

300618

8

2E



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

UNIVERSIDAD LA SALLE

**POLIMEROS PLASTICOS ESTIRENICOS;
UNA METODOLOGIA DE SELECCION
PARA APLICACIONES ESPECIFICAS**

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :
HORACIO ESTEBAN HERNANDEZ MENDIETA



MEXICO, D. F.

1995



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 está 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.

300618



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

UNIVERSIDAD LA SALLE

**POLIMEROS PLASTICOS ESTIRENICOS;
UNA METODOLOGIA DE SELECCION
PARA APLICACIONES ESPECIFICAS**

T R A B A J O E S C R I T O
QUE P A R A O B T E N E R E L T I T U L O D E :
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A :
H O R A C I O E S T E B A N H E R N A N D E Z M E N D I E T A

MEXICO, D. F.

1995





EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

JURADO ASIGNADO:

Presidente **PROF.: HELIO FLORES RAMIREZ.**
Vocal **PROF.: LEON CARLOS CORONADO MENDOZA**
Secretario **PROF.: ERNESTO PEREZ SANTANA.**
1er. suplente **PROF.: CARLOS GUZMÁN DE LAS CASAS**
2do. suplente **PROF.: MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO**

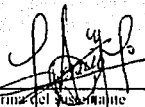
Sitio donde se desarrollo el tema: **En campo con clientes que consumen productos estirénicos.**

Nombre completo y firma del asesor del tema: **Ing. Ernesto Pérez Santana**



firma del asesor

Nombre completo y firma del sustentante: **Horacio Esteban Hernández Mendieta.**



firma del sustentante



Universidad Nacional Autónoma de México


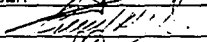

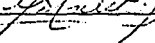
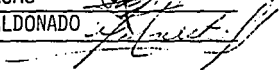
UNIVERSIDAD LA SALLE

Facultad de Química
Secretaría Académica de Asuntos Escolares
Departamento de Exámenes Profesionales
No. de Cuenta: 00179137
T/1995/221/005

FORMA B

(Revisión del Trabajo Escrito)

ASESOR:

Presidente	Prof.:	<u>HELIO FLORES RAMIREZ</u>	
Vocal	Prof.:	<u>LEON CARLOS CORONADO MENDOZA</u>	
Secretario	Prof.:	<u>ERNESTO PEREZ SANTANA</u>	
1er. Suplente	Prof.:	<u>CARLOS GUZMAN DE LAS CASAS</u>	
2do. Suplente	Prof.:	<u>MARCO ANTONIO URESTI MALDONADO</u>	

Miembros del Jurado para Examen Profesional Presente

De acuerdo con el actual reglamento de Exámenes Profesionales envío a ustedes el Trabajo Escrito del tema Vía Educación Continua, denominado:

TRABAJO ESCRITO:

"POLIMEROS PLASTICOS ESTIRENICOS: UNA METODOLOGIA DE SELECCION PARA APLICACIONES ESPECIFICAS."

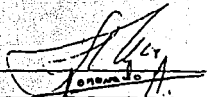
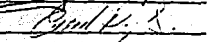

que presenta: EL SR. HORACIO ESTEBAN HERNANDEZ MENDIETA

de la carrera de: INGENIERO QUIMICO

como prueba escrita para su Examen Profesional, por lo que solicito a ustedes examinarlo y anotar las observaciones que crean convenientes manifestando con su firma en el ANEXO III si dicho trabajo es de aceptarse.

ANEXO III
(Aceptación del Trabajo Escrito)

ASESOR:

Prof.:	<u>HELIO FLORES RAMIREZ</u>	
"	<u>LEON CARLOS CORONADO MENDOZA</u>	
"	<u>ERNESTO PEREZ SANTANA</u>	

Atentamente
"Por mi raza hablará el espíritu"

Cd. universitaria D.F., 06 DE ENERO DE 1995


OPB. Paul Garza Velasco
Secretario Académico de Asuntos Escolares

RGV/SAB

DEDICATORIAS:

Papá: Desde arriba junto a Dios recibo mi enorme agradecimiento por todo tu apoyo, enseñanzas y la confianza que siempre pusiste en mí. Algo me dice que hoy . . . estas sonriendo.

Mamá: Te agradezco tu entrega desinteresada, comprensión y consejos para que pudiera prepararme. Espero poderte rendir al menos algo de lo que en mí has cultivado a lo largo de tantos años.

Jugrid: Amor, compañera de mi vida. Gracias por tu paciencia para que haya concluido esta fase de mi vida. Continuaré apoyándome en ti para concretar la encomienda que Dios nos tiene destinada.

Jvette y Lizette: Mis hijitas, muchas gracias por las alegrías que han traído a mi vida. Soy *Mds.* Junto con su mamá son la razón de mi superación y por *Mds.* continuaré adelante. Lo que pretendo para *Mds.* se lo demostraré con mis actos.

Hermanas: (*Nena, Naty, Bely y Sandy*) Gracias por su apoyo y continuo interés en mi desarrollo personal. Deseo compartir esta emoción con *Mds.*

Suegros, Maribel, Gustavo, Elizabeth y Jorge Iván. Les dedico este trabajo como fruto de la fraternidad que entre todos hemos logrado.

Le expreso mi gratitud a....

Los profesores y personal de esta institución Educativa, que me apoyaron y animaron a seguir adelante, no obstante los obstáculos que se fueron presentando.

Y en general a familia y amigos que no he mencionado aquí, pero que a través de su trato continuo me han permitido asimilar la energía y conocimientos necesarios para concluir este trabajo.

Con profunda emoción les digo . . . Muchas Gracias.

CONTENIDO

GENERALIDADES	1
I. FAMILIA DE LOS POLÍMEROS ESTIRÉNICOS	4
A. GENERALIDADES DE PLÁSTICOS	4
B. DEFINICIONES DE PLÁSTICOS	4
C. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	5
D. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS	8
E. DESCRIPCIÓN DE LA FAMILIA DE LOS POLÍMEROS ESTIRÉNICOS	12
II. PROPIEDADES CRÍTICAS PARA EL PROCESO DE SELECCIÓN	24
A. PROPIEDADES MECÁNICAS	25
B. PROPIEDADES TÉRMICAS	27
C. PROPIEDADES ELÉCTRICAS	30
D. PROPIEDADES FÍSICAS	31
E. PROPIEDADES ÓPTICAS	32
F. PROPIEDADES DE PROCESAMIENTO	33
G. PROPIEDADES QUÍMICAS	34

III. PROCESO DE SELECCIÓN DE PLÁSTICOS	35
A. ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS	36
B. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	43
C. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	43
D. USO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS EN LA ELECCIÓN FINAL	46
IV. DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO	50
A. OBJETIVO (REQUERIMIENTOS)	51
B. CUANTIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS (PONDERACIÓN)	55
C. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS (MATERIALES CANDIDATOS)	59
D. ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA (MATERIAL RECOMENDABLE)	64
CONCLUSIONES	67
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

GENERALIDADES.

A través de los años que un proveedor de materia prima dedica a definir junto con sus clientes el material del cual deberá estar formada una pieza, para que cumpla con todas las condiciones establecidas desde su diseño, es fácil apreciar la problemática que tiene la industria transformadora de plástico en México para la selección de materiales, ya que no existe una metodología generalizada que permita obtener los resultados deseados de forma eficiente y oportuna. Encontrar el mejor plástico para una aplicación específica puede ser un reto.

La mayoría de los procesadores toman como referencia la resina plástica que se indica en la especificación, o tratan de identificar de cual material está hecha la pieza que desean imitar, o en su defecto se cuestionan ¿en qué material se produce típicamente esta pieza?, ya sea sus competidores locales o de algún país de tecnología más avanzada.

Sin embargo, seguir este procedimiento a menudo conduce a errores que muchas veces se hacen evidentes en la vida útil del artículo, cuando ya está en manos del usuario y cuando los riesgos y consecuencias son mayores. Se tienen costos más elevados, y sobre todo el desconocimiento del ¿porqué se usa ese material y no otro en una aplicación determinada?, y por lo mismo muy pocas probabilidades de optimizar las características de la pieza o reducir el costo de la misma.

El hecho de sustituir un material para una determinada aplicación, adaptándolo del país de origen al nuestro, muchas veces no es lo más adecuado, ya que la variación en las condiciones a las cuales será sometida la pieza durante su vida útil o a la poca disponibilidad, al alto costo del material sugerido, pone fuera de competencia a dicha pieza.

En otros casos los moldeadores escuchan las sugerencias de los proveedores de materias primas, sin llegar a una verdadera selección entre los principales materiales candidatos. En ocasiones los compradores se dejan guiar por el costo unitario de la materia prima, sin analizar otras variables que también influyen notablemente sobre el costo final de la pieza. ó por el contrario, también es común encontrar que se seleccione un material para una aplicación

determinada, el cual está sobreespecificado, pero se prefiere así, supuestamente para no correr riesgos sin pensar que también se está pagando un sobre precio que no es necesario y que fácilmente el producto deja de ser competitivo, con riesgo de salir del mercado.

Para la manufactura de una misma pieza se pueden emplear más de un producto y todos ellos cubren tal vez de forma parcial, lo requerimientos estipulados para la aplicación, sin embargo solo un análisis detallado, paso a paso, permitirá ir descartando aquellos materiales que no satisfacen totalmente las especificaciones y seleccionar exitosamente aquel material que tenga el justo equilibrio costo/beneficio para dicha aplicación.

Un factor muy común es que la gente que toma la decisión de que plástico emplear para el molde de un determinado artículo, carece de conocimiento sobre las propiedades que poseen los plásticos y bajo que premisas deben ser comparados entre sí, y como deben ser interpretados los valores que los proveedores de materias primas publican en sus hojas de valores típicos, características de procesabilidad, disponibilidad del producto y el impacto del costo de la materia prima en la pieza final.

Todo esto es un proceso interdependiente, ya que no es posible diseñar el molde de una pieza, sin antes haber seleccionado la materia prima que deberá ser empleada, principalmente entre materiales cristalinos y amorfos, entre otras razones por su diferente contracción.

Muchas veces la gente encargada de dar asistencia técnica por parte de algún proveedor de materia prima emplea más su tiempo en resolver problemas por calidad, heterogeneidad o manejo inadecuado del producto, que en apoyar técnicamente al usuario para realizar la mejor selección del material, o apoyo en el diseño mismo de la pieza, y la optimización en el empleo de la materia prima. En muchos casos, se toman decisiones unilaterales, o se busca adaptar el herramental del cliente al uso de la materia prima sugerida. A veces no se dispone del tiempo para hacer evaluaciones con diferentes materiales y se toman decisiones sobre la poca información con que se cuenta.

Si se considera que tan solo en la enciclopedia "International Plastics Selector" (edición de 1992) se presentan las propiedades de cerca de 14,500 plásticos en sus diferentes grados comercialmente disponibles, se intuye que el proceso de selección y especificación de

materiales se hace muy complejo cuando no se tiene una idea clara de que se busca de un material, cuales eliminar desde un principio y en cuales enfocar nuestra búsqueda.

Este trabajo tiene como objetivo proponer una metodología de selección del plástico idóneo de entre los diferentes materiales existentes para satisfacer los requerimientos de una determinada aplicación. Considerando no solo sus aspectos técnicos, sino también todos aquellos factores que intervienen para que el empleo de dicho material en la aplicación sea exitoso.

Es útil para los usuarios de materias primas, procesadores, maquinadores, áreas de diseño e ingeniería, desarrollo de producto, moldeo, calidad, y en general, todos aquellos que estén interesados en obtener el máximo beneficio de el uso adecuado de los plásticos.

Antes de iniciar el desarrollo de dicho proceso de selección y dado que éste estará basado principalmente en los polímeros estirénicos, es necesario cubrir dos aspectos; el primero será definir a esta familia de termoplásticos, el segundo es conocer las propiedades que proporcionan la información necesaria para cuantificar el grado de satisfacción que exigen las especificaciones de la aplicación en estudio.

CAPÍTULO 1

I. FAMILIA DE LOS POLÍMEROS ESTIRÉNICOS.

A. GENERALIDADES SOBRE LOS PLÁSTICOS.

Dentro de los materiales clasificados como plásticos existe una familia que por su balance de propiedades y versatilidad de uso, destaca con su participación en el mercado de transformación. Cada día se incrementa el número de aplicaciones donde estos materiales son empleados y las especificaciones que deben cumplir son más exigentes, dando como resultado productos cada vez más avanzados y especializados, pero con una característica en común, todos ellos proceden esencialmente de la misma materia prima. Esta familia es denominada polímeros termoplásticos estirénicos; los cuales se describirán más adelante; sin embargo, antes es necesario revisar algunos conceptos relacionados con los plásticos.

B. DEFINICIONES DE PLÁSTICOS.

Se entiende por plástico a aquellos materiales que son capaces de fluir, dárseles forma o moldearse, con o sin aplicación de calor. Los plásticos son polímeros o macromoléculas de alto peso molecular, de tipo orgánico, no biológicos, los cuales pueden ser de origen natural o sintético.

Un polímero, (del griego polys; muchos, meros; parte o unidad) es una gran molécula construida por la repetición de simples unidades químicas más pequeñas que reciben el nombre de monómeros, y dependiendo del tipo de monómero, las cadenas pueden contener combinaciones de dos ó más de los siguientes elementos: carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, silicón, cloro, fluor y azufre. La longitud de la cadena del polímero está especificada por el número de unidades repetitivas en la cadena.

En los plásticos normalmente se repiten estas unidades de 1000 a 1,000,000 de veces. Las propiedades físicas y mecánicas de los plásticos están directamente relacionadas con el tipo de unión entre las cadenas moleculares, así como la propia extensión de la cadena y el tipo de monómero usado.

Estos polímeros combinados con aditivos, refuerzos y/o cargas producen compuestos que pueden tomar forma o moldearse por calor y presión en estado semilíquido o líquido, y en su estado endurecido, al enfriarse pueden ser trabajados con gran precisión dimensional, cortado y acabado.

Cuando los polímeros son derivados de una simple unidad repetitiva, reciben el nombre de Homopolímeros; y cuando las macromoléculas consisten de cadenas estructuradas a partir de dos o más unidades repetitivas diferentes químicamente, unidas en una secuencia más o menos regular, se llaman Copolímeros.

C. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

Por su comportamiento térmico, los plásticos se pueden clasificar como Termoplásticos y Termoplásticos.

C.1 Los plásticos Termoplásticos, son aquellos que al fundirse forman enlaces tipo red, provocando mucha rigidez en su estructura. Este tipo de enlace da como consecuencia que al ser calentados se queman en lugar de reblandecerse.

Estos materiales poseen una alta temperatura de deformación bajo carga, solo pueden moldearse una sola vez y no admiten reproceso.

Como ejemplos están las resinas fenólicas, melamínicas, ureicas, epóxicas, alílicas, alquídicas etc.

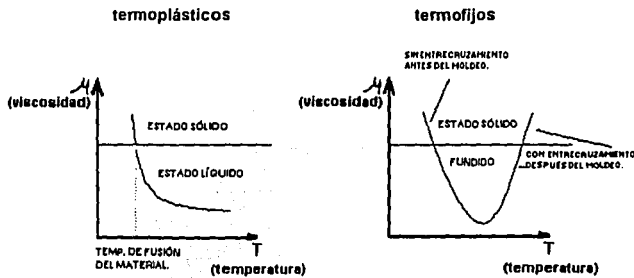
C.2 Los plásticos termoplásticos son aquellas resinas que se reblandecen por aplicación de calor y fluyen auxiliados por presión, al enfriarse solidifican, siendo el ciclo reversible, por lo cual pueden ser remoldeadas varias veces, sin pérdida apreciable de propiedades. Esto se debe a que forman cadenas lineales y no entrecruzadas, teniendo uniones muy débiles, por lo que cuando se les aplica calor se reblandecen y fluyen fácilmente antes de quemarse.

En este grupo se encuentran: las resinas estirénicas, acrílicas, celulósicas, vinílicas, poliolefinicas, etc.

También se establecen diferencias muy importantes por el tipo de proceso mediante el cual los termofijos son moldeados, ya que estos se curan por acción de catalizadores para ser moldeados, pero una vez endurecidos no se reblandecen nuevamente al aplicárseles calor, de ahí la diferencia en el equipo de moldeo empleado para cada clase de materiales.

Si se grafica la viscosidad (que es una medida de la resistencia al flujo de un material), contra la temperatura para los termoplásticos y termofijos, se observan los siguientes comportamientos:

FIG. 1



En estas gráficas se observa que en los termoplásticos, a medida que se incrementa la temperatura, su viscosidad disminuye, pasando del estado sólido al estado donde el material es capaz de fluir, y al volverse a enfriar, se endurece nuevamente. Este ciclo puede repetirse varias veces.

Mientras que los termofijos disminuyen su viscosidad en una primera etapa, después se realiza el curado, donde experimenta una reacción química por la acción del calor, catalizador o luz ultravioleta, etc. y finalmente se incrementa nuevamente su viscosidad conduciendo al polímero a un estado en el que no se puede volver a fundir.

A su vez los termoplásticos se clasifican de acuerdo a su estructura en Amorfos y cristalinos.

Los polímeros tienen algún grado de cristalinidad, pero ninguno de ellos es 100% cristalino. El grado de cristalinidad depende de como las cadenas están estructuralmente constituidas y ordenadas.

C.2.a AMORFOS

Cuando las cadenas tienen un alto grado de desorden, el polímero será amorfo (transparente). Como ejemplos están el Poliestireno, SAN, acrílico, policarbonato, acetato de celulosa, etc.

C.2.b CRISTALINOS

Un polímero cristalino, bajo la influencia de un esfuerzo externo, tenderá a orientarse por sí mismo, tanto que sus cristales son estirados en dirección de la fuerza (opacos). Ejemplos: Polietileno, polipropileno, PBT etc.

CRISTALINOS LÍQUIDOS

Son un grupo único de plásticos, cuyas moléculas son estructuras rígidas, en forma de varillas, que se organizan en grandes regiones paralelas, tanto en el estado de fusión como en el estado sólido. Este acomodo da a los polímeros cristalinos líquidos características únicas comparadas con las de los polímeros cristalinos y amorfos.

Muchas de las diferencias en las propiedades mecánicas y físicas entre los plásticos pueden ser atribuidas a su estructura. Como una generalización, el ordenamiento molecular en los termoplásticos cristalinos y cristalinos líquidos los hace más fuertes, comparados contra los amorfos, por otra parte, los materiales cristalinos y cristalinos líquidos tienen una resistencia mayor a la deformación bajo carga, al calor y a productos químicos, sin embargo los materiales cristalinos requieren de temperaturas de fusión más altas y tienden a contraerse y retorcerse más que los polímeros amorfos, estos últimos se reblandecen gradual y continuamente en presencia de calor, y en el proceso de moldeo no fluyen tan fácilmente como los polímeros cristalinos fundidos. Los polímeros cristalinos líquidos presentan altas temperaturas de fusión como los plásticos cristalinos, pero se reblandecen gradual y continuamente como los polímeros amorfos; poseen las viscosidades más bajas, menores torceduras y encogimientos de todos los termoplásticos.

D. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS.

Antes de continuar con el desarrollo de este tema, es importante describir y distinguir los diferentes sistemas mediante los cuales es posible transformar las materias primas plásticas en piezas o artículos terminados. El conocimiento que el diseñador tenga de dichos procesos, le permitirá evaluar integral y objetivamente el binomio materia prima-proceso que satisfaga por propiedades y costo, los requerimientos de la pieza diseñada. Es necesario mencionar que dadas las características de los plásticos no todos ellos pueden ser procesados mediante el mismo sistema. Cada polímero termoplástico es compatible con ciertos procesos específicos mediante los cuales se puede transformar. Por otro lado la geometría de la pieza es también un factor limitante para el uso de un determinado proceso, como ejemplo están las botellas que dada su forma solo pueden ser obtenidas a través del moldeo por soplado.

Entre los procesos de transformación de termoplásticos más ampliamente usados a escala industrial se encuentran los siguientes:

<u>Tipo de material</u>	<u>Proceso de transformación</u>	<u>Subdivisión del proceso</u>
Materiales termoplásticos	• Extrusión	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección • Extrusión.
	• Termoformado (*)	
	• Inyección	
	• Moldeo de perla expandida	
	• Soplado	
	• Calandreo	
	• Sinterizado	
	• Recubrimiento por cuchillas.	
	• Inmersión.	
	• Rotomoldeo	
	• Compresión	
	• Espreado	
	• RIM	
• Vaciado		
Materiales Termofijos	• Laminado	
	• Transferencia	
	• Embobinado de filamento continuo	
	• Pultrusión	
	• Vaciado	
	• Rotomoldeo	
	• Compresión	
	• RIM.	

(*) El proceso de Termoformado es considerado como un proceso secundario, por que parte de una película ó lámina previamente extruida.

El tema de estudio de este trabajo esta basado en los polímeros estrénicos, y estos se pueden transformar basicamente por inyección, extrusión, termoformado e inyección de perla expandida para el caso específico del poliestireno expansible. También se han desarrollado algunos grados de SAN para procesarse por soplado, aunque estos tienen baja demanda en el mercado.

A continuación se explican estos procesos:

Extrusión:

Es un proceso continuo en donde el polímero en forma de pellets se alimenta y funde por la acción de presión y temperatura, forzándose a pasar a través de un dado el cual le proporciona la forma final.

El tipo de productos que se pueden obtener por este proceso son piezas de espesor y ancho definidos pero longitud indefinida, solo limitada por el corte en la máquina. Las aplicaciones principales son: Películas, hojas o láminas, tubería continua, perfiles, monofilamentos, cintas (rafia), "fideos" de los cuales posteriormente por corte se obtienen los "pellets" que constituyen la materia prima para los transformadores.

Coextrusión: en este caso se colocan varios extrusores, los cuales estarán plastificando diferentes materiales a diferentes condiciones de operación, posteriormente la salida de los extrusores se unirán en un solo cabezal donde darán lugar a estructuras combinadas, como es el caso de láminas constituidas por dos o más capas o tuberías de varias capas.

Termoformado:

El proceso consiste en reblandecer por la acción de calor una lámina termoplástica, adaptarla a un molde y mediante presión de aire, vacío o un contramolde darle la forma deseada.

Para que un material pueda ser termoformado requiere tener memoria plástica, elongación con el calor, resistencia al calor, y rango de temperaturas de formado.

Estas características favorecen el calentamiento y enfriamiento rápido, así como una buena distribución de calor. Este proceso de transformación se utiliza para la fabricación de piezas que son de gran superficie o que deben de ser de paredes muy delgadas. Tal es el caso de "liners" de refrigeración, cajas protectoras de "pick up", o tinas de hidromasaje, las cuales son piezas grandes, y como ejemplos de piezas de paredes muy delgadas, están vasos y platos desechables.

Moldeo por Inyección:

Es un proceso discontinuo donde se alimenta el material en forma de pellets a una tolva, para que posteriormente se comprima y plastifique por medio de presión, temperatura y un tornillo sinfin, conduciendo el material a un molde con la ayuda del husillo o un pistón. En ese molde, el material adquiere la forma definitiva al solidificarse mediante enfriamiento.

El tipo de productos obtenidos por este proceso son de dimensiones y forma perfectamente definidas, obteniéndose muchos artículos como son: piezas automotrices, artículos de escritura, vajillas, carcazas, tableros, productos para el hogar, electrodomésticos, vasos de licuadora etc.

Soplado:

Es un proceso muy poco usado para la transformación de los polímeros estirénicos pero eventualmente se ha empleado, por lo que también se definirá en este trabajo.

El proceso de soplado se utiliza en la producción de objetos huecos.

Este proceso se subdivide en extrusión-soplado e inyección-soplado.

En la extrusión-soplado se produce un "parison" o tubo de plástico el cual se baja desde un extrusor, las dos mitades del molde cierran alrededor de dicho parison aún caliente, y posteriormente es expandido y empujado contra las paredes de la cavidad mediante la inyección de aire. Un ejemplo de artículos obtenidos por este sistema son: productos de empaque tales como botellas, frascos, botes, tanques y en general artículos cuya parte superior o cuello tenga menor diámetro que el resto de su figura.

Inyección-soplado: Este es un proceso de dos etapas, el plástico se inyecta primero en una preforma, y esta preforma se transfiere después al molde por soplado donde es expandida hasta alcanzar la forma final del molde. Este sistema ofrece varias ventajas: produce piezas libres de "scrap" o desecho, de buen acabado que no requieren operaciones secundarias, moldeado con

buena exactitud. Este proceso se utiliza para la fabricación de recipientes, como ejemplo los que van dedicados a la industria farmacéutica y refresquera .

Moldeo de perla expandida.

Esta es una variación del moldeo por inyección, pero presenta diferencias, ya que el proceso de transformación de EPS (Poliestireno de baja densidad) tiene dos pasos: La Expansión, en la cual las partículas que contienen el agente expansor son calentadas, el polímero se ablanda, y se preexpande la perla, es decir aumenta su volumen, en esta etapa se controla la densidad de la perla; el segundo paso es el moldeo en el cual las partículas preexpandidas son transportadas desde el inyector al molde por medio de una corriente de aire. En esta operación, las perlas preexpandidas se reblandecen y nuevamente se expanden, al encontrarse en un espacio cerrado limitado por el molde, se soldan entre sí. Antes de que las piezas se retiren del molde, las partes son estabilizadas mediante la formación de vacío y rociando agua sobre la pared interna del molde, dando como resultado la difusión de gases de las celdas, así como una reducción en la temperatura. Este proceso se emplea para obtener piezas tan diversas como pueden ser substratos de piezas automotrices absorbedoras de energía, aislantes térmicos, contenedores desechables de comida, sistemas de flotación y empaques para piezas delicadas por su poder de amortiguamiento.

E. DESCRIPCIÓN DE LA FAMILIA DE LOS POLÍMEROS ESTIRÉNICOS.

Como su nombre lo indica, cada miembro de esta familia de termoplásticos posee en su estructura, como componente principal el estireno, pudiendo presentar algunos otros monómeros como lo son el de acrilonitrilo y/o el de butadieno, formando entonces copolímeros y terpolímeros, con los cuales a su vez se pueden realizar aleaciones con polímeros de otras familias, además de hacer uso de aditivos, cargas y refuerzos, dando así origen a un grupo de

materiales cuya gama en características es muy variada encontrando un sinnúmero de aplicaciones.

Para poder entender como se originan los diferentes miembros de esta familia y cuales son sus propiedades, se puede hacer uso de un diagrama triangular, porque son tres los polímeros que participan en la formación de toda esta familia. Cabe mencionar que los diferentes miembros de la familia no son producto de mezclas físicas entre los diferentes monómeros, ya que ocurre una verdadera interacción ó reacción química, llamada polimerización sin embargo se hace uso de este diagrama de fases triangular con propósitos meramente explicativos. (ver fig. 2)

Los monómeros tienen su origen principalmente del petróleo y gas natural. En términos generales se consideran al etileno, propileno y butadieno como materias primas básicas para la producción de una extensa variedad de monómeros. (ver fig. 3.)

Después de haber obtenido etileno, propileno y butadieno, considerados dentro del grupo de los petroquímicos básicos, se adicionan diferentes compuestos a cada uno de ellos dando lugar a los monómeros de partida de diferentes plásticos.

Los diagramas triangulares tienen la particularidad de relacionar tres componentes, y el 100% de cada componente está representado en el vértice donde éste está identificado, y la base opuesta a ese vértice indica la ausencia de ese componente.

Así es posible interrelacionar gráficamente las composiciones de el monómero de estireno, monómero de butadieno y el monómero de acrilonitrilo, donde la suma de todas ellas será igual a la unidad, (100%).

El polímero más sencillo de esta familia es el poliestireno cristal ó de uso general, el cual es formado por la polimerización exclusivamente del monómero de estireno (100%), existe una variante que es agregar en la reacción un agente expansor, con lo que se dá origen al poliestireno expansible o espuma de poliestireno, debido a que proceden de un solo tipo de monómero se conocen como Homopolímeros.

Si se hace reaccionar monómero de estireno con 3-5% de Polibutadieno (butadieno polimerizado) se obtiene el poliestireno medio impacto, el cual ya es un copolímero.

Al hacer reaccionar monómero de estireno con 7-9% de Polibutadieno se obtiene el poliestireno alto impacto, el cual también es un copolímero.

Haciendo reaccionar estireno con 30% de butadieno, se obtiene el copolímero estireno-butadieno, cuyo nombre comercial es Resina "K³", marca registrada por Phillips Petroleum.

Si se hace reaccionar monómero de estireno con monómero de acrilonitrilo en un rango que comercialmente oscila entre 16 y 30% de acrilonitrilo, se obtiene el copolímero de estireno acrilonitrilo cuyo acrónimo es SAN.

Si se involucran los tres monómeros, primero reaccionando el estireno con acrilonitrilo, simultáneamente polimerizando el butadieno y después haciendo reaccionar ambos compuestos previamente preparados para lograr que el estireno-acrilonitrilo se injerte en la fase elastomérica (polibutadieno) se obtiene el terpolímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno, cuyo acrónimo es ABS. Su composición aproximada es 50% de estireno, y la otra fracción repartida por igual entre el butadieno y acrilonitrilo, pudiendo variar estos porcentajes, según las propiedades buscadas.

Es importante recalcar que el tipo de sistema de polimerización empleado, las composiciones exactas, secuencias en los pasos de obtención de los polímeros, etc. forman parte del "know How" en la tecnología empleada por cada proveedor de materias primas, y aquí se exponen tan solo formulaciones del dominio público.

Los diferentes grados de cada uno de los polímeros estirénicos pueden ser producidos, variando las condiciones de reacción, la proporción de los monómeros empleados y el uso de aditivos, pigmentos, cargas y refuerzos impartiendo al polímero resultante el grado de especialización que los distingue de los demás.

Relacionando las composiciones de cada monómero por tipo de plástico estirénico, se obtiene la siguiente tabla:

TABLA 1

ACRÓNIMO	POLÍMERO ESTIRÉNICO	ESTIRENO	BUTADIENO	ACRILONITRILLO	AGENTE
		%	%	%	EXPANSOR
PS	Poliestireno cristal	100			
EPS	Poliestireno expansible	100			5
MIPS	Poliestireno medio impacto	95.5-98.5	3.5-4.5		
HIPS	Poliestireno alto impacto	91-92.5	7.5-9.5		
SB	Butadieno-Estireno	70-85		15-30	
SAN	Estireno-Acrilonitrilo	70	30		
ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno	45-55	16-30	25-35	

* Información obtenida en seminarios técnicos del IMPI expuesto por diferentes proveedores.

Para predecir el tipo de propiedades que posee cada uno de los plásticos estirénicos, es necesario saber que cualidades y desventajas aportan cada uno de los monómeros, de los cuales proceden.

El monómero de estireno imparte procesabilidad por su excelente facilidad para fluir y ser moldeado, rigidez y alto brillo.

El monómero de acrilonitrilo contribuye con su resistencia química, estabilidad al calor y resistencia al envejecimiento.

El butadieno proporciona resistencia al impacto, tenacidad, flexibilidad y su excelente retención de propiedades a bajas temperaturas.

Observando el digrama triangular se puede estimar las propiedades que tendrán cada uno de los miembros de la familia.

E.1 POLIESTIRENO CRISTAL (PS Cr)

Es producto de la polimerización del monómero de estireno, por lo que es un homopolímero, de alto peso molecular 200,000 a 300,000, amorfo (de muy baja cristalinidad), por lo que tiene excelentes propiedades ópticas, es transparente, incoloro, con buen brillo. Este polímero está constituido de moléculas gigantes, dispuestas en forma lineal, de alta rigidez y estabilidad dimensional, de baja absorción de humedad, con propiedades dieléctricas (aislamiento eléctrico), con muy buena procesabilidad, disponible en un amplio rango de viscosidades y como función de ésta, variados índices de fluidez. Resiste la degradación del agua, químicos alcalinos, ácidos y detergentes no hidrocarbonados y posee baja densidad.

Tiene las siguientes desventajas: es frágil (resistencia mínima al impacto), quebradizo (baja flexión), se degrada por la radiación de luz ultravioleta, con baja resistencia química, no resiste ácidos altamente oxidantes, siendo soluble en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y sus derivados, ésteres, cetonas y comestibles con alto contenido de grasas o aceites. Se puede procesar principalmente por moldeo por inyección, extrusión y termoformado.

E.2 POLIESTIRENO EXPANSIBLE (EPS)

Es monómero de estireno polimerizado en presencia de un agente neumatógeno, por lo que se puede obtener hasta 97 % de volumen en aire, y puede ser procesado a baja densidad 0.7 a 1.0 Lb/Ft³, teniendo excelente flotabilidad en el agua. Es dúctil, no quebradizo a temperaturas cercanas a 0°C, pero a temperaturas superiores a los 85°C pierde sus propiedades, por esto y por su bajo coeficiente de conductividad térmica, se utiliza como aislante a bajas temperaturas. Debido al gran volumen de aire encerrado en sus microceldas, posee poder de amortiguamiento por su capacidad de absorción de energía en golpes y vibraciones. Tiene alta rigidez en relación a su peso. Es no tóxico, resiste ácidos, soluciones alcalinas y saladas sin importar su concentración. Resiste a la intemperie, tiene baja absorción de agua debido a su estructura

celular, presenta baja transmisión de vapor, es combustible por lo que no se debe orientar a aplicaciones que estén en contacto con la flama, aunque es susceptible de modificarse con retardantes a la flama. Es resistente a los microorganismos, posee buenas propiedades acústicas.

Forma de suministro: perlas blancas en diferentes tamaños, según la aplicación, y contiene en su formulación el agente expansor, el cual puede ser pentano ó hexano. también se puede presentar comercialmente en placas con formulaciones "retardantes a la flama" para aplicaciones en la construcción.

E.3 POLIESTIRENO GRADO IMPACTO (MIPS Y HIPS)

Con la finalidad de modificar la pobre resistencia al impacto del poliestireno cristal, se hace reaccionar el monómero de estireno con polibutadieno, dando así origen a los poliestirenos grados medio impacto y alto impacto, afectándose por otro lado la resistencia a la tensión, % de transmisión de luz (se hace más opaco), y atributos superficiales como es el brillo y la dureza.

Se reconocen comercialmente dos grados: el poliestireno medio impacto que posee valores de impacto que oscilan entre 0.6 a 1 Lb-Ft/in, y el de alto impacto, cuyos valores de impacto rebasan 1 Lb-ft/in. Sin embargo algunos proveedores subdividen estos en alto impacto de 1-3 Lb-ft/in y extra o super alto impacto con valores de 3-5 Lb-ft/in. Su resistencia a la tensión decrece con el incremento en el contenido de hule, pero aumenta su elongación hasta en un 60%, y su apariencia puede ir desde translúcida hasta opaca en color natural. El Poliestireno Impacto, al igual que el cristal, se afecta por la luz ultravioleta durante exposiciones largas. Tiene poca resistencia química a solventes aromáticos e hidrocarburos clorados. No es recomendable para aplicaciones en el exterior. Como ventajas tiene: facilidad de procesamiento, disponible en un rango amplio de flujos según la aplicación, los cuales se logran como función del peso molecular y aditivos plastificantes. Tiene buena estabilidad dimensional, alta rigidez, resistencia al impacto a bajas temperaturas.

Desventajas: Pobre barrera, pobre resistencia a altas temperaturas, pobre resistencia química a la mayoría de los hidrocarburos aromáticos, alifáticos y sus derivados, a grasas, y aceites.

Como grados especiales se encuentran: Los retardantes a la flama, alto y bajo brillo (mate), grados de bajo contenido de monómero residual, principalmente para aplicaciones alimenticias, alta fluidez para uso en moldes de pared muy delgada o diseños intrincados.

E.4 COPOLÍMERO DE ESTIRENO-BUTADIENO. (RESINA "K")

Es un material de estructura amorfa, obtenido con mayor concentración de butadieno que los poliestirenos de alto impacto, alrededor del 30% y 70% de estireno y polimerizado en reacción de masa continua. Posee resistencia al impacto, de buen brillo, de baja densidad, con buena transparencia (valores de transmitancia del 90%). De resistencia química similar a los otros grados de poliestireno. Es atacado por alcoholes, cetonas, ésteres aromáticos, ácidos, bases diluidas, grasas. De buena permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, lo que para ciertas aplicaciones representa una desventaja. Presenta dificultades en el proceso de impresión, tiene muy poca resistencia al rasgado. Entre sus aplicaciones principales, se usa como modificador de impacto, flexión y elongación por lo que se emplea mezclado con poliestireno cristal. Se puede pigmentar en colores translúcidos y sólidos.

E.5 COPOLÍMERO DE ESTIRENO-ACRILONITRILO (SAN)

También es un material lineal, de estructura amorfa, se prepara a partir de la polimerización de estireno con acrilonitrilo, pudiendo variar el rango de este último del 10 al 40% en formulaciones comerciales. Presenta una tonalidad ligeramente amarillenta, causada por la presencia de acrilonitrilo que confiere ese color. Por otro lado el acrilonitrilo influye positivamente en otras características del SAN: Tiene muy buena resistencia al envejecimiento, aumenta su estabilidad a altas temperaturas y mejora su resistencia química con respecto a los otros grados de

poliestireno, resiste químicamente a hidrocarburos saturados, aceites, grasas y soluciones de sales, ácidos y álcalis diluidos, pero es atacado por ácidos inorgánicos concentrados, hidrocarburos clorados, ésteres, éteres y cetonas, presenta buena procesabilidad, permeabilidad al agua. Es rígido de elevada dureza, ofrece buen aislamiento eléctrico y el más alto módulo en tensión de los plásticos estirénicos. Requiere ser presecado (durante 2 Hrs @ 85 °C) para poder ser moldeado, pues de otra forma se obtienen piezas con defectos superficiales, manchas o ráfagas plateadas. Esto es causado por la presencia del N+ en el acrilonitrilo que es higroscópico.

E.6 TERPOLÍMERO DE ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

Es un polímero que tiene un buen balance de propiedades, ya que participa de la presencia de los tres monómeros, acrilonitrilo, butadieno y estireno. Por dicha razón se le clasifica como plástico técnico. Se obtiene una gama muy amplia de propiedades, lo cual se logra modificando las relaciones de monómeros, variando el peso molecular del polímero, principalmente con temperaturas de reacción y tiempos de residencia, y agregando aditivos, cargas y refuerzos. Tan solo un proveedor de este material en Estados Unidos comercializa más de 200 grados de ABS, según catálogo de G.E Plastics.

Como descripción general, se puede decir que posee una estructura amorfa y con buena apariencia superficial, excelente brillo. En color natural tiene un tono ligeramente amarillento, por la presencia de acrilonitrilo. Presenta buenas propiedades aislantes, resistencia al impacto, estabilidad dimensional, baja contracción después del moldeo, tiene poca resistencia a la luz ultravioleta, pero ésta puede ser modificada con estabilizadores y pinturas protectoras. Con buena resistencia química a ácidos y bases fuertes y débiles, siendo solubles en solventes polares, ésteres, cetonas e hidrocarburos clorados, resiste grasas, aceites, cochambre y detergentes. Tiene alta afinidad al proceso de cromado, lo cual representa una gran ventaja

sobre el resto de la familia estirénica y otros plásticos. no es tóxico, con buena resistencia a la abrasión. Mediante la formulación adecuada se pueden obtener diferentes grados:

E.6.a ABS GRADO ESTANDAR ó de uso general

Representa las principales ventas de ABS en los mercados de moldeo por inyección y extrusión. Dentro de este grupo, se encuentran grados los cuales proporcionan bajo brillo superficial, alto brillo superficial y ultraalto brillo superficial. Se encuentran en el mercado en su color natural a los cuales se les pueden agregar concentrados de color, o pueden ser prepigmentados (desde extrusión) en gran número de colores. En muchos casos cuando está surgiendo una nueva aplicación, se desarrollan productos con balances específicos de propiedades apegados a dicha aplicación. Esto ha ocurrido en los mercados de refrigeración, automotriz y telecomunicaciones. Aunque esos son grados especiales de ABS, la mayoría de ellos, caen bajo la clasificación de productos Estandar basados en su balance de propiedades.

E.6.b ABS GRADOS ESPECIALES:

Grado de alta resistencia al calor.

Son grados de ABS producidos mediante la sustitución de alfa metil estireno, sustituyendo parcial o totalmente al monómero de estireno en la porción de SAN que conforma el ABS. Esos productos tienen balances de propiedades similares a los grados de ABS estandar, excepto por la mejora significativa en la resistencia al calor. Estos productos son más difíciles de procesar debido a su mayor viscosidad del fundido, y relativamente más caros.

Grado Cromable:

El ABS puede ser cromado con el mismo proceso usado para metales después de ser preparado vía un sistema de "precromado", el cual ataca la superficie usando un ácido crómico y depositando una capa electroquímica de cobre ó níquel, proporcionando la superficie

conductiva. Se han diseñado grados especiales de ABS los cuales son atacados de forma controlada, produciendo un fuerte enlace entre la superficie de ABS, las capas sin "electrodepósito" y las capas electrodepositadas. Dichos productos ofrecen un coeficiente de expansión térmica lineal relativamente bajo, el cual reduce los esfuerzos entre el metal y el ABS durante la exposición a temperaturas extremas.

Grado retardante a la flama.

Los grados estandar de ABS son considerados polímeros de baja velocidad de propagación a la flama, y la mayoría cumplen los requisitos de "Underwriters Laboratories" para la clasificación UL94HB. El ABS puede ser modificado usando aditivos halogenados para satisfacer requerimientos de flamabilidad más exigentes; incluyendo la clasificación UL94V-0 en espesores tan bajos como 0.062" y clasificación UL94 5-V en espesores hasta de 0.125". Estos grados retardantes a la flama ofrecen un balance de propiedades similar a los grados Estandar de ABS medio Impacto. También se encuentran grados con alto módulo en flexión, ó con estabilidad mejorada a la luz.

Por su proceso de transformación se encuentran los de grado inyección, grado extrusión/termoformado, y grado soplado. Existe también un grado de ABS especial que es el ABS transparente y merece una descripción por separado.

D.6.c ABS TRANSPARENTE

Este es un grado de ABS cuya formulación es muy diferente al resto de los grados porque se incluye en la polimerización un cuarto monómero; el monómero de metil metacrilato (20-30%), además de ciertas modificaciones en el tamaño de partícula de hule, tratando de igualar los índices de refracción para obtener la transparencia necesaria, de hecho se logra un 80% de transmitancia, dependiendo de la tecnología empleada. Posee propiedades similares a otros grados de ABS, como son buen impacto, flexión, elongación, procesabilidad, brillo superficial, y

con resistencia química a ácidos y bases, pero atacado por ésteres, cetonas, solventes orgánicos, hidrocarburos alifáticos, aromáticos y sus derivados.

E.7 ALEACIONES

La línea de productos de ABS se ha incrementado significativamente a través de la adición de aleaciones de ABS con otros polímeros.

Las aleaciones son mezclas físicas de dos o más polímeros y con ayuda de "agentes compatibilizantes" con la finalidad de incrementar las propiedades ó performance de algún polímero a un costo accesible ó más bajo que el polímero avanzado de procedencia. perteneciendo este tipo de polímeros a la categoría de los plásticos de ingeniería.

Así, comercialmente existen las siguientes aleaciones:

<u>ALEACIÓN</u>	<u>PROPIEDAD QUE SE PERSIGUE OPTIMIZAR</u>
ABS/PC	Resistencia al Impacto, resistencia a la temperatura
ABS/PMMA	Resistencia a la temperatura
ABS/PVC	Resistencia al impacto, flamabilidad.
ABS/SMA	Resistencia a la temperatura, química y al impacto.
CPE/SAN	Retardancia a la flama , resistencias al Intemperismo, al calor y a la depositación electrostática del polvo.
Olefina/SAN	Las olefinas elastoméricas también se pueden incorporar al copolímero de SAN para mejorar el intemperismo. (Rovel de Uniroyal)

Normalmente estas aleaciones se pueden obtener con equipos de extrusión de amasado intensivo, haciendo uso de agentes de acoplamiento, para formar una unión entre el agente con cada uno de los polímeros que se desean integrar en un solo compuesto.

Adicionalmente se están realizando investigaciones para hacer aleaciones de estireno-acrilonitrilo con resina "K"³ para obtener la transparencia del SAN pero mejorando la flexibilidad del mismo ayudado por la resina "K"³ obteniéndose un producto que logra competir en aplicaciones que hoy son un nicho para el acetato, propianato y butirato de celulosa.

CAPÍTULO II

II. PROPIEDADES CRÍTICAS PARA EL PROCESO DE SELECCIÓN.

Para poder seleccionar el material idóneo para una aplicación determinada dentro de un grupo de plásticos, es necesario conocer sus características, ventajas y limitaciones, y esto se puede lograr a través de la medición de sus diferentes propiedades, así como el saber interpretar las propiedades que se publican para cada material. Para tal efecto se han creado diferentes organizaciones, como es el caso de "American Society for Testing of Materials", A.S.T.M. cuyo objetivo es establecer normas para asegurar que los resultados obtenidos entre un productor y otro, entre laboratorios y entre analistas sean repetitivos y reproducibles y se hable un mismo idioma entre proveedores y usuarios.

Así se han creado diferentes pruebas, considerando todos los ámbitos en los cuales puede ser evaluado un plástico. Un plástico se puede caracterizar buscando sus ventajas y desventajas en siete principales áreas:

Propiedades mecánicas

Propiedades térmicas

Propiedades eléctricas

Propiedades físicas

Propiedades ópticas

Propiedades de procesamiento

Propiedades ambientales-químicas.

A. PROPIEDADES MECÁNICAS

Los resultados de pruebas físicas sobre plásticos tienen significado solo a corto plazo. Cuando se aplica un esfuerzo por períodos prolongados, la naturaleza viscoelástica del material causará una deformación permanente acoplado con un cambio dimensional.

De esto se deduce que para hacer uso de los valores reportados en la hoja de especificación por los proveedores de materia prima, es necesario tener una idea clara de como se generó la información, y que precauciones se deben tener al emplearla para la selección de materiales y su aplicación durante diseño, moldeo y acabado de algún producto.

Las propiedades mecánicas más comunes de los plásticos son las siguientes:

A.1 RESISTENCIA A LA TENSIÓN (MPa, LB/IN²) (A.S.T.M. D-638)

La resistencia a la tensión es la máxima resistencia que un material puede soportar sin rompimiento, cuando éste es sometido a una carga de estiramiento. La resistencia a la tensión es una medida de la fuerza necesaria para separar el espécimen, algunos materiales se rompen, otros tan solo se deforman permanentemente, por lo tanto surgen dos variantes de la resistencia a la tensión; a la ruptura y al cede. Las propiedades de tensión varían con el cambio en la velocidad de desplazamiento de las mordazas, también afecta la temperatura a la cual se realiza la prueba. (Ver fig 4)

A.2 ELONGACIÓN A LA RUPTURA. (%) (A.S.T.M. D-638)

Es el incremento en la longitud de un material debido al esfuerzo en tensión, y es el punto en el cual el material se separa o rompe. Expresada como porcentaje del valor original.

A.3 MÓDULO EN TENSIÓN (GPa, LB/IN²) (A.S.T.M. TEST D-638)

También es llamado módulo de elasticidad, o módulo elástico es considerado como el indicador simple más importante de la resistencia de un material. Es la relación del esfuerzo aplicado a

una deformación resultante bajo el límite proporcional del material (ejemplo, donde la relación lineal de esfuerzo/deformación empieza a cambiar abruptamente su pendiente). Los datos de módulo en tensión deberán ser considerados junto con los valores de elongación para obtener la proporción correcta de resiliencia y fragilidad. Las piezas deberán ser diseñadas para acomodar los esfuerzos a un buen grado bajo los límites proporcionales. (Ver fig. 4)

A.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN AL CEDE. (MPa, LB/IN²) (A.S.T.M. D-790)

Es una medición de la resistencia de un material a la fractura durante la flexión (doblamiento). El espécimen de 1/8"x1/2"x5" se coloca en dos soportes separados 4" con la carga aplicada hacia abajo en la distancia media entre ellos. Muchos termoplásticos no rompen en esta prueba, por lo que la resistencia a la flexión se registra al 5%. Es decir: la carga (Lbs/in²), necesaria para estirar la superficie más externa en 5%. (Ver fig. 5)

A.5 MÓDULO EN FLEXIÓN. (GPa, Lbs/in²) (A.S.T.M. D-790)

Es la relación, dentro de los límites elásticos, del esfuerzo aplicado sobre el espécimen de prueba a la correspondiente deformación en las fibras extremas del espécimen. El esfuerzo aplicado es durante una flexión o ciclo de flexión, donde el espécimen es soportado a dos puntos con la fuerza siendo aplicada en el punto medio entre ellos. (Ver fig. 6)

A.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa, Lbs/in²) (A.S.T.M. TEST D-695)

Es la habilidad que tiene un material a resistir una fuerza que tiende a aplastarlo. Su valor está dado por la carga de compresión a la fractura de un espécimen, dividido entre el área original del espécimen. En general los plásticos, rara vez fallan a la compresión. (Ver fig. 7)

A.7 IMPACTO IZOD, RANURADO (J/m, FT LB/IN.)

(A.S.T.M. TEST D-256)

Indica la energía requerida para romper los especímenes, en los cuales hay una ranura en forma de "V", para crear un punto inicial de tensión. El esfuerzo a la ruptura es aplicado repentinamente, en contraste con la prueba de tensión que es aplicado continuamente.

Este es calculado como ft·Lb. por pulgada de ranura y es generalmente calculado sobre la base de un espécimen de una pulgada aunque el espécimen usado pueda ser más delgado en dirección lateral. Aunque es un indicador muy útil de la resistencia, este no puede ser usado en una forma totalmente absoluta, porque los diferentes plásticos se comportan en diferentes formas sobre la aplicación de la ranura inicial. Esta prueba se realiza a temperatura ambiental @ 23°C, y existe otra condición que es a bajas temperaturas (-40°C) principalmente para aplicaciones en refrigeración y tubería. Algunos materiales son muy sensibles a la ranura y derivan más grandes concentraciones de esfuerzo debido a la operación de ranurado. La prueba de impacto Izod puede indicar la necesidad de evitar formas de esquinas en piezas hechas con tales materiales. Por ejemplo, el nylon y el acetal, los cuales en piezas moldeadas se encuentran entre los materiales más resistentes, son muy sensibles a la ranura y registran valores relativamente bajos en la prueba de resistencia al impacto ranurado. (Ver fig. 8)

B. PROPIEDADES TÉRMICAS.

B.1 ENCOGIMIENTO LINEAL EN EL MOLDE. (IN/IN)

(A.S.T.M. TEST D-955)

Registra el encogimiento inicial de un material durante su fabricación dentro de las primeras 48 Hrs. El encogimiento es la relación entre el tamaño de la pieza recién inyectada, solidificada y enfriada a temperatura ambiente con respecto al tamaño original de la cavidad en el molde. Si no se puede determinar el encogimiento lineal del molde, la expansión térmica lineal es una buena indicación de la conducta de los materiales. En el moldeo por inyección, en adición al tipo, tamaño y espesor de la pieza, el encogimiento variará de acuerdo al tamaño de la nariz o boquilla de la inyectora, el ciclo de operación, la temperatura y el intervalo de tiempo en el cual la presión hacia el frente es mantenida. Los encogimientos son más altos cuando la carga fluye

dentro de la cavidad del molde pero no recibe suficiente presión para ser forzado a entrar en todos los espacios libres.

A.2 EXPANSION TÉRMICA LINEAL.

(A.S.T.M. TEST D-696)

Es el cambio en la longitud de un material por el cambio en la unidad de temperatura. Los materiales plásticos a menudo cambian su longitud (y volumen) a causa de cambios en el contenido de humedad, curado, pérdida de plastificante, relajación de esfuerzo, etc. Las pruebas de expansión térmica lineal son diseñadas, para excluir todas las otras influencias excepto los cambios en dimensión debidos a expansión térmica. Esta propiedad es muy buena indicación de la conducta de un plástico durante el moldeo.

A.3 CALOR ESPECÍFICO (BTU/LB °F)

(A.S.T.M. TEST C351)

Es la cantidad de calor requerido para cambiar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado. Es esencial en el cálculo de valores de aislamiento. Es parte de los parámetros generalmente conocidos como difusividad térmica, la cual gobierna la tasa de difusión de temperatura através del aislante. Su valor depende de la composición química del material y de la temperatura.

A.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (BTU IN/HR FT² °F)

(A.S.T.M. TEST C177)

La conductividad térmica mide el flujo de calor a través de un material. Un valor alto significa un buen agente de transferencia de calor, y uno bajo, una buena barrera o aislante térmico. Significa el tiempo en que fluye el calor bajo condiciones estables, através de la unidad de area, por gradiente de unidad de temperatura en una dirección perpendicular a una superficie isotérmica. En general, los plásticos son buenos aislantes térmicos (y casualmente tambien buenos aislantes eléctricos). La conductividad térmica puede ser afectada por la humedad, y puede cambiar con el tiempo o la alta temperatura.

A.5 TEMPERATURA DE FRAGILIDAD (°F) (A.S.T.M. TEST D-746)

Es la medición de la baja temperatura a la cual los materiales rompen por flexión o impacto, bajo condiciones específicas.

A.6 TEMPERATURA DE DEFLEXIÓN (°F) (A.S.T.M. TEST D-648)

A.6.a Evaluada a 66 Lbs/in²

Es la medición de la temperatura a la cual un espécimen se distorciona 0.01" bajo una carga de 66 LBS/IN². (Ver fig. 9)

A.6.b Evaluada a 264 Lbs/in²

Es la medición de la temperatura a la cual un espécimen se distorciona 0.01" bajo una carga de 264 LBS/IN². (Ver fig. 9)

A.7 PUNTO DE ABLANDAMIENTO VICAT. (°C, °F) (A.S.T.M. D-1525)

Es la temperatura a la cual la punta plana de una aguja penetra un espécimen bajo una carga específica usando una tasa uniforme de incremento de temperatura. Indica la temperatura a la cual un plástico se "ablanda". (Ver fig. 10)

A.8 ÍNDICE DE TEMPERATURA UL. °C / mm

Es la máxima temperatura bajo la cual un material mantiene su integridad eléctrica y mecánica bajo un período de tiempo razonable.

A.9 TEMPERATURA DE SERVICIO CONTINUO (°C, °F)

Es la temperatura más alta a la cual un plástico puede funcionar en una aplicación de "largo tiempo". Es muy útil conocer este valor, ya que la mayoría de los plásticos fallan en el servicio por que los efectos de la temperatura a largo plazo causan la degradación del polímero.

C. PROPIEDADES ELÉCTRICAS

C.1 FACTOR DE DISIPACIÓN.

(A.S.T.M. D-150)

Es la medida de la conversión de poder reactivo a poder real, manifestado como calor.

También es llamado factor de poder. Es la relación del poder disipado en Watts en un material aislante, relacionado al producto de un voltaje efectivo y la corriente. Es por lo tanto una medición de la pérdida dieléctrica relativa en un material aislante, cuando el sistema actúa como un capacitor. Esta unidad adimensional es de particular interés a altos niveles de frecuencia y poder. Generalmente los bajos valores son mejores, porque ellos indican un sistema más eficiente, con pérdidas de poder más bajas.

C.2 CONSTANTE DIELECTRICA

Es la relación de la capacitancia de un capacitor lleno con este un material en particular a la capacitancia del mismo sistema eléctrico con aire (o un vacío) reemplazando el aislamiento como un medio dieléctrico, también puede ser interpretado como la propiedad de un material aislante que determina la energía electrostática almacenada dentro del material sólido.

Los valores bajos son mejores para aplicaciones de alta frecuencia ó de poder para minimizar pérdidas de poder eléctrico. Los valores más altos son mejores para aplicaciones de capacitancia.

C.3 RESISTENCIA DIELECTRICA.

(A.S.T.M. D-149)

Esta prueba es un indicador de la resistencia eléctrica de un material como aislante. Es el voltaje que un material aislado puede resistir antes de que ocurra el corto dieléctrico, y es expresado normalmente en términos de gradiente voltáico, Por ejemplo, Volts por espesor. Los valores más altos indican el mejor aislante. La resistencia dieléctrica de un material generalmente incrementa bruscamente al decrecer el espesor de aislamiento. La resistencia dieléctrica de los materiales varía grandemente con algunas condiciones, tales como la

humedad y la geometría, y no es posible aplicar directamente los valores de pruebas *standard* a su uso en el campo, a menos que todas las condiciones, incluyendo las dimensiones del espécimen, sean las mismas, a causa de esto, los resultados de la prueba de resistencia dieléctrica son relativos, más que valores absolutos como guía de especificación.

C.4 RESISTIVIDAD VOLUMÉTRICA (OHM.CM) (A.S.T.M. TEST D-257)

Es la resistencia que ofrece al paso de la corriente eléctrica. Específicamente la resistividad volumétrica es la resistencia eléctrica entre caras opuestas de una unidad de volumen para un material a una temperatura dada. Valores altos significan buenos materiales aislantes. La resistividad varía inversamente con la temperatura y es afectada por el contenido de humedad, y nivel de voltaje aplicado.

D. PROPIEDADES FÍSICAS.

D.1 DUREZA ROCKWELL (A.S.T.M. TEST D-785)

Es la resistencia de un material a la compresión, indentación y rayado. Existen diferentes escalas dependiendo de la dureza del material. La dureza Rockwell no es un índice directo de cualidades de uso o resistencia a la abrasión. (ver fig. 11)

D.2 ABSORCIÓN DE AGUA (% 24 HRS) (A.S.T.M. TEST D-570)

El valor para esta propiedad es expresado como el porcentaje de peso que gana una muestra de plástico (previamente presecada y enfrida en un desecador) debido a la asimilación de agua después de 24 hrs. de inmersión en agua destilada @ 23°C. La absorción de agua en los plásticos afecta las propiedades de varias formas, por ejemplo, las propiedades eléctricas y mecánicas cambian notablemente, y ocurren cambios dimensionales significativos en aquellos plásticos que absorben grandes cantidades de agua. Hay que observar que algunos plásticos se disuelven ligeramente en agua, y esto afecta el valor de absorción total.

D.3 DENSIDAD (Lbs/in³ ó Gr/Cm³)

(A.S.T.M. TEST D-792)

La densidad es la propiedad de ingeniería más comunmente medida, y es simplemente la relación existente entre la masa de una sustancia por unidad de volumen. Es necesario conocer la densidad de una resina plástica para calcular la relación entre peso y volúmen en una pieza determinada, y por lo tanto su costo de materia prima.

La gravedad específica es la relación del peso de un volumen de material @ 23°C con respecto al peso del mismo volumen de agua a la misma temperatura.

E. PROPIEDADES ÓPTICAS

E.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN, SODIO D

(A.S.T.M. TEST D-542)

Es la relación de la velocidad de la luz en el vacío a su velocidad en el material. Esta prueba mide una propiedad fundamental, de hecho útil para el control de la pureza y composición, para propósitos simples de identificación, y para el diseño de piezas ópticas. Esta puede ser medida con demasiada precisión, de hecho con mucho mayor precisión de la que es generalmente es requerida.

E.2 HAZE Y TRANSMITANCIA LUMINOSA

(A.S.T.M. D-1003)

Esta prueba se realiza para plásticos transparentes haciendo uso de un espectrofotómetro.

El *haze* (nebulosidad) se define como el porcentaje de luz transmitida que pasando através del especimen, se desvía más de 2.5° del haz incidente, dispersándose hacia adelante.

La transmitancia es la relación de la luz transmitida con respecto a la luz incidente.

Con esta información se puede comparar directamente la transparencia de varios grados y tipos de plásticos.

Estos datos son importantes cuando el material es considerado para propósitos ópticos. Muchos plásticos transparentes no tienen la claridad del agua y por esta razón la información de la evaluación indica si el material era natural ó entintado.

E.3 REFLECTANCIA , TRANSMITANCIA Y COLOR

(A.S.T.M. TEST D-791)

Si los especímenes son opacos, deberán tener por lo menos una superficie plana. Los especímenes translúcidos y transparentes deberán tener dos superficies las cuales sean planas y paralelas.

La muestra se monta en el instrumento junto con una superficie de referencia (estandar blanco). Se colocan las muestras en el instrumento y se hacen chocar sobre estas luz de diferentes longitudes de onda. La luz reflejada o transmitida es medida para obtener los valores de cada propiedad.

Esta prueba es un método para obtener datos de color. La propiedad determinada que es de interés para el diseño es la transmitancia luminosa.

F. PROPIEDADES DE PROCESAMIENTO

F.1 ÍNDICE DE FLUIDEZ. [Gr/10 min.]

(A.S.T.M. D-1238)

Es la tasa de extrusión de una resina fundida através de un dado de longitud y diámetro definidos. Existen dos variables que son descritas por A.S.T.M. para cada tipo de resina, y son la carga y la temperatura a la cual se realiza esta prueba. La prueba de *Melt Index* es principalmente útil para los productores de materias primas como un método de control en la uniformidad del material. Los resultados de esta prueba no son directamente escalables a características de procesamiento en uso final, sin embargo el valor de *melt index* es un fuerte indicador de la fluidez de las resinas termoplásticas. La propiedad medida mediante esta prueba es básicamente la viscosidad del fundido. En general, los materiales, los cuales son más resistentes a fluir son aquellos con mas alto peso molecular, o aquellos que están altamente ramificados.

G. PROPIEDADES QUÍMICAS

RESISTENCIA QUÍMICA Y AMBIENTAL.

Como se puede inferir, existe una variedad casi infinita de combinaciones de materia, agentes químicos y efectos. Las pruebas completas de A.S.T.M. especifican las condiciones como una base para la estandarización, y sirve como una guía para comparar la resistencia relativa de varios plásticos a agentes químicos.

La información existente sobre resistencia química de los plásticos es difusa e inconsistente debido a la diversidad de agentes químicos que los proveedores de resina escogen para exponer sus materiales. Las condiciones de concentración, temperatura, presencia de esfuerzos y tiempos de exposición no están estandarizados. Las palabras empleadas para describir el comportamiento ante un agente no son las mismas, y el parámetro mediante el cual se determina si un agente específico ataca o no a un plástico puede variar.

Esta prueba deberá ser comparativa entre los diferentes plásticos en concurso y medir sus efectos a través de alguna propiedad mecánica para tener resultados más objetivos. Siempre expuestos a los mismos agentes, concentraciones, temperaturas y en general mismas condiciones y usando una escala de resistencia a los diferentes agentes químicos.

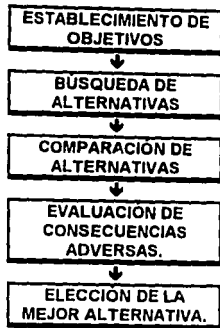
CAPÍTULO III

PROCESO DE SELECCIÓN DE PLÁSTICOS.

En la actualidad es tan grande el número de plásticos de que se dispone en el mercado y tan corto el tiempo en el que hay que decidir de que materia prima se deberá manufacturar algún artículo recién diseñado, que los responsables de seleccionar aquel plástico que satisfaga los requerimientos para una aplicación determinada deben de seguir un procedimiento con enfoque sistemático y lógico que conduzca paso a paso a obtener los resultados esperados de una forma eficiente y oportuna. No hacerlo así conduciría a tomar decisiones precipitadas que por un lado pueden dejar al margen algún factor que en el futuro se convierta crítico, y por otro lado el proceso se realizaría de forma desordenada y tomaría más tiempo llevarlo a cabo. Además estaría presente un alto riesgo de error y esperar a resolverlo en el momento en que la pieza ya se esté produciendo, distribuyendo ó incluso ya en manos del consumidor, podría tener consecuencias muy costosas. Así pues se debe hacer uso de la mejor información disponible, y confirmar que se está tomando la decisión más fundamentada antes de tomar acción.

Los autores Kepner & Tregoe proponen un "análisis de decisiones" en el cual está sustentado este trabajo. Y se compone de las siguientes etapas:

Concentrarse en los objetivos antes que buscar alternativas, considerar el número adecuado de objetivos, contemplar un buen número de alternativas, resumir información sobre cada alternativa y finalmente evaluar las consecuencias adversas, planteándose la siguiente secuencia:



A. ESTABLECIMIENTO Y CLASIFICACIÓN DE OBJETIVOS.

Esta fase consta esencialmente de tres pasos:

A.1. PROPÓSITO DE LA DECISIÓN

Este es el paso en el que se convierte la vaga percepción de una necesidad de elegir un curso de acción, en un ajustado proceso de decisión. Es en este punto que la clarificación de decisiones previas puede ser necesaria para concentrar todos los esfuerzos en la decisión actual.

Se debe definir claramente que es lo que se espera con este proceso. El propósito que se tiene al seguir un proceso de toma de decisiones en la selección de plásticos es justamente:

"Encontrar el material más adecuado que satisfaga todos los requisitos que demanda una aplicación determinada"

Una desviación en el establecimiento de el propósito nos puede conducir a la obtención de resultados distintos de los que perseguíamos originalmente.

A.2. ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS

Las aplicaciones exitosas deben estar diseñadas alrededor de parámetros múltiples, complejos, interrelacionados y frecuentemente en conflicto, relativos al diseño, proceso y materiales. En esta primera etapa del proceso de selección aplicado a plásticos, debe quedar claramente establecido, que es lo que está requiriendo la aplicación. Se deberá hacer un análisis completo de que es lo que se supone que debe realizar la pieza. Se deben explorar todas las respuestas posibles en las siguientes áreas:

A.2.a. Apariencia: ¿Cuál debe ser la presentación de la pieza?

¿transparente u opaca?

¿brillante ó mate?

¿color deseado? ¿es crítico?, ¿tiene relación con alimentos o uso médico y por tanto los pigmentos no pueden ser de origen organometálico?, ¿deben resistir a las radiaciones ultravioletas?, ¿el color deberá ser obtenido directamente de la resina plástica ó pintado en un proceso de acabado?

A.2.b. Función:

¿ que características requiere la pieza para realizar su trabajo?

TABLA 2

Requerimiento de la aplicación	propiedad del material	consideraciones de diseño
rigidez	modulo de flexión	espesor, forma, refuerzos ó costillas.
habilidad a la carga	resistencia a la tensión	espesor, forma, refuerzos
resistencia al calor	DTUL (resistencia a la deformación térmica bajo carga).	espesor, forma, refuerzos.
resistencia al impacto	Impacto izod, Impacto multi-axial fatiga dinámica.	espesor de pared, localización y radios de costillas, esquinas, líneas de unión.
resistencia química	ASTM D-543, pruebas funcionales	localización de las líneas de unión, esfuerzos residuales aplicados.
eléctrica	constante dieléctrica resistividad volumétrica.	esquema de cableado, aislamiento.
dureza	dureza rockwell	

A.2.c. PERMANENCIA

¿Por cuanto tiempo, la pieza debe hacer su trabajo en su ambiente de uso final.?

TABLA 3

Aplicación requerida	Propiedad del material	Consideraciones de diseño.
retardancia a la flama	U.L. 94 MVSS 302	tipo de motor/localización, separación de la carcaza espesor de la pared.
forma constante	resistencia a la deformación en frío c/r al tiempo (creep)	espesor y refuerzos en el area de carga.
Color-estabilidad a la luz U.V.	Arco Xenon aditivos a la luz U.V.	pintura.
Intemperismo	tipo de hule	pintura recubrimiento resistente a la luz U.V.
envejecimiento por el calor	Indice de tasa de temperatura 30 días @ 90°C.	Diseño para más bajo impacto. y/o exposición al calor.

A.2.d. PROCESO.

¿que está involucrado en la conversión de los pellets plásticos a la pieza terminada en su punto de venta?

TABLA 4

Moldeo por inyección.		
Extrusión	un paso	perfil de extrusión
	dos pasos	extrusión/termoformado
Operaciones secundarias	decoración	extrusión/moldeo por soplado
		pintado
		cromado
		estampado en caliente
		laminado
	fabricación	pegado
		sellado por ultrasonido
		sellado vibracional
	ensamble mecánico.	

A.2.e. ASPECTOS ECONÓMICOS.

COSTO DE MATERIALES (costo por unidad de volumen)

hay que considerar que el usuario compra la resina por unidad de peso, pero al transformarla en piezas, las vende por unidad de volumen.

$$\text{Costo (N\$/cm}^3\text{)} = \text{precio (N\$/Kg)} \times \text{gravedad específica}/1000$$

costos relacionados con la manufactura

- manejo de material
- procesamiento
- acabado
- empaque
- embarque

A.2.f. ASPECTOS REGULATORIOS.

¿ de acuerdo a la aplicación, cuáles aprobaciones son requeridas?

TABLA 5

UL	Underwriters Laboratories, Inc.
NSF	National Sanitation Foundation
Mil. Specs.	Federal Specifications
CSA	Canadian Standards Association
FDA	Food and Drug Association
USP	U.S. Pharmacopeia
Automotive Specifications	Ford General Motors Chrysler Honda Volks wagen Nissan

A partir de este punto es que se obtienen los resultados necesarios y deseados cuya existencia ayuda en la elección de alternativas. En el análisis de decisiones existen dos factores que deberán ser cuidadosamente tomados en cuenta en el establecimiento de objetivos:

- Resultados esperados de la decisión.
- Recursos disponibles para implementar la decisión.

En este punto habrá que concentrarse exclusivamente en los objetivos.

Muchas veces antes de hacer un análisis detallado, impulsivamente ya estamos pensando en alternativas, favoreciendo intuitivamente alguna selección por el dominio en el conocimiento que tenemos sobre ese material en particular, lo cual nos bloquea para evaluar objetivamente sus ventajas y desventajas sobre otros candidatos. Siendo que en este punto lo más importante es enunciar que características deberá cumplir la pieza recién diseñada durante su vida útil.

Se deberá de desarrollar una lista lo más completa posible, entre más lo sea, sugerirá muchos resultados por ser logrados y muchos recursos para lograrlos.

A.3. CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA

No todos los objetivos tienen la misma importancia, algunos son esenciales o imprescindibles, sin los cuales simplemente la aplicación no sería posible, por lo que es obligatorio satisfacerlos. Existen otros objetivos que puede ser que sólo sea conveniente conseguirlos, se quiere verlos satisfechos, pero no se encuentra que sean absolutamente necesarios. Obviamente hay una diferencia de valor entre las clasificaciones *deseado* y *obligatorio*; pero también ocurre que algunos objetivos deseados son más importantes que otros, por lo tanto habrá que clasificar los objetivos en dos categorías, y luego determinar los valores relativos de cada uno de los objetivos deseados.

A.3.a. Identificación de los objetivos obligatorios

Es necesario examinar los objetivos que definen resultados. Para cada uno, se debe contestar en forma afirmativa a la pregunta: ¿Es absolutamente necesario que esto se logre? si la respuesta es negativa, en automático se traslada a la categoría de los deseados. También hay que analizar los objetivos que expresen recursos, y formular la pregunta: ¿Existe una limitación inviolable en cuanto a la disponibilidad de este recurso?, la respuesta deberá ser "sí" para que estos objetivos obligatorios se transformen en los parámetros de acuerdo con los cuales, más tarde se eliminarán las alternativas inaceptables.

A.3.b. Identificación de los objetivos deseados:

Los objetivos deseados son aquellos que han sido derivados de la lista de los obligatorios. Expresan cuáles resultados quisieramos lograr, sin que ello sea crítico para nuestra decisión. Por ejemplo seleccionar un material que tenga el más bajo costo, o que se puedan producir muchas piezas por unidad de tiempo. Estos son deseados por que es factible lograrlos siempre y cuando se cumplan otros que definitivamente si sean críticos para la aplicación. Puede haber un margen de manobra en el uso de ciertos recursos, por ejemplo costar lo menos posible, obtener las mayores piezas producidas en un cierto periodo de tiempo establecido. Más tarde deberá controlarse como cada alternativa satisface cada objetivo deseado, y de acuerdo con esto valorarlas.

Otro mecanismo para formular objetivos deseados es ver si se deben favorecer alternativas que tienen un desempeño que excede las exigencias de un obligatorio. La pregunta decisiva en estas circunstancias es: ¿Es conveniente dar un valor adicional a la alternativa que excede el mínimo o que es menor que el máximo, establecidos ambos como obligatorios?

A.3.c. Cuantificación de los objetivos obligatorios/deseados

Para clasificar un objetivo obligatorio, la meta debe incluir un límite medible de aceptabilidad, por ejemplo: " el material seleccionado deberá ser transparente, superior al 90% de transmitancia; o debere ser rígido, con módulo de flexión de 500,000 PSI mínimo, o resistir las caídas, con impacto Izod superior a 0.6 Lb/Ft.in. Lo cual en la práctica es complicado por la diferencia que existe entre especificar una cualidad para un material, y darle valor numérico, ejemplo: que sea transparente, la dificultad está en definir cuan transparente debe ser y encontrar como medir ese grado de transparencia.

Sin embargo estos objetivos son los que representan pautas específicas y medibles que permiten aceptar o rechazar cualquier alternativa. Los objetivos enunciados vagamente como " que sea resistente", deben ser mejorados y reformulados para ser más específicos, si queremos usarlos como obligatorios. Aunque en algunos casos, un objetivo puede ser no medible y aún ser obligatorio. En tal caso debe permitir la comparación contra una norma visible y aceptada, por ejemplo "que de los materiales candidatos, se seleccione aquel que posea la transparencia mas parecida a la del vidrio."

Puede ser que los objetivos deseados no sean facilmente medibles. Por lo que en ocasiones se usa una escala de evaluación, tal como "muy deseable, deseable , poco deseable, ó nada deseable" para pesar su relativa importancia, sin embargo este tipo de escalas no son tan precisas como una escala numérica del 1 al 10, pues estos dan una referencia más segura. así los deseados más importantes pueden ser valuados en 10 y así sucesivamente , hasta llegar a los deseados con valor de 1, que podrían incluso ser eliminados, ya que no son importantes.

A.3.d. Utilidad de la clasificación:

Una vez que se han clasificado los objetivos de acuerdo a este criterio, se tendrá una idea clara de:

- Que es lo que debe ser realizado, a diferencia de lo que se desea realizar.

- El límite de cada objetivo obligatorio.
- El orden de preferencia que debe seguirse en la recolección de información sobre cada alternativa, con referencia al grado de satisfacción de cada objetivo.

Realizar una lista de objetivos para la selección de un material plástico para una aplicación determinada, permite incluir todos los objetivos posibles, y al hacer una revisión de los mismos para evitar omitir alguno, proporciona un registro visible de los objetivos y sus valores relativos, lo cual constituye el paso más importante, para visualizar la decisión, corregir omisiones y aclarar las dudas de interpretación.

B. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

B.1. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS.

La generación de alternativas tiene que ser un proceso ordenado de acuerdo a los objetivos planteados, no puede estar basado en "probar para ver que sucede", solo una búsqueda sistemática dará el número necesario de buenas alternativas, que sean capaces de desempeñar las precisas funciones trazadas por los objetivos.

El conjunto de objetivos obligatorios/deseados se convierte en el modelo que guía la búsqueda de alternativas, usando cada objetivo en búsqueda de nuevas posibilidades. Y al considerar las diferentes maneras de satisfacer cada objetivo conducirá a obtener una gama más amplia de alternativas.

Un ejemplo de esto en la Selección de productos para una determinada aplicación es considerar la lista de los objetivos obligatorios y considerar solo aquellos materiales que cumplan con estos criterios, es recomendable incluir todos aquellos objetivos adicionales que surgen durante la búsqueda de alternativas.

C. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS.

C.1. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.

Para poder realizar la comparación de las alternativas con respecto a los objetivos, es necesario poseer la información completa y exacta con respecto a cada objetivo, analizarla y verificarla, primero se hace esta comparación para los objetivos obligatorios, y posteriormente se repite el proceso para cada objetivo deseado.

C.1.a. COMPARACIÓN CON OBJETIVOS OBLIGATORIOS.

Al analizar estos objetivos, es muy importante considerar si la alternativa en cuestión satisface lo estipulado por el objetivo. Si lo cumple, entonces hay que continuar investigando esa alternativa, pero si no lo cumple, se elimina la alternativa de cualquier otra consideración.

Cuando una alternativa se encuentra muy cerca del límite establecido, ya sea por arriba o por abajo de éste, se hace uso del sentido común para considerarlo o descartarlo, porque muchas veces al eliminar una alternativa marginal, se corre el riesgo de dejar de considerar que dicha alternativa pudiera satisfacer los otros obligatorios y comparar con otras, en los deseados. Si se mantiene, aún reconociendo que no cumplió exactamente con las normas establecidas se corre el riesgo de tener algunas consecuencias adversas. Es importante observar si alguna de las normas es demasiado difícil de satisfacer, ¿todas reflejan con exactitud lo que realmente se requiere?. Puede también ocurrir lo contrario: que no se eliminen las alternativas en su comparación frente a los obligatorios, porque probablemente las normas no son las más apropiadas, o por que son demasiado indefinidas.

Uno de los propósitos de los objetivos obligatorios es reducir el tiempo necesario para buscar información sobre alternativas al eliminar las que son claramente inaceptables.

C.1.b. COMPARACIÓN CON LOS OBJETIVOS DESEADOS.

En esta segunda fase hay que concentrarse exclusivamente en aquellas alternativas que si han cumplido con los requisitos de los objetivos obligatorios. Es necesario buscar la mejor información disponible que se relacione con cada objetivo deseado. Con la finalidad de dar una calificación más objetiva, se sugiere el uso de una escala numérica, y el método consiste en asignar el valor de 10 a la información de la alternativa que mejor satisfaga cada objetivo deseado, y la información de cada una de las otras alternativas puede ser comparada con la mejor, y valorada de 10 a 0 según resulte apropiado.

Para calificar las alternativas, es conveniente usar el siguiente criterio:

- No considerar en este momento el peso que exprese la importancia relativa del objetivo.
- Asignar una calificación de 10 a aquella alternativa que mejor satisfaga a cada uno de los objetivos deseados.

Un aspecto importante en esta etapa es expresar la información disponible sobre cada alternativa, a través de los números de la calificación relativa. El uso de dicha escala ayudará a:

- El proceso sea más visible y más consciente
- Poner en evidencia su propia imparcialidad o subjetividad
- Colocar la información disponible en su justa perspectiva.

C.2. CONSOLIDACIÓN DE UNA SERIE DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Los objetivos tienen diferentes importancias (peso) para quien está decidiendo, las expectativas de desempeño varían entre una alternativa y otra. Para integrar y homologar varios criterios en una decisión, es preciso combinar lo más objetivamente posible evaluaciones separadas y diferentes.

El método consiste en multiplicar la importancia (peso o impacto) de cada objetivo por su calificación obtenida según la información sobre cada alternativa. Considerando que el valor de 10 siempre se otorgará a aquellas alternativas que satisfagan plenamente el requisito del objetivo que se esté calificando, ejemplo bajo costo, se calificará con 10 a aquella alternativa que sea más barata, e igualmente en resistencia a la tensión se calificara con 10 a la alternativa que posea el valor de resistencia a la tensión requerido. Por ejemplo, si el peso del objetivo " obtener la mayor transparencia posible" para el estudio vale 10 y se califica con 10 al material de mayor transmitancia, la calificación ponderada de esta alternativa , referida al objetivo mencionado será de $10 \times 10 = 100$ y esta calificación expresa las expectativas de desempeño de esa alternativa cumpliendo el objetivo planteado.

Posteriormente se suma todas las calificaciones ponderadas de cada una de las alternativas relativas a cada objetivo, para obtener la calificación total ponderada de cada alternativa. Estos totales dan la posición relativa de cada alternativa en una comparación razonada y visible. Obviamente, cuanto menor sea la diferencia de calificación entre dos ó más alternativas, mayor deberá de ser la sensibilidad para controlar la información que se posee, así como la forma de evaluarla.

C.3. ELECCIÓN TENTATIVA DE LA MEJOR ALTERNATIVA.

Con la información que se cuenta hasta este momento, se puede realizar la primera decisión importante, sin embargo todavía es susceptible de cambio, ya que falta una prueba más. En este punto, se cuenta con las alternativas que tuvieron una calificación más elevada, y que obviamente cumplieron con los objetivos obligatorios, sin embargo en la realidad a veces se tienen calificaciones totales ponderadas de las alternativas elegidas para los deseados casi iguales, por lo que tentativamente se puede elegir cualquiera de las alternativas que se encuentre en estas circunstancias, o todas ellas.

La fase de comparación de alternativas del análisis de decisiones ha permitido:

- Identificar aquellas alternativas que son claramente inaceptables
- Reunir en forma eficiente información sobre alternativas.
- Comparar el desempeño de alternativas basado en su grado de satisfacción de los objetivos (deseados).

Identificar la o las alternativas que mejor cumpla con los propósitos de esta decisión.

USO DE CONSECUENCIAS ADVERSAS PARA AYUDAR A HACER LA ELECCIÓN FINAL.

Esta fase cierra el proceso de decisión .

D.1. EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS ADVERSAS.

Las alternativas que cumplen con todos los objetivos obligatorios, y que mejor satisfacen los objetivos deseados, ahora deberán de ser tamizadas bajo la perspectiva del futuro: ¿como se va a comportar esta alternativa en el futuro? ¿Cuál será su eficacia si las condiciones actuales cambian?. Antes de tomar la decisión final, se deben de analizar estas preguntas, y prever y estimar las consecuencias adversas de cada alternativa.

Cada alternativa deberá de ser controlada, tratando de establecer ¿ qué resultados indeseables podrían presentarse en dicha alternativa. ¿Cuáles son las implicaciones de corto y largo plazo de esta alternativa?, ¿cómo podría esta alternativa afectar otros aspectos de la decisión? ¿A que influencias externas podría estar sometida en el futuro dicha alternativa?

Al estimar las consecuencias de cualquier alternativa, se debe considerar:

- ¿Cuál es el número de futuros inconvenientes previstos?
- ¿Cuál es el grado de amenaza de cada uno?

Para esto habrá que evaluar la mayor o menor posibilidad de que una consecuencia realmente se presente. a esto se le denomina **PROBABILIDAD**.

El grado de Impacto de esta consecuencia, en caso de que ocurra, se le denomina **GRAVEDAD**.

El método consiste en asignar a cada consecuencia un valor de 10 a 1 por la probabilidad de su ocurrencia. De forma similar se evalúa la gravedad de la misma en una escala de 10 a 1. Las calificaciones de probabilidad y gravedad dan una medida de la amenaza de una consecuencia adversa. Una consecuencia que tenga 10 X 10 indica una total certeza de desastre, y por lo tanto, inaceptable. Lo importante en esta fase es seleccionar aquella alternativa que presente el menor riesgo.

D.2. ELECCIÓN FINAL.

En este paso, es muy importante hacer las siguientes preguntas:

- ¿ Se han considerado todos los objetivos que son importantes para esta decisión?
- ¿ Son apropiadas y correctas las normas de los objetivos obligatorios?
- ¿ Es satisfactoria la asignación de pesos a los objetivos deseados?
- ¿ La información con que se cuenta para cada alternativa, es la más confiable, completa y exacta ?
- ¿ Los valores asignados a la información sobre cada alternativa, realmente expresan de forma representativa lo que sabemos de ellas?
- ¿ Fueron consideradas y evaluadas correctamente todas las consecuencias adversas relevantes?

En el caso de que solo una alternativa hubiera sido analizada en cuanto a sus consecuencias:

- Evaluar hasta que punto cada consecuencia tiene un alto grado de probabilidad, tanto como de gravedad.
- Juzgar el impacto acumulado de todas las consecuencias previstas.
- En caso de que no se prevean consecuencias adversas significativas, se deberá adoptar dicha alternativa.

Si dos o más alternativas tienen calificaciones muy similares, se debe analizar cada una para:

- Evaluar el grado en que cada consecuencia es altamente probable y grave, para cada alternativa.
- Medir el impacto acumulado de todas las consecuencias para cada alternativa.
- Si una alternativa tiene un bajo impacto total y no tiene consecuencias del tipo 10 x 10, se adopta.
- Si los impactos acumulados de las dos alternativas son muy parecidos pero una no tiene ninguna consecuencia 10 x 10, se elige esta.
- Si una alternativa tiene un impacto total menor pero incluye una ó mas consecuencias 10 x 10, habrá que elegir la que muestre un impacto total mayor, pero carece de consecuencias 10 x 10.
- Si todas las alternativas tienen alto impacto acumulado y/o consecuencias 10 x 10, habrá que buscar nuevas alternativas.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO

Como ya se ha mencionado anteriormente, la industria del plástico nacional, en términos generales, carece de una metodología de apoyo para conseguir decisiones bien fundamentadas, en un mínimo de tiempo en lo que a la selección de materias primas para la producción de nuevas piezas, o sustitución de materiales se refiere. Incluso en la práctica existe un factor adicional que muchas veces bloquea a los diseñadores, a los responsables de ingeniería, a maquinadores etc. para solo actuar sin planear, " se hacen cosas para ver que pasa" ,este factor es el tiempo de que se dispone para hacer una rápida elección.

Lejos de lo que podría pensarse, el proceso de selección expuesto en el capítulo III proporciona una disciplina que ayuda a hacer el mejor uso del tiempo disponible, porque indica claramente en cual área es mas eficiente invertirlo.

En este capítulo se desarrolla un caso práctico, plenamente demostrado en la Industria, el cual evidencia la sencillez con que se logran los resultados esperados cuando se sigue el proceso expuesto anteriormente, y lo más importante es que el uso de las ideas básicas y de la metodología de apoyo descritas solo cumplen su objetivo cuando van acompañadas de un criterio basado en el sentido común.

El caso que aquí se expone tiene un enfoque muy didáctico, pues pretende dar un ejemplo muy ilustrativo de como se debe aplicar el análisis de decisiones propuesto por los autores Kepner & Tregoe y adaptarlo al proceso de selección de plásticos. La información mínima que se debe conocer para entender la secuencia del desarrollo de este caso es la expuesta en los capítulos I y II, y aunque el proceso es válido para la selección de cualquier plástico, dada la limitación de este trabajo, se enfocará principalmente en los plásticos estirénicos en comparación con algunos otros plásticos de los cuales se incluirá la información necesaria para concluir el proceso de selección.

ANÁLISIS DE SELECCIÓN DE MATERIAL PARA UNA APLICACIÓN DETERMINADA.

Propósito de la decisión:

Se desea encontrar el material plástico idóneo que sustituya al vidrio para la fabricación de vaso de licuadora de uso doméstico.

A. ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS.

En este caso, los objetivos se deben generar a partir de un estudio de mercado que muestre que características debe tener el vaso para que satisfaga las expectativas de consumidor final, sin embargo, también debe cumplir las expectativas del fabricante y del moldeador.

Desde el enfoque del enunciado, ya se marcan algunos objetivos que tienen el carácter de obligatorios.

Primero se menciona que el material debe ser un plástico que sustituya al vidrio, por lo que se debe conocer cuáles características de las que posee el vidrio causan que éste sea sustituido por plástico y por tanto sean objetivos no deseados y se pretendan eliminar, y por otro lado se desea conocer cuáles de las características del vidrio sí se deben mantener en el plástico sustituto. Esta información se obtiene a partir del fabricante o la persona que enunció el propósito de esta decisión. Según la información proporcionada, las razones principales por las cuales ya no se quieren producir vasos de vidrio es la fragilidad e inseguridad que éste representa durante el periodo de uso del artículo, además de la limitante de fabricación de vasos de vidrio, en relación con el moldeo de vasos de plástico, esto se traduce en productividad y costo. De las características del vidrio que sí se desean mantener en el plástico se deduce que uno de los objetivos obligatorios es obtener un vaso con apariencia muy similar al vidrio, y el segundo es que al destinarse para vaso de licuadora, otro objetivo obligatorio será que dicho vaso pueda estar en contacto con alimentos.

Un análisis detallado del estudio de mercado nos permitirá conocer cuál es la relación de características que los productores y usuarios esperan de la pieza, las cuales se exponen a continuación; sin embargo los requerimientos expresados en palabras del usuario no son suficientes, estos deben ser interpretados en términos de propiedades medibles del plástico que posteriormente puedan ser cuantificadas. (Ver tabla 6)

ANÁLISIS DE UNA APLICACIÓN

CASO PRÁCTICO.

APLICACIÓN: VASO DE LICUADORA.

TABLA 6

Requerimiento expresado como la necesidad del usuario final.	Propiedad y/o prueba que defina el requerimiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Que resista las caídas normales por uso, sin que se estrelle o parta y/o proyecte en pedazos. 	Impacto Izod. Impacto Gardner.
<ul style="list-style-type: none"> • Que la base enrosque perfectamente en la cuerda del vaso de licuadora bajo cualquier temperatura de uso, que no quede "guango" por que fugaría líquido, o muy ajustado por que no se podría apretar. 	Estabilidad dimensional Coeficientes de contracción similares entre materiales del vaso y base
<ul style="list-style-type: none"> • que dé apariencia de "Vidrio" y se pueda observar perfectamente lo que se está licuando 	Transparencia % de Transmitancia Haze índice de amarillamiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Que al lavarse en condiciones normales no se rave. 	Dureza Rockwell Resistencia al rayado.
<ul style="list-style-type: none"> • Que no guarde el olor de los alimentos. 	Resistencia química pared interna del vaso sin porosidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Que se pueda mezclar cualquier ingrediente fuerte de comida (Ej. limón, jitomate, chile, vinagre etc.), sin que el vaso pierda su apariencia, se opaque o se agriete. 	Resistencia química
<ul style="list-style-type: none"> • Que no represente un riesgo para el consumidor 	Material/aplicación aprobados por F.D.A. (Federal & Drugs Association) para uso en contacto con alimentos. Material/Aplicación aprobados por U.L. (Underwriters Laboratories) para aparatos eléctricos.
<ul style="list-style-type: none"> • Que sirva para licuar productos tan calientes como agua hirviendo, o que se pueda moler hielo y se pueda guardar el vaso en el refrigerador sin que el vaso se deforme ó afecte de alguna forma. 	Resistencia a la temperatura en un rango de temperatura de servicio de -10°C a 100°C. Para temperaturas altas: H.D.T.L (Heat distortion temperature under load) Punto de ablandamiento VICAT Para Bajas temperaturas: Prueba de retención de propiedades mecánicas a bajas temperaturas.(0. -10°C).
Requerimientos del moldeador.	
<ul style="list-style-type: none"> • Que pueda obtener el mayor Número de piezas por unidad de tiempo: • facilidad de procesamiento • no despidan olores tóxicos • tiempo de presecado corto ó nulo • que no requiera mucha presión para llenar la pieza. 	Material de baja viscosidad, alta fluidez, no tóxico. baja higroscopicidad. Material de baja viscosidad.

<ul style="list-style-type: none"> • que no tenga interrupciones de producción originados por heterogeneidad en las características del material. ó piezas atoradas en el molde. 	<p>Material con agente desmoldante.</p>
<p>Requerimientos del fabricante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Que la pieza sea lo más económica posible. 	<p>Esta característica depende de varios factores, uno muy importante es el precio de la resina, y para poder comparar entre diferentes plásticos hay que considerar dos aspectos: Costo del plástico por unidad de peso. Densidad del material. Porque se compra el material por Kilogramo pero al transformarse se vende por piezas; es decir por volumen. $\\$/Kg \cdot X \text{ Gr./cm}^3 \cdot XXg/1000Gr. (=) \\$/\text{cm}^3$. Es decir, entre más baja sea la densidad, menos gramos se requieren para producir la pieza.</p>

Una vez que ya se tiene tabulados y traducidos los objetivos, se debe proceder a su clasificación de acuerdo a su importancia.

Como se mencionó anteriormente, no todos los objetivos tienen la misma importancia, pues algunos son esenciales o imprescindibles y simplemente hay que cumplirlos, mientras que otros solo es conveniente conseguirlos. Una vez más se puede hacer uso de la información arrojada por un estudio de mercado, combinado con el criterio común para poder realizar esta clasificación.

A.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS OBLIGATORIOS/DESEADOS.

Para identificar los objetivos obligatorios, es necesario examinar cada uno de los objetivos de la tabla anterior, y aplicarles la siguiente pregunta: ¿ Es absolutamente necesario que este objetivo se logre?, si la respuesta es afirmativa, entonces serán obligatorios. Los objetivos deseados serán aquellos que han sido derivados de la lista de los obligatorios. (Ver tabla 7)

TABLA 7

NECESIDAD DEL USUARIO	OBJETIVO	TIPO DE OBJETIVO.
• Resistencia a las caídas	1. Alta resistencia al impacto.	DESEADO.
• Que el vaso mantenga su forma	2. Alta estabilidad dimensional 3. Alto módulo elástico 4. Bajo coeficiente de contracción.	DESEADO DESEADO DESEADO
• Apariencia de vidrio.	5. Alta transparencia	OBLIGATORIO
• Al lavarse no se raye	6. Alta dureza Rockwell	DESEADO
• No guarde olor de los alimentos	7. Alta resistencia química 8. Alta dureza Rockwell	OBLIGATORIO
• Licuar cualquier alimento sin que se afecte el vaso.	9. Alta resistencia química	OBLIGATORIO
• Seguridad para el consumidor	10. Aprobado por F.D.A. para uso en contacto con alimentos. 11. Aprobación U.L. para aparatos eléctricos.	OBLIGATORIO DESEADO.
• Licuar alimentos fríos y calientes	12. Alta resistencia a bajas temperaturas y alto H.D.T. y Vicat.	DESEADO.
• Alta producción de piezas por unidad de tiempo.	13. Material de baja viscosidad (alta fluidez).	DESEADO.
• Presecado nulo de material.	14. Material no higroscópico.	DESEADO.
• Uso de un proceso convencional y productivo para la transformación del material a piezas terminadas con las características deseadas.	15. Material procesable por moldeo por inyección.	OBLIGATORIO.
• Plástico de fácil moldeabilidad.	16. Material de alta fluidez, de baja temperatura de inyección, fraguado rápido, con agente desmoldante, y muy consistente de lote a lote.	DESEADO.
• Pieza de bajo costo.	17. Bajo costo/cc. de resina consumida por pieza.	DESEADO.

De esta tabla se desprende que los objetivos obligatorios son: producir un vaso de licuadora con alta transparencia (similar al vidrio), que pueda ser moldeado por inyección y ser aprobado por F.D.A. (relacionado con la r. química). Si por alguna razón alguno de estos objetivos no se lograra, el proyecto descrito de vaso de licuadora simplemente fracasaría. Si se trata de imaginar un vaso de licuadora que se ataque con los alimentos, o que no sea aprobado para uso

en contacto con alimentos, simplemente no se puede concebir. Por otro lado, si se desea producir un vaso de licuadora, con paredes de cierto espesor y de alta productividad y de forma competitiva, el proceso de transformación indicado es el moldeo por inyección.

Todos los demás objetivos incluidos en la tabla son Deseados; es decir, son objetivos que expresan cuáles resultados se pretenden lograr, sin que ello sea crítico para la decisión.

B. CUANTIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS OBLIGATORIOS/DESEADOS.

En esta fase se debe Analizar cada uno de los objetivos deseados y tratar de clasificarlos de acuerdo a su importancia para la aplicación, apoyados en una escala numérica de 10 a 0, correspondiéndole el valor de 10 a aquellos objetivos, que aún no siendo obligatorios, tienen una incidencia o consecuencia muy impactante en la función que tiene que desempeñar el vaso de licuadora , y así sucesivamente hasta llegar a aquellos objetivos con valor de 0 donde prácticamente da lo mismo si se logra o no dicho objetivo, ya que éste no tiene importancia para la aplicación.

En este punto se debe considerar el mercado al cual el producto va dirigido, hacia que sector de la población va orientado, el tiempo diseñado de vida útil del producto, porque dependiendo de estas circunstancias, el objetivo puede cambiar su posición dentro de la escala de importancia relativa, por ejemplo: no es el mismo resultado que se obtiene si el proyecto es lanzar un vaso de licuadora para expendios de jugos (que probablemente el vaso pueda ser de uso rudo, opaco y antiestético), que si el vaso de licuadora va dirigido a las amas de casa, y aún dentro del sector doméstico se encuentran como distingos, si el vaso es el original que se vende con la licuadora, o va enfocado al mercado de reposición o refacción, aún así puede venderse a un cierto sector de la población donde se decida la compra por el precio o en contraste puede ser un producto donde el cliente esté buscando sus propiedades, apariencia, y diseño haciendo caso omiso del precio.

Es en este punto donde la persona que está realizando el análisis, ya sea el fabricante, el diseñador o el ingeniero de aplicaciones debe tener en mente todos estos factores y tomarlos en

cuanta para que de la forma lo más objetiva posible clasifique en orden de importancia todos los objetivos que pretende lograr, sin incurrir en el menosprecio de algunos o en la sobrevaloración de otros.

Con fines didácticos, se asignarán los valores de importancia de cada uno de los objetivos, considerando que el vaso de licuadora es de uso doméstico, original y orientado a un sector de la población que busca un balance de costo /beneficio. (Ver tabla 8)

TABLA 8

OBJETIVOS DESEADOS	CALIFICACIÓN DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA EN LA APLICACIÓN.
1. Resistencia al Impacto Izod	5
2. Estabilidad dimensional.	7
3. Módulo elástico (rigidez)	7
4. Bajo coeficiente de contracción.	7
5. Dureza Rockwell (resistencia al rayado)	8
6. Aprobación U.L. (aparatos eléctricos)	4
7. Resistencia a bajas temperaturas (-10°C)	10
8. Temperatura de uso continuo superior a 100°C	9
9. Alta fluidez	5
10. Material no higroscópico	6
11. Baja temperatura de inyección.	7
12. Fraguado rápido	7
13. Desempeño consistente del material durante su moldeo	8
14. Bajo costo de la resina \$/Kg.	10
15. Baja densidad o gravedad específica de la resina	10

Justificación de la asignación de los valores de calificación:

La resistencia a bajas temperatura (-10°C) y Temperatura de servicio continuo (100°C), resultaron muy importantes porque el uso de una licuadora para moler hielos, y guardar los licuados en el vaso, dentro del refrigerador, así como licuar alimentos con agua hirviendo es muy frecuente. El hecho de especificar resistencia de temperaturas menores a lo que la aplicación demanda ocasionaría problemas principalmente de ablandamiento y deformación en la pieza.

así mismo y dado que los márgenes de ganancia se han reducido notablemente desde que se advierte la presencia de competidores extranjeros, es muy importante producir un vaso cuyo costo sea el más bajo posible y sus propiedades o beneficios los más altos. como una parte del

costo de producción del vaso depende del costo de la materia prima, y ésta a su vez depende del costo directo por Kg. de la resina plástica, pero también de la densidad por que el plástico se compra por unidad de peso pero se vende por piezas es decir por volumen, lo importante es que el costo por cc. de resina ($\$/\text{Kg.} \times \text{densidad}$), sea el más bajo posible.

Siguiendo en orden de importancia decreciente, se encuentra la Dureza Rockwell, que es una propiedad que mide indirectamente la facilidad o susceptibilidad de un material a ser rayado. Dado que el vaso está expuesto a ser lavado con materiales abrasivos como lo son el zacate, la fibra, y el detergente, se debe de dar importancia a este parámetro en el criterio de selección de alternativas. Con el mismo grado de importancia se encuentra la consistencia en propiedades del material durante su moldeo, pues los paros imprevistos, el tiempo perdido, las piezas defectuosas y el material desperdiciado son factores que están estrechamente ligados a el costo de la pieza producida. Cuando dicha heterogeneidad de propiedades se manifiesta durante el período de servicio de la pieza, existe una pérdida de posicionamiento en el mercado.

La estabilidad dimensional, el módulo elástico, bajo coeficiente de contracción, baja temperatura de inyección y fraguado rápido se calificaron con 7 porque son importantes, pero no tan críticos, ya que en un momento determinado se puede prescindir de dichos objetivos sin causar grandes problemas en el desempeño de la pieza. Ejemplo: si la diferencia en temperatura de moldeo entre un material alternativo y otro es superior a 40°C (la cual ya es una diferencia fuerte), o un tiempo de fraguado mayor, ocurrirá que se producirán menos piezas por unidad de tiempo (por que se requiere más tiempo de enfriamiento), pero es más impactante la pérdida de tiempo ocurrida en proceso normal por otros factores, que por la diferencia de segundos entre el moldeo de una pieza y otra.

La contracción por ejemplo debe ser lo más cercana entre el valor que tiene el material de la base con respecto a la que llena el material del vaso, pues de lo contrario esa diferencia causaría fugas o dificultad en atornillar ambas partes, sin embargo aún estas diferencias pueden ser consideradas en el diseño del molde, ajustarse y eliminarse, también los empaques elastoméricos colocados entre ambas piezas ayuda a resolver el problema.

La calificación de 6 corresponde al objetivo de que se emplee un material no higroscópico, esto significa que es deseable que el material no se tenga que presecar, sin embargo este factor restringiría mucho el uso de otras resinas que por otro lado podrían aportar beneficios más impactantes en otras propiedades. De hecho, gran parte de los negocios de la industria del plástico en México cuenta con hornos de charolas, tolvas secadoras y dehumidificadores para poder moldear prácticamente cualquier tipo de plástico. Por otro lado el presecado tiene un beneficio durante el moldeo: sin el presecado el cilindro de la inyectora es el que tiene que calentar los pellets, desde la temperatura ambiental hasta la temperatura de moldeo, mientras que con presecado, la inyectora solo tendrá que calentar desde la temperatura a la cual salió el material del secador hasta la temperatura de moldeo. Por lo tanto se reduce notablemente la demanda de calentamiento, en las resistencias de la inyectora, proporcionando una temperatura de fundido más uniforme y reduciéndose la posibilidad de un sobrecalentamiento localizado. y ciclos más rápidos por que la inyectora debe calentar durante menor tiempo. Adicionalmente algunos proveedores de materias primas ya están entregando el material presecado en un empaque de papel Kraft con capas de polietileno y aluminio para evitar que el material absorba la humedad durante el traslado.

La calificación de 5 se asignó a la resistencia al impacto y a la alta fluidez. Estas propiedades son importantes pero deben ser adecuadas a la aplicación. Ejemplo: el impacto Izod indica que tan fácil se puede romper una pieza, provocado por un golpe súbito, ejemplo una caída, sin embargo en esta propiedad influye notablemente el diseño de la pieza, si tiene refuerzos ó costillas, el espesor de las paredes, el ángulo de las esquinas etc. Por lo que en esta propiedad se debe considerar solo el valor de impacto necesario para que la pieza no se afecte en el uso normal, cualquier valor que exceda esta especificación no tiene utilidad para el desempeño en la aplicación y es nocivo si por tener más impacto cuesta más.

Por el lado del flujo habría que analizar la razón específica por la cual se sugiere que sea alto. Si la exigencia de usar un material de alto flujo es ocasionada por razones de diseño, entonces este parámetro tendría una importancia real. Ejemplo cuando el espesor de la pared de la pieza es muy delgado o cuando la pieza es de mucha longitud, es prioritario utilizar un material de alta

fluidez, pues de lo contrario, no se llenaría la pieza durante la inyección o la pieza tendría muchos esfuerzos residuales, que se liberarían cuando la pieza se sometiera a calentamiento durante su vida útil, provocando deformaciones en el vaso. Sin embargo, si se desea un flujo alto para obtener mayor productividad durante el moldeo, el conseguir este objetivo no es tan importante, porque dentro de un ciclo de moldeo, el tiempo de inyección representa muy poco porcentaje del tiempo total consumido, por lo que no es impactante en el resultado final.

finalmente se asignó un valor de 4 a la aprobación UL, la cual vá más enfocada hacia la carcaza que cubre al motor de la licuadora, la cual si está expuesta a a un sobrecalentamiento, que pudiera generar la inflamación del material. En México esta aprobación no es necesaria para el vaso de licuadora, sin embargo en Estados Unidos si es una exigencia. Al igual que en el punto anterior, la calificación que se asigne a este objetivo dependerá de lo que esté demandando el mercado al cual el artículo vaya dirigido, pudiéndose convertir de un deseado de baja importancia a un objetivo crítico.

C. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS:

Para generar las alternativas posibles, hay que considerar en primera instancia los objetivos obligatorios, pues de ellos dependen en gran medida el éxito de la aplicación.

OBJETIVOS OBLIGATORIOS PARA PRODUCCIÓN DE VASO DE LICUADORA.
Transparencia
↓
moldeable por inyección
↓
Material/aplicación aprobados por F.D.A. para uso en contacto con alimentos.

Con la definición de estos tres objetivos obligatorios, se enfoca la búsqueda de alternativas en aquellos materiales plásticos que cumplan una a una cada condición, reduciendo y facilitando dicha tarea.

Para facilitar el proceso de generación de alternativas se deben considerar solo aquellos materiales plásticos que satisfagan aquella propiedad donde la información sea la más sencilla de obtener, en este caso se deben investigar aquellos materiales que sean transparentes dando como resultado la siguiente lista:

TABLA 9

MATERIAL	ACRÓNIMO	% DE TRANSMITANCIA
Acilonitrilo Butadieno Estireno transparente.	ABS T.	85
Estireno Acilonitrilo -Acrílico	ASA	-
Polimetil Metacrilato	PMMA	92
Copolímero de Metil metacrilato - Estireno.	MMA/SM	90
Acetato de Celulosa	CA	88
Acetato butírico de Celulosa	CAB	88
Resina Epóxica.	EP	-
Resinas barrera de nitrilo.	PAN	82
Policarbonato	PC	88
Poliestireno Cristal	PS	90
Copolímero de Estireno- Acilonitrilo	SAN	89
Cópolímero de Estireno-Butadieno.	SB	92
Poli-(cloruro de vinilo) rígido	PVC-R	78
Propionato de celulosa	CP	88
Poliarilato.	PAT	86

De esta lista de materiales clasificados como transparentes y disponibles comercialmente, hay que considerar solo aquellos que tengan una transparencia similar al vidrio; esta propiedad debe ser evaluada objetivamente, para lo cual se considera como criterio de selección el valor de transmitancia mínimo del 85%.

De la lista resultante de materiales que sí satisfacen el criterio de transparencia habrá que eliminar aquellos que no se puedan moldear por inyección, que no tengan resistencia química a los alimentos y que no estén aprobados por F.D.A. para estar en contacto con alimentos. (estas últimas dos condiciones están estrechamente relacionadas).

TABLA 10

ACRÓNIMO	% DE TRANSMITANCIA	OBSERVACIONES
ABS T.	85	ok
ASA	-	no cumple transmitancia
PMMA	92	ok
MMA/SM	90	ok
CA	88	ok
CAB	88	ok
EP	-	es una resina termofija que se moldea por proceso cast, el cual es mas caro y limitado en el número de piezas producidas.
PAN	82	no cumple con el valor de transmitancia, tampoco con F.D.A por el alto contenido de Acrilonitrilo.
PC	88	ok
PS	90	ok
SAN	89	ok
SB	92	ok
PVC-R	78	no cumple con la transmitancia y limitado en aprobaciones de F.D.A.
CP	88	ok
PAT	86	ok

Una vez obtenida la tabla de cada material para cada propiedad deseable se deben comparar las diferentes alternativas, para lo cual se usa un método que consiste en asignar una calificación (0 a 10) de acuerdo a como las propiedades de la alternativa en cuestión satisfagan el objetivo deseado que se esté analizando, correspondiéndole un valor alto al que mejor lo cumple, ésta calificación se afecta por la importancia relativa que tenga el objetivo deseado a criterio del evaluador (basado en las condiciones anteriormente descritas); es decir se multiplica el peso (importancia relativa) del objetivo deseado por la calificación asignada a la alternativa en esa propiedad, con la finalidad de obtener una calificación ponderada para cada alternativa, y así obtener un valor numérico que ayude a tomar la decisión de que material emplear para dicha aplicación.

Es decir, para cada alternativa se obtiene su grado de satisfacción total de la siguiente forma :

$$\text{Calificación Integrada} = \frac{\sum (1..n) \text{ calificación} \times \text{peso}}{\sum (1..n) \text{ peso}}$$

(VER TABLA 11)

COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS FRENTE A LOS OBJETIVOS DESEADOS.

TABLA 11

		A L T E R N A T I V A S																					
Objetivos deseados	Peso	ABS-T		PMMA		MMA/SM		CA		CAB		PC		PS cr		SAN		SB		CP		Polianilato	
		cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso	cal.	cal x peso
Impacto Izod	5	7	35	6	30	4	20	8	40	9	45	10	50	4	20	6	30	8	40	10	50	10	50
Contracción	7	8	56	9	63	9	63	9	63	8	56	8	56	9	63	10	70	7	49	8	56	4	28
Módulo Elástico	7	8	56	10	70	9	63	8	56	4	28	8	56	9	63	10	70	6	42	6	42	6	42
Dureza	8	8	64	10	80	10	80	6	48	6	48	9	72	9	72	10	80	8	64	4	32	6	48
Temp. Uso continuo	9	8	72	10	90	10	90	10	90	10	90	10	90	8	72	10	90	7	63	10	90	10	90
Temp. Moldeo	7	8	56	9	63	8	56	8	56	8	56	6	42	9	63	8	56	10	70	8	56	6	42
Facilidad de Proc.	8	9	72	9	72	8	64	8	64	8	64	7	56	10	80	9	72	8	64	8	64	6	48
R química a princ alm	10	9	90	8	80	8	80	7	70	7	70	7	70	6	60	10	100	5	50	7	70	7	70
Costo/c.c.	10	5	50	7	70	8	80	2	20	3	30	3	30	10	100	8	80	9	90	3	30	0	0
	71	551		618		596		507		487		522		593		648		532		490		418	
calificación ponderada		7.76		8.70		8.39		7.14		6.86		7.35		8.35		9.13		7.49		6.90		5.89	

En esta tabla se consideró el precio publicado por "Plastics News" en su edición de Octubre de 1994.

Para la asignación de calificaciones en el costo por c.c. se consideró el índice relativo de costo, que se obtuvo comparando el costo/c.c. de cada alternativa contra el costo/c.c. del material más económico (PS) y se ajustó a una escala de 0 a 10, siendo 10 el que mayor beneficio representa.

Para la asignación de las calificaciones se hicieron las siguientes consideraciones:

(Basada en propiedades publicadas en tablas 12 y 13)

- La resistencia a la caída de la pieza está relacionada con la resistencia al impacto del material empleado, pero también depende del espesor de las paredes del vaso, del diseño del mismo, de los refuerzos internos o costillas etc.
- La permanencia de la forma del vaso con respecto al tiempo depende de la rigidez del material (módulo elástico), pero también de la rigidez estructural de la pieza, de la estabilidad dimensional con respecto a cambios térmicos, de la contracción del material en el molde, de sus módulos de flexión, coeficiente de expansión térmica lineal, "creep" (deformación bajo carga con respecto al tiempo, también denominado flujo en frío), de la presencia de esfuerzos residuales en la pieza, ocasionados por condiciones de moldeo o diseño de molde inadecuados.
- La apariencia de vidrio es función de las propiedades ópticas de los materiales (% de transmitancia, índice de amarillamiento, "Haze" (nebulosidad).
- La resistencia al rayado es función de la dureza superficial del material, color, textura de la pieza etc.
- Olor de los alimentos en el vaso depende de la porosidad superficial del vaso, diseño ergonómico (dimensiones adecuadas, forma y facilidad para poder lavar el vaso), reacción de algunos alimentos con el material.
- Aprobación de F.D.A. depende de la susceptibilidad de los materiales a reaccionar con los alimentos, así como de la presencia de monómeros residuales (que no alcanzaron a reaccionar completamente) en el material.
- La resistencia a altas y bajas temperaturas se evalúan a través del " HDTL" (*Heat Distortion Temperature Under Load*), Vicat (temperatura de uso continuo, y disminución de propiedades mecánicas a bajas temperaturas (0°C y -40°C).
- La alta productividad depende de varios factores: absorción de Humedad, lo cual implica un tiempo y temperaturas de presecado, la temperatura a la cual deberá ser moldeado el

material, y el rango de temperaturas permisible para que se pueda inyectar sin degradación, la presión de inyección también es muy importante, ésta está estrechamente ligada a las propiedades reológicas del material que se está moldeando, el tiempo de enfriamiento, la homogeneidad en las características del producto etc. Todos estos factores en conjunto definen la cantidad de piezas buenas que se puedan obtener por unidad de tiempo.

- **La Procesabilidad:** también llamada moldeabilidad, se define como la facilidad que tiene un material plástico para poderse transformar en la pieza final, para lo cual habrá que considerar el proceso completo desde que se surte la materia prima en forma de " pellets", si es necesario presecarlo, en caso afirmativo durante cuanto tiempo y a que temperatura, cual es su temperatura y rango de temperaturas requerida para poder ser moldeado (ventana de procesabilidad), cuál es la presión de inyección necesaria, el torque necesario para poderlo fundir (RPM's), temperatura de molde y el tiempo necesario para poder enfriar la pieza. Todos estos factores definen la facilidad de moldear un material. Adicionalmente se deberá considerar si el material desprende gases tóxicos o irritantes durante su procesamiento, tal es el caso del Acetal, si se requieren recubrimientos especiales en el husillo y barril para evitar ser corroídos por los gases de algunos materiales como es el caso del PVC, o si el material es muy abrasivo y se requiere un mantenimiento más frecuente, tal es el caso de los materiales cargados con fibra de vidrio, los cuales literalmente desgastan de una forma acelerada el husillo de las inyectoras.
- **Pieza de bajo costo:** En la actualidad es imprescindible analizar todas las alternativas de que disponemos y orientarnos por aquellas que satisfagan todos nuestros requerimientos al más bajo costo posible, pues de eso dependerá el éxito que tenga la pieza en el mercado, para lo cual se habrá de considerar especialmente dos factores. Uno es el costo de la materia prima (la cual se vende por unidad de peso), y el otro factor es la densidad del plástico empleado, mediante la cual se convierte el precio/peso (\$/Kg.) en precio/volumen (\$/cc) o por pieza producida.

PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES MATERIALES QUE SE ESTAN EVALUANDO *

TABLA 12

propiedad	unidades	especific.	ABS-T	PMMA	MMA/SM	CA	CAB	PC	PS-cr	SAN	SB	CP	PAT
impacto Izod	Lb-Fin	0.4	1.3	0.6	0.3	2	3.5	12.0	0.3	0.5		6.0	5.5
contracción		0.003	0.007	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.005	0.003	0.009	0.005	0.26
módulo Elástico	PSI x10 ³	400	300	500	450	300	120	330	450	475	235	200	
Dureza Rockwell	R ⁺ M	90	105	97	75	80	75	118 70	125 83	125	102	65	87
temp uso continuo	°C	90	75	93	93	104	104	121	77	96	66	104	
Flujo melt index	G/10 mn °C	10	5	5	4				8	8	8		
Absorción Humedad	%	0	0.4	0.3	0.15	4.0	1.5		0.05	0.3	0.08	2.0	0.50
temp moldeo	°C	185	230	210	215	215	215	300	210	225	185	220	310
facilidad de procesamiento	PSI	8000	10000	12000	15000	20000	20000	20000	8000	10000	10000	20000	20000
costo/lb	\$	1.30	3.30	2.14	1.80	3.52	3.48	3.7	1.30	1.89	1.58	3.48	4.62
Densidad	G/cc	1.01	1.07	1.19	1.09	1.30	1.20	1.20	1.05	1.07	1.01	1.21	1.21
R a la tensión	PSI	10800	5400	10800	8600	6000	5000	9000	7500	10500	4000	5000	10000
H D I 1/2X1/2"	(°F) °C	212 (100)	167 (75)	209 (98)	205 (96)	153(67)	157 (69)	277 (136)	200 (93)	204 (96)	168 (76)	170 (77)	340 (171)
VICAT	(°F) °C	230 (110)	203 (95)	246 (119)	230 (110)	188		315 (157)	227 (108)	230 (110)	200 (93)		
R química													
costo/c.c.	\$		3.531	2.546	1.96	4.576	4.176	4.44	1.365	2.022	1.596	4.21	5.59
índice relativo de costo c/ al más barato		1	2.58	1.86	1.44	3.35	3.05	3.25	1	1.48	1.16	3.08	4.09

*LAS PROPIEDADES SE OBTUVIERON DE LA ENCICLOPEDIA MODERN PLASTICS, ED. 1992 DE MC. GRAY HILL ASÍ COMO DE LOS CATÁLOGOS Y HOJAS TÉCNICAS EDITADAS POR CADA UNO DE LOS PROVEEDORES DEL MATERIAL EN CUESTIÓN

TABLA 13

TABLA DE RESISTENCIA QUÍMICA A DIFERENTES COMPUESTOS.

COMPUESTO	ABS	PMMA	PC	PS	SAN	ESTERES CELULÓSICOS	PAT
Hidrocarburos alifáticos	F	G	P	F	G	F	F
Hidrocarburos aromáticos	P	P	P	P	P	P	P
aceites, grasas y ceras	G	G	P	P	G	F	G
H C. completamente hidrogenados	P	P	F	P	P	P	P
H C. parcialmente hidrogenados	P	P	P	P	P	P	P
Alcoholes monohídricos	F	P	G	G	F	P	P
alcoholes polihídricos	G	G	G	G	G	E	G
Fenoles	P	P	P	P	P	P	E
Cetonas	P	P	P	P	P	P	P
Esteres	P	P	P	P	P	P	P
Eteres	P	P	P	P	P	F	P
Ácido inorgánico concentrado	G	P	F	F	G	P	P
Ácido inorgánico diluido	G	G	G	G	G	F	P
Bases concentradas	G	P	P	F	G	P	P
Bases diluidas	G	G	P	E	E	F	P
Sales ácidas	G	G	G	G	G	G	P
Sales neutrales	E	G	E	E	G	G	P
Sales básicas	G	G	F	G	G	F	P
Ácidos orgánicos concentrados	P	P	F	P	F	P	P
Ácidos orgánicos diluidos	P	F	F	F	G	P	P
Ácidos oxidantes concentrados	P	P	P	P	P	P	P
Ácidos oxidantes diluidos	G	F	G	F	G	P	P
Luz e intemperismo	F	G	G	F	F	F	P

NOMENCLATURA:

P. POOR. No se recomienda el uso de ese plástico en el agente indicado.

F. FAIR. El uso del plástico es marginal en ese ambiente, y puede ser considerado para cortas exposiciones y a bajas temperaturas.

G. GOOD. Es aceptable en exposición ordinaria. En exposiciones a largo plazo, o altas temp. puede resultar alguna pérdida de propiedades.

E. EXCELENTE. El uso del plástico es inafectado por el agente.

fuelle: International Plastics Selector, Edition 13 volume 1, 1992.

D. ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

De las once alternativas generadas, solo cuatro se distinguen de las restantes:

Material	Puntuación
1. SAN	9.12
2. PMMA	8.70
3. MMA/SM	8.39
4. PS cr	8.35

Hasta el momento, de acuerdo a esta puntuación el material idóneo es el SAN ya que su calificación ponderada indica que es el material que mejor cumple con los propósitos técnicos y económicos de esta decisión, Sin embargo la decisión que se puede tomar hasta este momento no tiene carácter irrevocable, ya que falla considerar las consecuencias adversas. Aquí se plantea la pregunta: ¿Cómo se va a comportar esta alternativa en el futuro?, ¿Cuál será su eficacia si las actuales condiciones cambian?

La identificación de consecuencias es importante, cada alternativa debería ser controlada, tratando de establecer ¿qué resultados indeseables podrían presentarse en ella, con referencia a cada una de estas categorías?, ¿Qué inconveniente podría esta alternativa crear en cada categoría específica?

En este momento es muy importante observar como puede influir el entorno en la decisión, en la adquisición y suministro del material propuesto, los obstáculos que se puedan presentar para contar con un abasto regular, las tendencias en los precios, la creación de alguna ley o regulación que pudiera poner en peligro el uso de la alternativa propuesta, etc.

De hecho, mientras se ha estado realizando el presente trabajo han ocurrido cambios muy fuertes, tanto a nivel nacional como internacionalmente que en un caso extremo, podrían haber cambiado el material seleccionado:

El primer factor es que los precios de las materias primas han sufrido incrementos continuos desde principios de año hasta el mes de Octubre, casos como el de el monómero de estireno, (materia prima para el SAN y PS) que lleva un incremento acumulado del 75%, el acrilonitrilo (materia prima para el SAN) del 40% etc. y la tendencia sigue a la alza hasta mediados del próximo año. Estos incrementos han afectado a todos los plásticos pero en

diferente forma, más fuertemente a los materiales "commodities" que a los llamados Plásticos de Ingeniería.

El segundo factor que pudiera influir en la decisión es que a fines de Julio de 1994, el único productor nacional de SAN decidió cerrar sus instalaciones, suspendiendo definitivamente el abastecimiento, por lo que el mercado local tuvo que buscar nuevas fuentes de suministro en distribuidores y representantes que lo importan principalmente de Estados Unidos, Alemania, Taiwan, Korea y Japón, por lo que habría que considerar un nuevo factor, que es la ventaja que representa importar el material de algún país que se encuentre dentro de la región para efectos de los beneficios del TLC. (Tratado de Libre Comercio).

También es muy importante considerar si se está seleccionando un material que se produce a baja escala, que sea un desarrollo reciente, o sea producido a nivel experimental, por que se corre el riesgo de tener un suministro muy irregular o incluso eliminarse dicho producto, tal es el caso de algunas aleaciones y materiales como el ABS transparente que en un periodo de dos años dos productores decidieron darlo de baja en su cartera de productos.

Estos factores se mencionan con fines didácticos como ejemplo de lo que podría ocurrir al tomar una decisión basada exclusivamente en la calificación ponderada de los objetivos deseados que involucran propiedades técnicas principalmente, sin considerar los cambios que ocurren en el entorno. Está más claro que una alternativa "sobresaliente" en cuanto a satisfacción de los objetivos puede en realidad ser problemática a causa de sus consecuencias adversas. Es más conveniente invertir tiempo en descubrir esto antes de que se implemente la alternativa final, que sufrir más tarde las consecuencias de no haberlo previsto.

Continuando con el caso práctico se considera que aún con este panorama, el SAN sigue conservando ventajas sobre el PMMA y el Poliesileno cristal, no obstante que existen productores locales de este último, el PS se ha visto más afectado por los incrementos y guarda una diferencia menor en precio contra el SAN importado de Estados Unidos.

En el caso de que las calificaciones finales de las alternativas fueran más semejantes, se podrían considerar las consecuencias adversas (algunas de ellas mencionadas anteriormente) para el PS, el PMMA y el SAN y asignarle a cada una de estas consecuencias adversas un

grado de amenaza ó probabilidad, así como el grado de impacto de esta consecuencia en el caso de que ocurra (Gravedad).

La finalidad de este concepto consiste en identificar aquellas alternativas que son claramente inaceptables.

Tomando en cuenta todas estas consideraciones , se adopta la alternativa más equilibrada en cuanto a el cumplimiento de los objetivos obligatorios, la maximización de los objetivos deseados y la minimización de las amenazas. De hecho el material más empleado para la producción de vaso original de licuadora con el enfoque de mercadotecnia mencionado en un principio es el SAN.

CONCLUSIONES

Como se observó a través del desarrollo de este caso práctico, el hecho de seguir una metodología en la selección de los materiales plásticos proporciona una ayuda muy útil, ya que se simplifica notablemente la tarea de investigar todas las propiedades de las diferentes alternativas, que probablemente desde el principio son eliminadas por no cumplir con los objetivos obligatorios. Como se mencionó en un principio, según la enciclopedia titulada "Modern Plastics" en su edición de 1992 menciona que tan solo su base de datos incluye cerca de 14,600 grados de materiales de inyección y extrusión de cerca de 200 productores de materiales plásticos, y seleccionar un material partiendo de toda esta información sin un método que procese la información y permita escoger solo aquella que sea útil para los propósitos establecidos, tomaría demasiado tiempo, y con grandes posibilidades de hacer una decisión subjetiva, en cuanto a la selección del plástico adecuado se refiere.

El haber seguido paso a paso el desarrollo de este caso práctico proporciona una guía para ir buscando exclusivamente la información que se va requiriendo para contestar las preguntas que se van planteando. Es de mucha importancia el conocimiento que el responsable de la selección tenga del mercado al cual va dirigido el producto que se pretende diseñar. Debe quedar clara desde el principio la información relativa a el sector al cual será dirigido el producto, la vida útil esperada del artículo, nivel socio económico del cliente potencial del producto y que se espera de dicho producto. Solo conociendo las respuestas a estas preguntas se podrá enfocar el esfuerzo del diseñador a satisfacer todos los requerimientos de la aplicación, pero para ello se requiere traducir estas necesidades del usuario final en las propiedades mediante pruebas estandarizadas del material, esta será la fuente de información sobre la cual se puedan asignar calificaciones a las diferentes alternativas y medir así el grado de cumplimiento o satisfacción que cada material en concurso tiene para cada requerimiento.

El método propuesto como tal arroja un valor objetivo ya que es de naturaleza numérica, sin embargo una mala asignación de calificación, o un criterio mal empleado en cuanto a la

Identificación de los objetivos que son vitales para que la pieza funcione tal y como fué diseñada, ó una mala apreciación en la importancia que cada objetivo deseado tiene para el éxito de la aplicación, puede conducir a sobrevalorar algunas características buscadas en el material o subvaluar otras, con el consiguiente resultado erróneo producto de un buen análisis, pero partiendo de premisas desviadas.

El resultado final puede variar dependiendo de la importancia que se le dé a cada propiedad, de hecho en la actualidad también se usan otros materiales (aunque en menor proporción que el SAN) como es el caso del PS que se usa en algunos mercados de reposición o refacción y donde lo más importante es ofrecer un producto sustituto a un precio económico, aunque tenga un corto periodo de vida. en contraste existe un mercado pequeño para los vasos de licuadora producidos con Policarbonato, el cual posee un impacto comparativamente superior (muy por arriba de lo que requiere la aplicación) al impacto de el resto de los materiales tabulados, lo cual lo distingue comercialmente como vaso irrompible, caiga de la altura que caiga, no obstante que su precio sea sustancialmente superior.

Lo cual demuestra que el resultado obtenido de este análisis objetivo varía conforme los criterios de mercadotecnia.

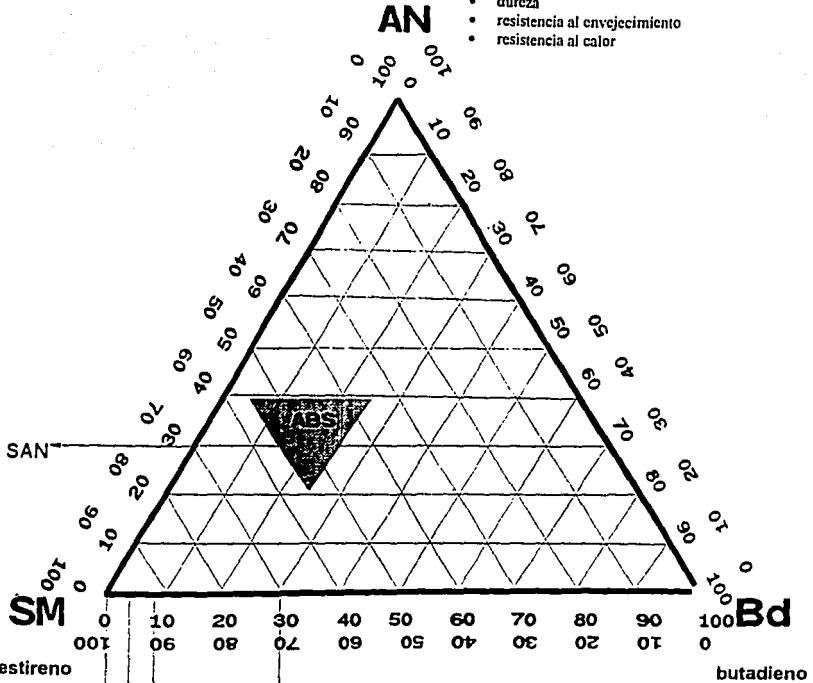
Con este proceso de toma de decisiones se satisfacen las necesidades de la gente que participa o está involucrada en la selección de materiales para el diseño de aplicaciones, y no obstante que es una tarea eminentemente técnica, está orientada por una herramienta administrativa en busca de obtener resultados eficientes y de forma oportuna.

ANEXOS

FIGURA 2

acrilonitrilo

- resistencia química
- resistencia al rayado
- dureza
- resistencia al envejecimiento
- resistencia al calor



- procesabilidad
- brillo
- rigidez

- resistencia al impacto
- retención de propiedades a bajas temperaturas (< 0°C)

RESINA K
 ↓ PS Alto Impacto
 ↓ PS Medio Impacto
 ↓ PS Cristal

FIGURA 3

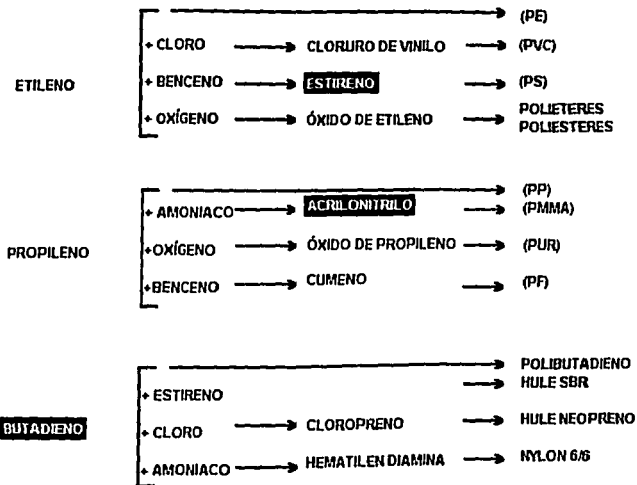
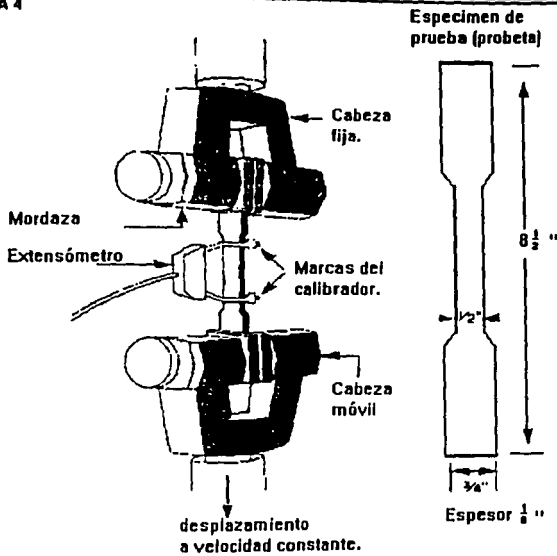


FIGURA 4



PRUEBA DE TENSION POR IMPACTO

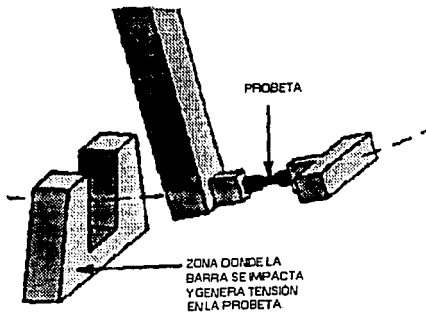
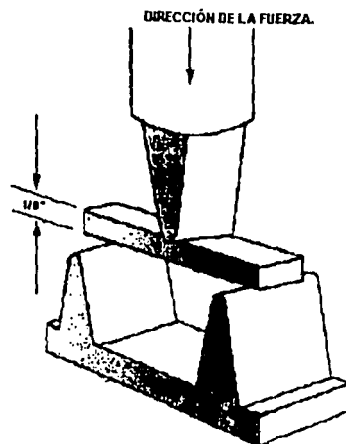


FIGURA 5

RESISTENCIA
A LA FLEXIÓN



RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

ESFUERZOS EN UNA MUESTRA FLEXIONADA



1. ESFUERZO POR COMPRESIÓN
2. SIN ESFUERZO
3. ESFUERZOS POR TENSIÓN.

FIGURA 6

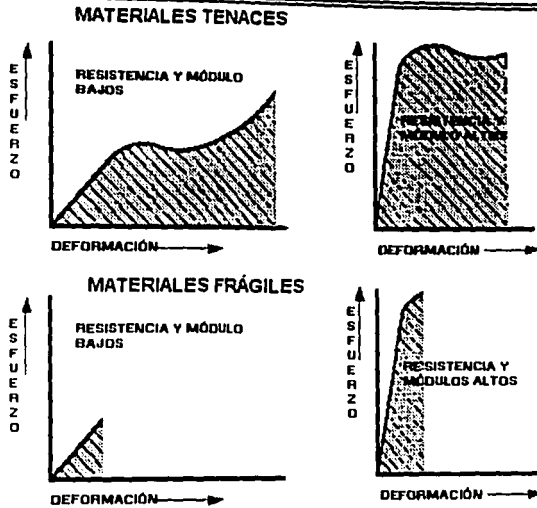


FIGURA 7

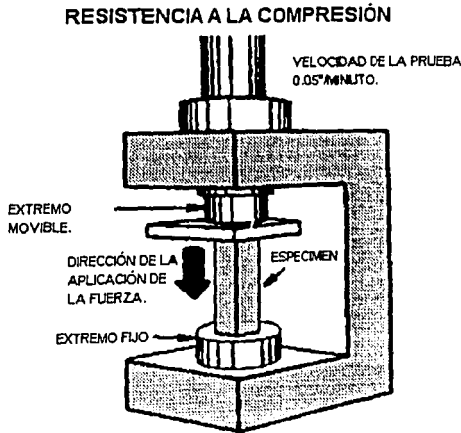
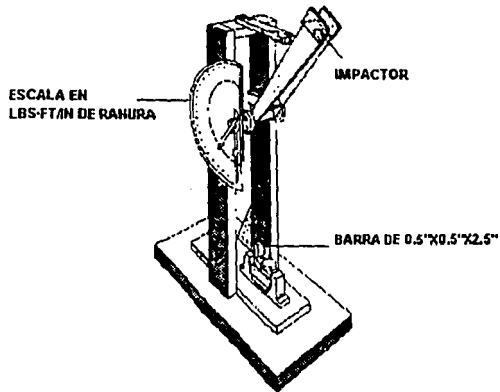


FIGURA 8

IMPACTO IZOD



ESPECIMEN PARA DETERMINAR
IMPACTO IZOD.

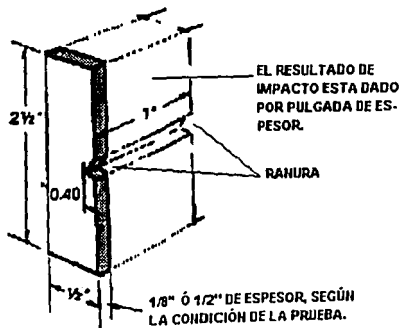


FIGURA 9

TEMPERATURA DE DEFORMACIÓN BAJO CARGA

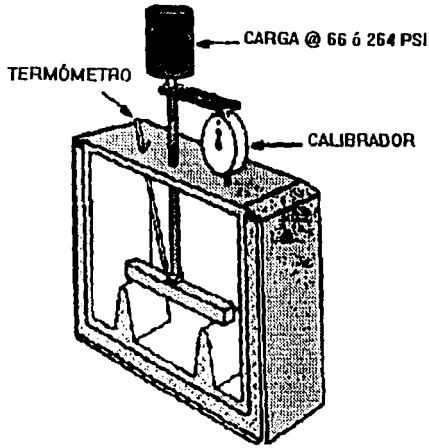


FIGURA 10

PUNTO DE ABLANDAMIENTO VICAT

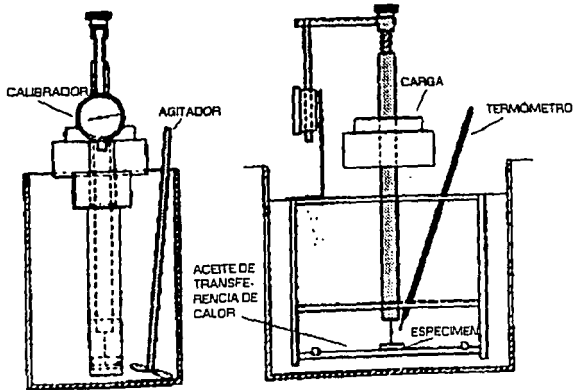


FIGURA 11

DUREZA

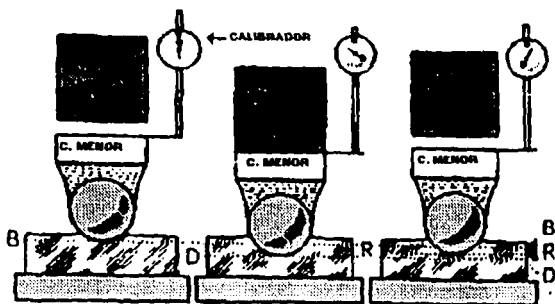
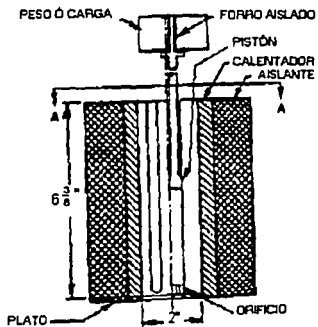


FIGURA 12

PLASTÓMETRO (DETERMINACIÓN DE FLUJO MELT INDEX)



BIBLIOGRAFÍA

1. Editors of Modern Plastics Encyclopedia, *Guide to Plastics property and Specification charts*, Mc Graw-Hill, Inc. New York (1985).
2. Editors of Modern Plastics Encyclopedia, *Guide to Plastics property and Specification charts*, Mc Graw-Hill, Inc. New York (1979).
3. Mink Spe ,Walter. *Inyección de Plásticos*. Ediciones G.Gili, S.A. México D.F. (1981)
4. Digest, *International Plastics Selector*, Edition 13 volumen 1, Englenwood (1992).
5. Digest, *International Plastics Selector*, Edition 13 volumen 2, Englenwood (1992).
6. Kepner-Tregoe. *Análisis de Problemas y Toma de Decisiones*. Kepner-Tregoe inc. Princenton (1976).
7. Gordon Graff, Modern Plastics . *Special buyers'Guide Issue & Encyclopedia*. Mc Graw Hill, Inc. New Jersey (1974).
8. Instituto Nacional del Plástico Industrial, S.C. *Anuario Estadístico del Plástico*, Arte Tipográfico, México (1990).
9. Diver, W.E. *Química y Tecnología en los Plásticos*, C.E.C.S.A. México (1982)
10. Dym, J.B. *Product design with plastics*, Industrial Press Inc. New York (1983)
11. Grandilli, P.A. *Technician's handbook of plastics*, V.N.B. New York. (1981)
12. Saechtling, H. *International Plastics Handbook*, SPE Hanser, New York (1992)
13. Hoechst Celanese, *Fundamento para el diseño con plásticos*, Manual de diseño (TDM-1), México (1993)
14. Monsanto, *Lustran® SAN catálogo N° 7041 A*, Missouri, 1988
15. Phillips 66 Plastics, *Technical information on K-Resin® polymers*, Okla

16. BASF Plastics, *Terluran*[®] ABS and *Luran*[®] SAN, *Product Line, properties & Processing*, Ludwigshafen
17. General Electric, *Lexan*[®] (PC) *Molding and PKG resins*, Mass.
18. PC do Brasil, *Durolon*[®] (PC) *typical properties*, Brasil
19. Bayer, *Mobay Macrodon*[®] (PC), *Product information*, Pittsburgh, PA
20. Monsanto, *Tech Bulletin N° 6423B: Chemical resistance of Luxtrex*[®] (PS) and *Lustran*[®] (ABS & SAN plastics), Missouri