

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



TERMOFIJACION DE POLIMEROS TERMOPLASTICOS: POLIESTIRENO, POLIMETACRILATO DE METILO Y ACETATO DE POLIVINILO.

T E S I S

Que para obtener el título de:

QUIMICO

p r e s e n t a n

ARACELI AVILES SIERRA
ROBERTO ESCAIP KARAM
YOLANDA MONCADA GARCIA

38



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
ADQ. 1926
FECHA _____
PROC. MT-3841



QUÍMICA

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE:

PRESIDENTE : JULIO TERAN ZAVALAETA
V O C A L : ANTONIO REYES CHUMACERO
SECRETARIO : FERNANDO ITURBE HERMANN
1er. SUPLENTE : MARGARITA GONZALEZ TERAN
2o. SUPLENTE : ROLANDO BARRON RUIZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

LABORATORIO DE PLASTICOS, FACULTAD DE QUIMICA.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ASESOR DEL TEMA : PROFESOR Y QUIMICO DON
JULIO TERAN ZAVALAETA

SUSTENTANTES : ARACELI AVILES SIERRA
ROBERTO ESCAIP KARAM
YOLANDA MONCADA GARCIA

Esta tesis fue dirigida por el
Señor Profesor y Químico
JULIO TERAN ZAVALAETA,
Jefe del Departamento de Pasantes
de la Facultad de Química de la UNAM

A nuestros Padres

A nuestros hermanos

A nuestros familiares y amigos

Agradecemos a

Señor Ingeniero

ALFREDO OLIVARES

Jefe del Instituto de Ingeniería de la UNAM

**División de Estudios Superiores de la
Facultad de Odontología de la UNAM**

**Personal del Laboratorio de Plásticos
de la Facultad de Química de la UNAM**

su valiosa colaboración

I N D I C E.

INTRODUCCION	p.	1
PRIMERA PARTE		
GENERALIDADES	"	3
CAPITULO I		
BREVE HISTORIA DE LOS PLASTICOS	"	4
A) Poliestireno	"	4
B) Resinas Acrílicas	"	5
C) Resinas Vinílicas	"	6
CAPITULO II		
GENERALIDADES	"	7
A) Definición de Plástico		
B) Características y Propiedades de Polímeros Termoplásticos y Termofijos	"	7
C) Tabla de Propiedades de Poliestireno Polimetacrilato de Metilo y Acetato de Polivinilo	"	9
CAPITULO III		
BASES FUNDAMENTALES DE POLIMERIZACION		11
A) Procesos de Polimerización	"	11
B) Polimerización de Divinil	"	11
C) Reacciones de Polimerización de Moléculas con Doble Enlace	"	11
D) Mecanismo de Reacción de Enlaces Dobles	"	12
E) Mecanismo de Reacción del Peróxido de Benzofl. Catalizador en las Reacciones de Polimerización, por Radicales Libres	"	13

F) Notación Clave de Carothers para Polimerizaciones Aditivas	p.	13
 SEGUNDA PARTE		
INVESTIGACIONES PRELIMINARES	"	15
 CAPITULO IV		
REACCIONES DE POLIMERIZACION	"	16
A) Reacciones de Polimerización de los Termoplásticos Empleados	"	16
B) Termofijación	"	17
C) Reacciones de Polimerización de los Termoplásticos Tratados con Divinil Benceno	"	17
 CAPITULO V		
DISEÑO DE EXPERIMENTO	"	20
A) Selección de las Sustancias Químicas Requeridas	"	20
B) Preparación de Polímeros	"	20
C) Relación Monómero-Divinil Benceno	"	20
D) Selección de Pruebas Químicas y Físicas	"	21
 CAPITULO VI		
DESCRIPCION DE TECNICAS EMPLEADAS	"	23
A) Método General para la Obtención de los Polímeros Normales	"	23
B) Método General para la Obtención de los Polímeros Tratados con Divinil Benceno	"	25
C) Descripción de los Moldes Utilizados para obtener las Piezas Requeridas para cada Polímero	"	26
 TERCERA PARTE		
PRUEBAS QUIMICAS Y FISICAS REALIZADAS CON LOS POLIMEROS NORMALES Y LOS TRATADOS CON DIVINIL BENCENO	"	28
 CAPITULO VII		
PRUEBAS QUIMICAS	"	29
A) Pruebas de Resistencia a Acidos, Bases y Solventes Orgánicos	"	29

B) Pruebas Realizadas a la Flama	p.	31
CAPITULO VIII		
PRUEBAS EN NUJOL	"	33
CAPITULO IX		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	"	34
A) Descripción de la Prueba	"	34
B) Gráficas de Resistencia a la Compresión	"	38
C) Módulo de Elasticidad	"	51
D) Módulo de Elasticidad para las Pruebas de Resistencia a la Compresión y a la Tensión	"	51
E) Cálculo del Módulo de Elasticidad en Compresión	"	51
CAPITULO X		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA TENSION	"	53
A) Descripción de la Prueba	"	53
B) Gráficas de Resistencia a la Tensión	"	57
C) Cálculo del Módulo de Elasticidad en Tensión	"	70
CAPITULO XI		
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA FLEXION	"	71
A) Descripción de la Prueba	"	71
B) Cálculo del Módulo de Elasticidad en Flexión	"	74
CAPITULO XII		
PRUEBAS DE DUREZA	"	77
A) Descripción de la Prueba	"	77
B) Resultados	"	78
CONCLUSIONES	"	82
APENDICE 1	"	84
APENDICE 2	"	88
APENDICE 3	"	92
BIBLIOGRAFIA	"	95

I N T R O D U C C I O N .

La historia de las moléculas gigantes es más antigua que la formación de la vida. La naturaleza, por sí misma, es el dominio de los polímeros superiores. Como ya se sabe, el mundo no viviente está dominado por silicatos minerales; muchos de éstos son moléculas gigantes. En el mundo viviente es la auto-unión o concatenación de los átomos de carbono la que da lugar a las especies polímeras que constituyen la materia viva, tales como carbohidratos, proteínas, ácidos nucleicos. Hay decenas de miles de moléculas gigantes con que la naturaleza teje la trama de la vida; con la aplicación tecnológica de la investigación de moléculas gigantes, el hombre es ahora capaz de usar sus fuentes químicas naturales para sintetizar materiales que nunca existieron antes.

Las moléculas gigantes están ayudando al hombre a vestirse, le ayudan a alimentarse y darle albergue, se están usando para reparar o reemplazar sus partes enfermas o dañadas y le están ayudando a transportarse hasta regiones lejanas de nuestro universo. -- Por esto el hombre está constantemente adaptando estos productos a sus diferentes necesidades. Generalmente las propiedades y el comportamiento de un polímero superior, son determinados por la estructura e interacción de las cadenas que lo constituyen.

El objetivo de este trabajo es cambiar algunas características de los termoplásticos al producir reticulaciones en su estructura, para tener en ellos ciertas propiedades de termofijos que permitan darles nuevas aplicaciones.

Este trabajo es de interés para toda aquella persona que -- trabaja o desee trabajar con polímeros termoplásticos y que necesite encontrar en ellos ciertas cualidades de termofijos que se logra-

ron obtener en esta tesis.

Estos plásticos encuentran una amplia aplicación en todas las ramas de Ingeniería, Arquitectura, Odontología, Medicina, Museología, Artes Plásticas, Artesanías, Industrias relacionadas con los plásticos y, en general, cualquier actividad que requiera del empleo de éstos.

Se consideraron tres termoplásticos característicos para este trabajo: poliestireno, polimetacrilato de metilo y acetato de polivinilo; éstos se trataron con divinil benceno. En el contexto del trabajo se describe lo siguiente:

Los procesos químicos realizados: obtención de polímeros normales y tratados con divinil benceno, en forma teórica y práctica.

La manufactura de moldes y probetas para las diferentes pruebas físicas y químicas.

El desarrollo y resultados de las siguientes pruebas:

Prueba de Resistencia a ácidos, bases y solventes orgánicos. Pruebas realizadas a la flama. Pirólisis en tubo de ensayo. Pruebas en Nujol. Pruebas de Resistencia a la Compresión, a la Tensión y a la Flexión. Pruebas de Dureza.

El análisis comparativo de los resultados de estas pruebas, que fueron positivos, permite concluir que los polímeros adquieren las ventajas esperadas.

Este trabajo se realizó con la esperanza de contribuir en algo al desarrollo de la investigación de los plásticos en México.

PRIMERA PARTE.

GENERALIDADES.

C A P I T U L O I.
B R E V E H I S T O R I A
D E L O S P L A S T I C O S.

Es interesante enfatizar en los datos históricos referentes a las resinas que sirvieron de base a este trabajo. Estos pueden dar una noción de las aplicaciones que se les han venido dando desde su descubrimiento hasta la época actual.

A) POLIESTIRENO.

Más de 100 años antes de que fuera producido comercialmente en los Estados Unidos, el poliestireno ya se conocía en Inglaterra. Los métodos de producción de poliestireno económicamente favorables y con alto grado de pureza para alcanzar la transparencia necesaria y durabilidad, no fueron perfeccionados sino hasta 1937, cuando la compañía "Dow Chemical" y la "Bakelite Corporation" establecieron sus fábricas de resinas de estireno en forma clara y transparente.

Los plásticos poliestirénicos se caracterizan por propiedades no usuales, dentro de las cuales sobresalen su baja absorción de agua, alta resistencia química y fuerza física a bajas temperaturas. Estas propiedades combinadas hacen al poliestireno excepcionalmente bueno para aislantes, partes de equipo de refrigeración, tapones y botellas para ácidos medianamente fuertes, para carátulas transparentes, para indicadores de amperaje, de temperatura, para aeroplanos y automóviles, partes para radio y televisión, instrumentos musicales (único plástico sonoro), objetos decorativos y otros más.

B) RESINAS ACRILICAS.

Estas resinas han llegado a ser de las más populares dentro de los plásticos, debido a su transparencia e inherente brillantez.

El Doctor Otto Rohm es considerado el iniciador en la investigación fundamental sobre la síntesis y polimerización de este material.

En 1901 el desarrollo e investigación para su uso general fue hecho por la "Imperial Chemical Industries, Ltd." en Inglaterra.

Los dos proveedores en Estados Unidos fueron "Rohm and Hass" y "Dupont".

Estos plásticos se ofrecían en venta, desde 1931, como materiales para recubrimiento y laminación de vidrio, bajo los nombres comerciales de acryloide y plexigum. En 1936 la resina de metacrilato de metilo fue introducida en forma de hoja transparente por la compañía "Rohm and Hass" como plexiglass y "Dupont", en 1937, ofreció hojas y polvo moldeable bajo el nombre comercial de lucita. El polvo moldeable de "Rohm and Hass", originalmente llamado cristalita, no llegó a ser aprovechable sino hasta 1938.

Las cualidades ópticas de estos plásticos tienen aplicación principalmente en la manufactura de instrumentos quirúrgicos, capas intermedias de instrumentos de seguridad, anteojos, lentes de contacto, cámaras ópticas, para anuncios y reflectores de iluminación en carreteras, reflectores diversos, así como también para carátulas de radio y automóviles, para rellenos y cojinetes de empaque, para objetos decorativos, carátulas de relojes, para la inclusión de especímenes minerales, vegetales y animales en el seno de bloques polimetacrílicos y para otros más. El material es prácticamente impermeable e impenetrable a la humedad; este factor, combinado con brillantez, dureza, estabilidad dimensional y colorabilidad, hacen de él un material ideal para placas dentales y dientes artificiales; su resistencia al intemperismo y su claridad hacen que los acrílicos sean usados ampliamente.

C) RESINAS VINILICAS.

Estas resinas fueron conocidas en 1938, pero su desarrollo comercial en los Estados Unidos data de 1928, cuando la "Carbide and Carbon Corp." llegó a trabajar con resinas de ésteres de polivinilo, y las introdujeron comercialmente como un producto llamado vinilita. Las más importantes de estas resinas, estimadas por su valor industrial, son acetato de polivinilo, cloruro de polivinilo, copolímeros de cloruro y acetato de polivinilo y acetales de polivinilo; al mismo tiempo "Shawinigan Chemicals, Ltd", en Canadá, llegó a hacer la fabricación de acetato de polivinilo bajo el nombre de Gelva.

Los plásticos de acetato de polivinilo alcanzaron gran éxito como recubrimientos, como adhesivos para todo tipo de materiales, incluyendo papel, metal, mica, vidrio, lámina de plástico, madera y porcelana, y se usan en tintas flexográficas para imprenta, en juguetes y otros más. Las resinas vinílicas toman nueva importancia como aislantes y sustitutos para hule y otros materiales especiales.

C A P I T U L O I I

G E N E R A L I D A D E S .

A) DEFINICION DE PLASTICO.

La característica esencial que distingue a los plásticos, es que se trata de sustancias orgánicas polimerizadas. Un polímero es una molécula construida de pequeñas unidades simples. En algunos casos, la repetición es lineal, de tal manera que se origina una cadena a partir de sus uniones. En otros casos las cadenas están ramificadas o interconectadas formando redes en tres dimensiones. La unidad repetida del polímero es usualmente equivalente al monómero. Los plásticos se obtienen a partir de compuestos de la química del carbono, que se transforman sucesivamente mediante calor, presión y catálisis en un producto nuevo. La clave de esta transformación es la polimerización, o el proceso por el cual las moléculas de una misma sustancia o de dos, o más, se entrelazan entre sí para producir nuevas moléculas mucho más grandes, que constituyen nuevas entidades químicas. En conclusión, la definición de plásticos es la siguiente: polímeros orgánicos de alto peso molecular moldeables en múltiples formas funcionales, por efecto del calor, la presión y la catálisis, pero no obstante la intensa variedad de estos materiales, se pueden clasificar en dos tipos fundamentales:

1. TERMOFIJOS
2. TERMOPLASTICOS

B) CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE POLIMEROS TERMOPLASTICOS Y TERMOFIJOS.

Plásticos termofijos. Son los que una vez endurecidos no -

es posible reblandecerlos por aplicación de calor, es decir, su punto de reblandecimiento es superior al de descomposición; ni tampoco cambiar su estructura macromolecular por ningún disolvente conocido. El proceso de su moldeo es irreversible por efectuarse un cambio químico durante el primer calentamiento. Estos polímeros una vez termofijados resultan infusibles, insolubles, incombustibles e imputrecibles, además de ser duros, pero frágiles y resistentes a la tracción y a la compresión, así como a la humedad. Se les conoce como termoestables, termoendurecibles y termofraguantes.

Son termofijos los plásticos derivados de: fenol-formaldehído o resinas fenólicas, urea-formaldehído o amino-resinas, melamina-formaldehído y resinas epoxi.

Estructuralmente los polímeros termofijos son aquellos resultantes de las reacciones en las que se forman enlaces entrecruzados, o sea, en forma de red.

Plásticos termoplásticos. Se asemejan a la cera, puesto que se pueden reblandecer por acción del calor en cualquier momento, bien sea durante el moldeo o después. El proceso de su moldeo es reversible, es decir, son materiales cuyo cambio con el calentamiento es sustancialmente físico; son solubles en solventes orgánicos. Los termoplásticos, entonces, son reblandecibles, solubles, y en ocasiones contadas, putrecibles, siendo además blandos, pero flexibles y hasta semielásticos, y resisten las torsiones y los impactos mejor que los termofijos. La resistencia a la tracción, como el alargamiento, aumenta al elevarse el peso molecular medio del polímero; en cambio, en la relación de flexión y peso molecular no sucede esto. Absorben humedad y son parcialmente inflamables.

Son termoplásticos los derivados de celulosa, vinílicos, poliisoprenéticos, acrílicos, poliolefinéticos, caucho, caucho sintético, plásticos protéicos y los betunes y asfaltos.

Desde el punto de vista estructural, la mayoría de los polímeros lineales son llamados termoplásticos. En estos materiales, las moléculas arriba de una cierta temperatura tienen la suficiente energía para vencer las atracciones intermoleculares. En otras pa-

labras, el material es capaz de fluir, predominando una elevada elasticidad, de lo que se deduce que el punto de reblandecimiento es inferior al de descomposición.

Son susceptibles de experimentar dos tipos de transición de fase (de sólido a líquido):

1. Transición de primer orden. Cambio brusco de valores tales como volumen específico, energía y entropía. Puede denominarse brevemente como cristalización -- (o fusión).
2. Transición de segundo orden. Está caracterizada por un cambio brusco de valores, tales como calor específico y dilatación térmica.

C) TABLA DE PROPIEDADES DE POLIESTIRENO, POLIMETACRILATO DE METILO Y ACETADO DE POLIVINILO.

1. Poliestireno.

- a) Excelentes propiedades de aislamiento eléctrico,
- b) Baja absorción de agua,
- c) Resistencia a ácidos y álcalis,
- d) No se agrieta,
- e) Buena resistencia al impacto,
- f) Posibilidad de retener todos los colores,
- g) Es transparente y refleja la luz,
- h) Poca flexibilidad,
- i) Velocidad de combustión lenta
- j) Resistencia a la tracción y compresión,
- k) Resistencia a temperaturas menores de 76°C,
- l) Ligero cambio dimensional con el tiempo,
- m) Bajo punto de reblandecimiento,
- n) Tendencia a la repolimerización, haciéndolo sensible al agrietamiento, sobre todo en condiciones de intemperismo,
- o) Tendencia a rayarse con el polvo, debido a su mediana dureza,

p) Relativamente poca estabilidad a la luz solar.

2. Polimetacrilato de Metilo:

- a) Alta transparencia y claridad muy semejante al vi
drio,
- b) Excelente transmisión a la luz,
- c) Buena flexibilidad,
- d) Estabilidad al ambiente,
- e) Obtenible en todos los colores,
- f) Transparentes,
- g) Bastante durables,
- h) Irrompibles,
- i) Cambio dimensional de 0.5% después de todo tratata
miento,
- j) Dificil moldeo,
- k) Alta transparencia al flujo en ~~frío~~,
- l) Moderada resistencia química,
- m) Relativa resistencia al rayado, y
- n) Baja estabilidad óptica.

3. Acetato de Polivinilo:

- a) Muy adherente a las paredes que se une o a las su
perficies que recubre,
- b) Lenta velocidad de combustión,
- c) Nulo efecto bajo la luz,
- d) Estabilidad al uso,
- e) Poco apto para ser moldeado por calentamiento,
- f) Punto de reblandecimiento cercano al de su des--
composición,
- g) Poca dureza,
- h) Fácilmente rayable, e
- i) Soluble en solventes orgánicos.

C A P I T U L O I I I .
B A S E S F U N D A M E N T A L E S
D E P O L I M E R I Z A C I O N .

A) PROCESOS DE POLIMERIZACION.

Los procesos de polimerización fueron divididos por Carothers y Flory en los grupos conocidos como: polimerización por adición y polimerización por condensación, o en terminología más precisa, en polimerización en cadena y polimerización en pasos.

Una de las reacciones más importantes de los alquenos --- simples es la polimerización por adición o reacción en cadena, que incluye reacciones en las cuales la cadena se origina por un ión o una sustancia reactiva con un par de electrones libres, el cual es usualmente formado por la descomposición de un material relativamente inestable llamado iniciador, como por ejemplo, peróxido de benzoilo.

B) POLIMERIZACION DE DIVINIL.

Los compuestos que tienen el grupo divinil en su estructura, llevan a cabo la polimerización por adición. Estos monómeros pueden producir polímeros ramificados o reticulados.

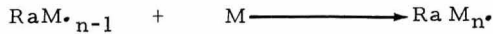
C) REACCIONES DE POLIMERIZACION
DE MOLECULAS CON DOBLE ENLACE .

Se llevan a cabo en tres fases:

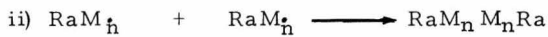
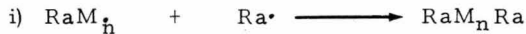
- a) Iniciación: Formación del radical a partir del peróxido de benzoílo.



- b) Propagación:

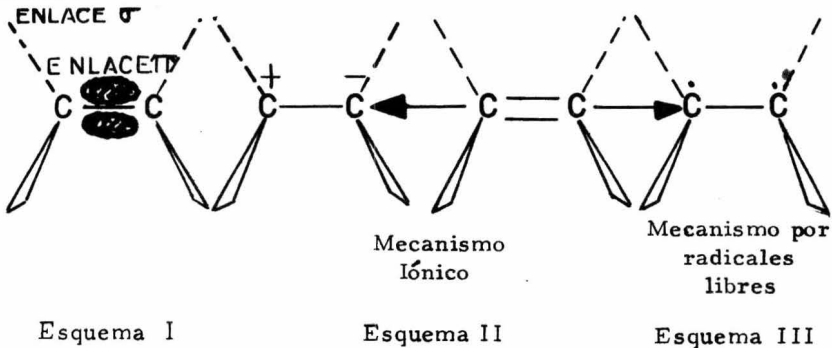


- c) Terminación:

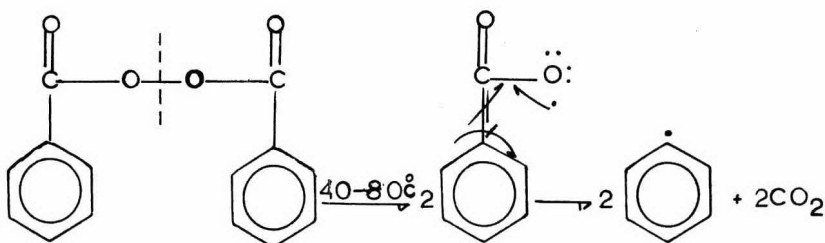


D) MECANISMO DE REACCION DE ENLACES DOBLES.

El enlace doble carbono-carbono consta de un enlace fuerte σ y de un enlace más débil π situados en planos diferentes (Esquema I). El par de electrones del orbital π está menos firmemente unido al núcleo del átomo de carbono, siendo más fácil de polarizar que el par electrónico del enlace σ , siendo esta la característica de los compuestos no saturados, cuyas reacciones de adición pueden llevarse a cabo por mecanismos en los que intervienen iones (Esquema II) o Radicales Libres (Esquema III), según sean polarizados los electrones y dependiendo del tipo de medio disolvente, polar en el caso de mecanismos iónicos y no polar en presencia de radicales libres.



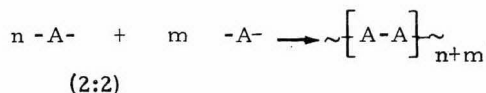
E) MECANISMO DE REACCION DEL PEROXIDO DE BENZOILO. CATALIZADOR EN LAS REACCIONES DE POLIMERIZACION, POR RADICALES LIBRES.



F) NOTACION CLAVE DE CAROTHERS PARA POLIMERIZACIONES ADITIVAS.

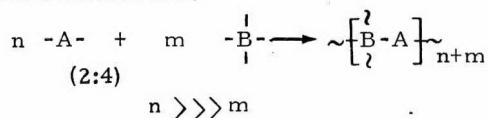
La Notación de Carothers está considerada como la base teórica sobre la cual se fundamentan las reacciones de polimerización que dan origen a la formación de polímeros TERMOPLASTICOS o TERMOFIJOS.

Tomando en cuenta moléculas birreactantes, dicha notación quedaría explicada con la siguiente ecuación:

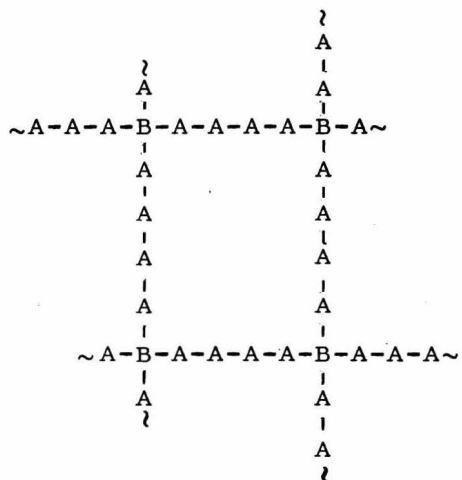


Obteniéndose un polímero TERMOPLASTICO.

En el caso de una molécula birreactante y una tetrareactante, tendremos como resultado la siguiente ecuación que representa un polímero TERMOFIJO:

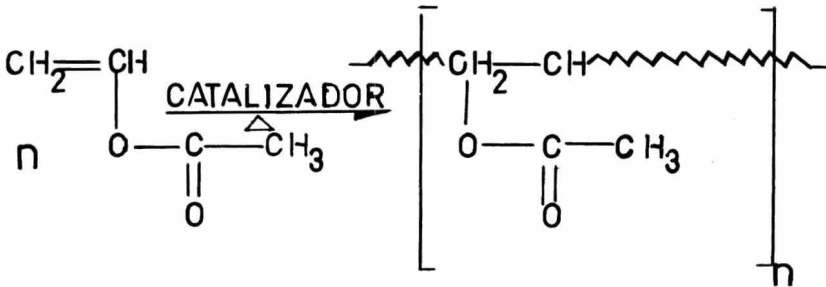


El mayor número de moléculas de birreactante -A- le -- permite actuar como agente reticulante que va a producir enlaces cruzados entre las cadenas, actuando -A- como puente intermedio, como se muestra a continuación:



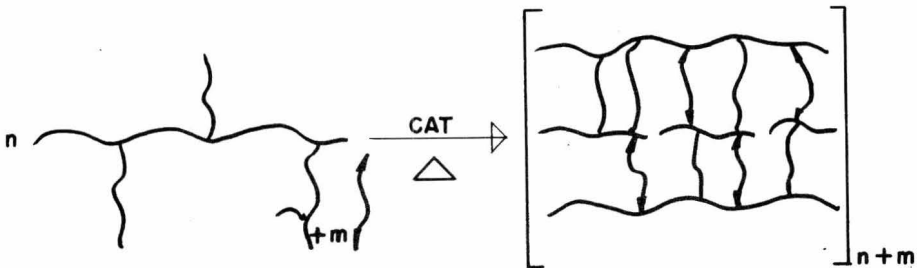
SEGUNDA PARTE.
INVESTIGACIONES
PRELIMINARES.

Monómero de Acetato de Vinilo:



B) TERMOFIJACION.

Termofijación se puede llamar a la transformación que sufre un termoplástico al producirle una reticulación para que adquiera algunas de las propiedades de un termofijo.



Esta reticulación se llevó a cabo por medio de un reactivo químico, en este caso divinil benceno, empleado en una proporción muy pequeña (indicada posteriormente), por lo que no se puede considerar al plástico resultante un copolímero, desde el punto de vista práctico. Por otra parte, teóricamente sí se considera un copolímero.

C) REACCIONES DE POLIMERIZACION DE LOS TERMOPLASTICOS TRATADOS CON DIVINIL BENCENO.

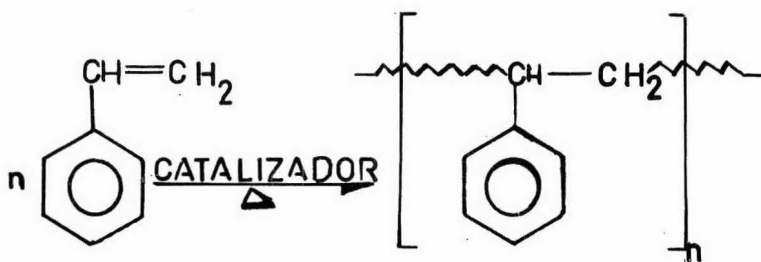
Notación de Carothers (2:4)

C A P I T U L O I V .
R E A C C I O N E S D E
P O L I M E R I Z A C I O N .

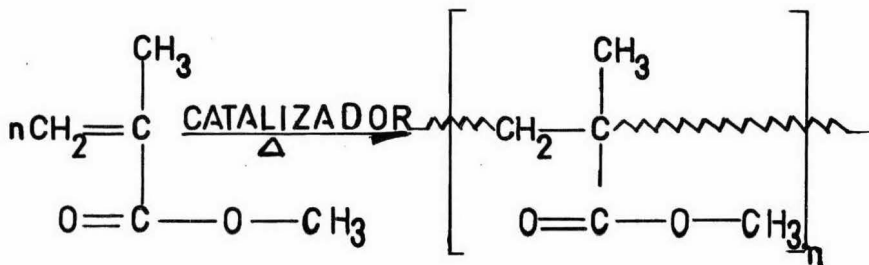
A) REACCIONES DE POLIMERIZACION DE LOS TERMOPLASTICOS EMPLEADOS.

Notación de Carothers (2:2)

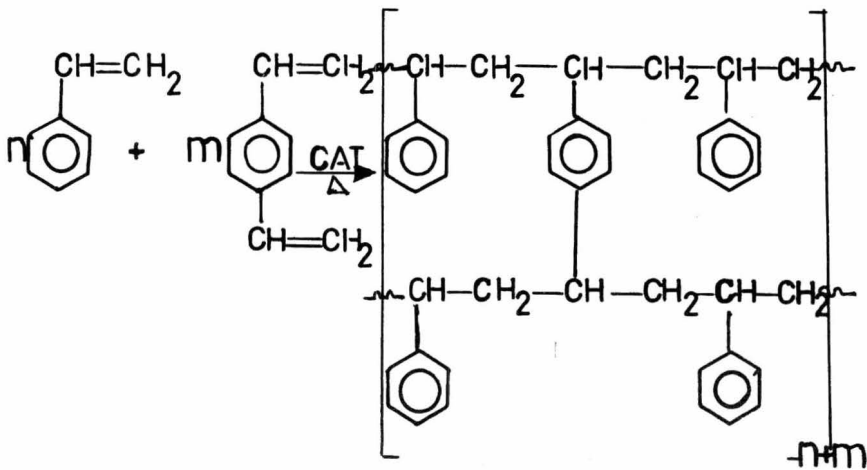
Monómero de Estireno:



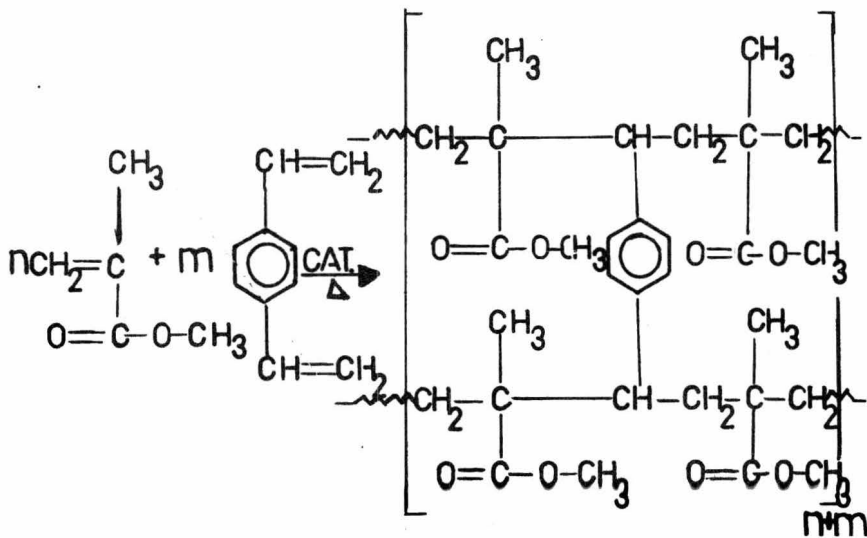
Monómero de Metacrilato de Metilo:



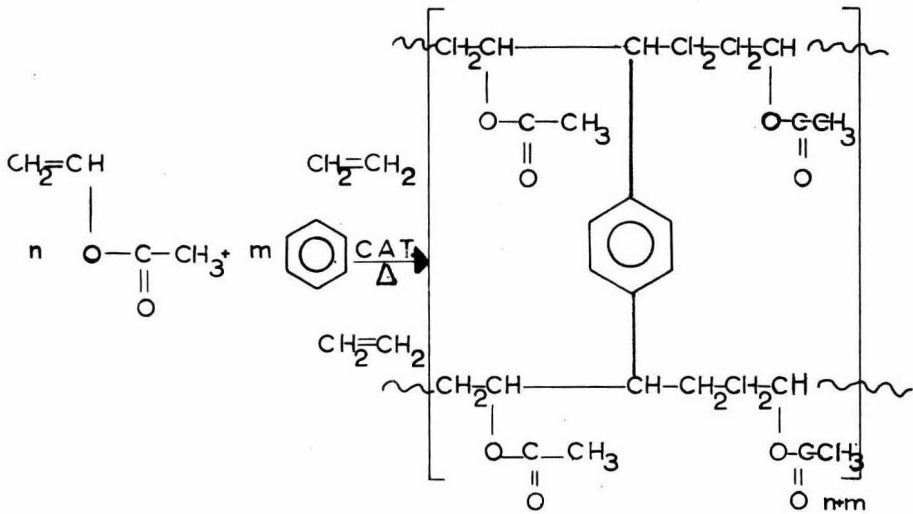
Monómero de estireno + divinil benceno:



Monómero de Metacrilato de metilo + divinil benceno



Monómero de Acetato de Vinilo + divinil benceno:



Las reacciones donde interviene el divinil benceno como consecuencia de las condiciones de reacción ya mencionadas, se efectúan por mecanismo de radicales libres.

C A P I T U L O V .
DISEÑO DE EXPERIMENTO.

Teniendo en cuenta el objetivo que se persigue en esta tesis, se trazó un plan de trabajo.

A) SELECCION DE LAS SUSTANCIAS QUIMICAS REQUERIDAS.

Se escogieron tres monómeros característicos de termoplásticos: estireno, metacrilato de metilo y acetato de vinilo. Se tomó como catalizador peróxido de benzoílo. Se seleccionó como monómero tetraarreactante divinil benceno.

B) PREPARACION DE POLIMEROS.

Para poder llegar a una conclusión veraz en la comparación de los resultados, se trató de trabajar en igualdad de condiciones con los monómeros normales y los tratados con divinil benceno, disminuyendo así el margen de error, ya que cualquier variación podría dar un resultado diferente.

C) RELACION MONOMERO-DIVINIL BENCENO.

Para obtener esta relación se tomó en cuenta el poder lograr una termofijación óptima con un mínimo de divinil benceno, para que prácticamente no se consideren copolímeros y, a su vez, que se tenga un método costeable.

D) SELECCION DE PRUEBAS QUIMICAS Y FISICAS.

Para demostrar si se logra la termofijación se llevaron a cabo una serie de pruebas para establecer las diferencias entre un termoplástico y un termofijo. La selección de estas pruebas — se hizo de tal manera que sus resultados permitieran verificar las diferencias y nuevas cualidades que se tenían como finalidad.

Las pruebas químicas que se seleccionaron fueron:

a) Resistencia a ácidos, bases y solventes orgánicos.

Los ácidos que se emplearon fueron ácido sulfúrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado, por ser los que se utilizan con más frecuencia y que pueden dar una idea del comportamiento de los polímeros ante los ácidos. Por las mismas razones se seleccionó una solución de NaOH saturada para determinar su comportamiento en presencia de bases. Se escogieron 4 solventes orgánicos, de acuerdo a su polaridad. Estos fueron: Hexano y Etanol, como menos polares, y Benceno y Cloroformo, como más polares.

b) Pruebas realizadas a la flama.

Son importantes para conocer los cambios de su comportamiento en la combustión.

c) Pirólisis en tubo de ensayo.

Esta prueba demuestra en forma clara la diferencia entre los dos tipos de plásticos.

PRUEBAS FISICAS.

a) Pruebas en Nujol.

Determinan la resistencia a la temperatura.

b) Pruebas de Resistencia a la
Compresión, Tensión y Flexión.

Estas tres pruebas dan un módulo de elasticidad que permite conocer el grado de suavidad de un polímero ante la aplicación de diferentes tipos de fuerza.

c) Pruebas de dureza.

Estas permiten completar la serie de pruebas que se consideró necesaria para tener una base que demuestra que se logró la reticulación y, por lo tanto, la termofijación que se pretendía - en este trabajo.

C A P I T U L O V I .
D E S C R I P C I O N D E
T E C N I C A S E M P L E A D A S .

TECNICA EMPLEADA PARA OBTENER LOS
POLIMEROS NORMALES Y TRATADOS CON
DIVINIL BENCENO A PARTIR DE SUS MONOMEROS.

Se empleó el método de Moldeo por Vaciado, siendo éste el más adecuado, ya que se puede partir del monómero para obtener el polímero.

A) METODO GENERAL PARA LA
OBTENCION DE LOS POLIMEROS NORMALES.

a) Los monómeros se destilaron, con el objeto de quitarles el catalizador inhibiente. Las temperaturas indicadas para cada caso, fueron:

Monómero	P. eb. o C
Estireno	145
Metacrilato de Metilo	101
Acetato de vinilo	72

b) Posteriormente se procedió a polimerizar usando peróxido de benzoílo como catalizador polimerizante, en las siguientes proporciones:

Monómero	(ml)	No. de moles	Catalizador	(mg)	No. de moles
Estireno	5	.0444	Peróxido de Benzoílo	25	.1106
Metacrilato de Metilo	5	.0468	Peróxido de Benzoílo	30	.1327
Acetato de vinilo	5	.0541	Peróxido de Benzoílo	30	.1327

c) Se procedió a calentar en nujol, manteniendo la temperatura, en todos los casos, entre 55-60°C para iniciar la reacción de polimerización, obteniéndose un prepolímero con consistencia de jarabe, el cual se vació en los moldes adecuados y llevándose éstos a una estufa a temperatura constante, siendo para cada monómero:

Monómero	T°C (Estufa)
Estireno	80
Metacrilato de metilo	70
Acetato de vinilo	60

Llevándose así a cabo la polimerización completa.

B) METODO GENERAL PARA LA OBTENCION DE LOS
POLIMEROS TRATADOS CON DIVINIL BENCENO.

El divinil benceno se lava, con el fin de quitarle el inhibidor (hidroquinona), con una solución de NaOH al 5% en una proporción de 1:2. Esta operación se repite dos veces con agua destilada en proporción de 1:1. Los lavados se efectuaron en un embudo de separación. Al divinil benceno, una vez separado, se le agrega cloruro de calcio, dejándose reposar durante 20 minutos para secarlo completamente, eliminándose los residuos de agua que pudieran inhibir la polimerización.

Los monómeros ya destilados se mezclan con el divinil benceno obtenido, en una proporción de 10 ml de divinil benceno por 90 ml de monómero, teniéndose la siguiente relación: se combinan 0.0676 moles de divinil benceno con 0.8004 moles de estireno, 0.0676 moles de divinil benceno con 0.8424 moles de metacrilato de metilo y 0.0676 moles de divinil benceno con 0.975 moles de acetato de vinilo.

La fracción Mol de los diferentes monómeros y del divinil benceno, en cada caso, son:

FRACCIONES MOL

	monómero	divinil benceno
Estireno	0.9921	0.0778
Metacrilato de Metilo	0.5547	0.0445
Acetato de vinilo	0.975	0.0648

La polimerización se llevó a cabo de igual forma que en el método de obtención de los polímeros normales.

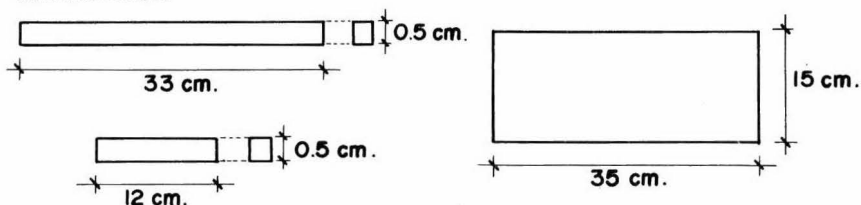
La proporción de divinil benceno fue la más apropiada para los fines requeridos, ya que, si se utiliza una mayor cantidad de divinil benceno los polímeros así obtenidos son totalmente termofijos y, por lo tanto, completamente frágiles, haciendo imposible la fabricación de probetas.

C) DESCRIPCION DE LOS MOLDES UTILIZADOS PARA OBTENER LAS PIEZAS REQUERIDAS PARA CADA POLIMERO.

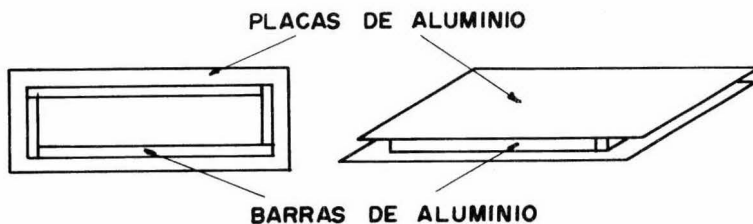
Para realizar las diferentes pruebas químicas y físicas — de los polímeros se requieren probetas específicas, las cuales se trabajaron a partir de placas y barras.

a) Para obtener las placas de 30 cm x 10 cm x 0.5 cm, se emplearon moldes de la siguiente forma:

Se usaron láminas y barras de aluminio de las siguientes dimensiones:



A las láminas y barras se les dieron tres baños con alcohol polivinílico que sirve como desmoldante. Se pegaron dos placas paralelamente, teniendo de por medio las barras, dejándose — aproximadamente 1 cm en cada orilla de las láminas, como se describe en el siguiente esquema:



En cada caso el jarabe se vació en el molde por uno de sus extremos, sellándose perfectamente y llevándose a la estufa. Se dejó aproximadamente 24 horas para que se llevara a cabo la polimerización completa. La temperatura se disminuyó paulatinamente hasta la temperatura ambiente, se sacó el molde, despegándolo, y habiendo obtenido así cada placa, a partir de las cuales se obtuvieron probetas para ciertas pruebas.

b) Las barras se obtuvieron vaciando el jarabe en tubos de ensayo, sellándolos, y se procedió de igual forma que con las placas, con el objeto de que el proceso de polimerización fuese el mismo para todas las probetas. A partir de estas barras se obtuvieron las probetas para el resto de las pruebas.

T E R C E R A P A R T E .
PRUEBAS QUIMICAS Y FISICAS
REALIZADAS CON LOS
POLIMEROS NORMALES
Y LOS TRATADOS
CON DIVINIL BENCENO.

C A P I T U L O V I I .
P R U E B A S Q U I M I C A S .

A) PRUEBAS DE RESISTENCIA A ACIDOS,
BASES Y SOLVENTES ORGANICOS.

Se tomaron muestras de cada polímero y se pusieron por separado en tubos de ensayo conteniendo las siguientes sustancias: ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, sosa, el monómero de cada polímero, hexano, etanol, benceno y cloroformo. Se tuvieron en estas condiciones un promedio de 170 horas. Los resultados fueron los siguientes:

Reactivo	Poliestireno normal	Poliestireno tratado con Divinil Benceno
Acido Clorhídrico	No hay ataque	No hay ataque
Acido Sulfúrico	Muy poco ataque	No hay ataque
Sosa	No hay ataque	No hay ataque
Monómero de Estireno	Soluble	Muy poco soluble
Hexano	Insoluble	Insoluble
Etanol	Insoluble	Insoluble
Benceno	Soluble	Muy poco soluble
Cloroformo	Soluble	Muy poco soluble

Reactivo	Polimetacrilato de Metilo normal	Polimetacrilato de Metilo tratado con Divinil Benceno
Acido Clorhídrico	Poco ataque	Poco ataque, tomando color amarillo claro
Acido Sulfúrico	Se degrada	Se degrada, tomando color café rojizo
Sosa	Poco ataque	No hay ataque
Monómero de Metacrilato de Metilo	Soluble	Poco soluble
Hexano	Insoluble	Insoluble
Etanol	Insoluble	Insoluble
Benceno	Soluble	Poco soluble
Cloroformo	Soluble	Poco soluble

Reactivo	Acetato de Polivinilo normal	Acetato de Polivinilo tratado con Divinil Benceno
Acido Clorhídrico	Poco ataque	No hay ataque
Acido Sulfúrico	Se degrada	Se degrada, tomando color negro
Sosa	Se degrada	No hay ataque
Monómero de Acetato de Vinilo	Soluble	Muy poco soluble
Hexano	Insoluble	Insoluble
Etanol	Soluble	Muy poco soluble
Benceno	Soluble	Muy poco soluble
Cloroformo	Soluble	Muy poco soluble

B) PRUEBAS REALIZADAS A LA FLAMA.

Se tomó una muestra de cada polímero, se acercó a la parte interior de la llama reductora, o sea la parte inferior de la flama de un mechero, para ver en el resto de la misma el color y olor obtenidos y los humos que se producen. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

POLIESTIRENO

NORMAL	TRATADO CON DIVINIL BENCENO
No Decrepita	Decrepita
Flama Naranja (Continúa al retirar del mechero)	Flama Naranja (Continúa al retirar del mechero)
Humos negros, al apagarse blancos	Chisporrotea violentamente, humos negros, al apagarse blancos
Olor a flores	Olor a flores

POLIMETACRILATO DE METILO

NORMAL	TRATADO CON DIVINIL BENCENO
Decrepita	Decrepita
Flama predominantemente azul, a veces con cúspide blanca, la cual continúa al retirar del mechero	Flama roja con base azul, la cual continúa al retirar del mechero
No hay humos, al apagarse humos blancos	Humos blancos que continúan al apagarse
Olor a frutas	Olor a frutas, irritante

ACETATO DE POLIVINILO

NORMAL	TRATADO CON DIVINIL BENCENO
Decrepita	No Decrepita
Flama amarilla que continúa al retirar del mechero	Flama naranja que continúa al retirar del mechero
Humos blancos, al apagarse negros	Humos blancos que continúan al apagarse
Olor a vinagre, irritante	Olor a vinagre, irritante

C) PIROLISIS EN TUBO DE ENSAYO.

En el fondo de un tubo de ensayo se colocó una porción pe-

queña de muestra, el tubo se sostiene con pinzas, inclinado 45° y se coloca en la parte oxidante de la llama de un mechero, de tal modo que la flama pegue directamente en el fondo del tubo. Se observan los cambios que la muestra va sufriendo, a medida que se sobrecalienta, así como los vapores que se desprenden en el trayecto frío del tubo, en cuyos labios se colocan previamente un papel tornasol rosa y otro azul, humedecidos con agua destilada, observándose la reacción ácida o alcalina de los vapores.

POLIESTIRENO

NORMAL	TRATADO CON DIVINIL BENCENO
Funde, decrepita, forma espuma cuando descompone	No funde, sino carboniza
Destila con vapores blancos, fácilmente inflamables que arden con llama luminosa humeante. Ácidos.	Da vapores blancos y no inflamables. Ácidos.
Reblandece y se pone pegajoso	No reblandece

POLIMETACRILATO DE METILO

NORMAL	TRATADO CON DIVINIL BENCENO
Funde, decrepita	No funde, sino carboniza
Vapores blancos, ácidos, inflamables	Vapores blancos, ácidos, no inflamables
Reblandece, pero no se adhiere	no reblandece

ACETATO DE POLIVINILO

NORMAL	TRATADO CON DIVINIL BENCENO
Funde, decrepita	No funde, sino carboniza
Vapores amarillos, ácidos y no inflamables	Vapores blancos, ácidos y no inflamables

C A P I T U L O V I I I .

P R U E B A S E N N U J O L .

A un vaso de precipitado conteniendo nujol a una temperatura de aproximadamente 70°C se agregaron al mismo tiempo una muestra del polímero normal y otra del tratado con divinil benceno. Se procedió a calentar en forma constante, durante 5 minutos, al cabo de los cuales se sacaron las muestras, observándose el efecto producido en cada una de ellas y anotándose la temperatura a la que se llegó. En los tres casos la temperatura fue de 180°C.- Los resultados fueron los siguientes:

P O L I E S T I R E N O

N O R M A L	T R A T A D O C O N D I V I N I L B E N C E N O
Reblandece, pierde totalmente su forma y conserva su color original	Reblandecimiento mínimo, no pierde su forma original y toma un color amarillento

P O L I M E T A C R I L A T O D E M E T I L O

N O R M A L	T R A T A D O C O N D I V I N I L B E N C E N O
Reblandece, pierde totalmente su forma y conserva su color original	No reblandece, conserva su color y forma originales

A C E T A T O D E P O L I V I N I L O

N O R M A L	T R A T A D O C O N D I V I N I L B E N C E N O
Reblandece, pierde totalmente su forma y conserva su color original	No reblandece, conserva su forma original y toma un color amarillo oscuro

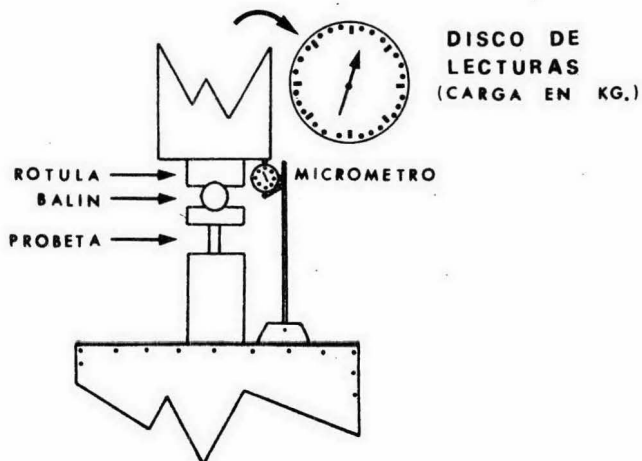
C A P I T U L O I X.

PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION.

A) DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

Para este tipo de prueba se necesitaron probetas en forma de cilindros, las cuales se obtuvieron torneando las barras. A estas probetas se les toma el diámetro a diferentes alturas, sacándose un promedio lineal y se les mide la altura, para obtener sus áreas.

La probeta se colocó en la Máquina Universal (Foto No. 1), la cual se habilitó con un micrómetro y una rótula como se indica en el dibujo.



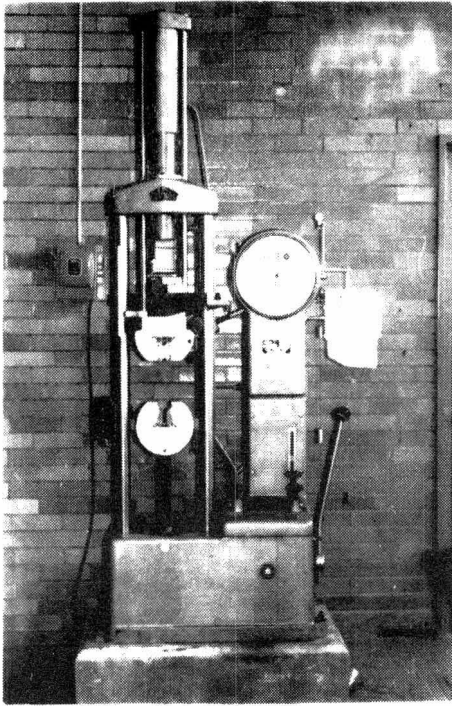


Foto No. 1

El micrómetro indica la deformación que va sufriendo la probeta al aplicarse cargas sucesivas en forma constante hasta llegar a la carga máxima que soporta la probeta. La primera lectura en el micrómetro se lee sin carga, tomando ésta como cero. La rótula sirve para obtener una carga puntual.

En este caso la Máquina Universal funciona de la siguiente manera: como su nombre lo indica, la prueba de resistencia a la compresión se basa en la acción de una fuerza, o sea la aplicación de una carga en forma constante que comprime la muestra. Estas cargas se miden en kilogramos, tomándose los datos en el disco de lecturas en la escala correspondiente para estas pruebas.

De los datos obtenidos en cada prueba se procede a hacer las operaciones correspondientes que dan las tablas para graficar. Estos datos se encuentran en el Apéndice I.

La tabulación de la gráfica está dada en Esfuerzo σ contra Deformación ϵ .

Para obtener el Esfuerzo σ se toma la carga P en Kgs y el área A de la probeta. P es la carga aplicada a la muestra dada en el disco de lecturas de la Máquina Universal. El área se obtiene con la fórmula siguiente:

$$A = d^2 \times \frac{\pi}{4}, \text{ en donde } d = \text{diámetro de cada probeta.}$$

$$\frac{\pi}{4} = 0.785$$

Por lo tanto, σ se obtiene:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

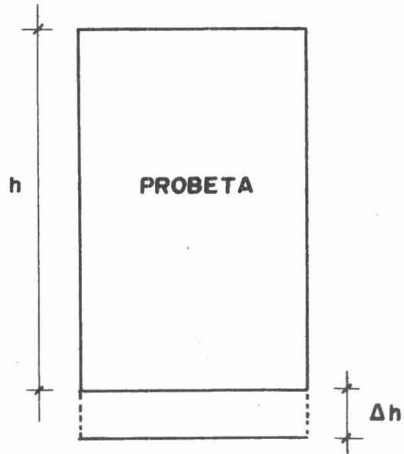
Para obtener la Deformación ϵ se divide la diferencia entre la altura inicial y final de la probeta entre carga y carga dada por Δh entre la altura original de la probeta H :

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h}$$

Δh y h se representan en el siguiente esquema (p. 37).

Los datos y tabulaciones de esta prueba se encuentran en -

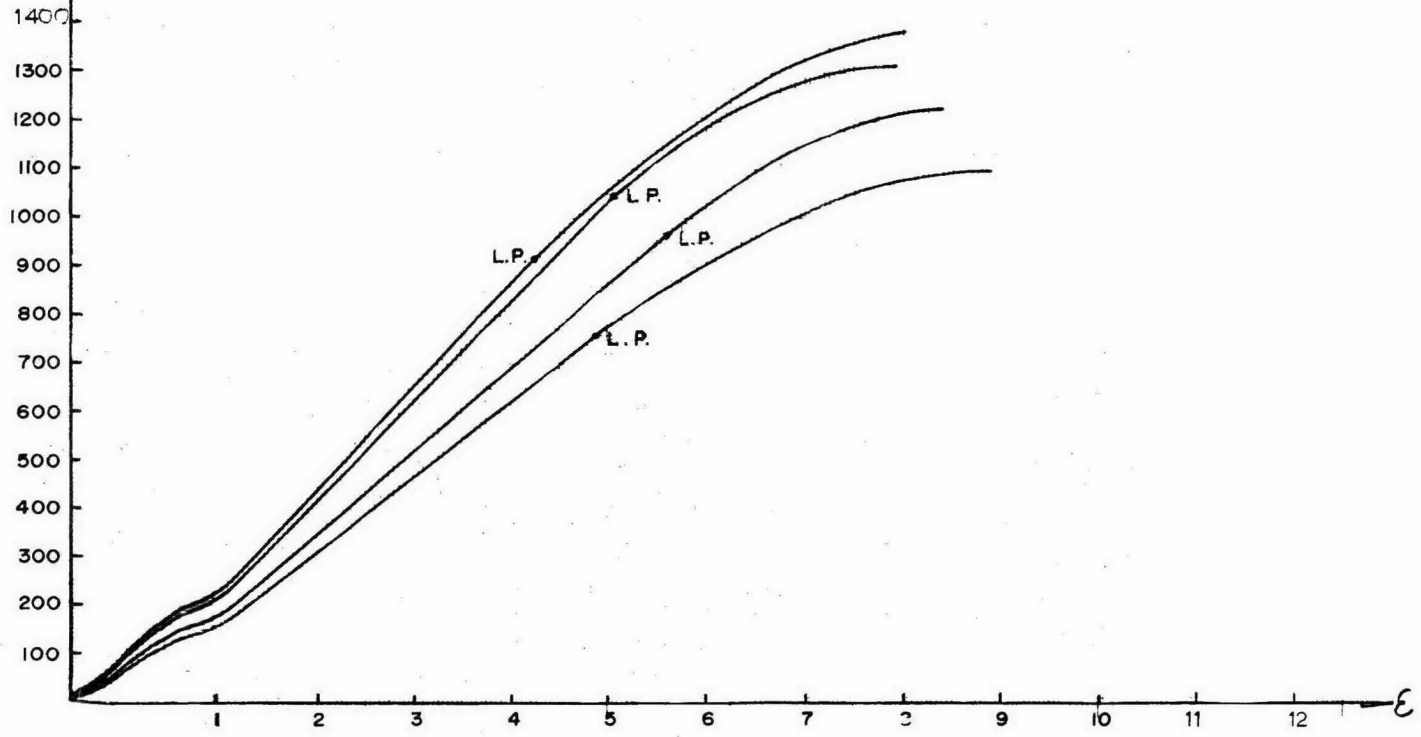
el Apéndice I.



B) GRAFICAS DE RESISTENCIA
A LA COMPRESION.

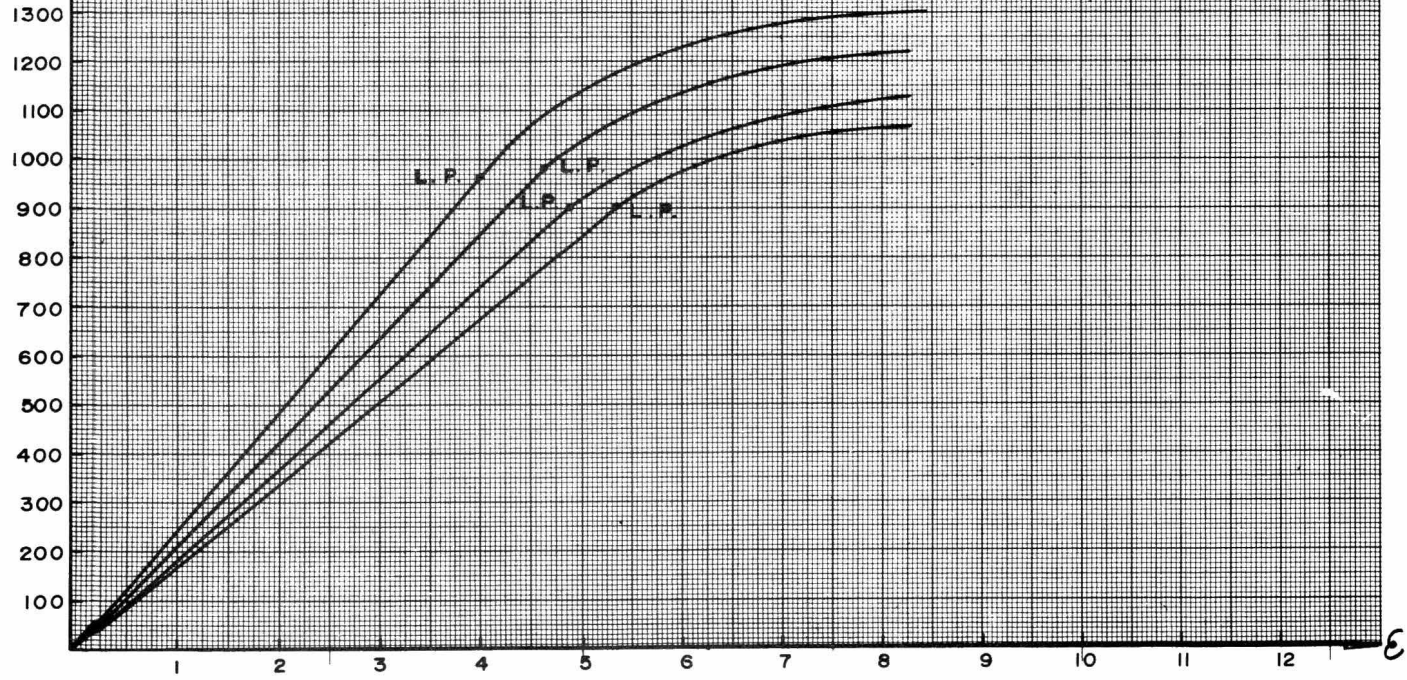
σ
Kg/cm²

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIESTIRENO NORMAL



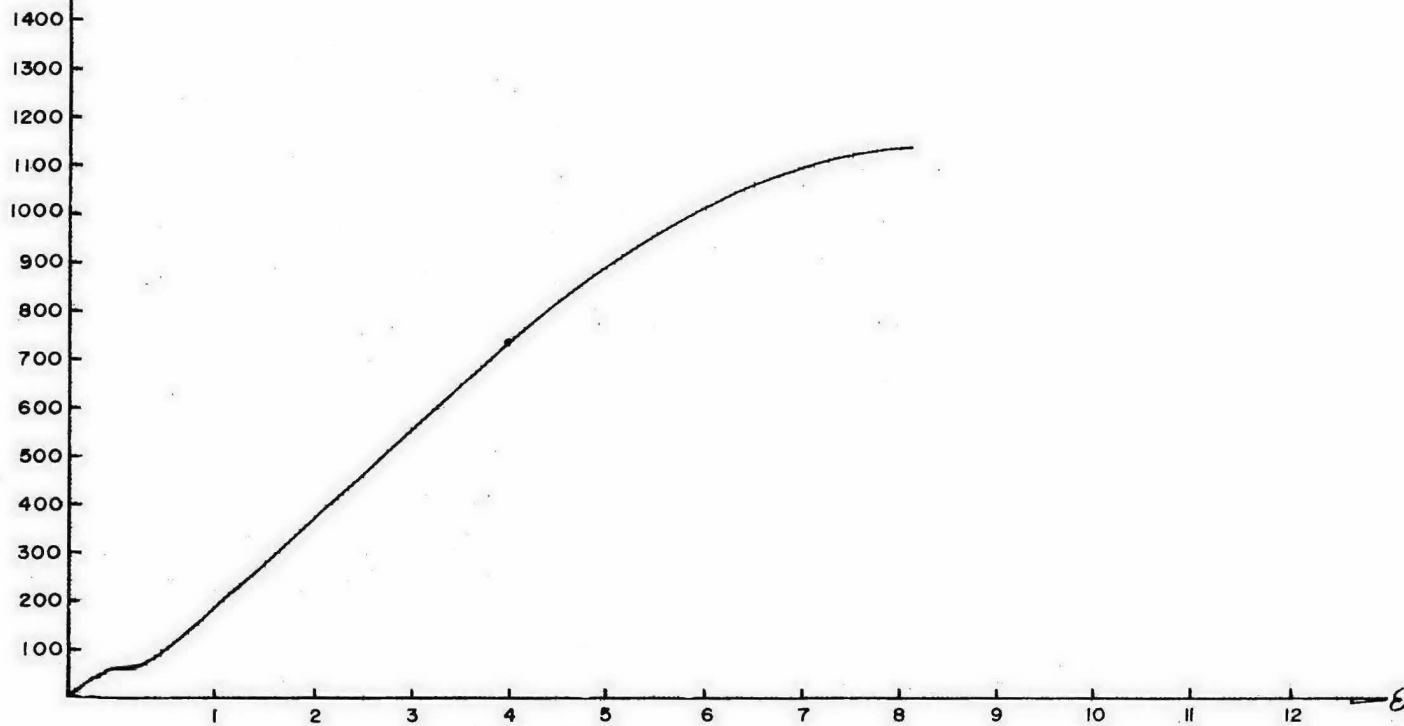
Kg/cm^2

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIESTIRENO TRATADO CON DIVINIL BENCENO



Kg/cm²

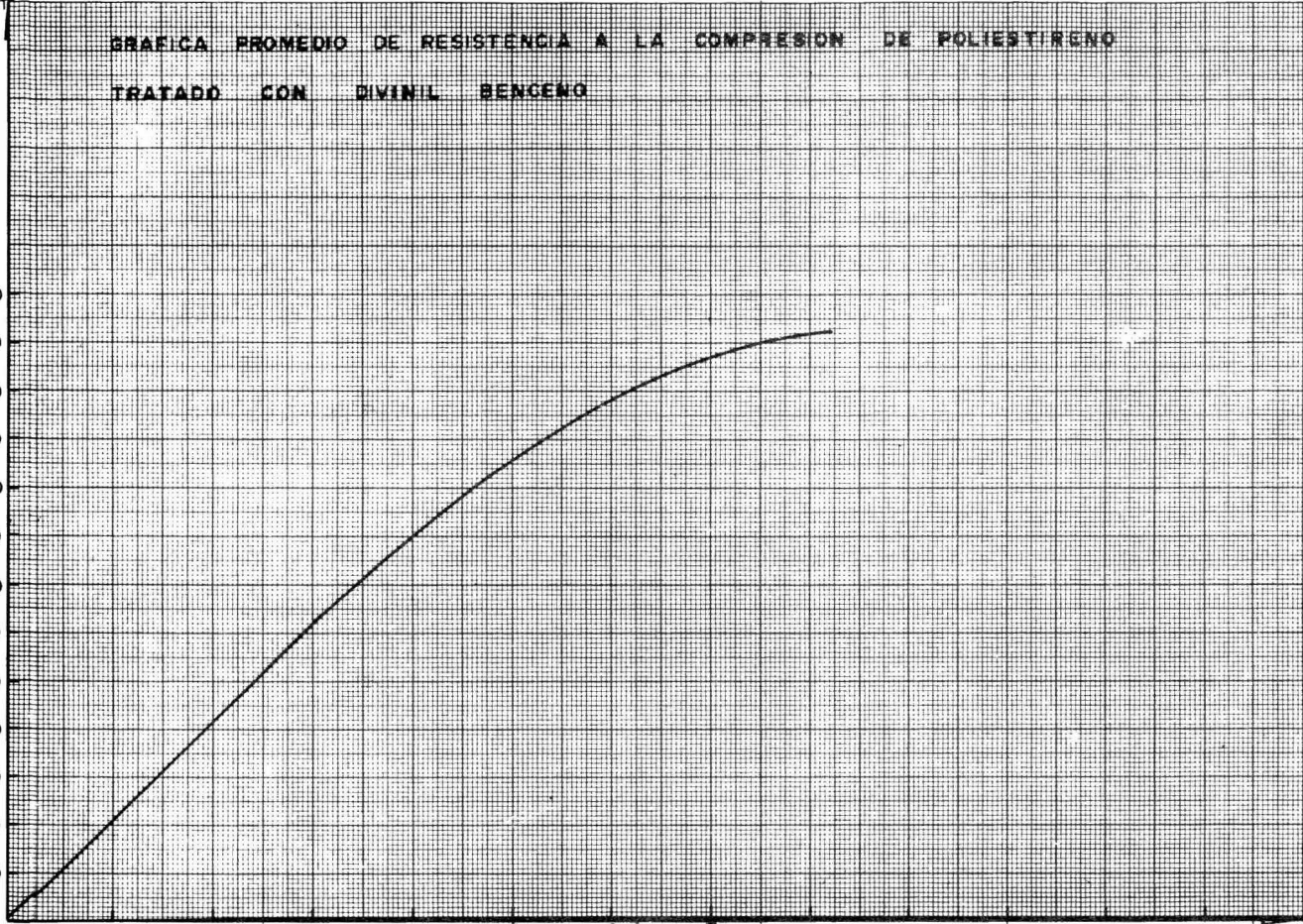
GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIESTIRENO NORMAL



Kg/cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIESTIRENO
TRATADO CON DIVINIL BENGENO

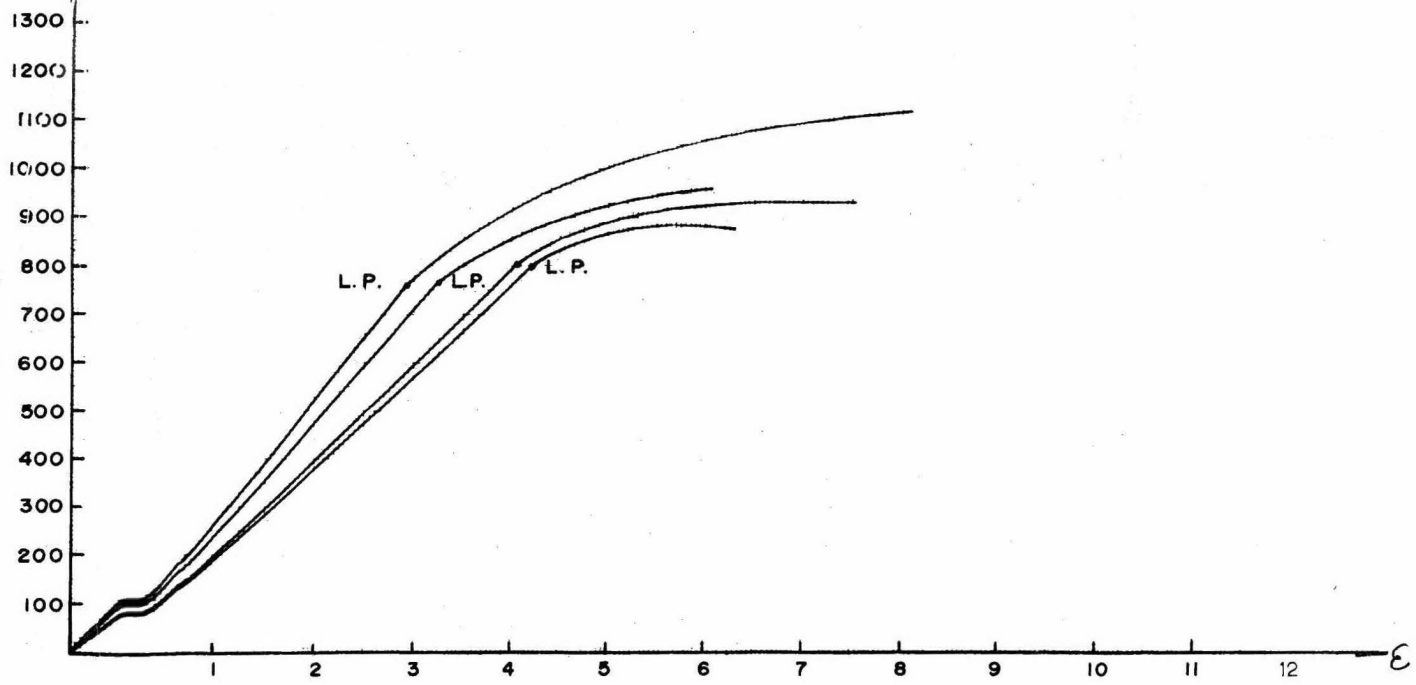
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100



ε

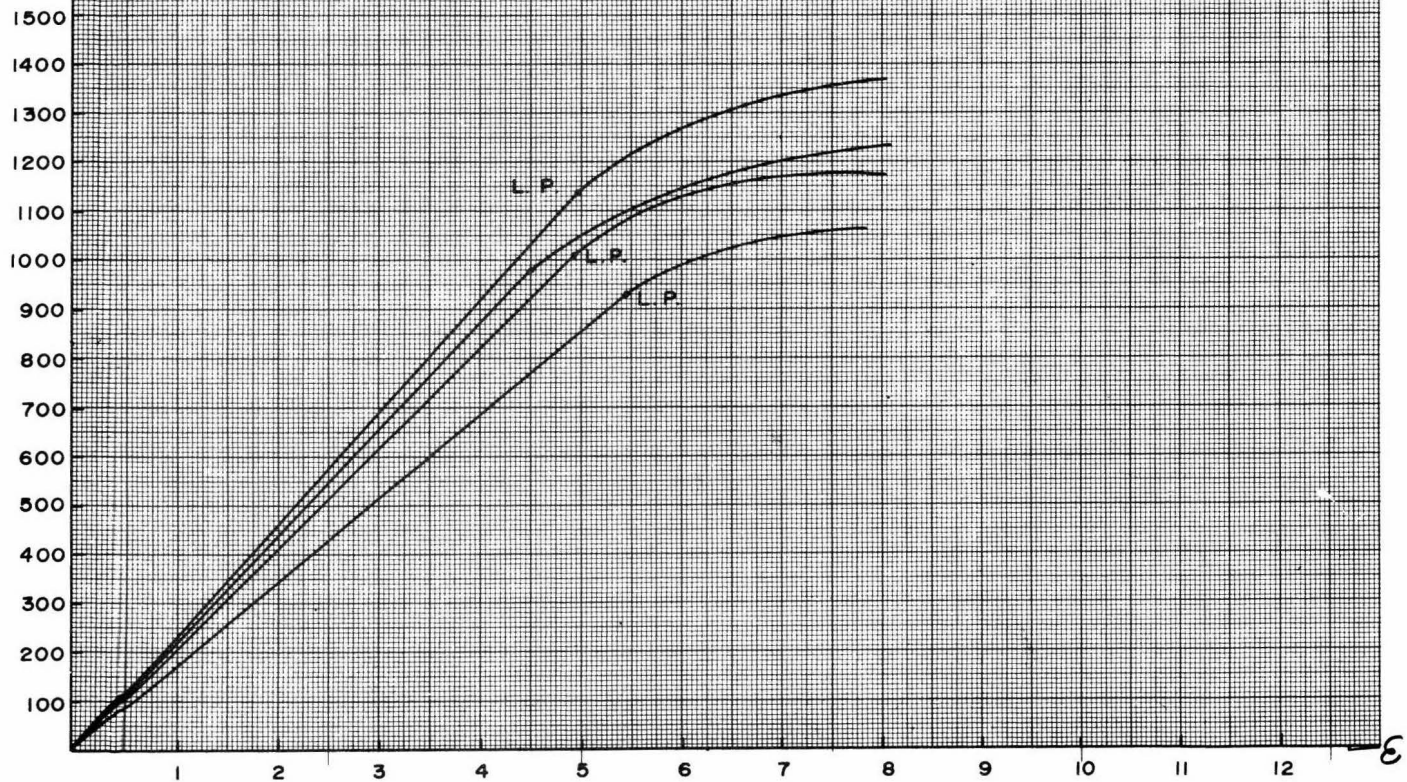
Kg/cm²

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIMETACRILATO DE METILO NORMAL



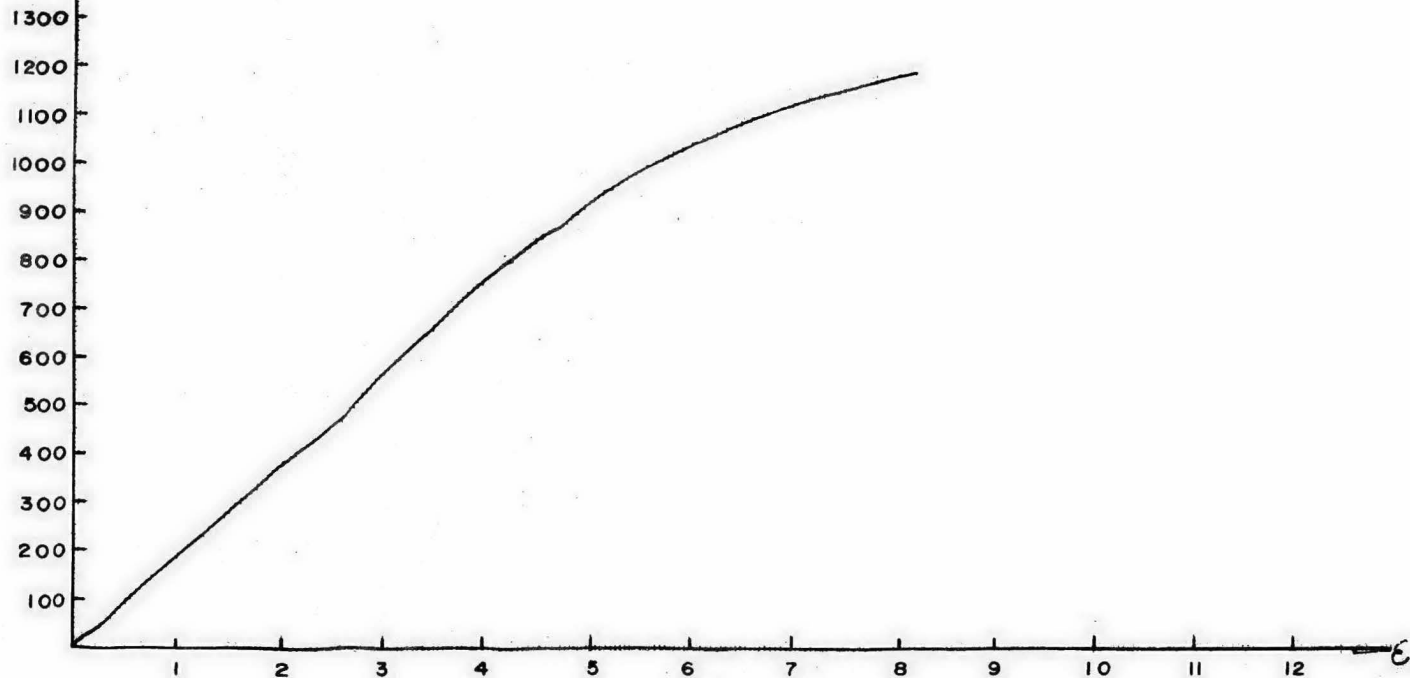
kg/cm^2 σ

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIMETACRILATO DE METILO
TRATADO CON DIVINIL BENCENO



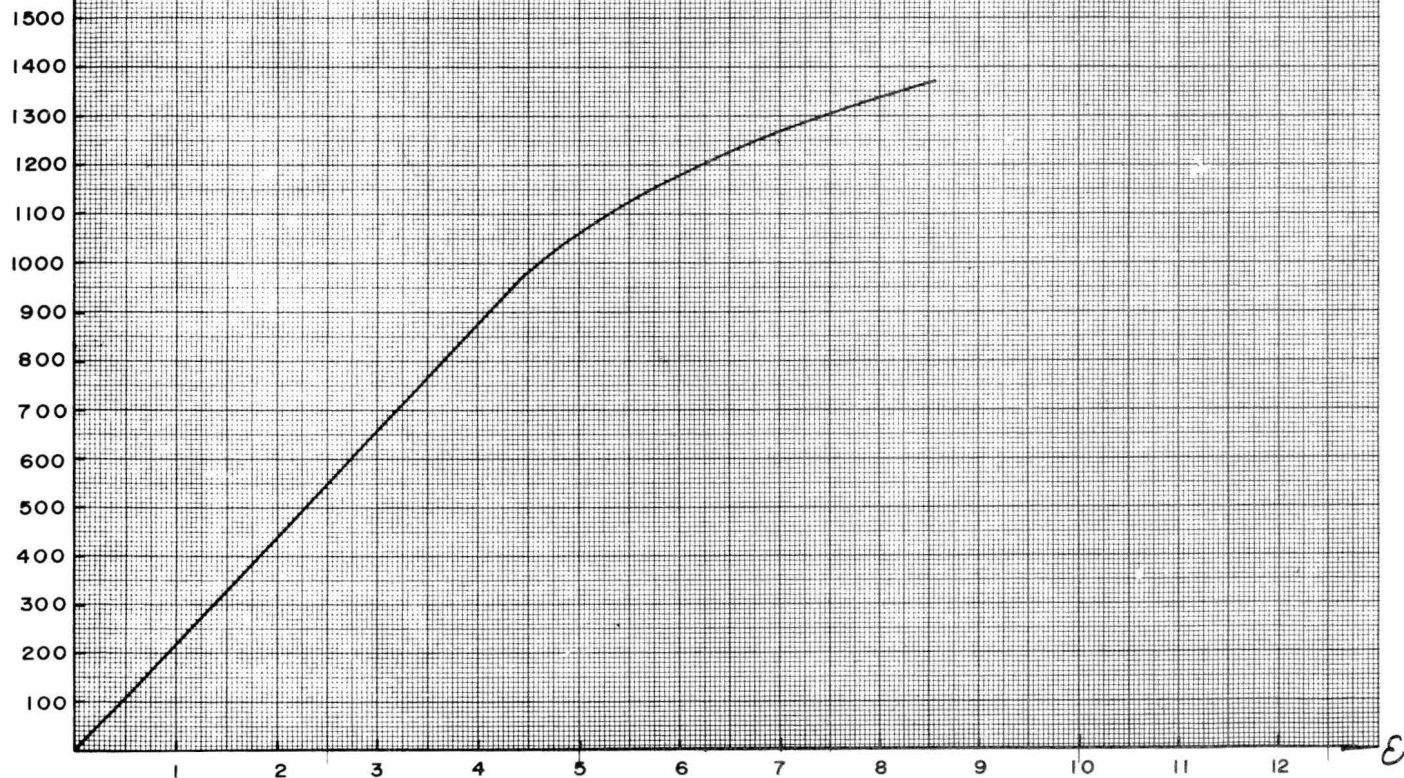
Kg/cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIMETACRILATO DE METILO NORMAL

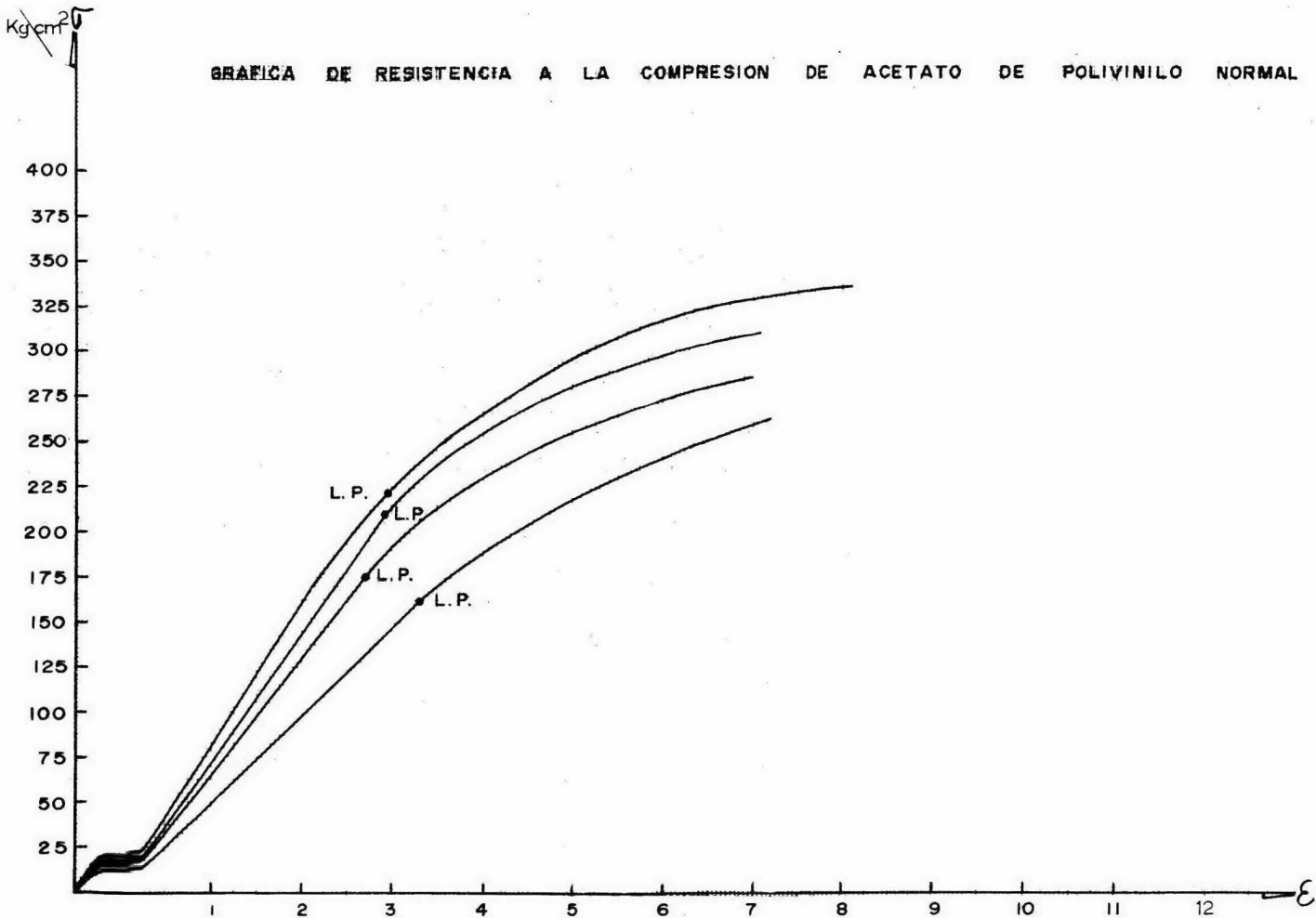


Kg/cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE POLIMETACRILATO DE METILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO



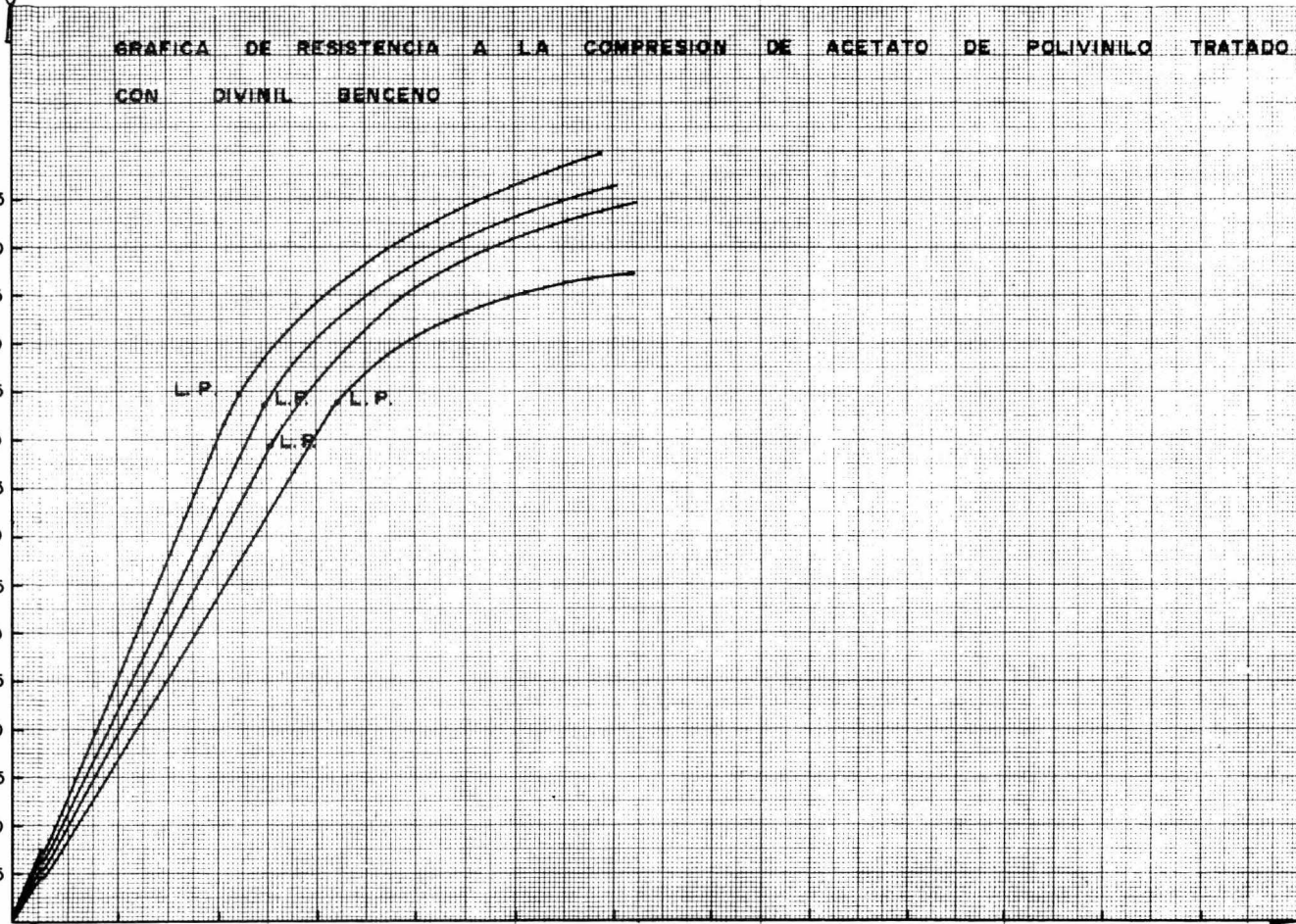
GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ACETATO DE POLIVINILO NORMAL



Kg/cm²

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ACETATO DE POLIVINILO TRATADO
CON DIVINIL BENCENO

375
350
325
300
275
250
225
200
175
150
125
100
75
50
25

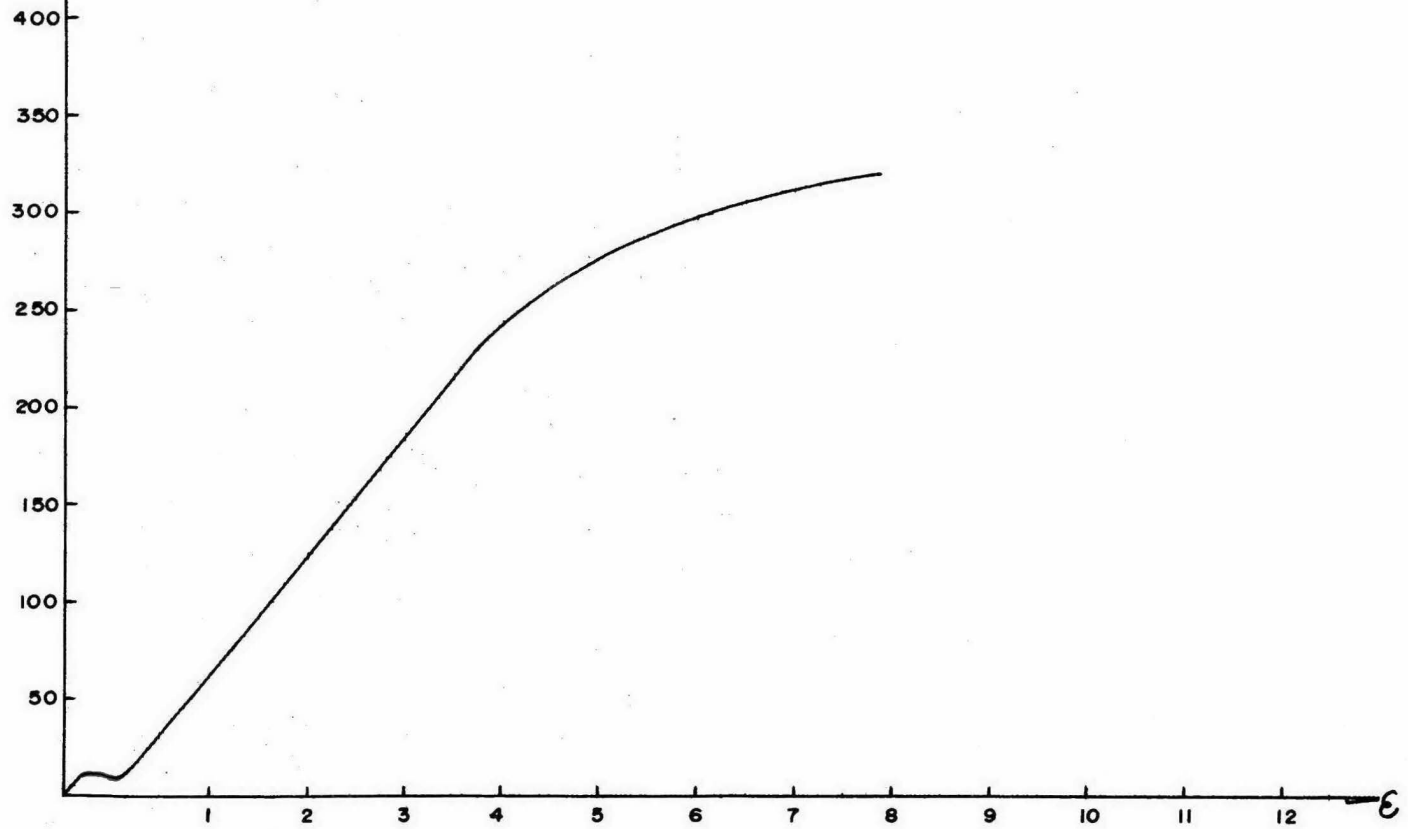


L.P. L.P. L.P. L.P.

ε

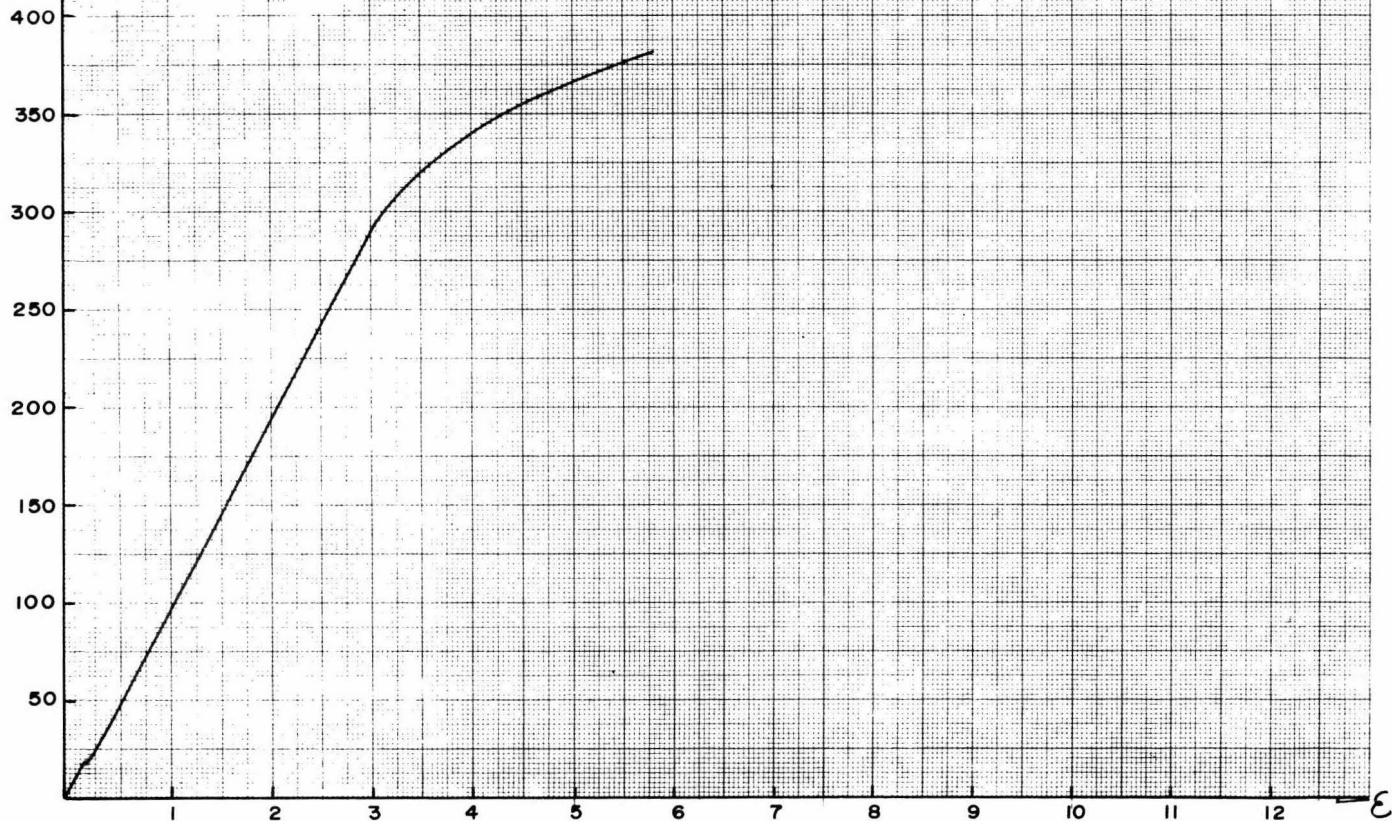
Kg/cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ACETATO DE POLIVINILO NORMAL



Kg/cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ACETATO
DE POLIVINILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO



C) MODULO DE ELASTICIDAD.

Es el trabajo realizado en una área de unidad de material cuando se aumenta una fuerza simple gradualmente desde 0 hasta un valor tal que alcance el Límite de Proporcionalidad del material. Así pues, la elasticidad de un material es la capacidad de absorber energía en la zona elástica. El módulo de Elasticidad es la medida de rigidez de un material, por lo tanto, a mayor valor de E, mayor será la rigidez del material.

Teniéndose los Módulos de Elasticidad de los diferentes materiales se puede hacer una comparación entre el comportamiento de los normales con el de los tratados con divinilbenceno.

El Módulo de Elasticidad se va a obtener para las pruebas de Resistencia a la Compresión, a la Tensión y a la Flexión.

D) MODULO DE ELASTICIDAD PARA LAS PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Y A LA TENSION.

El Módulo de Elasticidad denominado por E está dado por la relación del Esfuerzo σ a la Deformación Unitaria, ϵ , y sus unidades serán las mismas que las del Esfuerzo σ , ya que la deformación Unitaria es un número abstracto (relación entre dos longitudes):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ en Kg/cm}^2$$

En una curva de Esfuerzo σ - Deformación Unitaria ϵ , E representa la pendiente en la zona anterior al Límite de Proporcionalidad.

E) CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN COMPRESION.

Para cada prueba se sacó un promedio del Módulo de Elasticidad considerando tres puntos de cada curva que estuvieran dentro de la zona central anterior al Límite de Proporcionalidad. De estos cuatro módulos se sacó un promedio final que viene a dar el

Módulo de Elasticidad en Compresión para cada material. Estos cálculos se encuentran en el Apéndice I.

MODULOS DE ELASTICIDAD EN COMPRESION
E en Kg/cm²

	Normal	Tratado con Divinil Benceno	% de Variación
Poliestireno	14,948	15,628	+ 4.5%
Polimetacrilato de Metilo	17,760	19,363	+ 9.0%
Acetato de Polivinilo	7,300	10,647	+ 45 %

C A P I T U L O X.
 PRUEBAS DE RESISTENCIA
 A L A T E N S I O N .

A) DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

Para este tipo de prueba se necesitaron probetas como se muestra en la Figura 1, con el centro más angosto que los extremos, los cuales llevan una perforación.

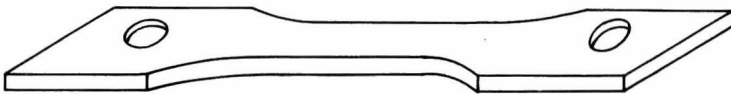


Figura 1

Estas probetas se obtuvieron a partir de placas. Basándose en una probeta modelo, se cortaron placas en una sierra mecánica, esmerilándolas y puliéndolas después, con el objeto de tener superficies uniformes. A estas probetas se les midieron el ancho y el espesor en diferentes puntos, sacándose un promedio (Figura 2):

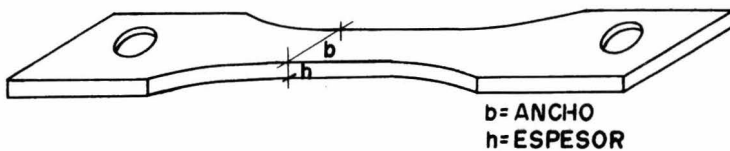


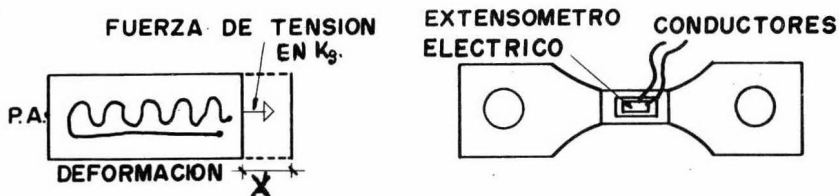
Figura 2

En el centro de la probeta se colocó un extensómetro eléctrico o "strain gage", el cual funciona de la siguiente manera:

Los extensómetros eléctricos conocidos como galgas o -- celdas de deformación SR4, son instrumentos que se adhieren a la superficie de un elemento estructural o a cualquier espécimen sujeta a un estado de esfuerzos para conocer las deformaciones unitarias de dicho cuerpo.

El principio de operación es el siguiente: un filamento de sección constante, fabricado con aleaciones metálicas o cristales de características especiales, solo o montado sobre una base de algún material aislante, al quedar adherido a la superficie de una probeta sufre las mismas deformaciones que ésta y se produce un cambio en su resistencia eléctrica; dicho cambio medido con el puente de Wheatstone y corregido por un factor de calibración propio de cada extensómetro se traduce directamente en una lectura en términos de deformación unitaria en el puente indicador, el cual recibe la señal eléctrica del extensómetro mediante conductores comunes.

En las siguientes figuras se muestra la colocación y el esquema de un extensómetro eléctrico:



La probeta se colocó en la Máquina Universal funcionando ésta (Figura 3) de la siguiente manera: como su nombre lo indica, la prueba de resistencia a la Tensión se basa en la aplicación de una fuerza en forma constante, que tira de un extremo de la probeta, estando el otro fijo, produciéndose así la deformación.

De los datos obtenidos en cada prueba, los cuales se encuentran en el Apéndice 2, se procede a hacer las operaciones correspondientes que dan las tablas para graficar.

La tabulación de la gráfica está dada por Esfuerzo σ con-

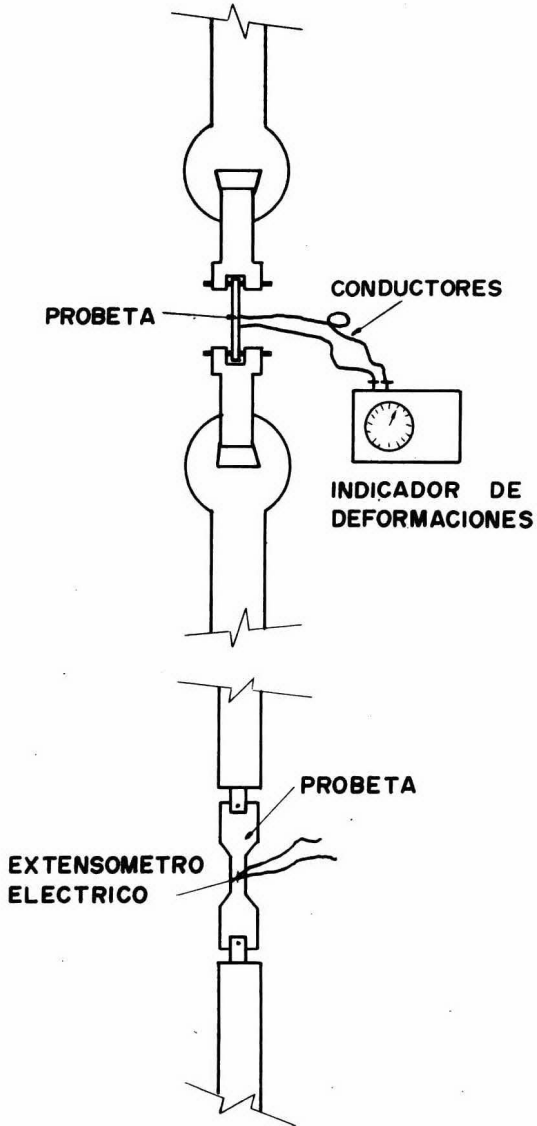


Figura 3

tra Deformación ϵ .

Para obtener el Esfuerzo σ se toma la carga P en Kgs. y el área A de la probeta. P es la fuerza de tensión dada en el disco de Lecturas de la Máquina Universal. El Area se obtiene con la fórmula siguiente:

$$A = \text{Espesor} \times \text{Ancho}$$

$$\text{Espesor} = \text{Promedio de espesores} \quad (\text{el mismo para todas las pruebas})$$

$$\text{Ancho} = \text{Promedio de anchos} \quad (\text{el mismo para todas las pruebas})$$

Por lo tanto, σ se obtiene:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

En las tabulaciones de las gráficas ϵ se obtiene sacando la diferencia entre las deformaciones unitarias inicial y final de la probeta entre carga y carga.

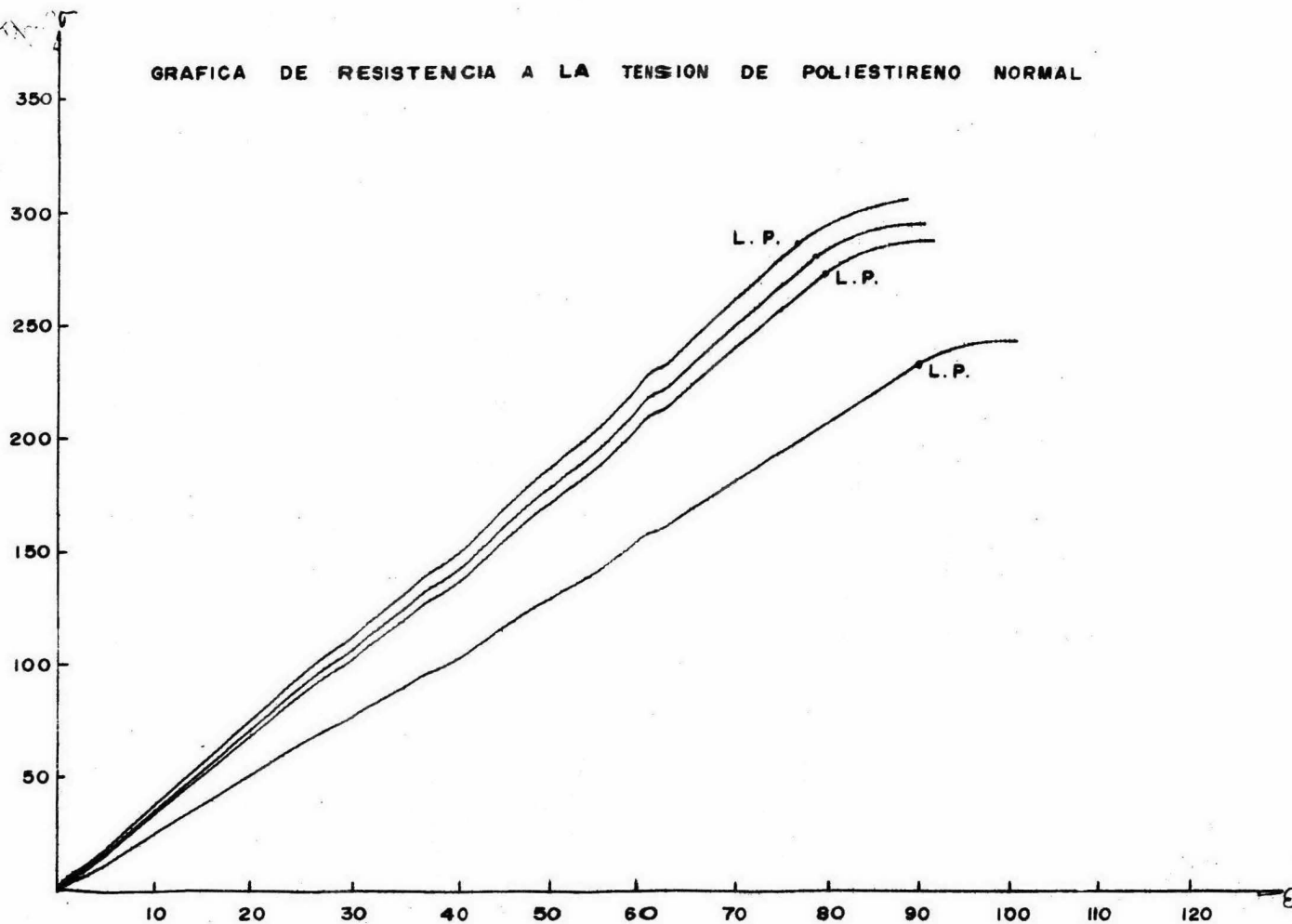
Las tabulaciones se encuentran en el Apéndice 2.

NOTA: En todos los casos el Espesor fue de 0.521 cm. y el ancho de 1.171 cm. El área de las probetas fue de:

$$A = 0.521 \times 1.171 = 0.61 \text{ cm}^2$$

B) GRAFICAS DE RESISTENCIA
A LA TENSION.

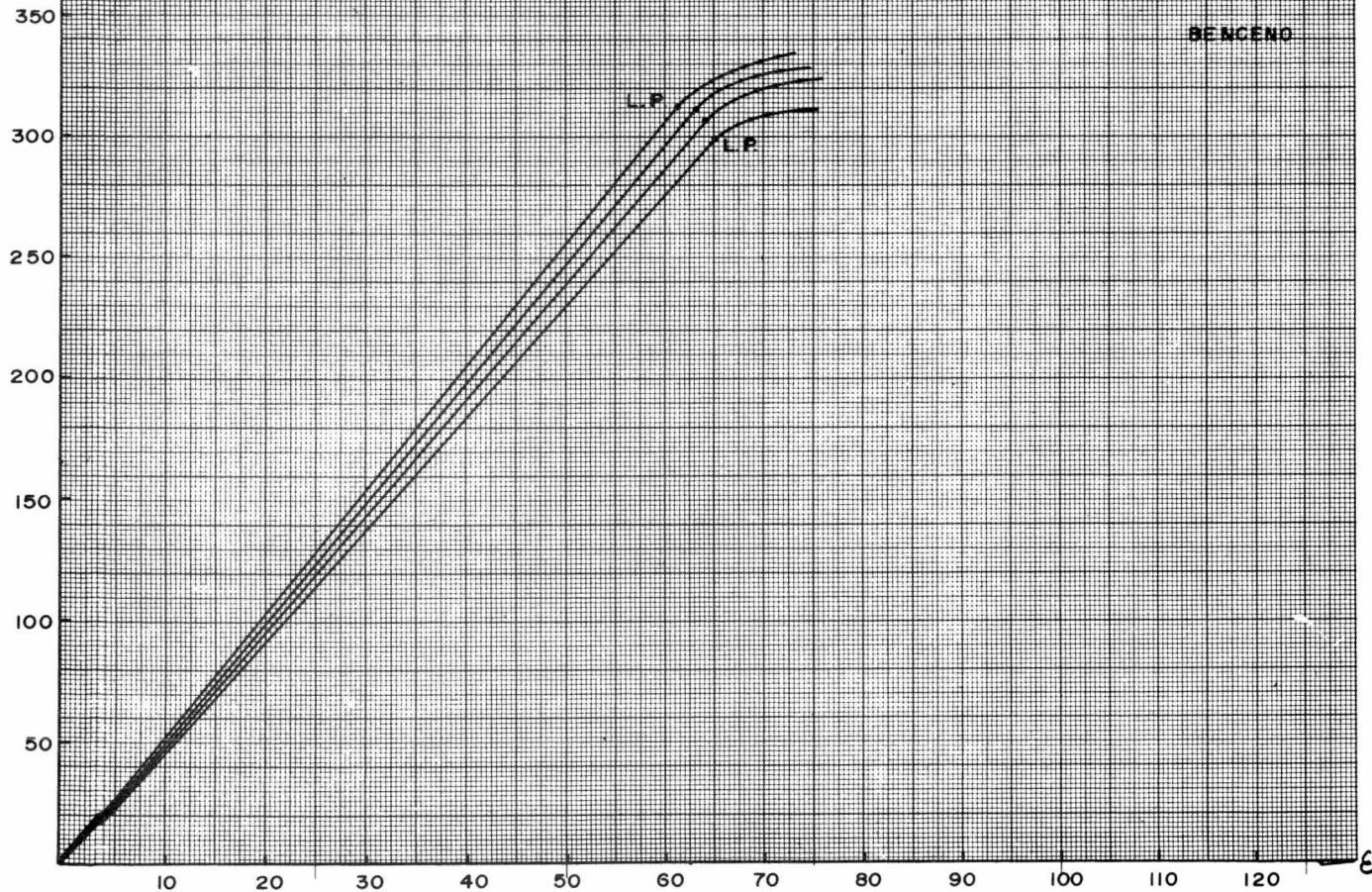
GRAFICA DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIESTIRENO NORMAL



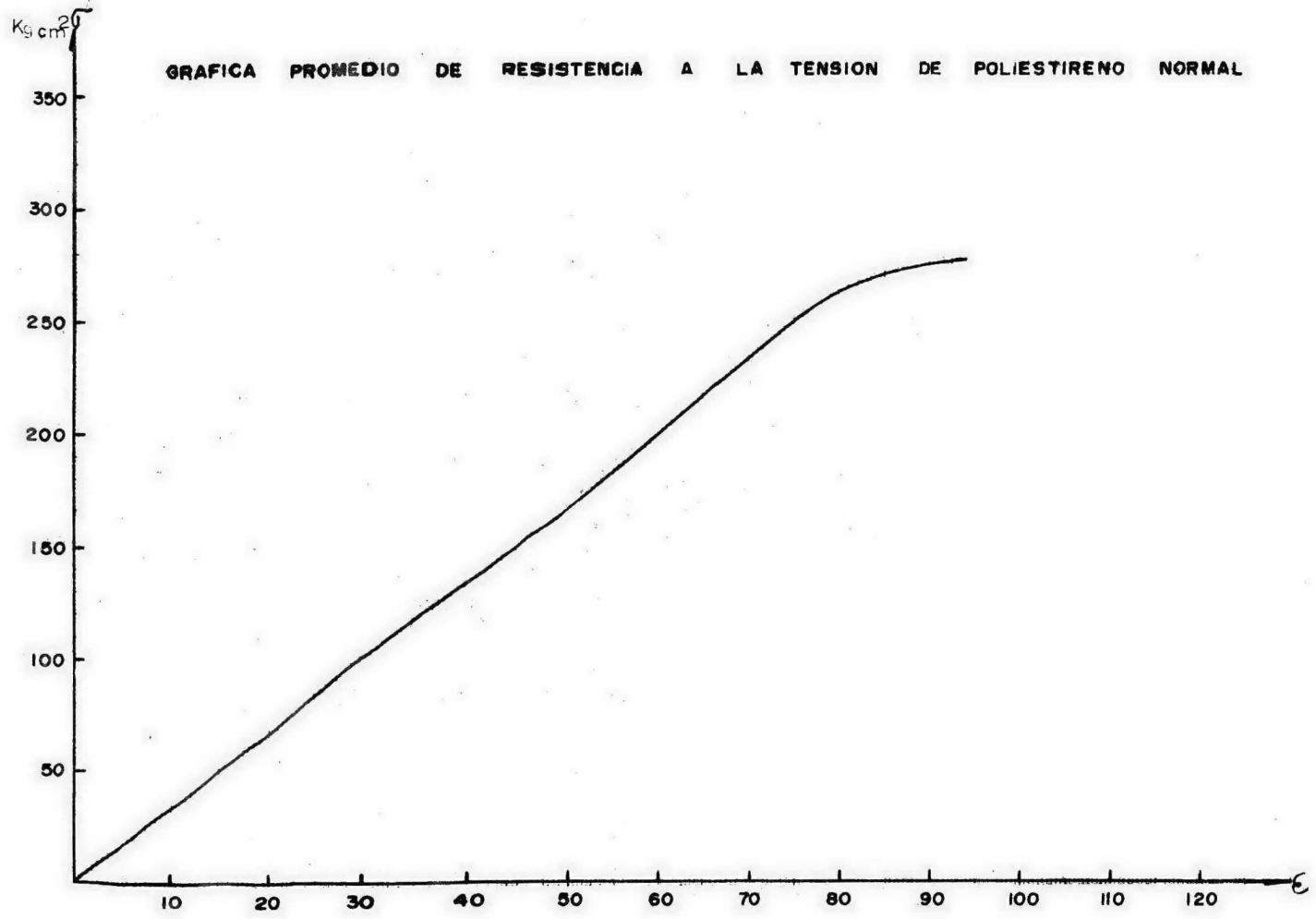
Kg/cm²

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIESTIRENO TRATADO CON DIVINIL

BENCENO



GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIESTIRENO NORMAL



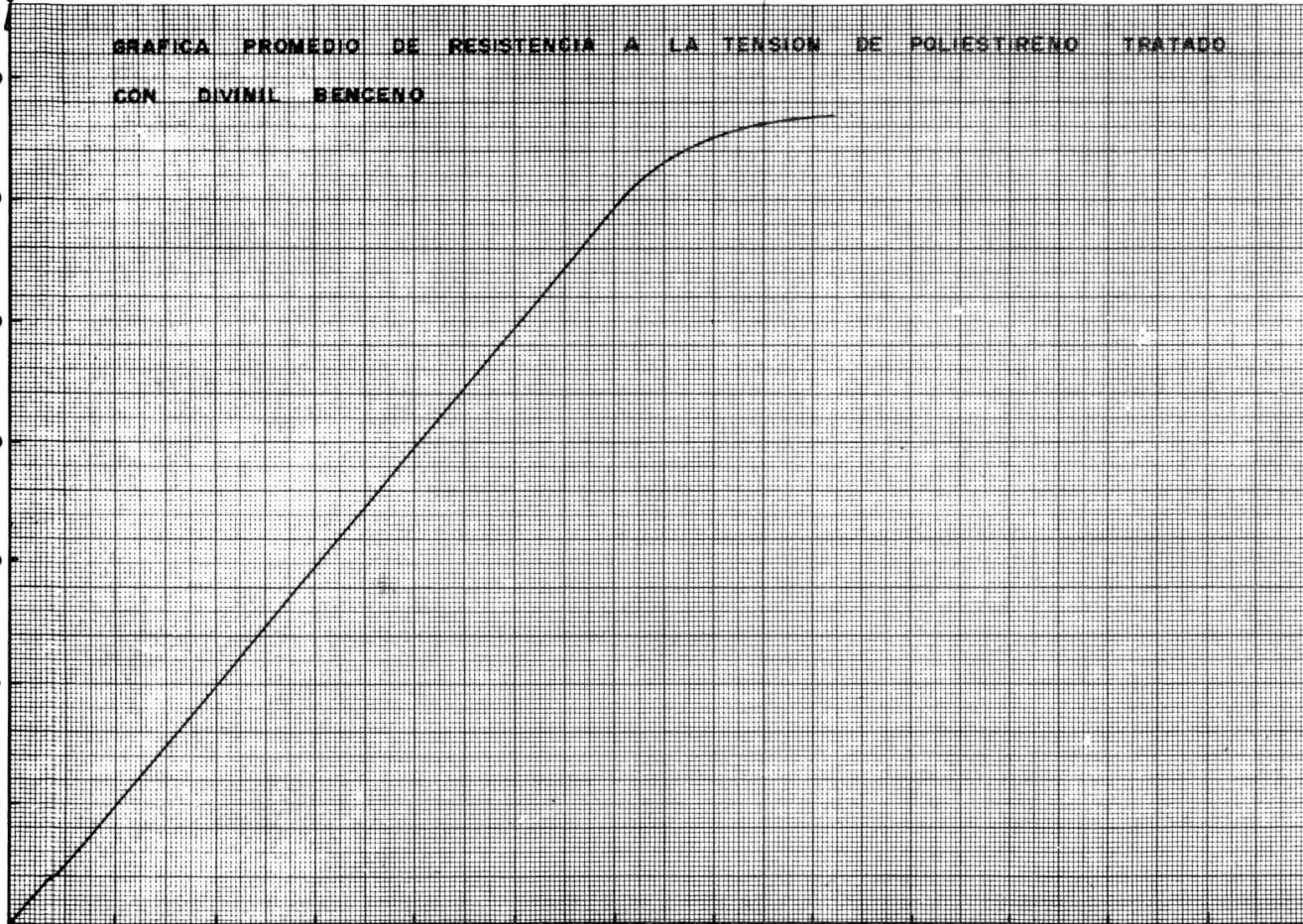
Kg/cm^2

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIESTIRENO TRATADO
CON DIVINIL BENCENO

350
300
250
200
150
100
50

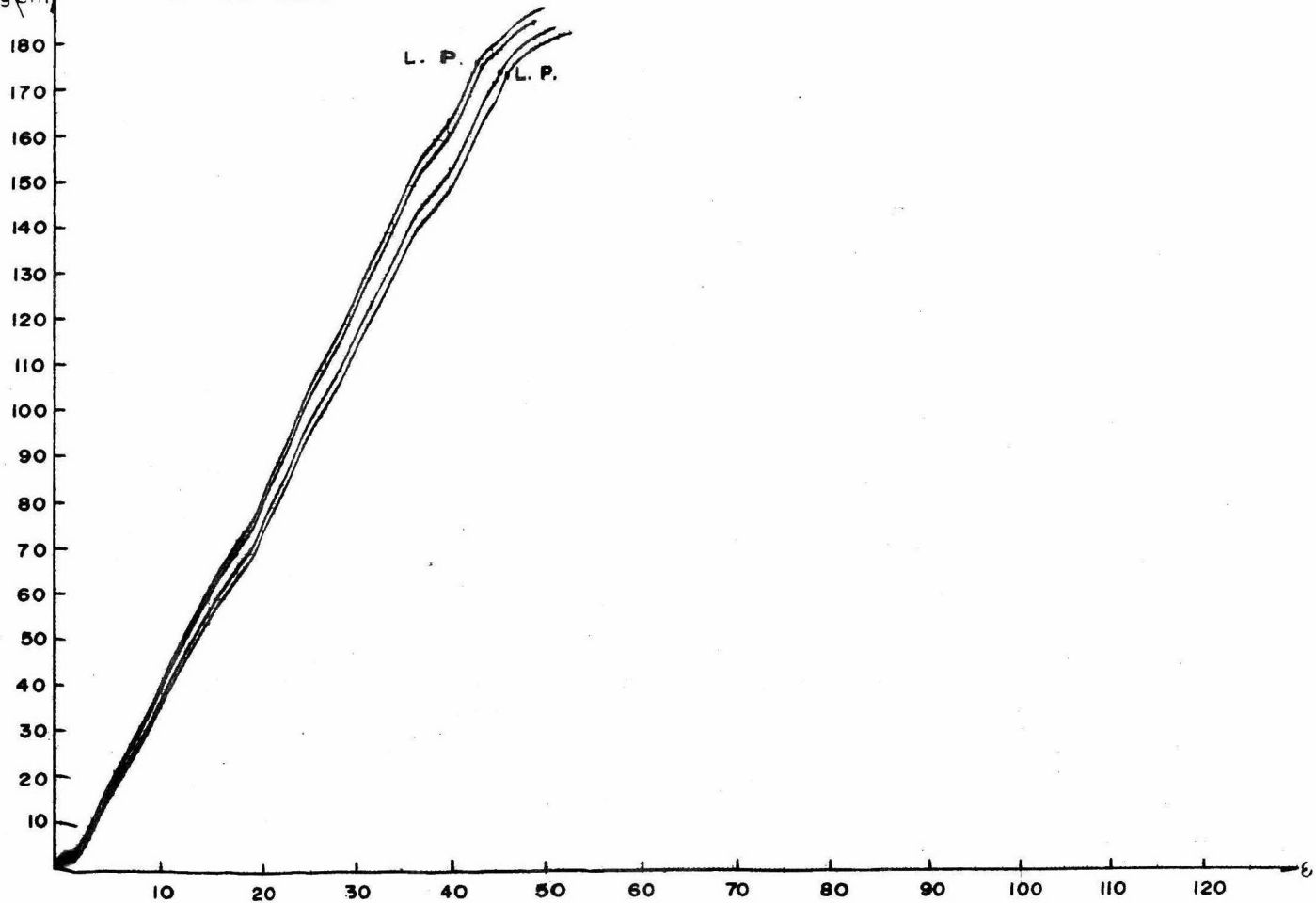
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

ϵ



Kg/cm²

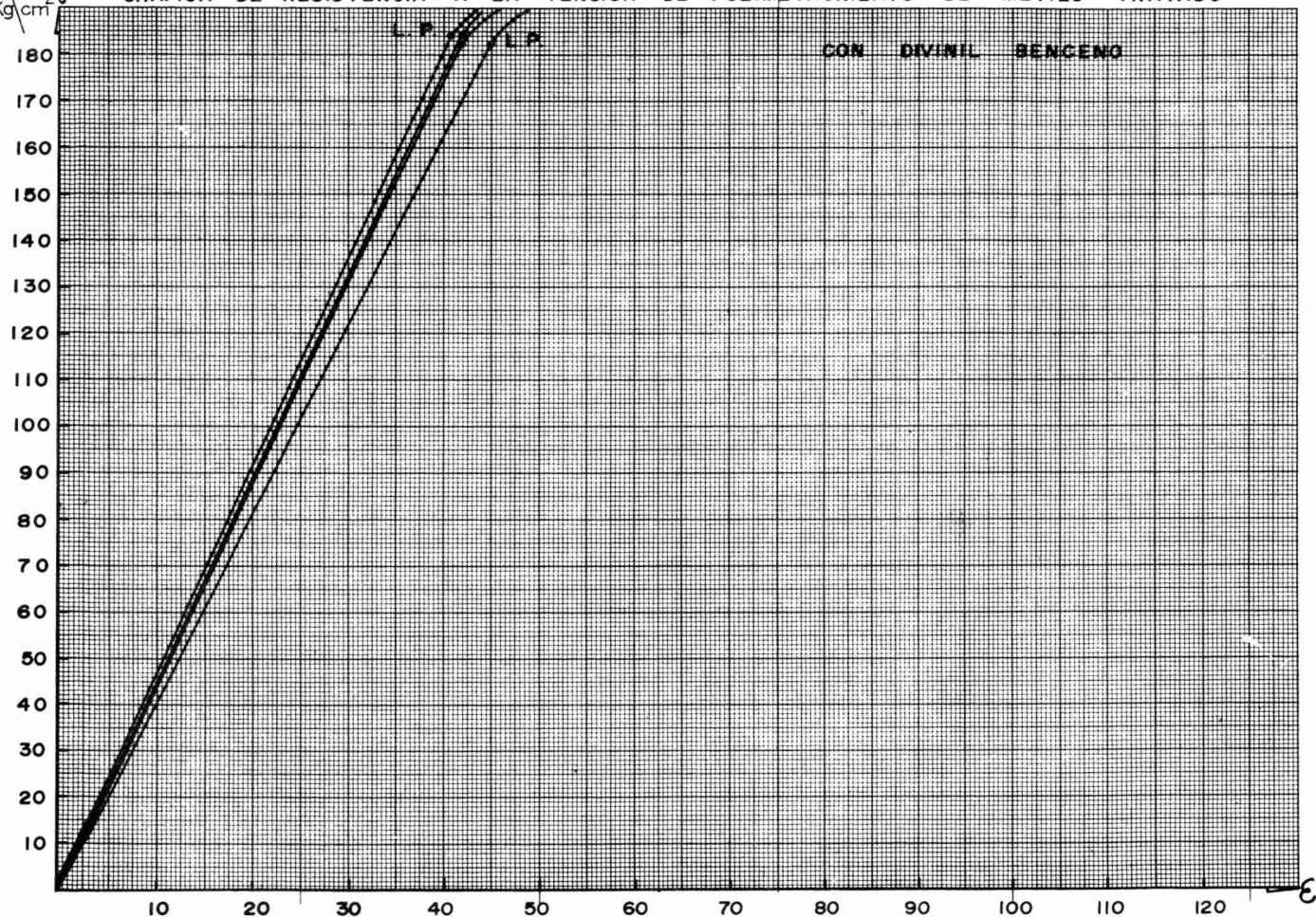
GRAFICA DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIMETACRILATO DE METILO NORMAL



Kg/cm²

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIMETACRILATO DE METILO TRATADO

CON DIVINIL BENCENO



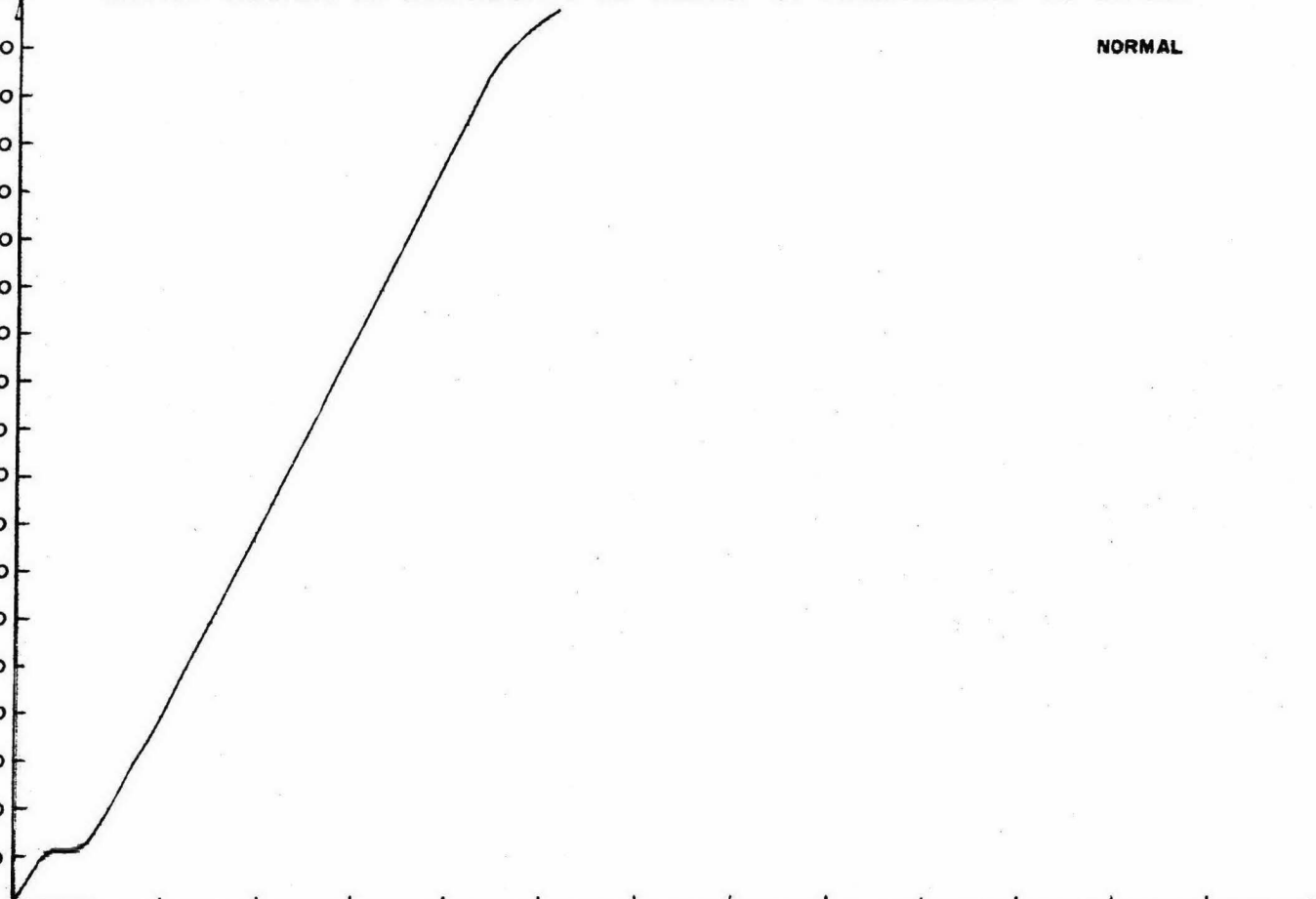
Kg cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIMETACRILATO DE METILO

NORMAL

180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

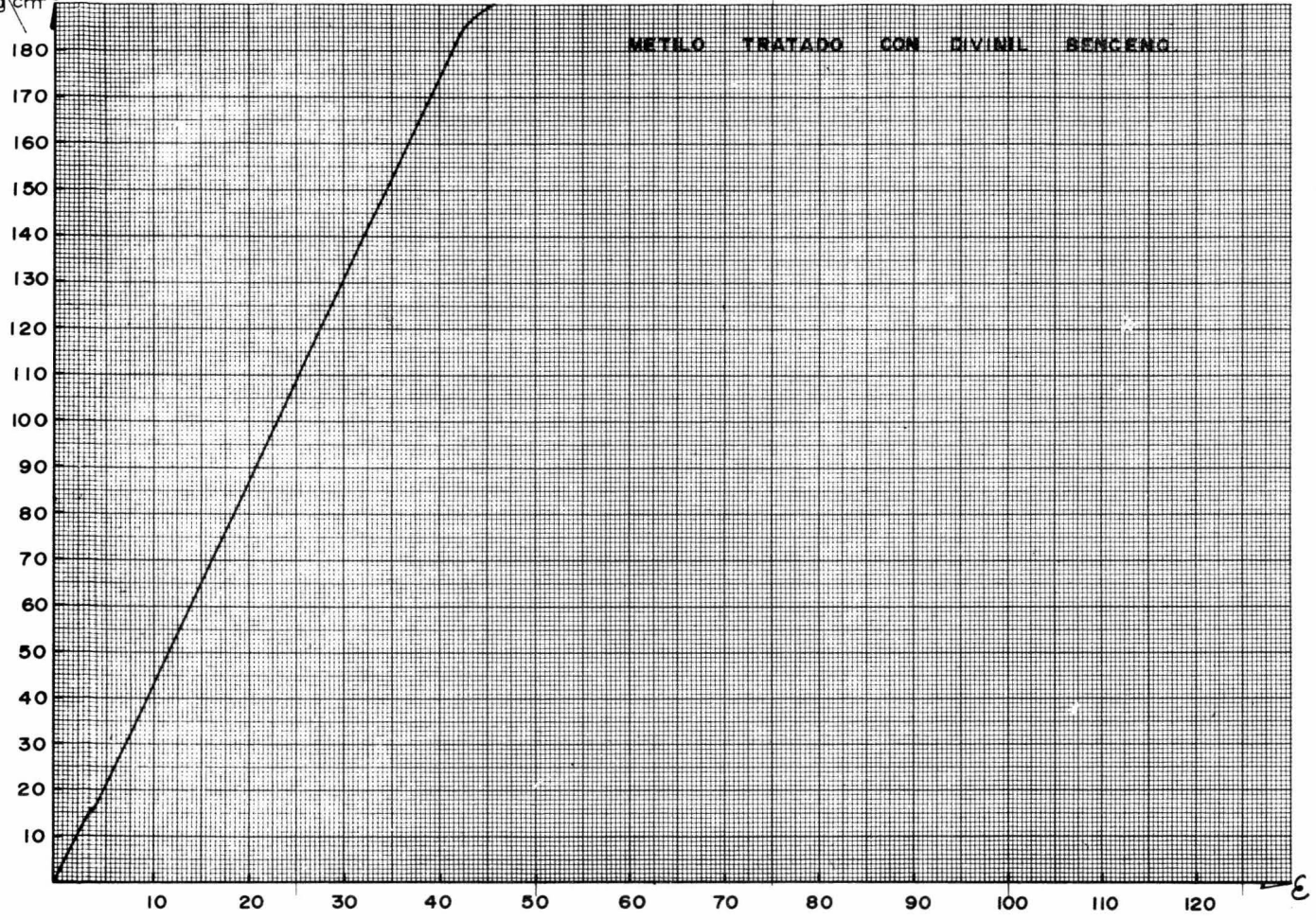
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 ϵ



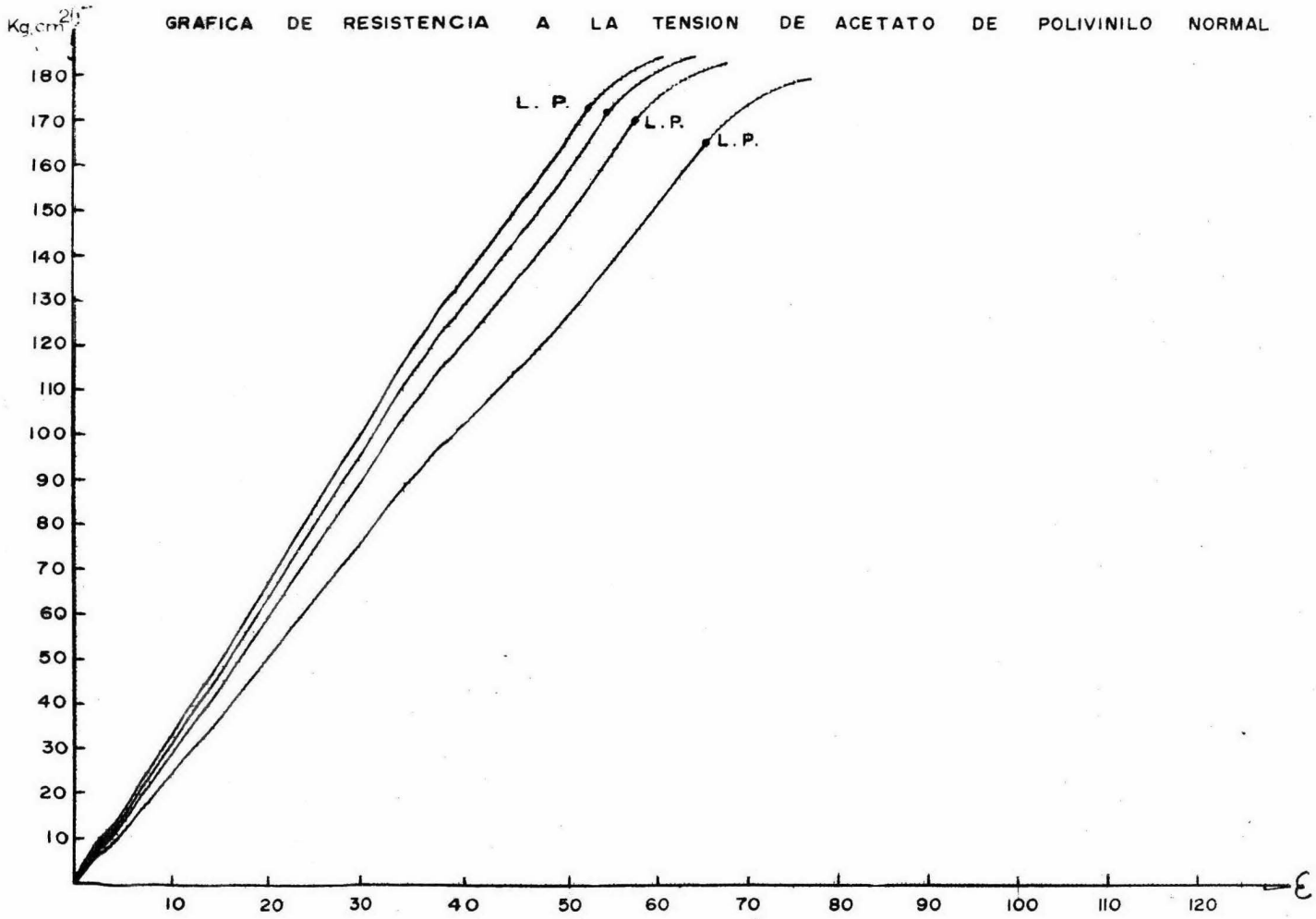
Kg/cm²

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSION DE POLIMETACRILATO DE

METILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO



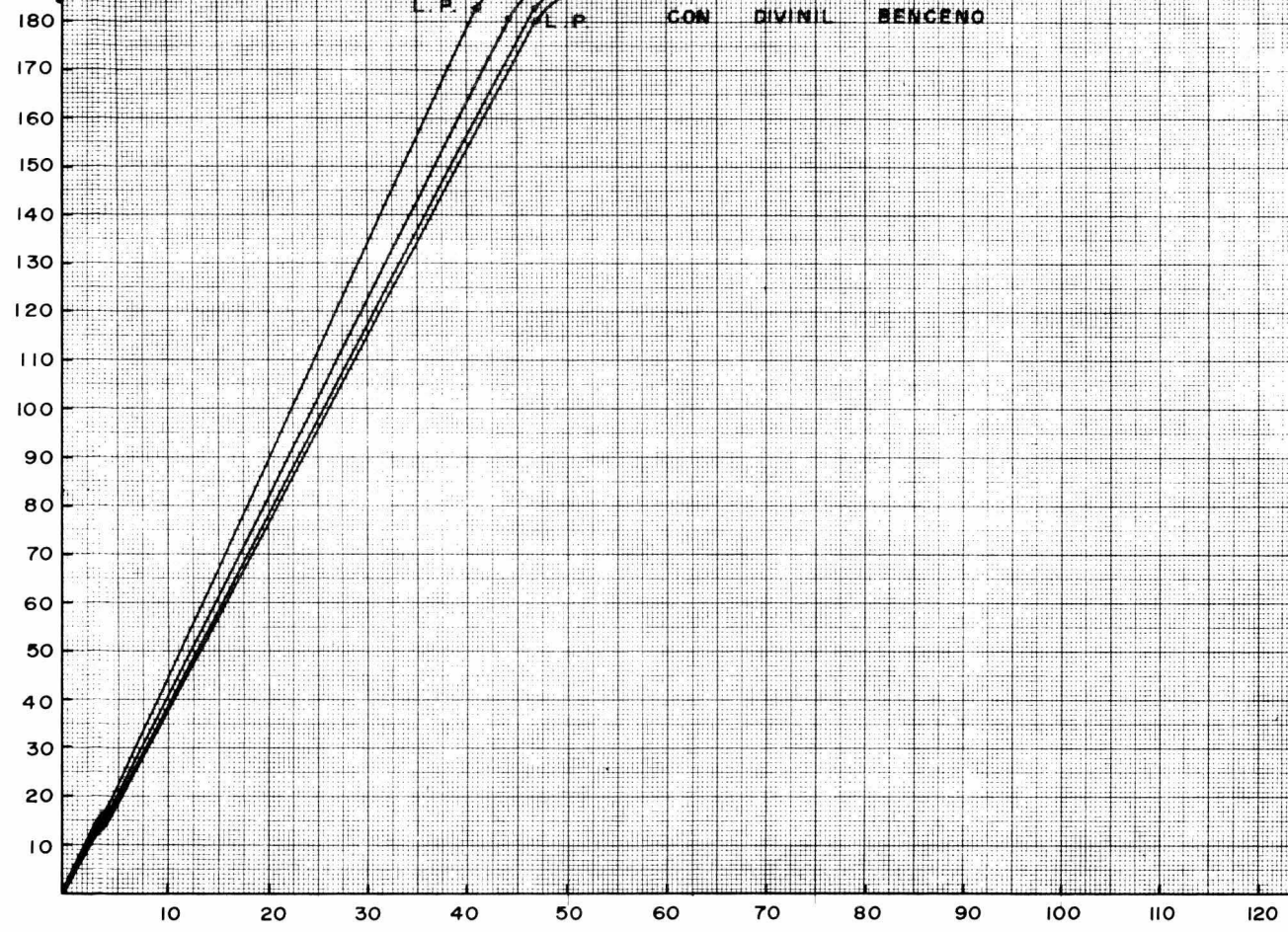
GRAFICA DE RESISTENCIA A LA TENSION DE ACETATO DE POLIVINILO NORMAL



Kg/cm²

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA TENSION DE ACETATO DE POLIVINILO TRATADO

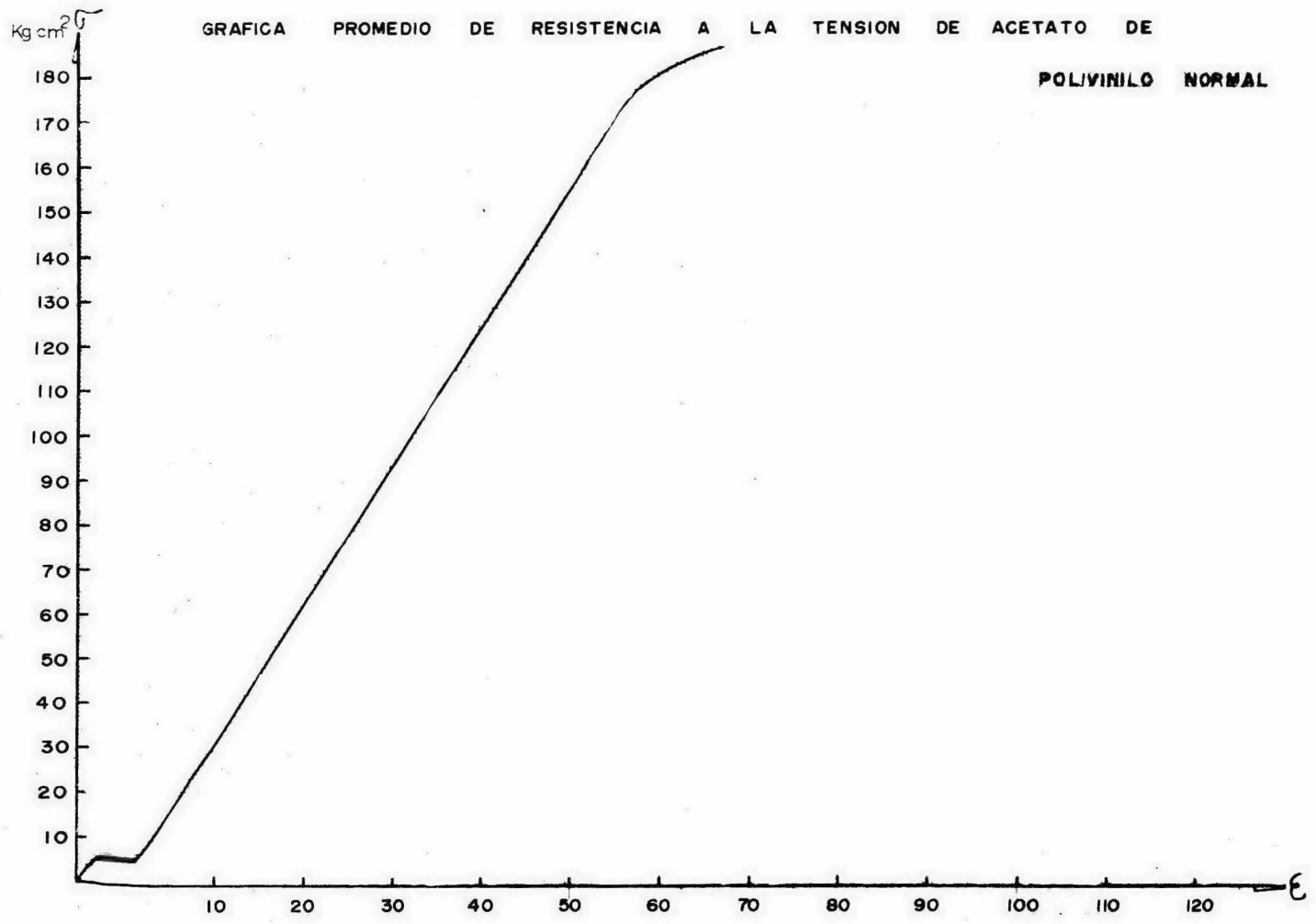
L.P. CON DIVINIL BENCENO



ε

GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSION DE ACETATO DE

POLIVINILO NORMAL



$\sqrt{\text{Kg/cm}^2}$

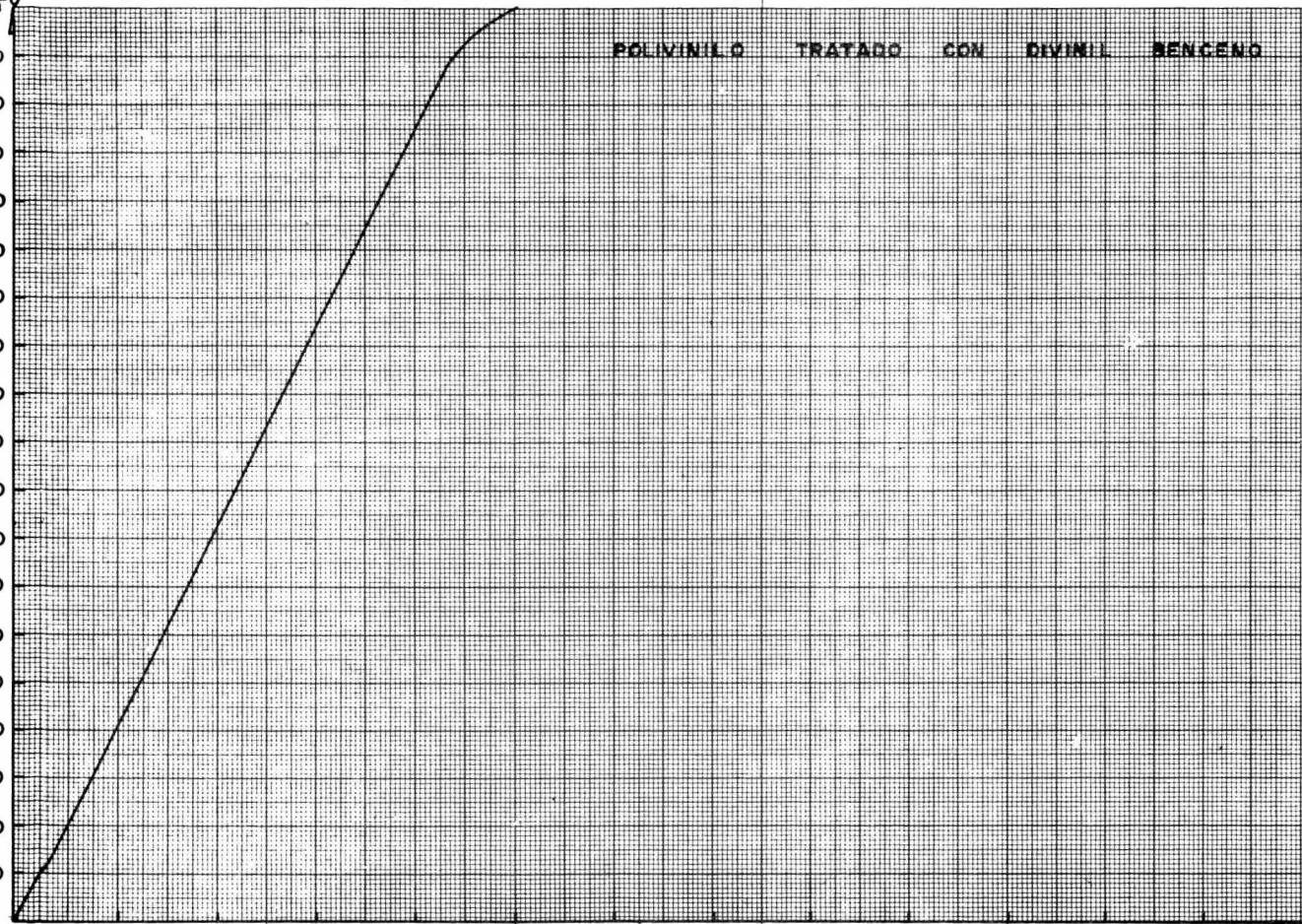
GRAFICA PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TENSION DE ACETATO DE

POLIVINILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

ϵ



C) CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN TENSION.

Para cada prueba se sacó un promedio del Módulo de Elasticidad considerando tres puntos de cada curva, que estuvieran dentro de la zona central anterior al Límite de Proporcionalidad. De estos cuatro módulos se sacó un promedio final que viene a dar el Módulo de Elasticidad en Tensión para cada material. Estos cálculos se encuentran en el Apéndice 2.

MODULOS DE ELASTICIDAD EN TENSION
E en Kg/cm²

	Normal	Tratado con Divinil Benceno	% de Variación
Poliestireno	304.91	472.11	+ 54.8%
Polimetacrilato de Metilo	403.87	449.38	+ 11.2%
Acetato de Polivinilo	295.08	405.16	+ 37.3%

C A P I T U L O X I .
 P R U E B A S D E R E S I S T E N C I A
 A L A F L E X I O N .

A) DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

Para este tipo de prueba se necesitaron probetas de forma rectangular, como se muestra en la Figura 1:

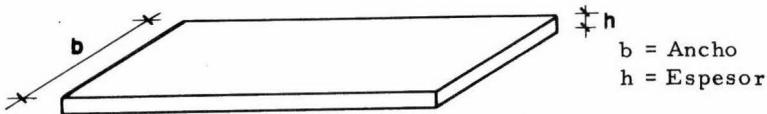


Figura 1

Estas probetas se obtuvieron a partir de placas, basándose en una probeta modelo, se cortaron placas en una sierra mecánica, esmerilándolas y puliéndolas después, con el objeto de tener superficies uniformes. A estas probetas se les midieron el ancho y el espesor en diferentes puntos, sacándose un promedio y midiéndose también el largo de cada probeta.

Se montó un aparato con los siguientes aditamentos: en un soporte se coloca una barra que pesa 2.508 Kg., sobre ésta se colocan sucesivamente las pesas hasta obtener la carga máxima. En el otro extremo de la barra se coloca un balín que da cargas puntuales y se apoya sobre un cubo, el cual a su vez está sostenido por otra barra habilitada con dos cilindros separados 8 cm. uno de otro y que estarán sobre la probeta, estando ésta sobre los dos puntos de apoyo. Los cilindros quedarán colocados en los cuartos de L. Se coloca un micrómetro que dé las deformaciones causadas por cada carga. (Figura 2 y Foto No. 2).

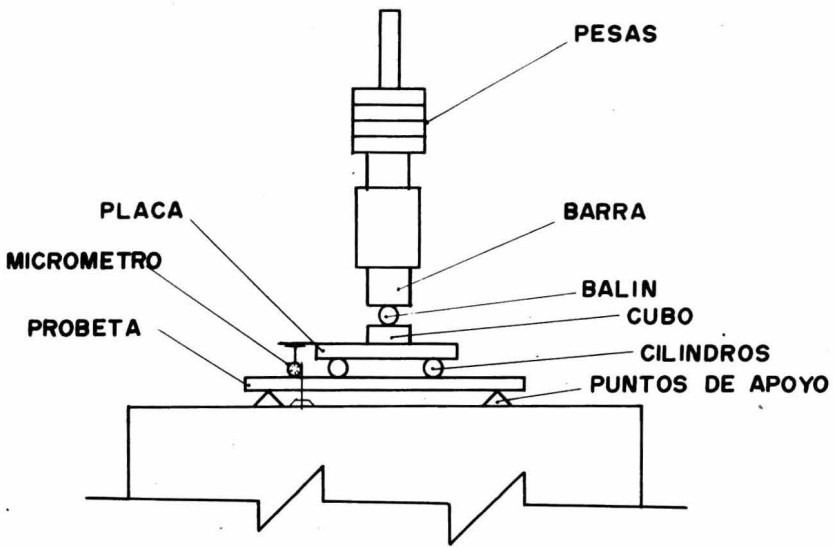


Figura 2

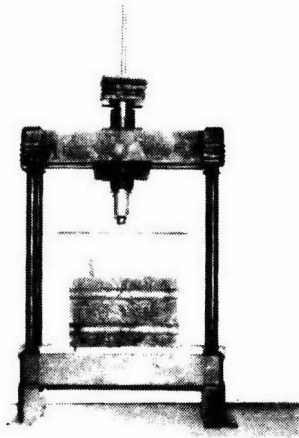


Foto No. 2

B) CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION.

La carga inicial para todos los casos fue de 2.5 Kgs., hasta llegar a una carga final de 23.5 Kgs., obteniéndose así una secuencia de cargas y deformaciones. Teniéndose en cuenta que el comportamiento de los materiales utilizados en esta prueba, es constante, no fue necesario llegar a una carga máxima, ya que los datos obtenidos son suficientes para obtener los Módulos de Elasticidad.

De los datos obtenidos en cada prueba se procede a hacer las operaciones correspondientes para conocer la flexibilidad de los materiales. Estos datos se encuentran en el Apéndice 3.

El Módulo de Elasticidad E en estas pruebas, se obtiene a partir de la fórmula de una flecha y sus variables están indicadas en la Figura 3.

DIAGRAMA DE LA PROBETA CON DOS APOYOS Y DOS FUERZAS O CARGAS

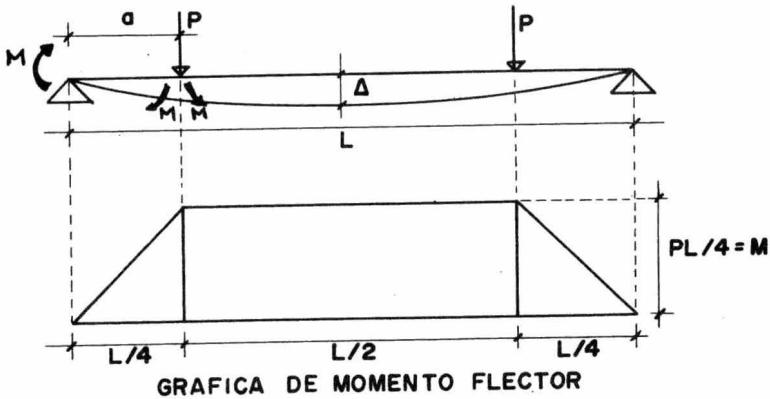


Figura 3

$$\Delta = \frac{M}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$

en donde:

Δ = Flecha

M = Momento

E = Módulo de Elasticidad
(en Flexión) (kg/cm^2)

I = Momento de Inercia

L = Longitud (distancia entre apoyos) (cm.)

a = Distancia entre el punto de apoyo y
punto de aplicación de la carga (cm)

Si : $M = \frac{PL}{4}$, siendo P = Carga (Kgs.)

Sustituyendo : $\Delta = \frac{PL}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$

Despejando E : $E = \frac{\frac{PL}{4} (3L^2 - 4a^2)}{24 I \Delta}$

Si : $a = \frac{L}{4}$; $a^2 = \frac{L^2}{16}$

Sustituyendo a^2 : $3L^2 - \frac{4L^2}{16} = \frac{11L^2}{4}$

Y si : $I = \frac{bh^3}{12}$, siendo b = ancho y h = espesor

Sustituyendo : $E = \frac{\frac{PL}{4} \frac{(11L^2)}{4}}{24 \Delta \frac{(bh^3)}{12}} = \frac{P \times 11 \times L^3}{2 \Delta bh^3} = \frac{P11L^3}{32\Delta bh^3}$

$E = \frac{P}{\Delta} \frac{(11L^2)}{32bh^3}$

Si : $L = 16.0 \text{ cm.}$
 $b = 2.5 \text{ cm.}$
 $h = 0.5 \text{ cm.}$

siendo constantes para todos los casos, E será igual a:

$$E = \frac{P}{\Delta} \frac{(11 \times 16^3)}{32 \times 2.5 \times 0.5^3}$$

$$E = 4505.6 \frac{P}{\Delta} \text{ Kg/cm}^2$$

Para cada prueba se sacó un promedio de Módulo de Elasticidad en Flexión, considerando tres módulos iniciales, los tres módulos intermedios y tres módulos finales obtenidos en las pruebas.

Se hicieron 4 pruebas para cada material, de los cuatro módulos obtenidos se sacó un promedio final que viene a dar el -- módulo de Elasticidad en Flexión para cada material. Estos cálculos se encuentran en el Apéndice 3.

C) MODULOS DE ELASTICIDAD EN FLEXION

E en Kg/cm²

	Normal	Tratado con Divinil Benceno	% de Variación
Poliestireno	84,811	100,218	+ 18.1 %
Polimetacrilato de Metilo	71,908	86,696	+ 20.5 %
Acetato de Polivinilo	58,999	70,707	+ 16.5 %

C A P I T U L O X I I .

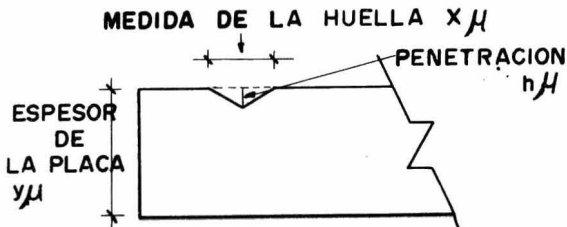
P R U E B A S D E D U R E Z A .

A) DESCRIPCION DE LA PRUEBA.

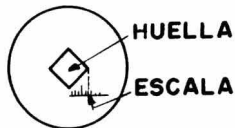
Para este tipo de prueba se necesitaron placas cuyo espesor estuviese dentro de un intervalo de 5 a 15 centésimas de milímetro, las cuales se obtuvieron pasando muestras de los diferentes polímeros a través de un cortador especial, en el que se ha estipulado previamente al espesor deseado.

La placa se colocó en un microdurímetro (Foto No. 3), el cual funciona de la siguiente manera:

El aparato está equipado con un penetrador de diamante, de forma piramidal, con un ángulo de 136° para hacer pruebas de dureza Vickers. La barra en la que se encuentra el penetrador tiene un peso de 300 g, siendo esta la mínima carga que puede usarse y su velocidad de carga o de caída fue de 10 seg. Las huellas hechas por el penetrador sobre las muestras se observaron con un microscopio, el cual tiene una escala que permite medir las diagonales de las huellas, la medición de éstas se ilustra en las siguientes figuras:



HUELLA VISTA EN EL MICROSCOPIO



Una vez teniendo la medida que se indica en la figura, la dureza se lee directamente en las tablas de Dureza Vickers HV, -- con una carga de $P = 300$ g, en Kg/mm^2 .

B) RESULTADOS.

DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE DUREZA.

Para cada caso se hicieron tres pruebas, sacándose un -- promedio.

POLIESTIRENO NORMAL

El espesor de estas muestras fue de 6 centésimas de milímetro

Pruebas	Diagonal de la Huella d en micras (distancia) μ	Dureza Vickers $P = 300$ g, en Kg/mm^2
1	$d > 200$	---
2	$d > 200$	---
3	$d > 200$	---

El dato máximo reportado en las tablas para esta escala es de 170μ y la medida de la diagonal es mayor de 200μ . La dureza es muy baja para este caso y no puede ser medida en este -- microdurómetro.

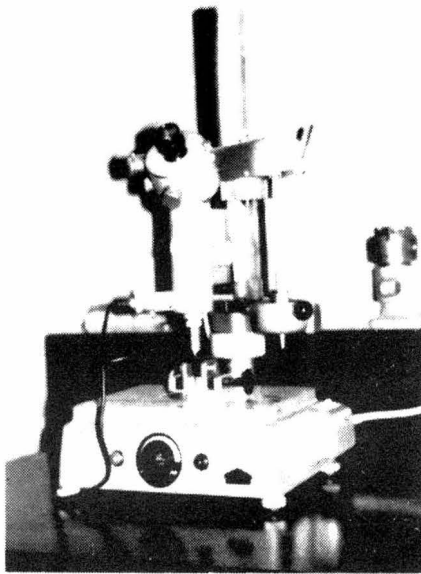


Foto No. 3



POLIESTIRENO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

El espesor de estas muestras fue de 9 centésimas de milímetro

Pruebas	Diagonal de la Huella d en μ	Dureza Vickers P = 300 g, en Kg/mm ²
1	50	223
2	50	223
3	50	223

POLIMETACRILATO DE METILO NORMAL

El espesor de estas muestras fue de 9 centésimas de milímetro

Pruebas	Diagonal de la Huella d en μ	Dureza Vickers P = 300 g, en Kg/mm ²
1	45	275
2	45	275
3	45	275

POLIMETACRILATO DE METILO TRATADO
CON DIVINIL BENCENO

El espesor de estas muestras fue de 11 centésimas de milímetro

Pruebas	Diagonal de la Huella d en μ	Dureza Vickers P = 300 g, en Kg/mm ²
1	39	366
2	39	366
3	39	366

ACETATO DE POLIVINILO NORMAL

El espesor de estas muestras fue de 10 centésimas de milímetro

Pruebas	Diagonal de la Huella d en μ	Dureza Vickers P = 300 g, en Kg/mm ²
1	80	86.9
2	80	86.9
3	80	86.9

ACETATO DE POLIVINILO TRATADO
CON DIVINIL BENCENO

El espesor de estas muestras fue de 12 centésimas de milímetro. En estas pruebas el peso de 300 g. fue muy grande para la fragilidad del material, rompiéndose las muestras, no permitiendo medir las diagonales de las huellas. La fragilidad del material indica una mayor dureza.

C O N C L U S I O N E S.

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas con los plásticos tratados con divinil benceno y normales, - permiten establecer las siguientes conclusiones.

Los polímeros tratados con divinil benceno presentan las - siguientes diferencias:

A) PRUEBAS QUIMICAS.

- a) Pruebas de Resistencia a ácidos, bases y solventes orgánicos.

Como se ve en las tablas, mejoran su resistencia al ataque de los siguientes reactivos químicos:

El poliestireno tratado con divinil benceno no es atacado -- por el H_2SO_4 y tiene menor solubilidad en su monómero, en benceno y cloroformo.

El polimetacrilato de metilo tratado con divinil benceno no es atacado por NaOH y tiene menor solubilidad en su monómero, -- en benceno y cloroformo.

El acetato de polivinilo tratado con divinil benceno no es -- atacado por HCl y NaOH y tiene menor solubilidad en su monómero, benceno y cloroformo.

- b) Pruebas realizadas a la flama.

Los resultados obtenidos en esta prueba no presentan diferencias notables. Sin embargo, los cambios obtenidos son de uti-

lidad para realizar un análisis a la flama.

c) Pirólisis en tubo de ensayo.

No funden, sino carbonizan.

B) PRUEBAS FISICAS.

a) Pruebas en Nujol.

Soportan temperaturas superiores.

b) Pruebas de Resistencia a la Compresión.

Tienen un módulo de elasticidad mayor respectivamente, --
indicando una mayor rigidez.

c) Pruebas de Resistencia a la Tensión.

Su módulo de elasticidad es mayor, teniendo, por lo tanto,
una mayor resistencia a la tensión.

d) Pruebas de Resistencia a la Flexión.

El módulo de elasticidad es mayor, siendo su resistencia --
a la flexión mayor.

e) Pruebas de dureza.

Su dureza es mayor.

Todos estos resultados indicaron una característica de --
termofijación.

Las pruebas realizadas demostraron que se mejoran algu--
nas de las propiedades de los polímeros al ser tratados con divi--
nil benceno, sin que perdieran las características principales de --
los polímeros normales, por lo tanto se puede concluir, que los --
plásticos termofijados combinan las características principales --
de un termoplástico y un termofijo.

A P E N D I C E 1.

DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

P = Carga (Kgs.); Def. = Deformación (Centésimas)

ESCALA 2000

ESCALA 5000

POLIESTIRENO NORMAL

POLIESTIRENO TRATADO
CON DIVINIL BENCENO

1) P-Def.	2) P-Def.	3) P-Def.	4) P-Def.	1) P-Def.	2) P-Def.	3) P-Def.	4) P-Def.
0- 751	0-1041	0-1325	0- 476	0- 627	0- 772	20-1363	0- 154
200- 771	200-1069	200-1352	200- 507	200- 670	200-1012	250-1392	200- 178
400- 783	400-1082	400-1366	400- 517	400- 692	400-1032	500-1414	400- 202
600- 795	600-1094	600-1382	600- 525	600- 703	600-1050	750-1434	600- 222
800-1006	800-1107	800-1400	800- 535	800- 714	800-1068	1000-1453	800- 243
1000-1017	1000-1120	990-máx.	1000- 541	1000- 724	1000-1088	1250-1478	1000- 269
1200-1028	1200-1139		1200- 557	1200- 735	1200-1116	1500-1522	1200-máx.
1400-1040	1340-máx.		1400- 575	1400- 745	1400-1163	1510-máx.	
1600-1057			1500- 620	1600- 757	1460-máx.		
1800-1075				1800- 777			
1940-máx.				1820-máx.			

ESCALA 2000

ESCALA 5000

POLIMETACRILATO DE
METILO NORMAL

POLIMETACRILATO DE METILO
TRATADO CON DIVINIL BENCENO

1) P-Def.	2) P-Def.	3) P-Def.	4) P-Def.	1) P-Def.	2) P-Def.	3) P-Def.	4) P-Def.
0- 241	0- 205	0- 785	0- 175	0- 295	0-1341	0-1536	0-1364
100- 246	200- 231	200-1002	200- 194	200- 413	200-1362	200-1556	100-1376
200- 252	400- 241	400-1011	400- 206	400- 425	400-1377	400-1578	200-1382
300- 258	600- 256	600-1022	600- 219	600- 436	600-1391	600-1581	300-1386
400- 264	800- 267	800-1032	800- 231	800- 444	800-1405	800-1592	400-1391
500- 270	1000- 281	1000-1042	1000- 241	1000- 453	1000-1419	1000-1605	500-1395
600- 277	1200- 296	1200-1058	1200- 258	1200- 463	1200-1435	1200-1617	600-1400
700- 282	1400- 311	1400-1075	1400- 275	1400- 475	1400-1455	1400-1631	700-1403
800- 290	1600- 337	1600-1095	1600- 300	1600- 491	1600-1485	1600-1649	800-1408
900- 296	1800- 387	1800-1125	1800- 342	1800- 511	1800-1555	1800-1672	900-1412
1000- 302	1870-máx.	1990-máx.	1910-máx.	2000-máx.	1890-máx.	2000-máx.	1000-1418
1200- 310							1100-1424
1400- 327							1200-1429
1500- 336							1300-1435
1600- 362							1400-1441
1700- 384							1500-1452
1800- 405							1600-1461
1900- 442							1700-1484
1950-máx.							1800-1543
							1840-máx.

ESCALA 2000

ESCALA 2000

ACETATO DE POLIVINILO NORMAL

ACETATO DE POLIVINILO
TRATADO CON DIVINIL BENCENO

1) P-Def.	2) P-Def.	3) P-Def.	4) P-Def.	1) P-Def.	2) P-Def.	3) P-Def.	4) P-Def.
0- 72,5	0- 81,5	0- 69,5	0- 78	0- 82	0- 73	0- 76	0- 77
50- 83	50- 90	50- 79	50- 87,5	50- 91	50- 78,5	50- 81,5	50- 82,5
100- 99	100-103	100- 88	100- 99,5	100-101	100- 88,5	100- 87	100- 88,5
150-115	150-118	150-109	150-114	150-108	150-101,5	150- 96,5	150- 95,5
200-138	200-135	200-120,5	200-134,5	200-119,5	200-111	200-100,5	200-105
250-166	250-153	250-147,5	250-148,5	250-229	250-120,5	250-110	250-119,5
290-máx.	300-173	300-165,5	280-máx.	300-138	300-139,5	300-118,5	300-128
	350-209	340-máx.		350-157	350-154	350-129	350-153
	400-272			400-166,5	400-173	400-144	400-165,5
	430-máx.			450-218	450-216	450-153,5	450-207,5
				520-máx.	540-máx.	500-192	530-máx.
						550-máx.	

Nota:

Con el objeto de simplificar las escalas de las Gráficas se tomaron solamente los números enteros para los valores de σ y los valores de ϵ se multiplicaron por 100.

Los valores de ϵ de la Curva No. 1 de la Gráfica para Poliéstireno Normal y los de las Curvas No. 1 y 2 de la Gráfica para Poliéstireno tratado con Divinil Benceno se extrapolaron para que concordaran con los valores de las curvas de cada uno de sus grupos correspondientes y así hacer sus Gráficas Promedio y poder comparar y observar la diferencia del comportamiento entre el material normal y el tratado con Divinil Benceno.

TABULACIONES PARA LAS GRAFICAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

P O L I E S T I R E N O

N O R M A L

T R A T A D O

1	2	3	4	1	2	3	4
126,0-0,76	150,0-1,16	150,0-1,35	126,0-1,55	90,5-0,65	117,6-1,05	147,0-0,81	120,5-0,53
260,0-1,23	300,0-1,70	300,0-2,05	260,0-2,05	181,0-1,50	235,0-1,55	294,0-1,40	241,0-1,05
390,0-1,69	451,0-2,20	451,0-2,85	390,0-2,45	271,5-1,92	353,0-2,01	441,0-1,98	361,5-1,48
520,0-2,08	601,0-2,75	601,0-3,75	520,0-2,95	362,0-2,34	470,5-2,46	588,0-2,52	482,0-1,94
650,0-3,23	752,0-3,29	744,0-máx.	650,0-3,25	452,5-2,73	588,0-2,96	735,0-3,22	602,0-2,50
780,0-3,65	902,0-4,08		780,0-4,05	543,0-3,15	706,0-3,67	882,0-4,45	723,0-máx.
910,0-4,11	1007,0-máx.		910,0-4,95	634,0-3,53	823,5-4,86	888,0-máx.	
1040,0-4,76			975,0-máx.	724,0-4,00	859,0-máx.		
1170,0-5,46				815,0-4,76			
1261,0-máx.				824,0-máx.			

P O L I M E T A C R I L A T O D E M E T I L O

N O R M A L

T R A T A D O

1	2	3	4	1	2	3	4
50,0-0,16	99,5-0,83	99,5-0,74	99,5-0,59	115,0-0,75	230,0-0,72	109,0-0,72	57,0-0,80
100,0-0,35	199,0-1,16	199,0-1,16	199,0-0,96	230,0-1,26	244,0-1,24	219,0-1,50	114,0-1,20
150,0-0,54	298,5-1,64	298,5-1,61	298,5-1,37	345,0-1,72	366,0-1,72	228,0-1,60	171,0-1,46
200,0-0,74	398,0-2,20	398,0-2,00	398,0-1,75	460,0-2,01	488,0-2,20	437,0-2,20	227,0-1,80
250,0-0,93	497,5-2,45	497,5-2,48	497,5-2,06	575,0-2,03	610,0-2,68	546,0-2,46	284,0-2,07
300,0-1,16	597,0-2,93	597,0-3,00	597,0-2,20	690,0-2,85	732,0-3,24	656,0-2,89	341,0-2,40
350,0-1,32	696,5-3,41	696,5-3,50	696,5-3,12	805,0-3,36	864,0-3,93	765,0-3,39	398,0-2,60
400,0-1,58	796,0-4,25	796,0-4,41	796,0-3,90	920,0-4,03	976,0-4,96	874,0-4,03	455,0-2,93
450,0-1,77	895,5-5,87	895,5-5,70	895,5-5,21	1035,0-4,87	1098,0-7,37	984,0-4,89	511,0-3,20
500,0-1,96	930,0-máx.	955,0-máx.	950,0-máx.	1150,0-máx.	1153,0-máx.	1093,0-máx.	568,0-3,60
600,0-2,22							625,0-4,00
650,0-2,48							682,0-4,33
700,0-2,77							739,0-4,73
750,0-3,06							794,0-5,13
800,0-3,90							852,0-5,86
850,0-4,61							909,0-6,46
900,0-5,20							966,0-8,00
950,0-6,48							1022,0-11,9
975,0-máx.							1045,0-máx.

A C E T A T O D E P O L I E S T I R E N O

N O R M A L

T R A T A D O

1	2	3	4	1	2	3	4
34,0-0,46	42,0-0,34	36,0-0,41	40,0-0,40	35,0-0,38	40,0-0,23	32,0-0,22	40,0-0,23
68,0-1,17	84,0-0,86	72,0-0,80	80,0-0,90	70,0-0,81	80,0-0,65	64,0-0,45	80,0-0,49
102,0-1,88	126,0-1,46	108,0-1,72	120,0-1,52	105,0-1,10	120,0-1,20	96,0-0,85	120,0-0,79
136,0-2,91	168,0-2,14	144,0-2,22	160,0-2,39	140,0-1,59	160,0-1,60	128,0-1,01	160,0-1,20
170,0-4,15	210,0-2,87	181,0-3,40	200,0-2,98	176,0-2,00	200,0-1,99	160,0-1,40	200,0-1,82
197,0-máx.	252,0-3,67	217,0-4,19	224,0-máx.	211,0-2,38	240,0-2,79	192,0-1,75	240,0-2,18
	294,0-5,04	246,0-máx.		246,0-3,19	280,0-3,40	224,0-2,19	280,0-3,26
	336,0-7,65			281,0-3,59	320,0-4,20	256,0-2,80	320,0-3,79
	362,0-máx.			316,0-5,78	360,0-6,00	288,0-3,20	360,0-5,60
				366,0-máx.	432,0-máx.	320,0-4,79	424,0-máx.
						352,0-máx.	

$$\text{CALCULO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD EN COMPRESION } E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

POLIESTIRENO NORMAL

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
519.9500/.098	451.1200/.022	300.7500/.0205	519.9500/.0295
649.9400/.1023	601.5000/.0275	451.1200/.0285	649.9400/.0325
779.9200/.1065	751.8700/.0329	150.3700/.0116	389.9600/15,916
Prom: 6,327	Prom: 21,743	Prom: 13,878	Prom: 17,846
Promedio Final: E = 14,948			

POLIESTIRENO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
180.9900/.025	470.5800/.0746	294.1170/.014	240.9600/.0105
271.4900/.0292	588.2300/.0796	441.1700/.0198	361.4400/.0148
361.9900/.0334	705.8800/.0867	735.2900/.0322	481.9200/.0194
Prom: 9,124	Prom: 7,279	Prom: 22,041	Prom: 24,070
Promedio Final: E = 15,628			

POLIMETACRILATO DE METILO NORMAL

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
400.0000/.0158	497.5100/.0245	398.0090/.0988	398.0090/.0175
450.0000/.0177	298.5000/.0164	497.5100/.1028	497.5100/.0206
500.0000/.0196	398.0090/.02	298.5000/.0948	298.5000/.0137
Prom: 25,416	Prom: 20,368	Prom: 4,005	Prom: 22,893
Promedio Final: E = 17,760			

POLIMETACRILATO DE METILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
229.8800/.0126	365.8500/.0172	327.8600/.016	227.2000/.018
344.8200/.0172	487.8000/.022	437.1500/.02	284.0000/.0207
459.7700/.02018	609.7500/.0268	546.4400/.0246	340.9000/.024
Prom: 20,358	Prom: 22,064	Prom: 21,520	Prom: 13,512
Promedio Final: E = 19,363			

ACETATO DE POLIVINILO NORMAL

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
68.0272/.0117	84.2034/.0086	72.4600/.008	80.0000/.009
102.0408/.0188	126.3051/.0146	108.6900/.0172	120.0000/.0152
136.0544/.0291	168.4068/.0214	144.9200/.0222	160.0000/.0239
Prom: 5,305	Prom: 8,770	Prom: 7,301	Prom: 7,825
Promedio Final: E = 7,300			

ACETATO DE POLIVINILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
105.6300/.04	120.0000/.012	128.2000/.0101	160.0000/.012
140.8400/.0159	160.0000/.016	160.2500/.014	200.0000/.0182
176.0500/.02	200.0000/.0199	192.3000/.0175	240.0000/.0218
Prom: 9,087	Prom: 10,016	Prom: 11,709	Prom: 11,777
Promedio Final: E = 10,647			

A P E N D I C E

2.

DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A LA TENSION

P = Carga (Kgs.); ϵ = Deformación Unitaria

P O L I E S T I R E N O

P	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0	35285	36745	36785	34915	34725	35015	35165	36820
10	35620	37090	37100	35240	35150	35475	35585	37250
20	35940	37405	37435	35555	35650	35965	36075	37750
30	36255	37725	37760	35880	36065	36365	36480	38160
40	36575	38050	38065	36195	36695	36985	37100	38790
50	36905	38355	38390	36520	37195	37495	37720	40820
60	37300	38760	38795	36865	37800	38100	38325	41425
70	37705	39165	39205	37280	38175	38480	38705	41800
80	38125	39590	39635	37715	38530	38870	39095	42155
90	38560	39995	40060	38120	38970	39275	39500	42595
100	38865	40230	40290	38355	39450	39700	39750	43075
110	39090	40445	40495	38590	39945	40200	40250	43570
120	39320	40590	40730	38835	40300	40590	40640	43925
130	39525	máx.	41065	39040	40535	40850	40900	máx.
140	39720		máx.	39440	41150	41450	41500	
150	40305			máx.	máx.	máx.	41780	
160	máx.						máx.	

P O L I M E T A C R I L A T O D E M E T I L O

P	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0	37095	37140	37245	37025	34145	34220	34310	34195
10	37530	37560	37660	37450	34795	34870	34950	34830
20	37845	37875	37985	37765	35110	35175	35265	34145
30	38210	38200	38350	38130	35435	35500	35590	35500
40	38555	38565	38665	38455	35800	35830	35955	35835
50	38920	38955	39000	38820	36155	36155	36330	36200
60	39325	39389	39405	39225	36580	36560	36735	36605
70	39740	39785	39840	39680	37005	36985	37220	37030
80	40205	40240	40335	40115	37440	37450	39505	37495
90	40630	40705	40820	40530	39955	37935	máx.	37980
100	40865	41265	41115	40785	máx.	38230		40615
110	41710	máx.	41400	41080		41195		máx.
120	máx.		42170	41850		máx.		
130			máx.	máx.				

A C E T A T O D E P O L I V I N I L O

P	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0	35645	35215	35995	35475	34125	33985	34965	34230
10	36405	35980	36745	36205	35515	35390	36330	35565
20	36575	36305	37060	36510	35830	35695	36645	35870
30	36610	36640	37385	36835	36165	36010	36980	36215
40	36970	37000	37775	37165	36525	36330	37345	36550
50	37345	37415	38100	37530	36910	36695	37715	36915
60	37750	37840	38505	37935	37315	37100	38130	37270
70	38175	38300	38950	38390	37740	37515	43735	37720
80	38605	38725	39370	38795	44435	37960	máx.	38185
90	42480	39020	39775	39210	máx.	38425		45245
100	máx.	39225	40070	42925		46240		máx.
110		43510	40360	máx.		máx.		
120		máx.	45155					
130			máx.					

N o t a : Con el objeto de simplificar las escalas de las Gráficas correspondientes a ϵ , los valores de éstas se multiplicaron por 100.

TABULACIONES PARA LAS GRAFICAS DE RESISTENCIA A LA TENSION ($\sigma - \epsilon$)

Deformacion Unitaria (ϵ)

P O L I E S T I R E N O

σ	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
16	3.35	3.45	3.15	3.25	4.25	4.60	4.20	4.30
32	6.55	6.60	6.50	6.40	9.25	9.50	9.10	9.30
49	9.70	9.80	9.75	9.65	13.40	13.50	13.15	13.40
65	12.90	13.05	12.80	12.80	19.70	19.70	19.35	19.70
81	16.20	16.10	16.05	16.05	24.70	24.80	25.55	40.00
98	20.15	20.15	20.10	19.50	30.75	30.85	31.60	46.05
114	24.20	24.20	24.20	23.65	34.50	34.65	35.40	49.80
132	28.40	28.45	28.50	28.00	38.05	38.55	39.30	53.35
147	32.75	32.50	32.75	32.05	42.45	42.60	43.35	57.75
163	35.80	34.85	35.05	34.40	47.25	46.85	45.85	62.55
180	38.05	37.00	37.10	36.75	52.20	51.85	50.85	67.50
196	40.35	38.45	39.45	39.20	55.75	55.75	54.75	71.05
213	42.40	máx.	42.80	41.25	58.10	58.35	57.35	máx.
229	44.35		máx.	45.25	64.25	64.35	63.35	
246	50.20			máx.	máx.	máx.	66.15	
262	máx.						máx.	

P O L I M E T A C R I L A T O D E M E T I L O

σ	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
16	4.35	4.20	4.15	4.25	6.50	6.50	6.40	6.35
32	7.50	7.35	7.40	7.40	9.65	9.55	9.55	9.50
49	11.15	10.60	11.05	11.05	12.90	12.80	12.80	13.05
65	14.60	14.25	14.20	14.30	16.55	16.10	16.45	16.40
81	18.25	18.15	17.55	17.95	20.10	19.35	20.20	20.05
98	22.30	22.40	21.60	22.00	24.35	23.40	24.25	24.10
114	26.45	26.45	25.95	26.55	28.60	27.65	29.10	28.35
132	31.10	31.00	30.90	30.90	32.95	32.30	51.95	33.00
147	35.35	35.65	35.75	35.05	58.10	37.15	máx.	37.85
163	37.70	41.25	38.70	37.60	máx.	40.10		64.20
180	46.15	máx.	41.55	40.55		69.75		máx.
196	máx.		49.25	48.25		máx.		
213			máx.	máx.				

A C E T A T O D E P O L I V I N I L O

σ	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
16	7.60	7.65	7.50	7.30	13.90	14.05	13.65	13.35
32	9.30	10.90	10.65	10.35	17.05	17.10	16.80	16.40
49	9.65	14.25	13.90	13.60	20.40	20.25	20.15	19.85
65	13.25	17.85	17.50	16.90	24.00	23.45	23.80	23.20
81	17.00	22.00	21.05	20.55	27.85	27.10	27.50	26.85
98	21.05	26.25	25.10	24.60	31.90	31.15	31.65	30.40
114	25.30	30.85	29.55	29.15	36.15	35.30	87.70	34.90
132	29.60	35.10	33.75	33.20	103.10	39.75	máx.	39.55
147	68.35	38.05	37.80	37.35	máx.	44.40		110.15
163	máx.	40.10	40.75	74.50		122.55		máx.
180		82.95	43.65	máx.		máx.		
196		máx.	91.60					
213			máx.					

$$\text{CALCULO DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD EN TENSION } E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

POLIESTIRENO NORMAL

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
65.0000/.1970	65.0000/.1970	65.0000/.1935	65.0000/.1970
81.0000/.2470	81.0000/.2480	81.0000/.2555	81.0000/.4
98.0000/.3075	98.0000/.3085	98.0000/.316	98.0000/.4605
Prom: 325.52	Prom: 324.73	Prom: 321.01	Prom: 248.41
Promedio Final: E = 304.91			

POLIESTIRENO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
98.0000/.2015	98.0000/.2015	98.0000/.2010	114.0000/.2365
114.0000/.2420	114.0000/.2420	114.0000/.2420	132.0000/.28
132.0000/.2840	132.0000/.2845	132.0000/.2850	147.0000/.3205
Prom: 470.06	Prom: 473.79	Prom: 473.92	Prom: 470.69
Promedio Final: E = 472.11			

POLIMETACRILATO DE METILO NORMAL

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
65.0000/.1655	65.0000/.161	65.0000/.1645	65.0000/.164
81.0000/.2010	81.0000/.1935	81.0000/.202	81.0000/.2005
98.0000/.2435	98.0000/.2340	98.0000/.2425	98.0000/.241
Prom: 399.39	Prom: 413.70	Prom: 400.08	Prom: 402.32
Promedio Final: E = 403.87			

POLIMETACRILATO DE METILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
65.0000/.146	65.0000/.1425	65.0000/.142	65.0000/.143
81.0000/.1825	81.0000/.1815	81.0000/.1755	81.0000/.1795
98.0000/.223	98.0000/.2240	98.0000/.216	98.0000/.22
Prom: 442.83	Prom: 446.64	Prom: 457.65	Prom: 450.41
Promedio Final: E = 449.38			

ACETATO DE POLIVINILO NORMAL

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
62.0000/.2395	65.0000/.2395	65.0000/.238	65.0000/.232
81.0000/.2710	81.0000/.2710	81.0000/.275	81.0000/.2685
98.0000/.3115	98.0000/.3115	98.0000/.3165	98.0000/.3040
Prom: 289.62	Prom: 296.89	Prom: 292.42	Prom: 301.40
Promedio Final: E = 295.08			

ACETATO DE POLIVINILO TRATADO CON DIVINIL BENCENO

Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
65.0000/.1325	65.0000/.1785	65.0000/.175	65.0000/.169
81.0000/.17	81.0000/.22	81.0000/.2105	81.0000/.2055
98.0000/.2105	98.0000/.2625	98.0000/.251	98.0000/.246
Prom: 477.52	Prom: 368.55	Prom: 382.21	Prom: 392.38
Promedio Final: E = 405.16			

A P E N D I C E

3.

DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

P = Carga (Kgs.); Def. = Deformación (centésimas)

P O L I E S T I R E N O

P	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0.0	140	131	60	295	60	56	120	90
2.5	249	264	195	469	162	173	233	221
3.5	315	295	247	539	217	219	278	250
4.5	359	339	299	590	256	265	316	293
5.5	419	374	357	655	301	310	361	338
6.5	459	409	395	707	348	356	407	384
7.5	505	458	446	767	394	403	454	431
8.5	549	490	495	1030	443	451	502	479
9.5	590	532	543	1085	488	500	551	528
10.5	638	561	587	1144	538	534	620	538
11.5	681	599	637	1209	553	569	689	548
12.5	720	634	670	1263	581	608	725	583
13.5	766	671	715	1319	622	649	765	619
14.5	1010	705	768	1389	668	694	810	664
15.5	1058	759	1002	1438	713	740	856	710
16.5	1099	774.5	1049	1509	762	787	903	757
17.5	1153	1027	1088	1562	811	835	951	805
18.5	1207	1039	1139	1618	861	884	1000	854
19.5	1254	1076	1193	1679	913	988	1022	913
20.5	1300	1142	1235	1716	1085	1093	1045	973
21.5	1337	1259	1277	1764	1117	1132	1081	991
23.5	1446		1390	1797	1213	1200	1120	1090

P O L I M E T A C R I L A T O D E M E T I L O

P	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0.0	155	74	80	63	92	71	103	80
2.5	317	226	270	204	226	184	232	192
3.5	379	287	339	296	277	256	284	261
4.5	441	334	408	354	329	302	326	307
5.5	493	395	453	402	376	349	377	352
6.5	542	453	501	447	426	400	422	403
7.5	592	526	553	495	475	446	470	451
8.5	639	594	602	550	523	496	522	497
9.5	684	659	668	618	574	547	569	547
10.5	760	757	715	699	617	593	659	599
11.5	839	862	769	793	664	642	759	651
12.5	894	912	815	831	697	682	799	681
13.5	948	961	866	886	742	730	844	727
14.5	999	1023	927	937	792	779	896	775
15.5	1048	1085	975	996	839	824	946	826
16.5	1099	1143	1026	1045	891	875	992	878
17.5	1149	1152	1083	1114	988	922	1040	925
18.5	1201	1207	1134	1171	1119	971	1089	977
19.5	1400	1262	1185	1235	1253	1122	1129	1127
20.5	1632	1322	1306	1302	1295	1302	1158	1258
21.5	1682	1365	1317	1351	1405	1340	1197	1295
23.5	1822	1389	1467	1454		1455	1241	1390

A C E T A T O D E P O L I V I N I L O

P	N O R M A L				T R A T A D O			
	1	2	3	4	1	2	3	4
0.0	55	108	123	98	98	127	70	140
2.5	252	358	350	292	235	284	309	302
3.5	327	387	442	366	334	347	339	364
4.5	402	458	443	439	390	396	409	426
5.5	481	518	518	485	456	462	475	481
6.5	563	571	594	538	525	527	527	534
7.5	597	618	665	595	592	595	596	582
8.5	657	666	753	687	662	665	658	644
9.5	738	727	838	769	730	754	697	678
10.5	805	775	961	843	795	861	738	747
11.5	875	837	1008	905	813	946	778	824
12.5	912	885	1066	942	861	997	825	860
13.5	974	939	1213	1003	911	1048	878	912
14.5	1034	1024	1295	1142	979	1118	923	977
15.5	1123	1125	1340	1265	1044	1189	958	1042
16.5	1318	1218	1395	1386	1111	1256	1006	1122
17.5	1504	1348	1488	1499	1181	1301	1078	1206
18.5	1749	1546	1564	1608	1247	1343	1153	1302
19.5	1790	1793	1649	1715	1316	1388	1228	1438
20.5	1831	1844	1701	1840	1375	1418	1331	1572
21.5	1886	1831	1751	1895	1414	1463	1341	1621
23.5	2052	2061	1691	2058	1534	1484	1496	1756

CALCULOS DE LOS MODULOS DE ELASTICIDAD EN FLEXION

Las cargas y deformaciones correspondientes usadas para hacer los promedios, fueron:
2.5, 3.5, 4.5, 11.5, 12.5, 13.5, 20.5, 21.5 y 23.5

PROMEDIO DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN FLEXION

P O L I E S T I R E N O

N O R M A L

T R A T A D O

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
103,339	84,691	83,437	64,735	110,431	96,273	99,681	85,984
90,112	96,156	84,329	64,629	100,443	96,746	99,807	98,560
92,580	97,476	84,833	68,729	103,444	97,010	103,444	99,877
95,796	110,714	89,799	56,689	105,100	101,002	91,062	99,877
97,103	111,968	92,327	58,181	108,099	102,028	93,090	114,239
97,165	112,640	92,863	59,400	108,230	102,572	94,303	114,982
79,624	92,972	78,608	64,999	90,112	89,069	99,853	104,603
80,927	95,816	79,597	65,943	91,646	90,028	100,801	107,514
81,073	93,866	79,610	70,493	91,831	92,553	105,881	105,881
Promedio Final: E = 84,811				Promedio Final: E = 100,218			

POLIMETACRILATO DE METILO

N O R M A L

T R A T A D O

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
69,530	74,105	59,284	79,886	84,059	99,681	87,317
70,400	74,035	60,886	67,680	85,241	85,241	87,124
70,892	77,981	61,814	69,674	85,549	87,771	90,920
70,892	65,754	75,202	70,978	90,584	90,743	78,985
76,211	67,207	76,625	73,333	93,090	92,176	80,919
76,703	68,574	77,386	73,907	93,577	92,299	82,085
62,535	74,010	75,338	74,547	79,556	75,032	87,549
63,438	75,035	78,310	75,209	80,520	76,336	88,546
63,516	80,518	76,338	76,119	80,640	76,504	93,041
Promedio Final: E = 71,908				Promedio Final: E = 86,696		

ACETATO DE POLIVINILO

N O R M A L

T R A T A D O

Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
57,177	45,056	49,621	58,061	82,218	71,745	47,129	69,530
57,976	56,521	49,434	58,841	66,820	71,680	58,623	70,400
58,429	57,929	63,360	59,458	69,435	75,372	59,808	70,892
63,188	71,075	58,547	64,206	72,467	63,265	73,184	75,752
65,717	72,483	59,724	66,729	73,813	64,735	74,596	78,222
66,186	73,195	55,803	67,210	74,816	66,042	75,279	78,789
52,007	53,205	67,526	53,022	72,329	71,545	73,247	64,500
52,905	56,221	58,532	53,906	73,609	72,507	76,215	65,408
53,020	54,214	59,502	54,021	73,733	78,018	74,250	65,520
Promedio Final: E = 58,999				Promedio Final: E = 70,707			

B I B L I O G R A F I A.

1. BAER, E. Engineering Design for Plastics. Reinhold Book Corporation. New York (1968)
2. BARRON, H. Plásticos Modernos. 2a. Edición. Gustavo Gili, S.A. Barcelona (1952)
3. BILLMEYER, F. W. Textbook Polymer Science. Interscience Publ. New York (1962)
4. BOVEY, F. A. Polymer Conformation and Configuration. Academic Press. New York (1969)
5. BROUTMAN, L. J. Modern Composite Materials. Addison-Wesley Publ. Co. Reading, Mass. (1967)
6. BRYDSON, J. A. Plastics Materials. D. Van Nostrand Co. Princeton, New Jersey (1966)
7. BUECHE, F. Physical Properties of Polymers. Interscience Publishers. New York (1962)
8. CAMM, F. J., Gilbert-Rolfe, H. W. y Nicholas, D. E. Elaboración y Fabricación de Plásticos. 2a. ed. Miguel Arimany, S. A. Barcelona (1897)

9. CAROTHERS, W. H. Collected Papers of Wallace Humme Carothers of High Polimeric Subs. Mark and G. Stafford Whiby. New York (1940)
10. D'ALELIO, G. F. Experimental Plastics and Synthetic Resins. John Wiley and Sons, Inc. New York (1946)
11. FLECK, A. R. Plásticos, Su Estudio Científico y Tecnológico. Gustavo Gili, S. A. Barcelona (1953)
12. FLORY, P. S. Principles of Polymer Chemistry. Cornell University Press. Ithaca, N. Y. (1953)
13. GLANVILL, A. B. Plastics Materials Handbook. 2nd. ed. The Machinery Publishing Co. LTD. Partes 1 y 2. London (1964)
14. GOLDING, B. Polymers and Resins. D. Van Nostrand Co. Princeton, N. J. (1959)
15. HOLLIDAY Composite Materials. Elsevier Publishing Co. Amsterdam, (1966)
16. KAPPELMEIER, C. P. Chemical Analysis of Resin-Based Coating Materials. Interscience Publishers, Inc. New York (1959)
17. KINNEY, G. F. Plastics. John Wiley and Sons, Inc. London (1957)
18. KOBAYASHI, A. Machining of Plastics. McGraw-Hill Book Co. New York (1967)
19. LEVER, A. E. The Properties and Testing of -

- Plastics Materials. Chemical -
Publishing Co. New York (1962)
20. MILES, D. C. and Briston, J. H. Polymer Technology. Chemical Publishing, Co., Inc. New York (1965)
21. MORRISON, R. T. and Boyd, R. N. Organic Chemistry. Second Edition. Allyn and Bacon, Inc. Boston (1967).
22. NASH, W. A. Teoría y Problemas de Resistencia de Materiales. 1a. ed. McGraw-Hill. New York (1969)
23. PERRY, C. C. y Lissner, H. R. The Strain Gage Primer. McGraw-Hill (1962)
24. PINNER A Practical Course in Polymer Chemistry. Pergamon Press. New York (1961)
25. REDFARN, C. A. A Guide to Plastics. Iliffe & Sons LTD. London (1958)
26. REDFARN, C. A. Experimental Plastics. Interscience Publishers Inc. New York (1949)
27. SASSO, J. Plastics for Industrial Use. 1st. edition. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York (1942)
28. SCHMIDT, A. X. and Marlies, C. A. Principles of High Polymer Theory and Practice. McGraw-Hill Co. New York (1948)
29. SEACHTLING-Zebrowski Manual de Plásticos. Editorial-Reverté, S. A. Barcelona (1963)
30. SEELY, F. B. Resistance of Materials. John

- Wiley and Sons, Inc. New York (1925)
31. SEYMOUR, R. B. Introduction to Polymer Chemistry. Mc Graw-Hill. New York (1971)
32. SIMONDS, H. R. A concise guide to PLASTICS. - 2nd. ed. Reinhold Publishing -- Corp. New York (1965)
33. SIMONDS, H. R. Handbook of Plastics. 2nd. ed. - D. Van Nostrand Co. New York (1952)
34. SIMONDS, H. R. Source Book of the NEW PLAS--TICS. Vol. I. Reinhold Publi-- shing Corp. N. Y. (1959)
35. SIMONDS, H. R. y Weith, A.S. Tratado General de Plásticos. -- (2 Tomos). Ed. Reverté, S. A. Barcelona (1953)
36. STILLE, J. K. Introduction to Polymer Chemis-- try. John Wiley and Sons, Inc. New York (1962)
37. TIMOSHENKO, S. Resistencia de Materiales. Es-- pasa Calpe, S. A. Madrid (1957)
38. WINDING, C. C. and Hiatt, G. D. Polymeric Materials. Mc Graw --Hill Co. New York (1961)
39. WORDINGHAM, J. A. y Reboul, P. Diccionario del Plástico. Edito-- rial Víctor Lerú. Buenos Aires (1966)
40. THE ENCYCLOPEDIA AMERICANA Vol. 22. Americana Corpora-- tion. New York (1953)
41. ENCYCLOPEDIA BRITA-- NICA Vol. 18. Encyclopedía Britani-- ca, Inc. Chicago (1947)

42. MODERN PLASTICS
ENCYCLOPEDIA Vol. 47. No. 10 A. 1970-1971.
43. DONALD R. Paul y otros Applied Polymer Science for Engineers and Scientists, Symposium. Joe. C. Thompson Conference Center. The University of Texas at Austin. May 22-26, --- 1972
44. TERAN ZAVALETA, J. Apuntes de los Cursos de Plásticos I y II. Facultad de Química UNAM (1970).
45. FRANK Manual de Operaciones para el - Microdurómetro "Fino-Test", -- No. 536.