforme al diseño de las perforaciones en la placa (fig. 3.8. B) se deduce que su espesor mínimo debe ser de 5.00 cm. Como una medida de seguridad y para minimizar esfuerzos térmicos y pérdidas de temperatura se escogió un espesor de 10 cm.

La geometría del sistema de enfriamiento se diseñó en forma de emparrillado, fig. 3.9, por medio de perforaciones de

Diámetro interno (D_i)	1.26 cm
Profundidad para la entrada y salida	18.00 cm
Longitud de las perforaciones (de paso)	15.00 cm
Espacio entre cada perforación	2.00 cm
Número de perforaciones para cada platina	6.00 cm

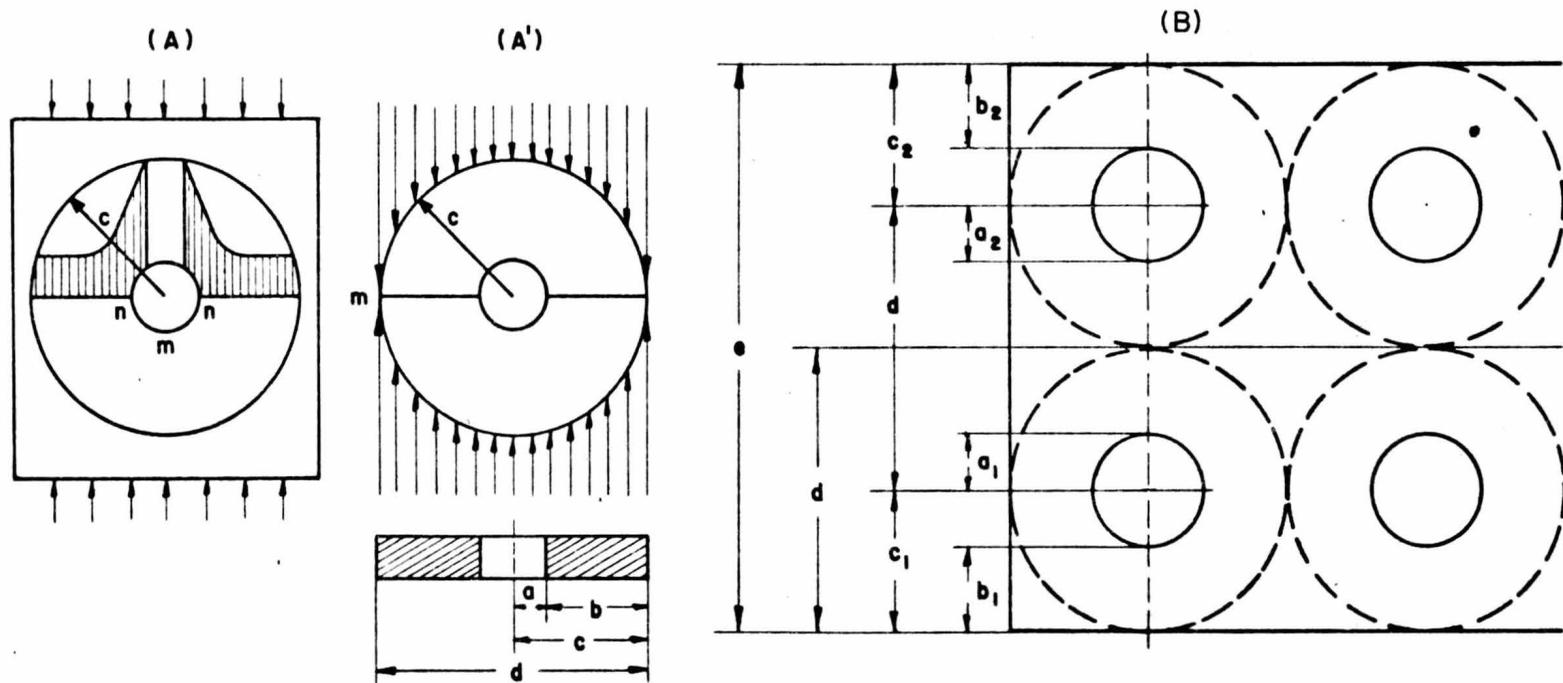


Figura 3.8. A. Diseño de una barra con una perforación central sometida a compresión. y su diagrama de momentos.

A'. Cilindro de pared gruesa sometido a compresión.

B. Diseño y Dimensiones (en cm.) de las perforaciones en las platinas para determinar el espesor mínimo. (a) radio mínimo 1.27, (b) espesor o pared 1.13, (c) radio mínimo del cilindro 2.27, (d) diámetro mínimo o distancia entre cada perforación, (e) espesor mínimo de la platina.

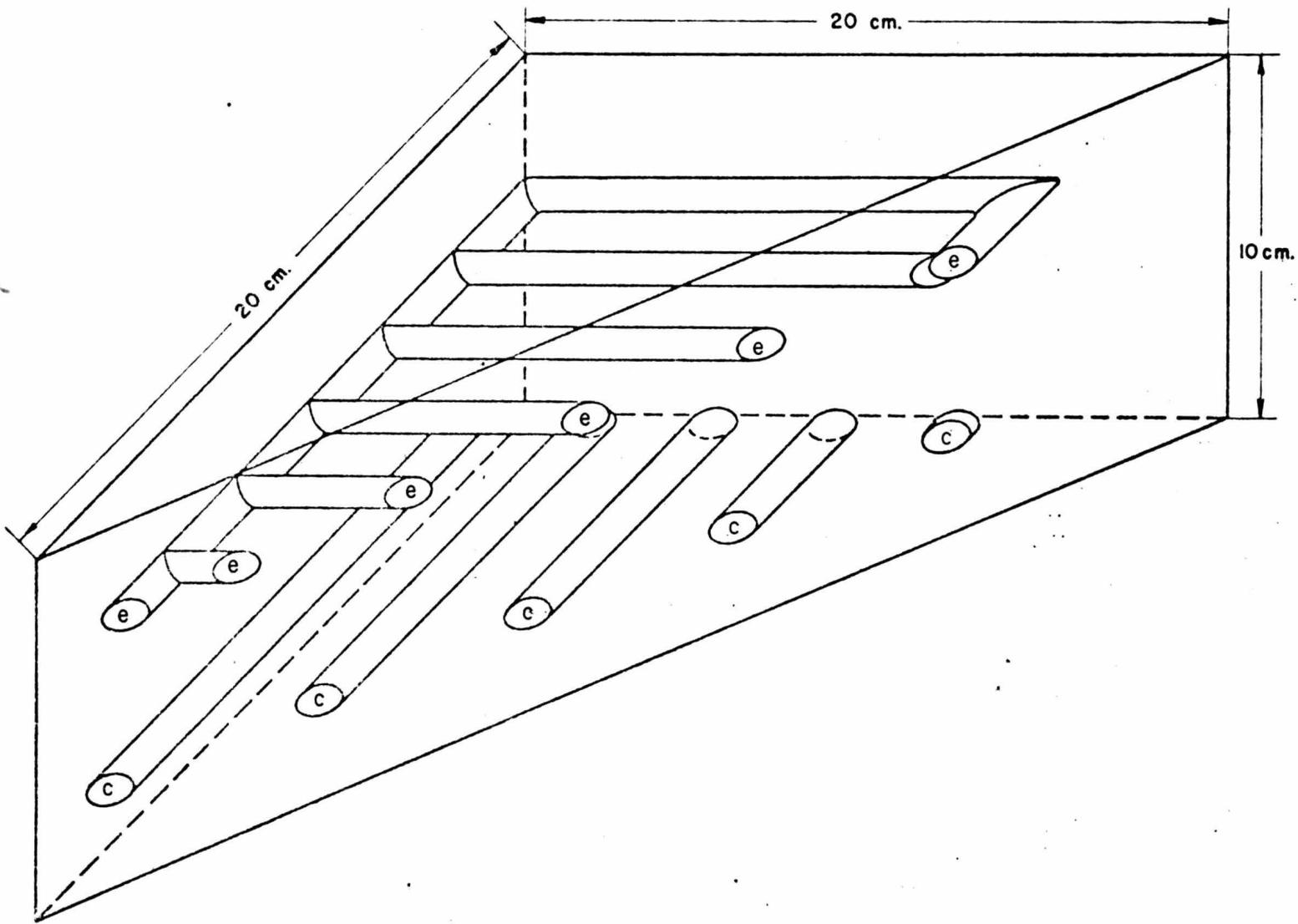


Figura 3.9. Proyección Dimensional de una platina mostrando el arreglo de las perforaciones del sistema de enfriamiento y del de calentamiento.

3.2.2. - Cálculos térmicos.

3.2.2.1. - Sistema de calentamiento.

Los cálculos térmicos se hicieron con el fin de obtener un calentamiento uniforme en las platinas.

Para esto se requiere calcular la cantidad en k watts hr (Q) que se necesitan para alcanzar una temperatura máxima (ΔT_{max}) de 300 °C en cada una de las platinas. Esto se obtiene a partir de la siguiente ecuación (23) :

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \times 1.16 \times 10^{-6}$$
$$Q = 3.5 \times 10^4 \times .12 \times 3 \times 10^2 \times 1.16 \times 10^{-6}$$
$$Q = 1.46 \text{ k watts hr } \text{ ó } 1460 \text{ watts hr.}$$

De donde :

m es la masa en gramos de la platina

Cp es la capacidad calorífica en cal/gr °C del acero (HT)

ΔT son los rangos de temperatura en °C

y 1.16×10^{-6} factor de conversión de cal a kw - hr.

En base a lo anterior, se hizo una investigación de diferentes sistemas de calentamiento, seleccionándose el de mayor eficiencia. Este consiste, en unos elementos de calentamientos con las siguientes características:

Resistencias tipo cartucho con forro de acero y con terminales de cable flexible . Las dimensiones de éstos son :

Longitud	15.2 cm
Diámetro	1.26 cm

y su capacidad es :

y el valor real tomando en cuenta el voltaje de 220 volts es :

Para cada cartucho :

$$W_R = 365.2 \text{ watts} - \text{hr}$$

$$V_R = 220 \text{ volts.}$$

$$I_R = 1.66 \text{ Amp.}$$

$$R = 132.5 \text{ Ohms}$$

Y para los cinco cartuchos :

$$W = 1826 \text{ watts} = 1.8 \text{ K watts-hr.}$$

$$V = 220 \text{ volts.}$$

$$I = 8.3 \text{ Amp.}$$

$$R = 26.5 \text{ Ohms}$$

De donde se deduce que la potencia real (1826 watts-hr) es superior a la requerida (1460 watts - hr).

3.3. - Equipo de medición y control.

3.3.1. - Sistema de presión.

El sistema de presión consiste de un gato hidráulico manual, modelo Blackhawk E.A. 11. con las siguientes características :

Capacidad	20 toneladas
Carrera del émbolo	18 cm.
Altura máxima	44.5 cm.
Altura mínima	28 cm.
Tamaño de la base	15.78 cm
Area efectiva interna	24.6 cm ²

La presión aplicada por el gato se mide en un manómetro de carátula (modelo Enerpa G.F. 813 - 5).

La presión aplicada a la muestra se controla de dos maneras: una es por medio del manómetro acoplado al gato hidráulico que indica la fuerza aplicada, y por el área del molde se obtiene la presión de trabajo. La presión real de moldeo se mide en la muestra por medio de un transductor de presión colocándolo en el molde de manera tal que esté en contacto directo con el polímero.

Las características de este sistema son las siguientes:

Transductor (marca SENSOTEC , modelo TAH - 6S (T) . En la fig. 3.10 se muestra esta unidad y se dan sus especificaciones). Contiene un diafragma elástico, el cual, al deformarse por la presión aplicada, cambia proporcionalmente la resistencia de un circuito eléctrico similar a un puente de Whetstone (fig. 3.12. b). Para su funcionamiento el transductor requiere de : un voltaje de excitación (de 5 volts de C.C.) , un sistema de amplificación y medición de la señal. En la fig. 3.11 se muestra el diagrama eléctrico del sistema.

El voltaje de excitación se obtiene transformando la corriente alterna (C.A.) a directa (C.D.) , la cual, pasa por un controlador de voltaje para después ser enviada al transductor y al amplificador.

Amplificador . -

Para amplificar la señal enviada (por el transductor fig. 3.11. b) se utilizó un amplificador (fig. 3.11. c) - - (marca A.S.) con reducción de voltaje por retro - alimentación y polarización de 12 volts C.D. (23). El voltaje de polarización se obtiene por medio de dos transformadores (de C.A. a C.D.) y controladores de voltaje compensados. Fi -

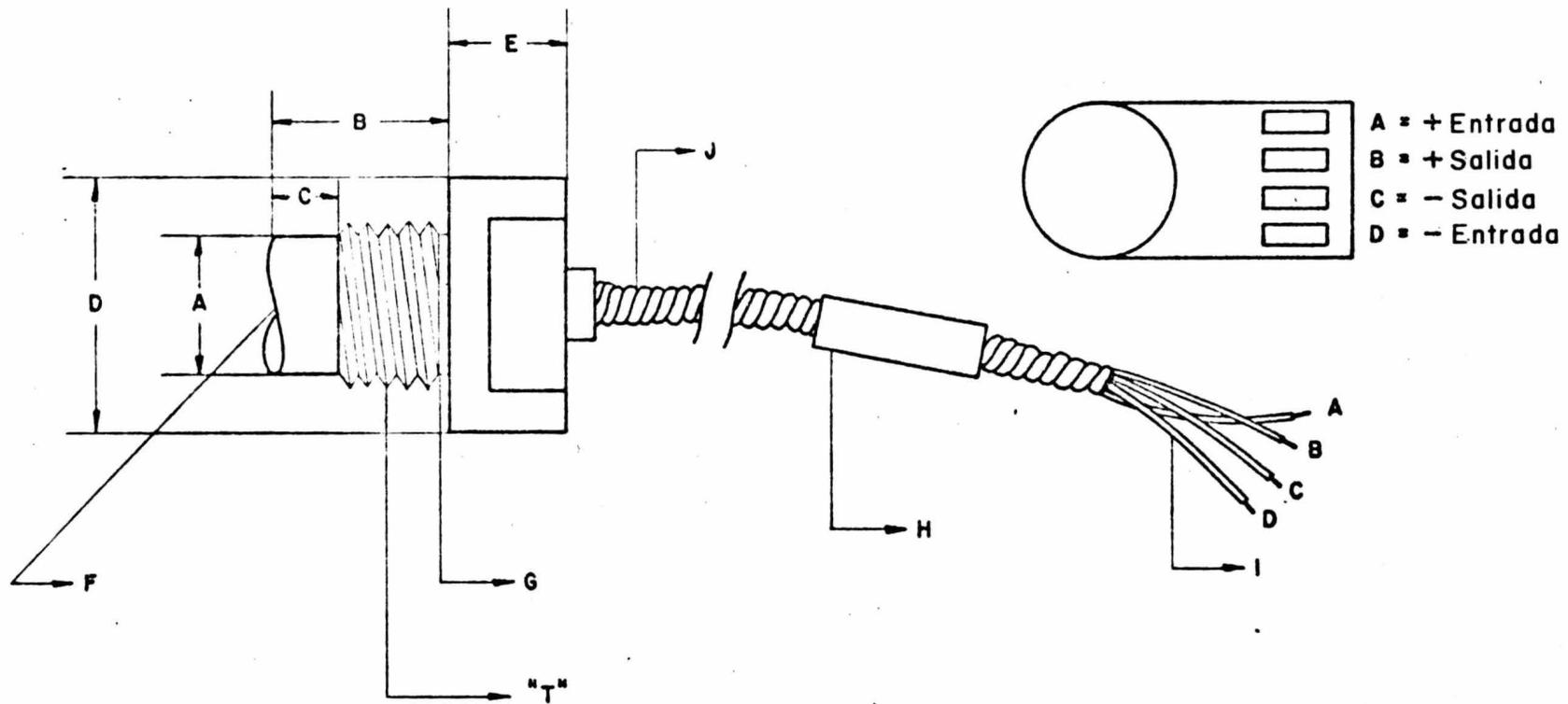


Figura 3.10. Diseño y Dimensiones (en cm.) del transductor, de presión, (A) Diámetro .370, (B) Longitud .41, (C) .15, (D) .562, (E) .25, (F) Difragma, (G) Superficie de sello, (H) Compensador, (I) Cuatro transductores de mando, (J) Conductores de mando y un termopar, (T) Grueso del hilo de la rosca 7/16 - 20 UNF. (K) Conector.

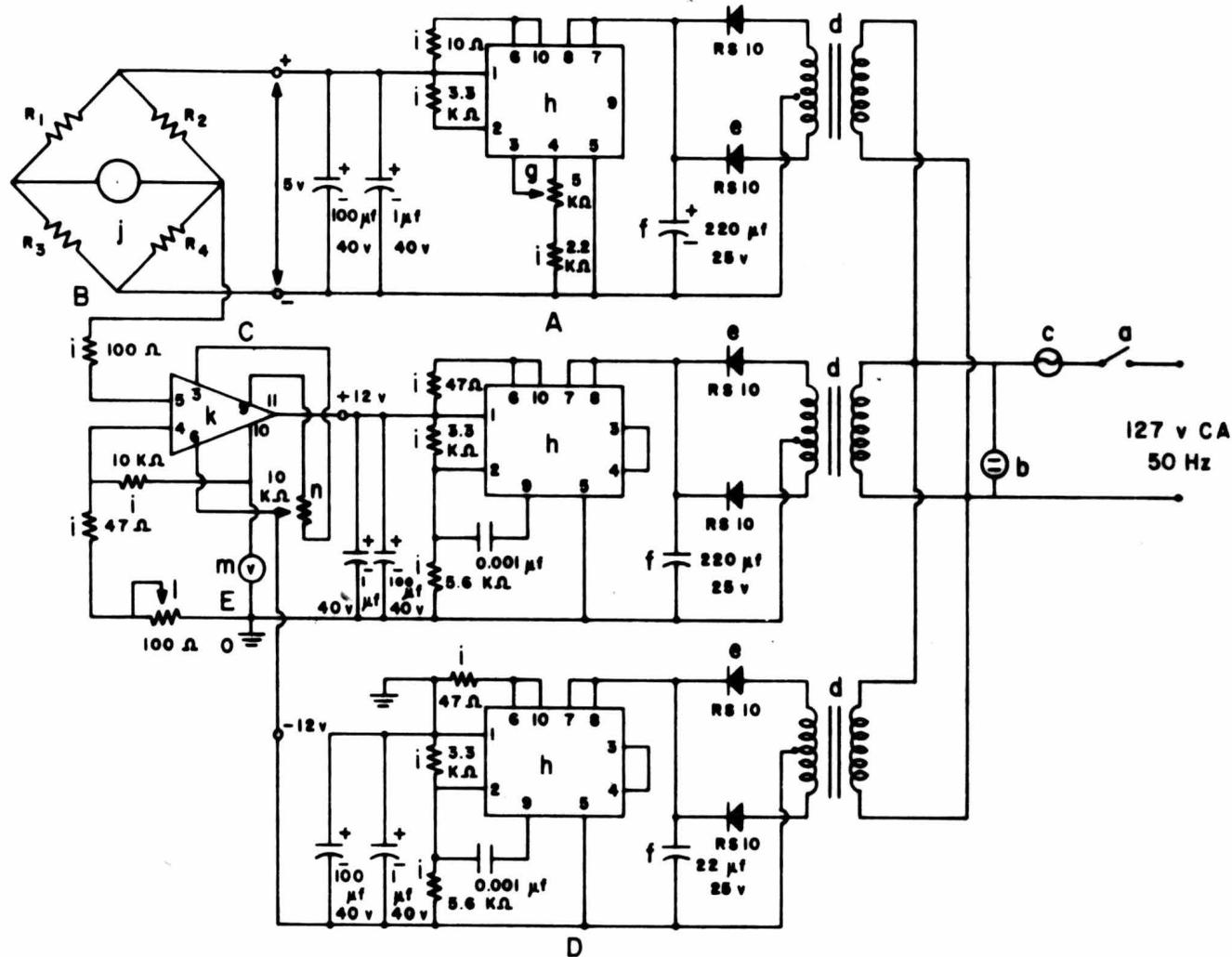


Figura 3.II. DIAGRAMA DEL SISTEMA ELECTRICO.- (A) De una fuente (5 volts CD) de alimentación para el transductor. (B) Del transductor que opera como un puente de Wheatstone. (C) Amplificador con reducción de voltaje por retro alimentación y polarización. (D) De una fuente de 12 volts CD de alimentación para el amplificador. (E) Del indicador de voltaje (0.2 volts).

(a) Interruptor, (b) Foco piloto, (c) Fusible, (d) Transformador, (e) Diodo o rectificador, (f) Filtros, (g) Resistencias variables (balance a 5 volts CC), (h) Controladores de voltaje, (i) Resistencias, (j) Transductor, (k) Amplificador, (l) Ganancia, (m) Voltmetro, (n) Ajuste a cero, (o) Conexiones a tierra.

nalmente, la señal amplificada se envía a un medidor de voltaje (fig. 3.11. e) (marca IUSA - YEW 2V VLO 42101023).

3.3.2. - Sistema térmico.

Calentamiento :

En la fig. 3.12 se muestra el diagrama eléctrico - del sistema de calentamiento, en donde la línea de alimentación (de 220 volts de C.A. monofásica) pasa por un interruptor general, de dos salidas en paralelo, cada una de las cuales está - conectada a un interruptor y a un autotransformador variable - ó controlador de voltaje (marca CONTROVAC mod. B - 12.5) y a un interruptor automático (taimer mecánico) y finalmente - a los elementos de calentamiento que están conectados en para - lelo.

3.3.3. - Medición de temperatura. -

En la fig. 3.13 se muestra el diagrama del sistema - de medición de temperatura, este consiste en 4 termopares de - fierro - constantan con envoltura de acero de 1/8 " de diámetro y 10 cm de longitud conectados a un selector de canales (marca WEST - INSTRUMENT) y éste está conectado a un indicador de - temperatura (marca WEST INSTRUMENT modelo DGE - 5826) - (Rangos de temperatura. 0 - 300 °C, 36 - 570 °F).

3.4. - Moldes. -

Los moldes empleados en la fabricación de plásticos - reforzados con fibra de vidrio, fueron diseñados para obtener - muestras representativas y tomando en cuenta que :

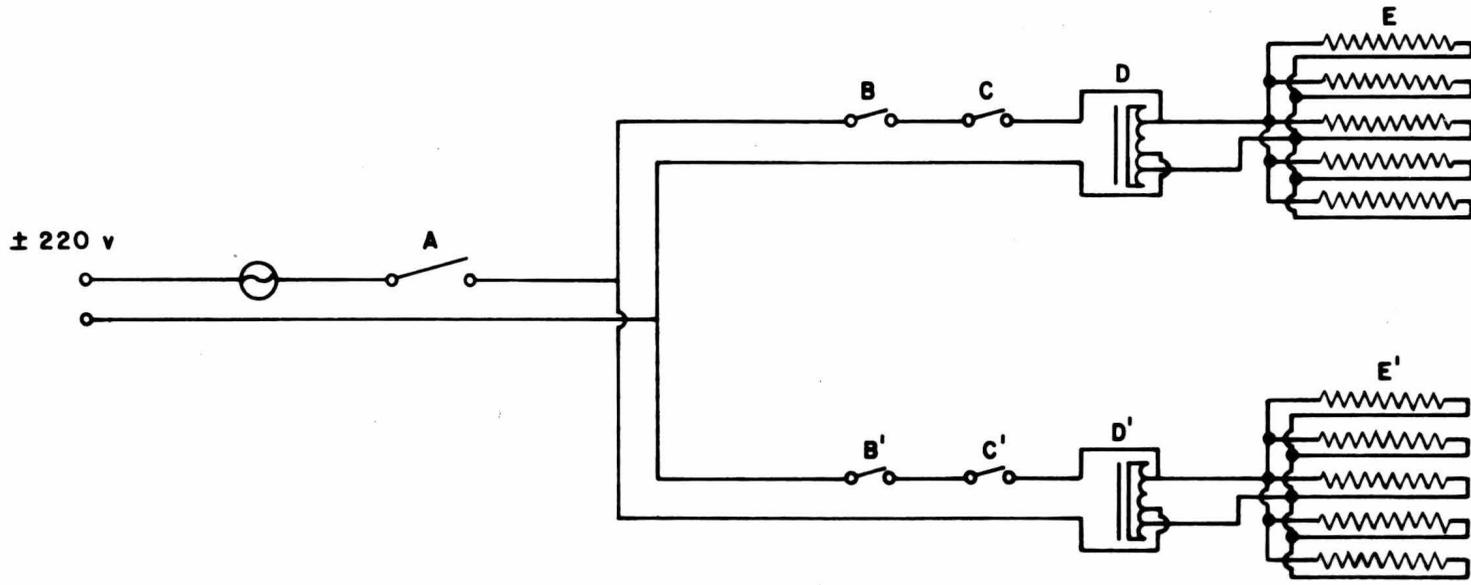


Figura 3.12. Diagrama eléctrico del sistema de calentamiento, (A) Interruptor general, (B y B') Interruptores platina superior e inferior, (C y C') Interruptores mecánicos de las platinas, (E y E') Resistencias eléctricas platinas superior e inferior.

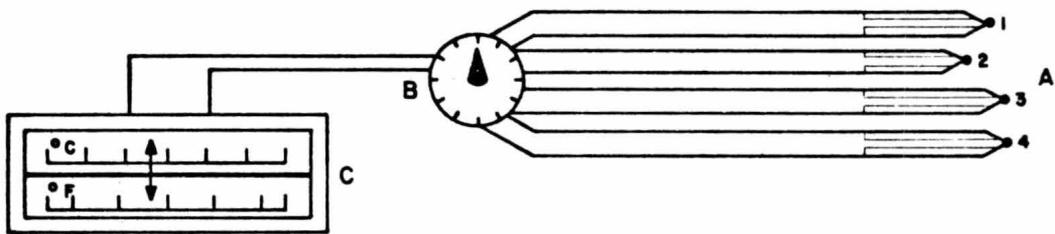


Figura 3.13. Diagrama del sistema de medición térmica, (A) Cuatro termopares, (B) Selector de canales, (C) Indicador de temperatura (0-300 °C y 36-570 °F).

- a) El material debe resistir, con un mínimo de deformación elástica, presiones hasta de 500 kg cm^{-2} y temperaturas hasta de $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) La muestra debe tener un espesor mínimo de 1 mm.
- c) El molde debe estar diseñado para permitir el acoplamiento del transductor de presión.
- d) Ser de fácil manejo.

De acuerdo con las especificaciones, se escogió placa de acero rolada de 2.0 cm de espesor para hacer los moldes macho - hembra. Para obtener presiones de molde de 500 kg cm^{-2} se requiere que la cavidad del molde hembra sea de un área de 40 cm^2 , la cual se obtiene con 4 cm de ancho por 10 cm de longitud. Este diseño permite obtener muestras de buen tamaño para la realización de pruebas mecánicas. En la fig. 3.14 se muestran la geometría y dimensiones del molde. El pistón del molde macho deja un claro de 1 mm de altura en la cavidad del molde hembra para dar a la muestra el espesor requerido. La separación de los moldes se logra por medio de dos tornillos que pasan a través del molde macho, tiene una perforación con cuerda en donde se inserta el transductor de presión, que estará en contacto con la muestra. Finalmente la extracción de la pieza moldeada depende, básicamente, del agente desmoldante que se aplique.

3.5. - Instalación del equipo. -

El equipo se instaló procurando que cada una de sus partes estuviera en las mejores condiciones de trabajo y seguridad.

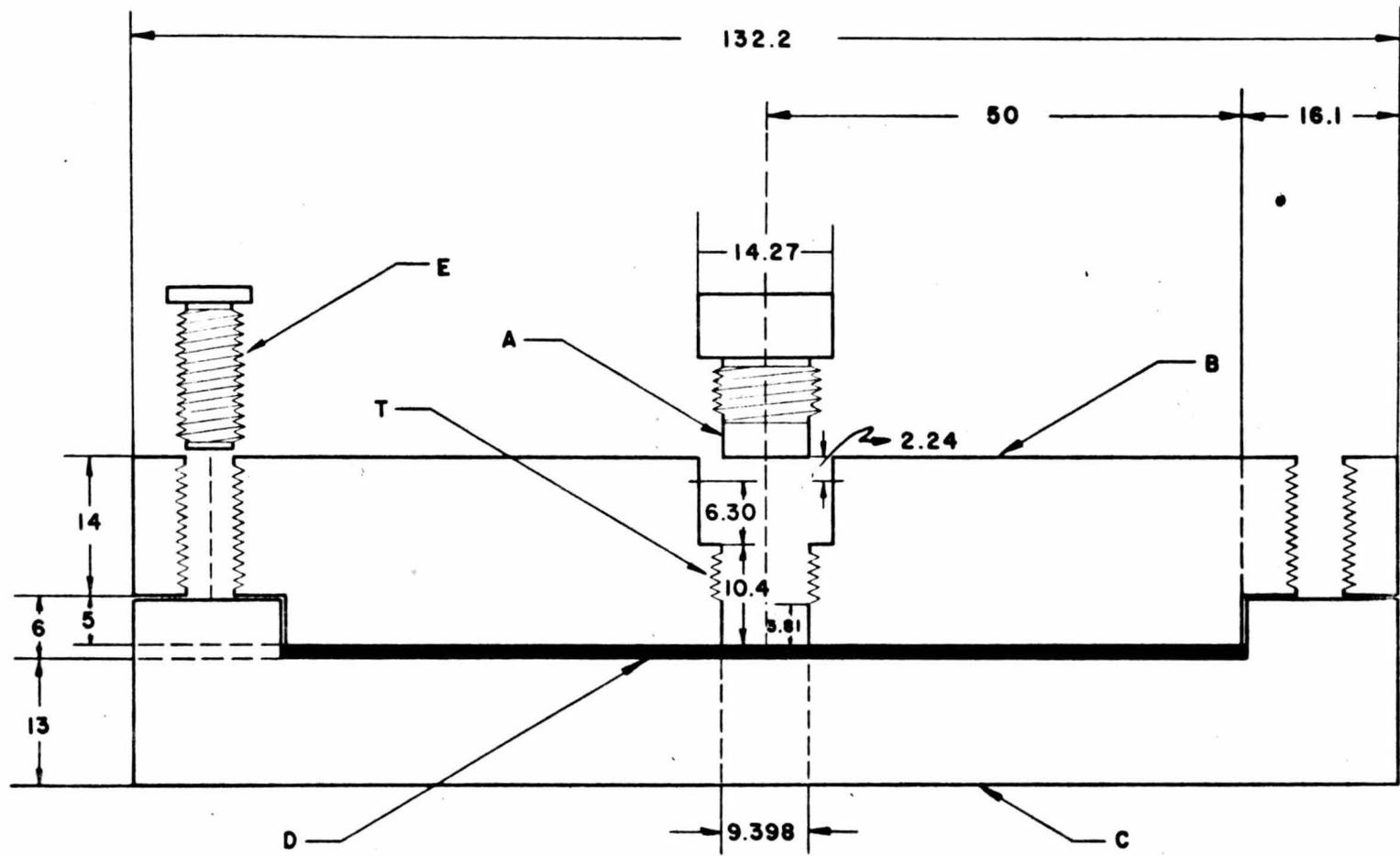


Figura 3.14. Diseño y Dimensiones (en mm.) del Molde. (A) Transductor de Presión, (B) Molde Macho, (C) Molde Hembra, (D) Cavidad para muestra, (E) Tornillos Allen, (T) Cuerda para fijar Transductor.

Sistema Eléctrico :

Las conexiones eléctricas se hicieron procurando obtener un 100 % de seguridad, los cables de los elementos de calentamiento se aislaron con anillos de porcelana y las terminales se recubrieron con cinta de teflón y de asbesto, por ser además resistentes al calor. Los cables de alimentación se protegieron con tubería Conduit flexible de PVC. Las precauciones se extremaron debido a que el voltaje es de 220 volts, la intensidad de la corriente es de 20 ampers y el equipo es de un metal conductor.

Los circuitos eléctricos de control se instalaron protegiéndose del polvo, por medio de una cubierta de lámina acrílica.

Sistema Térmico :

Para evitar la transmisión de calor (por radiación) de las platinas a las placas de sustentación, se colocó entre éstas una placa de asbesto rígido de un espesor de 6.35 mm. La tubería de alimentación del sistema de enfriamiento es de cobre (de 1/2 " in de diámetro) , con conexiones soldadas en plata por ser resistente a altas temperaturas.

Con el fin de obtener un perfecto desplazamiento sin problema de fricción de la placa móvil, se engrasaron las cuatro barras guía y las chumaceras se engrasaron perfectamente. Para evitar el desplazamiento lateral del gato hidráulico se fijó a la placa de sustentación inferior por medio de tornillos de acero (Allen). Debido a que las placas de sustentación no son de acero inoxidable, se protegieron con una pintura horneada de silicones resistente al calor (Poluform 541) y para dar estabilidad a la prensa se construyó una mesa diseñada con este objeto.

CAPITULO IV

4. - RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a los objetivos planteados de este trabajo, los resultados obtenidos se presentan a continuación en dos secciones :

Calibración y operación del equipo y preparación de muestras moldeadas.

4.1. - Calibración del equipo. -

La calidad y reproducibilidad de las piezas preparadas en la prensa dependen de su funcionamiento, con este objeto se hicieron las siguientes determinaciones de calibración :

4.1.1. - Alineación. -

El paralelismo entre las platinas es un aspecto muy importante para transmitir una presión uniforme en las muestras para moldear. Esto se logró nivelando las platinas y las barras guía por medio de las tuercas de gota.

4.1.2. - Sistema de presión. -

El sistema de presión se calibró de la siguiente manera : la fuente de alimentación del transductor se ajustó a 5 volts de C.C. moviendo el brazo de la resistencia variable (Parte g. de la Figura 3.11. A) y checando a las salidas el voltaje con un voltímetro calibrado, el amplificador se ajustó a cero volts de manera semejante a la anterior, ajustando el balance de voltaje (Parte O de la Figura 3.11. C) cuando el transductor se encuentra libre de carga.

Una vez calibrado el circuito electrónico, se checó la calibración del manómetro del gato hidráulico, acoplando el transductor (calibrado de fábrica) al conector del manómetro y aplicando presión. La información obtenida se muestra en la tabla 4.1. De acuerdo con los datos de calibración del transductor se observó que el manómetro se encuentra calibrado apropiadamente.

Finalmente, se conectó el voltímetro al sistema (eléctrico) de presión, como se indica en la figura 3.11.E. y se calibró por medio del control de ganancia (parte m de la figura 3.11.C) del amplificador, en función de los valores obtenidos. Se construyó una gráfica (figura 4.1) de presión, en volts, VS. Kg/cm^2 y de fuerza en toneladas, observándose que existe una relación lineal entre el voltaje y la presión aplicada. Con los valores de presión hidrostática se calculó la carga generada por el gato considerando el área del pistón sobre la que actúa la presión hidrostática para obtener la presión nominal aplicada por el molde a la muestra, se dividió la carga (en Kg) entre el área de la cavidad del molde (40 cm^2) y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1.

4.1.3. - Sistema de Calentamiento. -

Este sistema se calibró determinando la rapidez de calentamiento de las platinas, producida por las resistencias eléctricas a diferentes voltajes de alimentación, 25, 50, 75, y 100 % de su eficiencia utilizando para ellos los variacs. Se midió la temperatura en función del tiempo y los datos obtenidos se muestran en la tabla 4.2.

Con esta información se determinó la conducta y velocidad de calentamiento, observándose que para el 100 % del voltaje hay una diferencia de temperatura (máxima de 10°C)

T A B L A 4.1

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CALIBRACION DEL SISTEMA DE PRESION.

Voltímetro Volts.	Manómetro		En la muestra kg cm ⁻²
	kg m ⁻²	Ton.	
0.00	000.0	0	0
0.05	500	1.168	29.20
0.10	1000	2.336	58.40
0.15	1500	3.504	87.60
0.20	2000	4.672	116.80
0.25	2500	5.840	146.00
0.30	3000	7.008	175.20
0.35	3500	8.176	204.40
0.40	4000	9.344	233.60
0.45	4500	10.512	262.80
0.50	5000	11.680	292.00
0.55	5500	12.848	321.20
0.60	6000	14.016	350.40
0.65	6500	15.184	379.60
0.70	7000	16.352	408.80
0.75	7500	17.520	438.00
0.80	8000	18.688	467.20
0.85	8500	19.856	496.40

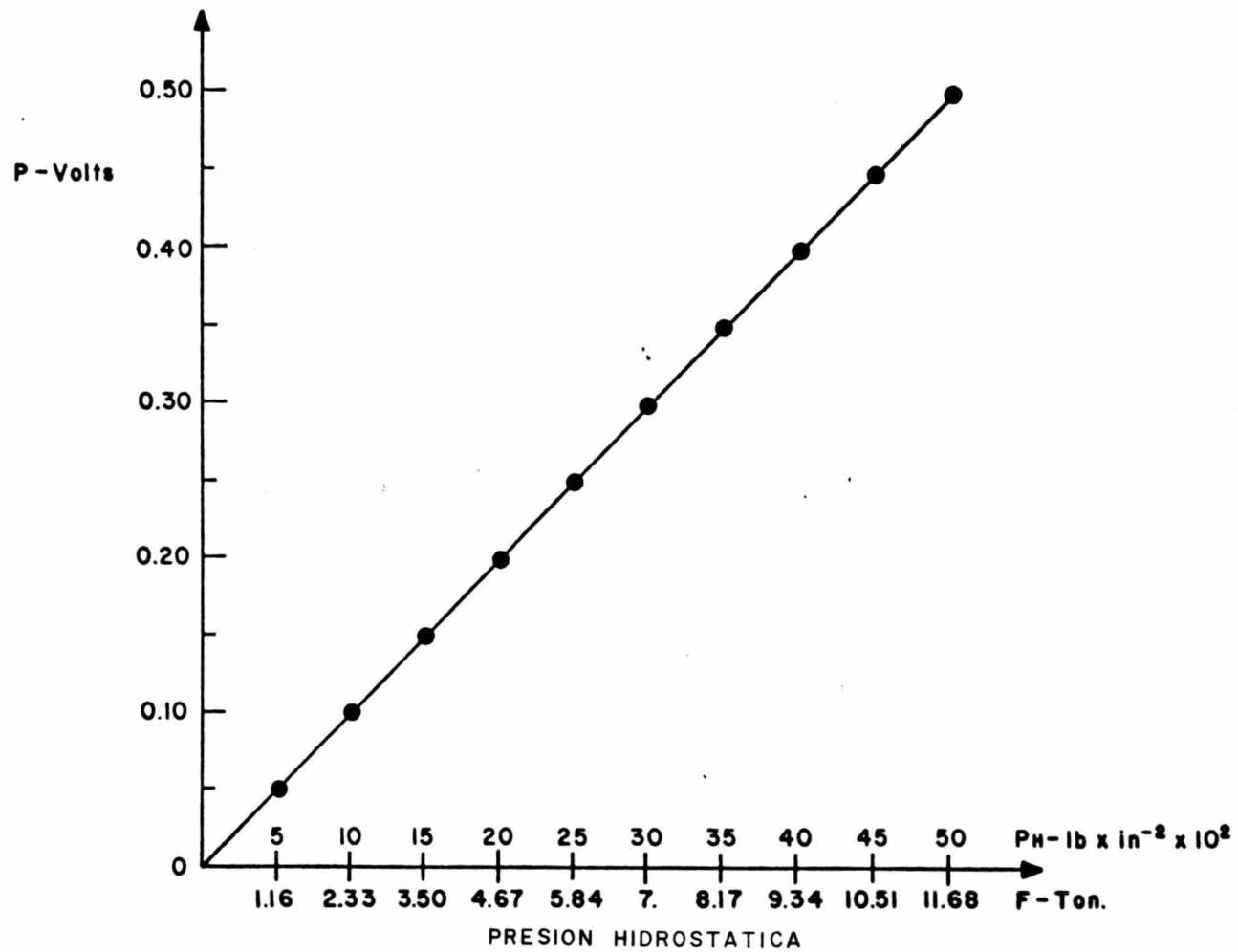


Figura 4.1. Calibración del Voltímetro y del manómetro. Presión Hidrostática y carga (en lb/in^2 y toneladas) VS. El equivalente en volts.

entre la platina superior e inferior. Esto se atribuye a que la posición que tiene una con respecto a la otra favorece a la platina inferior, o también, a un flujo de calor mayor en la platina superior debido a pequeñas diferencias eléctricas de los cartuchos. Estas diferencias de temperatura se observan en la gráfica de tiempo VS. temperatura de la figura 4.2.

Dicha diferencia se puede eliminar regulando el voltaje de alimentación en la platina superior (con el variac), o variando su tiempo de encendido. La temperatura máxima registrada fué de 300°C y la velocidad promedio de calentamiento de las platinas es de $4.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ a 100 % de eficiencia.

Las temperaturas máximas obtenidas para los voltajes aplicados se muestra en la tabla 4.2.

Con los datos obtenidos se construyó gráfica de tiempo VS. temperatura (figura 4.2), en la que se puede calcular por interpolación el voltaje necesario para mantener una temperatura constante.

4.1.4. - Sistema de enfriamiento. -

Las platinas se pueden enfriar con agua, aire comprimido y en forma natural. El camino a seguir depende de la operación y de la temperatura, i. e. cuando la temperatura es mayor de 90°C , es preferible usar aire comprimido para evitar posibles incrustaciones salinas provenientes del agua, en el interior de las platinas, cuando la temperatura sea menor de 90°C se podrá usar agua. Se midió la conducta y rapidez de enfriamiento natural y por agua. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.3.

Con los datos de la tabla 4.3 para enfriamiento natural se construyó una gráfica de temperatura VS. tiempo (figura 4.4) observándose que la velocidad de enfriamiento es mayor -

T A B L A 4.2.

DATOS DE LA TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO
PARA DETERMINAR LA RAPIDEZ DE CALENTAMIENTO
EN LAS PLATINAS A DIFERENTES VOLTAJES DE ALI -
MENTACION.

Temp. °C	Tiempos (min)							
	Conduct: 25 %		50 %		75 %		100 %	
	Platina		Platina		Platina		Platina	
	Int.	Sup.	Int.	Sup.	Int.	Sup.	Int.	Sup.
20	0		0		0		0	0
30	30		9		2		1.5	1.5
40	65		15		4		3.0	3.0
50	120		21		7		4.75	4.75
60	-		31		9		6.6	6.6
70	-		41		13		7.5	7.0
80	-		51		16		9.0	10.0
90	-		66		19		10.5	11.5
100	-		81		23		14	12.5
110	-		101		27		15.5	14.0
120	-		130		33		18.5	17.0
130	-		205		37		19.5	18.0
140	-		300		43		21.5	19.5
150	-		-		49		24.0	21.5
160	-		-		56		25.5	23.5
170	-		-		63		28.0	25.5
180	-		-		70		30.0	27.5
190	-		-		77		32.0	30.0
200	-		-		87		34.5	32.5

T A B L A 4.2 (continúa)

210	-	-	97	37.0	36.0
220	-	-	108	40.0	37.5
230	-	-	121	43.0	40.0
240	-	-	137	46.0	43.5
250	-	-	160	50.0	41.5
260	-	-	184	53.5	50.0
270	-	-	-	57.0	53.0
280	-	-	-	61.5	57.5
290	-	-	-	67.5	61.5
300	-	-	-	77.5	68.0

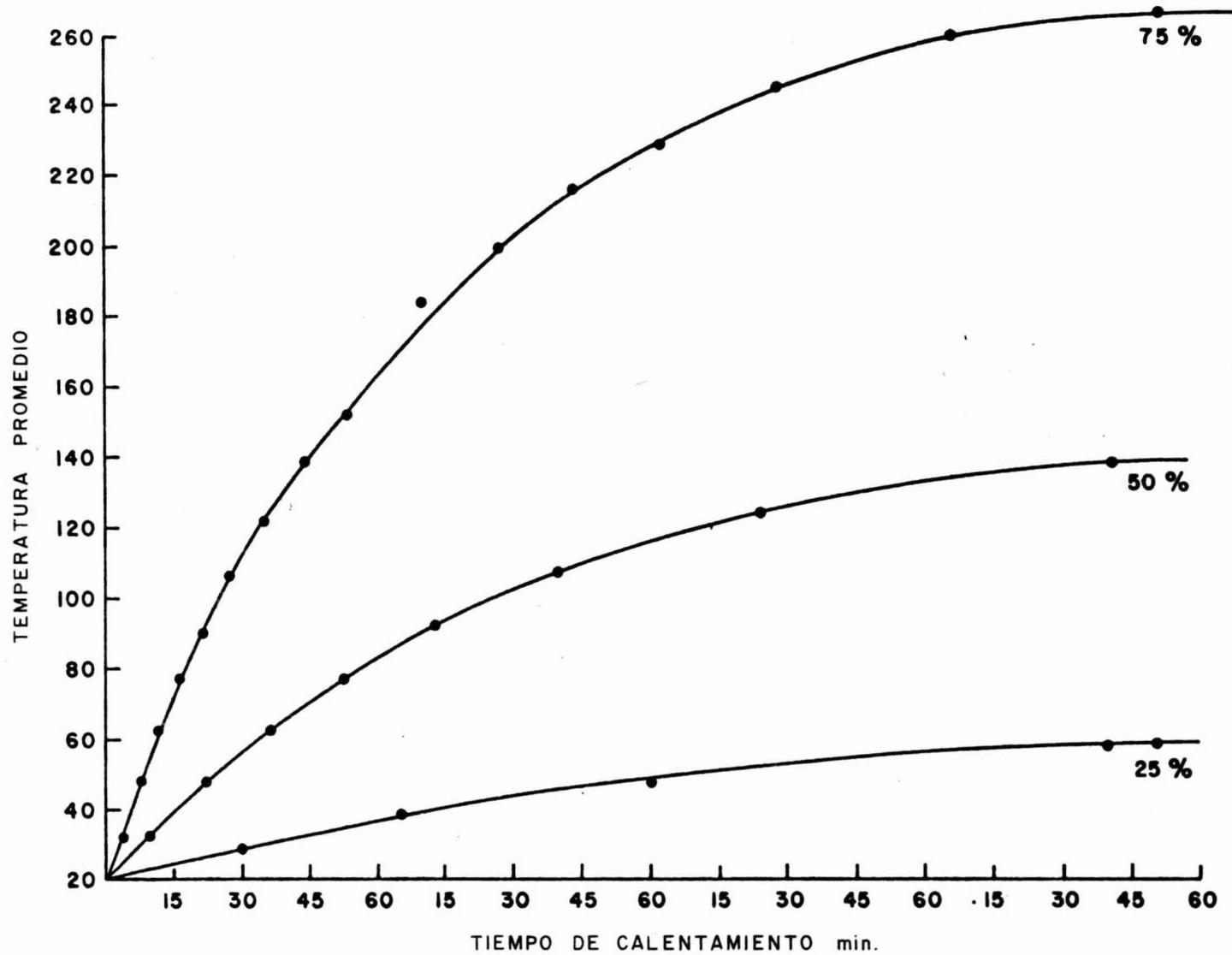


Figura 4.2. Gráfica de Temperatura VS. Tiempo para determinar la rapidez de calentamiento de las platinas a tres diferentes voltajes de alimentación.

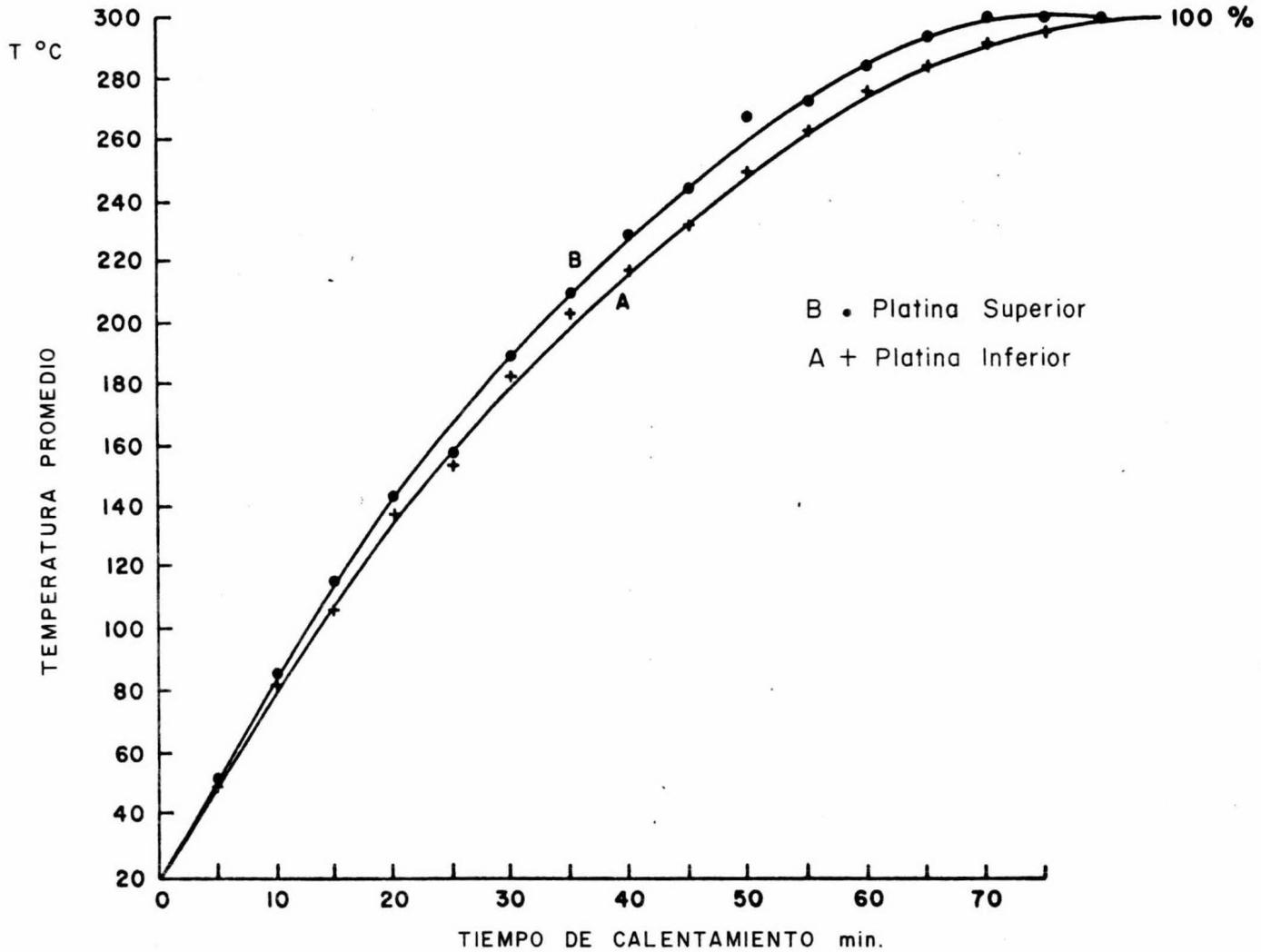


Figura 4.3. Gráfica de Temperatura VS. Tiempo para determinar la rapidez de calentamiento en las platinas con el 100 % de eficiencia en el voltaje de alimentación.

T A B L A 4.3

DATOS DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO PARA DETERMINAR LA CONDUCTA Y RAPIDEZ DEL ENFRIAMIENTO EN LAS PLATINAS CON AGUA Y NATURAL.

Temp. ° C	Enfriamiento			
	Tiempo (min)			
	natural Platina		con agua Platina	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
270	0	0	0	0
250	8	6	.75	1.00
230	14	10	2.00	1.75
220	18	18	2.50	2.25
200	26	20	3.75	3.25
180	34	28	5.00	4.25
160	43	36	6.50	5.50
140	54	48	8.00	6.75
120	70	68	10.00	8.75
100	90	90	12.25	11.25
80	120	122	16.00	14.50
60	170	183	21.25	19.25
40	250	280	29.50	28.75
20	300	350	46.25	47.50

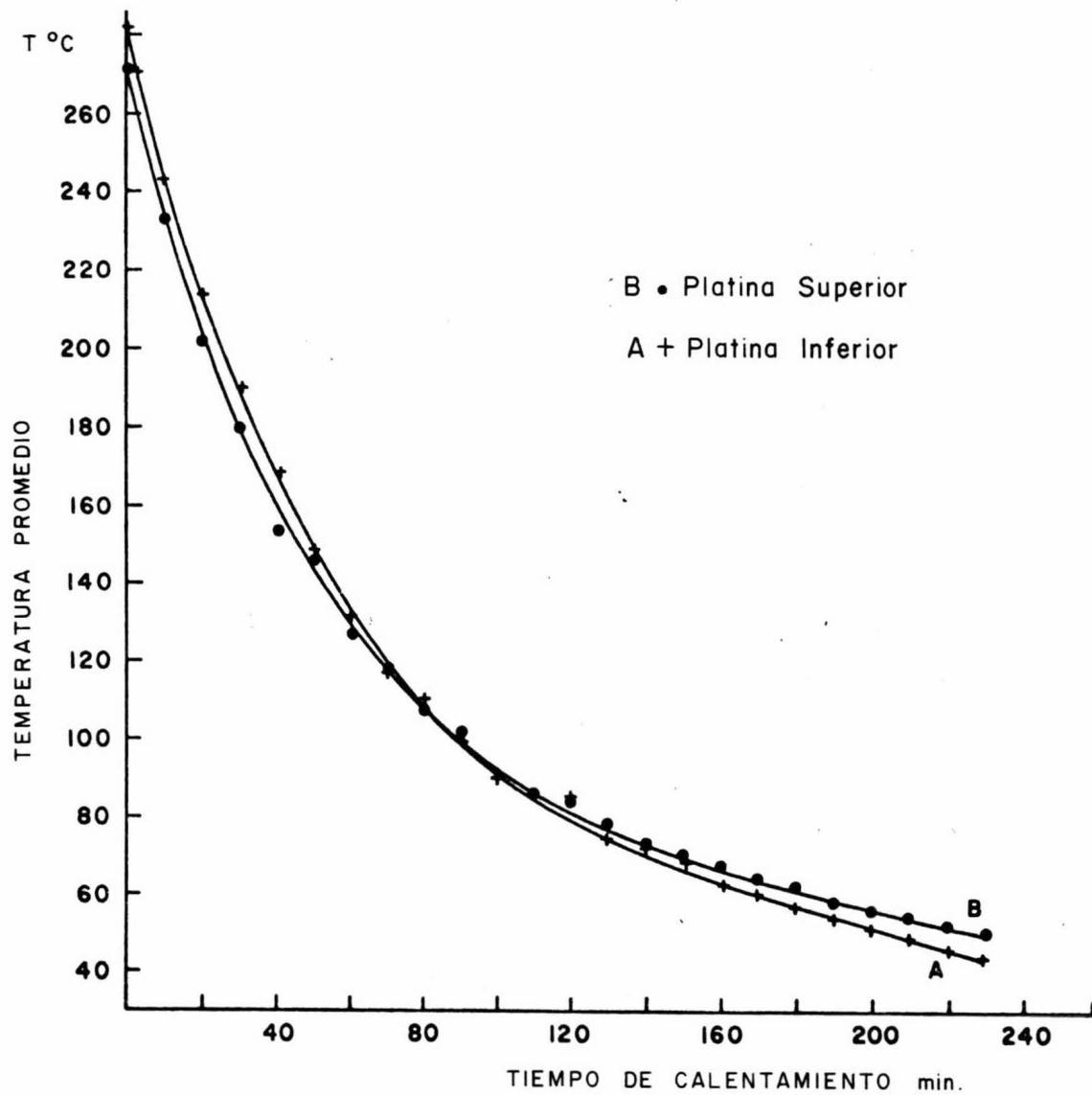


Figura 4.4. Gráfica de Temperatura VS. Tiempo, para un enfriamiento natural de las platinas.

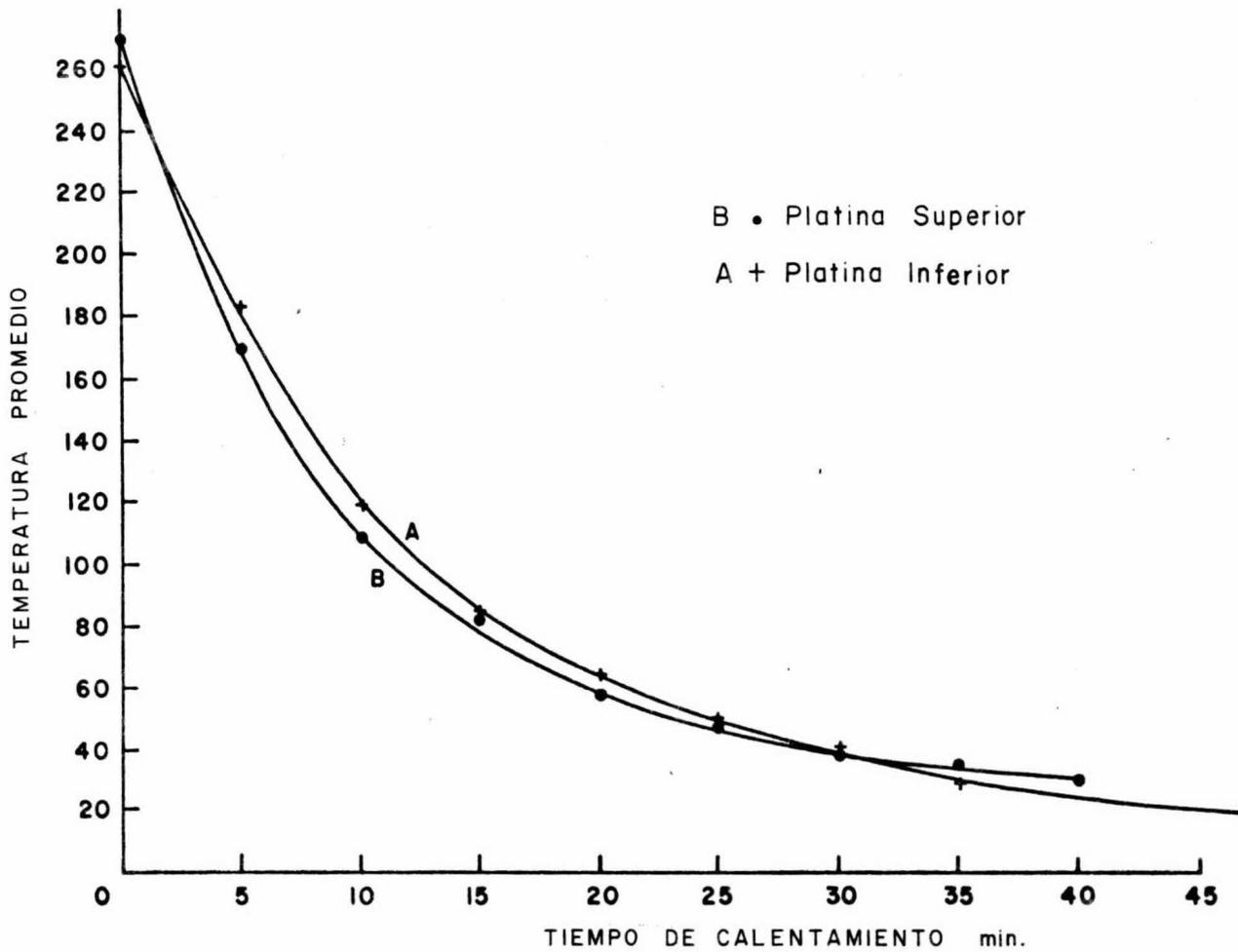


Figura 4.5. Gráfica de Temperatura VS. Tiempo, para determinar la rapidez de enfriamiento de las platinas con agua.



en la platina inferior (debido a su posición), y para el sistema de enfriamiento con agua se graficaron tiempo VS. temperatura (figura 4.5) observándose que la velocidad de enfriamiento es mucho mayor que la anterior.

4.1.5. - Deformación elástica de la prensa. -

Se determinó el desplazamiento vertical de la placa móvil en función de la presión aplicada por medio de un micrómetro de carátula (marca Mitutoyo modelo 2412), colocado en la placa de sustentación superior y haciendo coincidir el brazo del micrómetro con una barra metálica fija a la placa móvil, como se indica en la parte 17 y 18 de la figura 3.3. De esta manera se podrán determinar también el desplazamiento (milimétrico) vertical del gato y calcular los cambios de presión cuando la placa móvil se fija con los tornillos de mariposa (parte 8 de la figura 3.3). Los resultados obtenidos en función de la presión se muestran en la tabla 4.4. Con los datos obtenidos se construyó una gráfica (figura 4.6). El desplazamiento del micrómetro con la presión nos demuestra una posible compresión del aislante o bien una posible deformación de las placas inferior o superior. (Aceptable debido al rango de compresión 0.01 mm).

4.1.6. - Operación del equipo. -

La operación de cada uno de los sistemas de la prensa está de acuerdo al siguiente orden. (Los números entre paréntesis a los que se hace referencia a continuación corresponden a los de la figura 3.3.) :

Sistema térmico :

Cerrar el circuito por medio del interruptor eléctrico general (No. 20). Cerrar los circuitos de las platinas -

T A B L A 4.4

DATOS DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL DE LA
P L A C A M O V I L E N F U N C I O N D E L A P R E S I O N
A P L I C A D A P O R E L G A T O.

Micrómetro		Manómetro	
in	lb	in ⁻²	kg.
0.0000		0.0	0
0.0065	750.0		1752.03
0.0075	1750.0		4088.07
0.0083	3000.0		7008.12
0.0095	4350.0		10161.77
0.0115	5875.0		13724.23

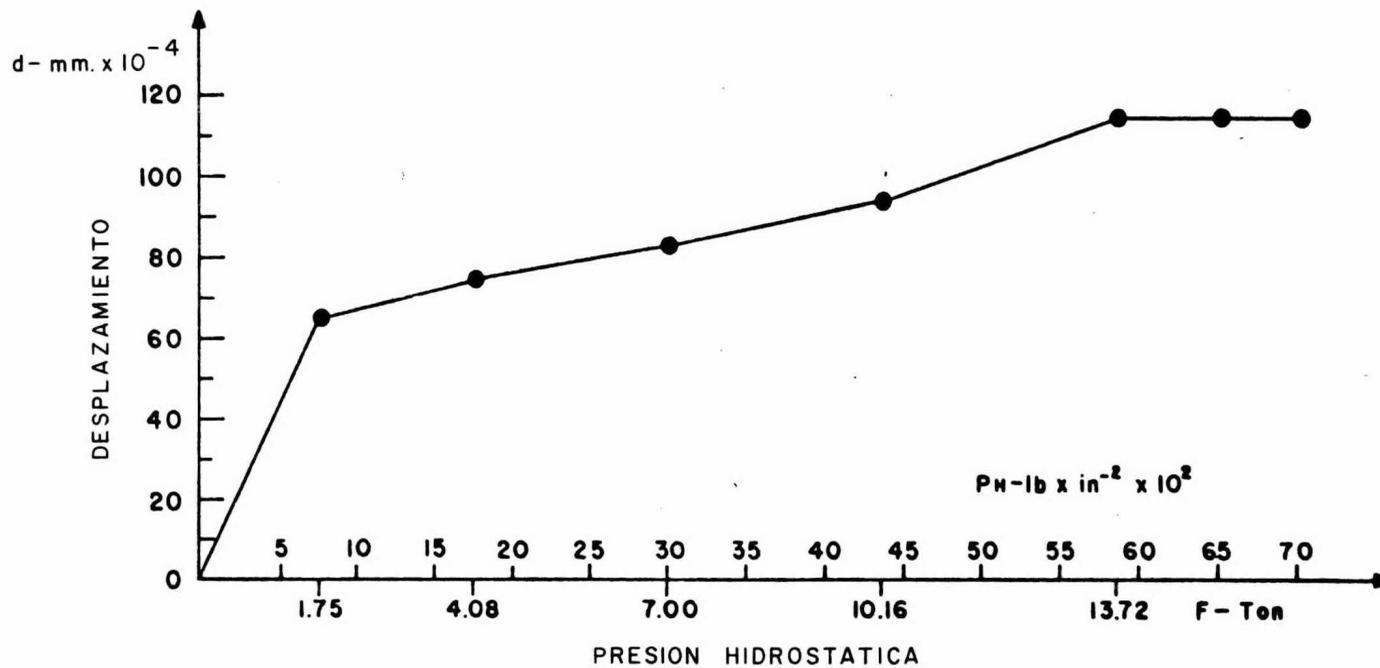


Figura 4.6. Gráfica de Desplazamiento Vertical (en mm.) de la Placa Móvil VS. Presión Hidrostática (en lb/in² x 10²) aplicada.

por medio de los interruptores correspondientes (No. 21 y 22). Fijar para cada platina el tiempo requerido de calentamiento por medio de los interruptores automáticos (No. 25 y 26). Ajustar la velocidad de calentamiento de cada platina por medio de los auto - transformadores de voltaje de alimentación, controlando al mismo tiempo la temperatura máxima que se desee alcanzar (No. 23 y 24). Para medir la temperatura en : las platinas, molde o en la muestra, basta con colocar la aguja del selector de canales a la posición indicada en la carátula (No. 33) y tomar la lectura en el indicador (No. 34).

Sistema de presión :

Ajustar el voltímetro a cero volts (con el botón de balance del circuito , parte de la figura 3.11.C) colocar el transductor en el molde y conectarlo al sistema eléctrico (No. 39) . Cerrar los interruptores eléctricos del sistema (No. 35 y 36) . - Checar periódicamente, que, al aplicar presión, el voltímetro y el manómetro estén calibrados de acuerdo con la tabla 4.1.

4.2. - Elaboración de muestras.

La preparación de las muestras se hizo considerando los siguientes requerimientos :

- a) Controlar el espesor de la placa de plástico reforzado.
- b) Cuidar que las fibras de vidrio en las muestras queden separadas por la misma distancia formando recta paralelas.
- c) Eliminar la oclusión de aire en las muestras .
- d) Obtener muestras reproducibles y con un acabado de alta calidad.

Para cumplir con los requerimientos mencionados se ex-

perimentaron diferentes métodos hasta lograr resultados satisfactorios.

El procedimiento más adecuado resultó ser el siguiente: Se moldean dos placas de poliestireno de medio milímetro de espesor, 160 mm de longitud y 130 mm de ancho en un molde macho - hembra (diseñado para este fin). Para controlar el espesor requerido se colocan, previamente en el molde hembra, láminas de aluminio de diferentes espesores y se recubren con agente desmoldante, (desmoldante de teflon Wiz). Se colocan sucesivamente una placa de poliestireno, la fibra de vidrio y una placa de poliestireno; en las muestras con arreglo unidireccional se coloca cada fibra individualmente y se mantienen en posición mediante dos tiras de cinta adhesiva colocadas en extremos opuestos de una placa de poliestireno (figura 4.7), se cierra el molde y se lleva a la prensa para ser calentado hasta temperatura de 120 °C y a una presión máxima de 25 kg/cm².

Una vez obtenida la pieza se somete al ciclo de moldeo requerido, como se describe en la sección 3.1.5.1.

4.3. - Pruebas mecánicas.

Las muestras piloto obtenidas con diferentes arreglos y bajo diferentes ciclos se probaron a tensión uniaxial en una máquina universal de pruebas Baldwin - Tate - Emery. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.5 en donde puede observarse las propiedades mecánicas comparativamente.

En las muestras preparadas a alta presión, Ciclo B, se observó un incremento considerable en la resistencia a la tensión, (entre 21 y 36 %) en comparación con las moldeadas a bajas presiones, Ciclo A. El rango de dicho incremento en la resistencia a la tensión en las muestras sometidas al ciclo B -

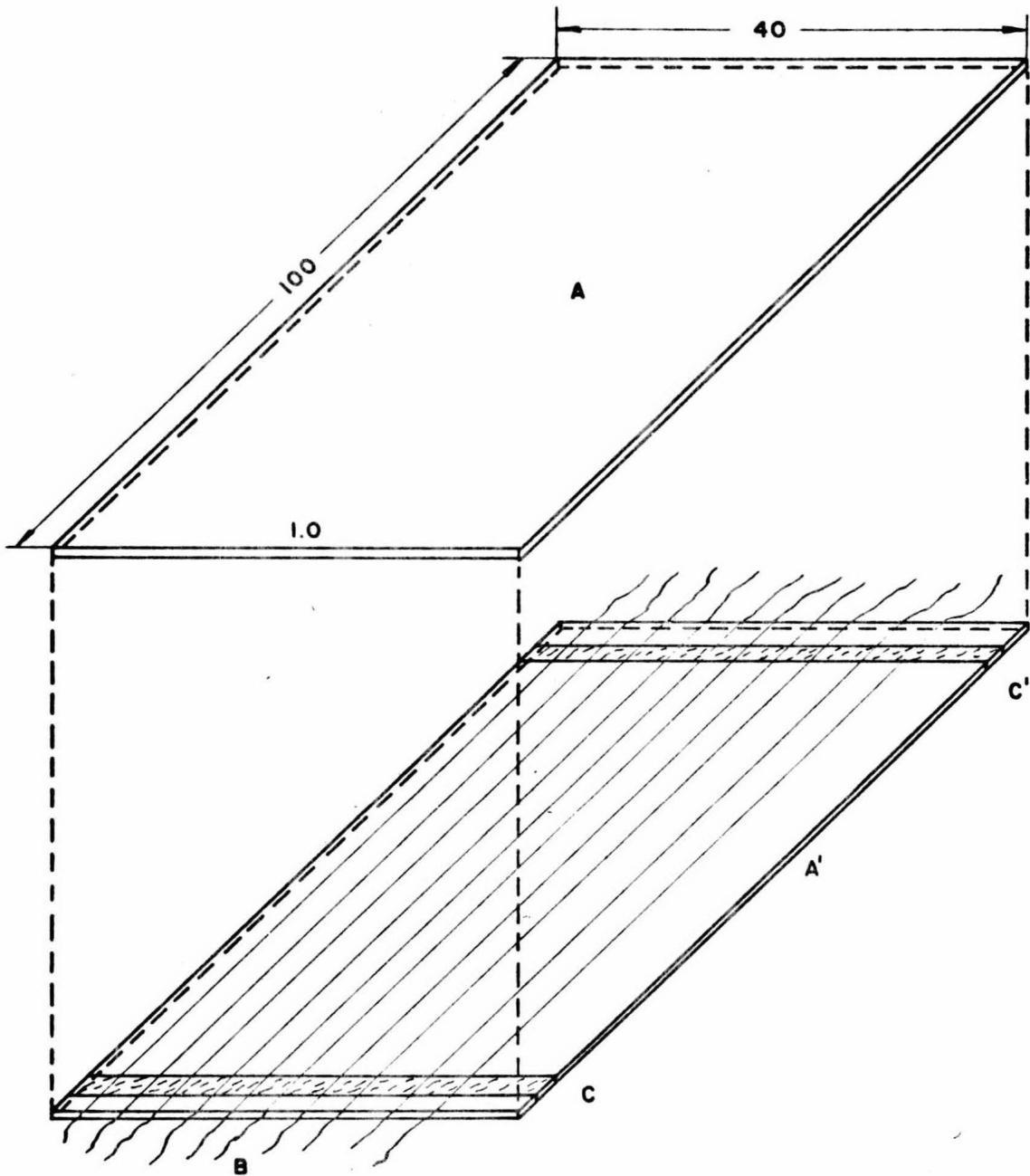


Figura 4.7. Ilustración del metodo usado para obtener láminas de Poliestireno Reforzado con Fibras de vidrio unidireccional, (A y A') Placas de poliestireno de 1mm. de espesor, (B) Fibras de vidrio paralelas a la placa de poliestireno, adheridas con cinta adhesiva (C y C').

T A B L A 4.5

RESISTENCIA A LA TENSION OBTENIDA
EN LAS MUESTRAS PILOTO

Arreglo de la Fibra de Vidrio	Ciclo A Baja Pre <u>re</u> sión.	Prome <u>di</u> o	Ciclo B Alta Pre <u>re</u> sión	Prome <u>di</u> o	Incre <u>men</u> to
Sin refuerzo puro poliestireno	325	350	325	375	6.6 %
	375		350		
	350		450		
Unidireccional	555	560	862	885	34 %
	565		750		
			897		
			914		
Unidireccional	510	613	950	960	36 %
	630		970		
	635				
	680				
Bidireccional	420	520	600	666	21 %
	560		650		
	580		750		
Bidireccional	607	641	750	875	26 %
	548		855		
	629		1020		
	781				

se mantiene casi constante en relación a las sometidas al ciclo A para diferentes arreglos de fibra de vidrio. Esta diferencia se debe a que en el ciclo B : a) se produce un mejor contacto físico entre el poliestireno y la fibra y por consiguiente un mayor amarre físico, como se pudo observar en las muestras sometidas a tensión (en las muestras sometidas al ciclo A se observó una delaminación entre las dos placas de poliestireno la cual no se observó en aquellas moldeadas bajo el ciclo B), b) a que se eliminan los esfuerzos residuales que se producen por los cambios de volumen del poliestireno, durante su solidificación. Las contracciones diferenciales entre la fibra y el polímero causan esfuerzos cortantes en la interfase; c) a la eliminación de burbujas de aire o espacios vacíos que serían zonas de concentración de esfuerzos. Dichas zonas originan el inicio de fisuras o grietas prematuramente en el material y consecuentemente una disminución en sus propiedades mecánicas.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos recientemente con la misma técnica de moldeado utilizada para minimizar esfuerzos interfaciales y maximizar el grado de contacto en juntas adhesivas (2), demostrando con esto la generalidad de la técnica empleada para eliminar esfuerzos residuales y lograr un contacto interfacial completo entre los componentes de materiales compuestos, en ambos casos se incrementaron las propiedades mecánicas de los materiales. Esta técnica tiene la ventaja de que evita la adición de agentes tensoactivos y cargas destinadas a disminuir la contracción del polímero durante su procesamiento.

Por otra parte, se analizó la versatilidad y funcionamiento del equipo diseñado y construido para cubrir con los objetivos planteados en este trabajo, obteniéndose como re-

sultado, además de la facilidad para simular diferentes ciclos de moldeo en plásticos, excelente aplicabilidad para realizar otro tipo de pruebas, i. e. , de compresión, de flexión y conductividad térmica de materiales. En este equipo se desarrolló también un trabajo en el que se estudió el efecto de ciclos de moldeo en juntas adhesivas de epoxy con aluminio.

Finalmente, debido a la exactitud de la calibración de los sistemas de presión, calentamiento, y enfriamiento del equipo se obtuvieron resultados repetitivos y confiables en un 90 %.

CAPITULO V

5. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en el inicio de este trabajo y los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones :

Debido a la exactitud de los cálculos realizados para el diseño y la construcción de cada una de las partes que constituyen el equipo, se lograron reunir todas las características específicas que se requieren de una prensa de laboratorio para moldear plásticos a elevadas presiones y temperaturas.

Se realizaron con éxito diferentes ciclos de presión, volumen y temperatura de moldeo en la prensa. Esto se logró debido a una construcción y calibración adecuada del equipo, lo cual sirvió para obtener resultados reproducibles y confiables.

Se obtuvieron incrementos significativos en las propiedades del poliestireno reforzado con fibra de vidrio (hasta un 36 %) en las muestras moldeadas, siguiendo el Ciclo B (de enfriamiento isométrico) en comparación con el Ciclo A. Con esto se demuestra la generalidad de la técnica empleada para eliminar esfuerzos residuales e incrementar al máximo el grado de contacto entre componentes de materiales poliméricos heterogéneos independientemente de su geometría.

Se adquirió un equipo que, además de reunir a los objetivos del presente estudio, tiene la capacidad para ser usado en pruebas de conductividad térmica, compresión, flexión y, en general, moldeo de plásticos.

Tomando como base los resultados obtenidos en este tra -

bajo, se recomienda desarrollar un estudio consistente en determinar el comportamiento mecánico de diversos polímeros y correlacionarlo con su morfología, composición y propiedades mecánicas. Para esto se deberán utilizar las técnicas de moldeo diseñadas experimentalmente en este trabajo, midiendo sus propiedades mecánicas y cambio en morfología con respecto a los moldeados a bajas presiones. Las pruebas mecánicas se realizarán a diferentes grados de temperatura y rapidez de deformación con objeto de analizar los mecanismos de fractura. Se analizarán, además, los efectos producidos en el material cuando se le adicionan cargas o refuerzos y cuando es reprocesado. Esto se hará con el fin de poder optimizar con mayor precisión las propiedades y el comportamiento mecánico de diversos polímeros de interés.

REFERENCIAS

1. J.J. Bikerman. THE SCIENCE OF ADHESIVE JOINTS. Academic Press, New York, N.Y., 1968.
2. R.V. Graziano. " The Effects of High Contact Pressure and Temperatures on the Adhesion of Amorphous Polystyrene to Borosilicate ". Journal of Adhesion, Vol. 6, - 1974.
3. W.A. Zisman. Industrial & Engineering Chemistry, - Process Des. & Develop. , 8, p. 97 (1972).
4. Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Vol. 12, Ed. Board, New York, N.Y., 1970.
5. Ibid, Vol. 6.
6. Ibid, Vol. 9.
7. Svernig, Torp. " Propoerties of Glass Reinforced Plas - tics" Kristiansand. , Sept. , 1971.
8. F.W. Billmeyer. TEXTBOOK OF POLYMER SCIENCE. John Wiley & Sons., Inc. , New York, 1971.
9. Modern Plastics Encyclopedia, Vol. 14, No. 10A, Ed. - Mac Graw - Hill, Inc. , New York, 1970 - 1971.

10. Holister and Thomas. FIBRE REINFORCED MATERIAL. Elsevier, Amsterdam, 1966 - 1967.
11. W.J. Connolly y A.M. Thorton. 20 th Annual Meeting of Reinforced Plastics, U.S.A. , 1965.
12. J.D. Crabtree. GLASS FIBRE TECHNOLOGY AND ADHESION CRITERIA IN REINFORCED PLASTIC. Wollasto, U.S.A. , - 1969.
13. Kirk - Otmer. Encyclopedia of Chemical Technology, 10, p. 556, Interscience, New York, 1966.
14. Durez Plastic Division. Hooker Chemical Corp. Service Bulletin No. 2101, June, 1960.
15. F. Parrilla C. , RESINA POLIESTER Y PLASTICO REFORZADO. Ed. Ilustración, México, 1970.
16. K.P. Yakovlev. HANDBOOK FOR ENGINEERS. Vol. II. Pergamon Press, Oxford, 1966.
17. Fréd B. Seely y Newton E. Ensign. MECANICA ANALITICA PARA INGENIEROS. Ed. Uteha, México, 1959.
18. S. Timoshenko. RESISTENCIA DE MATERIALES. Vol. I. Mc. Graw - Hill, Inc. , New York, 1970.
19. Eric Oberg y F. D. Jones. MACHINERY'S HANDBOOK. 18th Ed. , Industrial, New York, 1970.

20. M.S. Seely. MECANICA ANALITICA PARA INGENIEROS. Vol. II, 1962.
21. Sears Semansky. ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.
22. Bernard Grob. BASIC ELECTRONICS. McGraw - Hill, New York, 1965.