

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**Estudio Técnico de la Influencia que el Método de Aplicación
Tiene Sobre la Impermeabilidad a los Gases y
Vapores de un Recubrimiento de Copolimeros
de Policloruro de Vinilideno (PVDC)**

T E S I S

Que para obtener el título de :
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a :

JOSE ANTONIO DIB MERCADO

y

GILDEBRANDO GONZALEZ MARTINEZ

H

México, D. F.

1975



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
ADQ. 1975
FECHA 1975
PROC. H. 94



QUÍMICA

HONORABLE JURADO.

PRESIDENTE	PROF. ROBERTO ENRIQUEZ MENDOZA
VOCAL	PROF. ENRIQUE GARCIA GALEANO
SECRETARIO	PROF. JOSE LUIS PADILLA DE ALBA
1er. SUPLENTE	PROF. FERNANDO ITURBE HERMAN
2° SUPLENTE	PROF. RUBEN BERRA COSS

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA :

CELLOPRINT, S. A.

ASESOR DEL TEMA :

PROF. ROBERTO ENRIQUEZ MENDOZA.

Al Todopoderoso, a mis familiares y amigos.

Agradezco la valiosísima y desinteresada colaboración
y dirección del Sr. Ing. Quím. Roberto Enríquez Mendoza,
así como el apoyo del Sr. Carlos Almada Trapero.

PROPOSITO DE LA TESIS

Al elaborar el presente trabajo nos proponemos:

- 1) Infomar acerca de los copolímeros de PVDC utilizados en la industria de los envases flexibles; Recopilar toda la información reciente y ordenarla para poder establecer una comparación de las distintas técnicas de recubrimiento de los copolímeros.
- 2) Hacer notar la imperiosa necesidad de utilizarlos en el campo de los materiales de empaque, debido a su facilidad de producción y diversidad de propiedades.
- 3) Demostrar la superioridad de los empaques anteriores con respecto a otros materiales de empaque, principalmente en lo que se refiere a costos.
- 4) Ya aceptado su empleo, establecer diferencias entre los empaques y mencionar los factores que pueden favorecer o perjudicar sus propiedades. Presentar métodos de laboratorio para medir sus propiedades.

- 5) Seleccionar según las especificaciones un equipo que produzca — el recubrimiento más barato y con un panorama de lo más extenso- posible como para que pueda utilizarse en diversos campos, para — lo cual hay que hacer pruebas de propiedades variando las condi- ciones de aplicación hasta llegar al óptimo y, al encontrarlo, bus- car en el mercado la maquinaria que más se asemeje a la requeri- da para hacer los recubrimientos.

I N D I C E

	Página
CAPITULO I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO II.- EQUIPO INDUSTRIAL QUE SE UTILIZA PARA HACER RECUBRIMIENTOS DE COPOLIMEROS DE PVDC	31
CAPITULO III.- EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA MEDIR EL GRADO DE IMPERMEABILIDAD A LOS GASES Y VAPORES	47
CAPITULO IV.- EXPERIMENTOS VARIANDO LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LOS EQUIPOS INDUSTRIALES PARA CONSEGUIR UNA APLICACION UNIFORME DE RECUBRIMIENTO	91
CAPITULO V.- SELECCION DEL EQUIPO INDUSTRIAL, DEL TIPO DE COPOLIMERO Y DEL METODO DE APLICACION PARA RECUBRIR CON COPOLIMERO DE PVDC ^{20%} mes DE GLASSINE PARA SU USO COMO MATERIAL DE EMPAQUE DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y JABONES..	115
CAPITULO VI.- COSTOS	130
CAPITULO VII.- CONCLUSIONES	133
CAPITULO VIII.- BIBLIOGRAFIA	136

C A P I T U L O I

INTRODUCCION

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

En el presente trabajo se hace una recopilación de las propiedades de los recubrimientos de copolímeros de PVDC sobre distintos materiales de empaque y se investiga la influencia que sobre la impermeabilidad a los gases y vapores, tiene tanto el tipo de copolímero como el método de aplicación. El trabajo esta orientado, principalmente, hacia el empleo de materiales flexibles recubiertos con PVDC como empaque de alimentos, medicinas y jabones de tocador.

Los alimentos se empaacan por 4 razones principales: 1) proteger al producto de contaminación por microorganismos, macroorganismos y de la suciedad; 2) retardar o prevenir la pérdida o la ganancia de humedad; 3) Proteger al producto del oxígeno y de la luz; y 4) facilitar el manejo.

En las siguientes líneas trataremos lo relacionado con envases flexibles, películas de envoltura, hojas, papeles y cartoncillo, con los cuales está envuelto un producto.

Los materiales de empaque flexible deben poseer las siguientes propiedades para poder ser usados en el campo de los alimentos:

- 1) Impermeabilidad a la humedad, oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono y productos volátiles.
- 2) Estabilidad dimensional a los cambios de temperatura, humedad, etc.
- 3) Rango de temperatura de sellado para poder utilizarse prácticamente.
- 4) Resistencia a las grasas.
- 5) Costo razonable.
- 6) Resistencia a romperse, perforarse y arrugarse.
- 7) Mantenerse libres de olores contaminantes.
- 8) Apariencia y textura, brillo, transparencia y facilidad para imprimirse.

Los empaques de hojas plásticas con laminado metálico, presentan — casi todas las propiedades requeridas para alimentos estériles excepto la fuerza, por — lo que durante el manejo se rompen y se parten.

Al aumentar el espesor de las hojas, se reduce la permeabilidad a — los gases y vapores. Otro método para reducir la velocidad de transmisión de gases

y vapores, es aplicar a la superficie de la película un recubrimiento de un material -- que presente una velocidad de transmisión menor que el material básico de la pelícu-- la, por ejemplo, compañías productoras de películas, reportaron que un recubrimiento de una película termoplástica, aplicada a 0.0127 mm de espesor de una película de -- poliéster lo hará temosellable, y reducirá la transmisión de vapor de agua en un 77% y la transmisión de gas en un 89%.

Debe conocerse también el hecho de que los alimentos, para los cua les se han usado empaques flexibles, puedan tolerar durante su vida de anaquel, pe-- queños cambios en el contenido de humedad, así como en la composición del gas den-- tro del empaque, particularmente respecto al contenido de oxígeno y nitrógeno, que -- son los principales componentes del aire.

PROPIEDADES Y FUNCIONAMIENTO DE LOS EMPAQUES FLEXIBLES.

El tamaño relativamente grande y la conformación en forma de cade na de las moléculas poliméricas de los materiales utilizados en empaques flexibles pa-- ra alimentos, explican la fuerza y flexibilidad de los mismos.

Los envases flexibles, están expandiendo rápidamente su campo de -- acción en la industria alimenticia a causa de que tienen una combinación de los atri-- butos deseados, es decir, son económicos, ligeros y compactos. La transparencia proporciona razones adicionales para usar los envases flexibles en algunos productos -- como dulces, nueces, carne fresca, queso, productos deshidratados de todas clases, -- vegetales, cereales crudos y procesados. Estos alimentos deben estar preservados en recipientes que los protejan completamente de los cambios en el contenido de hume--

dad, así como del oxígeno del aire. Por las ventajas anteriores el uso de empaques flexibles se justifica ampliamente.

La vida de anaquel de alimentos empacados involucra dos factores -- principales: la reactividad del alimento con las sustancias que deterioran (o influencias) y la capacidad del empaque para proteger al alimento de esas sustancias (e influencias). Existe un método seguro, pero lento, para determinar la vida de anaquel de alimentos empacados, que consiste en un análisis bien planeado del alimento en su empaque, sometido a un rango completo de condiciones de almacenaje, lo que se obtiene en la práctica.

Existen otros análisis más rápidos, que consisten en almacenar a altas temperaturas, pero antes de que se puedan interpretar los resultados del análisis, debe de establecerse la correlación de la vida de anaquel a las temperaturas que se presentarán durante su manejo comercial.

Los análisis de laboratorio que proporcionan rápidamente información de naturaleza comparativa, consisten en someter el alimento desempacado a condiciones controladas de influencias deteriorantes como las que se encuentran en la práctica, y mediciones objetivas de las propiedades de los materiales de empaque, de las cuales depende su capacidad de protección.

La descomposición de los alimentos puede ser química, biológica o física. En un sentido estricto todas pueden ser incluidas en el término de " descomposición química ", ya que los cambios de origen biológico (descomposición) y aquellos que tienen criterios físicos como color, sabor y cambio en la textura son básica-

mente químicos.

Después de los microorganismos, el oxígeno es probablemente el más destructivo de los agentes que tienen acceso a los alimentos en empaques flexibles. De ahí que los análisis empleados con mayor frecuencia para indicar la vida de anaquel del alimento, sean aquéllos que revelen el o los efectos de la oxidación. Estos efectos tienen mayor relevancia en alimentos que contienen grasas aunque el oxígeno produce también cambios en la calidad de alimentos sin grasa o con contenido muy pequeño. El oxígeno produce también cambios en el color, como ocurre en las carnes.

CLASIFICACION FUNCIONAL DE EMPAQUES.

Las bolsas de papel fueron las primeras que se utilizaron en las tiendas de abarrotes. Se usan junto con las de tela y las redes de malla para cereales, harina, azúcar, sal, frutas y vegetales para quienes la transmisión de gases y vapores no es importante. Los problemas de esos recipientes están relacionados con la fuerza física y/o protección del contenido de los roedores y del polvo.

Las bolsas de películas y hojas se usan cuando los factores requeridos incluyen protección contra la transmisión de humedad, insectos y otros.

La facilidad y efectividad del sellado son cualidades de extrema importancia en el uso de los empaques flexibles.

La necesidad de aplicar un adhesivo complica la operación de sellado e impone la necesidad de encontrar un adhesivo propio para cada aplicación particular. Consecuentemente, los materiales que tienen suficiente termoplasticidad y

un punto de ablandamiento dentro de un rango conveniente de temperatura para hacer posible el temosellado, tienen una ventaja sobre las películas que no poseen esta propiedad.

I.- HOJA DE ALUMINIO.

Las ventajas de la hoja de aluminio como material de empaque son: —

1) Area de envoltura muy grande por Kg. de material; 2) Opacidad; 3) Impermeabilidad casi absoluta al vapor de agua y gases pesados y muy buena impermeabilidad a gases ligeros.

La hoja de aluminio no es afectada por la luz del sol, no se quema, no absorbe, no tiene cambios dimensionales con las variaciones de la humedad. El contacto ocasional con el agua no afecta a la hoja de aluminio, pero si empacamos productos higroscópicos pueden reaccionar, particularmente si contienen sal o sal y un ácido orgánico, como el queso y la mayonesa.

En general los dulces, la leche, carnes sin salar, mantequilla y margarina no corroen el aluminio. Los ácidos débiles que contienen los alimentos no atacan al aluminio.

Si el aluminio va a estar en contacto con materiales corrosivos, se le debe recubrir. Por razones comerciales y para aumentar la fuerza se utilizan laminaciones de aluminio con películas plásticas y papel.

II.- CELOFAN

Originalmente el término celofán se utilizó como un nombre exclusi

vo para películas de celulosa regenerada. El celofán tiene gran importancia en el campo de los envases flexibles por su transparencia, poca elasticidad, resistencia al calor, insolubilidad a los aceites y al agua.

Se produce precipitando la solución de viscosa con sales de amonio. El celofán seco es impermeable a los gases, al mojarse pierde mucha impermeabilidad. Existen una gran variedad de productos que tienen al celofán como base. Quizá el defecto del celofán sea su flexibilidad tan baja, sobre todo cuando esta seco, ya que se rompe con facilidad.

Por otro lado la rigidez del celofán facilita su manejo mecánico. A causa de su facilidad para imprimirse, el celofán se usa en laminaciones con otras películas plásticas, no es termosellable celofan con celofán, pero con un recubrimiento es posible sellarlo con un rango muy amplio de temperaturas.

A causa de su propiedad hidrofílica, las películas de celofán no deben manejarse para usarse inmediatamente después de exponerlos por un período grande a humedades bajas. Primero hay que regresarlos a condiciones de ambiente; de otra forma, es fácil que la película se vuelva quebradiza.

III.- ACETATO DE CELULOSA.

De propiedades muy parecidas al celofán excepto en dos aspectos: - El celofán es mejor barrera a la transferencia de vapor de agua que a la transferencia de gases, en el acetato de celulosa ocurre lo contrario. A causa de la permeabilidad a los gases se emplea para envolver vegetales y frutas. De no ser por su eleva-

da velocidad de transmisión de vapor de agua, podría utilizarse para empaquetar carne fresca, y asegurar 48 horas de vida de anaquel.

El acetato de celulosa se sella comercialmente con solventes adhesivos.

IV.- POLIESTIRENO

El poliestireno, un polímero del estireno, no es muy usado en forma de película porque su módulo de elasticidad está dentro de un rango adecuado para películas sólo a temperaturas relativamente altas (mayores de 80°C). Su importancia se basa en la resistencia a los cambios por radiación inducida; es tres veces más resistente que el polietileno, y es el segundo de los plásticos usados en envases flexibles.

El copolímero de estireno y acrílo nitrilo puede hacerse flexible si se orientan sus moléculas de una forma biaxial. Esta orientación se puede lograr al estirarlo a elevadas temperaturas, controlando cuidadosamente lo anterior. La película sin orientar es muy quebradiza.

V.- POLIETILENO

Estructuralmente la molécula de polietileno es una cadena de moléculas de etileno muy parecidas a la parafina, excepto por el tamaño de la molécula. El polietileno es el polímero de mayor uso actualmente. Al material ordinario, se le conoce como polietileno de alta presión (baja densidad), y se forma al comprimir al etileno a más de 1000 atmósferas de presión y altas temperaturas.

El precio tan bajo es una de las ventajas de este material. No se conoce un solvente del polietileno a temperatura ambiente. Las desventajas del polietileno son su reducida transparencia, su permeabilidad relativamente alta a los gases y su baja resistencia a dividirse por el calor. Esta última desventaja se ha reducido al formar el polietileno por el proceso de "Ziegler" y temperatura baja pero con ayuda de un catalizador (Polietileno de baja presión).

Los rangos de densidad de las películas de polietileno comercial son:

Baja densidad, 0.910 a 0.925

Media densidad, 0.926 a 0.940

Alta densidad, 0.941 a 0.965

Las bolsas de polietileno se utilizan para vegetales y frutas frescas.

VI.- CLORURO DE HULE HIDRATADO.

El cloruro de hule hidratado es mejor conocido como " pliofilm ". — Es termoplástico transparente y elástico. Debido a sus cualidades de termosellado — de película a película su uso es muy parecido al polietileno. Se usa solo y laminado como empaque de una gran variedad de alimentos sólidos, incluyendo repostería, — dulcería, productos lácteos, productos de carne, frutas y vegetales congelados y alimentos congelados. Es especial para envolturas elásticas de ciertos artículos que — producen frescura, porque se adhiere a la superficie de los artículos empacados.

El pliofilm se manufactura con un contenido bajo de plastificante — (grado N) o con un alto contenido (grados " FF ", " FM ", " FM-1 ", " HP " o — —

" SS "). Las propiedades de barrera y la fuerza de la película dependen linealmente de la cantidad de plastificante. Para empaques que se utilizarán a bajas temperaturas, se requiere un plastificante pesado.

VII.- POLICLORURO DE VINILIDENO (PVDC).

El policloruro de vinilideno y sus copolímeros, serán tratados detalladamente en el desarrollo del presente trabajo.

VIII.- POLIESTER

Los polímeros de poliéster son películas de fuerza desusual y muy ligeros. Su composición depende de los alcoholes y ácidos de que están formados. -- Uno de los más usados es el Tereftalato de polietileno. Un poliéster de Etilen Glicol y ácido tereftálico, el " Mylar " fue producido comercialmente por primera vez en 1954, y es un polímero cristalino con moléculas orientadas biaxialmente en planos paralelos a la superficie de la película. Tiene mayor fuerza que el celofán y el acetato, pero su barrera a gases y vapores es inferior. A causa de su fuerza y estabilidad a altas y bajas temperaturas, las películas de poliéster se usan para envolturas de alimentos congelados y productos alimenticios que deban calentarse en agua hirviendo antes de abrir el paquete, para lo cual se lamina con polietileno.

La efectividad del poliéster compensa en parte el costo tan alto de la resina.

El poliéster se vuelve termosellable tratándolo con alcohol bencílico. Las temperaturas de sellado son superiores a 137.7°C , por lo que es necesario recu-

brir las varillas con teflón.

Para temperaturas que no pasen de 121.1°C , se recomienda esta película con recubrimiento.

IX.- POLIPROPILENO

Una de las ventajas del polipropileno es el bajo costo de la materia prima, además de su baja densidad, baja velocidad de transmisión de vapor de agua, rigidez, propiedades dieléctricas y resistencia a romperse con la tensión e impactos y resistencia al calor, extrema dureza y gran resistencia química.

En empaques de alimentos se usa en repostería y productos de dulcería.

X.- VINILO

Las películas de vinilo poseen una gran variedad de propiedades, dependiendo de:

- 1) El método de producción;
- 2) La combinación de resinas de vinilo usadas en su fabricación;
- 3) La cantidad de plastificante.

Las propiedades pueden variar de rígido y lustroso a suave y flexible. La película se puede formar por moldeo o por extrusión.

La resina de vinilo tiene una capacidad de sellado superior en fuer-

za a la de otras resinas como polietileno.

XI.- PAPEL

El papel y el cartoncillo están hechos de pulpa de madera y papel de desperdicio; con o sin blanquear, con o sin relleno y recubiertos o con un tratamiento especial.

Algunos papeles se producen intencionalmente con alta capacidad de absorber humedad.

Los vasos de cartón pueden ser recubiertos con alguna laca o cera para darle una barrera a la humedad y hacerlos termosellables.

CONVERSION.

La conversión es el proceso mediante el cual se imprimen y se combinan materiales flexibles con el fin de obtener productos de empaque con ciertas características deseadas. La industria de la conversión es aquella que organizando en amplia escala el proceso descrito, obtiene y optimiza combinaciones de materiales para usos comerciales y de consumo general.

El proceso de la conversión parte de materiales simples llamados sustratos; los cuales pueden ser de diversa naturaleza. Estos materiales poseen ciertas características físicas, como resistencia al calor, a la humedad, al agua y a muchas sustancias químicas; flexibilidad, brillo, transparencia, etc; dependiendo del tipo de material. Si estas propiedades son orientadas y combinadas pueden ser de gran utili-

dad para proteger una extensa gama de artículos de consumo general.

Requisitos que se deben cumplir:

- 1) Usar adecuadamente los materiales primarios de los cuales se parte, como: adhesivos, sustratos, aditivos, etc.
- 2) Emplear el proceso de manufactura apropiado en cada caso.
- 3) Trabajar en las condiciones correctas de operación.

Los procesos de manufactura más comúnmente empleados en la industria de la conversión son la impresión, la laminación y el recubrimiento.

Un sustrato simple generalmente no posee todas las características de un buen empaque, por lo que a menudo es necesario modificarlo por medio de alguno de los métodos siguientes o de ambos:

- a) Aplicar uno o varios recubrimientos al (los) sustrato (s) con el fin de eliminarle (s) propiedades indeseables y/o añadirle propiedades favorables.
- b) Aplicar uno o varios recubrimientos al sustrato con el objeto de unirlo a uno o más sustratos para proporcionarle características complementarias requeridas para su uso específico.

Los tipos de recubrimiento generalmente usados en la conversión son: ceras, lacas, primarios, adhesivos y otros recubrimientos especiales; sin embargo a —

veces se usa el término adhesivos para abarcarlos a todos.

Generalmente los adhesivos constan de una parte sólida (parte activa en la adhesión) y una parte líquida (solvente).

El proceso mediante el cual se elimina el solvente se llama secado; - y el proceso mediante el cual se lleva a cabo la polimerización de las partes activas - del adhesivo se llama curado . El curado es el que proporciona al polímero final las características adhesivas y/o cubrientes, pero para que éste se pueda llevar a cabo - es necesario la previa evaporación del solvente .

Funciones que deben cumplir los materiales de empaque.- Los materiales de empaque fabricados en la industria de la conversión deben cumplir las si-----guientes funciones:

PROTECCION Y FUNCIONALIDAD .

- 1) Protección contra la luz.
- 2) Protección contra insectos, hongos y bacterias.
- 3) Protección contra olores extraños.
- 4) Protección contra la pérdida de olor y sabor.
- 5) Resistencia a la humedad ambiente.
- 6) Resistencia al agua.
- 7) Resistencia a los gases.
- 8) Resistencia a las grasas.
- 9) Resistencia a las sustancias químicas.

10) Resistencia a temperaturas de esterilización.

11) Resistencia a las bajas temperaturas.

FACILIDAD PARA TRABAJARSE EN MAQUINAS.

12) Debe ser sellable por medio de calor.

13) Debe poder unirse por medio de adhesivos.

14) Debe tener un coeficiente específico de fricción:

a) Con alto deslizamiento.

b) Resistente al deslizamiento.

15) Debe soltarse de la pinza de sellado al calor.

16) Debe ser resistente al sellado por calor.

COMERCIALES .

17) Debe ser brillante u opaco.

18) Debe ser resistente a la abrasión.

19) Debe ser resistente para soportar líquidos hirviendo.

20) El empaque debe abrirse fácilmente.

21) Debe cerrarse fácilmente.

22) Debe contar con impresiones o textos que denoten su identidad y especificaciones de uso.

En pocas palabras el éxito o fracaso de un producto en el mercado, -
estará determinado por estos factores como por la calidad y demanda del producto m
mo.

ruro de vinilideno fue obtenido por primera vez en 1838 por Regnault tratando cloruro de vinilo con PCl_5 y por deshidroclorinación del 1.1.2 tricloroetano por la acción de una base.

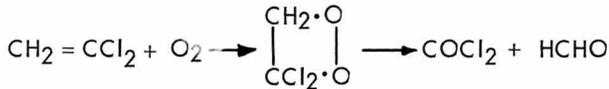
Regnault observó también su polimerización, pero no fué sino hasta un si glo después que lo produjo comercialmente la "Dow Chemical Company".

Las propiedades físicas del cloruro de vinilideno son las siguientes:

Peso molecular	96.944
Punto de fusión	- 122.1 ° C
Punto de ebullición	31.8 ° C
Presiones de vapor a:	
- 20 ° C	80 mmHg
0 ° C	215 mmHg
20 ° C	495 mmHg
30 ° C	720 mmHg
50 ° C	1430 mmHg
100 ° C	5750 mmHg
Densidad relativa	1.213
Calor específico (20° C)	0.27 cal/g ° C
Indice de refracción	1.4249
Viscosidad (20° C)	0.33 centipoises
Constante dieléctrica (20 ° C)	4.67

Es incoloro, líquido volátil con olor dulce y picante, y si está en —

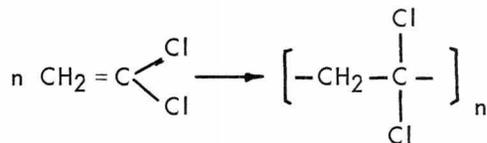
contacto con el aire es de olor ácido e irrita la piel. Por acción del oxígeno a temperatura ambiente forma un peróxido explosivo cuya descomposición produce fosgeno y formaldehído.



Aunque el cloruro de vinilideno polimeriza bajo la sola influencia de su propio peróxido, actualmente se utilizan iniciadores de la reacción por radicales libres. Por la elevada cristalinidad el polímero es insoluble en el monómero y en la mayoría de los solventes orgánicos abajo de 100 ° C. A causa de esta insolubilidad, la mayoría de los plastificantes no son apropiados, y la plastificación es frecuentemente acompañada de una copolimerización.

Estando puro polimeriza lentamente, pero puede mejorarse la polimerización agregando peróxido como catalizador, obteniéndose un polímero de cadena mayor. El nombre correcto del polímero es policloruro de vinilideno abreviado PVDC (y no cloruro de polivinilideno, como frecuentemente se traduce al español); es un polvo blanco poroso que se separa de la masa del monómero conforme se polimeriza.

La reacción química es la siguiente:



Existen dos clases principales de polímeros:

- 1) Homopolímero, formado por el mismo monómero.

2) Copolímero, formado por monómeros diferentes.

El homopolímero del cloruro de vinilideno es insoluble y su rango de ablandamiento esta entre 180 y 200 ° C, muy cercano a su temperatura de descomposición que es de 225 ° C, por lo que el margen para moldeado es muy pequeño; viendose minimizadas sus aplicaciones en el campo de los envases flexibles, pero los copolímeros especialmente el PVDC - cloruro de vinilo y el PVDC - Acrilo nitrilo se encuentran por su solubilidad y baja temperatura de ablandamiento entre los copolímeros de mayores aplicaciones comerciales. Las propiedades del copolímero dependen de la proporción del segundo monómero, la cual puede variar de 10 a 20 partes de cloruro de vinilo (abreviado VC), ó acriló nitrilo por 100 partes de cloruro de vinilideno.

El PVDC también copolimeriza con acrilatos, butadieno, halopropilenos, metacrilatos, estireno, esterés y éteres de vinilo.

El alto contenido de cloro de los copolímeros de cloruro de vinilo y cloruro de vinilideno les da resistencia al fuego, haciéndolos autoextinguibles.

Los copolímeros de PVDC - VC, reciben diversos nombres comerciales como: SARAN, DARAN, IXAN, VELON, SERPHEN, etc; pero sin duda el nombre más comercial es el de SARAN que se formó de la contracción de los nombres de Sarah y Ann, esposa e hija del introductor comercial del copolímero.

Las principales propiedades químicas del copolímero son peso molecular promedio 20,000, peso específico 1.7, temperatura de ablandamiento - - - - 120 - 140 ° C, absorción de agua despreciable, no se quema, por el contrario es autoextinguible, no tiene sabor y no es tóxico.

La relativa insolubilidad y la poca reactividad del PVDC no se altera mucho con la polimerización con VC, a la temperatura ambiente no son afectados sustancialmente por hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, ésteres, cetonas; los ácidos y bases inorgánicas tienen efectos insignificantes exceptuando el ácido sulfúrico concentrado, la resistencia al agua es magnífica.

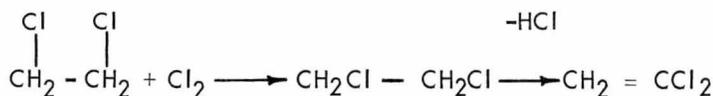
El PVDC se extruye en monofilamentos y cintas dándosele la orientación adecuada a sus moléculas por un tratamiento térmico con lo cual la resistencia a los materiales abrasivos se torna extraordinaria. Productos hechos con este material presentan gran resistencia al desgaste y a la humedad, pueden limpiarse con facilidad o incluso con limpiadores químicos fuertes, por lo que presentan grandes ventajas sobre los productos metálicos, además de su flexibilidad la cual los hace más maniobrables.

Los copolímeros de acrílico nitrilo y cloruro de vinilideno se emplean como recubrimientos plásticos proporcionando excelente protección contra la corrosión. Las emulsiones de PVDC son antiespumantes naturales y en el secado se depositan de una manera muy uniforme en películas transparentes de buenas propiedades físicas. — Estas emulsiones se emplean para tratamientos de papel y en pinturas especiales, particularmente para concreto y albañilería.

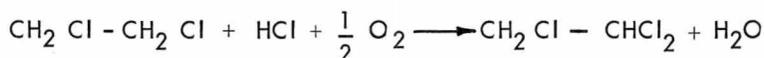
El PVDC se decolora al exponerse a la luz, pero sus propiedades casi no se modifican, por lo cual su uso en colores blancos o color pastel es muy reducido.

El dicloruro de etileno puede clorarse a 1.1.2 tricloroetano y deshi

droclorinarse hasta cloruro de vinilideno por cracking.



Algunos productores en los Estados Unidos obtienen parte de su producción de 1.1.2 tricloroetano por oxiclорación.



Existen pocos datos publicados de producción de PVDC, pero se conoce que en 1965 se produjeron más de 50 millones de Kg de homopolímeros y copolímeros de PVDC. La resina se utilizó para producción de película en grandes cantidades usándose para producir filamentos, plástico y tuberías plásticas. La velocidad de crecimiento de producción de emulsiones es la mayor.

b) Breve reseña del uso de copolímeros de PVDC como recubrimientos en materiales de embalaje.

El PVDC fue introducido en gran escala en los Estados Unidos en el campo de los envases flexibles en el año de 1953, y sus aplicaciones derivan de las propiedades que tiene, como son: reducida permeabilidad al vapor de agua y a los gases, buena barrera al paso de grasas y regular barrera al paso de la luz ultravioleta.

Los recubrimientos de PVDC sobre distintos sustratos se hacen partiendo de soluciones de la resina en solventes hidrocarbonados o de emulsiones acuosas.

Los valores de WVTR (propiedades de barrera a la transmisión de vapor de agua, medida en $\text{g H}_2\text{O}/\text{m}^2$ en 24 hrs a 37.8°C y 90% de humedad relativa), y GTR (propiedades de barrera a la transmisión de gases, medida en cm^3 de gas/ m^2 - en 24 hrs y una atmósfera de presión), dependen del método de aplicación y de la cantidad depositada.

En las gráficas (1) y (2) se hace una comparación de diversos pesos de PVDC contra el WVTR, así como el efecto que tiene la aplicación de diversas cantidades de PVDC (en gr) sobre el WVTR y GTR de varios sustratos.

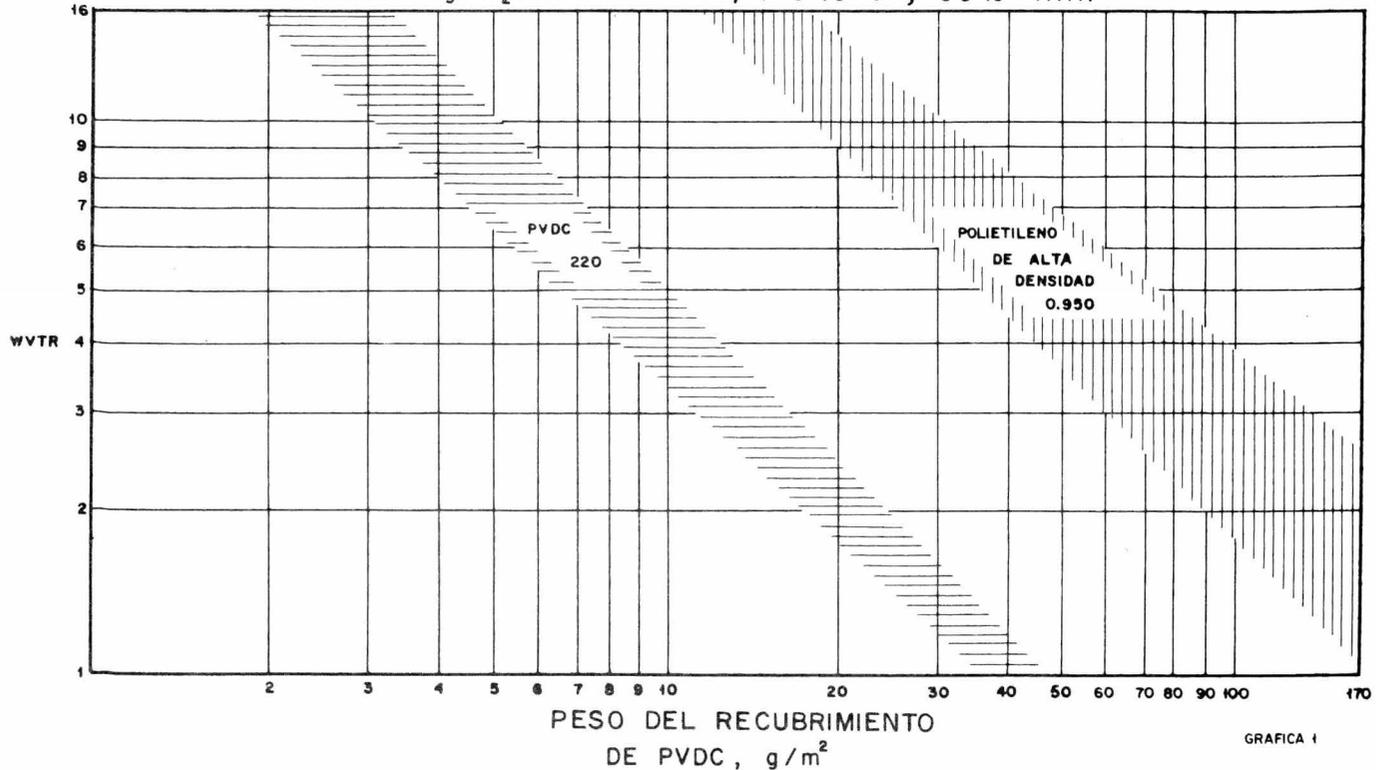
Las principales aplicaciones del PVDC se deducen de las gráficas anteriores y son principalmente las siguientes:

- a) Empaque al vacío de carnes frías,
- b) Empaques de quesos,
- c) Fritos,
- d) Café,
- e) Galletas y pastas,
- f) Productos deshidratados,
- g) Farmacéuticos y
- h) Efervescentes

El empleo de recubrimientos de PVDC sigue ganando popularidad tanto en los Estados Unidos como en Europa debido a que por la creciente escasez de hoja de aluminio, los recubrimientos de PVDC están sustituyendo con buenos resultados

PROPIEDADES DE BARRERA A LA TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA (WVTR), DE UNA PELICULA RECUBIERTA CON POLICLORURO DE VINILIDENO (PVDC) CONTRA UNA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD .

UNIDADES: $\text{g H}_2\text{O/m}^2$ en 24 hrs, a 37.8°C y 90% H.R.



GRAFICA 1

PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNAS PELÍCULAS RECUBIERTAS CON PVDC

PELÍCULA	Calibre en micrones	Peso del Recubrimiento, g/m ²	Número de Recubrimientos.	WVTR, g (2)	Transmisión de oxígeno (3), (cc)	TERMOSELLADO (4)		
						Temperatura (°C)	Tiempo de residencia de los quijados cerrados	Presión de los quijados
Poliamida sin PVDC con PVDC	25	—		399.9	69.76	—	—	—
	25	4.72	1	10.54	10.08	148.9	1 seg.	1.4 Kg/cm ²
Policarbonato sin PVDC con PVDC	25	—		167.4	7208.18	121.3	1 seg.	1.4 Kg/cm ²
	25	3.26	1	12.4	10.69	176.7	1 seg.	1.4 Kg/cm ²
Poliéster sin PVDC con PVDC	12.50	—		49.91	100.76	—	—	—
	12.50	4.72	1	11.32	11.47	148.9	1/2 seg.	1.4 Kg/cm ²
Polietileno sin PVDC con PVDC	37.50	—		12.4	5099.98	107.2	1/2 seg.	1.4 Kg/cm ²
	37.50	4.89	1	3.1	9.30	148.9	1/2 seg.	1.4 Kg/cm ²
Polipropileno sin PVDC con PVDC	16.25	—		13.49	1550.15	176.7	1 seg.	1.4 Kg/cm ²
	16.25	3.91	1	6.2	21.70	135.0	1/2 seg.	1.4 Kg/cm ²
PVC (1) sin PVDC con PVDC	25	—		—	6045.57	176.7	1 seg.	1.4 Kg/cm ²
	25	5.54	1	6.98	18.60	176.7	1 seg.	1.4 Kg/cm ²

1) Policloruro de vinilo.

2) g H₂O/m² en 24 hrs, a 37.8 °C y 90% de humedad relativa.

3) cm³ de oxígeno por m² en 24 hrs, a una atmósfera de presión.

4) Datos obtenidos usando un termosellador piloto.

algunas de las aplicaciones de la mencionada hoja.

La barrera del aluminio a la permeabilidad de gases, vapor de agua y — grasas en general, es superior a la de cualquier recubrimiento de PVDC, pero se está trabajando activamente en todo el mundo para conseguir que nuevos copolímeros de cloruro de vinilideno con diversos monómeros secundarios mejores a los actuales por lo que respecta a la barrera y a las posibilidades de su aplicación, es decir, mejores características de mojado de la superficie, mejor deslizamiento, mayor flexibilidad de la micro-película depositada, etc.

Los copolímeros actuales de PVDC no son la última palabra por lo que respecta a las propiedades de barrera ó de maquinabilidad, la química abre perspectivas ilimitadas en el empleo de copolímeros de PVDC de propiedades muy superiores a las actuales, por lo que el futuro del PVDC en el mundo es muy amplio.

c) Distintos tipos de copolímeros comerciales de PVDC.

El análisis de las emulsiones de PVDC mas comunmente empleadas en Estados Unidos y Europa es el siguiente:

I - BASF Colors & Chemical, Inc.

845 Third Avenue, New York

- | | | | | |
|-----|--------------|----------|---|--------------------|
| 1.- | DIOFAN 190 D | PVDC 85% | - | METIL ACRILATO 15% |
| 2.- | DIOFAN 230 D | PVDC 85% | - | METIL ACRILATO 15% |

II- Dewey & Almy Chemical (Grace)

- | | | | | | | |
|-----|-----------|----------|---|--------------------|---|------------------|
| 1.- | DARAN 202 | PVDC 85% | - | BUTIL ACRILATO 10% | - | ACRILONITRILO 5% |
| 2.- | DARAN 210 | PVDC 88% | - | METIL ACRILATO 10% | - | ACRILONITRILO 2% |
| 3.- | DARAN 211 | PVDC 85% | - | METACRILATO 10% | - | ACRILONITRILO 5% |

III- Glidden Company

2701 North Carles Street

Baltimore, Pennsylvania

- | | | | | |
|-----|-------------|----------|---|-------------------|
| 1.- | NU FLEX 712 | PVDC 85% | - | ETIL ACRILATO 15% |
| 2.- | NU FLEX 714 | PVDC 90% | - | ETIL ACRILATO 10% |

IV - Rohm & Hass Company

Washington Square, Philadelphia

1.- RHOPLEX E-216 PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%

V - B. F. Goodrich Chemical Co.

3135 Euclid Avenue, Cleveland

1.- GEON 652 PVDC 85% - ETIL ACRILATO 15%

2.- GEON 650 x 6 PVDC 85% - METACRILATO 15%

3.- GEON 650 x 12 PVDC 85% - METACRILATO 15%

VI - Morton Chemical Co.

110 North Wacker Drive, Chicago

1.- SERFENE 400 PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15%
ACRILONITRILO 5%2.- SERFENE 3150 PVDC 88% - METACRILATO 10%
ACRILONITRILO 2%3.- SERFENE H31 PVDC 88% - METACRILATO 10%
ACRILONITRILO 2%4.- SERFENE H30 PVDC 88% - METACRILATO 10%
ACRILONITRILO 2%

De lo antes mencionado se concluye que el principal campo de acción de los copolímeros de PVDC está en la sustitución del aluminio de las estructu-

ras de empaque que actualmente lo llevan.

British Cellophane Ltd., por otra parte, considera que mejorando las condiciones de aplicación de PVDC con celofán, empleando emulsiones en vez de soluciones y el equipo adecuado de recubrimiento, se amplían las posibilidades del celofán como material de alta barrera, el Briphane es un ejemplo.

En México, el mercado para las aplicaciones de recubrimientos con PVDC es tan grande o mayor que el de la hoja de aluminio, pero hasta la fecha sólo se atiende una parte ya que la importación de emulsión en el año de 1973 fue de 250 toneladas de las cuales el 80% corresponde a sustituciones de aluminio.

Lo anterior significa que considerando un promedio de 15 gramos por metro cuadrado de sólidos, se recubren con PVDC 10 millones de metros cuadrados y tomando como promedio de peso de las estructuras recubiertas 80 gramos, se llega a la conclusión de que solo 600 toneladas por año se están recubriendo de PVDC sin contar desde luego con el celofán que se recubre.

Lo anterior significa que hay un gran mercado que no se atiende, -- porque las estadísticas demuestran que el mercado de laminación con aluminio, es de cerca de 300 toneladas anuales.

Otra aplicación nueva de los copolímeros de PVDC, en México, se deriva del precio del polietileno de baja densidad y de su racionamiento, consecuencia de la escasez puesto que en algunos casos puede resultar más barato usar como temosellante PVDC y no polietileno y además la estructura mejoraría sus propiedades de barrera.

Como consecuencia de haberse creado en México una fracción arancelaria específica para la importación de emulsiones de PVDC, el precio del gramo — de sólidos al lado de la máquina (o sea listo para aplicarse) es de \$ 0.02397.

C A P I T U L O I I

EQUIPO INDUSTRIAL QUE SE UTILIZA
PARA HACER RECUBRIMIENTOS DE CO
POLIMEROS DE PVDC.

METODOS Y EQUIPO DE RECUBRIMIENTO.

La máquina ideal para hacer recubrimientos de PVDC sería aquella capaz de aplicar, en condiciones libres de espuma, una micropelícula de espesor constante del polímero, independientemente de las variaciones de calibre del sustrato, — desafortunadamente, hasta la fecha no ha sido inventado tal equipo y entonces un criterio más realista sería éste: El mejor equipo es aquel diseñado para que se consiga la mejor barrera con el menor peso de PVDC por unidad de superficie.

Los Métodos de recubrimiento más empleados son:

- a) Cuchilla ó Navaja de Aire (Air Knife)
- b) Barra igualadora ó distribuidora (Metering rod)
- c) Rodillo a contra -rotación (Reverse Roll)
- d) Rotograbado (Gravure)
- e) Cortina (curtain Coater)
- f) Recubrimiento por contacto forzado (Kiss Coating)

El método de la cuchilla de aire es uno de los mejores para el recubrimiento uniforme de PVDC produciendo además una micropelícula muy tersa lo que facilita el proceso de impresión.

Se recomienda principalmente para el recubrimiento de papeles como glassine ó el llamado " pouch paper", no es recomendable para el recubrimiento de películas extensibles como polietileno, nylon, polipropileno, etc.

Es adecuado para una gama muy amplia de pesos depositados que van desde 4 hasta 30 gramos por metro cuadrado.

Por este método se consiguen velocidades hasta de 900 metros por minuto.

La micropelícula depositada es bastante continua por lo que las propiedades de barrera son buenas, llegando en algunos casos a compensar las fallas de calibre del sustrato.

Sin embargo el método tiene tendencia a producir espuma y a atrapar microscópicas burbujas de aire, que son indeseables ya que afectan la barrera.

Es asunto de controversia la mejor ubicación de la navaja de aire, ya que los operadores de las distintas plantas tienen muy diversas opiniones y los resultados obtenidos de experimentos de laboratorio son contradictorios.

El equipo auxiliar para la instalación de la navaja de aire y la navaja misma son costosos.

Diversos experimentos demuestran que la mejor distancia a la que se puede ubicar la boquilla de la navaja con respecto al sustrato es de 0.25 cm. y que la abertura de la boquilla debe ser de 0.05 cm. El mejor ángulo es el de 7.5° sobre la horizontal como puede verse en las ilustraciones.

El rodillo de aplicación debe girar en el mismo sentido en que el sustrato avanza.

El rodillo debe aplicar entre 3 y 4 veces la cantidad que se desea depositar para que la navaja elimine el exceso.

La velocidad del rodillo aplicador generalmente es el 20 % de la velocidad del sustrato.

Muchas de las máquinas equipadas con navaja de aire, tienen además una barra Mayer que complementa el acabado terso del recubrimiento.

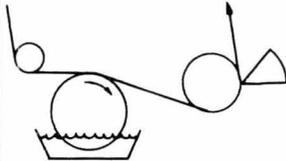
El método de varilla ó barra uniformizadora ó barra Mayer en vez de hacer un recubrimiento que sigue el contorno del sustrato, se basa más bien en retocar los valles que las imperfecciones del sustrato originan.

Por ello el recubrimiento con barra Mayer es menos uniforme y por ello se recomienda más en películas plásticas que en papeles.

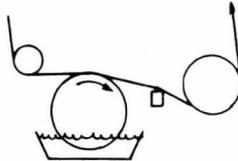
Es especialmente bueno para la aplicación de pesos ligeros de PVDC (de 2 a 7 gramos por metro cuadrado).

Tiene la ventaja sobre el método anterior de que es muy fácil mon--

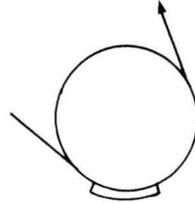
ALGUNAS TECNICAS DE RECUBRIMIENTO



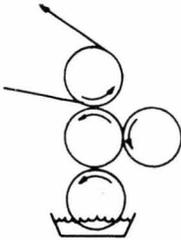
NAVAJA DE AIRE



VARILLA MAYER



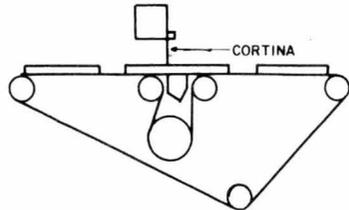
HOJA DE ARRASTRE



RODILLOS A CONTRAROTACION

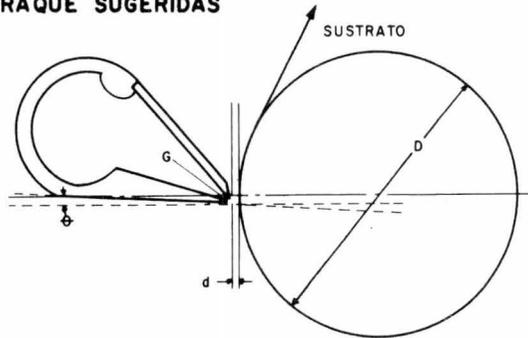


ROTROGRABADO



RECUBRIDOR DE CORTINA

INSTALACION DE LA NAVAJA DE AIRE MOSTRANDO LAS COLOCACIONES DE ARRAQUE SUGERIDAS



D = DIAMETRO DEL RODILLO DE RESPALDO (20.32 cm)

d = DISTANCIA DE LA NAVAJA AL SUSTRATO (0.27 cm)

\ominus = ANGULO DE LA NAVAJA

G = DISTANCIA DE LA BOQUILLA DE LA NAVAJA DE AIRE AL SUSTRATO (0.051 cm)

tar la máquina y limpiarla ya que comparativamente la instalación es sencilla y económica.

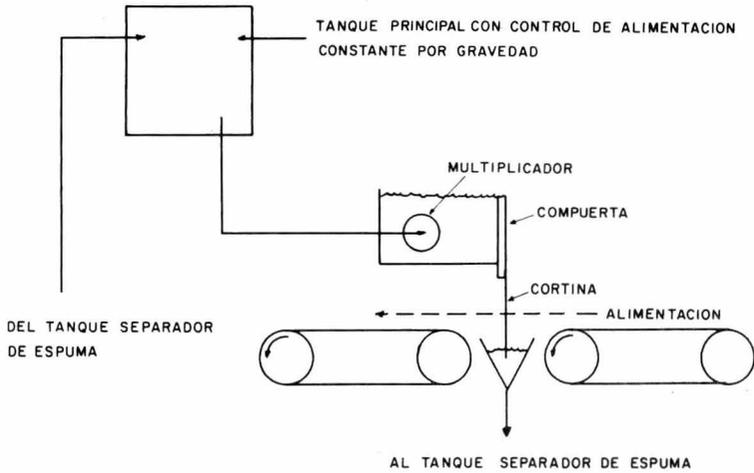
Se pueden hacer recubrimientos a una velocidad hasta de 500 metros por minuto.

Sus principales desventajas son la facilidad con que se seca la suspensión de PVDC en la barilla Mayer y también a que muy ligeras variaciones en la tensión del sustrato afectan sensiblemente al peso depositado.

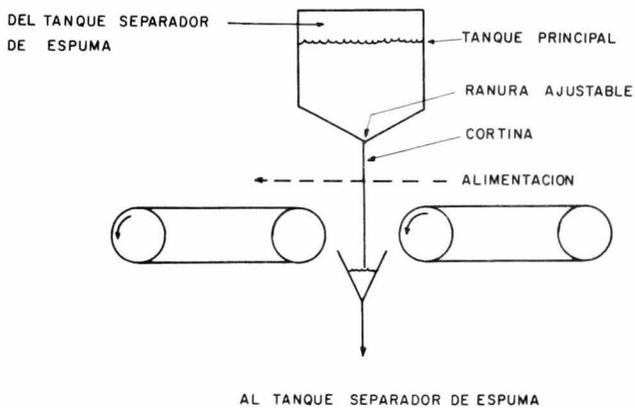
Una instalación típica se muestra en las ilustraciones la cual consiste en una barra completamente soportada de 1/4 " de pulgada de diámetro y localizada a una distancia entre 15 y 30 cm. del rodillo aplicador.

El sustrato toca tangencialmente a la barra formando un ángulo de 40° ejerciendo presión contra la misma. La barra gira a 20 - 30 revoluciones por minuto en dirección opuesta al avance del sustrato. El motor de la barra debe poder girar en cualquier sentido.

SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO DE CORTINA

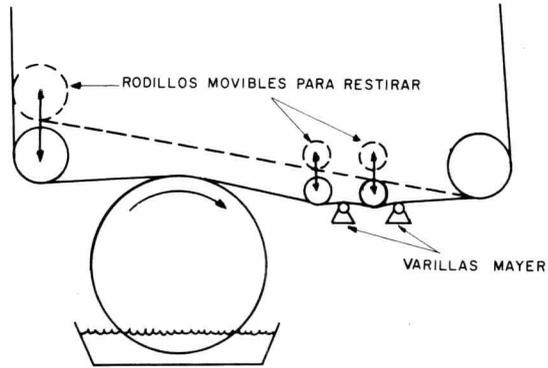


a) RECUBRIDOR DE CORTINA CON ALIMENTACION POR GRAVEDAD AL DERRAMARSE SOBRE LA COMPUERTA

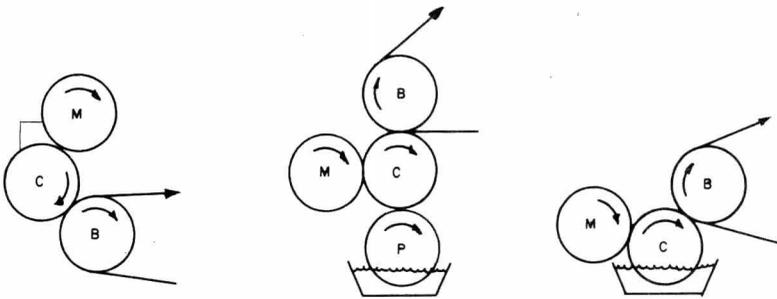


b) RECUBRIDOR DE CORTINA CON RANURA PARA ALIMENTAR POR GRAVEDAD

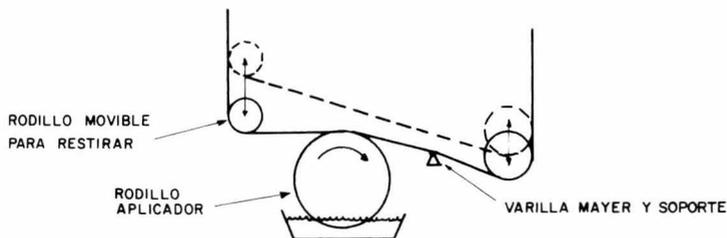
INSTALACION CON VARILLA MAYER DOBLE



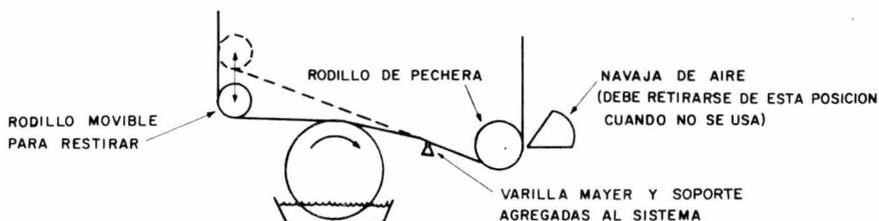
RODILLOS A CONTRAROTACION



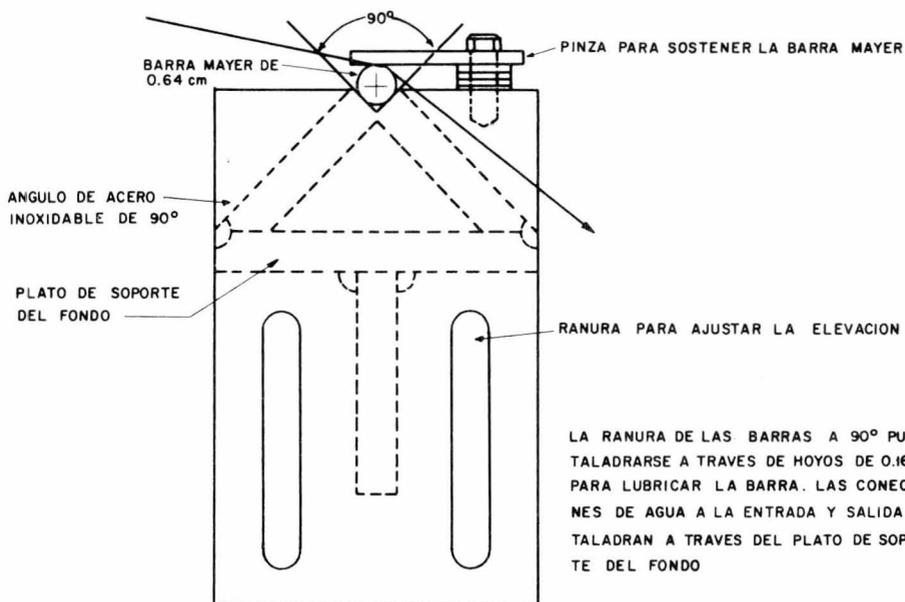
- P - RODILLO RECOGEDOR
- C - RODILLO APLICADOR
- B - RODILLO QUE REGRESA EL MATERIAL RECUBIERTO
- M - RODILLO MAYER



INSTALACION DE UNA VARILLA MAYER

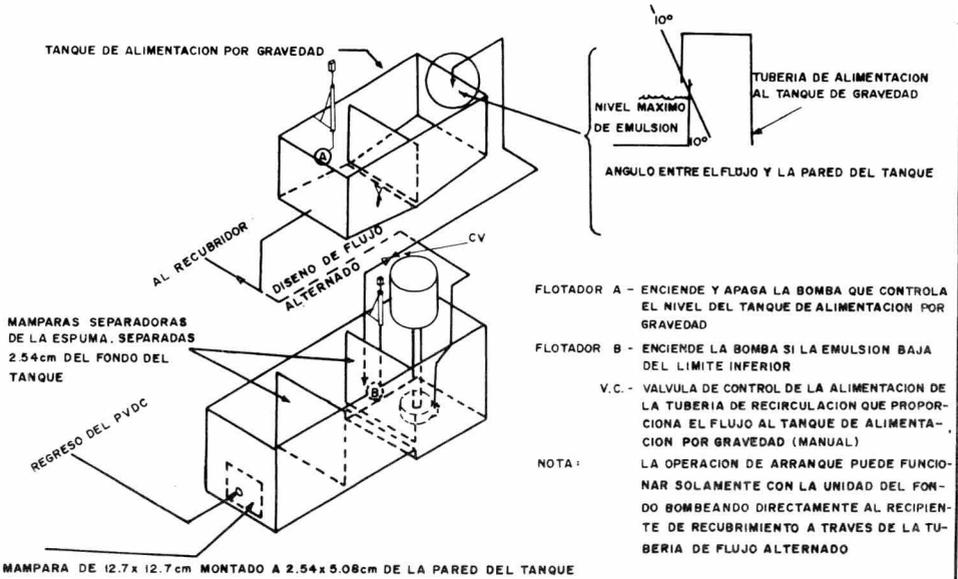


VARILLA MAYER AGREGADA A UNA INSTALACION DE NAVAJA DE AIRE

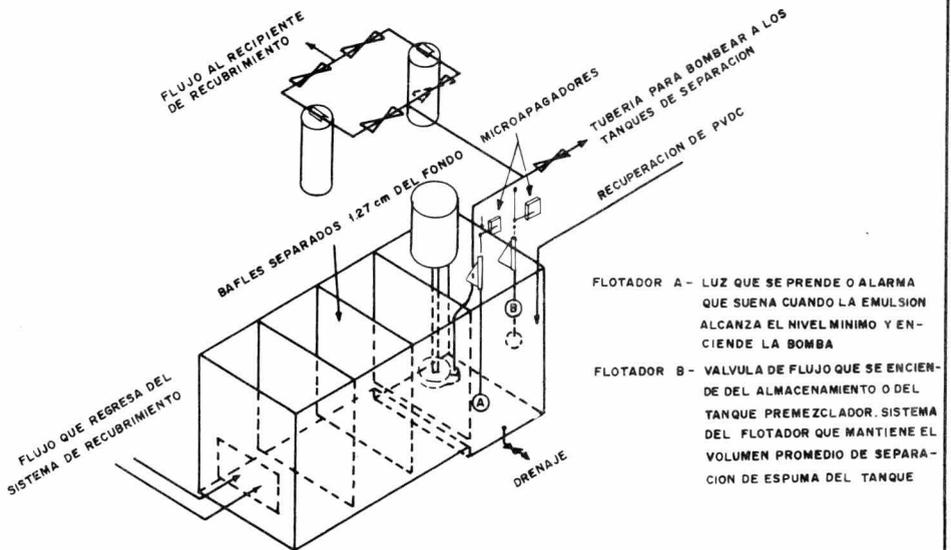


ENSAMBLE DE SOPORTE DE UNA BARRA MAYER

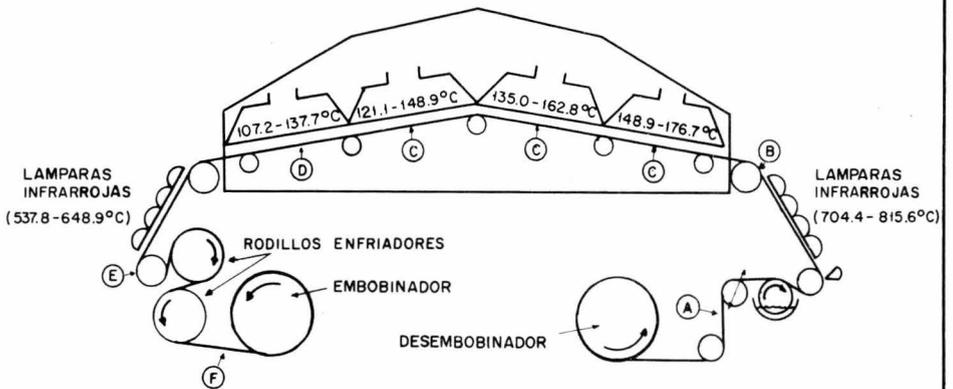
SISTEMA DE SEPARACION DE LA ESPUMA Y MANEJO DE PVDC



SISTEMA DE SEPARACION DE ESPUMA DEL PVDC



SECUENCIA EN LOS ELEMENTOS DE UN SECADOR



TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE UNA PELICULA
DE PVDC 210:

A -	21.1 - 32.2 °C
B -	60.0 - 65.5 °C
C -	65.5 - 76.6 °C
D -	101.6 - 107.2 °C
E -	110.0 - 121.1 °C
F -	21.1 - 32.2 °C

El peso del recubrimiento se controla con el número de la varilla Mayer, la concentración de la emulsión y la tensión del sustrato. El número de la varilla es el calibre del alambre embobinado, expresado en milésimas de pulgada, así una varilla N° 6 es una que tiene embobinado un alambre de 0.006" de diámetro. Mientras más grande es el número de la varilla, mayor es el peso de recubrimiento aplicado.

Algunas máquinas utilizan dos barras Mayer, en este caso la primera de las dos debe aplicar por lo menos cuatro veces el peso de la segunda.

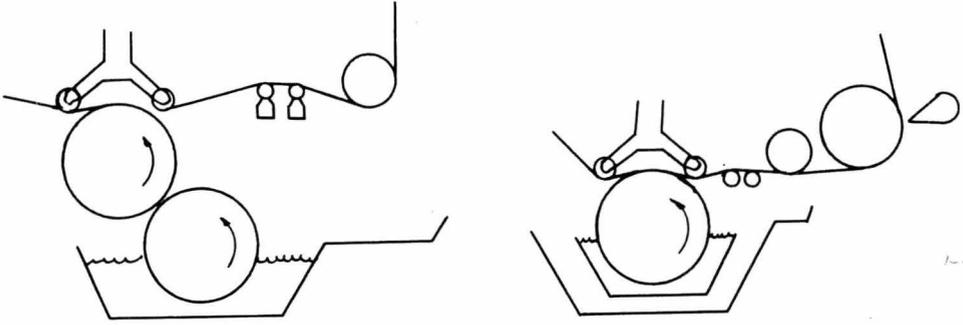
El método llamado de rodillos a contrarrotación, como se ilustra en las figuras se usa para aplicaciones pesadas de PVDC, es decir de 15 gramos por metro cuadrado en adelante aún cuando con algunas pequeñas modificaciones puede trabajar bien para aplicaciones ligeras.

Se consiguen con este método velocidades hasta de 300 metros por minuto.

Los factores que permiten ajustar el peso del recubrimiento son: la concentración de la emulsión de PVDC, la distancia ó claro de separación entre los rodillos y la velocidad relativa de los rodillos con respecto al sustrato.

Recientemente la Faustel ha introducido una modificación a este método, sustituyendo el sistema de tres rodillos, por uno de dos más dos pequeños rodillos transportadores ajustables montados en un marco independiente como se ilustra en la siguiente figura:

MODIFICACION AL METODO DE RODILLOS A CONTRAROTACION



Además de la sustitución del tercer rodillo, se adiciona al sistema - con una ó dos barras Mayer y algunas veces con una cuchilla de aire alimentada con - aire acondicionado.

El método de rotograbado ha caído en desuso porque además de generar grandes cantidades de espuma, el polímero se seca en las celdas originando irregularidades en el depósito, entre otras, falta de uniformidad en el peso y mala apariencia del acabado.

El método de contacto forzado es usado por algunos fabricantes de - maquinaria para laminación y para recubrimientos como son Dilts, Egan, Waldron, - Inta Roto y Champlain.

El método se ilustra en el esquema siguiente:

Generalmente el método se acompaña con el uso de una o dos barras-Mayer.

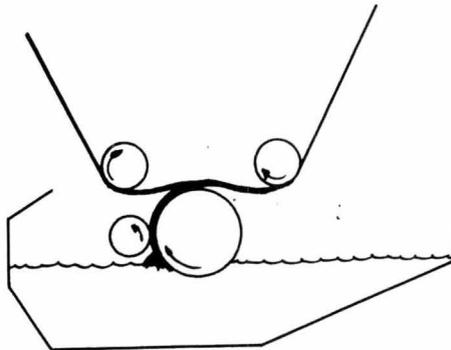
Egan fabrica un equipo para el recubrimiento de PVDC llamado de --Cortina el cual se usa principalmente para el recubrimiento de cartón en placas, es de cir, no se alimenta con rollos de cartón sino con hojas ó placas del mismo.

La máquina recubre a velocidades superiores a 300 metros por minuto.

La figura ilustra un arreglo típico del sistema de Cortina.

En la tabla anexa se hace un resumen de los diferentes sistemas de --aplicación que usan los principales fabricantes de maquinaria en Estados Unidos.

RECUBRIMIENTO POR CONTACTO FORZADO



PRODUCTORAS DE EQUIPO DE SECADO DE PVDC

	INFRARROJO ELECTRICO	GAS INFRARROJO	AIRE
Air Systems (Black Clawson) Hamilton, Ohio.	SI		SI
Beloit Corp. Beloit, Wisc.	SI		SI
Infra-Red Systems Riverdale, N.J.	SI		
Infra-Roto Machine Co. Richmond, Va.	SI	SI	SI
Comac Engrg. Bryon, Conn.	SI		SI
Selas Corp. of America Dresher, Pa.	SI	SI	SI
Radiant Heat Ent. Short Hills, N.J.	SI	SI	SI
Fannon Products Hupp Corp Warren, Mich.	SI	SI	
Overays, Inc. Neenan, Wisc.			SI
J.O. Ross Eng. New Brunswick, N.J.	SI		SI

NOTA: HAY MUCHAS OTRAS FABRICAS QUE PRODUCEN EQUIPO DE SECADO. LA
TABLA ANTERIOR MENCIONA SOLAMENTE LAS MAS IMPORTANTES.

C A P I T U L O I I I

EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA
MEDIR EL GRADO DE IMPERMEABILIDAD
A LOS GASES Y VAPORES.

EXPERIMENTOS DE LABORATORIO PARA MEDIR EL GRADO DE IMPERMEABILIDAD A LOS GASES Y VAPORES

TEORIA

La permeabilidad de películas plásticas y otros materiales de empaque es de gran interés práctico y teórico. Para diseñar un empaque para un producto dado se tienen que considerar varios factores. En el caso de alimentos y productos farmacéuticos, las propiedades de barrera del material de empaque son extremadamente importantes, por ejemplo: la presencia de oxígeno en contacto con cierto tipo de alimentos puede presentar problemas muy variados algunos de los cuales son muy serios. Si eliminamos el oxígeno de los empaques de alimentos secos y congelados, café tostado, grasas y aceites, y leche entera desecada aumentará apreciablemente su vida de anaquel. Las carnes procesadas y otros tipos de alimentos grasos y aceitosos, requieren de empaques que presenten una gran barrera al oxígeno para prevenir la oxidación y rancidez. Por otra parte las carnes frescas necesitan oxígeno para conservar el color rojo claro. Se necesitan plásticos de alta permeabilidad para fru-

tas y vegetales frescos porque deben respirar ya que consumen oxígeno y despiden bióxido de carbono. En este caso el empaque debe diseñarse para proveer una atmósfera controlada de poco oxígeno y mucho bióxido de carbono para que disminuya la velocidad de respiración y consecuentemente mantener la frescura y alargar la vida de anaquel. El empackado exitoso de algunos productos en una atmósfera inerte depende de que dicho empaque retenga esa atmósfera inerte. Para aumentar las propiedades de barrera a los gases, un empaque debe evitar la pérdida de sabor de los productos y la absorción de cualquier otro olor o cualquier otro contaminante de la atmósfera.

Las características de permeabilidad a los gases y vapores de las películas de empaque son extremadamente importantes. En particular se necesitan para diseños de empaque exitosos, parámetros de permeabilidad para oxígeno, bióxido de carbono, vapor de agua y vapores orgánicos, para prevenir que los productos se deterioren durante la distribución y almacenaje.

El interés teórico para medir la permeabilidad de películas plásticas, proviene del uso del parámetro como una investigación molecular. Agregado a su dependencia de la naturaleza del polímero, la permeabilidad se modifica considerablemente cuando se modifica la estructura y la composición del polímero. De ahí que la permeabilidad sea una herramienta adicional que puede ser usada para estudiar y caracterizar a los polímeros y cuando la penetración se escoge cuidadosamente puede realizarse sin que tenga efectos sobre el polímero.

Los recipientes de vidrio y metal proporcionan una barrera prácticamente absoluta, cuando están libres de defectos tales como: rupturas, hoyos, y tapas

deficientes. Sin embargo, en muchas aplicaciones, las cuales están aumentando en número y porcentaje, conviene el uso de plásticos. Los recipientes plásticos aún sin defectos, pueden ser penetrados por gases y vapores, esta transmisión de un gas o vapor a través de una película plástica es por difusión molecular. Este proceso se puede describir como la penetración del disolvente en la superficie de uno de los lados de la película, difundiendo a través de ella debido a un gradiente de concentración, y -- evaporación del otro lado. En general cuando un lado de una película se expone a -- un gas o vapor bajo una cierta presión parcial, el primero y último pasos del proceso -- de penetración (la solución y evaporación) tienen una velocidad mucho mayor que la difusión. La velocidad de difusión en esos casos controla el flujo que penetra a través de la película. Este proceso es debido a variaciones en la densidad o a espacios que se producen como resultado de la movilidad de un segmento del polímero, debida -- al movimiento Browniano.

Una molécula que penetra disuelta en una película plástica se puede -- mover o brincar de cualquier posición a otra adyacente, si el movimiento de los seg -- mentos macromoleculares es tal que exista un espacio (aunque sólo sea momentánea -- mente) lo suficientemente grande para que se acomoden las moléculas que se difun -- den. Esos brincos de las moléculas que penetran son completamente aleatorios y en -- todas direcciones con la misma probabilidad. Sin embargo, debido al gradiente de -- concentración dentro de la película, existen más moléculas penetrantes que brincan -- de la concentración mayor a la menor que en la dirección opuesta. Debido a lo an -- terior, se puede observar que el flujo penetrante neto es en dirección de la concentra -- ción que disminuye. Si las moléculas que penetran no se eliminan continuamente --

del lado de la concentración menor, la concentración penetrante dentro de la película llegará a ser uniforme y no se observará flujo neto.

La teoría matemática de la difusión de las sustancias isotrópicas fue propuesta por primera vez por Fick. Se basa en la hipótesis de que la velocidad de transferencia de una sustancia que se difunde a través de una superficie de sección unitaria es proporcional al gradiente de concentración normal a la sección:

$$f = -D \frac{dC}{dx} \quad \dots (1)$$

donde: f = Flujo penetrante o velocidad de transferencia de masa por --
unidad de área.

C = Concentración de la sustancia que se difunde.

x = Espacio variable, medio normal a la sección.

D = Coeficiente de difusión.

Cuando el gradiente de concentración está en la dirección de x , la penetración se difunde en esta dirección solamente. Si el incremento en la cantidad de moléculas que penetran a un elemento de volumen, está limitado por dos planos de área unitaria en x y $x + dx$ (figura 1), puede expresarse como:

$$f_x - f_{x+dx} = D \left\{ \left[\frac{dC}{dx} \right]_x dx - \left[\frac{dC}{dx} \right]_{x+dx} dx \right\} \quad (2)$$

$$\text{ó} \quad f_x - f_{x+dx} = D \left\{ \left[\frac{dC}{dx} \right]_x dx + \left[\frac{d^2C}{dx^2} \right] dx^2 - \left[\frac{dC}{dx} \right]_{x+dx} dx \right\} \quad (3)$$

$$f_x - f_{x+dx} = D \left[\frac{d^2 C}{dx^2} \right] dx$$

Dividiendo ambos lados de la ecuación (4) entre el volumen (dx , cm^3) del elemento se obtiene un aumento de la concentración con respecto al tiempo.

En el límite cuando $dx \rightarrow 0$, llegamos a la segunda Ley de Fick:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

donde: t = Tiempo

Como la velocidad de difusión de los gases y vapores, es finita en las películas plásticas, hay un intervalo antes de que se establezca el estado estacionario. Hay que considerar que la difusión a través de una película de espesor L_p , cuya superficie en $x=0$ y $x=L_p$, se mantiene a concentraciones C_1 y C_2 constantes. Después de un tiempo, se alcanza el estado estacionario y la concentración ya no depende del tiempo en todos los puntos de la película. Si el coeficiente de difusión es constante la ecuación (5) se reduce a la ecuación (6) e integrando dos veces con respecto a x e introduciendo las condiciones de frontera obtendremos (ec. 7).

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (6)$$

e integrando :

$$\frac{C - C_1}{C_2 - C_1} = \frac{x}{L_p} \quad (7)$$

La ecuación (7) nos muestra que la concentración cambia linealmente de C_1 a C_2 a través de la película. En consecuencia el gradiente de concentración es constante a través de la película y el flujo penetrante es el mismo a través de todas las secciones. Una expresión para el flujo del estado estacionario se obtiene de la primera Ley de Fick sustituyendo el gradiente de concentración del estado estacionario:

$$f = - D \frac{dc}{dx} = D \left\{ \frac{C_1 - C_2}{L_p} \right\} \quad (8)$$

Si se conocen el espesor L_p y las concentraciones de las superficies - C_1 y C_2 , se puede determinar D , observando la velocidad del flujo f . Generalmente se conocen las presiones parciales del material que penetra, P_1 y P_2 , en los dos lados de la película. En estos casos las concentraciones en la ecuación (8) se pueden expresar por la Ley de Henry:

$$C = S p \quad (9)$$

donde: S = Solubilidad.

p = Presión parcial del gas o vapor.

Sustituyendo la ecuación (9) en la (8) nos da:

$$f = \frac{DS (P_1 - P_2)}{L_p} \quad (10)$$

El producto DS se define como el parámetro de permeabilidad P por lo tanto:

$$P = DS = \frac{f L_p}{(P_1 - P_2)} \quad (11)$$

El tratamiento anterior asume que D es independiente de la concentración penetrante y que se cumple la Ley de Henry. Las suposiciones no son siempre válidas y tales casos se discutirán más adelante. Es importante notar que la permeabilidad depende de la solubilidad y del coeficiente de difusión de las moléculas que penetran en la película plástica.

Antes de que se establezca el estado estacionario, la concentración de las moléculas que penetran a cada sección de la película y también del flujo que penetra aumentan con el tiempo. La segunda Ley de Fick, describe la situación que existe durante el estado no estacionario ecuación (5). Esta ecuación ha sido resuelta para varias condiciones iniciales y de frontera, en las ecuaciones (4, 6, 10, 19).

En el caso en donde la película inicialmente esté libre de penetración y que se exponga a una penetración con una presión p , resulta que en la superficie del estrato tendremos una concentración C_1 y se pueden aplicar las siguientes condiciones:

$$\begin{aligned} C &= 0, & 0 < X < L_p, & t = 0 \\ C &= C_1, & x = 0, & t > 0 \\ C &= 0, & x = L_p, & t > 0 \end{aligned} \quad (11 \text{ bis})$$

La solución de la ecuación (5) para estas condiciones será:

$$C = C_1 - C_1 \frac{x}{L_p} + \frac{2C_1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \text{Sen} \left(\frac{n\pi x}{L_p} \right) e^{-\frac{n^2 \pi^2 D t}{L_p^2}} \quad (12)$$

La variación de la concentración del gas que penetra con x y t se describe en la ecuación (12) y se muestra en la figura (3). Si sustituimos esta expresi-

sión para la concentración en la primera Ley de Fick e integramos con respecto al tiempo, resulta:

$$Q_t = \frac{DC_1}{L_p} \left(t - \frac{L_p^2}{6D} \right) - \frac{2 L_p C_1}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} e^{-\frac{n^2 \pi^2 D t}{L_p^2}}$$

donde: Q_t = Cantidad total de gas penetrante que pasa a través de una unidad de área de la película en un tiempo t .

El estado estacionario se alcanza cuando los valores de t son tan grandes que hacen que los términos exponenciales sean despreciables. Bajo estas condiciones:

$$Q_t = \frac{DC_1}{L_p} \left(t - \frac{L_p^2}{6D} \right) \quad (14)$$

Si graficamos Q_t contra t , a esas condiciones, obtendremos una línea recta cuya intersección con el eje t se representa por la ecuación:

$$L = \frac{L_p^2}{6D} \quad (15)$$

Donde L se refiere al tiempo de retraso. El tiempo de retraso y el flujo penetrante en el estado estacionario, a través de una película plástica, se pueden medir experimentalmente. La permeabilidad y la difusividad pueden calcularse usando las ecuaciones (11 y 15) respectivamente. Una vez determinadas las anteriores ecuaciones se puede calcular la solubilidad S usando la ecuación (11).

Como la constante de solubilidad se deriva de los parámetros de transmisión determinados experimentalmente, la precisión del método del tiempo de retraso debería ser menor que el método de solubilidad de equilibrio. Van Amerongen mi--

dió la permeabilidad, el tiempo de retraso y las solubilidades de equilibrio por separado, de un número de gases de varios polímeros de hule. Obtuvo excelente concordancia entre las constantes de difusión calculadas del tiempo de retraso y de los coeficientes de permeabilidad y constantes de solubilidad en el equilibrio. Muchos otros investigadores han observado también la excelente concordancia entre la solubilidad calculada de los datos de transmisión usando la ecuación (11) y la que se determinó por métodos de solubilidad en el equilibrio, con varios sistemas penetrante/barrera.

MEDICIONES DE LA PERMEABILIDAD

En los últimos treinta años se han desarrollado una gran cantidad de productos plásticos con propiedades de barrera mejoradas. Se requieren métodos muy sensibles para medir sus propiedades de barrera. Paralelamente se ha desarrollado un gran número de métodos y equipo para determinar la permeabilidad de las películas poliméricas y otros materiales de empaque. Los principios básicos que se emplean son pocos, aunque existe una gran variedad de equipo disponible. La permeabilidad del material que requiere cuantificación a través de la película plástica que se prueba se aísla en uno de los lados de esta película y se cuantifica su concentración en el lado opuesto como función del tiempo. Utilizando estos datos se pueden calcular la velocidad de transmisión y la permeabilidad. Para cuantificar la penetración se controla la presión, el volumen, los cambios en el peso o en la composición. Los cambios en la composición se pueden analizar por diversas técnicas como: infrarojos, espectroscopia de masa, higrometría y cromatografía de gases.

El procedimiento y equipos empleados comunmente para determinar la

velocidad de transmisión del gas en películas plásticas y laminaciones, se describe en el código ASTM D 1434. Es un método de presiones diferenciales, en el cual un recipiente relativamente grande conteniendo el gas examinado, a la presión atmosférica es aislado de una cámara más pequeña al vacío, poniendo la película examinada en medio. Se determina la velocidad a las condiciones del estado estacionario, de mediciones de los cambios de presión y calculando después el volumen del gas transmitido a través de la película desde la cámara de gas a temperatura constante y presión también constante. Este método tiene aplicación limitada, ya que no se puede utilizar para determinar la permeabilidad de gases a diferentes humedades relativas. Como se usa un ΔP entre la membrana, se complica el método por los problemas de goteo y no pueden usarse con películas sensibles a la presión ó fácilmente deformables.

La mayor parte de los problemas asociados con el método de presiones diferenciales, se pueden evitar aplicando el método isostático. En este método, el ΔP absoluto se reduce a cero mientras se mantienen presiones parciales diferentes del gas examinado en cualquier nivel que se pueda requerir. Se han hecho dos aproximaciones distintas al método isostático, siendo la más común la del método estático (9), en donde el gas examinado fluye a un lado de la película y el paso del gas a través de la película a una cámara estática que contiene un gas inerte se analiza por un método apropiado. En el método dinámico (5, 14) la cámara estática se reemplaza por un flujo de algún gas dulce inerte. Después de pasar a través del equipo, se analiza la cantidad de gas dulce en el gas penetrante.

En la actualidad existe en el mercado una gran variedad de equipo para medir las propiedades de barrera de las películas plásticas y otros materiales de

empaque. Los sistemas que están disponibles comercialmente son rápidos, seguros y adecuados para el control de calidad, y de los requerimientos de barrera iniciales.

En la mayoría de los casos, esos aparatos se emplean para determinar velocidades de transmisión del estado estacionario. De ahí que solamente se puede determinar la permeabilidad y no los coeficientes de difusión y solubilidad. Debido también a que los sistemas de determinación están limitados a ciertos penetrantes específicos como oxígeno y vapor de agua. Para que se obtenga flexibilidad en la operación, se recomienda que cualquier equipo de cuantificación use una celda de permeabilidad en unión con un analizador infrarrojo, un espectrometro de masa y un cromatógrafo de gases. Con lo anterior un sistema para determinar la penetración, es limitado y se pueden analizar mezclas de penetrantes y transmisión en el estado estacionario y no estacionario. También se pueden estudiar los efectos de la humedad relativa, de la presión y temperatura. Los sistemas de permeabilidad requeridos para lo anterior están disponibles comercialmente y como la mayoría de los laboratorios tienen cromatógrafos de gases y espectrómetro de masa, el costo de los sistemas anteriores disminuye, especialmente cuando son eficientes.

FACTORES QUE AFECTAN LA PERMEABILIDAD.

Aunque los mecanismos de penetración a través de las películas plásticas han sido estudiados por numerosos investigadores, no es posible predecir la permeabilidad de un gas o de un vapor a través de una barrera en particular. Se puede llegar a aproximaciones muy cercanas una vez que las propiedades del material penetrante y de barrera se han determinado en relación a la teoría de la difusión. Un po

límero es una masa enredada de cadenas macromoleculares. Los segmentos de esas cadenas están en movimiento continuo y aparecen hoyos, mismos que desaparecen cons--
tantemente. La difusión se lleva a cabo por el movimiento de las moléculas que se difunden de hoyo en hoyo, debido a un gradiente de concentración. Por lo que la ve--
locidad de difusión depende del número y tamaño de hoyos que existen y de la facili--
dad con que se puedan formar nuevos hoyos. El número y tamaño de hoyos que exis--
ten se refiere al volumen libre y a la densidad, y a su relación a su grado de empaque
de las cadenas moleculares. La formación de hoyos o la movilidad de los segmentos -
de las cadenas depende de la rigidez de la cadena y de la energía de cohesión del po
límero. Conociendo estas consideraciones, podemos ahora discutir el efecto de algu
nos factores específicos sobre la penetración.

Las velocidades de difusión, la solubilidad y la permeabilidad varían
con la temperatura. Esta dependencia de la temperatura sigue una ecuación de Ar--
henius:

$$D = D_0 e^{-E_a/RT} \quad (16)$$

$$\text{y } S = S_0 e^{-E_s/RT} \quad (17)$$

$$\text{ya que : } P = DS \quad (11)$$

$$P = P_0 e^{-E_p/RT} \quad (18)$$

$$\text{donde : } E_p = E_a + E_s \quad (19)$$

donde: D_0 , S_0 y P_0 son factores pre -exponenciales; E_a , E_s y E_p son energías de activación; T es la temperatura absoluta y R es la constante de los gases.

Al aumentar la temperatura de un polímero, aumenta su volumen libre y la movilidad del segmento de la cadena. De ahí que la difusividad aumenta siempre con la temperatura. La energía de activación esta asociada con la energía que se requiere para que se forme un hoyo, para vencer las fuerzas de cohesión de un polímero. La energía de activación en la ecuación para la solubilidad puede ser positiva o negativa dependiendo de la naturaleza del material penetrante. En general la solubilidad depende de la temperatura, mucho menos que del coeficiente de difusión. De ahí -- que E_p es positivo y la permeabilidad aumenta con la temperatura.

Observando las ecuaciones (15, 16, 17) y graficando $\log D$, $\log S$ ó $\log P$ contra $1/T$ se obtendrá una recta y la energía de activación se puede calcular de las pendientes. Se ha obtenido un gran número de combinaciones de materiales penetrantes/barrera experimentalmente (7, 12, 18). Las gráficas de Arrhenius muestran discontinuidad (cambios en la pendiente) a la temperatura de transición del vidrio del plástico. Esas discontinuidades se deben al gran aumento del volumen libre y de la movilidad de la cadena por la temperatura superior del vidrio.

El efecto de la presión del material penetrante en la difusividad, solubilidad y permeabilidad depende de las propiedades del material penetrante, de la barrera y de las interacciones entre ellos. Las solubilidades de los gases penetrantes siguen la Ley de Henry y sus coeficientes de difusión son independientes de sus concentraciones en la película plástica. Esta se debe principalmente a su baja solubilidad -

en plásticos a las presiones normales y a la falta de interacción entre ellos y los polímeros; de ahí que D , S , y P sean independientes de la presión.

En el caso de los vapores orgánicos, el proceso de penetración es más complejo y su desviación de la idealidad es mayor. La solubilidad de los vapores orgánicos no sigue la Ley de Henry y de hecho la solubilidad y la difusividad son afectadas por la concentración del material penetrante en la película plástica. Esos vapores hinchan y plastifican al polímero, permitiendo que aumente la movilidad de las cadenas del polímero y de las moléculas penetrantes. La estructura del polímero cambia drásticamente, de ahí que se alteren D , S y P .

La penetración del vapor de agua en las películas poliméricas depende de la naturaleza del polímero y de la interacción entre éste y el vapor de agua. — El hidrógeno en los polímeros está fuertemente unido a la cadena, tal efecto ocurre en el nylon, celofán, etc; en donde la difusividad aumenta debido a la plastificación producida por el agua en esos plásticos. De ahí que en esos casos aumente la permeabilidad con la humedad relativa. En películas hidrofóbicas, como el polietileno, la penetración del agua es independiente de la presión (figura 7).

Según la teoría de la difusión, mientras más grandes sean las moléculas que se difunden, mayores deberán ser los hoyos, de ahí que la difusividad de un polímero disminuya al aumentar el tamaño de las moléculas penetrantes. Lo anterior se ha demostrado experimentalmente en muchos casos (7), por ejemplo: el Helio (diámetro 1.9 \AA) se difunde tres o cuatro veces más rápidamente que el Hidrógeno (diámetro 2.4 \AA) en hules naturales y sintéticos. El oxígeno, nitrógeno y bióxido de

carbono (diámetros de sus moléculas: 3.0, 3.1, y 3.4 °A respectivamente) tienen una difusividad más baja. La velocidad de penetración de cada uno de estos tres es considerablemente distinta de los demás. Esto es debido a la diferencia de sus solublidades en los polímeros.

La forma de las moléculas penetrantes es también muy importante, especialmente al considerar moléculas muy grandes. Se ha demostrado experimentalmente que los hidrocarburos lineales (parafinas) tienen velocidades de difusión más altas en el poli-isobutileno, que los hidrocarburos cíclicos y los que tienen ramificaciones con el mismo peso molecular. En situaciones de empaque prácticas nos vamos a encontrar con mezclas de gases, sabiendo que conocemos las propiedades de permeabilidad de las materiales empacantes medidas para un solo penetrante.

El efecto de un material penetrante en la transmisión de otros ha sido estudiado por muchos investigadores. La penetración de algunas mezclas gaseosas a través de polietileno ha sido estudiada por Stannett y sus colaboradores.

Ellos observaron que cuando la mezcla de gases es suficiente para -- mantener el equilibrio en la superficie de las membranas, no existe ningún efecto de los gases uno sobre otros. Esto no es muy extraño ya que las solubilidades de los gases son muy pequeñas, por lo que no interfieren unos con otros. Tampoco esos gases interaccionan con el polímero o producen que se hinche y de ahí que no tengan efecto en la velocidad de transmisión de algún otro.

Existe una situación diferente cuando alguno de los componentes de la mezcla es vapor de agua. Al hincharse la membrana debido a la absorción de agua

aumenta la permeabilidad del gas, particularmente en el caso de materiales muy sensibles al agua como materiales celulósicos y nylon. El efecto de vapor de agua depende de la humedad relativa y no del porcentaje de agua presente en el gas. Esto se explica rápidamente cuando se da uno cuenta que el aumento en la permeabilidad es causado indudablemente por el agua absorbida que actúa como plastificante de la película. La cantidad de plastificación depende de la cantidad de agua absorbida, la cual depende principalmente de la humedad relativa.

Se ha mencionado anteriormente que los vapores orgánicos hinchan y plastifican a la mayoría de las películas plásticas. De ahí que su efecto en las velocidades de transmisión de otros componentes de la mezcla que penetra (a través de películas plásticas) sea similar al agua en películas hidrofílicas.

Un número de variables de composición y estructura de los materiales de barrera afectan sus propiedades de permeabilidad. Se deduce claramente de la teoría de difusión que la facilidad de formación de hoyos depende de la movilidad del segmento de la cadena y de la energía de cohesión del polímero. Un plástico simple como el polietileno tiene ciertas propiedades de barrera dependiendo de su estructura.

Al introducir grupos metilo en lugar de algún átomo de hidrógeno se reduce la movilidad de la cadena y por lo tanto se reduce la difusividad. De ahí que el propileno sea mejor barrera que el polietileno. Similamente, al agregar un grupo con lados polares, disminuye la difusión ya que aumenta la energía de cohesión. Por la razón anterior el cloruro de polivinilo es menos permeable a los gases que el polietileno. Cualquier modificación estructural como variaciones en la densidad, gra-

do de cristalinidad, orientación y enlazamiento de eslabones de cadenas así como -- agregar plastificantes y rellenos afectan grandemente las propiedades de barrera de un polímero. La permeabilidad disminuye al aumentar la densidad y la cristalinidad. Estos efectos se pueden atribuir a la dilución del volumen de la fracción amorfa por la relativa impermeabilidad de la fase cristalina (1, 15, 16). Al reducir la movilidad de la cadena, los cristalitos actúan como rellenos inertes, tanto que el paso de la difusión aumenta al alejarse del espesor de la barrera.

Se ha demostrado experimentalmente que la permeabilidad de los polímeros se reduce al aumentar las ramificaciones. Esto es debido a que se reduce la movilidad de la cadena debido a los entrelazamientos. Al agregar un plastificante al polímero se reduce la fuerza de cohesión entre las cadenas moleculares, resultando un aumento en la movilidad. El agua produce este efecto en polímeros hidrofílicos tales como el nylon.

LA PERMEABILIDAD DE ESTRUCTURAS COMPUESTAS.

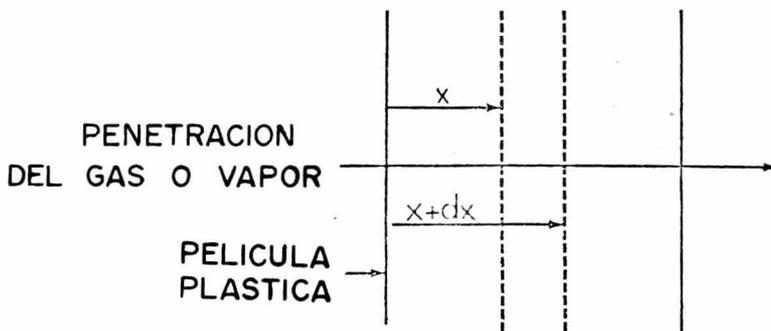
Al tomar en cuenta las consideraciones económicas funcionales, las propiedades de barrera son extremadamente importantes en la selección del material de empaque para productos farmacéuticos y alimenticios. Las propiedades de barrera de una película plástica pueden ser variadas dentro de ciertos límites al variar la densidad, el grado de cristalinidad, la orientación, los entrelazamientos de las cadenas, el tipo y la cantidad de aditivos. Sin embargo, debido al rango de propiedades que se requieren generalmente para un material empacante, no es posible para ningún material encontrar todos los requerimientos y poseer las características de permeabilidad

deseadas. En esos casos se utilizan estructuras muy complejas tales como materiales recubiertos y laminaciones. En dichas construcciones cada hoja sirve para una función definida, siendo temesellables, fuertes, sirven como barrera y se imprime fácilmente sobre ellos.

La penetración de estructuras compuestas ha sido investigada teórica y experimentalmente. El flujo que penetra a través de un material recubierto o laminado es el mismo a pesar de la dirección de la penetración, así como el coeficiente de difusión es para cada hoja constante e independiente de la concentración del material penetrante. Si el material penetrante interacciona o hincha cualquier hoja del compuesto, entonces la velocidad de penetración depende de la dirección del flujo. Si se desea diseñar un empaque para un sabor líquido concentrado, buscamos PVDC para recubrir el polietileno.

Se ha encontrado que al agregar al penetrante propiedades de la película base y del recubrimiento, la localización del mismo es muy importante. En este caso el polietileno recubierto provee de una barrera adecuada contra la pérdida de sabor de los compuestos, cuando el lado recubierto de PVDC está del lado del producto. Similamente el celofán recubierto de un solo lado tendrá mayor humedad y menor velocidad de transmisión del gas cuando el lado no recubierto se exponga a una humedad mayor que el lado recubierto.

Debido a limitaciones de tiempo, no es posible entrar en mayores detalles respecto a las numerosas variables que afectan el proceso de penetración.



$$f = -D \frac{dC}{dx} \quad (1)$$

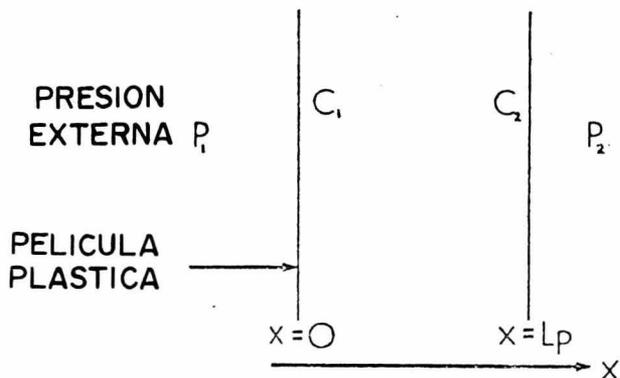
$$f_x - f_{x+dx} = D \left\{ \left[\frac{dC}{dx} \right]_{x+dx} - \left[\frac{dC}{dx} \right]_x \right\} \quad (2)$$

$$f_x - f_{x+dx} = D \left\{ \left[\frac{dC}{dx} \right]_x + \left[\frac{d^2C}{dx^2} \right] dx - \left[\frac{dC}{dx} \right]_x \right\} \quad (3)$$

$$f_x - f_{x+dx} = D \left\{ \frac{d^2C}{dx^2} \right\} dx \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (5)$$

Figura 1



$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{C - C_1}{C_2 - C_1} = \frac{x}{L_p} \quad (7)$$

$$f = -D \frac{dC}{dx} = D \frac{(C_1 - C_2)}{L_p} \quad (8)$$

$$C = S p \quad (9)$$

$$f = \frac{DS (P_1 - P_2)}{L_p} \quad (10)$$

$$P = DS = \frac{f L_p}{(P_1 - P_2)} \quad (11)$$

Figura II

CONDICIONES INICIALES EN EL LIMITE:

$$C=0, \quad 0 < x < L_p, \quad t=0$$

$$C=C_1, \quad x=0, \quad t > 0$$

$$C=0, \quad x=L_p, \quad t > 0$$

ECUACION DIFERENCIAL:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (5)$$

SOLUCION:

$$C = C_1 - C_1 \frac{x}{L_p} - \frac{2C_1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi x}{L_p}\right) e^{-\frac{n^2 \pi^2 D t}{L_p^2}} \quad (12)$$

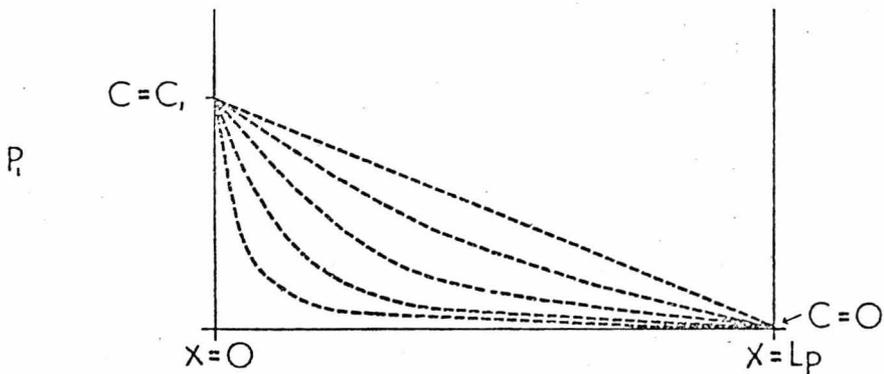


Figura III

$$Q_t = \frac{DC_1}{L_P} \left(t - \frac{L_P^2}{6D} \right) - \frac{2L_P C_1}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n} e^{-\frac{n^2 \pi^2 D t}{L_P^2}} \quad (13)$$

$$Q_t = \frac{DC_1}{L_P} \left(t - \frac{L_P^2}{6D} \right) \quad (14)$$

$$L = \frac{L_P^2}{6D}$$

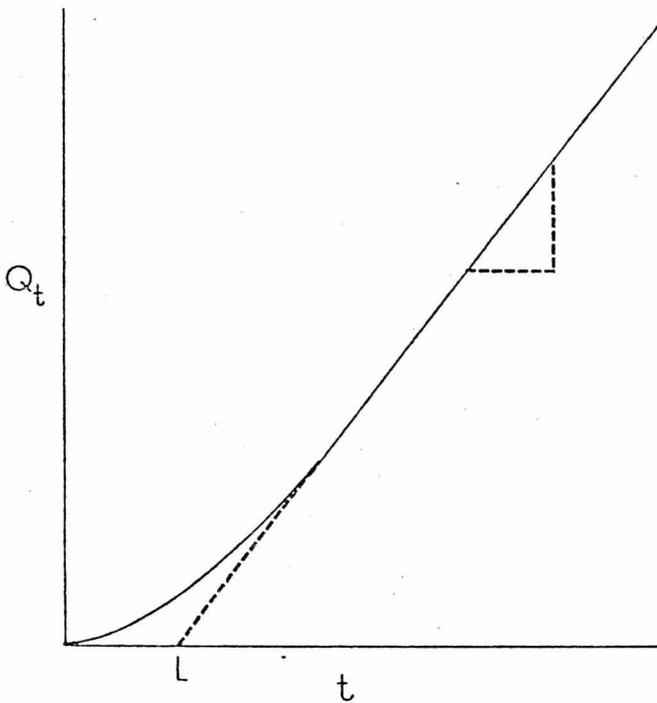


Figura IV

$$D = D_0 e^{-E_d/RT} \quad (16)$$

$$S = S_0 e^{-E_s/RT} \quad (17)$$

$$P = DS \quad (11)$$

$$P = P_0 e^{-E_p/RT} \quad (18)$$

$$E_p = E_d + E_s \quad (19)$$

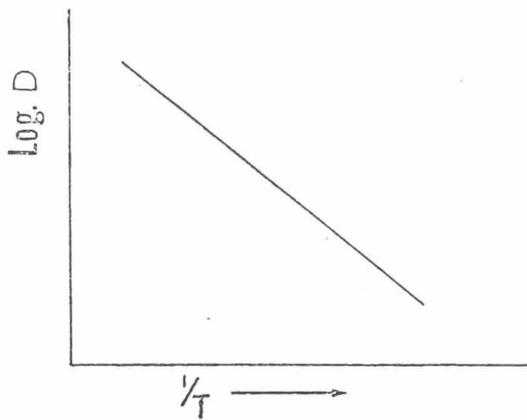
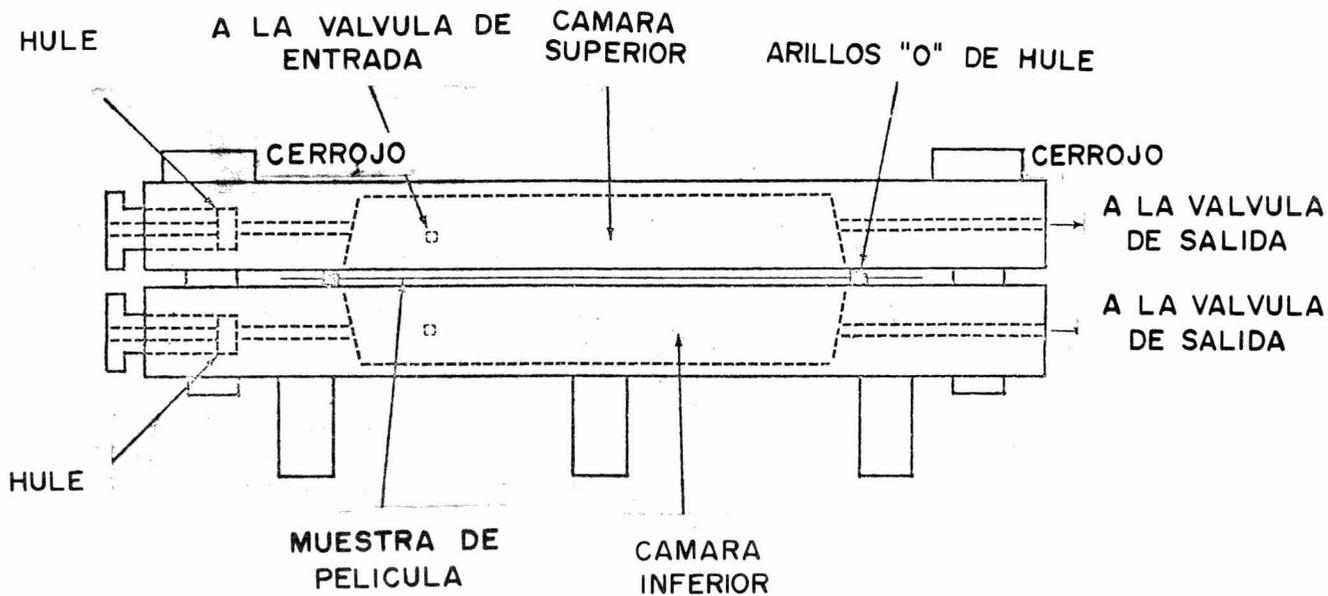
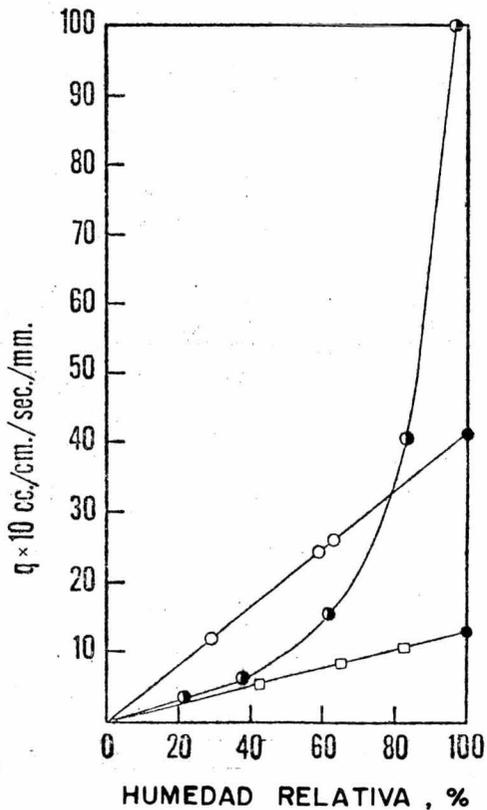


Figura V



CELDA DE PERMEABILIDAD

Figura VI



VALORES DE : ● AGUA LIQUIDA ◐ NYLON ○MYLAR □POLIETILENO
 TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA COMO FUNCION DE LA
 HUMEDAD PARA VARIAS PELICULAS PLASTICAS

Figura VII

Para medir experimentalmente WVTR y GTR, existen varios procedimientos, habiendo seleccionado los siguientes:

* Velocidad de transmisión de Oxígeno (GTR) :

Equipo: Ox - Tran 100

PROCEDIMIENTO

I. Procedimientos de pre-análisis

Mantener la válvula de la cámara inferior en posición de eludir el elemento sensible (Bypass sensor). Colocar la válvula de la cámara superior en posición de purga de arrastre.

Desatornillar los tubos de burbujeo de vidrio y llenarlos a la mitad aproximadamente con agua destilada; reinstalar cuidadosamente los burbujeadores y atornillarlos muy bien, en los soportes de burbujeo.

Desconectar temporalmente la línea de Nitrógeno al regulador. Encender el gas y permitir que el regulador purgue por 2 minutos, para eliminar el aire que estaba en la cámara. Apagar el flujo de Nitrógeno y reconectar inmediatamente la tubería de cobre.

Abrir la válvula roja varias vueltas, que es la que mide el flujo. Abrir lentamente la válvula reguladora de Nitrógeno para producir una velocidad de flujo de 50 a 60 cc/min aproximadamente. Usando la válvula para medir el flujo, reducirlo a un valor que se encuentre entre 15 y 30 cc/min.

Abrir lentamente la válvula reguladora de Oxígeno, hasta que el flujo de Oxígeno, se indique por el burbujeador de Oxígeno. Se debe notar aquí, que la línea de Oxígeno no pasa a través del medidor de velocidad de flujo, como ocurre con el Nitrógeno. No se necesita un medidor de flujo para el Oxígeno, porque la velocidad de este no es un factor crítico.

Sin embargo, un flujo excesivo de oxígeno, tenderá a empujar el rocío a través de la columna de burbujeo y contaminará al sistema. Para evitar esto -- hay que ajustar la presión del oxígeno para permitir una velocidad de burbujeo igual a la del nitrógeno cuando fluye a razón de 15 a 30 cc/min.

Abrir la celda de difusión en la parte superior del Ox - Tran y aplicar un espesor uniforme de grasa de silicones, para recubrir la orilla de la superficie del plato superior. Cortar una pieza de 15 x 15 cm de 0.0127 a 0.0254 mm de Mylar (o alguna otra película simple) y trazar a través de la mitad inferior de la celda, evitando que se arrugue. Cerrar la celda y apretarla.

En este punto, el nitrógeno libre de Oxígeno es purgado en la mitad superior e inferior de la celda de difusión. La válvula de la cámara inferior debe colocarse en posición de evitar, impidiendo que la purga atrape al Oxígeno a través de la celda detectora. Durante el arranque inicial, se debe purgar al sistema durante 15 minutos al menos, antes de mover la válvula del recipiente inferior a la posición de colocar al sensor.

Durante el período inicial de espera hay que observar la salida del sensor regresarlo como se indica en el instructivo. Si el sensor no ha sido expuesto -

al Oxígeno atmosférico como un resultado de una falla del equipo o por manejo inadecuado de la válvula de la cámara inferior. El instructivo debe indicar un valor menor del orden de 0.5 milivolts o menos.

Al final de los 15 minutos de purga preparatoria, analizar la integridad del sistema, moviendo la válvula de la cámara inferior a "colocar al sensor" por 3 segundos y regresarla a "evitar" (bypass). Esta es una operación de muestreo esencialmente para que le permita al operador determinar si el nivel del Oxígeno residual en el gas de arrastre, es suficientemente bajo como para permitir al sensor colocarse continuamente en el flujo de arrastre. (La necesidad de éste se basa en el hecho de que el sensor se diseña para medir pequeñas cantidades de Oxígeno. Una exposición breve a concentraciones altas no dañará la celda, pero se requerirá un período de recuperación de varias horas, antes de que se puedan hacer otros análisis).

Cuando varias muestras del gas de arrastre indiquen que el voltaje del sensor no oscile sobre 50 milivolts, la válvula de la cámara inferior puede abrirse y colocarse en posición de "colocar el sensor".

En este punto, un instrumento recientemente instalado, puede presentar un desplazamiento mayor de cero, del orden de 10 a 20 milivolts. Esto debería disminuir la estabilidad, ya que la línea del alimentador y el regulador del nitrógeno son purgados del Oxígeno residual, pero la corriente hacia abajo puede resistir por algunas horas, finalmente se estabiliza en valores menores a 1 milivolt. Cuando esto ha sido logrado, el instrumento está listo para análisis preliminares de muestras de barrera.

II.- Procedimiento de análisis general.

Se sugiere al operador trabajar, inicialmente, con valores conocidos de barreras simples, hasta que se familiarice con el instrumento. El diagrama total - que se ve en la parte superior del OX - Tran, ayudará a desenvolver un mejor entendimiento del instrumento, con la siguiente secuencia de cálculo. Los pasos siguientes se sugieren como una guía inicial de operación:

- 1) Colocación de la muestra.- Arreglar el material analizado en una hoja de 15 x 15 cm., debe estar seguro de que la válvula - de la cámara inferior está en posición de eludir el elemento -- sensible, antes de abrir la cámara de difusión. Abra la cámara y aplique una pequeña película de grasa de silicón a las orillas del plato inferior. Coloque el material y sujételo firmemen te, evitando arrugas.
- 2) Ajustar el flujo de gas.- Maneje la válvula roja, que mide el flujo o la válvula reguladora de Nitrógeno, para permitir un flujo de arrastre de 15 a 30 cc/min. Ajustar el flujo de Oxígeno a la misma velocidad, comparando el burbujeo con el del Nitrógeno.
- 3) Purga del sistema.- Con la válvula de la cámara inferior en posición de eludir el elemento sensible, y la válvula de la cámara superior en "purga de arrastre", permitir que se purgue aire del cuarto por 10 minutos aproximadamente a la celda de difusión. -

En este punto, la válvula de la cámara inferior puede cambiarse a colocar el elemento sensible. Esto generalmente desvía algo de oxígeno residual a través del elemento sensible, causando que el voltaje externo aumente temporalmente, y que vuelva después al nivel de voltaje por abajo del nivel cero. Se debe notar, que algunas películas pueden contener una cantidad sustancial de Oxígeno disuelto, el cual es descargado lentamente a la corriente de arrastre. Este tipo de material puede requerir una hora o más para que esté libre de Oxígeno. En tales condiciones, el operador puede elegir empezar el análisis antes de que se haya alcanzado el nivel cero (en la suposición de que se haya establecido ya un valor de cero con otras muestras).

- 4) Exposición al Oxígeno.- Después de haber establecido el nivel cero, con el sensor adentro, cambiar la válvula de la cámara superior de purga de arrastre a purga de Oxígeno. Esto hace que el Oxígeno fluya a la mitad superior de la cámara de difusión.
- 5) Estabilización de las señales del indicador.- Dependiendo de la naturaleza y el espesor de la muestra analizada, transcurrirá un intervalo de tiempo antes que la primera señal de que el oxígeno penetra a través de la barrera, y que se detecta en el arrastador. Generalmente hay un voltaje que aumenta lentamente,

seguido por una baja de nivel, en un voltaje constante al alcanzar el equilibrio de difusión. En este punto, el análisis se ha completado. Si el operador quiere estudiar el proceso inverso, él puede conectar la válvula de la cámara superior a la posición de purga de arrastre, para eliminar el oxígeno de la cámara superior. El regreso descendente al nivel cero se aproximará al revés, como la imagen de un espejo del rastro ascendente. Si el operador tiene muchas muestras por analizar y no está interesado en la curva descendente, puede determinar la corrida al conectar a eludir el elemento sensible y colocar una nueva muestra inmediatamente.

- 6) Interpretación de los datos.- El Ox-Tran, produce una señal en el indicador que puede ser interpretada rápidamente en términos de la velocidad de transmisión de oxígeno, sin referirse a cartas de calibración o fórmulas. La velocidad de transmisión es una función lineal de la diferencia de voltaje, entre el nivel cero y el nivel de voltaje de equilibrio de la difusión. La interpretación ha sido además simplificada, al ajustar la carga de la resistencia de la celda, tal que la desviación tiene una correspondencia directa de 1 a 15.5, con las unidades más comúnmente empleadas. Por ejemplo: una desviación de 1 milivolt, corresponde a una velocidad de transmisión de oxígeno de 15.5 cc estandar/m² en 24 hrs.

III Procedimientos de relevo y apagado.

RELEVO.- Al teminar un análisis, y si van a realizarse otros análisis durante el día, el operador debe colocar el instrumento en condiciones de relevo, realizando las siguientes operaciones:

- 1.- Girar la válvula de la cámara inferior a eludir el elemento sensible (bypás sensor).
- 2.- Girar la válvula de la cámara superior a purga de arrastre.
- 3.- Suprimir el abastecimiento del oxígeno al regulador.
- 4.- Dejar que el arrastrador trabaje a la velocidad de flujo inferior (20 cc/min).

APAGADO.- Al final de cada día, apagar el instrumento de la siguiente manera:

- 1.- Girar la válvula de la cámara inferior a eludir el elemento sensible.
- 2.- Girar la válvula de la cámara superior a purga de arrastre.
- 3.- Eliminar la alimentación de oxígeno.
- 4.- Eliminar la alimentación de nitrógeno.
- 5.- Cerrar la válvula roja, que mide el flujo.
- 6.- Apagar la corriente eléctrica.
- 7.- Desatornillar los tubos de burbujeo, de vidrio.



* Velocidad de transmisión de vapor de Agua. (WVTR).

Propósito:

Deteminar la velocidad a la cual el vapor de agua pasa a través de un material de empaque permeable, y de ahí obtener la protección probable a la humedad ofrecida por el material.

Referencia.- Pemeabilidad al vapor de agua de materiales de envoltura.

Aparato.- Analizador de boca abierta con platos de 15.24 cm ϕ exteriores, y 12.7 cm platos interiores de aluminio (3 para cada material separado que será analizado), 14.605 cm de diámetro de la plantilla para muestras cortadas, plato caliente, balanza de tres brazos que registre 0.01g, recipiente metálico para cera líquida, pala de cera caliente, cuchillo, plantilla para usarse en un área determinada y sello en la orilla con cera, cámara con humedad relativa muy alta (37.7° C y 90 \pm 2% de H.R.), estante de amontonamiento de los platos llenos, un desecador grande para acomodar el estante, hojas de rasurar nuevas, peso de la visagra para muestras que se doblan, cuaderno, lápiz grasoso.

Reactivos.- Petrolato, cera parafina, cera microcristalina, Cloruro de calcio anhidro (reactivo analítico).

PROCEDIMIENTO

El mejor comienzo para el análisis es el día jueves, para que las 20 horas de acondicionamiento se cumplan el viernes, y las 68 horas de análisis se cubran el fin de semana. Una carga de cera para sellar las orillas de la muestra en el plato,

se hace de 160 g de parafina derretida (138 - 140), con 240 g de cera microcristalina (Socony 2305), en un plato caliente a baja temperatura. Se debe tener cuidado de no resecar la cera al guardarla en un lugar muy caliente y de que no se derrita -- mientras se cortan las muestras.

Se deben cortar 3 muestras de cada material por analizar, usando la forma de hojas de rasurar y el patrón de 14.605 cm de diámetro, deben guardarse por separado esos materiales y separarlos con hojas de papel marcadas, de tal forma que no se confundan. En el cuaderno se marca en columna lo siguiente: Número de plato, material, peso inicial, peso después de 1 acondicionamiento, peso ganado, y MV TR ($\text{gH}_2\text{O}/\text{m}^2$ en 24 hrs). De ahí que el fondo de cada plato se pueda marcar con un número, que corresponde a los datos del cuaderno, con un lápiz grasoso, tan pronto como el plato se prepare para pesarse. En algunos casos, es deseable doblar la muestra, para simular que se doblan las orillas de una operación de empaque. Esto -- esta acompañado con el doblar de la muestra a la mitad en una dirección y en otra, y colocar un objeto pesado en el doblar durante 15 segundos; anotar esto en el cuaderno.

Para preparar cada plato, hay que esparcir 50 cc aproximadamente de cloruro de calcio sobre el fondo del mismo. Se coloca la película en la parte superior del borde del estante, alrededor del interior del plato en posición de análisis, y -- la plantilla con las orillas aceitadas con petrolato, para prevenir que se peguen en el área de análisis definida colocada en la parte superior. Se vierte entonces cera fundida, alrededor para sellar la muestra en el lugar, cuidando de llenar todas las burbujas y los huecos para que no haya aberturas por donde pueda entrar la humedad, sólo a

través de la película. La cera se enfría y solidifica, cortando cualquier exceso con un cuchillo para mondar, cuidando de no maltratar la película, o de abrir los huecos en el sello de la orilla encerada. Las orillas y el fondo del plato son limpiadas con tetracloruro de carbono caliente para quitar las gotas de cera. Se marca el fondo del plato con la clave del cuaderno con un crayón.

Cuando se han preparado todas las muestras, se colocan en la cabina húmeda durante 20 hrs, en un desecador, se pesan y este peso se considera peso inicial. Se colocan nuevamente dentro de la cabina húmeda durante 68 hrs, que es lo que dura el período de análisis, luego se colocan en el desecador durante 4 hrs, y se pesan. Este peso es el peso final.

CALCULOS.- Restar el valor del peso inicial del valor del final para obtener la ganancia de peso (humedad en g). Se necesita un factor para convertir este resultado a g/m^2 por 24 hrs, para reportar los resultados, ya que nuestra área de muestra era menor de $1 m^2$ y el tiempo mayor de 24 hrs.

$$\frac{1803.19}{\text{hrs. expuestas}} = \text{Factor}$$

Hay otros métodos para medir WVTR y GTR como el que a continuación se describe, pero las tablas del capítulo IV se hicieron utilizando los dos anteriores.

* Velocidad de transmisión de Vapor de agua (WVTR).

Aparato: Analizador Honeywell W 825 WVT

PROCEDIMIENTO.

I Procedimiento para construirlo

- a) La unidad se debe mantener encendida todo el tiempo.
- b) La unidad debe tener un diafragma de metal sólido afianzado fuertemente en la cámara de análisis cuando los materiales no están siendo examinados.
- c) Oprimir el botón iniciador de depuración para secar la sección superior de la cámara de análisis. Si el tiempo en segundos es mayor de 1000 y es al menos 10 veces tan grande como el tiempo esperado para el material que se está analizando, el recipiente está suficientemente seco como para proseguir. En caso contrario, se oprime el botón nuevamente para repetir el procedimiento, hasta alcanzar las condiciones mencionadas anteriormente.
- d) Cuidar la lectura del termómetro. Cuando alcanza un alejamiento máximo en el cual no hay un aumento mayor en los siguientes 5 minutos, indica que la temperatura de la cámara de análisis se ha estabilizado. (la luz indicadora de que el calentador está funcionando se prenderá y apagará de vez en cuando). Si esta lectura máxima no es exactamente 37.8°C , se reajusta el potenciómetro de temperaturas P_5 adecuadamente; al elevar la temperatura ambiente se elevará la temperatura y al disminuir

la disminuir la temperatura. Un cambio de 1°C en la temperatura ambiente, cambiará la temperatura 0.1°C . Hay que permitir otra vez que la temperatura de la cámara se estabilice completamente. Si la temperatura estabilizada no es exactamente 37.8°C , hay que repetir el ajuste hasta que dicha temperatura se alcance.

- e) Abrir la cámara de análisis y quitar el diafragma de metal sólido. Colocar el diafragma perforado con calibración estándar en la cámara. Anotar el número de segundos que el diafragma de calibración permanece estampado, para usarlo en el inciso (g).
- f) Oprimir el botón iniciador de depuración. Este empezará la purga y reajustará también el tomador de tiempo a cero. El analizador correrá la purga completa, estabilizándose y analizando automáticamente. El tomador de tiempo comenzará cuando se enciendan las luces indicadoras del analizador y separará al final del análisis cuando se enciende el indicador de relevo.
- g) Comparar el tiempo del análisis (del tomador de tiempo) con el tiempo de estampado en el diafragma de calibración estándar. Si no hay menos de 2 segundos de exactitud, hay que girar el disco a una posición que reduzca el tiempo de análisis o a una

posición mayor para aumentar el mismo. Entonces repita los -- pasos (d) y (e) hasta que el tiempo de análisis sea menor de - 2 segundos del tiempo de estampado en el diafragma de calibración.

- h) Abrir la cámara de análisis apretando el botón deabierto, y quitar el diafragma de calibración, ahora el analizador esta completamente calibrado y listo para la corrida de un análisis real.

II Procedimiento de operación.

Antes de que el primer análisis real pueda empezar, el analizador debe estar preparado adecuadamente según el procedimiento anterior.

Precaución: Como la temperatura y la H.R. en la sección superior - del recipiente cambian cada vez que se abre, los pasos (a), (b), y (c), deben hacerse tan rápido como sea posible, procurando que el tiempo total que permanece abierta la cámara sea menor de 10 segundos.

- a) Oprimir el botón de abierto, para abrir la cámara de análisis. - Quitar la muestra analizada anteriormente, o el diafragma de metal sólido si se ha dejado en la cámara.
- b) Ver que haya suficiente agua en la cámara para cubrir el termómetro. El agua se evapora muy lentamente, sin embargo, hay - que revisar que haya suficiente agua antes de colocar la muestra

por analizar en la cámara.

- c) Colocar una muestra por analizar de un espesor uniforme, en la sección del fondo de la cámara. Esta muestra debe ser suficientemente grande para cubrir completamente el sello del recipiente. Si la muestra es de material tan delgado que haga difícil acomodarlo adecuadamente en cámara, colocarla sobre el soporte de muestras y meter el soporte con la muestra dentro del recipiente tan lejos como se pueda; dejar el soporte dentro del recipiente durante el tiempo de análisis. Si la muestra es recubierta con un recubrimiento hidrofóbico tal como polietileno ó PVD C de un lado solamente, generalmente se analiza con el lado recubierto hacia arriba, pero esto se debe determinar dependiendo del uso que se le dará al material.

Con la muestra colocada adecuadamente dentro de la cámara, se cierra esta oprimiendo los botones de cerrado hasta que el recipiente quede bien cerrado.

- d) Leer cuidadosamente el termómetro. Cuando la temperatura se ha estabilizado en el valor apropiado, oprimir el botón iniciador de depuración para empezar la secuencia de análisis. El tomador de tiempo debe ajustarse a cero. El analizador purgará, estabilizará y analizará sin prestarle mayor atención. El tomador de tiempo empezará a funcionar al iniciarse el período

de análisis real, cuando se encienda el indicador de análisis. — Cuando el período de análisis ha sido completado, se prenderá el indicador de relevo, el tomador de tiempo se detendrá y emitirá un sonido. Si el operador no está presente cuando se termina el análisis, el analizador permanecerá en condiciones de relevo, listo para el siguiente análisis.

- e) Leer y apuntar el tiempo de análisis que se muestra en el indicador del tomador de tiempo. Repetir el paso (d) hasta obtener resultados consistentes (f). Colocar una nueva muestra y continuar el análisis. En el caso de no querer continuar el análisis, colocar el diafragma de metal sólido y dejar que el analizador permanezca en condiciones de relevo. Nunca se debe dejar el analizador sin una muestra o el diafragma dentro de la cámara.
- g) Periódicamente colocar el diafragma de calibración estandar y recalibrar el analizador como se describe en el procedimiento I.

III Cálculos.

Los datos obtenidos de este instrumento representan el número de segundos que se requieren para llevar la H.R. del lado seco de la película de 10 a 11 %. Usando estos datos y la carta que acompaña al instrumento, se puede determinar el WVTR.

IV Procedimiento de apagado

Para apagar el aparato por una noche, colocar el diafragma sólido en la cámara y dejarlo prendido. Un análisis real se puede dejar en proceso toda una -- noche y leer los resultados a la mañana siguiente. El sistema permanecerá en condi-- ciones de relevo toda la noche, para mantener en buenas condiciones al sensor Q - - 229 A, y que este listo para otros análisis a la mañana siguiente.

V Mantenimiento periódico.

El analizador W 825 es diseñado y construido de tal forma que requie-- ra un mantenimiento periódico mínimo, pero las siguientes cosas deberán recibir aten-- ción:

AGUA DE LA CAMARA DE ANALISIS.- Debe ser agua suficientemente - - destilada o desmineralizada para cubrir el termómetro, la que se debe conservar en la sec-- ción más baja de la cámara de análisis cuando el analizador este en operación. El - agua se evapora muy lentamente pero el operador debe responsabilizarse de inspeccio-- nar el nivel de agua diariamente y añadir cuidadosamente agua, según se requiera.

SECADOR DE AIRE.- El desecante usado en la cámara del secador de - aire, eventualmente llega a estar exhausto, es decir húmedo, lo que aumentará consi-- derablemente el tiempo de purgado.

Cuando esto ocurre, hay que conectar en posición 2 al recipiente, - en el cual se secará al desecante. Abrir la válvula de salida en el fondo del reci-- piente del desecante húmedo y desatornillar el recipiente y secar el desecante de la -

siguiente manera: Vertir el desecante húmedo en un sartén poco profundo, esparciéndolo en una capa uniforme. Colocar el sartén dentro de un horno calentándolo a 121°C . Cocer el desecante por 1 hr, y regresarlo después al recipiente plástico. -- Antes de atornillar el recipiente en su lugar, lubricar el anillo "O" con grasa de silicón.

Esta renovación de desecante húmedo debe hacerse tan pronto como el desecante llegue a estar húmedo, por lo que debe tenerse siempre un recipiente con desecante seco en reserva evitándose así un paro.

Cuando se conecte la válvula en posición 2, hay que girarla lo más que se pueda. Si se deja en una posición media, ambos recipientes quedarán aislados.

SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA.- La calibración del sensor de H.R. Q 229 A, cambia muy lentamente con el uso pero, para asegurar un buen funcionamiento, hay que cambiarlo por uno nuevo cada seis meses de uso regular.

Hay que manejar el sensor muy cuidadosamente y solo por las orillas. No debe haber huellas de dedos sobre la superficie sensible. No se debe permitir -- que el agua lo toque, ni que se condense la humedad sobre él.

Al instalar el sensor, hay que subirlo con el lado de la reja dorada -- hacia abajo y el nombre estampado hacia arriba. Empuje hacia arriba los tapones -- instalados tipo plátano tan lejos como lo permitan los bordes del tapón. Después de -- instalar el sensor, mantener cerrada la cámara de análisis el mayor tiempo posible. --

Cuando no se use el analizador, hay que tener una muestra de análisis dentro de la cámara o bien el diafragma de metal sólido; dejar el analizador en condiciones de relevo, conectado para que mantenga la H.R. baja en la sección superior de la cámara para proteger al sensor.

CILINDRO OPERADOR DE LA CAMARA.- Lubricar el cilindro operador de la cámara una vez cada seis meses, desconectando la línea de aire al cilindro y poniendo unas gotitas de aceite para máquina ligero dentro del cilindro, volver a conectar la línea de aire.

ANILLOS " O " DE LA UNION DE AIRE.- Lubricar los anillos " O " de la unión de aire una vez cada mes con un pequeño recubrimiento de grasa de silicones.

FILTRO DE AIRE.- El filtro de aire operará eficientemente hasta que este completamente saturado de humedad. Un chequeo visual de las condiciones en que se encuentra el elemento del filtro debe hacerse periódicamente, observándolo através de una tasa de filtro transparente. Cuando el nivel de saturación del filtro es te a 12.7 mm del nivel superior del elemento, se debe quitar el tazón del filtro y reemplazarse por uno nuevo.

Debe hacerse un chequeo visual periódico para materiales extraños y contaminantes en el filtro. Si se encuentran materiales extraños en el tazón, se debe aflojar la llave de desagüe, para que salgan los contaminantes.

C A P I T U L O I V

EXPERIMENTOS VARIANDO LAS CONDI-
CIONES DE OPERACION DE LOS EQUI--
POS INDUSTRIALES PARA CONSEGUIR --
UNA APLICACION UNIFORME DEL RECU_
BRIMIENTO.

Estamos de acuerdo en que hay que seleccionar el equipo industrial, y el tipo de copolímeros para que el recubrimiento (o los recubrimientos) queden libres de espuma y que la micropelícula posea un espesor constante, para lo cual se diseñaron y efectuaron los siguientes experimentos de laboratorio:

Se tomo un copolímero de PVDC y se aplicó por un método específico variando la cantidad de recubrimiento desde 3 g/m^2 hasta 20 g/m^2 . Para recubrir 10 , 14 , y 16 g/m^2 se efectuó el experimento en uno y dos pasos, y los de 18 y 20 g/m^2 en dos y tres pasos respectivamente.

Se midieron la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR, $\text{g/m}^2 \times 24 \text{ hrs} \times 38^\circ \text{ C}$ y 90% de humedad relativa), y la velocidad de transmisión de gases (GTR, $\text{cc/m}^2 \times 24 \text{ hrs} \times 1 \text{ atm}$) varias veces para cada experimento, de tal forma que los valores que aparecen en las tablas son valores promedio.

Se repitieron los experimentos tomando el mismo copolímero pero variando los métodos de recubrimiento uno por uno hasta agotarlos.

Luego se tomo otro copolímero y se repitieron todos los experimentos tomando todos los métodos de aplicación, uno por uno hasta tomar todos los copolímeros que se consideraba podían servir.

Los resultados aparecen en las siguientes tablas :

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 88% - METIL ACRILATO 10% - ACRILONITRILO 2%

METODO DE RECUBRIMIENTO: RODILLOS A CONTRAROTACION (MODIFICADO)	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/1	3	1	0.076	15.00	5.00
	2/1	8	1	0.196	6.20	4.70
	3/1	10	1	0.244	4.60	4.00
	4/1	10	2	0.248	2.80	3.50
	5/1	14	1	0.340	3.10	3.10
	6/1	14	2	0.343	2.10	2.90
	7/1	16	1	0.388	3.00	2.90
	8/1	16	2	0.391	1.70	2.48
	9/1	18	2	0.440	1.63	2.30
10/1	20	3	0.491	0.90	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 88% - METIL ACRILATO 10% - ACRILONITRILO 2%

METODO DE RECUBRIMIENTO: CONTACTO FORZADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/2	3	1	0.076	16.00	5.10
	2/2	8	1	0.196	7.40	4.90
	3/2	10	1	0.244	5.00	4.00
	4/2	10	2	0.248	3.10	4.00
	5/2	14	1	0.340	4.40	3.40
	6/2	14	2	0.343	3.40	3.10
	7/2	16	1	0.388	3.80	3.10
	8/2	16	2	0.391	2.10	2.60
	9/2	18	2	0.440	1.90	2.40
10/2	20	3	0.491	1.00	2.20	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 88%-METIL ACRILATO 10%- ACRILONITRILO 2%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: NAVAJA DE AIRE	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/3	3	1	0.076	16.50	6.00
	2/3	8	1	0.196	8.00	5.10
	3/3	10	1	0.244	5.40	4.90
	4/3	10	2	0.248	3.90	4.70
	5/3	14	1	0.340	4.90	3.00
	6/3	14	2	0.343	3.90	3.10
	7/3	16	1	0.388	4.10	3.00
	8/3	16	2	0.391	2.40	2.80
	9/3	18	2	0.440	2.00	2.50
10/3	20	3	0.491	1.10	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 88%-METIL ACRILATO 10%- ACRILONITRILO 2%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: DOBLE VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/4	3	1	0.076	17.10	6.00
	2/4	8	1	0.196	8.20	5.40
	3/4	10	1	0.244	5.90	4.80
	4/4	10	2	0.248	4.10	4.60
	5/4	14	1	0.340	5.30	3.10
	6/4	14	2	0.343	4.10	3.00
	7/4	16	1	0.388	4.30	3.20
	8/4	16	2	0.391	2.60	3.00
	9/4	18	2	0.440	2.20	2.90
10/4	20	3	0.491	1.50	2.20	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/5	3	1	0.076	18.00	
	2/5	8	1	0.196	9.00	
	3/5	10	1	0.244	7.00	
	4/5	10	2	0.248	5.00	
	5/5	14	1	0.340	6.00	
	6/5	14	2	0.343	5.00	
	7/5	16	1	0.388	5.70	
	8/5	16	2	0.391	5.90	
	9/5	18	2	0.440	4.90	
	10/5	20	3	0.491	2.20	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : RODILLOS A CONTRAROTACION	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/6	3	1	0.076	17.30	
	2/6	8	1	0.196	9.00	
	3/6	10	1	0.244	7.00	
	4/6	10	2	0.248	5.00	
	5/6	14	1	0.340	6.20	
	6/6	14	2	0.343	5.40	
	7/6	16	1	0.388	5.40	
	8/6	16	2	0.391	3.40	
	9/6	18	2	0.440	3.40	
	10/6	20	3	0.491	2.20	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 88%- METIL ACRILATO 10%- ACRILONITRILO 2%

METODO DE RECUBRIMIENTO: ROTOGRABADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/7	3	1	0.076	19.00	6.30
	2/7	8	1	0.196	9.70	5.90
	3/7	10	1	0.244	7.60	6.00
	4/7	10	2	0.248	5.70	5.90
	5/7	14	1	0.340	5.40	5.00
	6/7	14	2	0.343	5.00	5.00
	7/7	16	1	0.388	4.80	4.50
	8/7	16	2	0.391	2.90	4.00
	9/7	18	2	0.440	2.40	3.90
	10/7	20	3	0.491	2.10	3.40

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: RODILLOS A CONTRAROTACION (MODIFICADO)	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/1	3	1	0.076	15.50	
	2/1	8	1	0.196	6.80	
	3/1	10	1	0.244	5.10	
	4/1	10	2	0.248	2.30	
	5/1	14	1	0.340	3.40	
	6/1	14	2	0.343	2.50	
	7/1	16	1	0.388	3.50	
	8/1	16	2	0.391	2.10	2.90
	9/1	18	2	0.440	2.00	
	10/1	20	3	0.491	1.40	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: CONTACTO FORZADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/2	3	1	0.076	16.40	
	2/2	8	1	0.196	7.90	
	3/2	10	1	0.244	5.60	
	4/2	10	2	0.248	3.70	
	5/2	14	1	0.340	5.10	
	6/2	14	2	0.343	3.90	
	7/2	16	1	0.388	4.30	
	8/2	16	2	0.391	2.70	
	9/2	18	2	0.440	2.40	
	10/2	20	3	0.491	1.50	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: NAVAJA DE AIRE	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/3	3	1	0.076	17.10	
	2/3	8	1	0.196	8.40	
	3/3	10	1	0.244	5.80	
	4/3	10	2	0.248	3.40	
	5/3	14	1	0.340	5.30	
	6/3	14	2	0.343	4.10	
	7/3	16	1	0.388	4.70	
	8/3	16	2	0.391	3.00	
	9/3	18	2	0.440	2.70	
	10/3	20	3	0.491	1.90	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: DOBLE VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/4	3	1	0.076	17.60	
	2/4	8	1	0.196	8.60	
	3/4	10	1	0.244	6.30	
	4/4	10	2	0.248	4.70	
	5/4	14	1	0.340	6.00	
	6/4	14	2	0.343	4.60	
	7/4	16	1	0.388	5.20	
	8/4	16	2	0.391	3.00	
	9/4	18	2	0.440	2.90	
	10/4	20	3	0.491	1.90	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO: COPOLIMERO: PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/5	3	1	0.076	17.60	
	2/5	8	1	0.196	8.70	
	3/5	10	1	0.244	6.40	
	4/5	10	2	0.248	4.90	
	5/5	14	1	0.340	5.60	
	6/5	14	2	0.343	4.90	
	7/5	16	1	0.388	5.30	
	8/5	16	2	0.391	2.90	
	9/5	18	2	0.440	2.80	
	10/5	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO: COPOLIMERO: PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: RODILLOS A CONTRAROTACION	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/6	3	1	0.076	17.40	
	2/6	8	1	0.196	8.90	
	3/6	10	1	0.244	6.70	
	4/6	10	2	0.248	4.90	
	5/6	14	1	0.340	6.10	
	6/6	14	2	0.343	5.10	
	7/6	16	1	0.388	5.50	
	8/6	16	2	0.391	3.10	
	9/6	18	2	0.440	3.10	
	10/6	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : ROTOGRABADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/7	3	1	0.076	18.00	
	2/7	8	1	0.196	10.00	
	3/7	10	1	0.244	8.00	
	4/7	10	2	0.248	7.10	
	5/7	14	1	0.340	7.10	
	6/7	14	2	0.343	6.90	
	7/7	16	1	0.388	5.90	
	8/7	16	2	0.391	3.40	
	9/7	18	2	0.440	3.00	
	10/7	20	3	0.491	2.40	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 85% - METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: RODILLOS A CONTRAROTACION (MODIFICADO)	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/1	3	1	0.076	15.90	
	2/1	8	1	0.196	6.90	
	3/1	10	1	0.244	5.70	
	4/1	10	2	0.248	2.60	
	5/1	14	1	0.340	3.90	
	6/1	14	2	0.343	2.90	
	7/1	16	1	0.388	3.90	
	8/1	16	2	0.391	2.40	3.00
	9/1	18	2	0.440	2.10	
10/1	20	3	0.491	2.00		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 85% - METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: CONTACTO FORZADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/2	3	1	0.076	17.00	
	2/2	8	1	0.196	8.00	
	3/2	10	1	0.244	5.30	
	4/2	10	2	0.248	3.90	
	5/2	14	1	0.340	4.90	
	6/2	14	2	0.343	3.90	
	7/2	16	1	0.388	5.10	
	8/2	16	2	0.391	2.80	
	9/2	18	2	0.440	2.60	
10/2	20	3	0.491	1.90		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 85% - METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : NAVAJA DE AIRE	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/3	3	1	0.076	17.10	
	2/3	8	1	0.196	8.50	
	3/3	10	1	0.244	5.70	
	4/3	10	2	0.248	3.20	
	5/3	14	1	0.340	5.00	
	6/3	14	2	0.343	4.60	
	7/3	16	1	0.388	4.90	
	8/3	16	2	0.391	2.90	
	9/3	18	2	0.440	2.90	
	10/3	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 85% - METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : DOBLE VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/4	3	1	0.076	17.00	
	2/4	8	1	0.196	8.00	
	3/4	10	1	0.244	6.70	
	4/4	10	2	0.248	4.90	
	5/4	14	1	0.340	6.20	
	6/4	14	2	0.343	4.90	
	7/4	16	1	0.388	5.30	
	8/4	16	2	0.391	3.10	
	9/4	18	2	0.440	2.90	
	10/4	20	3	0.491	1.90	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 85% - METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : VARILLA · MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/5	3	1	0.076	17.00	
	2/5	8	1	0.196	8.10	
	3/5	10	1	0.244	6.30	
	4/5	10	2	0.248	4.30	
	5/5	14	1	0.340	5.90	
	6/5	14	2	0.343	4.10	
	7/5	16	1	0.388	5.20	
	8/5	16	2	0.391	2.90	
	9/5	18	2	0.440	2.90	
	10/5	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 85% - METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : RODILLOS A CONTRAROTACION	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/6	3	1	0.076	17.40	
	2/6	8	1	0.196	9.00	
	3/6	10	1	0.244	6.90	
	4/6	10	2	0.248	5.00	
	5/6	14	1	0.340	6.00	
	6/6	14	2	0.343	5.00	
	7/6	16	1	0.388	5.90	
	8/6	16	2	0.391	3.20	
	9/6	18	2	0.440	3.10	
	10/6	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO: COPOLIMERO: PVDC 85%- METIL ACRILATO 15%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: ROTOGRABADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/7	3	1	0.076	18.00	
	2/7	8	1	0.196	9.70	
	3/7	10	1	0.244	7.90	
	4/7	10	2	0.248	6.10	
	5/7	14	1	0.340	6.10	
	6/7	14	2	0.343	5.70	
	7/7	16	1	0.388	5.50	
	8/7	16	2	0.391	3.00	
	9/7	18	2	0.440	2.70	
	10/7	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILO 5%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: RODILLOS A CONTRAROTACION (MODIFICADO)	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/1	3	1	0.076	16.00	
	2/1	8	1	0.196	6.70	
	3/1	10	1	0.244	5.80	
	4/1	10	2	0.248	2.40	
	5/1	14	1	0.340	3.70	
	6/1	14	2	0.343	3.00	
	7/1	16	1	0.388	3.40	
	8/1	16	2	0.391	2.60	3.10
	9/1	18	2	0.440	2.20	
	10/1	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILO 5%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: CONTACTO FORZADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/2	3	1	0.076	17.10	
	2/2	8	1	0.196	8.20	
	3/2	10	1	0.244	5.40	
	4/2	10	2	0.248	3.80	
	5/2	14	1	0.340	4.10	
	6/2	14	2	0.343	3.90	
	7/2	16	1	0.388	4.70	
	8/2	16	2	0.391	2.80	
	9/2	18	2	0.440	2.70	
	10/2	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILO 5%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : NAVAJA DE AIRE	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/3	3	1	0.076	16.90	
	2/3	8	1	0.196	8.90	
	3/3	10	1	0.244	5.90	
	4/3	10	2	0.248	3.40	
	5/3	14	1	0.340	5.10	
	6/3	14	2	0.343	4.90	
	7/3	16	1	0.388	5.30	
	8/3	16	2	0.391	2.70	
	9/3	18	2	0.440	2.90	
	10/3	20	3	0.491	2.10	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILO 5%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : DOBLE VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/4	3	1	0.076	17.40	
	2/4	8	1	0.196	8.20	
	3/4	10	1	0.244	6.90	
	4/4	10	2	0.248	5.30	
	5/4	14	1	0.340	6.70	
	6/4	14	2	0.343	5.20	
	7/4	16	1	0.388	5.60	
	8/4	16	2	0.391	3.40	
	9/4	18	2	0.440	3.20	
	10/4	20	3	0.491	1.90	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILLO 5%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/5	3	1	0.076	17.10	
	2/5	8	1	0.196	8.20	
	3/5	10	1	0.244	6.40	
	4/5	10	2	0.248	4.40	
	5/5	14	1	0.340	6.00	
	6/5	14	2	0.343	4.20	
	7/5	16	1	0.388	5.70	
	8/5	16	2	0.391	3.20	
	9/5	18	2	0.440	3.10	
10/5	20	3	0.491	2.10		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILLO 5%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : RODILLOS A CONTRAROTACION	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/6	3	1	0.076	17.30	
	2/6	8	1	0.196	9.10	
	3/6	10	1	0.244	6.70	
	4/6	10	2	0.248	5.20	
	5/6	14	1	0.340	6.30	
	6/6	14	2	0.343	5.40	
	7/6	16	1	0.388	6.00	
	8/6	16	2	0.391	3.40	
	9/6	18	2	0.440	3.40	
10/6	20	3	0.491	2.10		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO: PVDC 80% - ETIL ACRILATO 15% - ACRILONITRILLO 5%

METODO DE RECUBRIMIENTO: ROTOGRABADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/7	3	1	0.076	18.00	
	2/7	8	1	0.196	10.00	
	3/7	10	1	0.244	7.80	
	4/7	10	2	0.248	6.40	
	5/7	14	1	0.340	6.90	
	6/7	14	2	0.343	5.90	
	7/7	16	1	0.388	5.90	
	8/7	16	2	0.391	3.10	
	9/7	18	2	0.440	2.90	
10/7	20	3	0.491	2.20		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : RODILLOS A CONTRAROTACION (MODIFICADO)	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/1	3	1	0.076	17.90	
	2/1	8	1	0.196	6.90	
	3/1	10	1	0.244	5.90	
	4/1	10	2	0.248	3.00	
	5/1	14	1	0.340	3.90	
	6/1	14	2	0.343	3.90	
	7/1	16	1	0.388	3.90	
	8/1	16	2	0.391	2.90	3.60
	9/1	18	2	0.440	2.70	
10/1	20	3	0.491	1.90		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : CONTACTO FORZADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/2	3	1	0.076	17.80	
	2/2	8	1	0.196	8.90	
	3/2	10	1	0.244	5.60	
	4/2	10	2	0.248	3.90	
	5/2	14	1	0.340	4.00	
	6/2	14	2	0.343	3.90	
	7/2	16	1	0.388	4.90	
	8/2	16	2	0.391	2.30	
	9/2	18	2	0.440	2.30	
10/2	20	3	0.491	2.00		

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : NAVAJA DE AIRE	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/3	3	1	0.076	17.90	
	2/3	8	1	0.196	9.00	
	3/3	10	1	0.244	6.00	
	4/3	10	2	0.248	4.10	
	5/3	14	1	0.340	6.00	
	6/3	14	2	0.343	4.70	
	7/3	16	1	0.388	6.00	
	8/3	16	2	0.391	3.00	
	9/3	18	2	0.440	3.10	
	10/3	20	3	0.491	2.70	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : DOBLE VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/4	3	1	0.076	18.00	
	2/4	8	1	0.196	9.10	
	3/4	10	1	0.244	7.00	
	4/4	10	2	0.248	5.30	
	5/4	14	1	0.340	6.90	
	6/4	14	2	0.343	4.60	
	7/4	16	1	0.388	4.00	
	8/4	16	2	0.391	3.60	
	9/4	18	2	0.440	3.20	
	10/4	20	3	0.491	2.00	

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 88% - METIL ACRILATO 10% - ACRILONITRILLO 2%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : VARILLA MAYER	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/5	3	1	0.076	17.10	6.20
	2/5	8	1	0.196	8.10	5.70
	3/5	10	1	0.244	6.00	5.20
	4/5	10	2	0.248	4.40	4.60
	5/5	14	1	0.340	5.90	4.30
	6/5	14	2	0.343	4.70	3.90
	7/5	16	1	0.388	4.90	3.60
	8/5	16	2	0.391	2.70	3.00
	9/5	18	2	0.440	2.25	3.00
	10/5	20	3	0.491	1.90	2.90

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO : COPOLIMERO : PVDC 88% - METIL ACRILATO 10% - ACRILONITRILLO 2%						
METODO DE RECUBRIMIENTO : RODILLOS A CONTRAROTACION	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC , g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/6	3	1	0.076	17.30	6.30
	2/6	8	1	0.196	8.50	6.00
	3/6	10	1	0.244	6.20	5.90
	4/6	10	2	0.248	4.60	5.70
	5/6	14	1	0.340	6.00	4.90
	6/6	14	2	0.343	4.90	4.60
	7/6	16	1	0.388	5.10	4.20
	8/6	16	2	0.391	2.90	3.10
	9/6	18	2	0.440	2.50	3.00
	10/6	20	3	0.491	1.90	2.90

TIPO DE MATERIAL DEL RECUBRIMIENTO: COPOLIMERO: PVDC 90% - ETIL ACRILATO 10%						
METODO DE RECUBRIMIENTO: ROTOGRABADO	EXPERIMENTO No.	PESO PVDC, g/m ²	NUMERO DE PASOS	COSTO, \$/m ²	WVTR	GTR
	1/7	3	1	0.076	19.00	
	2/7	8	1	0.196	9.90	
	3/7	10	1	0.244	7.90	
	4/7	10	2	0.248	5.80	
	5/7	14	1	0.340	5.70	
	6/7	14	2	0.343	5.50	
	7/7	16	1	0.388	5.00	
	8/7	16	2	0.391	3.00	
	9/7	18	2	0.440	2.70	
10/7	20	3	0.491	2.30		

Analizando cuidadosamente los resultados de las tablas anteriores, llegamos a las siguientes conclusiones:

- 1.- Conformen aumentamos la cantidad de recubrimiento, los valores — de WVTR y GRT disminuyen.
- 2.- Es mejor utilizar 2 pasos para aplicar una misma cantidad de recubrimiento que 1 solo paso, ya que obtenemos las siguientes ventajas:
 - a) Un recubrimiento más uniforme y consecuentemente
 - b) Valores de WVTR y GRT más bajos.lógicamente la desventaja de 2 pasos es el costo mayor del proceso, por lo que debe hacerse un estudio de costos minucioso.
- 3.- Cuando el peso del recubrimiento es mayor de 16 g/m^2 , el proceso resulta excesivamente caro, lo cual hace que el empaque se encuentre en desventajas en el mercado, por lo que se desecha esta posibilidad; exceptuando desde luego el caso de que algún comprador lo solicite así.
- 4.- Para copolímeros de PVDC, el método de recubrimiento por rotograbado resulta inoperante, ya que las celdas de rotograbado se tapan con mucha facilidad.
- 5.- En términos generales, los valores de GTR son proporcionales a los de WVTR, por lo cual a partir del 2 copolímero, solo se sacaron — valores de GTR para el experimento en que se recubrió con 16 g/m^2

en 2 pasos, el cual fue el mejor en todos los casos.

6.- El mejor método de aplicación de copolímeros de PVDC es una modificación del método de rodillos a contrarotación, lo que se puede comprobar fácilmente al encontrarse en ese método los valores más bajos de WVTR y GTR con todos los copolímeros. El orden de efectividad es el siguiente:

- I.- Modificación al método de rodillos a contrarotación.
- II.- Recubrimiento por contacto forzado.
- III.- Navaja de aire.
- IV.- Instalación con varilla mayer doble.
- V.- Varilla mayer.
- VI.- Rodillos a contrarotación.
- VII.- Rotograbado.

7.- El mejor copolímero de PVDC para recubrimientos es el que tiene los siguientes componentes:

PVDC	88 %
METIL ACRILATO	10 %
ACRILONITRILO	2 %

C A P I T U L O V

SELECCION DEL EQUIPO INDUSTRIAL, DEL TIPO DE COPOLIMERO Y DEL METODO DE APLICACION PARA RECUBRIR CON COPOLIMERO DE PVDC 200 Ton/mes DE GLASSINE PARA SU USO COMO MATERIAL DE EMPAQUE DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y - JABONES.

SELECCION DEL EQUIPO ADECUADO DE
RECUBRIMIENTO CON PVDC .

La selección de la máquina más adecuada para hacer una exitosa operación de recubrimiento con PVDC debe hacerse desde el punto de vista técnico, tomando en cuenta los siguientes cuatro factores fundamentales:

- a) Sistema ó método de aplicación.
- b) Sistema de control de tensión.
- c) Sistema de prevención de formación de espuma
- d) Sistema de secado.

La calidad de un recubrimiento de PVDC depende fundamentalmente de una adecuada selección de estos sistemas en relación con los sustratos que se van a recubrir, con los pesos que se van a depositar, con la emulsión que se usará, con el uso final del empaque y con el volumen de producción.

Lo anterior significa que no puede haber una buena selección técni—

ca que no se derive de un estudio cuidadoso del mercado en el que se va a competir.

Lo anterior también significa que no hay una buena receta de cocina para hacer una selección adecuada del equipo ya que cada caso requiere una solución diferente.

Como un ejemplo de las variantes que se encuentran en los distintos equipos comerciales y sus diferencias en precio, se hace una comparación entre los equipos Faustel y Pagendam.

	FAUSTEL	PAGENDARM
MODELO	SL 645	LAMICOATER LC 800
USO	LAMINACION Y RECUBRIMIENTO	LAMINACION Y REC.
ANCHO	1,140 mm.	800 mm.
VELOCIDAD	140 m/min.	100 m/min.
UNIDADES DE APLICACION	2	1
TIPO DE APLICACION.	RODILLOS A CONTRAROTACION CON UNIDAD DE CONTACTO FORZADO Y DOS BARRAS MAYER Y VACIO.	RECUBRIMIENTO POR CONTACTO FORZADO CON UNA BARRA MAYER.
SECADO	DOS TUNELES DE 3 METROS Y 2.42 METROS DE LONGITUD.	UN TUNEL TIPO SIMPLEX BETA DE 6.06 METROS DE LONGITUD CON TRES SECCIONES
CAPACIDAD DE SECADO	14 GALONES POR HORA DE SOLVENTE	150 000 Kcal

POTENCIA DEL MOTOR PRINCIPAL	10 H.P.	10 H.P.
POTENCIA DEL REEMBOLINADOR	7.5 H.P.	10 H.P.
POTENCIA DE LOS VENTILADORES DEL SECADOR	7.5 H.P. 7.5 H.P. 10.0 H.P.	5 H.P.
TIPO Y NUMERO DE DESEMBOLINADORES	FLECHA SENCILLA DOS	FLECHA SENCILLA UNO
TENSION EN EL DESEMBOLINADOR	AUTOMATICA CON RODILLO DANZANTES	MANUAL
REEMBOLINADOR	UNO CON DOS FLECHAS - CON CONTROL AUTOMATICO DE TENSION	TIPO EKW DOS FLECHAS
CAPACIDAD DE RECUBRIMIENTO	9,576 $\frac{m^2}{hora}$	4,800 $\frac{m^2}{hora}$
PRECIO	\$ 2.095,375.00	\$ 1.130,994.84

Con los resultados de los experimentos de laboratorio, y con los datos anteriores, además de considerar que la máquina pueda acoplarse con otros pasos dentro de los requerimientos que se solicitan en el mercado, se seleccionó el siguiente equipo:

RECUBRIDOR DE PVDC " PAGENDARM", MODELO AB-800

Diseñado especialmente para aplicar recubrimientos de PVDC sobre varios tipos de películas. Dependiendo del tipo de película, se pueden manejar espesores desde 0.0127 mm. La máquina ha sido arreglada para recubrir en 2 pasos, --

uno despues de otro.

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

Ancho máximo	800 mm.
Velocidad máxima	150 m/min.
Longitud aproximada	22 m.
Altura aproximada	3.5 m.
Ancho de la máquina aproximado	1.5 m.
Potencia del motor principal	15 KW.
Potencia del reembobinador	10 KW.
Potencia de los ventiladores del secador total	25 KW.
Suministro de energía principal	460 V/ 50/60 Hz/ 3 Fases.
Suministro de energía al control	150 V/ 50/60 Hz/ 1 Fase.
Color	Azul de Bavaria.

La máquina PAGENDARM consta de varios componentes como son:

1. TORRECILLA DE DESEMBOBINADO TIPO SAR 2 x 600.

Diseñada para rodillos mayores de 61 cm de diámetro externo, equipada con 2 flechas que se expanden por medio de aire a presión para centros de 7.62 cm con un conjunto de calzas de aire de 15.24 cm, frenos de disco de gran rango, operado por aire, conjunto de rodillos de empalme en la base de la torrecilla, alineación lateral automática del desembobinador completo. La tensión del desembobinado se controla automáticamente por medio de un transductor forzado neumático.

2.- TRATADOR TIPO " CORONA " DE ALTO VOLTAJE Y ALTA FRECUENCIA.

Unidad completa de tratamiento corona " SOFTAL " con un recinto para una unidad en la que se purgue el aire, con los electrodos necesarios, transformadores, etc.

3.- UNIDAD DE RECUBRIMIENTO " PAGENDARM " TIPO EWA.

Un rodillo flexionante que permite al rollo quedar libre de arrugas en el par de rodillos de desembobinado, el cual tiene un rodillo para sujetarlo, accionado por aire.

La estación de recubrimiento se diseñó para llevar a cabo varios métodos de recubrimiento y viene equipada para los procesos de rotograbado directo.

Un indicador de velocidad muestra la rapidez de los rodillos (rapidez del material por recubrir).

El rodillo de retención está cubierto de hule, y tiene un Durometro -

de 60 a 65, además es fácilmente intercambiable. Está montado en un par de brazos accionados por aire que tienen topes limitantes ajustados con gran precisión.

Una cremallera y piñón que elevan y bajan el molde. Se proporciona un adaptador para facilitar el manejo de los rodillos del recubrimiento.

Un molde de acero inoxidable para la recirculación de la media y para mantener el nivel constante.

Una cuchilla oscilatoria actuada por aire proporcionada para el recubrimiento por rotograbado directo. Se proporciona también un rodillo de rotograbado con 59 celdas por cm tipo " QUADRA " .

4.- LONA DE SUCCION DE PRESION CONSTANTE.

Para asegurar una tensión constante entre la estación de recubrimiento y el canal de secado, se tiene una lona guía automática, un tensor de la lona, una succionadora de vacío, y los componentes necesarios para su manejo.

5.- CONTROL DE TENSION.

Se proporciona un control automático de tensión por medio de un variador muy delicado el cual controla la rapidez entre el cinturón del canal de secado y la lona de succión y la estación de recubrimiento.

6.- CANAL DE SECADO " PAGENDARM GURTEX " 3/800.

Secador por convección equipado con una banda sin fin de poliéster -

tejido con guía central automática y tensionador neumático.

El secador consta de 3 secciones modulares cada una de las cuales mide 2 metros de longitud. El secador tiene una cubierta de aproximadamente 7.08 cm de espesor de aislante para utilizar eficientemente la energía térmica.

Cada sección en particular tiene 2 puertas de acceso a través de las cuales las boquillas de descarga de aire de aluminio extruido, pueden sacarse para limpieza y mantenimiento.

Cada sección puede controlarse por zonas, si así se requiere, ya que cada una tiene su propio calentador por aceite, agua o vapor.

Los ventiladores para recirculación de aire están equipados con motores de 2 velocidades, uno para cada sección. Esto hace posible que funcionen a velocidades de aire nomales de 914.4 m/min, y volúmenes de aire de 169.9m³/min, o bien reducir estas a la mitad cuando se prefiera una menor transferencia térmica. — Se dispone de un ventilador de escape para evacuar el aire saturado, y al mismo tiempo introducir aire fresco y asegurar una presión dentro del secador.

7.- ZONA DE ENFRIAMIENTO POR CONVECCION.

Se dispone de una lona de succión modificada con una unidad enfriadora por convección a alta velocidad. Esto asegurará que el carrete se enfríe a temperaturas que permitan su fácil manejo, previa a la sección de reembobinado.

8. - UNIDAD DE RECUBRIMIENTO " PAGENDARM " TIPO EWA.

Del la lona de succión mencionada anteriormente, el carrete se lleva a los rodillos desocupados y bajo una plataforma de trabajo a la 2a. estación de recubrimiento.

Una guía para alinear la orilla del sustrato operada neumáticamente - centra al carrete conforme entra a la 2a. unidad.

Antes de entrar, unos rodillos flexionantes aseguran que los sustratos queden libres de arrugas y que éstos puedan alcanzar el par de rodillos de desembobinado que tienen un rodillo que sujeta accionado por aire.

El balance de la estación de recubrimiento es idéntico al descrito en el inciso (3).

9.- LONA DE SUCCION.

Igual al inciso (4)

10.- CANAL DE SECADO PAGENDARM GURTEX 4/800.

Mismo secador descrito en el inciso (6) con la única diferencia de - que esta zona cuenta con 4 secciones modulares.

11.- ZONA DE ENFRIAMIENTO POR CONVECCION

Igual al inciso (7).

12.- ESTACION DE ENFRIAMIENTO Y REEMBOBINADO

Un Rodillo flexionante reparte al carrete libre de arrugas a la estación de Reembobinado.

Consta de 2 rodillos de enfriado que son alimentados por las unidades de enfriado del cliente. Una cubierta de hule muerde al rollo sosteniendo con seguridad al carrete contra uno de los rodillos de enfriado, asegurando un control de tensión apropiado.

Se monta un oscilador dentro de esta estación para controlar con mayor sensibilidad la tensión del carrete de reembobinado.

Se proporciona una estación de cortes muy ligeros rotatorios para corregir las orillas del carrete antes del reembobinado.

13.- TORRECILLA DE REEMBOBINADO TIPO SR 2 x 6000

Diseñada para rodillos mayores de 61 cm. De diámetro exterior equipadas con 2 flechas que se expanden por medio de aire para centros de 7.62 cm. con un conjunto de calzas de aire de 15.24 cm.

Un reembobinador seguro se proporciona con los controles necesarios montados en la cabina de control.

Un rodillo protector y mecanismo de empalme para cambio de rodillos.

14. ARMADURAS DE LA MAQUINA.

Se proporciona un conjunto completo de canales "U", espaciadores,-

columnas y rodillos de repuesto, completamente pre-ensamblados.

15.- TABLERO DE CONTROL.

Se proporciona un tablero de control montado en el piso con todos los encendedores de motor necesarios, fusibles controles de impulso, luces indicadoras, - etc.

La máquina está también completamente pre-armada excepto para el amado entre las terminales de la máquina misma y las terminales en el tablero de control; las cuales serán proporcionadas por el cliente durante la instalación de la máquina.

16.- ENERGIA PRINCIPAL DE LA MAQUINA.

Se proporcionan 2 motores principales de corriente directa. Los motores secundarios siguen al motor principal y tienen un danzador que controla el ajuste.

Se proporcionan variadores finamente ajustados entre las diversas estaciones de recubrimiento y el cinturón de impulso, y entre los cinturones de impulso y la lona de succión y la estación de reembobinado.

Esto asegurará un manejo apropiado de casi todos los tipos de películas.

Precio total en la fábrica, Hamburgo, Alemania \$ 5,385,079.80

EQUIPO OPCIONAL.

17.- COMPONENTES DE RECUBRIMIENTO POR CONTACTO FORZADO.

Esos componentes hacen que la estación de recubrimiento pueda aplicar recubrimientos por contacto forzado además del procedimiento cotizado anteriormente por Rotograbado.

Se incluye:

Un conjunto de rodillos de deslizamiento, que pueden cambiarse rápidamente, que corren fácilmente y se montan en los brazos accionados por aire de la Estación de Recubrimiento EWA.

Esos rollos están hechos de acero y están cromados y pulidos, y tienen un diámetro aproximado de 8.255 cm. Una caja de cambios de velocidades con los cinturones de sincronización necesarios, ejes de transmisión, y acoplamientos para que se pueda variar por pasos de los rodillos del recubrimiento, incluyendo marcha atrás.

Un rodillo de recubrimiento con una capa de acero inoxidable que pueda montarse rápidamente en lugar del rodillo de rotograbado. El acero inoxidable evita la corrosión cuando se trabaja con PVDC y otros compuestos de ese tipo. El rodillo viene equipado con sostén de alta precisión y sellados especiales.

PRECIO ADICIONAL \$ 126,435.95

18.- VARILLA MAYER - PVDC PAGENDARM.

Se proporciona una varilla mayer manejada hidráulicamente, diseñada especialmente para aplicar recubrimientos de PVDC.

La unidad hidráulica y el motor permiten controlar la velocidad por pasos y marcha atrás del rodillo. 3 rodillos con aberturas de alambre con bayoneta - cambiabile rápida tipo montable, abierta con alambres de 0.3, 0.5, 0.7, mm de diámetro.

PRECIO ADICIONAL \$ 76,865.55

19.- ENSAMBLE DE NAVAJA DE AIRE

Un ensamble de navaja de aire estacionaria con una placa de flujo - hacia atrás de acero inoxidable. La muesca de la navaja de aire está hecha por fuera de aluminio extruido y los labios son de acero inoxidable de alto grado.

La abertura de los labios se ajusta finamente. El ángulo de la navaja puede ajustarse con ayuda de una escala métrica.

También puede ajustarse la altura horizontal de la navaja.

Se proporciona un soplador de aire de alta presión con un filtro y un humedecedor, el cual regula la humedad del aire para que lo suministre a la presión - estática requerida.

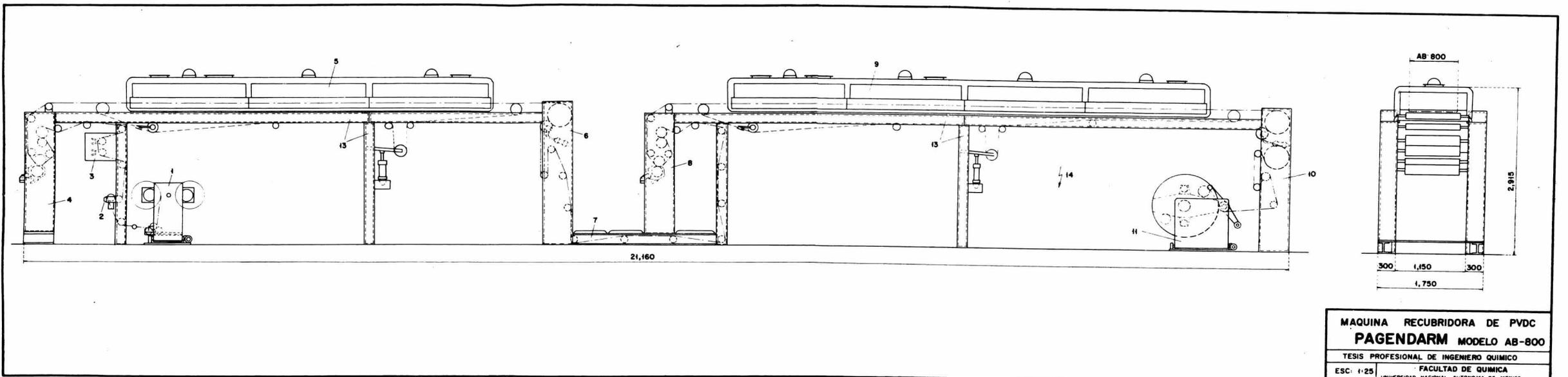
PRECIO ADICIONAL \$ 183,677.30

20.- GENERADOR DE CALOR.

Un quemador de combustible ligero el cual pueda suministrar la cantidad de calor requerida para el canal de secado Pagendam. Un calentador extremadamente seguro con arrancador automático y auto supervisión que desarrolla una flama -

clara la cual transfiere calor al aceite que es recirculado dentro del calentador y el canal de secado. La capacidad es de 600,000 BTU's aproximadamente a una temperatura de suministro de 200°C. La unidad preentubada completamente tiene su propia reserva de combustible, con bombeo manual, una bomba con motor de recirculación de aceite muy segura con los requerimientos de seguridad y los apagadores en la temperatura límite. 5 controles de temperatura modelo Pagendam P-5, los cuales son transductores de temperatura neumáticos que accionan las válvulas de flujo neumático que son las que controlan la cantidad de aceite caliente suministrado al secador y de ahí que mantengan automáticamente una temperatura de pre-calentamiento en varias zonas del secador.

PRECIO ADICIONAL \$ 753,643.00



CAPITULO VI

COSTOS

COSTOS.

La planta en la cual se realizó la Tesis opera desde hace 12 años en el D.F. solamente un turno diario. El costo por cada paso es de \$ 0.45-0.49 por ca da minuto que se utiliza la máquina. Este costo lleva incluido :

COSTOS Y
GASTOS
DIRECTOS

Mano de obra (2 operadores),

Supervisión,

Mantenimiento de la máquina,

Depreciación del equipo,

Servicios:

a) Energía Eléctrica

b) Energía de Secado

c) Agua de enfriamiento

{ Generar gases de combustión y ca lentarlos.

{ Inyectarlos al secador

{ y Extraerlos

COSTOS Y
GASTOS
INDIRECTOS

{ Administrativos,
Venta,
Financieros,
Vigilancia,
Limpieza, etc.

El primer paso cuesta alrededor de \$ 0.45 ya que generalmente la --
Energía de secado es menor, y el 2o. paso \$ 0.49 ya que emplea mayor cantidad de --
energía de secado, por lo tanto si recubrimos en 2 pasos nos cuesta \$.94 por cada mi-
nuto que se utilice la máquina.

En un minuto se recubren 120 m con la máquina PAGENDARM mode-
lo AB-800.

Un gramo de PVDC cuesta \$ 0.02397 al lado de la máquina, es de--
cir, listo para el recubrimiento.

Por lo tanto el costo total del recubrimiento dependerá del tiempo --
que se emplea la máquina y de la cantidad de PVDC utilizado.

Estos 2 factores se tomaron en cuenta en las tablas del capítulo IV.

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

CONCLUSIONES

RESUMEN Y CONCLUSIONES.

De los experimentos realizados e conclúye que:

- a) Las emulsiones de PVDC son usadas con mayor frecuencia y mejores resultados por los convertidores, que las soluciones.
- b) Las emulsiones proveen al sustrato recubierto mejor barrera que las soluciones.
- c) Las emulsiones son más difíciles de aplicar y se manejan con más trabajos que las soluciones, pero las soluciones son más difíciles de secar.
- d) Las técnicas de aplicación difieren según el ó los sustratos que se recubran.
- e) El mejor y más versatil método de aplicación es el de rodillos a con-

tratoración modificado con contacto forzado y una ó dos barras Mayer.

- f) El peor método de aplicación de emulsiones es el rodillo de rotogravado que en cambio trabaja bien con soluciones siempre y cuando la máquina disponga de un buen equipo de secado.
- g) Se obtiene mejor barrera cuando la aplicación de la emulsión se hace en varios pasos.
- h) La selección de la máquina debe derivar de un estudio del mercado que tome en consideración, el uso final del empaque, el sustrato y los volúmenes de producción.
- i) Los fabricantes de emulsiones de PVDC creen que cambiando la naturaleza del copolímero mediante reacciones con nuevos monómeros secundarios, se llegará en un futuro cercano, a simplificar la aplicación del recubrimiento.
- j) El empleo de PVDC como termosellante puede ser en algunos casos más económico que el uso de polietileno.
- k) El futuro de los recubrimientos de PVDC sobre papeles y sobre películas es en el mundo actual, como consecuencia de algunas escaseces, sumamente promisor.

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

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

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

- 1.- Miller S. A.
Ethylene and its Industrial Derivates
- 2.- Fleckenstein J. G.
Vinyl Chloride monomer and polyvinyl resin Milprint., July 16 - -
(1974).
- 3.- Golding B.
Polymeros and resins " Their Chemistry and Chemical Engineering" .
D. Van Nostrad Company Inc. (1959), New York.
- 4.- Ives G.C. , Mead J.A. , Riley M. N.
Handbook of Plastics. Test Methods.
London Iliffe books, (1971), London.
- 5.- Heid J.L., Maynard A. Joslyn.

Fundamentals of food processing operations.

The Avi Publishing Company. Inc. (1967) Westport, Connecticut.

6.- Oswin C.R.

Super coatings Keep cellophanes ahead

Publicaciones de British Cellophane Limited.

7.- Hahn V.G. Albert

The Petrochemical Industry. Markets and Economics.

8.- Talwar Ravi Dr.,

Plastics in Packing - Gas and Vapor permeation.

Milprint Inc., (1974) Milwaukee Wisconsin.

9.- Roach Robert.

Saran Coated Substrates - Techniques of Application

Milprint Inc., Milwaukee, Wisconsin

10.- Sweting O.J.

The Science and Technology of Polymer Films.

Wiley - Interscience (1971) New York.

11.- Winding C. Ch. and Hiatt D. Gordon

Polymeric Materials.

Mc. Graw Hill book Company, Inc. (1961) New York,

12.- Modern Plastics Encyclopedia.

Volumen 51, No. 10-A

1974 - 1975.

13.- Velasco Sotomayor Fernando

Diseño de un secador de alta velocidad para el secado de adhesivos en la industria de la conversión Tesis. Facultad de Química. UNAM (1972) México, D.F.