

Tesis de Posgrado

Recubrimiento de cables eléctricos con resinas plásticas : Extrusión de materiales plásticos

Hernandez, Aurelio Rodolfo

1956

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Hernandez, Aurelio Rodolfo. (1956). Recubrimiento de cables eléctricos con resinas plásticas : Extrusión de materiales plásticos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0882_Hernandez.pdf

Cita tipo Chicago:

Hernandez, Aurelio Rodolfo. "Recubrimiento de cables eléctricos con resinas plásticas : Extrusión de materiales plásticos". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1956. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0882_Hernandez.pdf

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

- FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES.-

- TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE DOCTOR EN QUIMICA.-

- RECUBRIMIENTO DE CABLES ELECTRICOS CON RESINAS PLASTICAS.-

- EXTRUSION DE MATERIALES PLASTICOS.-

Exm. 882

PADRINO DE TESIS: INGENIERO JOSE M. BADOS.-

PRESENTADA POR: LICENCIADO AURELIO RODOLFO HERNANDEZ.-

- JULIO DE 1956.-

RESUMEN: En este trabajo se ha estudiado la fabricación de cables eléctricos con recubrimiento plástico vinílico por extrusión. Se ha esquematizado la fabricación y propiedades de las resinas de cloruro de polivinilo que se han tomado como ejemplo. Se describen las distintas partes de un extruidor y se las estudia funcionalmente. Se describe el proceso de extrusión en el interior de la máquina y se señalan las principales fuentes de defectos en la fabricación de cables y la manera de evitarlos de acuerdo a lo que la experiencia nos ha indicado. Por último se presenta una reciente teoría que explica el flujo de extrusión de materiales newtonianos y nos vincula las distintas variables del material con las del extruidor permitiéndonos el cálculo de las dimensiones de las distintas partes de este y de la potencia necesaria para efectuar un determinado trabajo. En la parte práctica aparte de la manera de evitar los defectos más comunes como ya se ha indicado se ha comprobado que resultados se obtienen de extender la teoría anterior al caso de materiales no newtonianos como es el de los plásticos. Habiéndose obtenido resultados altamente satisfactorios que autorizan en principio tal extensión si bien son necesarios nuevos trabajos al respecto.-

Dr. J. J. J. J.
J. J. J.

Rev. de Fis. 882

INTRODUCCION:

Desde mediados del siglo XIX (1847-51) hasta comienzo del siglo XX (1930), el dominio de la goma en recubrimiento de cables eléctricos es indiscutido. Pero ya para ese entonces, mediante el control por el hombre de los mecanismos de polimerización de sustancias orgánicas, se abrían horizontes insospechados en innumerables campos y entre ellos en la manufactura de cables eléctricos. En 1935, comienzan los primeros intentos para utilizar los materiales termoplásticos y en especial el P.V.C. como cubrientes de cables. Diez años después, el uso de tales materiales (p.v.c. y polietileno) merced a las condiciones especiales de restricción en el abastecimiento de goma que la guerra impone, es definitivo.

En un principio se adaptaron las máquinas de extrusión para goma a los nuevos materiales, pero poco a poco, se introdujeron los nuevos principios que caracterizan a las modernas máquinas de extrusión.

El desarrollo que han alcanzado los materiales termoplásticos en la actualidad es enorme, basado en sus excelentes propiedades y en la necesidad de sustituir a la goma siempre de dificultosa obtención.

El mayor costo de los materiales termoplásticos se justifica en virtud de un mucho mejor y más extenso servicio como esimismo por la diversidad de usos a que pueden ser destinados.

A los primeros materiales ensayados siguieron pronto otros de relevantes propiedades en determinadas aplicaciones (poliestireno, politetrafluoretileno, teflon, siliconas, fluorotene, nylon, acetato de polivinilo, copolímeros etc.)

Puede afirmarse hoy que, mediante una adecuada selección de los materiales componentes de la resina y un control adecuado de los procesos de fabricación, el campo de aplicabilidad de los materiales termoplásticos al recubrimiento de cables eléctricos es ilimitado.

El futuro es en tal sentido promisor.

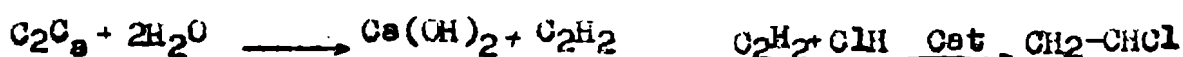
Cloruro de Polivinilo (p.v.c.)

En este trabajo se tomará como material termoplástico cubriente el p.v.c. por ser el de uso más generalizado y de mayor interés.

El p.v.c. es un material termoplástico, esto es, se ablanda por el calor, fluye bajo presión y se endurece al enfriarse retomando su dureza original. La síntesis del mismo se realiza por polimerización del monómero o cloruro de vinilo. Dicho proceso es conocido desde 1838 en que Regnault observara la formación de un polvo blanco cuando expone tubos de vidrio con cloruro de vinilo a la luz solar. En 1872 Bauman prepara masas sólidas estables frente a los ácidos y solventes a partir de haluros de vinilo. Sin embargo, recién en 1912 Ostrowskienski señala sus principales propiedades y hace mención a sus probables aplicaciones industriales. En 1917 Klatte y Rollet describen el uso de peróxidos como catalizadores de la polimerización. El mismo Klatte describe en 1920 el acetato de vinilo que es polimerizado por Harrman y Haenhal.

El aspecto cinético de la polimerización fué delucidado por Staudinger.

La obtención del monómero se logra comercialmente por cualquiera de los dos siguientes procesos: 1) Combinación del acetileno y del cloruro de hidrógeno, en presencia de un catalizador adecuado (sal de mercurio). El acetileno se produce por acción del agua sobre el carburo de calcio.



2) Separación del cloruro de hidrógeno del dicloruro de etileno, ya sea por calentamiento o por tratamiento con soluciones alcalinas fuertes (Hidróxido de sodio).



La polimerización del monómero se realiza por alguno de los tres siguientes métodos: 1) Solución: (el monómero se disuelve en un solvente y se somete la solución a una fuente de energía, calor, luz, con agitación. El polímero puede o no ser soluble en el solvente; en el primer caso se lo separa directamente por filtración y en el segundo se lo precipita por agregado de un solvente en el que el polímero no es soluble y luego se filtra)

2) Emulsión (Se dispersa el monómero en un líquido, generalmente agua, en donde el polímero no es soluble. Se adicionan el catalizador y un agente emulsionante y se agita intensamente. Luego se coagula el polímero por agregado de un electrolito, (Sulfato de aluminio), se filtra y se seca. 3) Granular (El catalizador se disuelve en el monómero y se agrega la solución a agua con un agente granulador, (Almidón, goma arábiga, alginatos). Se forman así pequeñas gotitas que se polimerizan; se filtra, resultando el polímero en forma de esferas)

La polimerización de los compuestos vinílicos es considerada hoy como una reacción en cadena. La reacción se puede catalizar por medio de irradiación de luz ultravioleta, bombardeo con partículas alfa, o por adición de pequeñas cantidades de sustancias ricas en energía que se rompen fácilmente para dar oxígeno libre o radicales.

El oxígeno probablemente se adicione al compuesto vinílico para dar un compuesto intermedio inestable que rápidamente reacciona con otra molécula. En el caso de radicales libre puede admitirse la unión con las dobles ligaduras resultando valencias libres que se encadenarían o bien la formación de un compuesto intermedio del tipo "gatillo" o "disparador", capaz de iniciar la polimerización, activando los reactivos por transferencia de energía. Cualquiera sea el mecanismo, los hechos hablan en pro de un mecanismo en cadena, (existe el característico período de inducción y pequeñas trazas de impurezas o inhibidores para la reacción). El largo de las cadenas moleculares del polímero resultante, depende de muchos factores del proceso, como ser: temperatura, presión, longitud de onda de la luz, y cantidad y calidad de los catalizadores.

En general todas aquellas condiciones que favorezcan una rápida polimerización, darán cadenas más cortas. Hay que señalar que en todos los casos lo que se obtiene es una serie de bandas de pesos moleculares y el peso molecular que se dé, no es más que un valor promedio.

Las distintas bandas de peso molecular se pueden separar por métodos adecuados (Precipitación o solubilidad fraccionada por medio de solventes adecuados). El Peso molecular promedio, puede determinarse por mediciones de viscosidad o presión osmótica.

Como es lógico las propiedades del polímero dependen en mucho de la longitud promedio de las moléculas y en general es indeseable la presencia de un alto porcentaje de cadenas cortas.

De modo que la variación de la longitud promedio de las moléculas del polímero permite regular las propiedades del producto resultante. Existen aún otros dos métodos para obtener modificaciones en el compuesto final. Uno de ellos es el mecanismo de copolimerización, según el cual, en condiciones convenientes de la polimerización conjunta de dos monómeros distintos, resultan productos que no son meras mezclas de los polímeros que resultarían de la polimerización separada de aquellos, sino que se obtienen moléculas polimerizadas en que se hallan unidas íntimamente los dos monómeros.

Por variación adecuada de las proporciones de uno u otro monómeros se obtienen polímeros de distintas propiedades físicas y químicas.

El otro método de modificar las propiedades del p.v.c. es el de agregarle un solvente de alto punto de ebullición (plastificante) mediante una operación denominada plastificación.

La función del plastificante es la de una especie de lubricación entre las cadenas del polímero, disminuyendo las fuerzas de atracción entre las mismas con lo que el ablandamiento por el calor ocurre a temperaturas más bajas y aumenta la elongación obtenida para una determinada tensión. También son afectadas otras propiedades, dependiendo todo ello de la naturaleza del plastificante y de la proporción en que se le incorpore.

Resinas de p.v.c.

El polímero así sintetizado es inapto para su uso y debe ser sometido a un procedimiento en que se le adicionan los elementos que entran en la formulación de la resina final, ya directamente utilizable en el recubrimiento de cables.

Dichos agregados son los siguientes:

Plastificantes, cargas, lubricantes, estabilizadores, colorantes.

Plastificantes : Son considerados como los agentes agregados más importantes, pues para un dado tipo de polímero ellos determinan las propiedades físicas y químicas de la resina y del producto terminado.

Los plastificantes son productos orgánicos de baja volatilidad que añadidos a una resina lo convierten en un material elástico y flexible.

La elasticidad y la flexibilidad varían con el porcentaje de plastificante añadido, en tanto otras propiedades físicas y la resistencia química, con el tipo de plastificante utilizado.

Pueden obtenerse en consecuencia variadas mezclas vinílicas de propiedades distintas, de acuerdo al plastificante y cantidad del mismo utilizado.

Además puede ser conveniente combinar la acción de varios plastificantes simultáneamente, para obtener una dada especificación. Por lo tanto es necesario determinar previamente el o los plastificantes a usar y las proporciones correctas, de acuerdo a las especificaciones que se tengan.

La teoría de la acción del plastificante está relacionada con la teoría general de la acción de los solventes y el swelling de los geles.

La mezcla de un plastificante a un polímero, se toma como un sistema de dos líquidos.

En un principio dicha mezcla comienza como un proceso directo de absorción del plastificante por el polímero mojando las superficies y penetrando las fisuras.

A esta primera sigue una segunda etapa, la más importante, que es un proceso de miscibilidad íntima entre ambos. En esta última etapa del proceso de plastificación el plastificante se insinúa entre las moléculas del polímero disminuyendo la tensión existente entre polímero-polímero dando por resultado una estructura más abierta, tanto

mayor cuanto mejor sea la miscibilidad del polímero y del plastificante.

El efecto total es una suerte de lubricación.

En el caso de ser inmiscibles el plastificante puede separarse del polímero por medios mecánicos (prensado-centrifugación).

De un estudio de todos los trabajos realizados con vistas a controlar la modificación de las propiedades de los polímeros por el agregado de plastificantes, es fácil ver que no es posible obtener simultáneamente todas las especificaciones deseadas. Por ejemplo la no volatilidad y los pronunciados efectos plastificantes de determinadas moléculas pequeñas y muy volátiles, son propiedades opuestas. Lo mismo la flexibilidad a bajas temperaturas y la resistencia al aceite obtenida con plastificantes del tipo de polímeros altamente polimerizados.

Sin embargo, ese estudio sirve para demostrar que existe una íntima relación entre la estructura molecular y las propiedades físico-químicas de los plastificantes y su comportamiento al plastificar un determinado polímero. Así, la volatilidad de plastificante de moléculas demasiado pequeñas se puede evitar, polimerizando el plastificante y utilizándolo en ese estado, y ciertos efectos de polaridad se obtienen recurriendo a plastificantes con estructuras químicas determinadas. Las propiedades más importantes a considerar en los plastificantes se verán a continuación y muchas de ellas han sido propuestas para comparar o determinar el contenido óptimo de plastificantes en compuestos de p.v.c. Todavía se trabaja intensamente en este campo y la elección de una propiedad u otra depende más que nada de los aparatos de medición de que se disponga.

Presión de vapor: Es importante que no haya pérdidas del plastificante durante el proceso de elaboración del compuesto vinílico, ni durante el período de vida del cable elaborado. Por ello es preciso considerar la temperatura de extrusión del plástico y aquella a que deba someterse, incluso al cable. En general puede tomarse como norma de no volatilidad el que el punto de ebullición a presión atmosférica no sea menor de 350-400°C.

En la evaporación del plastificante no interviene únicamente el valor del punto de ebullición del plastificante, por cuanto además hay que tener en cuenta que, una vez evaporado el plastificante de la superficie del cable el proceso está determinado por su velocidad de migración desde el interior hacia la superficie, proceso lento que depende del valor de la viscosidad del plastificante. El valor más correcto de la volatilidad de un plastificante se toma midiendo la pérdida de peso de una muestra standard de plásticos a una dada temperatura y en una corriente de aire constante.

Estabilidad química: Interesa que el plastificante no se descomponga y que sea especialmente resistente a la hidrólisis, principalmente porque los productos de descomposición pueden promover alteraciones en el polímero mismo, sobre todo si son de características ácidas; además de las posibles acciones sobre los pigmentos y sobre el cable mismo.

Miscibilidad con el polímero: Es un requisito fundamental para lograr que el polímero sea trabajable sin sufrir descomposiciones.

En tal sentido, los plastificantes de mayor tamaño molecular son más eficaces pues crean mayor separación entre las moléculas del polímero. Existen varios métodos para medir la miscibilidad. Como primer ensayo es interesante mezclar cantidades iguales de polímero y de plastificante, y estudiar el proceso de mojado, absorción y swelin y solubilización sacando de ello datos orientativos.

Es importante determinar el límite de miscibilidad a efectos de no agregar una cantidad mayor de plastificante pues en ese caso, se produciría la exudación y evaporación del plastificante formándose en la superficie como capas aceitosas, tendencia que aumenta con la temperatura.

Viscosidad del plastificante. Es importante no sólo conocer el valor de la viscosidad del plastificante, sino también su relación con la temperatura. De dichos valores dependerán las propiedades reológicas del plástico.

Se puede ver esa relación usando plástificante de distintas viscosidades para plastificar un mismo polímero.

Además de las propiedades reológicas se modifican también la fuerza de tensión, elongación a la ruptura, dureza, ablandamiento, resistencia, flujo y comportamiento a bajas temperaturas, resistencia al impacto y menos ciertas propiedades eléctricas (conductividad y pérdida de potencia).

El plastificante de baja viscosidad da productos más blandos que los de alta viscosidad. Por otra parte si la dependencia: "viscosidad-temperatura" es alta, se obtendrán productos más duros a bajas temperaturas y muy blandos a altas temperaturas. En tanto los materiales de baja dependencia: "viscosidad-temperatura", dan productos blandos a bajas temperaturas sin mostrar gran ablandamiento a altas temperaturas (son menos sensibles a los cambios de temperaturas).

Desde el punto de vista del proceso de extrusión, interesa que la viscosidad disminuya rápidamente con la temperatura.

Compatibilidad:

Es una medida de la afinidad del plastificante por la resina vinílica. Puede decirse que se mide por la cantidad máxima de plastificante que se puede añadir al polímero sin causar separación de fase.

Varía con la temperatura y con la oxidación por envejecimiento o lenta cristalización del polímero y con todo aquello que provoque cambios físicos o químicos en el mismo.

La incompatibilidad puede mostrarse en algunas de las siguientes formas; exudación de una hoja cuando se la expone al aire o a la luz ultravioleta por encima de un cierto rango de temperaturas, dificultad de formar hojas finas cuando se la trabaja en las calandras, aparición de manchas o granulaciones al plegado, propiedades físicas pobres, etc.

Adecuada compatibilidad se obtiene con un control de la clase y ordenamiento de los grupos polares. Entre los más efectivos está el

grupo ester. Los ésteres de ácidos dibásicos de mono o poli alcoholes o ésteres de ácidos monobásicos de polialcoholes presentan compatibilidad buena hasta un límite de 26 átomos de carbono. Con ftalatos, adipatos y tiobutiratos se pierde la compatibilidad cuanto el alcohol alcanza C9-C11.

Eficiencia: Se mide por la forma en que una dada propiedad de la resina se modifica por el agregado de una cantidad standard de plastificante. Como propiedad de referencia se han propuesto varias (dureza, miscibilidad, rigidez, punto de ruptura, etc.)

Permanencia: Conciérne a la forma en que el plastificante es retenido por el polímero durante su envejecimiento al aire, al vacío o en un medio líquido determinado ya sea a temperatura normal o a otra determinada. Está relacionada como se ve, con la volatilidad y difusión del plastificante.

Las pérdidas en el vacío a 110-115 μ son aproximadamente las mismas para tricresilfosfato, dibutil ftalato y dibenzil sebacato.

Migración: La migración es generalmente determinada por observación de las manchas que se producen en una envoltura de nitrato de celulosa u otra material adecuado luego de un íntimo contacto con el compuesto de p.v.c.

Otro método consiste en observar la pérdida de peso de la preparación después de calentarla en recipiente cerrado con materiales del tipo polvo de sílice.

En U.S.A. está extendido el uso de plastificantes con C14 isotipo radiactivo que permite seguir la migración directamente con un contador de Geiger.

La velocidad de difusión en el interior del plástico decrece rápidamente con la disminución de concentración del plastificante. En la práctica se ve en concordancia con ese dato que a veces basta un leve aumento en la cantidad del plastificante que se incorpora al compuesto de p.v.c., para provocar un aumento desmedido en la migración.

Los ésteres alifáticos monoméricos son los más pobres con respecto a los valores de la migración. Los aromáticos son muy buenos (tricresil fosfato y ftalatos), lo mismo que los poliésteres.

En general la migración disminuye con el aumento de la longitud de la cadena alcohólica. También puede disminuirse en muchos casos por agregado de pequeñas cantidades de ciertas sustancias como ser: sílice gel, silicato básico de plomo, etil celulosa etc.

Extractibilidad: Esta propiedad es dificultosa de medir por la absorción de solvente que se produce simultáneamente a la extracción. Por otra parte, conviene señalar que la solubilidad del plastificante en el solvente en cuestión no tiene nada que ver con la cantidad que se extraiga de él en una dada composición de p.v.c.

Uniones eter aumentan la sensibilidad al agua, en tanto los grupos aromáticos y las uniones poliéster producen el mismo efecto con respecto al kerosene y a los aceites. Aquí también puede aplicarse el uso de plastificantes "marcados" con Cl¹⁴ para estudiar los valores de la extracción por solventes determinados.

Estabilidad a la luz y al calor: Los efectos del calor y la luz sobre los compuestos de p.v.c. se traducen en fragilidad, decoloración y exudación del plastificante. Generalmente se produce un rompimiento de las cadenas del polímero.

La aparición de coloraciones nuevas probablemente se deba a la formación de dobles ligaduras conjugadas, pero la pérdida de ácido clorhídrico que se produce es demasiado pequeña para justificar esa causa como única.

En la literatura es posible encontrar varios otros tipos de degradación. Tomando como estabilizador el dibutil estaño dilaurato se han estudiado desde el punto de la estabilidad al calor ocho plastificantes con el siguiente resultado: Ésteres eteros no saturados y ésteres alifáticos son regulares. Fosfatos y compuestos clorados son pobres.

Esteres alifáticos son buenos. Los compuestos clorados pueden ser estabilizados por el agregado de fosfito dibásico de plomo. Hendricks y Ratti han clasificado los plastificantes más comunes de acuerdo a los productos de su degradación al calor en un trabajo de mucho valor como referencia.

Flexibilidad:

Es de desear que se produzcan mínimos cambios de esta propiedad con la temperatura. La medida de la resistencia a la flexión, plasticidad, temperatura de ruptura, facilidad de estrechamiento, y punto de transición de segundo orden, son todas las propiedades que se pueden utilizar como medida de la flexibilidad.

Sobre todo la última que se ha generalizado para caracterizar el comportamiento a bajas temperaturas. Se determina tomando el cambio de pendiente de la curva que relaciona índice de refracción con la temperatura.

La flexibilidad a bajas temperaturas esté relacionada con la viscosidad del plastificante y también con la extractibilidad por los aceites. Probablemente la vinculación deba buscarse en la dependencia de las dos propiedades anteriores con la velocidad de difusión del plastificante en la resina.

Los efectos de la temperatura, disminuyen con la concentración del plastificante.

Una excepción a lo anterior la presentan los plastificantes polímeros y ellos pueden usarse en gran proporción sin aumentar en demasía la dependencia de la flexibilidad con la temperatura. Tanto mayor la pendiente de la curva de flexibilidad, tanto mayor la velocidad de ruptura. Además cuanto más alta sea la curva, tanto mejor será la eficiencia del plastificante.

Las curvas de flexibilidad - temperatura - pueden dividirse en cuatro tipos.

El tipo 1) es espinado, curvas altas como la del tetrahydrofurfurel sebacato.

El tipo 2) Es también espinado, pero más bajas como la del tricresil fosfato, dibencil sebacato y los brocloros.

Estos dos tipos muestran gran rigidez a los test rápidos, pero mucha ruptura en los test de larga duración. Las estructuras de anillo dan las ganancias no convenientes de los casos anteriores.

La clase 3) Es espinada, las curvas altas son del tipo del fosfato tricresílico, dibutil sebacato y dimilo sebacato.

La clase 4) Es también plana, pero con curvas bajas del tipo de nona glycol dipalmitato, Kereplex G-25 y Dutrex 20.

Cadenas lineales alquílicas dan los tipos 3 y 4.

La última generalmente representa poca compatibilidad.

Dioctil sebacato es intermedio entre los tipos 2 y 3.

Inflamabilidad:

Si bien el p.v.c. por sí, no es inflamable, puede llegar a serlo por el alto contenido de plastificantes.

Plastificantes políesteres reducen la velocidad de quemado. Los derivados clorados y los fosfatos, hacen en cantidad adecuada, que los compuestos de p.v.c. sean autoextinguibles. En ese aspecto los fosfatos son los mejores y mejor los trifosfatos.

Resistencia a los hongos y mohos.

El p.v.c. es resistente a la acción de los micro-organismos, de modo que el estropeo que puede experimentar en su uso puede depender del contenido en plastificantes. En General no existe problema al respecto y solo se ha mencionado desarrollo acelerado en el caso de oleatos, cellosolve, ricinoleatos y Kereplex. Se ha indicado asimismo la conveniencia del uso de inhibidores del tipo del cobre 3-quinoleino de gran efectividad.

Propiedades eléctricas: Las resinas de p.v.c. plastificadas tienen excelentes propiedades eléctricas siempre que el plastificante utilizado sea de gran pureza.

Tanto así que para muchos plastificantes el grado de pureza se elige de tal modo que coincide con su grado eléctrico.

El tamaño y forma del plastificante es de importancia. A medida que aumenta el contenido en plastificantes la constante dieléctrica y el factor de pérdida van hacia un máximo.

Muchos de los plastificantes aromáticos como ser dioctil ftalato y tricresil fosfato tienen buenas propiedades eléctricas en tanto son menos comunes los plastificantes alifáticos con igual comportamiento. Los ésteres glicólicos son mejores a medida que nos elevamos en la serie de los glicoles. Los maleatos son excelentes y en Alemania han alcanzado amplia aplicación.

Otras propiedades que deben tenerse en cuenta son las siguientes: toxicidad, ausencia de color y olor, resistencia a la hidrólisis, punto de fusión, acción sobre el cobre, compatibilidad con los otros componentes de la resina, bajo costo, obtenibilidad comercial, densidad, etc.

Clasificación de los plastificantes:

La experiencia ha demostrado que los plastificantes más convenientes deben buscarse entre los compuestos orgánicos del tipo de los ésteres o compuestos derivados.

Son todos derivados de los ácidos ftálicos, sebáico, fosfórico, ricinoleico, adipico, etc. con alcoholes de alto peso molecular o fenoles. Los derivados de bajo peso molecular son muy volátiles y un aumento del mismo por polimerización si bien mejora esa propiedad aumenta la incompatibilidad con el p.v.c.

Esteres fosfóricos:

Los fosfatos arílicos son excelentes desde el punto de vista de la permanencia, baja volatilidad y resistencia a la llama, pero son pobres en su comportamiento a bajas temperaturas. El prototipo de este grupo es el tricresil fosfato.

Los fosfatos alquílicos son buenos a bajas temperaturas, pero de mediana resistencia a la llama y no dan tan buena terminación a los compuestos extruídos.

Cuando se trata de conseguir una muy buena resistencia al agua, conviene utilizar el tri 2-cloroetil fosfato.

Se ha tratado de combinar las propiedades de los ésteres alquílicos y arílicos, sintetizando una serie de fosfatos que presentan ambos tipos de funciones, por ejemplo, octil difenil fosfato, de uso ya generalizado. El deficiente comportamiento a bajas temperaturas se puede solucionar asimismo, agregando otro plastificante conjuntamente con el tricresil fosfato, dependiendo la elección y la cantidad a utilizar de las otras propiedades que se deseen obtener.

Esteres ftálicos: Este grupo está también muy difundido. Entre los posibles isómeros del ácido, solo los derivados del p-ftálico tienen aplicaciones comerciales. Los otros, solo recién ahora que se ha solucionado el problema de la oxidación comercial de los xiloles correspondientes, han comenzado a probarse con resultados iniciales satisfactorios.

El dioctil ftalato (D.O.P.) (Z-etil-Hexil) es en este grupo el representante típico y el que presenta el mejor balance de todas sus propiedades más importantes.

Le siguen en casi igualdad de rendimiento el iso dioctil ftalato, el dicapril ftalato y el di-n-octyl ftalato. En este último especialmente para bajas temperaturas y menor volatilidad. Es este un ejemplo

claro del efecto perjudicial que la ramificación de la cadena tiene sobre la flexibilidad a bajas temperaturas y volatilidad.

Los ftalatos de grupos alcohólicos de C8, C9 y C10 normales son muy promisorios y serían más utilizados si los alcoholes respectivos fueran de más amplia producción.

A medida que el grupo alquílico aumenta de tamaño desde el metilo al laurilo en la serie de los di-n-alquil ftalatos, la extratibilidad, migración y flexibilidad a bajas temperaturas mejoran.

La introducción de cloro en el anillo ftálico resta eficiencia y flexibilidad pero disminuye la volatilidad y la migración.

Esteres de los ácidos sebásico, adípico y azelaico: Ésteres de estos ácidos dibásicos de cadena recta son muy buenos por su comportamiento a bajas temperaturas, siendo los adipatos los de más bajo costo, pero teniendo los sebacatos, y azelatos menor volatilidad, extratibilidad y mejor compatibilidad.

Los más comunes son los ésteres de octil iso-octil. Numerosas patentes registran el empleo de muchos otros (bencil, beta fenetil, butil Cellosolve, ciclopentil ciclohexil, tetrahidrofurfuril, dibenzil etc.

Esteres glicólicos: En teoría sería de esperarse que estos ésteres presentaran un desarrollo semejante al de los ésteres de ácidos dibásicos, pero ello no se ha conseguido comercialmente debido al alto costo con que son obtenidos todavía los glicoles de C4- C8 de cadena recta.

Actualmente se hallan en uso los glicoles polietilénicos, que presentan buen comportamiento a bajas temperaturas, pero con baja compatibilidad y resistencia al agua.

Se han patentado el dibenzoato etilen glicol y el dibenzoato trietilenglicol, habiéndose conseguido asimismo con el uso de mezclas de ésteres arílicos y alquílicos de glicoles un balance conveniente de propiedades.

Los ésteres aromáticos tienen muy buena volatilidad. Las propiedades eléctricas se mejoran con la introducción de azufre en la molécula en forma de tioglicol.

Ésteres de ácidos alcohólicos : Los ricinoleatos son los representantes mejores conocidos de esta clase. Tienen buena estabilidad y buen comportamiento a bajas temperaturas.

El más difundido es el butil acetil ricinoleato, de especial aplicación para aumentar la resistencia al impacto a bajas temperaturas aunque de limitada compatibilidad y de poca resistencia a la luz. Se han mencionado además el propileno glicol diacetil ricinoleato, el acetil tributil citrato, el ftalil glicolato, varios alquil y arilalquil lactatos, para aplicaciones diversas.

Monoésteres: La práctica ha mostrado que un solo grupo éster es incapaz de impartir la necesaria compatibilidad a una molécula lo suficientemente grande como para llevar la volatilidad a un valor aceptable.

Son derivados de una larga cadena de ácido graso o alcohol graso. Generalmente imparten buenas propiedades a bajas temperaturas y buenas condiciones de trabajo en la extrusión. Se han mencionado oleatos, estearatos tal cual, o bien, clorados con 3 a 6 átomos de cloro en la molécula.

Ésteres cíclicos: La bibliografía registra un número extraordinario de ésteres de estructura cíclica, si bien no puede decirse que sean superiores a los tipos más sencillos ya vistos.

Polímeros: También conocidos como plastificantes resinosos son polímeros de peso molecular oscilando entre 1000-7000. Son derivados del glicol, un ácido dibásico y a veces un ácido monobásico para controlar el peso molecular.

Los tipos de más alto peso molecular son excelentes en baja volatilidad y en resistencia a la extracción y a la migración. Son además, superiores a los plastificantes comunes, con la única excepción de los fosfatos en resistencia a la llama.

El Pareplex G25 (ácido+sebásico propilen glicol poliéster de peso molecular 700) actua como un plastificante de peso molecular 500, y su uso es de mucha importancia, especialmente en Inglaterra.

Hidrocarburos: Son de bajo costo y excelentes para mejorar las propiedades eléctricas. Se ha mencionado el uso del bencil naftaleno en Alemania durante la guerra en gran extensión. Lo mismo hacen los alquil sustituidos, hidrocarburos aromáticos altamente condensados obtenidos de la refinación del petróleo como subproductos, terpinoles parcialmente hidrogenados y otros más.

Cargas:

En la industria del caucho aquellos pigmentos como el negro de humo y los silicatos, producen al mismo tiempo, acción reforzante. Lo contrario sucede con dichos pigmentos dentro del campo de los plásticos, pues dichos pigmentos y otras cargas actuan disminuyendo los valores de las principales propiedades físicas. En principio parece como que las cargas reforzaran los compuestos vinílicos, pues lo espesan (o endurecen) y aumenta el valor del módulo y fuerza de tensión. Sin embargo, si suficiente cantidad de plastificante es añadido al compuesto cargado de modo de llevar nuevamente la dureza al valor original del compuesto no cargado, el compuesto tendrá valores del módulo y fuerza de tensión menores que los iniciales.

En general hasta 20 partes de arcilla o carbonato de calcio puede agregarse a un compuesto vinílico con la misma dureza sin disminución en los valores de las propiedades físicas.

Para evaluar las cargas, una cantidad standard del material a ensayar es añadida a una cantidad también determinada de una mezcla de compuesto vinílico, ya con plastificante y estabilizador.

A continuación se deben determinar las siguientes propiedades:

- 1.- Dispersibilidad.
- 2.- Requerimientos de plastificantes.
- 3.- Carga máxima sin disminución de la resistencia a la ruptura.

- 4.- Efectos en las propiedades físicas.
- 5.- Efectos en las características del proceso.
- 6.- Estabilidad al calor y a la luz.
- 7.- Resistencia a la inmersión.

Las cargas más usadas son la arcilla, el carbonato de calcio y la sílice.

Los dos primeros son los más ampliamente difundidos debido a su menor costo y a sus menores efectos endurecedores.

Las cargas son generalmente añadidas para reducir los costos y aumentar la opacidad.

Por cuanto se debe agregar al compuesto vinílico cargado, plastificante, para mantener la dureza dentro de los valores requeridos, las cargas que causen el endurecimiento mínimo y en consecuencia que requieran la cantidad mínima de plastificante, serán en consecuencia las más convenientes.

La lista de cargas que sigue está dada en orden creciente de incremento de la dureza. Además se agrega los requerimientos de plastificante necesarios.

Carbonato de calcio	15	Requerimientos de plastificante para mantener constante la dureza por 100 partes de pigmento en el compuesto P.V.C.
Arcilla	30	
Sílice	45	
Negro de humo	65	

Carbonato de calcio: Los dos tipos generalmente usados son el precipitado y el molido natural. El molido es usado en tamaño de 5 a 40 micrones y el precipitado en rangos de 40 hasta valores tan bajos como 0,1 - 0,2 micrones de tamaño.

Las partículas pequeñas del carbonato precipitado son generalmente difícilmente dispersadas y por eso el tipo de partículas mayores tienen más amplio uso.

Los carbonatos en general, son las más populares cargas para los vinilos debido a su bajo costo y efecto favorable para mantener las propiedades físicas y su facilidad de absorción de plastificantes.

Arcilla: La arcilla común para usar con el P.V.C. es el caolín calcinado.

Como temperatura óptima de preparación de este material se han encontrado las de calcinación moderada. Su uso es amplio en compuestos para aplicaciones eléctricas debido a sus excelentes propiedades eléctricas. Se le suele usar en combinación con el carbonato.

Silicatos: Tienen también aplicación en especial los de tamaño fino.

LUBRICANTES

Se emplean lubricantes para prevenir la adhesión entre el material emblandecido y las paredes del parato, mejorando también las propiedades de flujo del p.v.c. durante el proceso de extrusión.

Debido a su naturaleza propia, estos materiales tienen tendencia a eflorescer en la superficie del plástico y por ello hay que cuidar que con algún tratamiento térmico a que deba someterse el producto terminado, (pegado por calor o impresión) no se produzca ese inconveniente.

Los lubricantes son evaluados en una muestra standard de compuesto en cantidades también standards, teniéndose en cuenta especialmente las siguientes propiedades.

- 1.- Compatibilidad.
- 2.- Efectividad de acuerdo al trabajo recomendado.
- 3.- Pegado e impresión con calor.
- 4.- Estabilidad del compuesto a la luz solar.

Los lubricantes más comunes son los siguientes: Jabones metálicos (de plomo, calcio y bario generalmente estearatos), ceras de parafina, ceras sintéticas (el más común en extrusión) cera carnauba, ácido esteárico, aceites minerales, etc.

ESTABILIZADORES:

Son bien conocidos los efectos deletéreos que el calor y la luz tienen sobre los compuestos de p.v.c. provocando cambios en la coloración, aumento en la fragilidad y una pérdida general en los valores de las propiedades físicas y eléctricas. Como que durante el proceso de su elaboración (mezcladores Banbury, molinos, extruidores), los compuestos de p.v.c. deben resistir temperaturas muy superiores a las que estarán sometidas luego en servicio (superiores a 160°C) es evidente la necesidad de adicionar a la resina un estabilizador.

Se han descripto las siguientes probables reacciones de degradación en los compuestos de P.V.C.

- 1) El calor o la luz ultravioleta, separados o conjuntamente dan lugar a las liberaciones de cloruro de hidrógeno.
- 2) El cloruro de hidrógeno desprendido tiene un efecto catalítico evidente en la posterior degradación del polímero.
- 3) Al liberarse el cloruro de hidrógeno se forman dobles ligaduras dando puntos débiles de estaje en los que las largas cadenas pueden romperse para formar otras más cortas.
- 4) En las dobles ligaduras de la molécula, que pueden ser cromóforas pueden producirse reacciones de oxidación dando ligaduras cruzadas, lo que es causa de decoloración y aumento de fragilidad.
- 5) La misma fragilidad se puede aumentar por efecto de la luz ultravioleta sobre las dobles ligaduras.
- 6) Radicales libres pueden formarse, los que por su gran reactividad son causa de reacciones en cadena.

De modo que un estabilizador debe reunir propiedades que le permitan prevenir o contrarrestar las acciones anteriores, dependiendo del uso que se vaya a dar al producto elaborado. Así debe ser capaz de remover el cloruro de hidrógeno en forma de productos insolubles; debe actuar como un filtro disminuyendo la energía de la luz ultravioleta incidente (absorbedor selectivo), debe inhibir las reacciones en cadena y debe romper los sistemas poliénicos, productores de colores extraños.

La estabilidad al calor de compuestos de p.v.c. depende sobre todo del polímero, del grado de polimerización y además del tipo y pureza de los plástificantes utilizados y de las impurezas presentes como sar emulsionantes, catalizadores y pigmentos.

En Particular ciertos compuestos de hierro y zinc tienen efectos muy marcados como estabilizadores de la descomposición del p.v.c. y es por ello que el óxido de zinc, litopon y el óxido de hierro rojo no deben usarse como pigmentos para colorearlo. Sin embargo el estearato de zinc es de uso seguro.

En la elección de un estabilizador deben tomarse en cuenta los otros ingredientes del compuesto. Así una anilina ácida puede contrarrestar el efecto de un estabilizador básico. En general los rellenos o cargas, los pigmentos, anilinas, deben ser lo más inertes posibles.

Interesa además considerar las condiciones del proceso y uso material pudiéndose decir que tanto más severas sean dichas condiciones tanto más difícil será la estabilización.

Los estabilizadores deben ser resistentes a la extracción por solventes largos períodos de ensayo han permitido seleccionar los siguientes estabilizadores como los más adecuados para ser utilizados en los compuestos vinílicos:

12	Compuestos del plomo
22	" " calcio
32	" " cadmio
42	" " bario
52	" " estroncio
62	" " estaño
72	" " sodio
82	" " orgánicos

El sodio y el plomo se han mostrado efectivos ya sea en combinaciones orgánicas como inorgánicas. Los otros metales han mostrado ser más efectivos en compuestos orgánicos debido a su mayor compatibilidad y facilidad de dispersión.

Además hay un grupo de compuestos orgánicos no metálicos que también han mostrado ser buenos estabilizadores.

Estabilizadores de plomo

Carbonato básico de plomo: de los primeros en ser utilizado, imparte buenas propiedades eléctricas y resistencia al calor.

Para compuestos eléctricos tiene amplio uso por su bajo costo. Está sujeto al desprendimiento de anhídrido carbónico cuando se trabaja a altas temperaturas de extrusión o cuando se ha desprendido una gran cantidad de cloruro de hidrógeno.

Silicato básico de plomo: Buenas propiedades eléctricas. No tiene tendencia a desprender gases pero absorbe algo de humedad.

Ortosilicato de plomo y sílica gel: utilizado cuando se requiere estabilidad en compuestos vinílicos transparentes.

Sulfato básico de plomo: Tiene una buena estabilidad a la exposición prolongada al calor y es satisfactoria para compuestos eléctricos. Tiene color estable y no muestra tendencia al desprendimiento de gases. Es recomendable cuando se debe trabajar a temperaturas extremas de extrusión.

Fosfito dibásico de plomo: Posee excelentes propiedades para estabilizar contra la exposición a la luz y al calor.

Etalato dibásico de plomo: Muy buena estabilidad a la luz y al calor, similar al anterior.

Estearato de plomo: con estabilizadores al calor y al mismo tiempo lubricantes. Precisamente sus propiedades lubricantes limitan su uso en las siguientes proporciones 0,5 a 1,5 partes por 100 de resina.

Estabilizador de Calcio: estabilidad al calor para aplicaciones no tóxicas. Solo son efectivos en determinados casos. Miembros de este grupo son el ricinoleato y el acetato acetato.

Compuestos de cadmio: tienen amplia aplicación como estabilizadores en compuestos claros. Evitan la formación de colores en la primera parte del proceso de laminación. Se los suele usar generalmente con otro estabilizador para el calor y la luz. Ejemplos son: el cadmio mercaptan, ricinoleato y naitenato.

Compuestos de Bario: El ricinoleato de Bario es utilizado para impartir estabilidad al color en largos períodos de exposición en compuestos transparentes y opacos. La combinación con el estearato de cadmio es obtenido un efecto sinérgico lográndose compuestos con gran estabilidad al color y buena coloración inicial. El estearato de Bario tiene iguales aplicaciones como lubricante que el plomo.

Compuestos de estroncio: El naftenato fué de los primeros en ser utilizados para estabilizar compuestos claros contra las temperaturas de proceso.

Compuestos de estaño: Los estabilizadores orgánicos de estaño se han mostrado como los mejores para obtener films claros con excelente estabilidad a la luz y al calor. No presentan ninguna tendencia a la exudación. Actúan no solo como aceptores de cloruro de hidrógeno sino también, como antioxidantes.

Los ejemplos típicos de este grupo son: dibutil, dilaurato, dibutil maleato. Son todos no tóxicos.

Compuestos de sodio: Fosfatos alcalinos parecen impartir buena resistencia a la luz. Tienen poca acción estabilizante contra el calor por lo que se los utilice en conjunción con otros estabilizadores. Son no tóxicos.

Estabilizadores orgánicos: Del tipo epoxi son efectivos contra el calor y la luz y se los suele utilizar en compuestos vinílicos claros, conjuntamente con los compuestos de cadmio. Además también en los casos de plastificantes clorados.

Un nuevo estabilizador debe ser ensayado en un compuesto standard, pero las condiciones satisfactorias de proceso, no indica su eficiencia y el ensayo debe complementarse de la siguiente manera: se colocan pequeñas muestras del compuesto en tubos individuales y en cada uno se utiliza un estabilizador distinto y se tapan flojamente colocando en cada uno una tira de papel Rojo Congo. Los tubos se colocan en un baño de glicerina a 180°C. y se observan de tiempo en tiempo para tomar el tiempo necesario para que

el papel viere al azul característico del cloruro de hidrógeno.

Tanto mayor el tiempo tanto mejor el estabilizador.

con un 5 % estabilizador se obtuvieron los siguientes resultados.

Sin estabilizador	13	(
Cadmio estearato	90	(
Calcio estearato	105	(Minutos a 1302 C.
Plomo silicato	230	(
Plomo estearato	305	(
Blanco plomo	330	(

PIGMENTOS

Se evalúan en forma similar a los otros compuestos que se incorporan a las resinas vinílicas, agregando una cantidad standard del pigmento a la resina a ser ensayada. Los ensayos más comunes para evaluar pigmentos son los siguientes:

Estabilidad a la luz: Se observan las fallas en la coloración del pigmento como así su tendencia a exudar. Se ensayan generalmente para 500-1000 horas de exposición.

Estabilidad al calor: Tanto ciclos largos de moldeo como calentamiento al aire son utilizados para testar el comportamiento al calor.

Los procesos a que se someten los compuestos vinílicos oscilan entre 300-400 F. y en consecuencia es importante estudiar la estabilidad al calor, de los pigmentos.

Transferencia de color: El test usual para la migración de color es colocar una lámina del compuesto vinílico coloreado contra otra del mismo compuesto blanco. La muestra es luego guardada por un cierto tiempo a una dada presión a temperatura ambiente o a otra cualquiera. Pasado el período del test, se examina la superficie de la muestra blanca para poder apreciar la migración de color que se hubiera podido producir.

Propiedades eléctricas: Los pigmentos utilizados son ensayados en lo que respecta a sus propiedades eléctricas en la forma standard estudiando los valores de los mismos, en muestras con determinada cantidad de pigmento.

La elección de un pigmento apropiado es difícil pues generalmente no responden bien a todos los ensayos anteriores.

Para tonos negros generalmente se usan negros de humo y en casos especiales algunos tipos de nigrosina. Para colores marrones se usan combinaciones de negro de humo con algún colorante orgánico rojos o amarillos.

El proceso de mezclado del pigmento al compuesto vinílico plastificante es dificultoso. Un primer método consiste en mezclar el pigmento con un plastificante en un molino de pintura de tres rodillos. Plastificantes de tipo resinoso son eficientes para preparar estos tipos de pasta y se les puede incorporar de un 30 a un 70 % de sólidos. El segundo método para obtener dispersión del pigmento es fabricar directamente el colorante en suspensión, para lo cual se precipita de una solución acuosa y se lo separa de la fase acuosa por medio de un plastificante que mojando al pigmento lo incorpora a la fase aceitosa.

Cuando se trabaja añadiendo pequeñas cantidades de colorantes a cada carga es conveniente para obtener un cuidadoso control de la calidad y uniformidad utilizando el método de cargas madres o principales que consisten en compuestos vinílicos con cantidad suficiente de pigmento como para mayor cantidad de resina y alimentar con ellos los que se vayan haciendo. Se consigue así una mejor y más rápida dispersión y un control mejor de las cantidades y calidades del pigmento.

Estudios recientes han mostrado que muchos tipos de colorantes requieren estabilizadores específicos. Ello implica cuidar de ajustar el pigmento utilizado al sistema de estabilización utilizado para el compuesto siempre que sea posible.

PREPARACION DEL COMPUESTO VINILICO:

Ya se ha visto que el p.v.c. como tal, no puede ser usado en los procesos comunes de extrusión y que mediante el agregado de plastificantes se mejoran sus propiedades de flujo, de manera de poderlo trabajar en los modernos extruidores. Además es necesario el agregado de estabilizadores, pigmentos o anilinas, lubricantes y cargas. Todo ello puede realizarse en equipos que difieren muy poco de los tradicionalmente utilizados en la industria del caucho. El producto resultante presenta la ventaja de no necesitar "Vulcanización". Solo hay que cuidar que en dicho proceso de mezclado y plastificación no se produzcan recalentamientos que podrían provocar descomposiciones térmicas.

El polímero es pesado automáticamente en tolvas y el plastificante lo es luego de ser bombeado a tanques pesadores. Esos dos constituyentes principales se mezclan en un tanque premezclador con intensa agitación luego de lo cual se descarga la pasta así obtenida sobre recipientes que circulan sobre cintas transportadores y en los que se la pesa nuevamente. De allí se pasa a los plastificadores o mezcladores Bambury. En esta etapa los colorantes y todos los otros componentes secundarios son agregados.

Cuando la plastificación se ha completado la masa caliente, se descarga por la base del mezclador Bambury y por una cinta transportadora se lleva a un molino a rodillos en donde la mezcla se termina íntimamente y del cual el compuesto de p.v.c. se separa en forma de láminas. Las láminas se dejan estacionar cortadas en tiras y luego en una máquina se las convierte en cubitos o astillas, formas que se utilizan para alimentar los extruidores.

Las máquinas se diseñan de manera de cuidar que no se produzcan contaminaciónes con restos de operaciones anteriores ni se formen capas muertas que pudieran sufrir recalentamientos.

Las cargas y otros componentes se agregan al final para evitar la absorción del plastificante por ellas.

En el mezclador Bambury la temperatura inicial es de 40°C subiendo luego hasta 120-140°C.

Una de las ventajas de la granulación del compuesto vinílico es que se puede partir de una composición de color uniforme y luego a partir de ella preparar la coloración definitiva mezclando los granos con el colorante deseado en un mezclador rotativo directamente en seco.

En cuanto a las proporciones en que intervienen los distintos elementos que forman la resina, una formulación típica es la siguiente:

Estabilizador	Blanco plomo (Carbonato Básico)	3
Lubricante	(Esterato de Calcio)	2
Carga y pigmento	Negro de humo	2
Carga	Tiza	20
Plastificante	Tricresil fosfato	60
Polímero vinílico		100

Esta composición es sólo un ejemplo, pues los distintos elementos que la forman se elegirán en calidad y cantidad de acuerdo con las especificaciones que se tengan, teniéndose en cuenta en especial, las propiedades que debe tener el producto final para el uso a que se le destinará y las condiciones de trabajo.

Propiedades y posibilidades de los compuestos de p.v.c.

Los materiales de recubrimiento sintéticos, a pesar de su reciente aplicación, han alcanzado un amplio desarrollo.

Como substitutos en la goma, la aventajan en muchas propiedades y en tiempo de servicio. Si bien en principio se usaron por la escasez que la guerra provocara de goma natural, hoy día compiten por propios méritos con ella y compensan con creces su mayor precio.

La larga vida de los materiales cubrientes plásticos y su alta

resistencia a las condiciones atmosféricas, agentes químicos, calor, luz, ozono, vapores oxidantes, solventes, aceites, etc. los hacen adecuados para su uso en cables que deben prestar servicios en muy variadas condiciones, en fábricas, al aire libre, bajo el mar, en lugares sujetos a abrasión, flexiones, bajo tierra en suelos ácidos o alcalinos, etc.

Poco a poco el campo de aplicación de los cables aislados con materiales sintéticos se ha ido ampliando y hoy ya se usan incluso en instalaciones de alto voltaje.

A pesar de lo amplio de las necesidades al respecto puede decirse que por una adecuada selección de los materiales se puede satisfacer prácticamente cualquier especificación del campo de las aplicaciones industriales y comunes.

Por ejemplo, cables que deban ser utilizados a muy bajas temperaturas debiendo conservar flexibilidad, o bien a altas temperaturas, o bajo la acción de la llama, ya sea en forma continua o intermitente, son todos problemas que se resuelven por el uso de plastificantes y estabilizadores específicos.

En general puede decirse que hasta 80°C. el p.v.c. puede usarse sin ningún otro recubrimiento protector, a mayor temperatura solo resiste trabajo intermitente. Para determinar los límites de temperatura en trabajo intermitente se toma en consideración la deformación o ablandamiento del cable en esas condiciones y sometidos a un peso moderado. Dicha propiedad es la mejor guía entre las determinaciones pues las propiedades eléctricas y químicas son menos afectadas que la resistencia a la deformación física en esas condiciones.

La ventaja más importante de los materiales de p.v.c. con respecto a la goma, reside en sus propiedades de envejecimiento. Los cables

recubiertos con p.v.c. presentan un período de vida muy largo. Los métodos de determinación de envejecimiento en uso para los cables de goma, no pueden aplicarse directamente al p.v.c. a menos que se aumenten los tiempos de prueba de 8 a 10 veces más para recién poder tomar medidas comparables.

Si un trozo de p.v.c. es estirado de $1\frac{1}{2}$ a 2 veces su longitud original y repentinamente se lo suelta, no recobra de inmediato su tamaño original, sino que lo hace lentamente y por espacio de varios minutos dependiendo el tiempo de la temperatura a que se haga la experiencia y siempre que la tensión impuesta no haya excedido de un cierto límite. Existe evidentemente un fenómeno de elasticidad unido en alto grado a una especie de pseudo o reversible plasticidad. El material puede decirse, posee memoria elástica. Este proceder distinto del de la goma se realiza asimismo con menor energía. Ahora bien, si por el contrario el p.v.c. se estira más allá del límite de su verdadera elasticidad, no se fractura o desgarrará igual que lo que acontece en el caso de la goma sino que continúa alargándose en virtud de su pseudo plasticidad, y de acuerdo a la temperatura. Dicho alargamiento puede alcanzar en el momento de producirse la ruptura el 400% de la longitud original.

El p.v.c. posee así una resistencia a la ruptura mucho mayor que la goma. Podemos señalar que la fase de transición entre las zonas de elasticidad ^{/y plasticidad} no está bien definida y depende mucho de la temperatura. Así el p.v.c. a bajas temperaturas tiende a comportarse como un sólido rígido, perdiendo sus propiedades elásticas, lo que se soluciona con el uso de plastificantes adecuados. De modo que en definitiva, para el p.v.c. las propiedades elásticas dependen de la temperatura y del tipo y cantidad de plastificante utilizado.

Las propiedades dieléctricas de los cables aislados con p.v.c. son muy superiores a los de goma, así la fuerza dieléctrica alcan-

za valores hasta de 2000 volts/min. dependiendo el valor del espesor de la aislación ensayada y del test aplicado. Ese comportamiento tan bueno en la aislación, permite utilizar el p.v.c. en espesores muy delgados. Ello significa ahorro de peso, espacio y un mayor transporte de potencia para una misma sección.

La resistencia a la aislación de los cables de p.v.c. se ha aumentado de continuo y hoy alcanza valores comparables a los de la goma con cifras de 5000-10.000 megahom/1000 ft. Ese valor disminuye con la temperatura.

Con respecto a sus propiedades frente a los agentes químicos el p.v.c. es altamente resistente a los solventes orgánicos y solo contados productos producen ablandamientos en él (cetona alifáticas, aromáticas, anhídrido acético, compuestos amino aromáticos, etc.) Algunos solventes a altas temperaturas pueden producir un efecto lixivante sobre el plastificante, pero los efectos sobre propiedades físicas no son tan importantes como en el caso de la goma.

El p.v.c. por sus propiedades de no inflamabilidad encuentra aplicación en innumerables casos (aeronáutica, fábricas, barcos, etc.) siendo dicha característica una de sus más importantes ventajas con relación a la goma.

No existe interacción entre el p.v.c. y el cable de cobre, no existiendo en consecuencia necesidad de estañarlos y si se lo hace en ocasiones es solo para aumentar la resistencia a la corrosión de los extremos libres o facilitar el soldado de los conductores.

El p.v.c. puede ser coloreado con una amplia gama de colores brillantes y opacos, permitiendo así, la fácil y rápida determinación de los cables en conductores coaxiales o en circuitos complicados.

Las publicaciones en E.E.U.U muestran el siguiente cuadro:

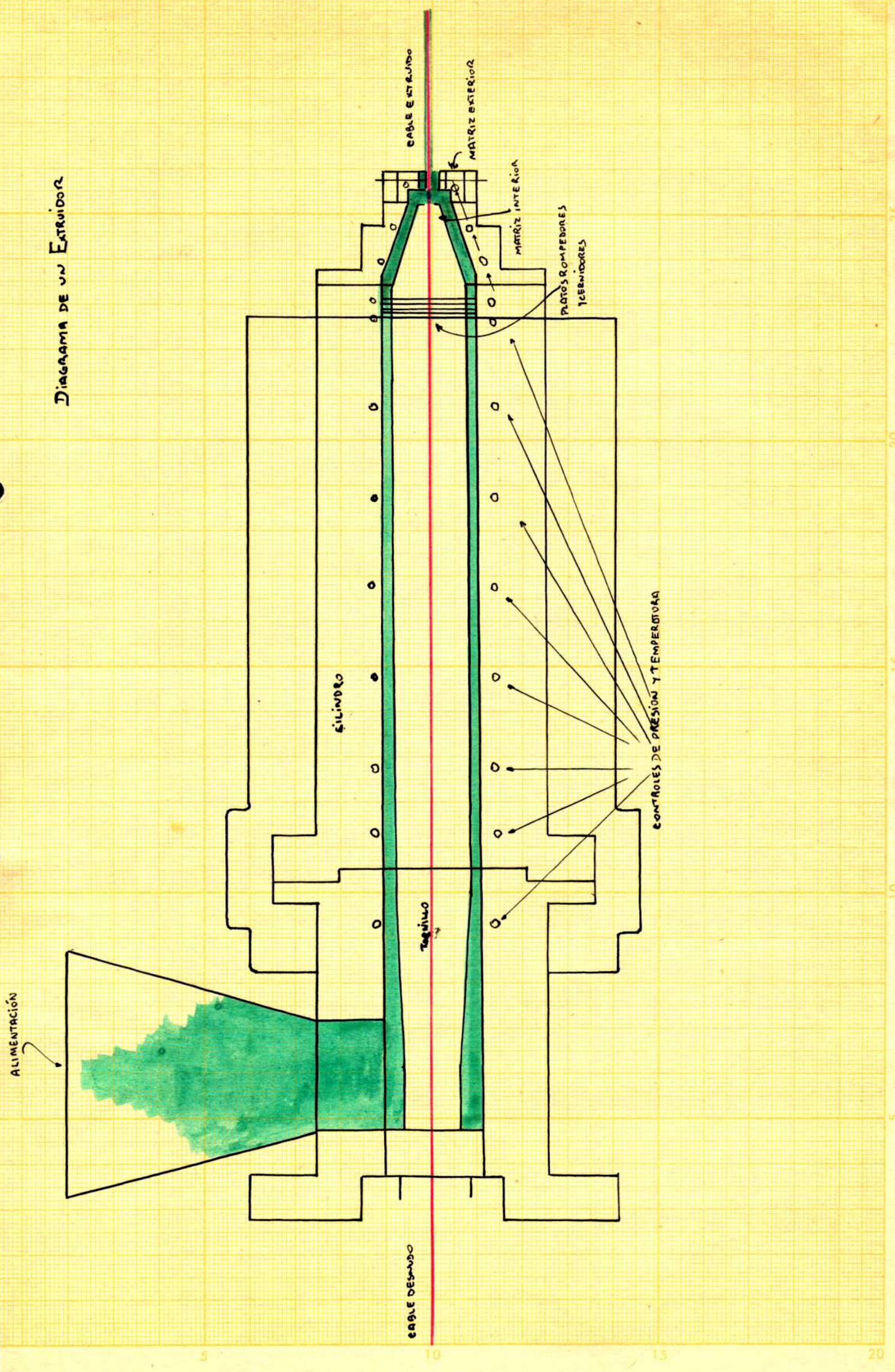
Consumo de resina vinílica	1941	1949	1950
en toneladas	500	150.000	250.000
	1951	1952	
	280.000	315.000	
Porcentaje de resinas de p.v.c. y copolímeros:			70-80%
Porcentaje de resinas de p.v.c. y copolímeros			

utilizados en recubrimientos de cables	30-40%
Porcentaje de cables de medidas pequeñas recubiertos de p.v.c.	90%

En Inglaterra y Alemania donde primero comenzaron a usarse los materiales termoplásticos para recubrimiento de cables las cifras son igualmente elocuentes.

En nuestro país recién se han dado los primeros pasos en la instalación de plantas para la fabricación de polímeros de vinilo. La fabricación de cables por el método de extrusión con plásticos depende de los materiales importados y ha alcanzado un alto desarrollo y perfeccionamiento pero se carecen de cifras al respecto.

DIAGRAMA DE UN EXTRUIDOR



El extruidor:

Hay en la actualidad una gran variedad de diseños en los modernos extruidores. El porqué de cada detalle especial en los diseños no siempre es conocido y solo se basan en experiencias prácticas. No obstante puede afirmarse que mucho se ha adelantado con respecto a los conocimientos de años atrás, teniéndose a una mejor apreciación de los principios involucrados.

En la figura puede verse un diagrama esquemático de un extruidor que muestra las partes principales: alimentación, tornillo, cilindrero, platos rompedores y cernidores, cabeza con el torpedo guía y la matriz.

Diseño del tornillo y cámara:

En un extruidor corresponde al tornillo realizar las siguientes funciones:

- 1) Calentar el material a extruirse en forma uniforme.
- 2) Desalojar el aire, comprimir el material y empujarlo hacia la matriz.
- 3) Suministrar la presión necesaria para forzar al plástico a salir a través de la matriz recubriendo el cable.

Para satisfacer tales requerimientos se han diseñado por los fabricantes de estas máquinas, numerosos tornillos, algunos bastantes complejos, sin que ninguno sea manifiestamente superior a los otros.

Realizar todas esas funciones con un único tornillo, para un dado material de determinadas características reológicas, para una cierta velocidad de rotación, y para una dada abertura de la matriz, puede conseguirse en teoría, con un tornillo de diseño muy determinado. Sin embargo la práctica muestra que puede usarse el mismo tornillo para más de un determinado conjunto de condiciones.

Algunos fabricantes para evitar las condiciones demasiado estrictas de trabajo y entendiendo que tal vez sea más conveniente un diseño menos eficiente pero de uso menos crítico, han resuelto construir máquinas con dos tornillos uno de los cuales no es más que un precalentador y descarga directamente con una ^a bja

presión en la entrada del otro, que es el tornillo verdadero, y que trabaja a presión mayor por lo que es de construcción más sólida.

Otra diferencia en el diseño de ambos es que ^{el} primero es de diámetro mayor y más corto con la aleta de canal ancho y moderadamente profunda. De acuerdo a los desarrollos teóricos ello suministra las condiciones ideales para un óptimo calentamiento con un mínimo de presión.

El diseño del extruidor propiamente dicho puede ser muy variado. Matemáticamente el punto ha sido tratado por W.F. Pollet y por Rogowsky.

Las conclusiones más importantes que se deducen de la teoría correspondiente y que la práctica confirma son las siguientes:

- 1) No hay un diseño universal de máxima eficiencia para el tornillo y son preferibles diseños distintos para distintas aberturas de matriz.
- 2) Asimismo para condiciones de trabajo perfectamente definidas puede haber diseños distintos de igual eficiencia.
- 3) Delgadas y poco profundas secciones del filete del tornillo favorecen el desarrollo de altas presiones las que son convenientes para matrices de pequeña abertura y en cambio canales anchos y profundos combinado con alimentación múltiple da por resultado una alta velocidad de flujo con muy baja presión lo que resulta conveniente cuando se trabaja con matrices de abertura grande.
- 4) Para cada velocidad de descarga la presión desarrollada es proporcional a la longitud efectiva del tornillo, en tanto con una dada abertura de matriz la velocidad de descarga y la presión desarrollada ^{aumentan} en pequeña proporción con la longitud del tornillo.
- 5) Los canales profundos deben ser evitados pues provocan el estancamiento del material en el fondo con posible descomposición por recalentamiento.
- 6) La claridad entre el cilindro y la aleta del tornillo no tiene gran importancia y generalmente la luz utilizada es del orden de los 0,005".
- 7) El ancho del filete siempre es pequeño comparado con el del canal y variación en el mismo tiene poca influencia.
- 8) El máximo de deslizamiento es requerido en la superficie del tornillo y el mínimo en la superficie del cilindro, obteniéndose así la máxima velocidad de descarga. Para ello se requiere un alto acabado de la superficie del tornillo, una superficie tosca o acanalada en el cilindro, enfriamiento en aquel y calentamiento en éste. El efecto principal del enfriamiento en el tornillo es provocar la formación de capas estacionarias en el fondo del canal disminuyendo así su profundidad y aumentando la presión desarrollada.
- 9) La presión y la velocidad de descarga son proporcionales a la velocidad angular del tornillo.

10) La presión desarrollada es proporcional a la viscosidad del material.

El material con que se construye el tornillo es de acero inoxidable, pudiendo cromarse en todas sus partes excepto en aquellas áreas de la cresta que entre en contacto con el cilindro. En algunos casos se endurece dicha cresta con aleaciones especiales (Haynes Stellite Alloy)

Se han diseñado tornillos con una disminución en el paso desde el fondo a la matriz y son preferidos a los de paso constante cuando se precisan mayores presiones.

La velocidad óptima de rotación del tornillo varía para distintas formas y tamaño de matrices, y tipo de material a extruirse. Son recomendables por ello medios de transmisión de velocidad graduables. La velocidad más generalmente usada es de 15 a 50 r.p.m.

La cabeza del extruidor:

El objeto de la cabeza es dirigir el p.v.c., que el tornillo empuja, alrededor del cable o alambre a recubrir y luego el todo a través de la matriz formadora. Se han diseñado muchas formas de cabeza. La más comunmente usada es la en forma de "T" o en ángulo recto. El material llega al cable en dirección perpendicular y luego sigue paralelo a él. La cabeza generalmente está articulada a la máquina por bisagras.

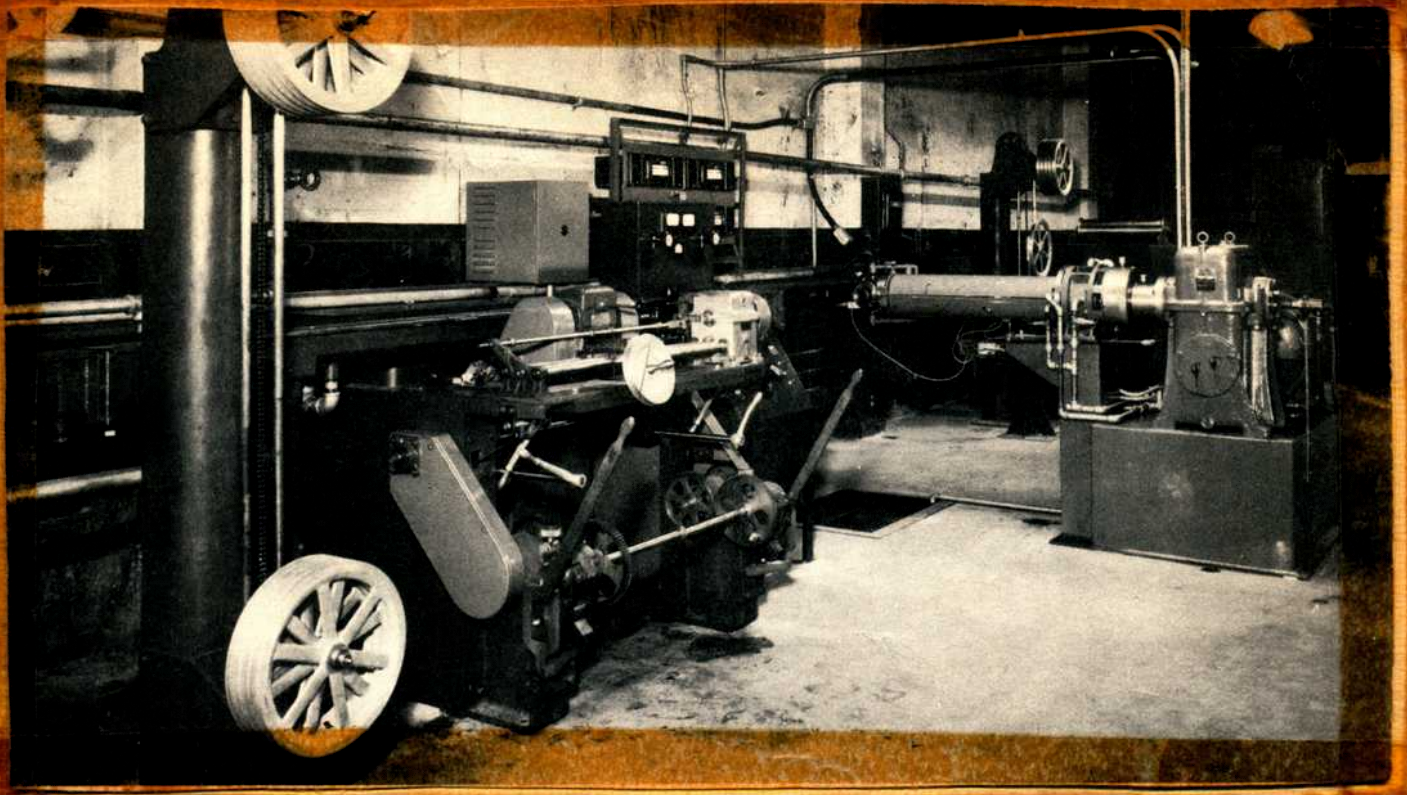
Otro modelo de cabeza es la llamada recta en donde la dirección del flujo permanece inalterada del tornillo a la matriz y el cable es como enhebrado en un canal central del tornillo desde la parte posterior de la máquina. Dificultades mecánicas insalvables han hecho prácticamente no recomendable este diseño.

Existen cabezas en las que el material llega desde varias direcciones esto es con alimentación múltiple.

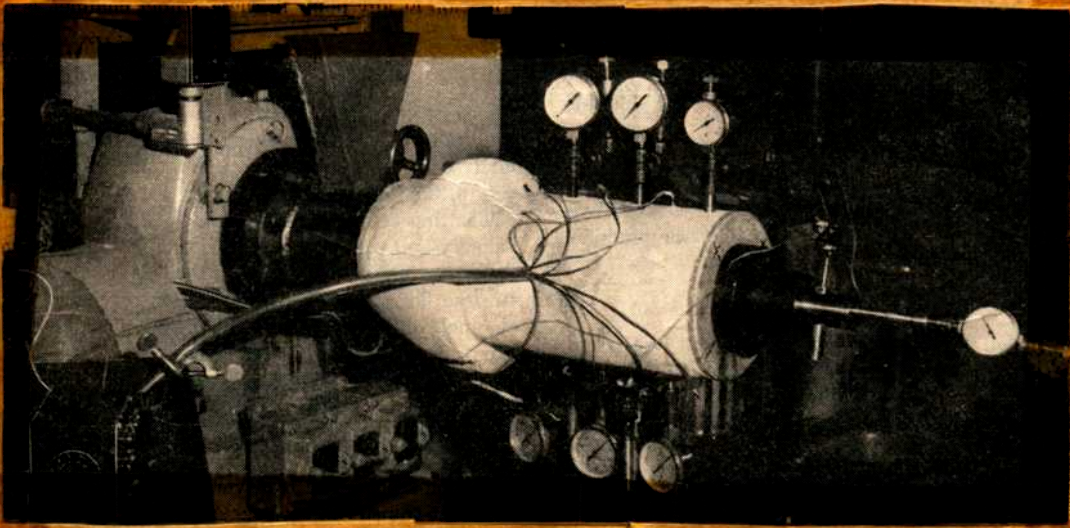
La técnica de alimentación con colores variados que permite seguir el curso del material en la cabeza, muestra la necesidad de evitar el estancamiento del material, lo que se consigue con formas redondeadas y sin ángulos bruscos.

Plato rompedor y coladores

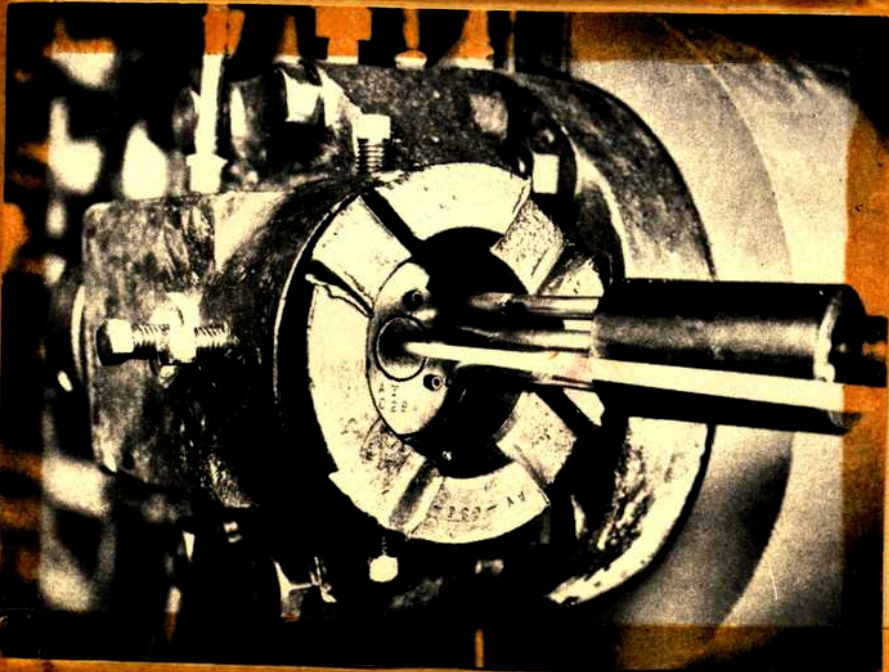
En los extruidores modernos se coloca un plato o disco llamado rom-



Equipo de Extrusión



EXTRUIDOR



CABEZA DEL EXTRUIDOR

30
25
20
15
10
5
20

pedor, en la corriente, antes de que el material alcance la matriz. No es más que un disco de acero agujereado con orificios de usualmente 1/8" 1/4" de diámetro.

El plato es apoyado en un colador de cedazo de alambre.

Los propósitos de tales platos, de gran importancia en el recubrimiento de alambres delgados, son los siguientes:

- 1) Reducir la turbulencia y nivelar el flujo del material evitando las pulsaciones molestas.
- 2) Separar las partículas extrañas.
- 3) Retener el material no plastificado.

La extensión en que el primer propósito se cumple se ve si se considera que el flujo principal se divide en una serie de capas correspondientes a cada abertura en el plato rompedor y luego subdividido en una multitud de capitas correspondientes a cada abertura individual del o de los filtros. Luego del plato rompedor y los cedazos la corriente vuelve a unirse de modo que aquellos no tienen efecto marcado en interrumpir el flujo general. Además la región en reposo termina justo antes del filtro. De donde se deduce que el gradiente de presión ocasionado por el filtro interviene para igualar el flujo en dicho punto. Todo esto está demostrado por la experiencia y puede ilustrarse con la técnica de alimentación múltiple coloreada.

La segunda función puede ser efectivamente realizada con tal que la malla del cedazo sea suficientemente pequeña en relación al diámetro del alambre que haya de extruirse en la máquina. Para espesores gruesos las medidas más pequeñas de cedazo no deben ser mayores de malla 100.

Es un verdad sorprendente como un colador retiene y cuan efectivo es en la práctica para suprimir los defectos en extrusión de plásticos como aislantes.

El tercer propósito resulta de extrema importancia cuando se utiliza la alimentación en frío. Los cedazos retienen partículas de material que pueden haber escapado a un calentamiento apropiado en el tornillo extruido. El calor de fricción desarrollado en el filtro puede llevar a esas partículas a un estado reo-

lógico satisfactorio y facultarlas para ser extruídas. Esto es particularmente notable con el polietileno que facilmente arrastra muchas partículas impurificadas. Con el Nylon las medidas de precaución son esenciales a causa de su alto punto de fusión de modo que ocho cedazos de malla 20, 80, 4x120, 80 y 20 son utilizados.

Matrices formadoras:

La matriz formadora en un extruídor para cables, comprende la guía del alambre que sirve como matriz interior y através de la cual pasa el cable a recubrir y la matriz exterior.

Para la extrusión es práctica común usar una combinación de matriz y guía de modo que uno u otro de los componentes pueda ser relativamente ajustados por ensayos, de manera de conseguir una sección de extrusión concéntrica. Ese ajuste se realiza por tornillos operados manualmente.

Es de hacer notar que los mayores usos actuales del PVC son para recubrimientos aislados de alambre y cables muy finos, para los que las especificaciones y tolerancias en vigor, exigen un gran grado de concentricidad. Para alambres telefónicos las aislaciones requeridas son de 0.10 pulgadas de espesor radial con un máximo de excentricidad de 0,002-003 pulgadas. Para obtener tal grado de precisión es necesario atender en mucho a los detalles de la unión entre guía y matriz.

Existe en la actualidad una controversia, sobre si es preferible un servicio ajustable de precisión o si por el contrario es más conveniente contar con una combinación llamada "concentradora" muy cuidadosamente hecha y montada junto a la matriz, la que suministra la seguridad requerida de una extrusión sin ajustes.

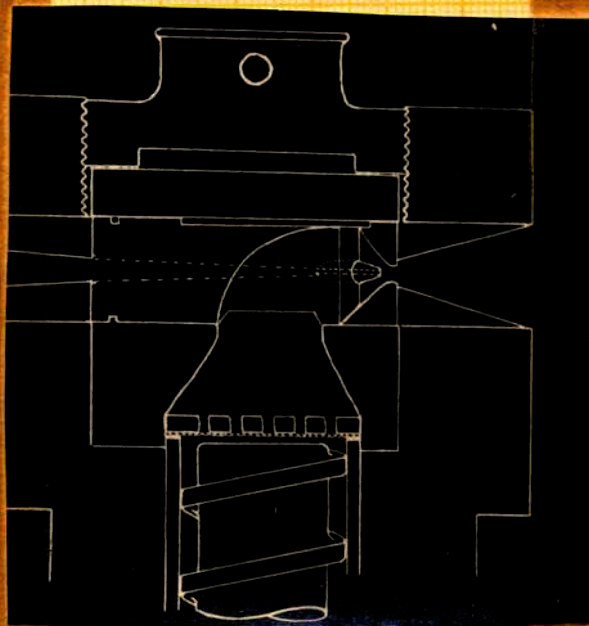
La realización de este último principio ha probado ser una tarea completamente dificultosa, debiéndose reunir las siguientes

condiciones:

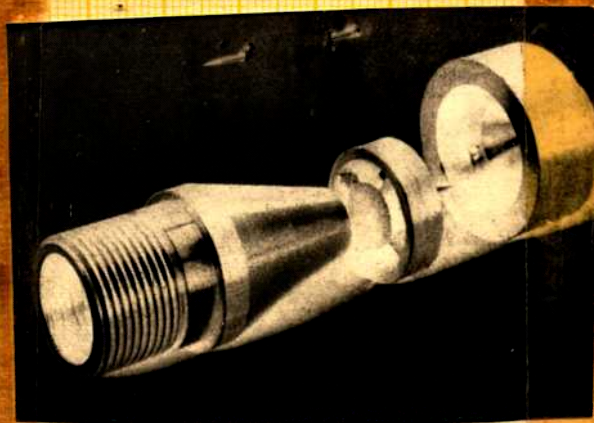
- 1a Obtención de un alto grado de concentración en el eje, durante la extrusión, lo que conporta: un alto grado de precisión en las construcciones, simplicidad de los diseños para facilitar la repetición de los moldes a un costo económico; elección del metal y diseño para dar libertad en la distorsión que se produce por la presión y cambios de temperatura que tienen lugar durante la operación y salidas para los contactos con otras partes de la máquina que puedan moverse, o torcerse durante la extrusión.
 - 2a Mantenimiento del alto grado de concentración con el uso repetido lo que incluye:
 - a) facilidad de limpieza evitando métodos que dan lugar a las piezas;
 - b) adecuada dureza superficial, para resistir la abrasión;
 - c) suficiente dureza sin fragilidad de las partes sujetas a un continuo choque a alta velocidad de corte o material plástico.
 - 3a Construcción que facilite el control de la concentración antes del orado.
 - 4a Construcción de modo tal que no haya oportunidad para la descomposición del plástico en las condiciones de extrusión.

Esto comprende: una mínima cantidad de plástico en toda la cabeza de modo de evitar esteconamientos.
- En la figura 10 se puede ver la matriz interior que está anteriormente divorciada del verdadero conrtil a través de la cual pasa el cable en el cuerpo de la cabeza. Sin embargo todos los componentes están montados rígidamente en el bloque de la cabeza del extrusor con tuercas de seguridad.
- Las cabezas de este tipo llevan algunas, no todas de los requerimientos mencionados anteriormente.
- El montaje combinado de las matrices interior y verdadera se muestra en la figura 11 siendo este conjunto solamente fijo en la cabeza en ángulo recto.
- La verdadera guía del cable está suficientemente referida del

INICIATIVA



CABEZA AUTOCENTRABLE



MATRIZ INTERIOR
PLATOS OMPEDORES
MATRIZ EXTERIOR

siendo construída con superficies perfectamente trabajadas y su extremo terminal es contenido dentro de la matriz exterior.

Este dispositivo puede ser revisado de modo de cumplir con gran exactitud la mayoría de los requerimientos prácticos. El trabajo con este modelo de cabeza ha mostrado que para recubrimiento de alambre delgado, la uniformidad del flujo en el orificio de la matriz es determinado por la uniformidad de la abertura anular más que por el grado de uniformidad del flujo más atrás de la cabeza, si bien si el tamaño de la abertura es progresivamente aumentado, es obvio que se alcanzara un estado de cosas en que lo anterior no puede seguir siendo válido. Por otra parte ello no es totalmente aceptado por todos los fabricantes de cables y los medios de controlar y asegurar el flujo por formas excéntricas o escaladas de la matriz interior han sido patentadas.

En la extrusión de recubrimientos delgados para alambres finos, se presentan algunos puntos difíciles, concerniente a las dimensiones precisas y ubicación relativas de las matrices interior y exterior.

1º El canal anular estrechándose dirige desde el cuerpo principal de la cabeza hasta la salida por lo que es necesario darle cierta robustez a ese extremo para prevenir distorsiones, o roturas por construcción demasiado débil ya que allí el flujo suele sufrir un cambio algo brusco. Todo el contorno se suele reforzar en consecuencia en forma conveniente.

2º El espesor de la pared de acero del extremo de la matriz interior debe ser de dimensiones comparables con el espesor de la pared del verdadero recubridor del cable, y en consecuencia también con el espacio anular entre la matriz interior y la exterior. Para dejar una abertura práctica entre las matrices interior y exterior es necesario elegir entre los inconvenientes: ya se in-

crementar el tamaño del agujero de la matriz con el consiguiente bajo estiramiento del extruidor cubriente o hacer retroceder la matriz interior con relación a la exterior, con lo consiguiente desviación del cable y del flujo del plástico luego de la matriz interior.

La práctica sugiere que la mejor elección es hacer el agujero de la matriz exterior del mismo diámetro del producto requerido y colocar la interior atresada con respecto a aquella pero no mas que una cantidad equivalente al espesor radial del cable a recubrir.

3a) La claridad entre el cable y la abertura a través de la cual pasa en la matriz interior debería ser mínima, con las limitaciones prácticas de las dimensiones del cable.

En los casos de cables conductores es difícil mantenerse dentro de los límites deseados. En el caso de cables delgados es conveniente adoptar una disposición en práctica que asegure una claridad radial de 0,001 pulgada.

4a) En la extrusión de recubrimientos de PVC se adopta una longitud del canal de la matriz exterior aproximadamente igual al espesor de la pared. Esta disposición es de limitada importancia con un material de alta viscosidad como es el PVC, pero es de mayor consideración con el polietileno o el nylon que son generalmente líquidos a la temperatura de extrusión. Matrices de muy pequeño canal producen superficies rugosas en el material extruido, aparentemente debido a que las tensiones desarrolladas en el polietileno durante la extrusión son liberadas inmediatamente a su salida de la matriz, lo que no ocurriría con un canal más largo que permitiría neutralizar dichas tensiones mientras el material se halla aun dentro de la matriz, en consecuencia se recomiendan paredes paralelas o ahuecadas de $\frac{1}{2}$ pulgada o poco más.

Control de la temperatura y su efecto sobre las propiedades del producto elaborado

Temp. óptima es aquella condición de temp. que da un cable recubierto libre de irregularidades superficiales y que permite mantener durante largos períodos una alta velocidad de producción. A altas temperaturas hay peligro de descomposición especialmente si el material es mantenido dentro de la máquina por tiempos anormalmente largos. Una correcta graduación de la temperatura en las diferentes partes del aparato es importante. El grado de blandura ~~del material~~ a medida que se aproxima a la matriz y por ello las temp. del cilindro, cabeza y matriz deben aumentar en ese orden. Temp. mayores en el cilindro que en la cabeza cause un retroceso, pues la viscosidad del material en la cabeza es mucho mayor que en el cilindro. Se reduce así la velocidad de producción con peligro de descomp. del plástico por larga exposición al calor. Sobrecalentamientos locales o zonas frías causan igualmente disturbios en el flujo y provocan retrocesos o turbulencias anormales. Si el material en ese estado de ramolinos que lo lleva contra las paredes alcanza la matriz puede empujar el alambre causando recubrimientos excéntricos con defectuosas dislocaciones.

Deformaciones o granulaciones pueden introducirse en la sección extruida si la temp. es demasiado baja y se requiere una mayor fuerza para extruir el plástico. Las temp. de trabajo óptimas varían mucho de acuerdo al tipo de compuesto y a la máquina. En general la cabeza y la matriz se hallan a 130 - y 150°C en tanto el cilindro tiene límites más amplios desde no aplicación de calor hasta 140°C. Otros factores son temp. de alimentación y presión de extrusión.

Control de temperatura de la máquina

Idealmente debería controlarse la temp. del plast. mismo. En la práctica se determina la temp. en varias partes de la máquina lo más cercanas a la corriente de plástico. Hay tres aspectos en el control de temp. que deben considerarse:

1.) Efectos del diseño de la máquina: El calor generado por el

trabajado del plástico en el cilindro y tornillo depende mucho del diseño de la máquina. El calor generado es debido a las fuerzas friccionales que estén fuertemente influenciadas por la longitud y velocidad de rotación del tornillo. Otros factores que contribuyen son la claridad del tornillo y pared del cilindro y el acabado superficial de las partes móviles y estacionarias de la máquina. Los factores últimamente nombrados también influyen la eficiencia del contacto entre el cilindro y el plástico. pues de ellos depende la velocidad de intercambio del calor.

La baja conductividad térmica del PVC hace necesaria una eficiente superficie de contacto. Cuando se tiene tornillos o cabezas muy largos es conveniente mantener la temperatura del plast. lo más bajo posible, lo mismo cuando se trabaja con velocidades de salida bajas.

2) eficiencia del sistema calefactor: El cilindro, cabeza y matriz deben calentarse separadamente. Si una de las partes por ejemplo el cilindro, es muy larga, debe ser provista de varias unidades calefactores. En todos los casos es esencial que adecuados servicios de regulación de la temp. sean colocados cada tanto.

Los métodos más comunes de calentamiento son circulación de vapor, aceites o electricidad. El vapor es conveniente para calentamiento del cilindro y cabeza pero es necesario colocar una trampa de vapor en las líneas de salida. Una válvula reducida provee un satisfactorio modo de controlar la presión del vapor alrededor del cilindro o camisa y límites de temp. pueden lograrse con márgenes de 1 - 2°C. Cuando no se tiene vapor puede usarse aceites para calefaccionar en cilindro y cabeza. El aceite es calentado termostáticamente y puede regularse la temp. ajustando el calor entregado en el termostato o regulando el flujo del aceite. Para la matriz es más conveniente el uso de elect. por cuanto se tienen rápidos cambios de temp.

3) Medida de la temp.: Los puntos de medida de la temp. deben hallarse lo más cerca posible de la corriente del plast. y no

en la periferia de la máquina.

Las distintas termocuplas es conveniente que se hallen conectadas a un único panel haciendo posible el control remoto y eliminando riesgos para los delicados aparatos de medidas. En general se colocan en los puntos del cilindro a la cabeza y en el medio en dos puntos a lo largo de la cabeza y en la matriz tan cerca del orificio como sea posible.

Métodos de precalentamiento:

La temperatura del material con que se alimenta es de importancia. No solo la temp. debe ser adecuada sino que el material debe ser alimentado al cilindro de manera de responder a las exigencias del tornillo. La alimentación puede hacerse en frío o en caliente.

Métodos de precalentamiento son los siguientes:

Mezclado en rodillos: Cubos o estillas del material es alimentado en un extremo del molino calentado y por el otro salen los cubos o estillas del espesor y largo deseado. Los rodillos deben tener una relación de fricción de aprox. $1\frac{1}{2}$ ó $1\frac{2}{3}$, con una velocidad periférica de 50 - 70 ft/min. en el rodillo de adelante. Con velocidades o relaciones de fricción menores la cantidad de trabajo se reduce con el resultado de que el material no puede ser rápidamente calentado uniformemente de manera de alimentar el extruñdor. La temperatura de los rodillos debe ser 110 - 130°C rollo de adelante y 80-90°C rollo de atrás.

Es conveniente almacenar el o de compuesto molido en esta forma para tener de stock.

2) Mezcladores internos: Los mezcladores comunes internos pueden ser calentados por medio de vapor en una cámara. El compuesto debe ser mantenido a 130°C. El material que sale de ellos generalmente no está en condiciones de alimentar directamente un extruñdor^y es conveniente colocar a la salida de ellos un par de pequeños rodillos de modo de asegurar una alimentación constante y eficiente. En general puede decirse que estos mezcladores no son eficaces para utilizar como precalentadores.

En algunos casos como precalentador suele utilizarse un extruñdor

secundario al que se alimenta con material frío y que se coloca en ángulo recto con respecto al principal ya sea horizontal o vertical. Su diseño no es tan cuidadoso como el del principal y su temperatura debe ser de 140° C. Este método es indicado cuando el extruidor principal es muy largo.

Método de los hornos: A pesar de que se toman muy estrictas precauciones para asegurar un calentamiento uniforme no es recomendado este método a pesar de que colocado antes del mezclador o rodillos asegura una salida mucho mayor.

Los cubos o estillos se calientan a 80 - 100° C con suficiente circulación de aire. El p.v.c. tiene baja conductividad térmica y rápido precalentamiento con este método no es posible.

Un cubo de 3/16" de p.v.c. tarda 100 minutos en alcanzar 115° C cuando se lo coloca en un horno a 120° C. Sobrecalentamientos que se pudieran producir por utilizar temp. más elevadas deben ser cuidadosamente evitados porque producen descomposiciones.

Ventajas de la alimentación en frío:

Está probado que a pesar de las estrictas precauciones que se toman para asegurar una alimentación a temp. constante se producen siempre excesivos disturbios por efecto de variación en la alimentación. Con una alimentación en frío se asegura una adecuada uniformidad en la temp. de alimentación con lo que se consigue una estabilización pronunciada de la presión. Es preferible una alimentación en forma de estillos porque las tiras en que también se suele proveer el p.v.c. suministran una excesiva tensión en el tornillo y no dan un flujo uniforme y suave. Es esencial que en la alimentación en frío la máquina debe suministrar el calor necesario para dar la temp. óptima ya sea por conducción o por trabajo realizado. El primero es fácilmente controlado siendo más difícil hacerlo con el segundo. Si no se suministra suficiente calor en forma mecánica (trabajo friccional) se producirán en el recubrimiento ampollas o hultos característicos. En esos casos para asegurar un flujo y un calentamiento constante y uniforme se aconsejan el uso de plásticos más baratos. En un

se adoptan tornillos de cuerpo crecientes para aumentar el contacto con la superficie del cilindro.

Aparte de las ventajas de orden técnico también se economizan tiempo y trabajo con la alimentación en frío. Se eliminan también los equipos de calentamiento anexos y el consiguiente espacio y mano de obra.

Tipos de alimentación: Una disminución momentánea en la alimentación significa en una pérdida de presión que resultará en una reducción en la velocidad de extrusión y en una disminución de las dimensiones de la sección extruída.

En esos casos es siempre conveniente tener un exceso de material en la zona de alimentación.

1) - Alimentación en forma de cintas: Las cintas son restrilladas por el movimiento propio del tornillo en el cilindro pero es muy conveniente mejorar las condiciones de arrastre colocando un cilindro en la zona de alimentación que le imprima movimiento hacia adelante. El rodillo preferiblemente calentado rota a una alta velocidad periférica y en sentido contrario al tornillo tendiendo a formar una reserva de plástico en la zona de alimentación.

Alimentación de estillas: puede realizarse satisfactoriamente con una tolva vertical con respecto a la boca de alimentación del cilindro. Es más conveniente hacer que la tolva descargue sobre una cinta inclinada con movimiento vibratorio que descargue sobre otra tolva más pequeña.

El flujo del plástico en el extruñdor:

Consideremos el movimiento del plástico en el tornillo del extruñdor. Primero seguiremos la marcha del material cualitativamente y luego veremos una teoría del flujo y por medio de las fórmulas que vinculen las distintas variables de la máquina y del material se obtendrán las condiciones óptimas de trabajo.

El material se desplaza en el extruñdor merced a la acción del tornillo de modo que el principio fundamental a considerar, es el movimiento de un tornillo en una rosca con las modificaciones particulares que presenta el caso.

(Al efecto de la rotación del tornillo se agregan los debidos a las propiedades reológicas del material termoplástico)

Sea primeramente el llamado flujo sólido puro en que el material actúa como una masa sólida sin frotamiento interno. Sería una especie de rosca que avanzaría con el movimiento del tornillo, ~~que si el material~~ es empujado sin rotar, avanzando a lo largo.

del tornillo con cada revolución del mismo. En el extruñdor la rotación se impide mediante la presión desarrollada por el tornillo que prensa al material contra la pared del cilindro. Cuando todo el frotamiento ocurre sobre la superficie del tornillo. Es lo que puede llamarse un flujo sólido de eficiencia 100 %. No se realiza la mezcla del material. Si el frotamiento tiene lugar también sobre la superficie del cilindro pero todavía sin frotamiento interno del material la eficiencia del flujo sólido será proporcional a la diferencia entre los dos frotamientos.

Sea el caso ahora en que en el material se produce frotamiento interno. Si en esas condiciones el tornillo gira, el material cercano a él tenderá a acompañarlo en su movimiento en tanto el que halla sobre la pared del cilindro quedará estacionario. Si se supone que la velocidad de rotación del tornillo es $V\omega$ la distribución de la velocidad de desplazamiento del material será como la de la figura variando desde cero en la superficie del cilindro hasta $V\omega$ sobre el tornillo. Ver fig: 101 y 102

La velocidad media de rotación de la masa es así $Vt/2$

Este es el llamado flujo de arrastre. Para llegar a ver el efecto de las aletas del tornillo supongamos primero que colocamos anillos periódicamente a lo largo del eje del tornillo. En esas condiciones el material contra esos anillos experimentará un arrastre adicional de modo tal que la velocidad media contra los mismos será mayor de $Vt/2$. Ver fig.103. Todavía no tenemos movimiento hacia adelante sino solo rotacional.

Sean ahora ^{aletas} paralelas al eje del tornillo en vez de anulares y con una claridad entre la cara superior de las mismas y la pared del cilindro.

Si el tornillo gira la masa plástica contenida entre las aletas acompaña a éstas produciéndose una pérdida de material hacia el espacio posterior a través de la abertura o claridad mencionada. Dicho material es reemplazado por el que proviene del espacio precedente. Ese "flujo de pérdida" provoca una disminución en la velocidad media de la masa plástica como se ve en los esquemas adjuntos (Secciones circulares), (Velocidades medias) Ver fig. 104 y 105.

Podemos también representar las velocidades locales instantáneas. (Ver fig. 106). Se ve allí que el arrastre que ejerce la pared del cilindro frenando las partículas vecinas a él, es compensada por una mayor velocidad de la masa en el centro del espacio entre aletas de modo de resultar una velocidad media igual a la del tornillo menos la influencia debida al flujo de pérdida.

La aleta es la causante de la diferencia entre las figuras 102 y 106 y provoca el flujo del material y como en nuestro modelo éste está confinado en un espacio esa actividad y presión que genera la aleta produce un movimiento de rotación de la masa plástica ilustrada en la figura 107, en donde se puede ver la disminución en la velocidad causada por el flujo de pérdida y los arrastres que se producen sobre el tornillo y el cilindro. La velocidad máxima se halla en el centro algo desplazado hacia el tornillo. La aleta crea una zona de alta presión que empuja al material a

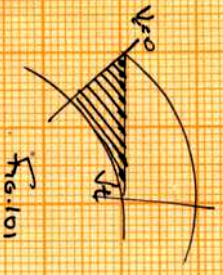


Fig. 101

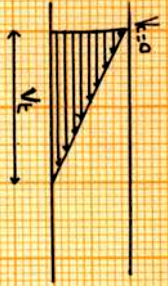


Figura 102

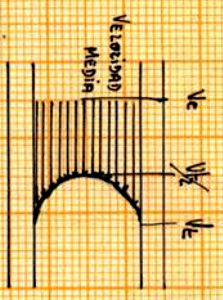


Fig. 103

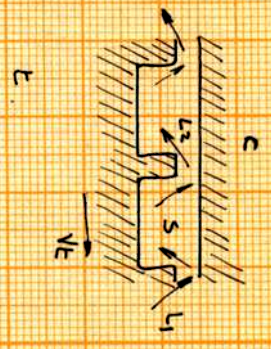


Fig. 104

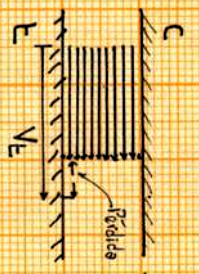


Fig. 105

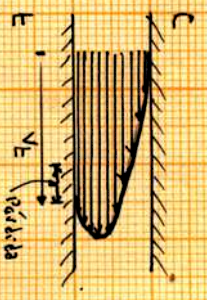


Fig. 106

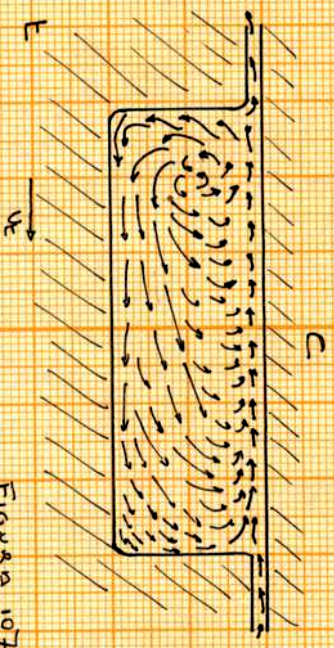


Figura 107

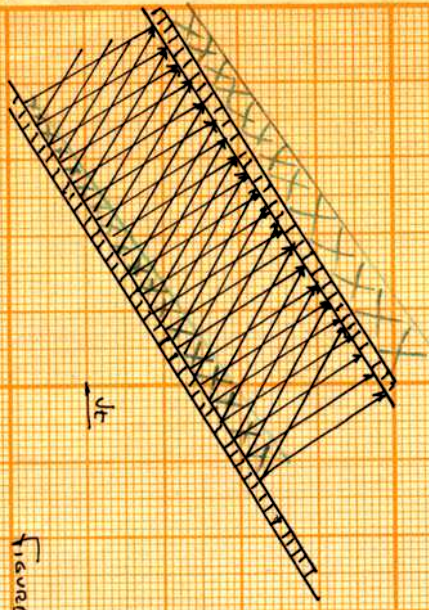


Figura 108

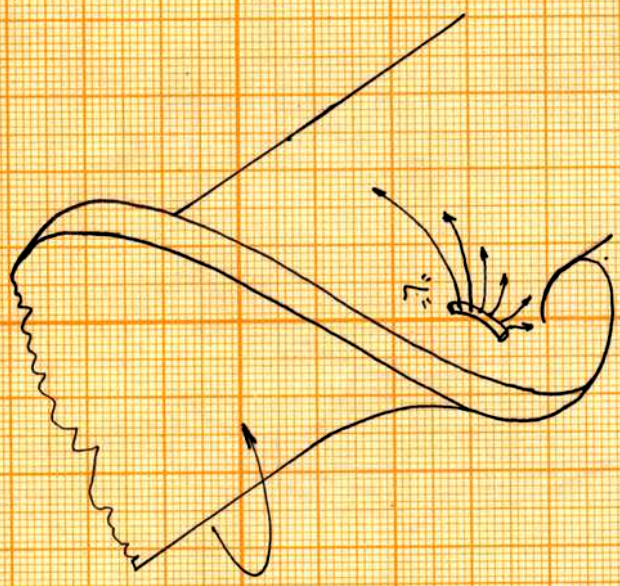


Figura 110

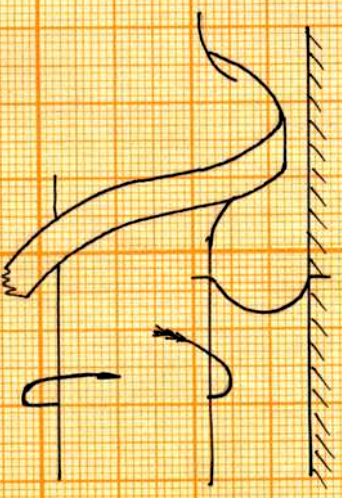


Figura 109

través del espacio hacia la cara trasera de la aleta precedente. Es el flujo Circulante o Transversal.

Supongamos ahora que las aletas son hechas girar un cierto ángulo. Al flujo Transversal se une ahora una componente hacia adelante. El material es empujado hacia adelante en dirección normal a la cara de la aleta. A medida que la aleta aumenta su inclinación comienza a tener influencia el flujo de arrastre ya visto, rotando el material cerca del tornillo y permaneciendo estacionario el próximo a la pared del cilindro.

Tanto mayor sea el giro de las aletas, tanto mayor la influencia del flujo de arrastre y menor la del flujo circulante cayendo en el caso límite de las aletas anulares ya visto.

Si se aplica lo anterior al caso de un tornillo con aleta helicoidal actuando sobre un material plástico en un extruñdor, es fácil darse cuenta que ambos tipos de movimiento, de arrastre y circulante o transversal modificado por el flujo de pérdida, se presentarán simultáneamente.

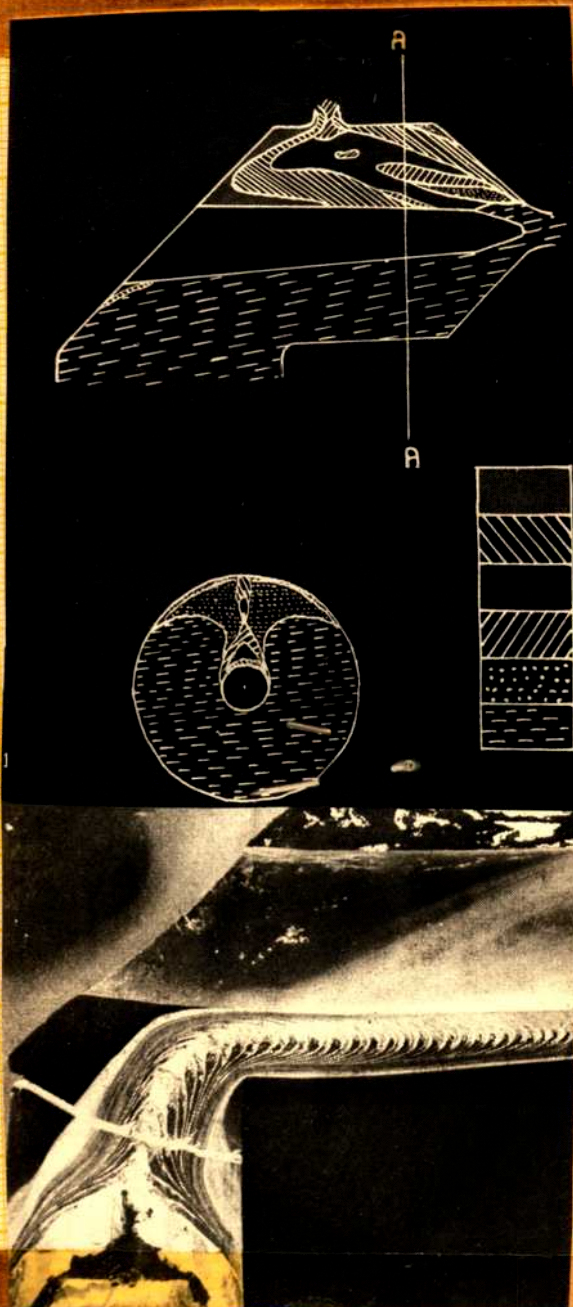
El flujo de arrastre es producido por el frotamiento contra la pared del cilindro que permanece estacionaria mientras se mueve el tornillo y el circulante por la actividad y presión que genera en el material la aleta desplazándose en su seno. Este último tiende a realizarse en dirección normal a la cara de la aleta, pero debemos considerar que el flujo del material está limitado por la restricción a la salida libre que supone la presencia de la matriz. Se crea por efecto de dicha restricción una presión de fondo que aumenta a medida que nos acercamos a la cabeza del extruñdor en donde se halla la matriz.

Esta presión "hacia atrás" o presión de fondo modificará las líneas de flujo incliniéndolas en la forma que se ve en la fig. 108. El tamaño de las X indica en que sentido va aumentando en presión. A medida que aumenta esa presión de fondo crece la inclinación de las líneas de flujo lo que lleva a una mayor densidad

de los mismos desarrollándose así una mayor comprensión del material contra las paredes del cilindro, resistiendo a la rotación y ofreciendo una mayor resistencia al frotamiento interno todo lo cual contrarresta el efecto de la presión de fondo. Esta reacción es contra de la presión de fondo explica oruga muchos extrudidores con platos muy poco profundos, que desarrollan una gran presión de fondo pueden sin embargo suministrar una solida uniforme de material para un simple campo de presiones.

Es fácil ver que el efecto del flujo circulante es para cada vuelta del tornillo una distancia igual a la distancia entre platos y normal a ellos. El flujo de arrastre modificará ese valor hasta alcanzar el estado real del movimiento.

En un extrudidor ni el tornillo ni el cilindro presentan en su movimiento componentes reales hacia adelante, ellos no se mueven en la dirección en que el material es extraído. Si todo el material se deslizara sobre el cilindro el resultado sería la rotación del mismo acompañando al tornillo, pero si como sucede el cilindro ofrece un arrastre al material, la placa será quisa en su movimiento ejerza una especie de berrido empujando el material hacia adelante por la acción de un plano inclinado. La acción hacia adelante del flujo circulante debe ser modificada por el flujo de arrastre de modo que la distribución de las velocidades en una sección paralela al eje del tornillo sea como la de la fig 109. Pero las partículas vecinas al tornillo se hallarán desplazadas con este y a una velocidad igual a Vt , y así sucesivamente de modo que el extremo inferior de la curva anterior debe estar rotado con el tornillo, un corte perpendicular al eje debe ser la curva ¹⁰¹ en la figura 110 tenemos una representación tridimensional del movimiento de las partículas originariamente ordenadas según la línea radial. Las figs 101 y 109 corresponden a un corte perpendicular al eje y paralelo al mismo



FLUJO DEL PLASTICO
EN LD -
CABEZA DEL EXTRUDOR

TÉCNICA DE
ALIMENTACIÓN MULTICOLOR

INICIATIVA

Hemos visto el flujo del plástico en el tornillo del extruñdor. Este empuja el material dentro del bloque de la cabeza del extruñdor. El propósito de la cabeza es dirigir el material alrededor del cable o alambre y a ambos hacia la matriz formadora. Con el objeto de estudiar la condición del material plástico dentro de la cabeza se utiliza una técnica que se podría llamar de alimentación multicolor. Dicha técnica consiste en alimentar el extruñdor con cubos o astillas de p.v.c. coloreadas de modo de cambiar a intervalos el color con que se alimenta y luego de un adecuado tiempo de extrusión interrumpir la operación y enfriar la cabeza de modo de poder retirar el material allí contenido con forma coherente.

Seccionando adecuadamente la masa extraída de la cabeza como asimismo la pieza extruida es posible reconstruir la marcha del material dentro de la cabeza.

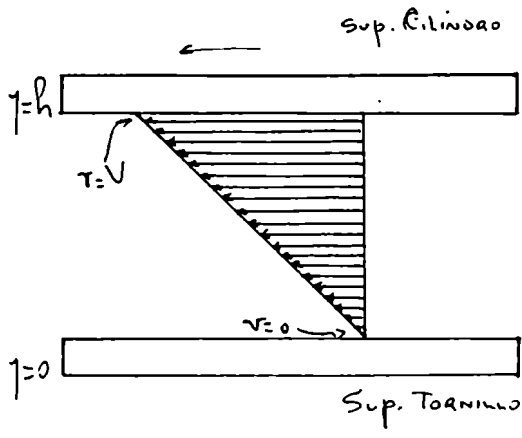
En una experiencia así realizada se alimentó el extruñdor primeramente con astillas de p.v.c. de color claro (marfil) de modo de llenar completamente la cabeza con dicho color. Luego se introdujo p.v.c. de color oscuro (negro). El examen posterior de la sección indicaba que el material una vez llena la cabeza, evita las esquinas y alcanzaba la matriz por el camino más corto. En el ángulo superior el p.v.c. permanece estacionado acumulado allí desde el comienzo de la operación cuando la corriente principal era aun incompleta. Dicha capa estacionaria está tan detenida que en otra experiencia en que se alimentó el extruñdor con cuatro colores diferentes el color de dicha capa que queda al margen de la corriente principal correspondía al primeramente alimentado en tanto el segundo y tercero fueron completamente barridos por el cuarto. Esas experiencias sirven asimismo para mostrar que el material una vez dejado el extremo final del tornillo no fluye hacia adelante en toda la sección del cilindro sino que rápidamente converge hacia el eje.

Si se examina cuidadosamente dicha corriente convergente puede

verse que ella consiste en dos muy bien definidas capas
huscas con frente helicoidal en el caso particular de la
experiencia mencionada, cada una de dichas capas correspon-
día a una de las dos bocas alimentadoras. Las capas helicoi-
dal explica la especial formación del flajo de la corrien-
te principal. La corriente rápida que sale del conal del
tornillo parece arrancar algo del compuesto detenido al fi-
nal del tornillo. Si se cortaran secciones transverales
inmediatamente antes y después de la curva y se marcaran
en negro, las capas estacionadas resultaría los siguientes
esquemas que aclaran lo dicho anteriormente.

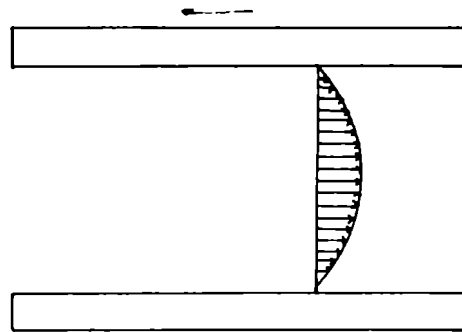
Carley, Hallouk, y J.M. McKelvey, presentaron en el curso de los últimos años una teoría que concuerda bastante bien con la experiencia y aunque no está totalmente desarrollada es sin duda alguna un valioso aporte al conocimiento completo del mecanismo de la extrusión.

El extruidor consta de un tornillo que rota dentro de un cilindro fijo que lleva en sus extremos una boca alimentadora y una matriz. El material se mueve en el canal del tornillo siguiendo un camino helicoidal en tanto el canal cambia constantemente de posición con respecto al cilindro. El movimiento relativo del tornillo y del cilindro y el camino del material serán los mismos si suponemos al tornillo fijo y al cilindro rotando en sentido contrario al sentido original de rotación del tornillo. Con esto conseguimos que el material se mueva en un canal fijo. De modo que nuestro sistema de referencia será el tornillo que supondremos estacionario. Para visualizar mejor aun la situación podemos suponer al canal del tornillo desenrollado y llevado a un plano horizontal. Un plano por encima representa (Fig. 117 y 118) el cilindro con velocidad U y suponiendo que el material moja ambas paredes, será arrastrado éste por aquél en tanto el tornillo lo frenará. La velocidad del líquido será máxima contra la pared del cilindro y mínima en el tornillo. Hay que tener en cuenta que el canal está inclinado un cierto ángulo con respecto al cilindro, de modo que para tener el valor neto del desplazamiento hacia adelante del material debe componerse la velocidad U en dos componentes V y T , que actúan la primera directamente en la dirección del canal y la otra perpendicularmente. La primera es la velocidad de "arrastre" y la otra la velocidad transversal. V crea un flujo hacia adelante (flujo de arrastre q_a) y T origina un flujo transversal (q_t) que interesa solo cuando se estudia la transmisión del calor en la masa plástica que se está extruyendo y la mezcla de los varios componentes de una composición.



Flujo de Arrastre

Fig. 119



Flujo de Presión

Fig. 120

Flujo Neto

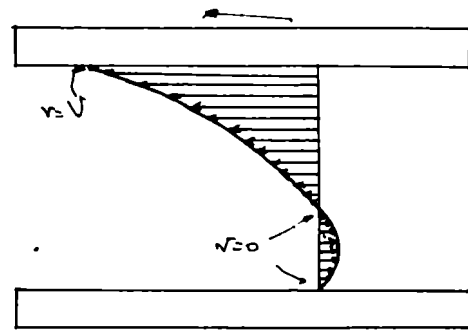


Fig. 121

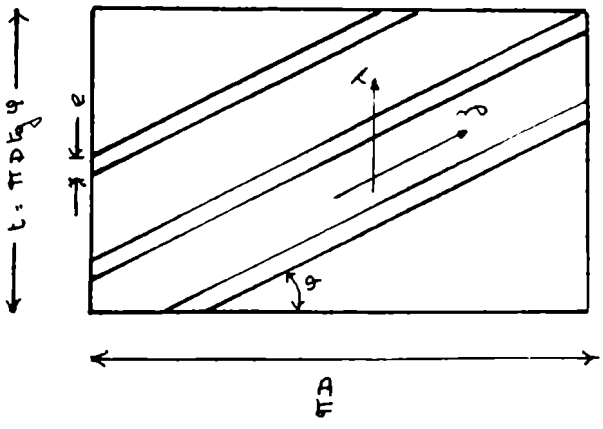


FIG 125

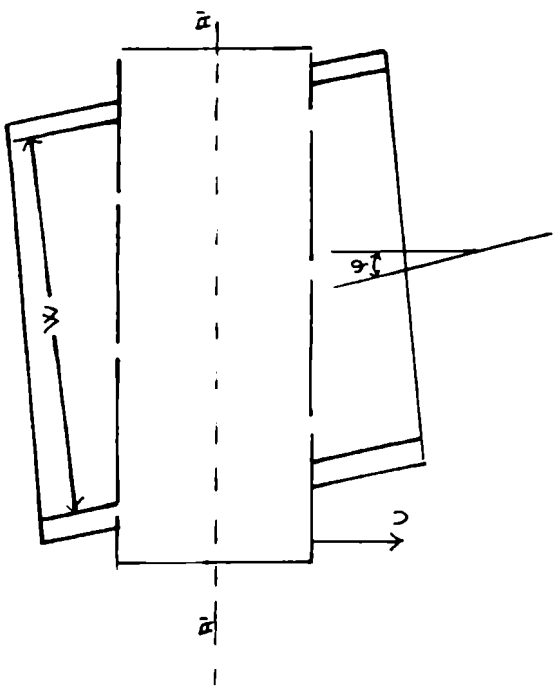


FIG 117

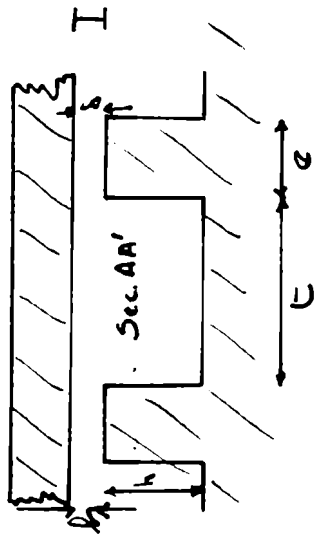


FIG 118

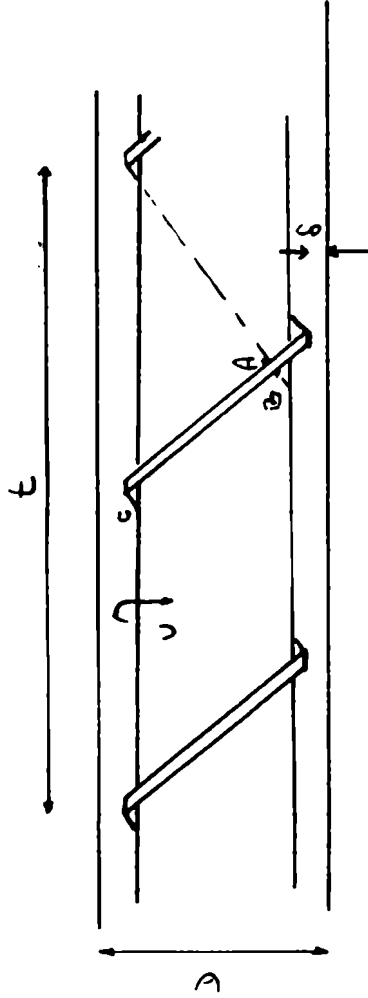
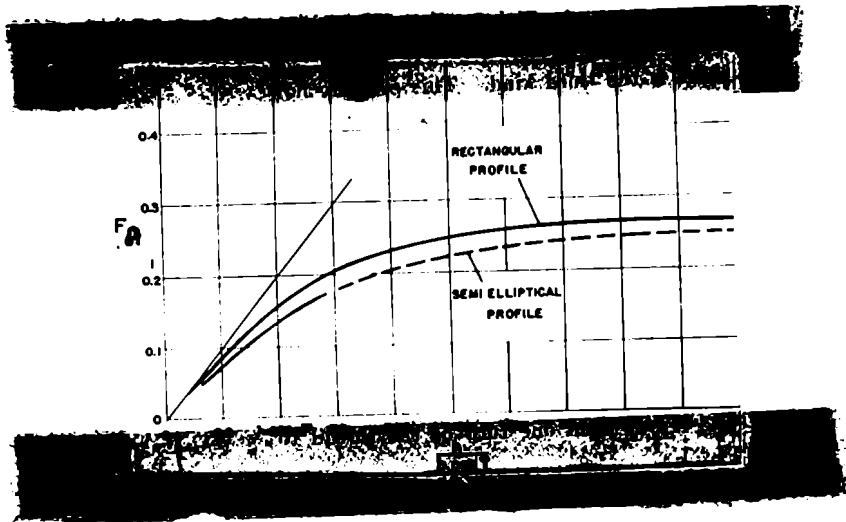
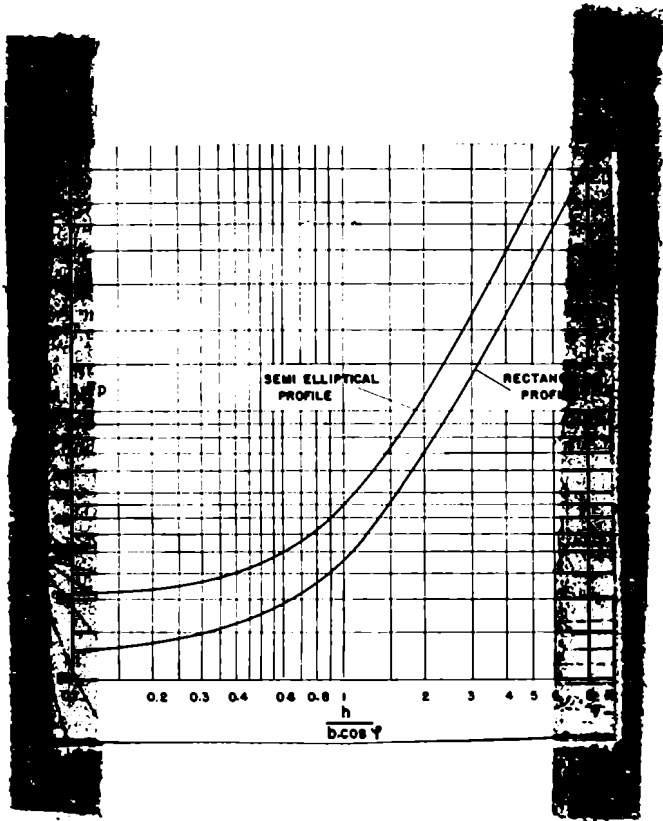


FIG. 124



La presencia de una matriz al ligitar la salida del material por una presión de fondo x que hace pasar algo del material a través de la matriz, empuje hacia atrás o otra porción a lo largo del canal. Este flujo es el llamado flujo de presión. (Dentro de él podemos considerar el que se produce en la luz que existe entre la cresta de la alta del tornillo y la pared del cilindro y que también se origina en el gradiente de presión que se establece desde el fondo del extruidor hacia adelante). Con descarga libre (sin matriz) el flujo de presión es nulo. Si por el contrario se cierra la matriz no hay salida y el flujo de arrastre compensa exactamente al flujo de presión. En todo otro caso el valor de la descarga neta del extruidor será igual a la suma algebraica del flujo de arrastre y el flujo de presión (el flujo transversal no interesa para la descarga) $Q = Q_a - Q_p$ (En esto se desprecia el flujo de pérdidas Q_L que es muy pequeño) Fig. 119 - 120 - 121

Navier presentó en 1822 la ecuación que rige el flujo de presión en conductos y que puede aplicarse al caso del extruidor.

Esta ecuación diferencial es:
$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = -\frac{1}{\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

en donde z es la coordenada medida a lo largo del canal y v es la velocidad en cada punto. Boussinesq en 1868 resolvió esa ecuación fijando las condiciones límites. Si se integra esa ecuación se obtiene la velocidad local en el canal en función de dos coordenadas perpendiculares al eje del canal. Si luego se integra nuevamente esa distribución de las velocidades en toda la sección del conducto resultará el flujo en volumen.

$$Q_p = \frac{6h^3 \cos P}{\mu F_p} \frac{dP}{dz}$$

el factor F_p se halla tabulado para distintas secciones del canal. Fig. 122

En lo que respecta al flujo de arrastre las primeras ecuaciones fueron propuestas por Rowell y Finelysen

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = 0$$

Procediendo análogamente al caso anterior resulta $Q_a: \pi D N b^2 \mu^{-3} \gamma F A$

Fa también se halla tabulado. Fig. 123

El flujo de pérdida a través de la luz existente entre la cresta del tornillo y la rosca es también un flujo de presión y se le puede aplicar las formulas correspondientes.

La geometría es algo distinta pues aquí tenemos un líquido fluyendo a través de un delgado anillo entre tornillo y cilindro. La ecuación es monodimensional pues el anillo puede ser asimilado a una capa delgada sin extremos, con lo que resulta:

$$Q_L = \frac{\pi D E \delta^3 \Delta P}{12 \mu}$$

E= factor de corrección por excentricidad del tornillo en el cilindro varía de 1 a 2,5 - suele tomarse como valor medio

E= 1,2

$$\gamma_L = \gamma \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right)$$

γ = constante que solo depende de las propiedades geométricas del tornillo

Las ecuaciones que resultan se simplifican notablemente si se supone que nos hallamos en el caso de platos paralelos de longitud infinita, esto es si se supone despreciable la acción que ejercen las paredes del canal. Ello nos lleva a una distribución de las velocidades según una sola coordenada. El error que se introduce es despreciable para canales delgados que son los comunes en la práctica. Cuando la relación del ancho del canal a la profundidad es diez o más el error es menor del 10%.

La ecuación de Navier se reduce así: $\frac{d^2 v}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dP}{dz}$

que por integración nos da: $v = \frac{V y}{h} = \frac{(y^2 - h y)}{2 \mu} \left(\frac{dP}{dz} \right)$

El primer término es la velocidad de arrastre y el segundo la velocidad de flujo por presión. La representación de ambas según se ve es una recta y una parábola, la suma ~~una~~ nos da la velocidad neta. La ecuación del flujo volumétrico se obtiene inte-

grando el producto de la velocidad por el área, desde el fondo del frente del canal.

$$Q = \int_0^h v u dy = w \int_0^h \left[\frac{v y}{h} + \frac{y^2 - h y}{2\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right) \right] dy = \frac{v w h}{2} - \frac{w h^3}{12\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

Aquí también el primer término corresponde al flujo de arrastre y el segundo al flujo de presión. La ecuación anterior puede convertirse en otra más sencilla conteniendo solo variables geométricas del tornillo resultando:

$$v = v \cos \varphi = \pi D N \cos \varphi$$

$$w = (t/m - e) \cos \varphi \quad Q = \frac{n \pi D N h (t/m - e) \cos^2 \varphi}{2} - \frac{n h^3 (t/m - e) \sin \varphi \cos \varphi}{12 \mu} \frac{dP}{dz}$$

$$dz = d\lambda / \sin \varphi$$

Como se deduce de la fig. 124 y 125 es $t = \pi D t \varphi$

Tomando $n=1$ y despreciando el ancho de la olet nos queda una ecuación que es bastante expresiva y de buenos resultados cuando se la aplica:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 N h \cos^2 \varphi}{2} - \frac{\pi D h^3 \cos^2 \varphi}{12 \mu} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

④

Esta es la ecuación diferencial básica dentro de la teoría simplificada del flujo. A partir de ella pueden obtenerse varias ecuaciones integradas de acuerdo a las condiciones particulares de cada extruidor o material (variaciones en las dimensiones del tornillo con la distancia, variaciones de viscosidad, etc)

Veremos algunos ejemplos, en los que consideraremos condiciones isotérmicas de operación, esto es temperatura constante del fluido a lo largo del canal.

1.) Dimensiones uniformes del canal:

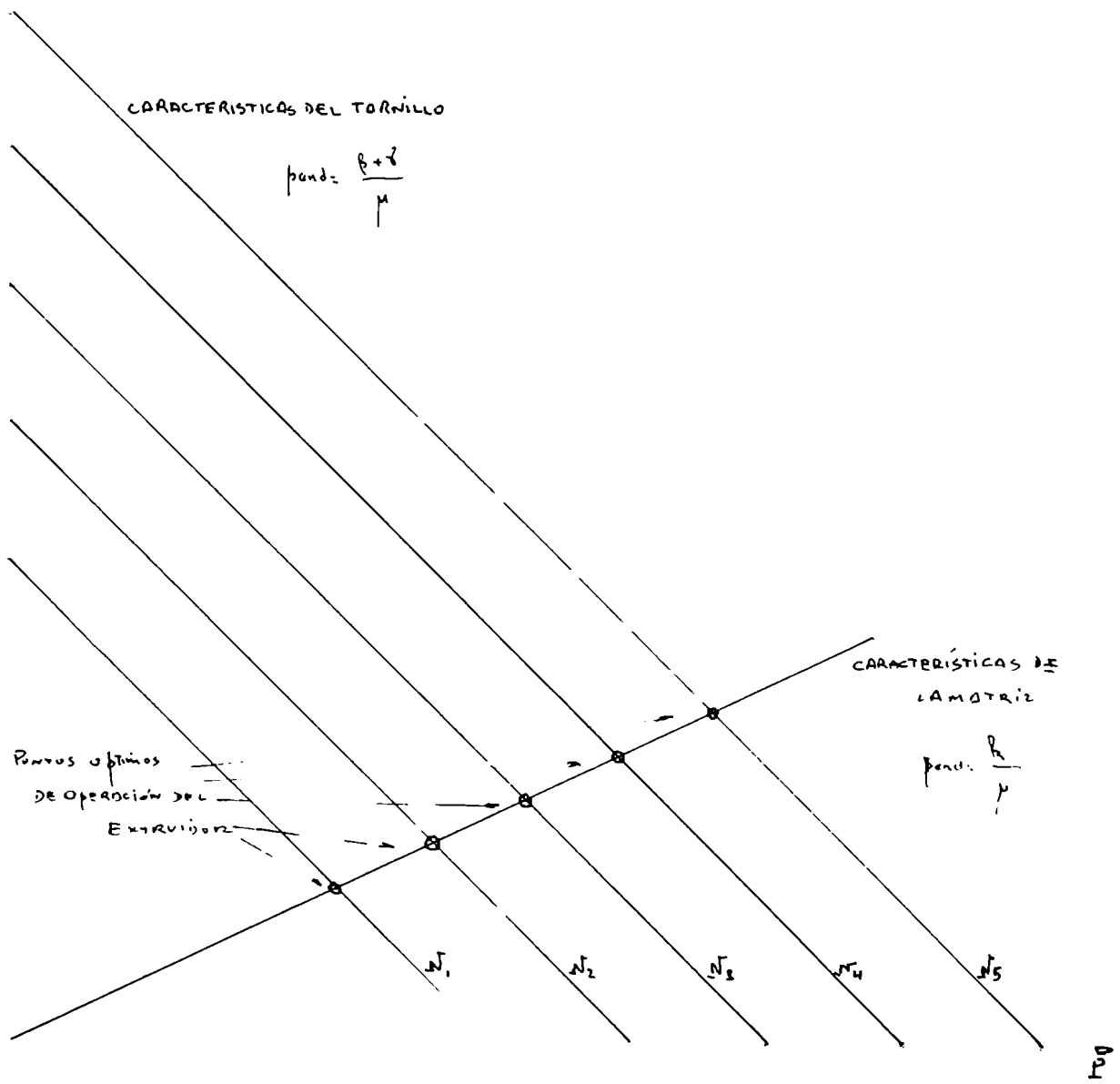
Teniendo uniforme la sección del canal y siendo la viscosidad del material el gradiente de presión en el tornillo es también constante, de modo que:

$$\frac{dP}{dz} = \frac{\Delta P}{\Delta z} = \frac{\Delta P}{L}$$

y llevando esto a la ecuación diferencial resulta:

$$Q = \alpha N - \beta \frac{\Delta P}{\mu} \therefore \alpha = \frac{n \pi D h (t/m - e) \cos^2 \varphi}{2} \quad \beta = \frac{n h^3 (t/m - e) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L}$$

FIGURA 126



α y β constantes que dependen solo de las dimensiones del tornillo.
 El torque en cuenta del flujo de pérdida

$$Q = \alpha N - \beta \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) - \gamma \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right)$$

Si ahora consideramos lo que sucede en el frente del tornillo, en la matriz tenemos que lo que sucede a través de la misma para fluidos Newtonianos será directamente proporcional a la diferencia de presión y, por supuesto, proporcional a la viscosidad del fluido resultando:

$$Q = k \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right)$$

donde k es una constante de proporcionalidad que dependerá de la geometría de la matriz.

Tomamos así dos ecuaciones, una que nos describe la relación de flujo y presión en el canal del tornillo y la otra la misma relación en la matriz. La descarga del extrusor y la presión deben satisfacer simultáneamente a ambas obtendríamos así una ecuación que nos vincula la descarga de un extrusor con la dimensión de la matriz y el tornillo:

$$Q = \left[\frac{\alpha}{1 + \frac{\beta + \gamma}{R}} \right] N$$

Veamos que la descarga es directamente proporcional a la velocidad e independiente de la viscosidad del material.

Por otra parte si llevamos los valores de Q en un eje y en otro los de ΔP obtendremos una línea recta de pendiente negativa que se conoce como "características del tornillo". Para un determinado material y tornillo se obtiene una línea para cada velocidad de rotación, estando separadas entre sí por una distancia que es proporcional a esa velocidad de rotación. Si por otra parte llevamos la presión en la matriz o a respecto a la descarga obtendremos otra línea recta que pasa por el origen ("características de la matriz"). La intersección de esta línea con cada una de las características del tornillo da las condiciones de operación para cada velocidad de rotación. Fig. 126

La velocidad de la ecuación que nos da el valor de Q podemos con-

contrar fácilmente los valores para las dimensiones de la matriz o del tornillo que nos dan salida máxima por lo bastaría fijar las dimensiones invariables y luego derivar la ecuación igualando la derivada a cero y resolviéndola para las incógnitas.

22 Dimensiones variables de canal:

es el caso más general, aquel en que las dimensiones del canal son función de su posición a lo largo de la longitud del canal. En este caso el ángulo de la hélice y la profundidad del canal pueden expresarse como funciones de la distancia. La ecuación 14 resulta así:

$$Q = \Delta h(\lambda) \sin \varphi(\lambda) \cos \varphi(\lambda) - \frac{\psi [h(\lambda)]^3 [\sin \varphi(\lambda)]^2}{\mu} \left(\frac{dP}{d\lambda} \right) \quad \Delta = \frac{\pi^2 D^2 N}{2}$$

al flujo neto Q es constante en toda la longitud, de modo que podemos integrar la ecuación anterior para obtener el valor total del salto de presión en toda la longitud del tornillo.

$$\Delta P = \int_0^L dP = \int_0^L \left[\frac{\Delta \mu [h(\lambda)] [\sin \varphi(\lambda) \cos \varphi(\lambda)] - Q \mu}{\psi [h(\lambda)]^3 [\sin \varphi(\lambda)]^2} \right] d\lambda$$

Llevando Δ a la ecuación Δ de la matriz puede resolverse

la integral respecto de λ y obtendremos así la descarga de un extrudor de canal cuyo ángulo de hélice y profundidad de canal varían con la longitud de acuerdo a las funciones:

$$Q = \frac{\Delta \int_0^L \frac{[\cos \varphi(\lambda)]^2}{[h(\lambda)]^2} d\lambda}{\frac{\psi}{h} + \int_0^L \frac{[\sin \varphi(\lambda)]^2}{[h(\lambda)]^3} d\lambda}$$

en muchos extrudores las funciones φ y h pueden ser diferentes en varios tramos, esto es podemos tener un tramo cónico, luego una sección de diámetro constante y por último un tramo de sección decreciente y así por el estilo.

En este caso en vez de una sola integral tendremos una suma de integrales siendo el número de tramos que presente. De modo que en su forma más general podemos escribir:

$$Q = \frac{\Delta \sum_{i=1}^n \int_0^{\xi_i} \frac{[\cos \varphi_i(\lambda)]^2}{[h_i(\lambda)]^2} d\lambda}{\frac{\psi}{h} + \sum_{i=1}^n \int_0^{\xi_i} \frac{[\sin \varphi_i(\lambda)]^2}{[h_i(\lambda)]^3} d\lambda}$$

siendo ξ_i la longitud de cada uno de las secciones.

Así también la descarga es independiente del seto de presión y de la viscosidad del material.

Un tipo común de extruidor es uno en que el peso es constante pero que presenta la profundidad de canal continuamente decreciente en su parte anterior. En este caso la función φ es constante e independiente de λ y lo mismo sucede con $h_2(\lambda)$ en su extensión. Por otra parte $h_1(\lambda)$ varía linealmente con λ de modo que la ecuación queda reducida a

$$Q = \frac{\Delta \cot \varphi \left[\frac{L_1}{h_1 h_2} + \frac{L_2}{h_2^2} \right]}{\frac{\varphi}{h} + \cos^2 \varphi \left[\frac{L_1 (h_1 + h_2)}{2 h_1^2 h_2^2} + \frac{L_2}{h_2^3} \right]}$$

La ventaja de usar tornillos con secciones de compresión con canal menos profundo se ve cuando usa una matriz suficientemente grande como para no crear un flujo de contrapresión. En ese caso la salida es mayor en tornillos de compresión, que en tornillos de profundidad de canal constante. La sección de compresión crea en el frente del tornillo un aumento en la presión que suamente lo solidifica.

Aguaramientos de potencia en un extruidor:

En un extruidor el material entra por la boca de alimentación y va avanzando a lo largo del canal del tornillo, al llegar al extremo del mismo la presión que se ha establecido lo fuerza y hace salir a través de la matriz. La energía mecánica que el motor de al tornillo aparece así en el material en forma de calor y de presión.

Tomaremos para el cálculo de potencias el caso más común de extruidores con tornillos de alitas delgadas no profundas (relación de ancho a profundidad del canal igual a la o más). Supondremos además dimensiones constantes para el canal y operaciones isotérmicas.

La potencia puede dividirse en dos porciones, una ds_1 utilizada en arrastrar el material en el canal del tornillo sea contra de la

presión de fondo y otra dz_2 que se disipa en la claridad que existe entre la cara superior de la cresta del tornillo y las paredes del cilindro.

En la figura se ven las relaciones geométricas del canal y cilindro supuesto este último móvil con velocidad U y aquel estacionario. V es la componente según el canal de U .

Sea dz la longitud de canal en que la viscosidad es igual a μ . El consumo de potencia allí es dzl y es igual al producto de la velocidad U por la fuerza dF necesaria para mantener el movimiento en el canal: $dzl = U \cdot dF$ (1)

La fuerza es igual al producto de la presión de frotamiento por el área elemental en que actúa la fuerza. De modo que la componente de la fuerza que actúa en la dirección de la hélice es igual al producto de la presión de frotamiento que actúa en esa dirección por el área dA . Se puede escribir esa componente como igual a dF que actúa en la dirección de revolución del tornillo dividido por el coseno del ángulo de la hélice.

$$dF_{\varphi} = S dA \quad (2) \quad \therefore dF = \frac{dF_{\varphi}}{\cos \varphi} = \frac{S dA}{\cos \varphi} \quad (3)$$

Para líquidos Newtonianos la presión de frotamiento es igual al producto del gradiente de velocidad por la viscosidad:

$$S = \mu \left(\frac{dv}{dy} \right) \quad (4)$$

Combinando las ecuaciones anteriores resulta:

$$dz_1 = \frac{U \mu}{\cos \varphi} \left(\frac{dv}{dy} \right) dA \quad (5)$$

Se trata ahora de expresar los valores de dA y de dv/dy en función de las dimensiones geométricas del extrudidor y de las condiciones de operación.

El valor de dv/dy resulta de tomar la ecuación que vimos anteriormente y que nos daba la velocidad en cada punto del canal en función de y . Además nos interesa el valor particular para y : h porque el valor de $\frac{dv}{dy}$ allí nos da el momento requerido para mover el cilindro ya que estamos suponiendo a este móvil

y el tornillo fijo. Resulta así:

$$\left[\frac{dw}{dy} \right]_{y=h} = \frac{V}{h} + \frac{h}{2\mu} \left(\frac{dP}{dz} \right)$$

De la figura anterior resulte la relación entre dz y las dimensiones del tornillo: $dA = wdz = \pi D \sin\varphi dz$

Sustituyendo tenemos:

$$dz_1 = \frac{\pi D UV \sin\varphi}{h \cos\varphi} dz + \frac{\pi D UV h \sin\varphi}{2 \cos\varphi} dP$$

Y teniendo en cuenta las siguientes relaciones:

$$dz = \frac{d\lambda}{\sin\varphi} \quad \left. \begin{array}{l} \lambda = \text{longitud axial del tornillo} \\ \text{Entrenimiento de la rotación del tornillo} \end{array} \right\} \begin{array}{l} V = \pi D N \cos\varphi \\ U = V / \cos\varphi \end{array}$$

$$\text{resulta: } dz_1 = \frac{\pi^3 D^3 N^2 \mu}{h} d\lambda + \frac{\pi^2 D^2 N h \sin\varphi \cos\varphi}{2 \cos^2\varphi} dP$$

y siendo Q_D :

$$Q_D = \frac{\pi^2 D^2 N h \sin\varphi \cos\varphi}{2} \quad \therefore \quad dz_1 = \frac{\pi^3 D^3 N^2 \mu}{h} d\lambda + \frac{Q_D}{\cos^2\varphi} dP$$

en cuanto al cálculo de dz_2 es exactamente igual al anterior

teniendo en cuenta que la presión de frotamiento si se desprecia el aumento de presión en la claridad es igual a V/δ

$$dz_2 = \frac{\pi^2 D^2 N^2 e \mu}{\delta + \mu \varphi} dP$$

Como la potencia total es la suma de dz_1 y dz_2 y para la longitud total del tornillo basta integrar la ecuación resultante:

$$dz = dz_1 + dz_2 = \frac{\pi^3 D^3 N^2 \mu}{h} d\lambda + \frac{Q_D}{\cos^2\varphi} dP + \frac{\pi^2 D^2 N^2 e \mu}{\delta + \mu \varphi} dP$$

$$Z = \pi^3 N^2 \int_0^L \frac{D^3 \mu}{h} d\lambda + \int_0^L \frac{Q_D}{\cos^2\varphi} dP + \pi^2 N^2 \int_0^L \frac{D^2 e \mu}{\delta + \mu \varphi} d\lambda$$

potencia necesaria para mover el cilindro si el tornillo está fijo y el eje es el material.

Si se supone constantes las dimensiones del tornillo y la viscosidad del material las integrales pueden ser resueltas y queda ahora:

$$Z = \frac{\pi^3 D^3 N^2 \mu L}{h} + \frac{Q_D \Delta P}{\cos^2\varphi} + \frac{\pi^2 D^2 N^2 e \mu L}{\delta + \mu \varphi}$$

Se vé allí la influencia de la presión en el consumo de potencia. Si se trabaja a salidas abiertas, sin matriz, el término del

medio es cero, pero si se coloca una matriz aumenta la presión y en consecuencia la potencia requerida.

En el caso de haber variación en la viscosidad a lo largo de la longitud del tornillo basta reemplazar el valor de μ por la viscosidad promedio que es igual a:

$$\bar{\mu} = \frac{\int_0^L \mu d\lambda}{L}$$

Se trata ahora de contestar una pregunta de capital importancia en el diseño de extrudidores. ¿Esto es? ¿Cuál es el conjunto de dimensiones de un extrudidor que nos den el menor gasto de potencia en una cierta operación de extrusión?

El trabajo útil suministrado por el tornillo se utiliza en aumentar en un cierto valor ΔP la presión de una corriente de material plástico. El trabajo útil es así igual a $Q \Delta P$.

La eficiencia del tornillo es ese trabajo útil dividido por la potencia total

$$E = Q \Delta P / \Sigma \quad (1)$$

La eficiencia de un extrudidor trabajando isotérmicamente es independiente de la salida del material, del valor de la presión en la masa plástica y de la velocidad de rotación del tornillo.

Ya hemos visto que $Q = \alpha N - (\beta + \gamma) \frac{\Delta P}{\mu}$ (2) para el tornillo

$$Q = k \frac{\Delta P}{\mu} \quad (3) \text{ para la matriz}$$

Despejando el valor de ΔP de esta última y reemplazándolo en la primera nos queda: $\Delta P = Q k / \mu$ (4)

$$\text{De (2) y (4)} \quad \therefore Q = k \alpha N / (k + \beta + \gamma) \quad (5)$$

$$\text{De (3) y (4)} \quad \therefore \Delta P = \alpha \mu N / (k + \beta + \gamma) \quad (6)$$

Sabemos que la potencia total es igual a:

$$\Sigma = w \mu N^2 + \eta N \Delta P \quad (7)$$

$$\text{De (6) y (7)} \quad \Sigma = \mu N^2 \left(w + \frac{\alpha \eta \mu}{k + \beta + \gamma} \right) \quad (8)$$

Multiplicando 5 y 6 nos da el trabajo útil:

$$Q \Delta P = k \mu \left(\frac{\alpha \eta}{k + \beta + \gamma} \right) \quad (9)$$

De modo que la eficiencia resulta ser:

$$E = \frac{k \alpha^2}{(k + \beta + \gamma) \left[w (k + \beta + \gamma) + \alpha \eta \right]} \quad (10)$$

Parámetros que
 α solo dependen
 β de las dimensiones
 γ de la matriz
 η del tornillo
 w

De la fórmula obtenida vemos que la eficiencia de un extruñdor isotérmico depende solo de las dimensiones de la matriz y del tornillo.

Si se desea reducir a un mínimo el consumo de potencia debe aumentarse al máximo la eficiencia del extruñdor. Pero la eficiencia como se ve en la fórmula es una función de una serie de factores dimensionales. Por lo cual esa función debe ser diferenciada respecto de cada uno de esos factores dimensionales., las derivadas iguales a cero y las ecuaciones resultantes resueltas simultáneamente de manera de dar las dimensiones óptimas para el extruñdor. Estas ecuaciones no son lineales y no se ha obtenido una solución general de las mismas. Sin embargo existen ciertos criterios ya establecidos, como ser: La pérdida en el espacio libre entre la aleta y el cilindro debe ser un vigésimo de la descarga total, en tanto el flujo hacia atrás y dicha pérdida juntas deben ser un medio de la descarga. El ángulo de la hélice óptimo es de alrededor de 22° siendo los límites de máxima eficiencia entre 15° y 30°. El ancho de la aleta debe ser lo más pequeño posible dentro de lo que la presión existente permisi-

α, β', γ'

$\alpha \quad \beta' \quad \gamma'$

$$\alpha = \frac{\pi D h [\pi D t_f \gamma - e] \cos^2 \varphi}{2} = 8,886 \text{ cm}^2$$

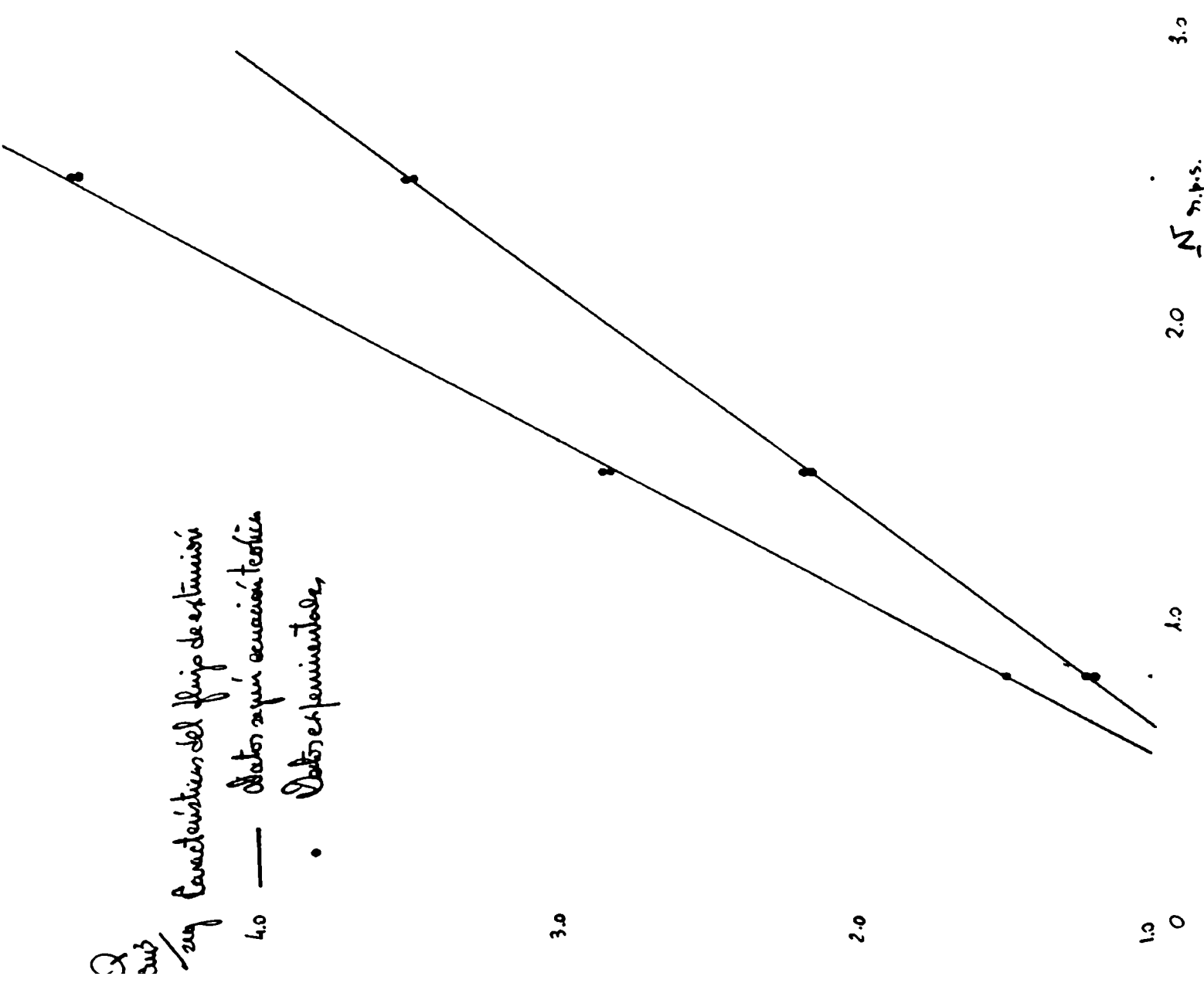
$$\beta' = \frac{h^3 [\pi D t_f \gamma - e] \sin \varphi \cos \varphi}{12} = 0,297 \text{ cm}^4$$

$$\gamma' = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 t_f \gamma}{10e} = 4,38 \times 10^{-6} \text{ cm}^4$$

$m_1 = 0, 448 \text{ cm}^2$
 $m_2 = 0, 754 \text{ cm}^2$

$Q = m \cdot N$

matriz.	$\cdot \delta$	$R_0 \text{ cm}^2$	$Q \text{ cm}^3 / \text{seg}$	$T \text{ } ^\circ\text{C}$	$\dot{M} \text{ Centipoises}$
				60	18,52
1					18,52
1					
1					
1					



En las ecuaciones anteriores se ha tomado únicamente la sección 1 por cuanto la influencia de la sección de compresión en los valores de las constantes del tornillo es muy pequeña y puede ser despreciada. Para condiciones de operación isotermicas la ecuación de descarga del extruidor podía ser escrita:

$$Q = \left[\frac{\alpha}{1 + \left(\frac{\gamma + \beta}{kL_d} \right)} \right] N = mN$$

La constante m relaciona la velocidad del tornillo a la salida de material del extruidor y depende solo de las constantes del tornillo y de la matriz.

En cuanto a esta última (k) ella puede ser calculada si se tiene en cuenta que por tratarse de matrices cilíndricas puede escribirse de acuerdo a la formulas de Cousselle:

$$Q = \frac{\pi d^4}{128 L_d} \frac{\Delta P}{\mu}$$

Resulta así

$$k_1 = 2,5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

$$m_1 = 1,448 \text{ cm}^2$$

$$k_2 = 4,2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

$$m_2 = 1,285 \text{ cm}^2$$

Se trabajó con las dos matrices y con el mismo tipo de p.v.e. pero a temperaturas distintas de modo de variar así el valor de la viscosidad. De acuerdo a la ecuación del flujo el valor de Q es independiente de la viscosidad del material y lo depende del valor de N .

Los resultados obtenidos se ven en el cuadro y en el gráfico adjunto (Características del flujo de extensión.)

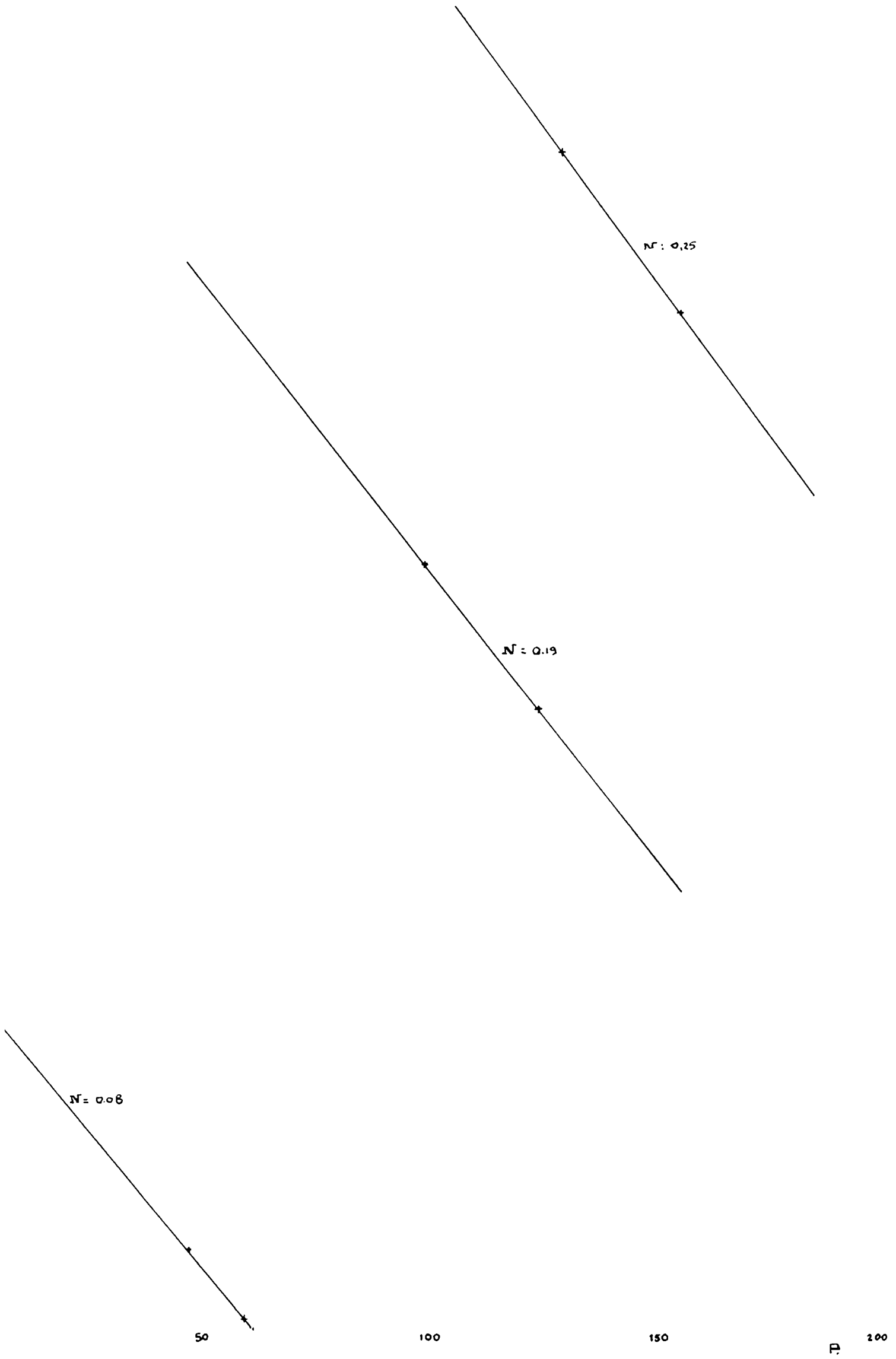
Como puede observarse los puntos experimentales se hallan muy próximos a la línea teórica lo que nos indica que la ecuación utilizada en su trabajo y que se obtuviera de la teoría de la extrusión describe correctamente el comportamiento de un fluido no Newtoniano en un extruidor.

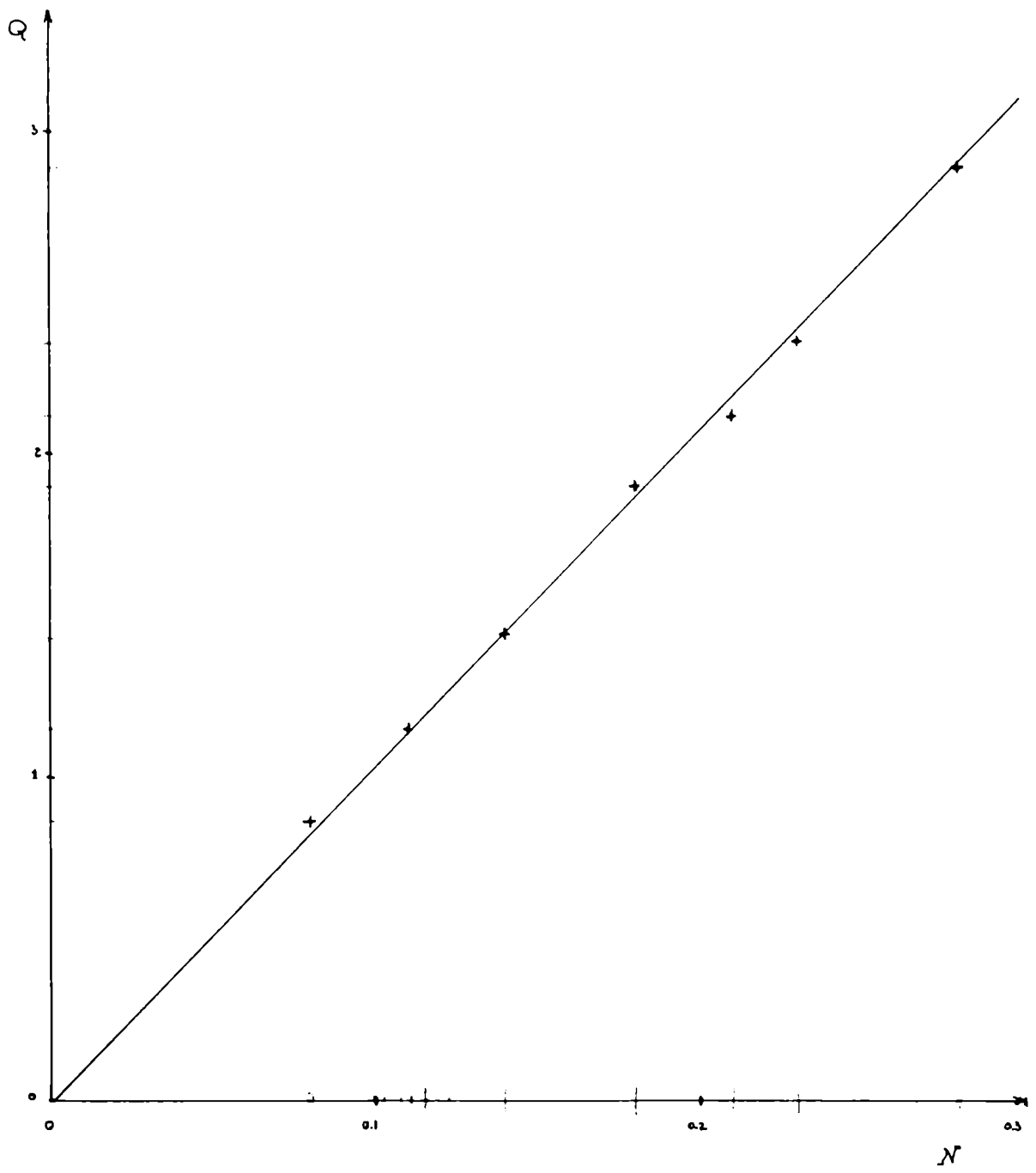
Como complemento de las determinaciones se tomaron las velocidades de rotación y los valores de de carga a presiones distintas tanto en descarga libre, esto es sin matriz como con matriz, utilizándose de éstas tres distintas. En esta serie de determinaciones se utilizó un tornillo de paso constante con una sección de alimentación y otra de compresión de profundidad de canal creciente.

El cálculo de la ecuación de flujo es el mismo que el visto para la experiencia anterior.

Los datos obtenidos pueden verse a continuación junto con dos gráficos que nos muestran, el primero el flujo de arrastre esto es el comportamiento del extruidor con descarga libre, sin matriz y el segundo las líneas características del tornillo y la de la matriz.

Puede verse que como lo indica la teoría las características del tornillo son sensiblemente paralelas y separadas por distancias proporcionales a la velocidad de rotación del tornillo. La característica de la matriz pasa por el origen y de su intersección con las anteriores se obtienen los puntos de operación.





DESCARGA LIBRE

conclusiones: 1) Como se comprobó que en el caso de un extrusor isotérmico el valor de la descarga para una determinada matriz y tornillo es independiente de la viscosidad del material a extruir y proporcional a la velocidad de la rotación del tornillo.

2)

2) La teoría nos indicaba que el flujo de arrastre para canales helicoidales era independiente de la viscosidad del material de modo que la ecuación de flujo era aplicable a todo material viscoso siempre que el mismo mojara las superficies del cilindro y el tornillo. Los valores obtenidos en descarga libre han confirmado la deducción.

3) En lo que respecta a las curvas características del tornillo se han obtenido, como la teoría deducía, paralelas entre sí con pendientes independientes de la velocidad de rotación.

4) La concordancia observada en todos los aspectos anteriores dan validez a la teoría en cuestión y permiten su aplicación al caso de extrusión de plásticos fundidos del tipo del pvc.

CUIDADOS EN LA EXTRUSIÓN DE CABLES CON PVC

Fallas dimensionales

Excentricidad: Probablemente la dificultad más grande en la industria de recubrimiento de cables es conseguir evitar la excentricidad del cable en el material aislante. La excentricidad puede deberse a una mala colocación relativa de la matriz exterior e interior, aunque ello es difícil en el modelo combinado.

Si dicha posición es correcta, la excentricidad puede deberse a alguna materia extraña alojada en cualquiera de las 2 matrices, ello es evidente cuando el cable aparece rayado lo que se soluciona desarmando la cabeza. Pero también puede deberse a una excesiva presión en la cabeza lo que puede resolverse mediante un nuevo diseño en el tornillo o variando la temperatura la que debe ser estable y uniforme en la cabeza de la máquina.

Variación de la excentricidad: Es otra falla muy común en la aislación de cables que puede deberse a que la matriz interior esté muy lejos y hacia atrás de la matriz interior y no mantiene al cable centralizado a medida que pasa, o bien porque la matriz interior esté desviada. Con un diseño perfecto de ambas matrices y un flujo suave y uniforme del material plástico las 2 deficiencias anteriores solo introducen pequeñas diferencias.

Una presión no uniforme en la matriz es otra causa de variación de la concentricidad, lo que puede deberse a varios factores: 1) Al calentamiento de la máquina de modo que el material no es uniformemente calentado y a pesar de los platos raspadores pasan por la cabeza y matriz a diferentes temperaturas y en consecuencia a diferentes grados de plasticidad.

2) Gasto del tornillo en la cresta (fillete) permitiendo al material deslizarse hacia atrás a medida que la presión aumenta lo que se produce en un flujo intermitente y variación de la presión en la cabeza.

Finalmente la variación de concentricidad puede deberse a una mala alimentación ya sea por que un operador descuidado alimente material caliente a temperaturas distintas o muy irregularmente. Si se utiliza el método de alimentación de grandes trozos en caliente la desigualdad en su tamaño puede causar obstrucciones en la garganta. Un deficiente calentamiento puede hacer que el material en un principio funda cerca de la boca de alimentación y luego más adelante en el tornillo al enfriarse bloquee el flujo lo que es muy frecuente con el nylon y el polietileno.

Variación en el tamaño! Puede deberse a una mala alimentación o a una velocidad variable en el tornillo por deficiencias mecánicas. Una tensión irregular del cable puede también ser causa de variación en el tamaño.

Variación en el ajuste del aislante: para subsanar este defecto es de importancia la posición relativa de las matrices interior y exterior. Es usual colocar la interior de modo que el espacio entre su extremo y la pared de la matriz exterior sea igual al espesor de la pared de aislación a aplicar. Si la matriz interior está muy adelantada resultará una aislación de pared delgada y el material tenderá a forrar una camisa floja alrededor del cable (entubado). Si por el contrario está muy lejos hacia atrás, el material forzaré y entrará entre los intersticios del cable ocasionando dificultades para desnudarlos.

FALLAS EN EL ACABADO

Defectos

12) Superficie razonablemente continua pero con apariencia tosca:

Observada con vidrio de aumento aparece una superficie muy rugosa. Es causado por una matriz que esté demasiado fría y dificulta el flujo uniforme en la superficie, es una especie de efecto rastrillante, en el peor de los casos una matriz fija puede dejar marcas netas de rastrillo.

Una superficie altamente rugosa puede también ser producida por una muy mala forma de la matriz p.e. con una entrada excesivamen-

abrupta.

Ello es indicado por una demanda de aumento de presión y en consecuencia una potencia extra o por una disminución en la velocidad de extrusión.

Un acabado tosco y rugosidades: es generalmente causado por temperatura insuficiente a lo largo de la máquina si bien puede ser también causado por mala calidad del plástico.

3) Aspecto general rugoso pero superficie pulida: es también atribuido a un pobre control de la temperatura de modo de obtenerse insuficiente temperatura en el cuerpo de la máquina, con flujo irregular de plástico, en tanto en la matriz recibe calor suficiente como para dar una superficie pulida.

Esta deficiencia puede también resultar la ^{de} creación de tensiones en el cable extruido.

4) Abultamientos sucesivos: es una falla ocasional y puede ser causada por el cable que es detenido periódicamente por efecto de una mala tracción y por una matriz interior ~~extremadamente~~ pequeña que detiene cada tanto al cable de modo que en cualquiera de los casos un exceso de material es extruido, formándose abultamientos.

5) Estallido y desgarramientos con el calor: El cable aparece satisfactorio pero cuando es calentado de alguna forma estalla y se rompe. Ello puede ser el resultado de tensiones creadas durante la extrusión y originadas como ya se vió por una suficiente temperatura. La misma falla puede presentarse si el material es deficiente calidad o si a la salida de la matriz se lo estira cuando ya ha sido enfriado por debajo de la temperatura de trabajo.

El control de esta deficiencia se lleva colocando trozos de los cables extruidos en tubos de diámetros determinados en baños de glicerina caliente a temperaturas determinadas y dejando todo un cierto tiempo, al cabo del cual se observa si se han producido rupturas del sistema.

Inclusiones extrañas:

- a) Acabado rugoso: por un examen cuidadoso puede diferenciarse este defecto del caso anterior pues se ve que ha sido causado por polvo de p.v.c. que venía con los cubos y ha pasado a través de la máquina sin formar un todo homogéneo con la masa verdadera del p.v.c.
- Otra causa a menudo indistinguible de la anterior es una mala mezcla del PVC que no está adecuadamente plastificado por alguna razón y que extruído pasa como gotas duras entre el material bien plastificado ablandado. Dada su pequeñez dichos puntos no pueden ser retenidos por una malla.
- b) Abultamientos grandes: esta falla puede ser causada por piezas grandes de material plástico, lo que no debe suceder y puede ser evitado con un filtro apropiado. Generalmente dichos cuerpos se originan porque porciones de PVC permanecen estancadas o detenidas en ciertas partes de la máquina y gradualmente se endurecen y descomponen pudiendo separarse, incorporarse al flujo y pasar a través de la matriz. Estos defectos se subsanan en muchos casos por un rediseño de la máquina, o con una más frecuente limpieza de la misma.
- c) Rugosidad debido a volátiles: Puede deberse a PVC humedecido por almacenamiento en lugares inadecuados. Si el material elaborado se secciona se notará una masa porosa con diminutos agujeros. Un efecto similar se logra cuando se usa un plastificante que es volátil a la temperatura de extrusión, este mismo defecto pero en mayor escala ocurre si el material es sobrecalentado en la máquina y descompuesto pero en este caso la causa se encuentra fácilmente puesto que el cable extruído se hincha y rompe largando humos de cloruro de hidrógeno.
- d) Ampollamiento: La humedad puede ser introducida por el conductor al recubrir siendo el resultado diferente. El material cubriente es empujado y se forman ampollas. Otra causa puede ser el aire que lleve el cable que se expande y luego al enfriarse se contrae nuevamente.

Bibliografía

- 1) Modern Plastics Vol.29-Nº2-p.106
- 2) Modern Plastics Vol.26-Nº8-p.81
- 3) Modern Plastics Vol.26-Nº11-p.97
- 4) Modern Plastics Vol.30-Nº4-p.126
- 5) Modern Plastics Vol.25-Nº5-p.108
- 6) Modern Plastics Vol.22-Nº2-p.97
- 7) Modern Plastics Vol.27-Nov.1949-p.79
- 8) Modern Plastics Vol.21-1944-p.119
- 9) Modern Plastics Vol.22-Nº5-p.132
- 10) Modern Plastics Vol.24-Nº2-p.134
- 11) Ind. Eng. Chem. Vol.41-Nº4-p.675-p.689-p.701
- 12) Ind. Eng. Chem. Vol.42-Nov.1945-p.2320/5
- 13) Ind. Eng. Chem. Vol.30-1938-p.1058
- 14) Ind. Eng. Chem. Vol.28-1916
- 15) Wire and Wire Products Vol.27-Nº1-p.1043-p.105 p. 1064
- 16) L'importance des matières plastiques en électrotechnique-
J. Delorme-Ed. Amphor-Toulouse-France
- 17) British Plastics Vol.23-Nº235-p.70
- 18) Journal Imp. Coll. Chem. Soc. Vol. XLIV-p.51
- 19) Transactions of The Plastics Institute Vol. XVII-Nº29 p.1
- 20) Transactions of The Plastics Institute Vol. XVII-Nº34
- 21) The Electrician 9th. March 1951-13th. April 1951
- 22) Transactions of The Plastics Institute Vol. XIX-1957 p.35
- 23) Plastics Monograph 6
- 24) Plastics Monograph Nº11
- 25) Plastics Monograph Nº20
- 26) Plastics para mot. y electr. co-tucker y Roberts-Ed.
G. Gili-Barcelona.

- 27) Transactions of The plastics Institute Vol. XVIII-1953
Jul.1950
- 28) Journal of Applied Physics Vol.20-20 June 1949
- 29) British Plastics Vol.21-1947-p.656 p
- 30) British Plastics Vol.21-1947-p.677
- 31) Chemical Age Vol. 6-p.51-52
- 32) Materials and Methods Vol. 23-74-77-June 1951
- 33) British Plastics Vol.24-p.47-Feb. 1951
- 34) Plastics Vol.16-p.171 June 1951
- 35) Materials and Methods Vol.33-p.74-March 1951
- 36) Plastics Vol.16-p.258- Aug.1951
- 37) Plastics Vol.16-p.16- Jan 1951
- 38) Brit. J. Vol.7-p.7 - Jan.1951
- 39) Brit. J. Vol.7-p.9 - Sep.1951
- 40) British Plastics - April 1945
- 41) India Rubber World - Aug.1948
- 42) J.S.C.L. Sept. 1947
- 43) British Plastics - Jan.1948
- 44) J.appl.phys.1949-21-140
- 45) J.Polymer Sci.1946-1-90
- 46) J.Polymer Sci.1947-41-178
- 47) British Plastics March 1945 and May 1945
- 48) British Plastics Vol.118-1944-p.192
- 49) J.Polymer Sci.1944-21-119
- 50) Plastics Vol.VIII-p.384-1947
- 51) Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 1903-
Vol.35-1904
- 52) Comptes Rendus 1908-1945-p.1213
- 53) Rayon Gen. de Caoutchouc Vol.29-1910 1933
- 54) Rubber Age Vol. 458-1947-1703

- 55) Chem. Rev. Vol. 3-353 (1931)
- 56) Trans. Faraday Soc. 1944-Vol. 40-p. 217-p. 6
- 57) Helveticus Chimica Acta 1951-13-865
- 58) Helveticus Chimica Acta 1951-17-726
- 59) Trans. Faraday Soc. 1944-4-261
- 60) Justus Liebig's Annalen der Chemie - 1955-517-75
- 61) Ind. Eng. Chem. 1936-28-1123
- 62) Comp. Rend. 1919-109-665
- 63) Nature Vol. 111 1112- Oct. 1944
- 64) Faraday Soc. Symposium 97-313-Sept. 1955
- 65) Rubber Age 66-93-Oct. 1949
- 66) India Rubber World 13-57-March 1950
- 67) Ind. Eng. Chem. 48-32-Rev. 1956
- 68) Modern Plastics Vol. 13-266-p. 34
- 69) Modern Plastics Encyclopedia 1946-47-48-50-52
- 70) El. Eng. 23-1946-1-66
- 71) Zeitschrift Vol. 86-(1942)-41-62
- 72) Historie Plastique 16-(1950)-9-171
- 73) British Plastics 23-(1950)-257-115
- 74) Wire and Wire Products 25-(1950)-401/406
- 75) Plastique Informations 1951-2214
- 76) Transactions of I.M.I. Vol. 22-1st-June 1955-p. 29
- 77) Transactions of The Plastics Institute Vol XVIII-2233
- 78) British Plastics Vol. 23-22359-p. 103
- 79) British Plastics Vol. 23-(1950)-164
- 80) Wire and Wire Products 25-Aug. 1950, -3 Sp. 641
- 81) India Rubber World 32-March 1951-23-p. 306
- 82) Rubber Age Vol. 68-113

- 83) Rubber Age Vol. 38--6--March 1946
- 84) Industria y Quimica Vol XLII-#83-p.59
- 85) Modern Plastics Vol. 29-#12-p.111
- 86) Modern Plastics Vol. 29-#12-p.99
- 87) Ind. Eng. Chem. 42-2170-(1950)
- 88) Ind. Eng. Chem. 41-665-(1949)
- 89) Modern Plastics Vol. 30-#10-p.130
- 90) Transactions of the Plastics Institute Vol XIX-#238-p.23
- 91) Transactions of The Plastics Institute Vol XIX-#238-p.46
- 92) J. Appl. Phys. 17-(1946)-p.458
- 93) J. Appl. Phys. 15-(1944)-p.p.360
- 94) Proc. Intern. Rheol. Congress 1946-part. 2a-p.103
- 95) Ind. Eng. Chem. Vol. 45-#5-p. 989-992
- 96) Math. pure appl. Series 2-13-377-(1868)
- 97) Ind. Eng. Chem. 37-54-(1945)
- 98) J. Polymer Sci. 2-173-p.147
- 99) Ind. Eng. Chem. 40-2319-(1948)
- 100) Inst. Mech. Engrs. Trans. 156-62 (1947)
- 101) Mem. Acad. Sci. Paris - 6(1821)
- 102) Trans. Roy Soc. A. 177-157-(1886)
- 103) British Plastics 25-100 (1950)
- 104) Engineering 162-353- (1946)
- 105) Engineering 114-606- (1922) 126-249-385 (1928)
- 106) Introduction to mechanics of viscous flow p.10 New York, Dover Pub. Inc. 1946
- 107) Extrusion of plastics, rubber and metal by Simonds New York, Reinhold Pub. Corp. 1952
- 108) Transactions of the Plastics Institute Vol. XX #239-p.91
- 109) Transactions of The Plastics Institute Vol. XVIII #233
- 110) Modern Plastics Vol. 24-(Oct. 1946)-#12-p.134

- 111) India Rubber World Vol. 122 (June 1950)-Nº 3 -p.306
- 112) India Rubber World Aug. 1948
- 113) Wire Oct. 1943
- 114) J.S.C.I. Sept. 1947
- 115) Material Técnico de las siguientes compañías diseñadoras de extruidores
- The Standard Machinery Co., Mystic, Connecticut, U.S.A.
 - John Royle & Sons, Patersons, New Jersey, U.S.A.
 - R.H. Windsor Ltd. 16 Finsbury Sq., London, England.
 - National Rubber Machinery Co. Akron 8 , Ohio, U.S.A.
 - Allen Extrusion Machine Division, Cleveland 11, Ohio, U.S.A.
 - Industrial Ovens Inc., Cleveland, Ohio, U.S.A.
 - Modern Plastics Machinery Corp. New Jersey, U.S.A.
- 116) Material técnico de las siguientes compañías fabricantes de resinas termoplásticas, plastificantes y otros ingredientes de las resinas de p.v.c.
- Carbide and Carbon Chemicals Co. 30 East 42nd, St. New York, U.S.A.
 - Emery Industries Inc. Cincinnati , Ohio, U.S.A.
 - The Baker Castor Oil Co., U.S.A.
 - National Lead Co., 111 Broadway, New York, U.S.A.
 - Witco Chemical Co. 295 Madison Ave., New York, U.S.A.
 - Hooker Chemicals, Niagara Falls, New York, U.S.A.
 - B.F. Goodrich Chemicals, Co. Rose Building, Cleveland 15 Ohio, U.S.A.
 - EastmanKodak Co., Rochester 4, New York, U.S.A.
 - Du Pont de Nemours & Co. 350 Fifth Ave, New York, U.S.A.
 - Bakelite Division, 30 East 42 nd. St. New York, U.S.A.
 - Dow Cornign Corp., Midland Michigan, U.S.A.
 - Omni Products Corp. 460 Fourth Ave, New York, USA.