



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y LA FORMULACION  
DE UN SELLADOR ELASTOMERICO PARA JUNTAS  
EN CANALES REVESTIDOS DE CONCRETO SUJE  
TO A PERIODOS DE INMERSION Y SECADO

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a

FELIPE ANGEL DE LA SANCHA MONDRAGON.

México, D. F.

1980

M-23761



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.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE: Prof. Enrique Villarreal Domínguez  
SECRETARIO: Prof. Ma. Magdalena Alvarez Ruíz  
VOCAL: Prof. Nieves del Carmen Silva Gómez  
1er. SUPLENTE: Prof. Roberto Galicia García  
2do. SUPLENTE: Prof. Fco. Javier Rodríguez Mendez

Sitio donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química, U.N.A.M.

Nombre completo y firma del sustentante:

FELIPE ANGEL DE LA SANCHA MONDRAGON

Nombre completo y firma del asesor del tema:

  
Prof. Enrique Villarreal Domínguez



# C O N T E N I D O

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	5
GENERALIDADES	6
Tipos de selladores	6
Métodos de curado	7
Propiedades	8
CAPITULO II	12
ESFUERZO-DEFORMACION EN SELLADORES	12
CAPITULO III	18
ESPECIFICACIONES	18
Composición	19
Propiedades físicas y químicas	20
Adherencia y cohesión	20
Viscosidad	21
Penetración	21
Esgurrimiento	22
Resistencia a la oxidación y el envejecimiento acelerado	22

CAPITULO IV	24
METODOS DE PRUEBA	24
Preparación de especímenes	25
Probetas	30
Secado acelerado	31
Descripción de las pruebas	31
CAPITULO V	39
DISEÑO DE LA FORMULACION	40
CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFIA	57

## R E C O N O C I M I E N T O

Quiero manifestar mi reconocimiento a las personas que orientaron y apoyaron la realización de mis estudios profesionales.

Mis padres Lic. Felipe de la Sancha Dfaz y Concepción Mondragón P., mi hermana, Dra. Luz Ma. de la Sancha M. mi esposa Lic. Rosa I. Gaytán Guzmán. A Elsa Moreno por su amistad sincera. Al Ing. Enrique Villarreal, por sus consejos y ayuda durante la carrera y después de ella. Finalmente debo mucho a mi cuñada Patricia por su valiosa ayuda, a Marcia y a Pina por su empeño en la corrección y mecanografía de esta tesis.

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

El crecimiento explosivo de la industria de la construcción, que se presenta al término de la segunda guerra mundial y durante los últimos treinta años, ha forzado el desarrollo de -- trabajos de investigación dentro de las instituciones públicas y privadas, a través de organismos nacionales e internacionales, - que han traído como consecuencia un cambio profundo en los métodos de construcción que se utilizan en el mundo.

Dentro de este contexto ha jugado un papel determinante el estudio de las propiedades físicas y químicas de las macromoléculas, materiales cerámicos y metales.

Las formulaciones tradicionales, han tenido que ceder su lugar a la incorporación de nuevos materiales, provenientes de - los recursos naturales, de la industria química y petroquímica. Así como del empleo de desperdicios industriales.

El uso de selladores dentro de las necesidades de la industria es un fiel reflejo de como se ha avanzado. Si recordamos el empleo de partes prefabricadas podemos tener una idea de la - importancia de los selladores.

Por supuesto que los problemas del sellado correcto de las juntas de construcción, de contracción y expansión, no son problemas. El encuentro de una solución práctica se remonta con la historia misma del hombre, Los caminos de los Romanos estaban construidos a base de grandes agregados y bloques de adoquín que absorbían el movimiento del pavimento a través de un gran número de juntas.

En los primeros intentos del sellado de las juntas, todo se hacía por tanteo y prueba. La experiencia se constituyó en la gran maestra.

No es sino hasta los años treinta de este siglo, cuando la industria del cemento empezó a tener interés en el sellado de juntas, que se hicieron los primeros esfuerzos para establecer una base científica al sellado de juntas.

Durante la década de los años cuarentas, encontramos ya el empleo de asfaltos vaciados en caliente como el sellador de uso más generalizado.

A principio de los años cincuentas se introducen al mercado los selladores elastoméricos vaciados en frío y que constituyen un paso definitivo en la calidad del sellado.

En los años recientes se introdujeron los empaques preformados y las juntas preselladas.

De este modo surgen día con día nuevos materiales con características mejoradas que sugieren soluciones a los nuevos y viejos problemas.

La búsqueda de una respuesta práctica que converge en las nuevas construcciones, constituye un desafío que no puede ser resuelto sino en los marcos de amplios programas de investigación científica, a través de universidades e instituciones de investigación, por lo que es una cuestión del día el apoyo y la promoción del estudio de los materiales y de sus propiedades físicas.

CAPITULO I

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

Los selladores son utilizados para aislar polvo, suciedad, humedad y agentes químicos, o para contener un líquido o un gas.

También son utilizados como una cubierta protectora al ataque químico o mecánico, para aislar el ruido, para mejorar la apariencia y para trabajar en una unión.

Los modernos selladores son formulados a partir de polímeros sintéticos que antes de curar pueden ser fácilmente aplicados. Algunos de los polímeros que están siendo utilizados para la formulación de selladores incluyen el hule butilo, y polisobutileno, el polietileno clorosulfonado, el cloropreno, poliacrilato, silicón, poliuretano, polisulfuro.

#### TIPOS DE SELLADORES

Aunque la gran variedad de selladores conocidos en el mercado hacen difícil su clasificación. Podemos, de acuerdo con J.S. AMOSTOCK, dividirlos en:

ENDURECIBLES

RIGIDOS

NO ENDURECIBLES

FLEXIBLES

Los más representativos, de los selladores rígidos, son -

aquellos formulados a partir de resinas epóxicas, poliéster, acrílicas, poliamidas y acetato de polivinilo.

Los selladores flexibles son en general formulados en base a un elastómero de modo que en ocasiones constituyen verdaderos hules, con muy buenas propiedades adhesivas y en condiciones de resistir gran variedad de condiciones ambientales; este tipo de selladores a su vez se divide en dos tipos, según su método de curado, ya sea por su eliminación de solvente o no.

Los selladores no endurecibles permanecen "húmedos" después de la aplicación y nunca secan verdaderamente, aunque algunos de ellos forman una película superficialmente seca.

#### MÉTODOS DE CURADO

Los métodos de curado utilizados, en términos generales se dividen de la siguiente forma:

a) Sistemas de dos componentes: El componente base del sellador es mezclado con el agente curante, catalizador, endurecedor o acelerador antes de la aplicación.

b) Sistemas de monocComponentes: Son también sellado-

res de curado químico en presencia de vapor de agua.

c) Sistemas de eliminación de solventes: Normalmente algunos polímeros sintéticos se disuelven en un solvente adecuado que se evapora durante el ciclo de curado dejando el sellado seco.

d) Sistemas oleoresinosos: Dentro de estos sistemas podemos distinguir el curado por oxidación, en el caso del aceite de linaza, tung, o aceites marinos; el curado anaeróbico desarrollado en ausencia de oxígeno, sistemas de emulsión en agua, donde el sellador emulsionado toma la consistencia de un hule por la evaporación del agua; los selladores a base de polibuteno, polisobutileno y aceites vegetales no secantes permanecen en estado plástico y son denominados plásticos.

## PROPIEDADES

a) Reológicas: Los selladores no tixotrópicos tienen una consistencia que causa que este fluya después de su aplicación, hasta alcanzar su propio nivel. Los selladores tixotrópicos tienen una consistencia del tipo de la mayonesa-fluido viscoelástico-, No buscan su propia nivelación pueden aplicarse a superficies verticales.

b) Temperatura y presión: Se dispone de una amplia variedad de selladores de distinto comportamiento para una temperatu-

ra y presión de operación dada. La resistencia a la presión depende de la consistencia del sellador y del diseño de la junta.

En relación a la temperatura se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- \* Temperaturas extremas alcanzadas.
- \*\* Rango de fluctuación de temperaturas y ciclos de las fluctuaciones.

Algunos selladores pierden resistencia, pero permanecen flexibles, otros se hacen quebradizos y otros más se descomponen plenamente.

c) Compatibilidad térmica: Los selladores pueden ser formulados para resistir el ataque químico de un agente específico, dichos agentes pueden provocar que el sellador se desintegre, contraiga, se haga quebradizo o se vuelva permeable.

d) Resistencia al intemperismo: Los selladores expuestos a la intemperie varían en sus resistencias al agua, calor, frío, rayos ultravioletas y radiación solar.

e) Mecánicas: Las propiedades mecánicas importantes -

incluyen resistencia, elongación, compresibilidad, módulo de elasticidad, resistencia al corte y a la fatiga.

f) Adhesión: Este es uno de los factores más importantes en el comportamiento del sellador. La adhesión es en primer lugar afectada por la interacción entre el sellador y la superficie a que es aplicado, por el primario empleado para mejorarla. La adhesión también es afectada por el diseño de la junta y por las fuerzas físicas ambientales que interactúan con el sellador.

Dentro de las pruebas que se llevan a cabo para la evaluación de un sellador podemos mencionar:

Resistencia a solventes

Toxicidad

Esfuerzo dieléctrico

Envejecimiento

Resistencia al ozono

Dureza

Módulo de elasticidad

Límite de elongación

Resistencia a rayos ultravioletas

Fuerza de adhesión

Ciclo de tensión y compresión

Esfuerzo al desgarre

Esfuerzo al corte

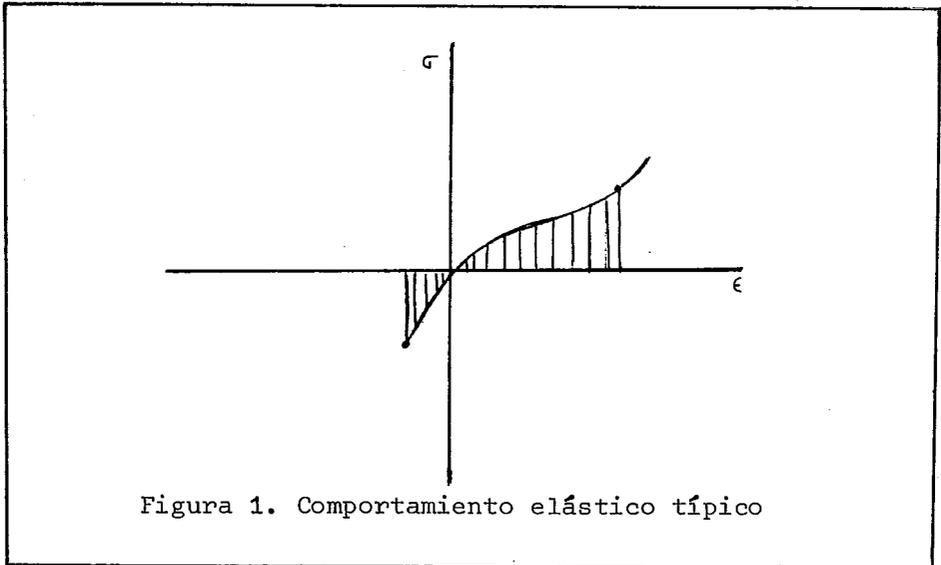
Todas estas pruebas se encuentran definidas dentro del Código ASTM, en el capítulo IV dentro del objetivo particular del trabajo se aborda en detalle el contenido de cada uno de ellos; motivo por el cual ahora no profundizaré.

CAPITULO II

ESFUERZO - DEFORMACION  
EN SELLADORES

El comportamiento mecánico de un sellador varía de acuerdo con el tipo de materiales que se emplea en su fabricación.

Los polisulfuros, poliuretanos y silicones se aproximan al comportamiento elástico. Los mastiques y plásticos presentan deformaciones permanentes, intermedios a estos dos extremos se encuentran los selladores elastoméricos de base acrílica, butilo, neopreno e hypalon (Figura 1) por lo que para el trabajo óptimo de cada sellador deben aplicarse diferentes criterios.



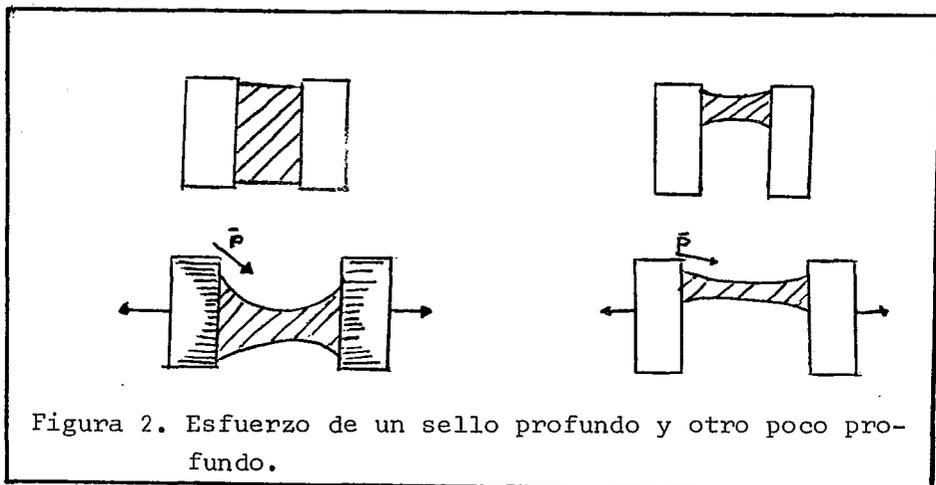
En la mayoría de los casos, el sellador es extendido en más de dos veces sus dimensiones originales sin que falle, luego debe regresar a sus dimensiones originales una vez eliminado el

esfuerzo. Similarmente es el caso de compresión, flexión o esfuerzos transversales.

La deformación puede definirse como:

$$\text{Deformación} = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Ancho inicial de la junta}}$$

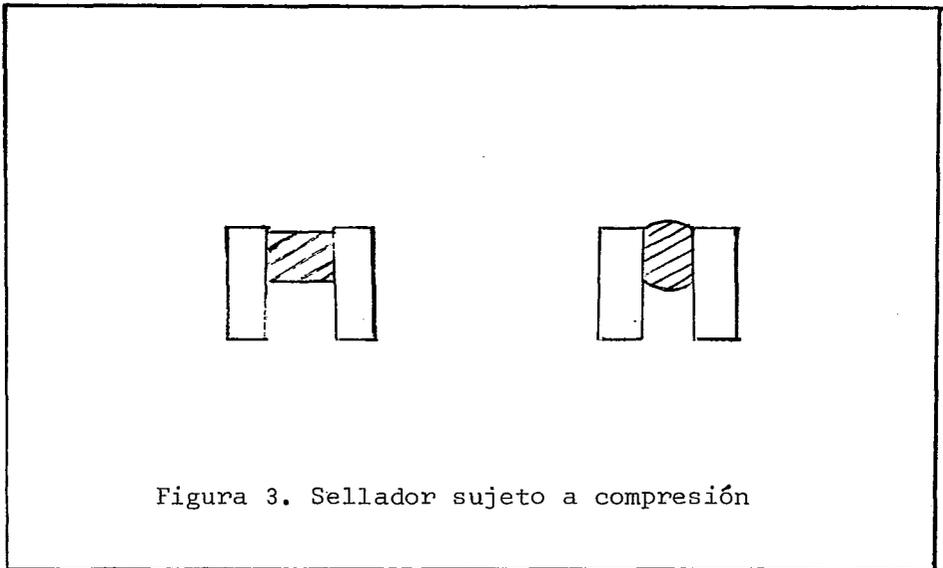
Forma y dimensión son aspectos críticos en el comportamiento del sellador. Si consideramos el caso de un sello profundo y de otro poco profundo (fig. 2) podemos observar que las superficies superior e inferior sufren la mayor deformación, por lo que los esfuerzos de estos puntos son máximos.



El vector esfuerzo máximo  $P$ , en la figura tiene una componente vertical mayor (componente de corte), que provoca una --tendencia a desprenderse.

La parte central del sellador a su vez está sujeta al máximo valor de la deformación, por lo que es necesario que las propiedades cohesivas del sellador sean buenas.

La deformación también se presenta cuando el sellador es es tá sujeto a compresión. (fig. 3)



Del análisis de este caso, se puede señalar que al aplicar el sellador se debe mantener su nivel ligeramente abajo de la superficie para evitar que aparezca un borde que pueda ser causa de falla. Debe darse al sellador un acabado cóncavo en la superficie superior, teniendo el cuidado de no dejar una capa muy delgada en el centro, porque el esfuerzo a la compresión haría que dicha capa se torciera como si fuera una delgada columna.

Los selladores elastoméricos deben adherirse sólo en los costados de la junta con el fin de que trabajen correctamente. La superficie inferior debe estar libre para deformarse. De otro modo el sellador se rompe. (fig. 4)

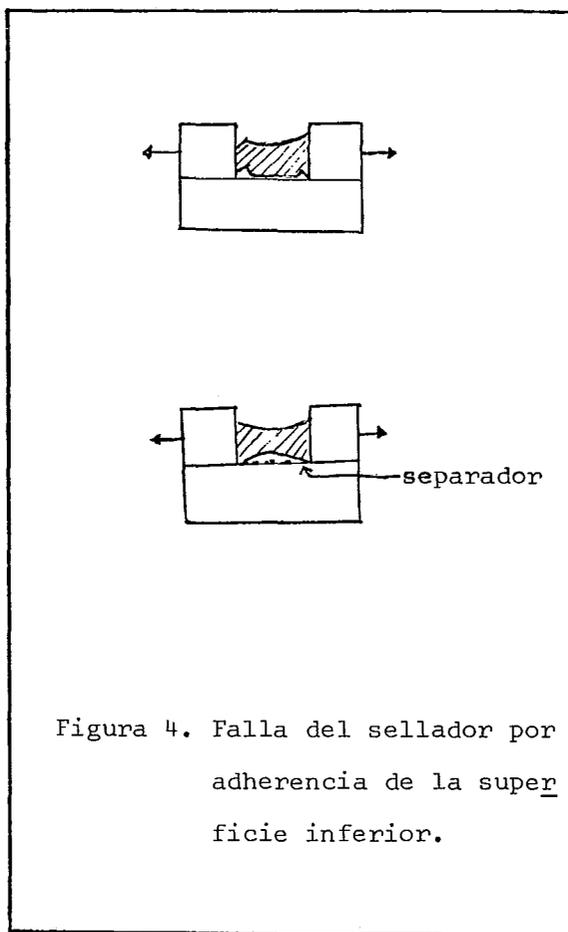


Figura 4. Falla del sellador por adherencia de la superficie inferior.

Fallas mecánicas (fig. 5)

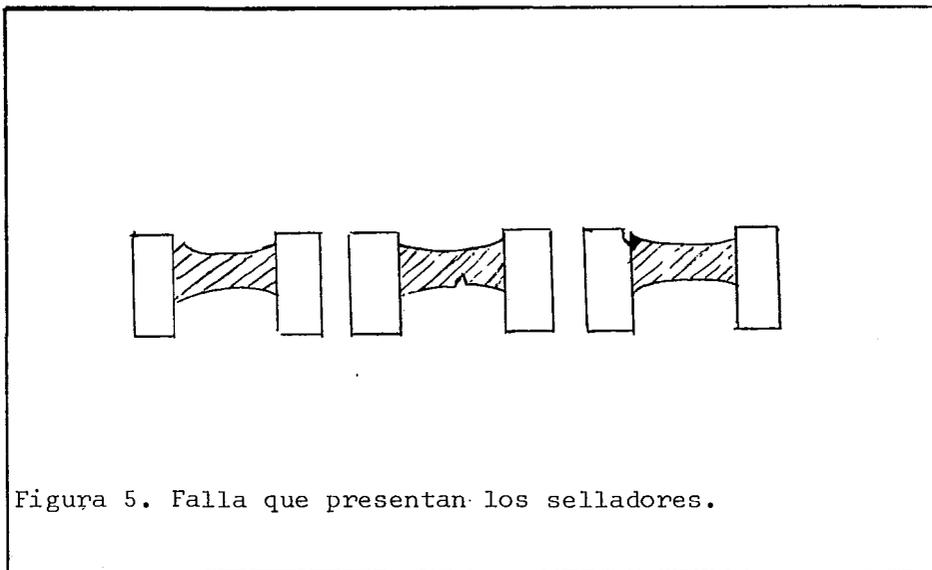


Figura 5. Falla que presentan los selladores.

Las fallas que se presentan en los selladores como respuesta de sus propiedades se pueden dividir de la siguiente manera:

Fallas de adhesión: Pérdida de unión entre el material y el sustrato.

Fallas de cohesión: Pérdida de unión dentro del cuerpo del sellador.

Fallas por astillamiento: Pérdida de unión dentro del cuerpo del sustrato provocada por un valor más alto de cohesión del sellador que el del sustrato y si no, hay falla adhesiva.

CAPITULO III

E S P E C I F I C A C I O N E S

## 1. COMPOSICION

- 1.1. El sellador debe poseer características elastoméricas y puede estar compuesto de un polímero sintético o mezcla de polímeros modificados con resinas de hidrocarburos sa turados.
  
- 1.2. El contenido de sólidos no será inferior al 75% de volumen total del sellador; el restante 25% puede ser cualquier di solvente volátil que no sea tóxico a concentración de 300 mg. ó mayor, por metro cúbico de aire y a la temperatura ambiente de 25°C y presión de 760 mm. de mercurio, de acuerdo con los valores de TLV (Valores Límites tolerables) aceptados internacionalmente y publicados anualmente por la "American Conference of Governmental Industrial Hygienists". De requerirse mayores temperaturas para la aplicación del sellador y cuando el calentamiento del mismo no se realice en sistema cerrado, los valores TLV considerados serán los que correspondan al promedio entre la temperatura del sellador en el momento de su apli cación.

## 2. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

### 2.1. Adherencia y Cohesión

- 2.1.1. El sellador deberá pasar la prueba de adherencia y cohesión, consistente en un ciclo de extensión al 50% y recompresión, efectuados a la temperatura ambiente de  $-2 \pm 2^\circ \text{C}$  de acuerdo con el método descrito en Capítulo 4. La separación o ruptura que se produzca durante la prueba en la masa del sellador o entre el sellador y el bloque de mortero, será considerada como falla del espécimen.
- 2.1.2. La adherencia y cohesión deberán mantenerse bajo la carga de una columna de diez metros de altura consistente en una solución de 50 g. de cloruro de sodio, 50g. de hidróxido de sodio por cada litro de agua. El sellador deberá soportar esa presión durante 96 hrs. consecutivas, a la temperatura ambiente y estando el sellador con una extensión del 20%. La separación entre el sellador y el bloque de mortero o la ruptura del sellador en su parte intermedia será considerada como falla de adherencia en el primer caso y falla de cohesión en el segundo, de acuerdo con el método de prueba 4. Esta prueba será realizada colocando

el sellador sobre mortero fresco que halla sido colocado entre una a dos horas antes y aún se encuentre en estado plástico. Se esperará posteriormente al endurecimiento del mortero y al curado o secado del sellador antes de probarlo.

## 2.2. Viscosidad.

La viscosidad máxima del sellador antes de haber secado y tal como se entregue para su aplicación, no deberá exceder de 15 000 000 cps. a la temperatura 25° C. El método de prueba se describe en la sección 5.

## 2.3. Penetración.

La penetración máxima en el sellador, una vez curado o seco, no deberá exceder 9mm. a la temperatura de 25° C. La prueba se efectúa con un cono de penetración para grasa. El peso del cono y sus aditamentos debe ser de 150g. y las determinaciones deberán realizarse a la temperatura indicada en un lapso de 5 segundos, según se describe en el método de prueba 6.

#### 2.4. Esgurrimiento

No deberá de fluir el sellador en el momento de ser colocado en una junta simulada a escala natural, colocada a 45° de inclinación respecto a la horizontal y una temperatura de  $45 \pm 2^\circ\text{C}$  mantenida por un período de dos horas. El sellador será colocado de acuerdo con el método e instrucciones dadas por el fabricante.

Se considera como falla, el desplazamiento del cordón de sellado hacia abajo, en una longitud que exceda de 5mm. para un cordón de sellado de 10cm. de largo. El escurrimiento se medirá en la parte inferior del cordón de sellado.

#### 2.5. Resistencia a la oxidación y al envejecimiento acelerado.

El sellador deberá resistir la prueba de envejecimiento acelerado que se describe en el método de prueba 8.

El procedimiento consiste en una modificación de la prueba Bierer-Davis y se efectuará colocando el espécimen en una campana hermética y someténdolo a una temperatura constante de  $85^\circ\text{C}$  durante un período de 96 horas. Después de haber sido sometido el espécimen a la prueba de envejecimiento acelerado que se describe en el mé-

todo 8, se repetirán las pruebas de adherencia y cohesión 3 y 4 así como la penetración 6. La falla a la repetición de estas pruebas serán consideradas como falta de resistencia del sellador al envejecimiento.

CAPITULO IV

M E T O D O S   D E   P R U E B A

## PREPARACION DE ESPECIMENES

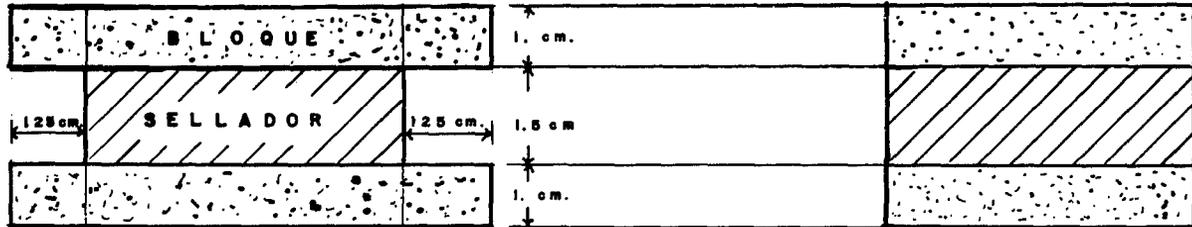
Para correr las pruebas a cada muestra del sellador se requiere la preparación de bloques de mortero de cemento portland tipo 1, en relación 1:2 con arena ( DGN-CL para cemento y ASTM-33 de agregados para concretos).

La cantidad de agua es la necesaria para obtener una fluidez de  $100 \pm 5\%$  (DGN-C61). El curado de los bloques se debe efectuar en un cuarto cerrado durante 24 hrs. a una temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y una humedad relativa del 90%.

Cumplidas las 24 hrs. los bloques serán decimbrados y sumergidos en agua durante 6 días a una temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . En el momento en que se desee utilizar los bloques deberán escurrirse y secarse, superficialmente. Por el carácter de las diferentes pruebas a que deberán ser sometidas las formulaciones, los bloques serán de 4 formas diferentes.

Bloques de tipo 1. Para las pruebas de adherencia y cohesión y extensibilidad (fig. 6), las dimensiones son 1 x 5 x 7.5 cm.

ESPECIMEN TIPO 1



P L A N T A

V I S T A L A T E R A L



E L E V A C I O N

Figura 6. Bloques de Tipo 1



# CROQUIS DE SEPARADORES SUPERIOR E INFERIOR

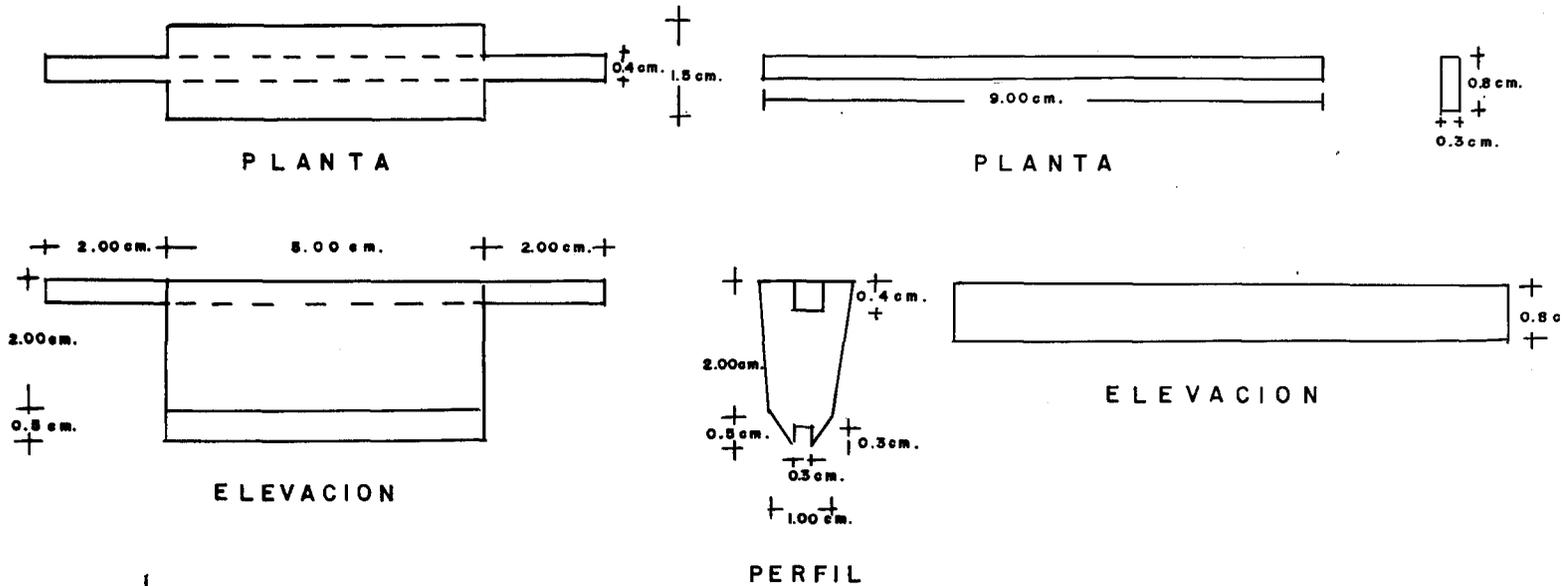


Figura 7b. Bloques de Tipo 2

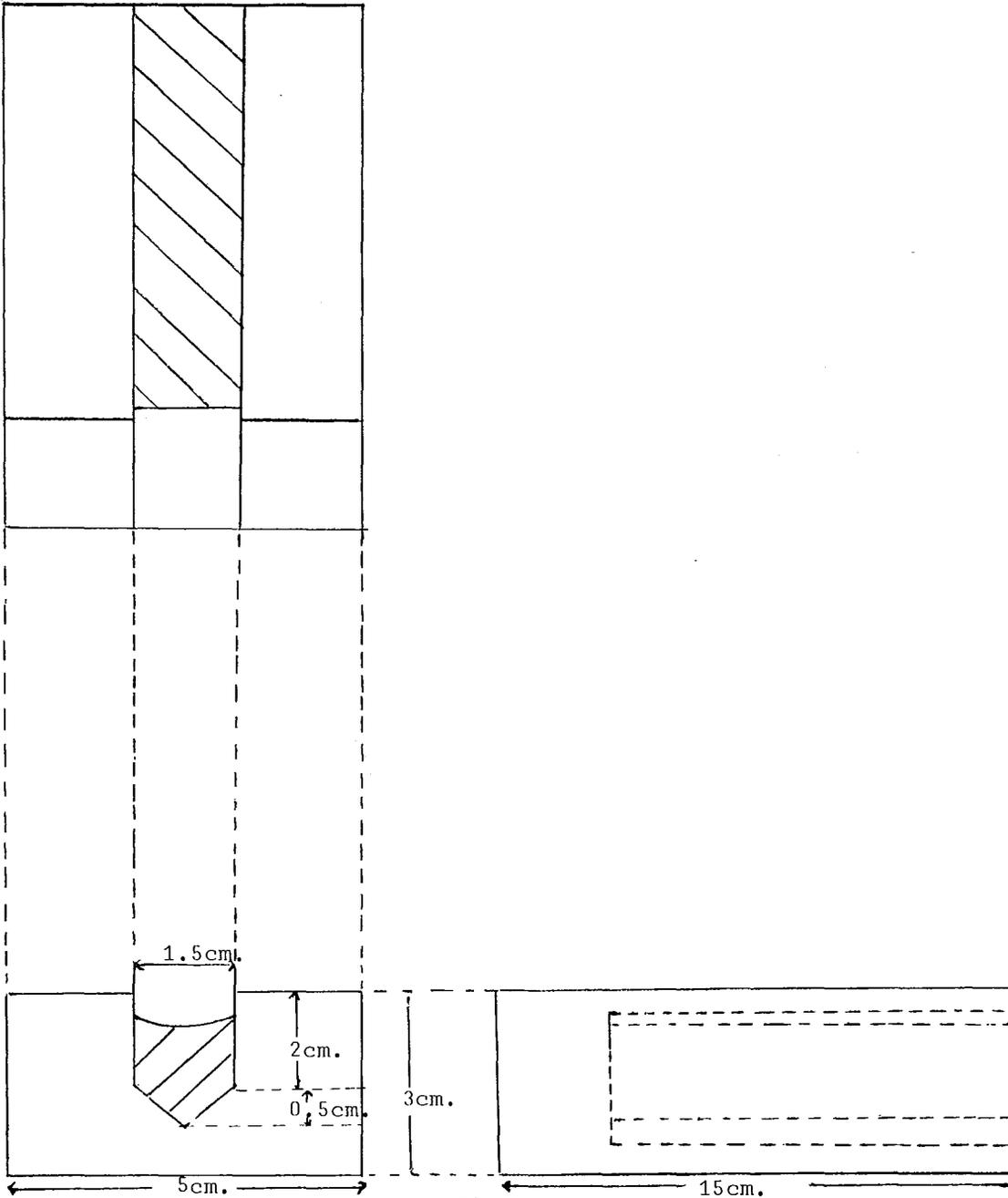


Figura 8. Bloque de Tipo 3

Bloques tipo 2. Para las pruebas de adherencia y cohesión bajo carga hidrostática (fig. 7a y 7b), con dimensiones 5 cm. de diámetro y 3 cm. de espesor, con una junta simulada a escala natural y dividido en dos porciones iguales.

Bloques tipo 3. Para la prueba de escurrimiento (Fig. 8). de 15 cm. de longitud y conteniendo una junta de construcción simulada a escala natural.

Bloques tipo 4. Para la prueba de penetración (fig. 9), con dimensiones interiores de 4 x 2 x 1.5 cms. de profundidad.

## PROBETAS

Cada uno de los tipos de bloques de las características dadas anteriormente necesitan las siguientes probetas:

Probeta 1. Tomando dos bloques tipo 1 se prepara un "emparedado" de sellador, para lo cual los bloques se colocan paralelos (ver nuevamente la fig. 6) a una distancia de 1.5 cms. para obtener esto se colocan separadores no adherentes; de este modo se genera un hueco de 5 x 5 x 1.5 cms. que es llenado y enrasado de sellador. Antes de correr las pruebas el sellador debe curar com-

pletamente mediante secado acelerado.

Probeta 2. Cada probeta se forma con dos bloques semi-circulares, unidos mediante cinturones que mantendrán su presión sobre los bloques. La ranura contenida es llenada y enrrasada con sellador, empleandose topes y cuñas para mantener la separación adecuada. Posteriormente, se somete la probeta a secado acelerado.

#### SECADO ACELERADO

Se colocan las probetas en una estufa a  $85 \pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 48 hrs, después de las cuales se dejan reposar 24 hrs. a la temperatura ambiente. Cuando el sellador se halla enfriado, la superficie debe estar compacta al presionarla con la mano.

#### DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

##### Prueba 1. Características elastoméricas.

La identificación del polímero y modificantes se efectúa mediante espectrofotometría de infrarrojo. Las características se identifican mediante las pruebas 3 y 4, descritas en este mismo apartado.

##### Prueba 2. Contenido de sólidos.

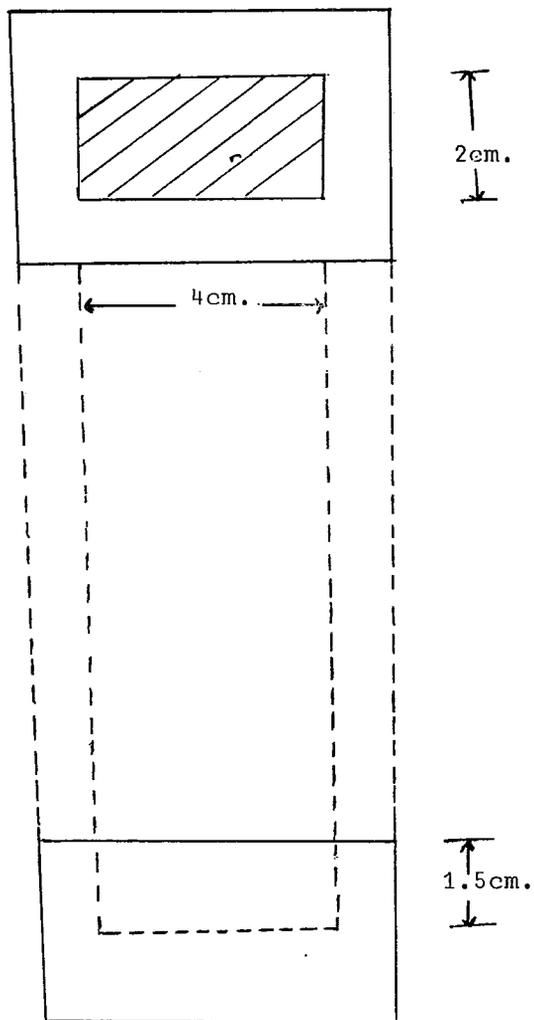


Figura 9. Bloque de Tipo 4

En una lámina portaobjeto, previamente tarada, se aplica una capa de 2 mm. del sellador, tomando nota del valor del peso inicial de la muestra. Se somete a secado acelerado a  $85 \pm 2^\circ \text{C}$  durante 48 hrs. dejándose posteriormente enfriar en un desecador. Una vez enfriada la muestra se determina en la balanza analítica el peso final del material. Para calcular el porcentaje de sólidos se emplea la siguiente expresión:

$$\% \text{ de sólidos} = \frac{\text{Peso final del material}}{\text{Peso inicial del material}} = 100$$

### Prueba 3. Adherencia y Cohesión.

La probeta 1 se coloca en una máquina de extensión fijando los extremos al bloque con las mordazas de las mismas y a continuación se sumerge en un baño a  $-2 \pm 2^\circ \text{C}$  hasta alcanzar el equilibrio. A continuación se indica la extensión del sellador a una velocidad de prueba de 3 mm. por hora hasta alcanzar una elongación máxima del 50%.

Se desmonta la probeta para examinarla si hubo alguna falla ya sea entre el sellador y el bloque o dentro de la masa del sellador.

La probeta que halla pasado la prueba será recomprimida a sus dimensiones originales y utilizada en la prueba de envejecimiento acelerado.

#### Prueba 4. Adherencia y Cohesión bajo carga hidrostática.

A la probeta 2 se le cambian los separadores por cuña para producir una elongación de 20% (3mm.) y se introduce un una cámara de presión (fig. 10) se compone de dos partes: La base que tiene un diámetro interior de 5.3. cm. y que tiene un tope inferior para impedir el deslizamiento del bloque y la tapa que tiene dos orificios para la entrada de la solución acuosa que causará la presión.

Como es necesario obtener un cierre hermético entre la cámara y la probeta se emplea un cordón epóxico exento de solvente que contamine la muestra.

En la figura 11 se puede apreciar el dispositivo ya montado en donde ha de efectuarse la prueba.

Por una de las mangueras se introduce una solución acuosa que contenga 50 g. de cloruro de sodio y 50 g. de hidróxido de sodio por cada litro de agua a razón de dos metros por hora y hasta alcanzar una altura de 10 mts. sobre la probeta. Se considerará co

# CAMARA DE PRESION

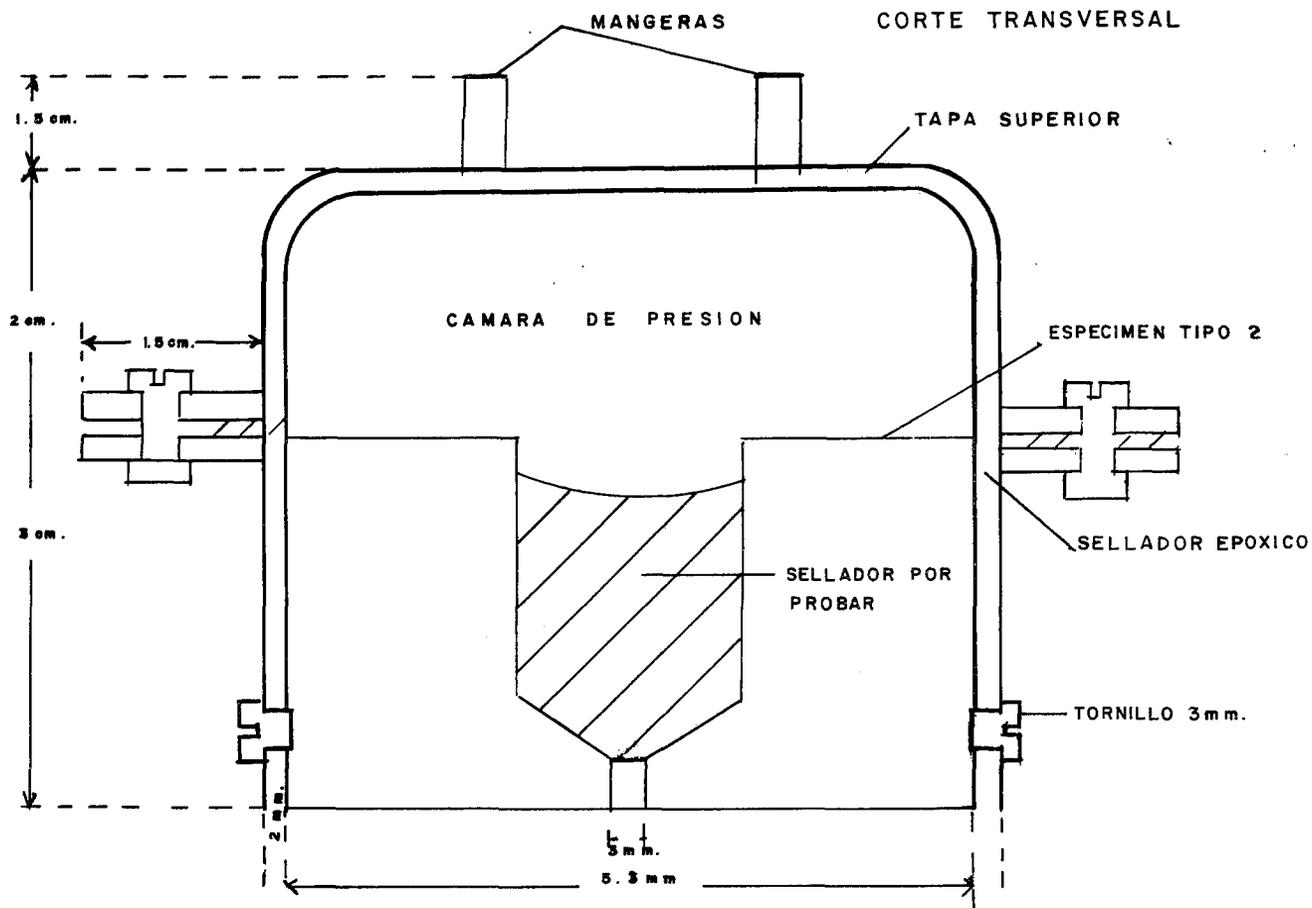


Figura 10. Cámara de Presión

mo falla el vaciado del agua contenida en la cámara antes de haber transcurrido 96 hrs. tiempo límite de la prueba.

La probeta que halla pasado la prueba se somete al envejecimiento acelerado.

#### Prueba 5. Viscosidad.

El sellador contenido en vaso de 600 cc. se deposita en un baño maría a 25° C hasta alcanzar un equilibrio térmico, después de lo cual se determina su viscosidad en un BrookField con el vástago a 7 a 0.5 rpm, considerándose como verdadera la lectura mínima.

#### Prueba 6. Penetración.

Se coloca el sellador en un bloque 4 procediéndose a su secado acelerado. La probeta así obtenida será enrrasada, cortando la corteza superficial formada durante el secado acelerado, y compactada.

La determinación se lleva a cabo mediante el empleo de un cono de penetración para pruebas de penetración en grasa con un peso de 150 g. debiendo obtenerse un valor máximo de penetración de 9 mm. en un lapso de 5 segundos.

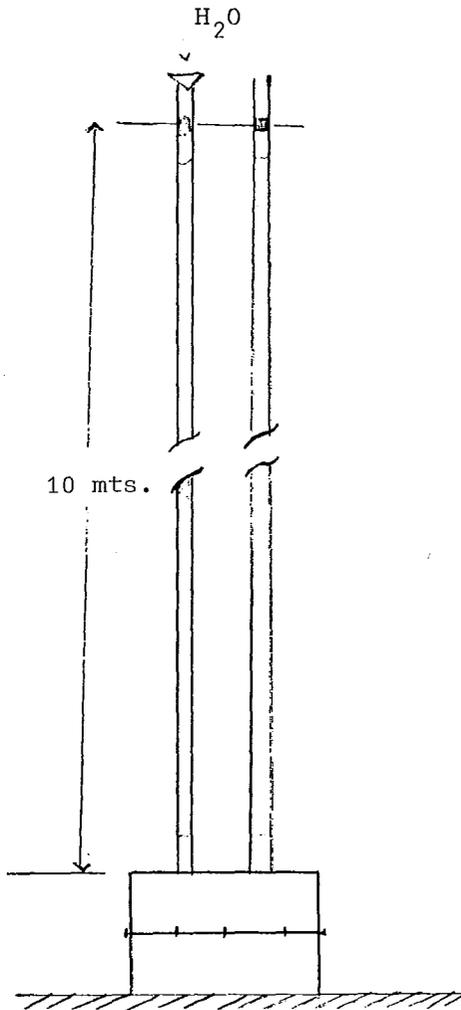


Figura 11. Dispositivo para prueba hidrostática

La probeta que pase esta prueba será sometida a envejecimiento acelerado.

#### Prueba 7. Escurrimiento.

Se prepara una probeta utilizando un bloque 3 aplicando sellador en la ranura mediante una pistola de calafateo o espátula para formar un cordón de 10 cm. de longitud, por medio de un dispositivo especial se coloca la probeta con 45° de inclinación dentro de una estufa a 45° C.

Se considerará como falla si el cordón fluye más de 5 mm. a partir de la base en un tiempo prueba de dos horas.

#### Prueba 8. Envejecimiento acelerado.

Las probetas aprobadas en las pruebas 3, 4 y 6 se colocan dentro de una campana de presión previamente calentada a 85° C y se someten a una presión de 20 atms. de oxígeno durante un período de 96 hrs., después de lo cual y una vez examinadas se someten a las pruebas que en el ciclo anterior se aprobaron.

CAPITULO V

DISEÑO DE LA FORMULACION

El diseño de una formulación consiste en la selección de los tipos y las cantidades específicas de los ingredientes de una mezcla, la determinación de la manera de realizar la mezcla, los pasos y las precauciones necesarias para su proceso.

Este tipo de actividad está condicionado a producir un artículo adecuado a las condiciones de servicio que se requiere satisfacer, al menor costo.

La primera condición, determina el tipo de materiales que deben ser empleados, así como el conjunto de propiedades físicas que será necesario cumplir. La segunda debe ser la mejor alternativa del caso.

El diseño de una formulación requiere un conocimiento profundo de las propiedades y efectos de cada uno de los ingredientes de una mezcla, la comprensión de los requerimientos de servicio propios del artículo, así como el conocimiento pleno de la maquinaria y equipo de producción existentes, las ventajas y desventajas de los diferentes métodos como se puede procesar un artículo.

En la actualidad se manejan pocas bases científicas para diseñar una formulación. A pesar de la copiosa información técnica

ca referente al uso de los diversos ingredientes, esta es fundamentalmente empírica. Los estudios que sobre un determinado material se hacen, para promover su aplicabilidad, de ningún modo pretenden ser de validez general ya que el número de variables involucradas, obligan a estudiar su comportamiento en fórmulas demasiado sencillas y a veces poco prácticas.

De manera simple podemos decir que el trabajo de formulación consiste en seleccionar una resina, de acuerdo a las propiedades físicas deseadas, la cual es modificada con diversos ingredientes a travez de un proceso iterativo, con el objeto de obtener un producto útil a un costo razonable.

Para facilitar el desarrollo de una formulación, los ingredientes son reunidos en una fórmula bajo la siguiente estructura (fig. 12).

a) Los materiales son listados en el orden de mezclado, durante el proceso.

b) La cantidad de los ingredientes es dada en base a un total de 100 partes de hule o combinación de hules usados.

Así, al comparar diferentes fórmulas, el efecto de varia-

ción de un componente es fácilmente reconocido cuando se comparan las propiedades físicas o características de procesado.

c) El costo de la formulación puede ser calculado por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Costo} = \frac{\text{Costo total de ingredientes}}{\text{Peso total de la fórmula}}$$

d) El método de procesado, debe indicar el orden y las condiciones en que se procesa el material, el tipo de máquina empleada en cada etapa y el tiempo que se consume en efectuarla.

e) Las especificaciones del producto a 25° C.

PRODUCTO: \_\_\_\_\_ PRUEBA: \_\_\_\_\_

	MATERIA PRIMA	TIPO	PARTES	PRECIO	COSTO UNITARIO	PROVEEDOR
A	Neopreno W	Hule	100	51.48	5 148.00	DU-PONT
	MgO	Vulc.	4	5.10	20.40	Tosaygo
	Antiox.	Antiox.	2	9.00	18.00	Tosaygo
	CaCO <sub>3</sub>	Refor.	150	0.80	120.00	Minerales la C
	Aceite P	Auxiliar	30	5.82	174.60	Protesin
	ZnO	Activ.	5	6.00	30.00	Tosaygo
			291		\$ 511.00	
B	Butil FF	Vulc.	45	45.50	2 047.50	
	Xilol	Solv.	105	4.10	430.05	Union Carbide
	ZnO	Activ.	7	6.00	42.00	Tosaygo
					2 519.55	

	EQUIPO	TIEMPO
A; Mezclar en el orden indicado	MOLINO	30'
B: Mezclar en el orden indicado	ZIGMA	20'
C: Mezclar A y B	ZIGMA	50'
ESPECIFICACIONES		
Viscosidad :		
Densidad:		
Sólidos:	COSTO:	

Figura 12. Estructura de una formulación.

En una fórmula podemos clasificar los ingredientes en siete grupos principales:

1) ELASTOMEROS. Componente básico formado por hule puro o masterbatch de hule aceite, hule negro de humo, hule solvado, etcétera.

2) AUXILIARES DE PROCESOS. Materiales utilizados para modificar el hule durante la extrusión, moldeo, etcétera.

3) AGENTES VULCANIZANTES. Estos materiales son ne-

cesarios, dado que sin la reacción química de entrecruzamiento no mejoran las propiedades físicas del hule.

4) AGENTES RESISTENTES AL ENVEJECIMIENTO. Anti-oxidantes, antiozonates y otros materiales que son utilizados para reducir los procesos de envejecimiento. El deterioro se produce por la reacción del material con el oxígeno, ozono, luz, calor, radiación, etcétera.

5) CARGAS. Estos materiales son empleados para modificar o reforzar las propiedades físicas, impartir ciertas propiedades de proceso y reducir costos.

6) ABLANDADORES. Algunos materiales pueden ser agregados al hule para mejorar el mezclado, promover su elasticidad, producir pegajosidad o extender una fase.

7) MISCELANEOS. Materiales que son utilizados para usos específicos.

Para seleccionar los ingredientes particulares de una formulación se debe primero decidir el uso particular al que estará sometido el producto final.

Para esta selección los hules se dividen (fig. 13) en -- tres clases:

1) USO GENERAL. Para usos donde no se requiera resistencia a los solventes.

2) RESISTENTES A SOLVENTES. Para usos donde la resistencia a derivados del petróleo es necesaria.

3) RESISTENTES AL CALOR. Para cuando es necesaria la resistencia a efectos de exposición prolongada a temperaturas fuera de lo normal.

Además en cada tipo de hule, se dispone de varias alternativas que dependen del grado de polimerización, composición, etc.

El tipo de agente vulcanizante varía de acuerdo al tipo de hule seleccionado, y se puede dividir en tres clases:

1) Azufre, Selenio, Telurio. El agente más común es el azufre, que reacciona con la mayoría de los hules no saturados. Selenio y telurio se pueden emplear cuando se busca excelente resistencia al calor.

2) Compuestos azufrados. Aceleradores y compuestos que son empleados como donadores de azufre. Estos compuestos se descomponen a la temperatura de vulcanización y liberan radicales que se combinan con las cadenas para formar enlaces entrecruzados.

3) Vulcanizantes sin azufre, mismas que son divididas en:

- a) Oxidos metálicos:  $ZnO$ ,  $PbO$ , etcétera.
- b) Compuestos difuncionales: ciertos compuestos difuncionales forman entrecruzamiento con el hule.
- c) Peróxidos. se utilizan para vulcanizar hules saturados o que no contienen grupos capaces de formar entrecruzamiento. El peróxido provoca la formación de radicales libres.

## HULES COMERCIALES TÍPICOS

### PARA USO GENERAL

Natural	NR
Poliisopreno	IR
Estireno-butadieno	SBR
Butilo	IIR
Etilen-propileno	EPDM
Polibutadieno	BR

## HULES COMERCIALES TÍPICOS

### RESISTENTES A LOS SOLVENTES

Polisulfuro	T
Nitrilo	NBR
Policloropreno	CR
Poliuretano	
Poliéster	AU
Epicloridrina	CO
Epicloridrina ocico de etileno	ECO

### RESISTENTES AL CALOR

Silicón	MQ
Polietileno	
Clorosulfonado	CSM
Poliacrilato	ACM
Fluorohules	CFM

Figura 13. Hules Comerciales Típicos

Todos los hules, resienten fuertemente los procesos naturales o acelerados de envejecimiento, por lo que es necesario adicionar materiales capaces de retardar este tipo de deterioro, que provoca la pérdida de las propiedades físicas del producto.

Los agentes protectivos pueden ser de:

- a) Tipo químico. Aminas secundarias, compuestos fenólicos, fosfinas.
- b) Agentes físicos. En un producto con poco o ningún movimiento se emplea cera en la formulación que posteriormente migra a la superficie formando una capa protectora.

Las cargas se pueden dividir en dos tipos:

- a) Polvos. Cuarzo, tierra diatomácea, talco, mica, asbestos, carbonato silicatos, negro de humo, etc.
- b) Asbestos. Alfa-celulosa, nylon poliester, etc.

Y como ya se dijo, las cargas influyen sobre las propiedades mecánicas del producto, en función del tamaño y forma de la partícula o fibra.

Los plastificantes como auxiliares de proceso mejoran las propiedades de flujo y por lo tanto la procesabilidad del material. Al bajar el valor de Tg reducen la fragilidad del producto haciéndolo elástico.

Los plastificantes también se emplean en la formulación como extendedores de carga para bajar costos.

Las propiedades básicas de un plastificante son su compatibilidad y permanencia.

Como plastificantes de uso común encontramos:

- a) Ftalatos esterés
- b) Fosfatos esterés
- c) Adipatos, acelatos, oleatos y sebacatos
- d) Epóxicos
- e) Ácidos grasos
- f) Sulfonamidas
- g) Hidrocarburos

Además de la selección y balance adecuado de las materias primas, es importante definir con claridad el método de procesado,

para lo cual se deben de tener en cuenta los siguientes conceptos:

1. Hay un rango definido para la mezcla de hules. Cada hule tiene una temperatura óptima particular en la cual la dispersión deseada es obtenida.
2. Es necesario un orden específico de incorporación de componentes.
3. El tiempo de mezclado para cada etapa del proceso es importante.
4. El control de la etapa final y la temperatura final son importantes para evitar la prevulcanización.

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

El diseño y formulación de materiales compuestos es una de las partes de la ciencia de las macromoléculas, que en nuestros días se constituye como un campo dinámico de investigación.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de los materiales, así como la comprensión de su naturaleza química y reacciones características son la base sobre la cual construye sus trabajos el ingeniero de desarrollo de productos.

Las características del equipo de proceso disponible para la fabricación del producto introducen algunos otros criterios fundamentales en la formulación, ya que una adecuada selección del equipo y de los tiempos que consume cada etapa del proceso darán óptimos resultados de fabricación.

Un adecuado balance de calidad-costo, que permita ofrecer en el producto la solución adecuada a un problema específico dentro de un costo razonable involucra elementos adicionales de formulación.

De este modo, la formulación de un producto sintetiza un conjunto de elementos técnico-económicos que al conjugarse dan como resultado la fórmula y método de fabricación y los criterios de evaluación de un producto específico.

---

MATERIA PRIMA	CANTIDAD
1. Baypren 233	100
2. Tolueno	70
3. Cumarona	30
4. Tolueno	30
5. MEK	30
6. Oxido de zinc	4
7. Agerite stalites	2
8. Agerite DPPD	1
9. Oxido de magnesio	5
10. Negro de humo N-500	40
11. Aceite nafténico	25
12. Dixie Clay	80
13. Asfalto oxidado	100

---

Figura 14. Formulación Propuesta

De acuerdo a los conceptos expuestos y como conclusión del presente trabajo, se sugiere tomar como punto de partida para el desarrollo de la formulación del sellador la presentada en la figura 14, que a nivel laboratorio se obtuvo a partir de mezclas de hule solvado y asfalto oxidado, posteriormente modificadas con agentes reforzantes, protectivos y auxiliares de proceso hasta obtener la consistencia

cia deseada para correr las pruebas descritas en el capítulo IV.

Se ha seleccionado como elastómero de la formulación al baypren 233. polímero del 2-cloro-1,3-butadieno, que se caracteriza por su buena resistencia al envejecimiento, buena resistencia al intemperismo y al ozono, resistencia a la flama, resistencia moderadamente buena a los aceites y agentes químicos. Tiene buenas propiedades mecánicas y abrasivas, buen comportamiento elástico y resistencia al aire caliente.

Junto con el baypren 233 fueron probados otros elastómeros, que se eliminaron por causas diversas:

Con el hule nitrilo la formulación presentó serios problemas de adhesión, el hule butilo a temperaturas elevadas se ablanda provocando falla cohesiva en el material, El EPDM, se desechó a pesar de su alta resistencia al intemperismo por las dificultades adicionales para su procesado.

El sistema de vulcanizado de este tipo de hules se constituye de óxidos metálicos por lo que se sugiere el empleo de ZnO y MgO como sistema de la formulación.

Aunque las resistencias al intemperismo y al ozono son buenas, es conveniente el empleo de antioxidantes y antiozonatos del tipo fenilendiaminas por las condiciones de prueba extremadamente difíciles a que se somete el material.

Para obtener los valores requeridos de dureza, rigidez, resistencia al desgarre, tensión, compresión y abrasión, es necesario adicionar sustancias reforzantes. Dentro de la formulación se ha optado por emplear una mezcla de negro de humo, que es el mejor y más importante reforzante para hule, y silicato de aluminio hidratado. El criterio para esta selección ha sido la dureza y el tamaño de la partícula.

Se sugiere también el empleo de aceite nafténico para facilitar el proceso de mezclado y para reducir los costos, ya que funciona como ablandador y extendedor de cargas contrarrestando el alto costo del hule.

La cumarona, tiene la función de ayudar a obtener una buena dispersión de las cargas e impartir pegajocidad al material.

La solución de polímero se ha preparado empleando una mezcla de tolueno y Metil Etil Cetona, tratando de optimizar el tiempo de solvatación y la velocidad de secado.

Como vehículo, de acuerdo a las especificaciones, se emplea asfalto oxidado con un punto de ablandamiento superior a 45° C.

La porción de cada uno de los ingredientes ha sido determinada experimentalmente mediante el empleo del método interactivo de preparación de mezclas hasta obtener la consistencia deseada.

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

Cook, J.P.

Construction sealants and adhesives  
Willey-Interscience, 1970.

Damusic, A.

Sealants  
Van Nostrand Reinhold, New York 1967

Skeist, I.

Handbook of adhesives  
Van Nostrand Reinhold. New York 1962

Cagle, Charles V.

Adhesive Bonding  
Mc. Graw-Hill, 1968

Wulf, Joh.

Propiedades mecánicas  
Ed. Limusa. Mexico 1978.

Morton, Maurice

Rubber Technology  
Academic Press, New York 1976.

Eirich, F.R.

Science and Technology of Rubber  
Academic Press, New York 1978.

Babbit, R.O. (ed)  
The Vanderbilt Rubber Handbook  
R.T. Vanderbilt Company, Inc. U.S.A. 1978.

Dolhausen Mantred

Formulación de adhesivos a base de Baypren

Bayer de México, S.A.

Especificaciones para selladores en canales revestidos  
de concreto

S.A.R.H., México.