



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

TECNOLOGIA PARA LAMINACION POR EXTRUSION DE UN  
PET-POLIFOIL

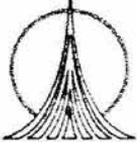
T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

DAVID A. <sup>Arturo</sup> SANABRIA VACA

DIRECTOR: JUAN ANTONIO DAVILA GORDILLO



MEXICO, D.F., 26 NOVIEMBRE

2001 4



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/099/03**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNO: SANABRIA VACA DAVID ARTURO**

**P r e s e n t e.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. Eduardo Vázquez Zamora</b>
<b>Vocal:</b>	<b>I.Q. Juan Antonio Dávila Gordillo</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. José Benjamín Rangel Granados</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q.I. Concepción G. Noroña Venegas</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**

México, D. F., 31 de Octubre de 2003

**EL JEFE DE LA CARRERA**

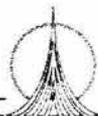


**M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA**

✦



## AGRADECIMIENTOS



Con todo amor y cariño agradezco a Dios, que me permitió terminar con este esfuerzo y tener una vida ejemplar

**Gracias Señor**

Con justa y entera devoción dedico este esfuerzo a mi madre, quien estuvo siempre en los buenos y malos momentos de mi vida

**Mama. te amo**

Agradezco a mi padre por darme un excelente ejemplo y apoyarme en toda mi trayectoria, papi; esto es para ti, y hoy solo te puedo decir

**Te quiero mucho papá**

A mis hijas, Laura Merced y Karen Viviana, que son mi razón de vivir y resignado a no volverlas a ver siempre estarán en mi corazón

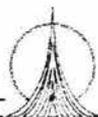
**Las extraño**

A Edith, por haber llegado en los momentos mas difíciles de mi vida, ya que sin ti no lo hubiera echo

**Te amo bebe**



## AGRADECIMIENTOS



**Gracias a los integrantes de mi jurado:**

**I.Q Eduardo Vázquez Zamora  
I.Q Juan Antonio Dávila Gordillo  
I.Q Raúl Ramón Mora Hernández  
I.Q José Benjamín Rangel Granados  
I.Q.I Concepción G. Noroña Venegas**

**Por sus comentarios y sugerencias por mejorar este trabajo, y por el tiempo que dedicaron a este.**

**Gracias:**

**A mis hermanos ; Dulce, Oscar, Cesar, Daniel, Iris y Jessica, aunque tenemos tantas diferencias soy lo que soy gracias a ustedes**

**A mi Abuelo que me enseñó tantas cosas en la vida.**

**A Benjamín, Maricruz y Oswaldo por ayudarme en este esfuerzo y por ser tan lindos amigos.**

**A todos los operadores, ya que de ellos aprendí todo lo que se.**

**A esta hermosa Facultad de Estudios Superiores Zaragoza que me brindó la oportunidad de ser alguien en la vida.**

**Al Cetis 32, que me vio nacer y me dio las bases para seguir adelante y ser una persona ejemplar.**

**A todos los profesores que desde mi niñez me alimentaron de su sabiduría y conocimientos para que "Arturito" llegara a ser alguien en la vida.**

**A todos a mis amigos que estuvieron presentes en todo momento.**

**A la vida que me a dado tantas lecciones.**



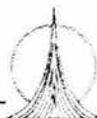
## AGRADECIMIENTOS

---



“Todos somos capaces de lograr cosas maravillosas en la vida, la única diferencia es estar convencido de lo que puedes hacer y que ante cualquier adversidad no te darás por vencido”

**Davis Artur**



---

	<b>Pag</b>
<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>CAPITULO I</b>	
<b>ORIGEN Y GENERALIDADES DE LA LAMINACION POR EXTRUSION</b>	5
I.1 Propiedades de Flujo	8
I.2 Fluidos no Newtonianos	10
I.3 Fuerzas de Adherencia en plásticos	18
I.4 Tensión Superficial	20
<b>CAPITULO II</b>	
<b>CLASIFICACION GENERAL DE LOS PLÁSTICOS</b>	22
II.1 Clasificación por permeabilidad	24
II.2 Adhesión Interfacial entre Plásticos	29
II.3 Consideraciones para Obtener una Multilaminacion Múltiple	31
II.4 Clasificación de Elfis'	33
<b>CAPITULO III</b>	
<b>PROPIEDADES FISICAS DEL PET-POLIFOIL</b>	35
III.1 Tratamiento a las Películas Plásticas	36
III.2 Tratamiento Corona	37
III.3 Poliéster XP-131	39



## INDICE



	<b>Pag</b>
III.4 Primer ML-3656 Agu – Adcote M76H105	41
III.5 Resina EPB 10	43
III.5.1 Resina Exxon Mobil LD200	44
III.5.2 Resina Ampacet 1171	45
III.6 Aluminio de 9 micras	46
III.7 Resina Lotryl	47
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRUSION PARA MULTILAMINACION DEL PET-POLIFOIL</b>	<b>49</b>
IV.1 Servicios Auxiliares	51
IV.2 Consideraciones en el Arranque de Maquina	52
IV.3 Aplicación del Primer agu al sustrato base	54
IV.4 El Extruder	55
IV.4.1 La Tolva de Alimentación y el Barril	61
IV.4.2 El Husillo	66
IV.4.3 El Dado	68
IV.5 Sección de Casting, Enfriamiento y Control de Temperatura	72
IV.6 Adhesión del aluminio 9 micras	76
IV.7 Aplicaciones Industriales del Pet- Polifoil	78
<b>CAPITULO V</b>	
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>80</b>
V.1 Costo del proceso de laminación en la maquina Black Clawson	81
V.2 Costo del proceso de corte	82
V.3 Costo del proceso de empaque del Pet-Polifoil	83



## INDICE



**Pag**

### **CAPITULO VI**

**INOVACION TECNOLÓGICA PARA MULTILAMINACIONES** 85

VI.1 Tendencia a Corto Plazo 87

VI.2 Tecnología en Maquinaria 89

**CONCLUSIONES** 91

**BIBLIOGRAFÍA** 93

### **ANEXOS**

**A GLOSARIO DE TERMINOS** 98

**B ARRANQUE DE MAQUINA** 102

**C D.F.P.** 107

**D ESPECS DE PROCESO** 108

**E FACTORES DE CONVERSION** 112

**INDICE DE TABLAS, GRAFICAS Y FIGURAS****Pag****CAPITULO I****Tablas**

I-1 Grupos funcionales que favorecen a las atracciones de Vander Walls	19
--	----

**Graficas**

I-1 Relación entre el esfuerzo y la rapidez de deformación para fluidos Newtonianos	11
I-2 Representación de la ley de potencia	13
I-3 Representación de la ley de potencia en forma logarítmica	14
I-4 Representación de la ley de Hooke, esfuerzo / deformación	16
I-5 Disminución del modulo a través del tiempo de un plástico sometido a una deformación.	17

**Figuras**

I-1 Comportamiento de flujo en una sección transversal	8
I-2 Mojado de un sustrato sólido por un adhesivo fluido	21

**CAPITULO II****Tablas**

II-1 Clasificación de los plásticos en fuerza de sello	22
II-2 Clasificación de los plásticos por barrera	23
II-3 Clasificación de los plásticos en base a su estructura en vida de anaquel	23
II-4 Velocidad de trasmisión de oxígeno	27
II-5 Velocidad de trasmisión de vapor de agua	28
II-6 Guía cualitativa de adhesión de diferentes sustratos laminados por extrusión	30
II-7 Laminaciones sencillas por solvent-less y laminaciones dobles por extrusión	33



## INDICE



Pag

### Figuras

II-1 Representación esquemática del 1)WTR y 2)OTR	25
II-2 Combinaciones multicapas y sus propiedades funcionales	47

## CAPITULO III

### Tablas

III-1 Propiedades físicas analizadas del poliéster	39
III-2 Propiedades físicas analizadas del poliéster	41
III-3 Propiedades físicas analizadas de la resina LD200	44
III-4 Propiedades físicas analizadas de la resina ampacet 1171	45
III-5 Propiedades físicas analizadas del aluminio de 9 micras	46
III-6 Características físicas analizadas de la resina Lotryl	48

### Figuras

III-1 Formula del tereftalato de polietileno	39
III-2 Formula del Etil Metil Acrilato	47

## CAPITULO IV

### Tablas

IV-1 Pre calentamiento en la zona del dado	53
--	----



## INDICE



**Pag.**

### **Figuras**

IV-1 Representación esquemática del Pet. - Polifoil	49
IV-2 Características del extrusor y el husillo	63
IV-3 Zonas del tornillo	64
IV-4 Zonas de Temperaturas en el barril	67
IV-5 Representación del dado en función con el Chill Roll	70
IV-6 Aplicación de la resina EPB 10, a través del dado	71
IV-7 Diagrama de flujo en la sección de enfriamiento	74

### **CAPITULO V**

#### **Tablas**

V-1 Costo del proceso de laminación por extrusión	81
V-2 Costo del proceso de corte	83
V-3 Costo del proceso de empaque	84

### **CAPITULO VI**

#### **Figuras**

VI-1 Línea piloto en Cerdatto Europa	89
--------------------------------------	----



---

# **TECNOLOGIA PARA LAMINACION POR EXTRUSION DE UN PET-POLIFOIL**

UNAM- FES ZARAGOZA

---



## RESUMEN



### RESUMEN

Actualmente los indicadores estadísticos y económicos en el año 2002 establecen un buen logro para la industria mexicana del plástico, la cual continua en avance. Es por ello la preocupación y la problemática de los industriales que requieren profesionales dedicados y experimentados en estas áreas de la industria de la transformación, este análisis va enfocado y dedicado a las autoridades de la Universidad de Estudios Superiores Zaragoza, así; como a todo el estudiantado para que retomen con gran fuerza este sector en su plan de estudios.

La producción de plásticos desde hace 50 años continúan penetrando en mercados donde el vidrio y metal eran predominantes. La producción de plásticos creció el 2.6% en el 2002 y su importación casi no creció, aunque si aumento su participación en la demanda total. El escenario final establece que la economía mexicana en plásticos crecerá al 3%; en el 2003 y habra reformas estructurales pero ante cualquier escenario los retos para la industria del plástico no seran tan diferentes a los de años anteriores, solo que se le agregaran nuevos impactos como son:

- a) Mayor costo de materias primas, y sobre todo la escasez
- b) Recortes presupuestales para invertir en proyectos de nuevos plásticos estructurales.
- c) La importación de los plásticos crecerá en demasía y los transformadores podrían perder mas participación en el mercado interno.
- d) Mano de obra calificada insuficiente en este sector del plástico que va de la mano de las universidades.



## RESUMEN



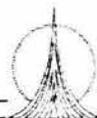
Por lo cual el año 2003 será de grandes retos de la industria del plástico y deberán aprovechar el crecimiento modesto pero positivo de los mercados buscando fortalecer la posición de los productos nacionales frente a los importados así como concentrar los esfuerzos en el mejoramiento de la competitividad de las empresas de la transformación con base a calidad y bajos costos para recuperar mercados. En la actualidad, las compañías productoras de plásticos toman muy en cuenta la tecnología y en ocasiones es objeto de discusión la relevancia de conocer hacia donde va el ramo de los plásticos. En este caso hablamos de los diversos desarrollos que han permitido contar con una amplia gama de plásticos con nuevas propiedades y características a partir de polímeros iniciales. La eficiencia de las plantas productoras de polímeros multilaminados presentan una gran desventaja en tecnología por el crecimiento de los diez últimos años en la industria del plástico multilaminado. El consumo de materias primas para multilaminaciones, en la industria plástica como el polietileno o polipropileno y la mayoría de las resinas para producir estas películas son de origen de importación alrededor del 52% y los industriales para multilaminado del plástico tienen que pagar en dólares, por lo que la problemática del desdólar es algo con lo que tendrá que vivir el industrial alrededor del 2008.

Por todo este panorama reiteramos el fin de esta tesis, tendrá el fin de proponer una evaluación principalmente del plan de estudios de la carrera de ingeniería química de la Fes Zaragoza para que el Ingeniero Químico egresado este a la vanguardia en este tipo de conversiones, ya que las estadísticas laborales indican que alrededor del 50% de los profesionistas trabajaran en el ramo de la conversión de plásticos y desafortunadamente nos hemos olvidado de este sector industrial. El segundo fin es aportar el conocimiento a todo el lector que este interesado en la conversión de plásticos o en especialidades como las multilaminaciones aquí descritas.

UNAM- FES ZARAGOZA



## INTRODUCCION



### INTRODUCCION

El campo de los plásticos esta en constante evolución y cada año aparecen nuevos materiales y desarrollos con propiedades físicas y químicas diferentes. En la industria de la transformación de plásticos, esta involucrado el proceso conocido como laminación por extrusión.

Al estar disponible fácilmente los substratos de materiales en la mitad de los años 50's se manifestó el requisito de un proceso confiable de tratar la laminación de diversos materiales a una velocidad optima de producción, se usaron algunas tecnologías de laminación en solvent-less pero lo caro del proceso y al no poder laminar mas de dos sustratos fueron consecuencias notables para hacerlo por un método llamado extrusión y el día de hoy es la mas usada en la industria de los plásticos.

Los fabricantes de polímeros en México como en todas las empresas, se requiere dar un servicio y esta sujeto a los requerimientos del mercado y de los clientes finales. Por esta situación el empaque multilaminado es de gran importancia para diferentes industrias volviéndose critica en la industria de los alimentos, farmacéutico, cosmético, construcción, botanas, dulces, etc. Este empaque multilaminado debe de cumplir la función de preservar su interior de los factores ambientales externos y de las propiedades químicas del elemento en su interior, de tal modo que llegue el producto integro al consumidor final.

Entre otros factores externos más comunes que afectan al empaque multilaminado son la luz, la temperatura, la presión, el oxígeno y otros gases. El tiempo de un empaque multilaminado esta determinado cuando se cumple el ciclo de: fabricación-compra-consumo a la satisfacción del comprador final.



## INTRODUCCION

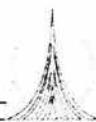


Para efectuar el bloqueo de estos factores que afectan a la estructura multicapa se pueden usar desde materiales opacos que impidan la trasmisión de la luz hasta aditivos o recubrimientos con la propiedad de ser bloqueadores de radiación.

Teniendo una gran variedad de climas en nuestro país, la temperatura sobre el multilaminado se vuelve critico para el contenido en su interior, presentando aceleración en las reacciones químicas e incremento de la velocidad de crecimiento bacterial, con la presencia aerobia se presentara la oxidación, para evitar esta situación se ha vuelto usual el uso de atmósferas modificadas dentro de las estructuras multilaminadas.

El factor que dio inicio al nacimiento de estas estructuras multicapas, fue la falta de rentabilidad de los productos donde se utilizaban estas multilaminaciones, en las ultimas cinco décadas(1950-2000)significo para la industria un gran reto volver más rentables los negocios que utilizaban algún tipo de envase de vidrio o metal. La posibilidad de reducir el costo de los productos a partir de la disminución del costo de los envases, a plásticos multilaminados fue bastante atractivo y se cambio el vidrio y metalizados por polietileno de alta densidad, polipropileno, poliestireno y pvc o simplemente la unión de estas estructuras para obtener un polímero altamente confiable.

El desarrollo tecnológico creo un sin fin de estructuras flexibles que tienen un gran impacto en la reducción de costos de los productos hasta de un 80 por ciento, en los últimos 10 años se han mejorado todas estas estructuras lo que ha vuelto sumamente competitiva a la industria del empaque.



## **I ORIGEN Y GENERALIDADES DE LA LAMINACION POR EXTRUSION**

En alguna ocasión se discutía la relevancia de conocer cuando nacieron las multilaminaciones plásticas y efectivamente nos lleva a conocer primero las fechas de la historia del nacimiento de plásticos simples, aduciendo que lo importante era el echo consumado, por lo tanto conoceremos los diversos desarrollos que han permitido contar con una amplia gama de plásticos a partir de las cuales se fabrican Las multilaminaciones. Por ello, es conveniente realizar un repaso histórico a la evolución de empaques plásticos:

Los polímeros base de los plásticos han estado con nosotros durante mucho tiempo. El hombre primitivo uso los polímeros naturales para obtener herramientas y armas pero no fue si no hasta el siglo XIX que el hombre comenzó a modificar los polímeros para crear plásticos. El primer plástico comercial fue la nitrocelulosa.

1838 Regnault en Francia descubre y obtiene en laboratorio el Policloruro de Vinilo(PVC).

1847 J.J. Berselius obtiene el primer poliéster.

1872 Los hermanos Hyatt patentan la primera máquina de inyección de plásticos.

1878 Jhon Hyatt fabrican el primer molde para inyección de varias cavidades.

1928 Se desarrolla en Alemania el primer copolimero de estireno y butadieno.

1933 Se desarrolla el polietileno en el Imperial Chemical.

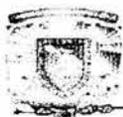
1935 Se patenta el nylon, donde Salen las medias para dama.

1936 Se desarrolla en Inglaterra el polietileno de baja densidad

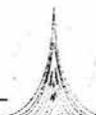
1939 Se patentan en Inglaterra las resinas epoxicas.

1940 Se inicia la producción de poliuretanos.

1955 En Alemania se usa el polietileno de baja presión(alta densidad) en la fabricación de botellas y recipientes.



## CAPITULO I



- 1956 Schell produce poliéster de ácidos carbónicos conocidos como policarbonatos.
- 1957 Se inicia la producción de policarbonatos.
- 1959 Se inicia en México la producción de etileno y polietileno en sus diversas densidades.
- 1964 Se inicia la comercialización del ionomero Surlyn patentado por dupont.
- 1970 Se desarrolla el proceso de inyección soplo para PET
- 1971 Petróleos Mexicanos es el primer productor de América Latina del Monómero de acrilonitrilo para la fabricación de fibras acrílicas.
- 1985 a 1990 Se incrementa la oferta de la película de polipropileno desplazando drásticamente el uso del celofán.
- 1987 Se desarrollan infinidad de multilaminaciones en México, con PET para bebidas y alimentos.

En base a la historia plástica básica nacen las multilaminaciones que son un requerimiento de la evolución del mercado:

En 1987 se desarrolla en gran escala en México para multilaminación con diversos sustratos como PET, BOPP, papel, polietileno y aluminio para uso de bebidas y alimentos. Un paso fundamental en la multilaminación fue a finales de los setenta cuando la industria farmacéutica inicia una reconversión tecnológica al cambiar sus envases de vidrio utilizados por multilaminaciones poliméricos para sus tabletas (que hasta entonces significaba el 80% del costo de los medicamentos) por el tipo de envase usado.

Una de las primeras multilaminaciones echas por extrusión tuvo la finalidad de obtener una película de tres capas (LDPE-PP-LDPE) para envolver pan.



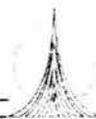
## CAPITULO I

---



El LDPE tiene la característica de sellar con calor en las líneas de empaque de alta velocidad, mientras que el PP proporcionaba la resistencia y la rigidez necesarias; además, debido a su mayor temperatura de fusión evita que se rompa la película durante el sellado térmico la adhesión entre LDPE y PP es generalmente pobre; sin embargo en películas delgadas para empaquetar productos de baja densidad (como el pan), eran aceptables.

Otras de las primeras aplicaciones de películas laminadas por extrusión fueron bolsas de trabajos pesados que contenían LDPE, LDPE- HDPE para fertilizantes y productos químicos. Estas combinaciones estaban diseñadas para sellar con calor para cierta resistencia mecánica y resistencia química.



## I.1 PROPIEDADES DE FLUJO

Se consideran dos placas paralelas, separadas entre sí por una distancia  $X$ , entre las cuales se encuentra un fluido de viscosidad " $\eta$ ", como se muestra en la figura I-1.

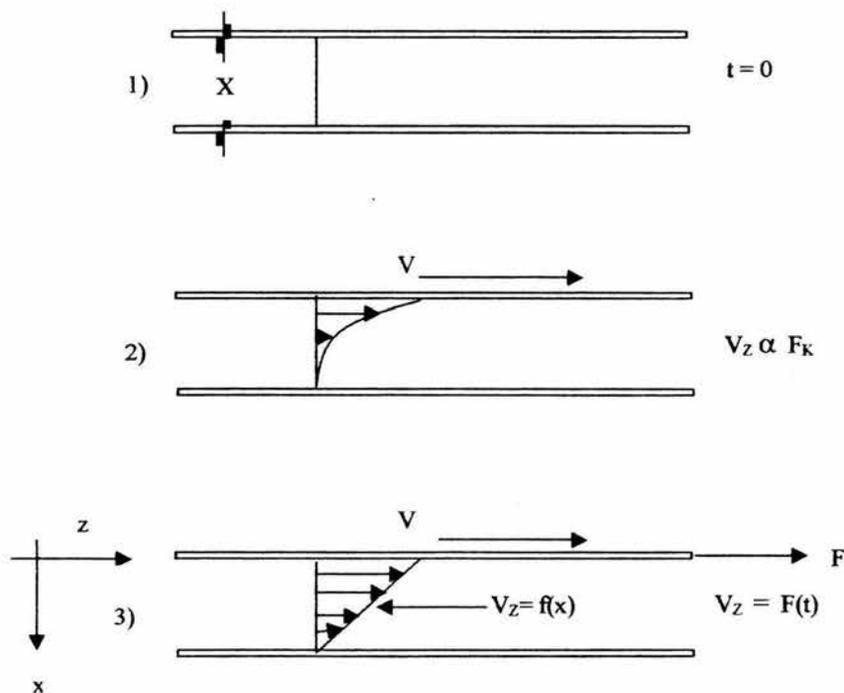
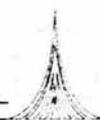


FIGURA I-1 Comportamiento del flujo en una sección transversal.



## CAPITULO I



El sistema de la figura I-1 (1), se encuentra inicialmente en reposo, al tiempo ( $t=0$ ), en la figura I-1 (2), se pone en movimiento en dirección Z a una velocidad constante V, debido a la aplicación de una fuerza F. A medida que transcurre el tiempo el fluido cobra movimiento y finalmente se alcanza el perfil de velocidades en estado estable tal como se ilustra en la figura I-1 (3).

Las fuerzas que actúan sobre un fluido se dividen en dos grupos: Fuerzas en el cuerpo y fuerzas superficiales. Las fuerzas en el cuerpo son aquellas que actúan sin establecer cambio físico, como la fuerza de gravedad y las electrostáticas. Por otra parte las fuerzas superficiales son aquellas que requieren del contacto físico para su transmisión, puesto que requieren de una superficie para que estas fuerzas actúen como las fuerzas de presión y fricción. Por tanto el esfuerzo es una fuerza superficial por unidad de área.

En un fluido estático no hay esfuerzo cortante. Por tanto, las únicas fuerzas superficiales presentes serán las que se deban a los esfuerzos normales.

En un sólido, la resistencia de deformación en el módulo de elasticidad. el módulo de corte de un sólido elástico está dado por:

$$\text{Módulo de corte} = \text{Esfuerzo cortante} / \text{Deformación cortante} \quad \text{Ec. 1}$$

Así, como el módulo de corte de un sólido elástico es una propiedad de un sólido que relaciona el esfuerzo cortante en flujo paralelo laminar, con una propiedad del fluido, esta relación es la ley de viscosidad de Newton.

$$\text{Viscosidad} = \text{Esfuerzo cortante} / \text{rapidez de deformación cortante} \quad \text{Ec. 2}$$



## CAPITULO I



Por lo tanto la viscosidad es la propiedad de un fluido para resistir la rapidez con la que se lleva a cabo la deformación cuando actúan fuerzas cortantes sobre él. Como una propiedad del fluido, la viscosidad depende de la temperatura, la composición y la presión del fluido, pero es independiente de la rapidez de la deformación cortante.

Combinando la Ec 1 y Ec 2 representa la viscosidad del material por medio de la ecuación de Newton:

$$\tau = \mu \, dv/dy \quad \text{Ec. 3}$$

Donde :

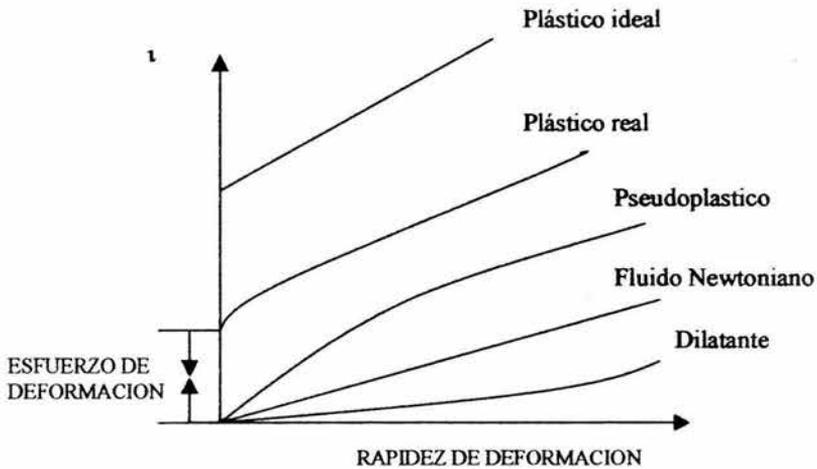
$\tau$  = Esfuerzo cortante

$\mu$  = Viscosidad

$dv/dy$  = La rapidez con respecto al esfuerzo cortante en forma lineal.

### L2 FLUIDOS NO NEWTONIANOS

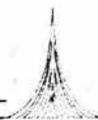
**Los materiales plásticos no exhiben el comportamiento de un fluido newtoniano.** La ley de Newton de la viscosidad no predice el esfuerzo cortante. Los fluidos se clasifican como newtonianos y no newtonianos dependiendo de la relación entre el esfuerzo cortante y la rapidez de deformación cortante. La diferencia de los fluidos newtonianos, es que la relación es lineal como se muestra en la grafica I-1



GRAFICA I-1 Relación entre el esfuerzo y la rapidez de deformación para fluidos Newtonianos y no Newtonianos.

El comportamiento de estos fluidos no newtonianos como los plásticos, pueden ser clasificados en tres etapas diferentes independientes:

- 1) Fluidos independientes del tiempo
- 2) Fluidos dependientes del tiempo
- 3) Materiales viscoelásticos



### 1) Fluidos independientes del tiempo

Son fluidos cuya viscosidad es independiente del tiempo, pero depende de la velocidad de corte y de la temperatura. Aquí se busca describir el comportamiento de estos materiales, es decir, pronosticar la relación entre “esfuerzo de corte y velocidad de corte” para poner esta relación se utiliza la ecuación 4, de Ostwald Waele.

$$\sigma = K' \left[ \frac{dV_z}{dr} \right]^n = K' \gamma^n \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$\sigma$  = esfuerzo de corte.

$\gamma$  = Velocidad de corte.

$K'$  = Constante de la ley de la potencia.

$n$  = Índice de la ley de la potencia.

Por definición para un fluido no newtoniano la relación “ $\sigma/\gamma$ ” se denomina viscosidad aparente ( $\eta_a$ ). Por lo tanto la ecuación de Ostwald Waele se representa por la ecuación 5.

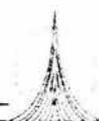
$$\eta_a = K' \gamma^{n-1} \quad \text{Ec. 5}$$

En la grafica I-2, se muestra la variación de la viscosidad con la velocidad de corte para los tres casos siguientes:

a) Cuando  $n=1$  la ley de la potencia se transforma en la ley de newton de la viscosidad, donde  $K' = \eta$



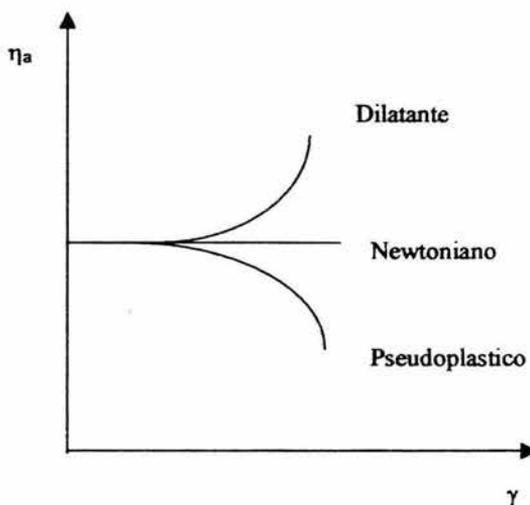
## CAPITULO I



Así se tendrá un fluido newtoniano donde la viscosidad permanece constante y no aplicaría a las bases de una extrusión.

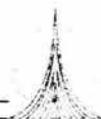
b) Cuando  $n < 1$ , se tiene un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico, en el cual la viscosidad disminuye al aumentar la viscosidad de corte.

c) Cuando  $n > 1$ , se tendrá un fluido no newtoniano de tipo dilatante, en el cual la viscosidad aumenta al incrementar la viscosidad de corte.



GRAFICA I-2 Representación de la ley de potencia.

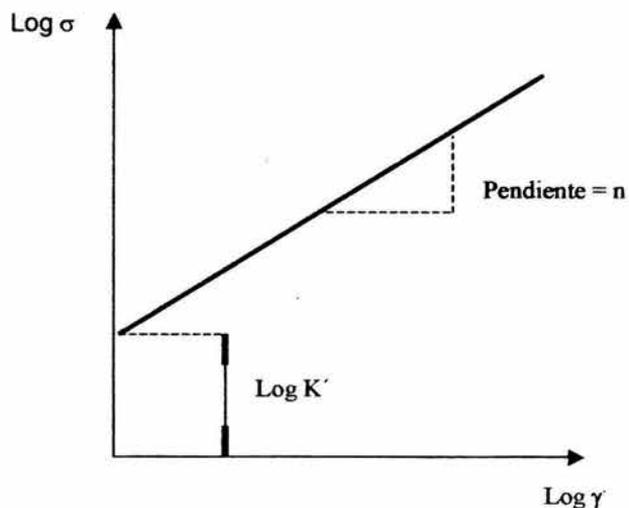
Al expresar esta ley de la potencia Ec 5, en forma logarítmica, se obtiene:



$$\text{Log } \sigma = n \text{ log } \gamma + \text{log } K'$$

Ec. 6

Esto significa que al graficar  $\text{Log } \sigma$  Vs  $\text{log } \gamma$ , se obtiene una línea recta con pendiente igual a  $n$  y con intersección en el eje de las ordenadas igual a  $\text{log } K'$ , tal como se ilustra en la grafica I-3.



GRAFICA I-3 Representación de la ley de la potencia en forma logarítmica

Experimentalmente se ha encontrado que la mayoría de los plásticos fundidos se comporta razonablemente como fluidos pseudoplásticos, y se dice razonablemente por que esto es valido solamente en un corto intervalo de  $\text{log } \gamma$ ; cuando el intervalo es mayor se obtienen curvas con dependientes decrecientes.



## 2) Fluidos dependientes del tiempo

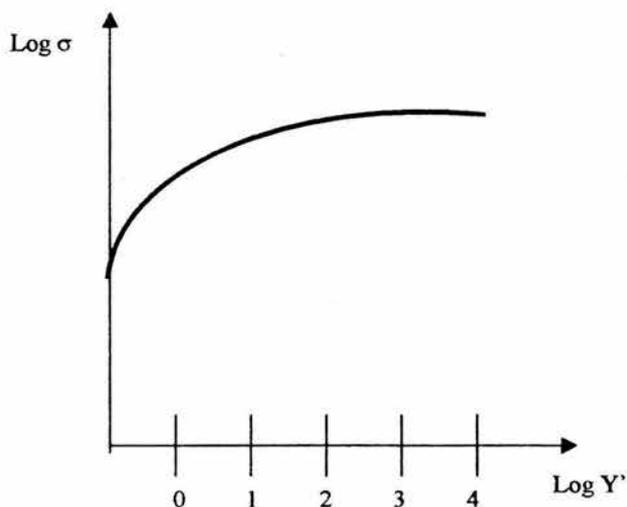
Son fluidos cuya viscosidad dependen del tiempo y además, de la velocidad de corte y la temperatura. Estos fluidos son cambiantes con el tiempo durante la constante aplicación de un esfuerzo o una deformación. En el caso de fluidos tixotropicos, la viscosidad disminuye con el tiempo durante la aplicación constante de un esfuerzo o una deformación, mientras que en el caso de fluidos reopécticos la viscosidad aumenta con el tiempo durante la aplicación constante de un esfuerzo o deformación.

## 3) Materiales viscoelásticos

Son fluidos no newtonianos que muestran un comportamiento predominantemente viscoso, pero exhiben un comportamiento elástico de manera parcial.

Son considerados como una subclase de los fluidos dependientes del tiempo. Estos materiales presentan un comportamiento intermedio entre un sólido elástico y un líquido viscoso. El comportamiento esfuerzo / deformación de un sólido elástico esta definido por la ley de Hooke de la elasticidad como se muestra en la grafica I-4.

Este tipo de comportamientos se puede observar en los polímeros. Un polímero es una molécula muy grande formada por la unión de muchas moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Las propiedades de la molécula varían al modificar su tamaño.



GRAFICA I-4 Representación de la ley de hooke, esfuerzo/deformación.

$$\text{Esfuerzo} = \text{Modulo} \times \text{Deformación}$$

Ec. 7

Este comportamiento de esfuerzo / deformación se observa en el material plástico viscoso en la maquina extrusora y esta definido por la ley de Newton de la viscosidad.

$$\text{Esfuerzo} = \text{Viscosidad} \times \text{Velocidad de deformación}$$

Ec. 8

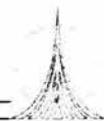
El modelo más simple describe el comportamiento viscoelastico es el de Maxwell

$$G = G_0 \cdot e^{(-t/\theta)}$$

Ec. 9



## CAPITULO I



Donde:

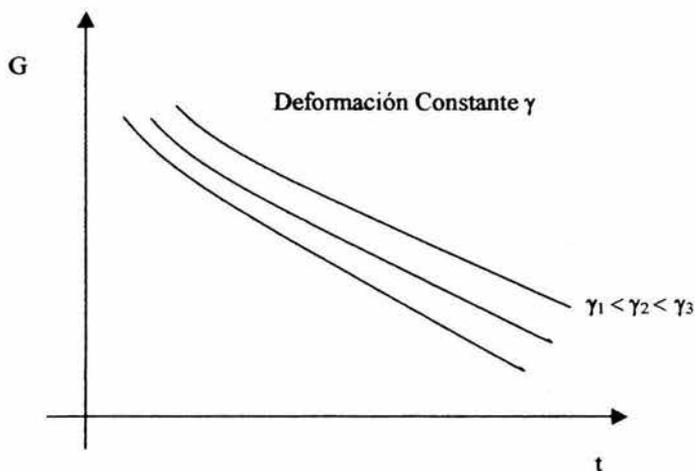
$G$  = Modulo como función del tiempo

$G_0$  = Modulo inicial

$t$  = tiempo

$\theta$  = tiempo de relajación definido por Viscosidad / Modulo =  $\eta / G$

Esta ultima ecuación describe la disminución del modulo a medida que pasa el tiempo en que el plástico esta sometido a una deformación constante, tal como se observa en la grafica I-5.



GRAFICA I-5 Disminución del modulo a través del tiempo del plástico sometido a una deformación.



### 1.3 FUERZAS DE ADHERENCIA EN PLASTICOS

Las fuerzas de adherencia en los plásticos son necesarias para recibir un segundo componente en su superficie, por lo tanto es necesario contar con un polímero o plástico que tenga la afinidad de adherencia.

La adherencia se basa básicamente en dos tipos de fuerza-enlace de Vander Walls y uniones químicas. Las fuerzas de Vander Waals son la base de la adherencia. Estas fuerzas de atracción actúan entre el adhesivo, tratamiento y el sustrato.

Los **enlaces químicos** producen el tipo de adherencia más resistente. Estas fuerzas se desarrollan cuando el sustrato tiene grupos químicos que reaccionan con el adhesivo y/o tratamiento a la película.

Algunos grupos químicos destacan por su capacidad para formar enlaces de Vander Waals. Estos grupos pueden mejorar la adherencia cuando están presentes en el adhesivo y en el tratamiento. En la tabla I-1 se incluyen estos grupos en orden descendente aproximado de propiedades de adherencia, puede observarse en la tabla I-1 que el grupo funcional de ácidos orgánicos, nitrilos y amidas son los que tienen una fuerza de atracción mayor por naturaleza es por ello de que los adhesivos, tintas y resinas estén hechos con estas materias primas

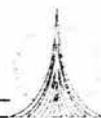


# CAPITULO I



GRUPO	ESTRUCTURA	ATRACCION DE VANDER WAALS
Ácido Orgánico	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$	ALTA
Nitrilo	$-\text{C}\equiv\text{N}$	
Amida	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H} \quad   \\ -\text{N}-\text{C}- \end{array}$	
Oxidriilo	$-\text{OH}$	INTERMEDIA
Ester	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{O}-\text{C}- \end{array}$	
Acetato	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	
Cloruro	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ -\text{C}- \\ \text{H} \end{array}$	
Éter	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{C}-\text{O}- \\   \\ \text{H} \end{array}$	BAJA
Etileno	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	

TABLA I-1 Grupos funcionales que favorecen a las atracciones de Vander Waals



Los polímeros que tiene propiedades bajas de adherencia pueden mejorarse en la adición de un pequeño porcentaje de un ácido orgánico o un acrilonitrilo. Para lograr la adherencia es necesario que los materiales queden en contacto íntimo, y este fenómeno se basa en la tensión superficial.

#### **LA TENSION SUPERFICIAL.**

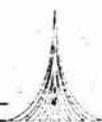
La tensión superficial como tal es un fenómeno físico que tiene sus unidades y se obtiene en dividir el término de energía superficial entre la unidad de longitud de la película en equilibrio, por lo tanto la unidad básica de medición para la tensión superficial es:

$$\text{Fuerza / Longitud} = (\text{Newton / metro}) = (\text{Dinas / cm}) \quad \text{Ec. 10}$$

La tensión superficial va muy ligada al tratamiento de superficies plásticas, lo cual permitirá el uso de adhesivos o tintas más comunes y económicos sin detrimento de la calidad del producto. En términos generales lo que sucede cuando el material es tratado es que este se oxida, liberando ozono al medio ambiente y cambiando temporalmente su estructura, incrementando mediante la oxidación su tensión superficial.

La tensión superficial es la energía requerida para incrementar el área de superficie. Todos los plásticos tienen un cierto grado de textura microscópica, pero que en muchos de ellos no es suficiente por lo cual debe de recubrirse para lograr una buena adherencia. Todos los materiales plásticos deben de tener fuerzas superficiales.

A estas fuerzas en los sólidos plásticos se les llama energía superficial. La energía superficial regula la intimidad del contacto que puede lograrse con un adhesivo y/o tratamiento sobre una superficie sólida tal como lo muestra la figura I-2.



La energía superficial de los sólidos puede expresarse como tensión superficial crítica; esto es la tensión superficial que se requiere con el líquido y/o tratamiento para que obtenga una mayor rugosidad del sólido. El polietileno, los fluorocarbonos y los silicones, tienen muy poca adherencia debido a que sus tensiones superficiales críticas son menores que las de mayor parte de los adhesivos, por consiguiente el polietileno y la mayor parte de los plásticos requieren un tratamiento superficial y puede ser químico, corona, flama y/o por algún adhesivo lo que le proporcionara al plástico la rugosidad en su superficie y tendrá una buena adherencia de materias primas secundarias.



FIGURA I-2 Mojado de un sustrato sólido por un adhesivo fluido.

Las moléculas en el interior son atraídas por igual en todas direcciones, en tanto las que están en la superficie experimentan una fuerza neta hacia dentro, tal como se muestra en la figura I-2, (a). Esta fuerza hacia dentro empuja las moléculas de la superficie al interior reduciendo el área superficial. La fuerza hacia dentro también hace que las moléculas de la superficie se empaquen más apretadamente entre sí, haciendo que el líquido o sólido en este caso se comporte como si tuviera una piel como se muestra en la figura I-2, (b).

Las fuerzas que unen moléculas semejantes unas a otras se denominan **fuerzas cohesivas**, como en el caso del tratamiento por choque de electrones. Las fuerzas que unen a una sustancia a una superficie se denominan fuerzas adhesivas como en el caso de un adhesivo sobre un plástico.



## II CLASIFICACION GENERAL DE LOS PLASTICOS

Una forma de clasificar a los plásticos utilizados en multilaminaciones es aquella que considera su función, es decir, algunos de estos materiales por su bajo costo y sus características mecánicas se utilizan para formar la estructura final, mientras que otros por sus barreras a gases y generalmente de alto costo son empleados en cantidad estricta.

Finalmente estos materiales poliméricos que serán utilizados para efectuar el sello del envase flexible. Existen básicamente dos tipos: aquellos de uso general y los que están diseñados para sellar en presencia de grasas y aceites. Actualmente existe la siguiente clasificación general:

PLASTICOS DE SELLO	NOMENCLATURA
Poliétileno de baja densidad.	PEBD
Poliétileno lineal.	LLDPE
Ionomero.	Surlyn
Etil Vinil Acetato	EVA
Metálicenos	

TABLA II-1 Clasificación de los Plásticos en fuerza de sello

En la tabla II-1 se describe la primera clasificación de los plásticos, el sello es una variable muy considerable para todo plástico multilaminado y se observa en orden descendente, es decir, el polietileno de baja densidad dará un excelente sello superior a los 1000 lb/in a comparación de los ionomeros o metálicenos que están alrededor de los 300 lb/in – 500 lb/in es importante comentar que va ligado al tipo de resina y al uso comercial final de la película.

UNAM- FES ZARAGOZA



## CAPITULO II



PLASTICOS BARRERA	NOMENCLATURA
Cloruro de Polivinilideno o Saran.	PVDC
Etil Vinil Alcohol.	EVOH
Copolimero de Acrilonitrilo Metacrilato.	BAREX
Polietilen Neftalato.	PEN
Polietilen Tereftalato.	PET

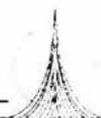
TABLA II-2 Clasificación de los plásticos por barrera

En la tabla II-2 se describe la clasificación de las resinas plásticas por barrera a los gases y a la humedad al igual se muestran en orden descendente el Pet comparativamente contra los polimeros comunes como el polietileno de baja densidad que permite el paso de 500 unidades de oxigeno durante el día, mientras que el PET solo permite el paso de 5 unidades de gas.

PLASTICOS ESTRUCTURALES	NOMENCLATURA
Polietileno Baja Densidad.	PEBD
Polietileno Alta Densidad.	PEAD
Polietileno Lineal.	LLDPE
Polipropileno.	PP o BOPP
Poliestireno.	PS
Policloruro de Vinilo.	PVC
Policarbonato	PC
Polietilen Tereftalato.	PET

TABLA II-3 Clasificación de los plásticos en base a su estructura para vida en anaquel.

UNAM- FES ZARAGOZA



En la tabla II-3 se describe una propiedad que los convertidores en años atrás no le habían dado la importancia, pero si le afectaba al consumidor final en lo que respecta a los plásticos estructurales hace 10 años adolecía los inconvenientes y últimamente se han mejorado y ahora sus bases estructurales deben de soportar el envase en el anaquel y se han visto innovadores como cierres especiales, que lo hacen competitivo ante el mercado.

### II.1 CLASIFICACION POR PERMEABILIDAD

La permeacion (flujo) de gases y vapor de agua a través de una película de plástico depende de la permeabilidad "P" del plástico y del espesor "l" de la película, así como la diferencia de presiones parciales del gas en cuestión en ambos lados de la película P1 y P2.

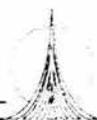
$$\text{Flujo} = (p_1 - p_2)P/l \quad \text{Ec. 1}$$

Permeabilidad de la película = P/l

La permeacion a través de una película compuesta por varias capas se calcula tratándola como un paquete de resistencias en serie, de modo que la permeabilidad de la película compuesta es igual a:

$$l/\text{permeabilidad} = l_1/P_1 + l_2/P_2 + \dots + l_n/P_n \quad \text{Ec 2}$$

En estado estable, la permeacion es uniforme a través de la película, pero la concentración de gas exhibe una discontinuidad en cada interfase.



La permeabilidad de un polímero dado depende también del grado de cristalización y, además, de la morfología cristalina. Se ha encontrado que también las películas con múltiples capas barrera “impermeable” pueden retener sus propiedades barrera incluso después del maltrato severo. Existen dos factores importantes como permeación que se toman muy en cuenta en las películas plásticas y en las resinas las cuales son:

1) WVTR ( Transmisión de vapor de agua), esta propiedad es un valor específico de las películas en condiciones de temperatura y humedad relativa. Estos valores son expresados  $g\text{-H}_2\text{O } 100 \text{ in}^2/24 \text{ hr}$  en unidades estándar (US) y  $g\text{-H}_2\text{O } /\text{m}^2/24 \text{ hr}$  en el sistema métrico. Estas condiciones pueden variar pero esta estandarizado en  $100^\circ\text{F}(37.8^\circ\text{C})$  y  $90\% \text{ RH}$ , esta propiedad se detalla en la figura II-1(1).

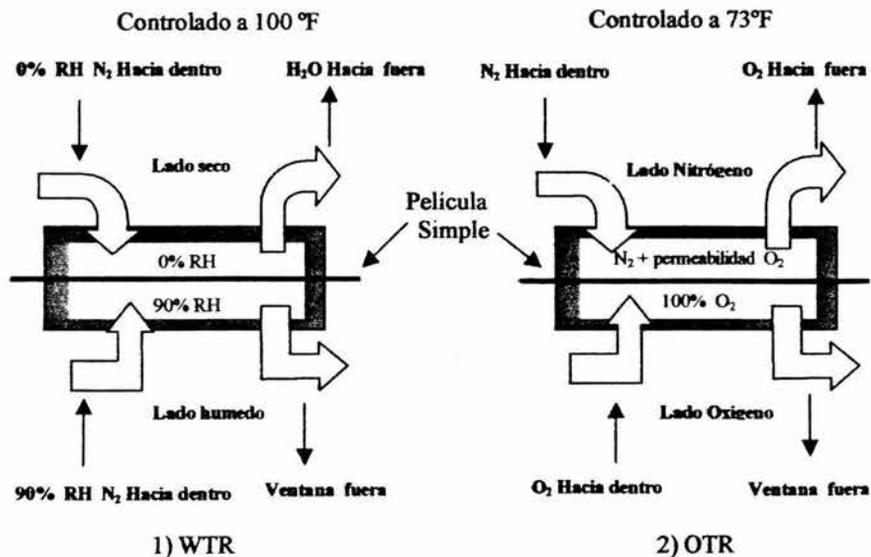


FIGURA II-1 Representación esquemática del 1)WTR y 2)OTR



## CAPITULO II



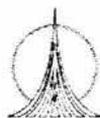
2) OTR (Permeabilidad de transmisión de oxígeno), al igual es un valor específico de las películas en condiciones de temperatura y humedad relativa, este valor es expresado en  $\text{cc}/100 \text{ in}^2 / 24 \text{ hr}$  en unidades estándar(US) y  $\text{cc}/\text{m}^2 / 24 \text{ hr}$  en el sistema métrico y están estandarizadas en  $73^\circ\text{F}(23^\circ\text{C})$  y  $0\%$  de RH, esta propiedad se detalla en la figura II-1(2).

Por lo tanto todas las películas plásticas y resinas tienen esta propiedad que es un factor importante para formar una multilaminación. En la tabla II-4 muestra la permeabilidad de diferentes plásticos para la transmisión de oxígeno, La permeabilidad de oxígeno del nylon amorfo indica lo siguiente: El flujo de oxígeno a través de una película de nylon amorfo de 1 milésima de pulgada de espesor con una diferencia de presiones de  $100 \text{ in}^2$  entre ambos lados de la película y durante 24 horas, es igual a 2.5 cc.

POLIMERO.	PERMEABILIDAD(OTR) 73°F, 0% RH para 1mm película (cc/100 in <sup>2</sup> /24 hr)
LDPE	550
LLDPE(OCTENO)	510
VLDPE	630
HDPE	185
PPC	400
BOPP	160
PVC	5-20
NYLON 6 AMORFO	2.5-5 2.5-5



## CAPITULO II



PET ORIENTADO	3-6
CAST PP	180
OPS	350
PVDC	0.05-0.15
EVOH 32% ETILENO	0.01
EVOH 44% ETILENO	0.09
IONOMERO	165-295

TABLA II-4 Velocidad de transmisión de oxígeno(23 °C)

Con frecuencia, capas delgadas de resinas con buenas propiedades barrera son coextruidas con gruesas capas de polietileno, poliestireno o polipropileno para producir películas finales con excelentes propiedades barrera, y además con algunas otras propiedades específicas. En lo que respecta a la permeabilidad de vapor de agua La tabla II-5 reporta la permeabilidad de estos mismos plásticos para la transmisión del vapor de agua; los materiales higroscópicos, como el nitrilo, el etileno-(vinil acetato) y el poliéster, son barreras pobres en barrera para el vapor de agua. Sin embargo el polietileno y el polipropileno son excelentes barreras para el WVTR.

POLIMERO.	PERMEABILIDAD(WVTR) 100°F, 90% RH para 1mm película (g-H <sub>2</sub> O/100 in <sup>2</sup> /24 hr)
LDPE	1.2
LLDPE(OCTENO)	0.7
VLDPE	0.8
HDPE	0.3

UNAM- FES ZARAGOZA



## CAPITULO II



BOPP	0.4
PVC	0.9-5.1
NYLON 6	25
AMORFO	2.7
BO	14
PET BO	1.3
PET G	4
AN	5
PS	8.5
PVDC	0.1
EVOH 32% ETILENO	3.8
EVOH 44% ETILENO	1.4
IONOMERO	0.6-1.0

TABLA II-5 Velocidad de transmisión de vapor de agua(35 °C, 90%HR)

Al igual que en las películas de una sola capa, las propiedades de una película multicapa depende del grado de orientación molecular. Un cierto grado de orientación puede incrementar las propiedades mecánicas de las películas individuales y, por tanto, incrementar las propiedades de la película multicapa. Sin embargo, entre más delgadas sean las capas mayor será la influencia de una capa hacia la otra, además; entre más delgadas sean las capas menor será el grado de adhesión requerido para que una capa tenga influencia sobre la otra.

Las propiedades mecánicas de los polímeros que deben de tomarse en cuenta son:



- 1) Al incrementar la densidad, disminuye la permeabilidad.
- 2) Al incrementarse la orientación, disminuye la permeabilidad.
- 3) Al incrementar el contenido de plastificantes, la permeabilidad se incrementa.
- 4) Al aumentar la rigidez de las cadenas moleculares, la permeabilidad disminuye.

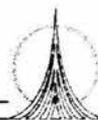
## II.2 ADHESION INTERFACIAL ENTRE PLASTICOS

Cuando una lamina o película coextruida es enfriada y las diferentes capas se solidifican, están pueden permanecer unidas fuertemente o bien pueden separarse fácilmente una de la otra, algunos pares de polímeros exhiben una fuerte adhesión interfacial mientras que otros solo muestran una débil adhesión interfacial. Cuando dos corrientes de plástico se unen se forma una interfase entre ellos, el cual uno o dos de ellos es transportada bajo presión hasta la salida del dado. Esta condición favorece a un íntimo y completo contacto interfacial entre los dos fluidos. Esto va acompañado por una cierta interpenetración molecular, ya que segmentos de plástico se difunden a través de la interfase hacia la otra fase plástica. Sin embargo esta interpenetración está limitada termodinámicamente y depende de la miscibilidad o immiscibilidad entre las dos fases. Dos capas adyacentes pueden unirse y solidificarse a diferentes temperaturas, y diferentes velocidades y por mecanismos diferentes, afectando así la estructura y las propiedades de la interfase.

En el caso de una laminación por extrusión utilizando dos polímeros al azar de la tabla II-6, no se conoce una teoría cuantitativa que puede predecir el grado de adhesión interfacial en la película solidificada. En ocasiones sucede que un arreglo deseado multicapa muestra una adhesión pobre entre dos capas adyacentes, con la consecuente separación de dichas capas. Esta debilidad puede remediarse si se introduce una capa delgada de adhesivo denominado primer de extrusión que proporcione a la buena adhesión hacia los dos materiales anteriores (capa adhesiva).



CAPITULO II

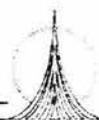


Por lo tanto en la tabla II-6 se muestra una guía cualitativa del grado de adhesión que se puede lograr durante la laminación por extrusión de diversos polímeros.

	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
<b>a;LDPE</b>	G	G	P	P	P	P	P	P	P	P	P	F	P	P	P	G	G	G	F	G
<b>b;HPDE</b>	G	G	P	P	P	P	P	P	P	P	P	F	P	P	P	G	G	G	F	G
<b>c;PP</b>	P	P	G	P	P	P	P	P	P	P	P	F	P	P	P	F	G	P	G	G
<b>d;PS</b>	P	P	P	G	G	G	P	P	P	P	?	F	P	P	P	P	G	P	G	F
<b>e;HIPS</b>	P	P	P	G	G	G	P	P	P	P	?	F	P	P	P	P	G	P	G	F
<b>f;ABS*</b>	P	P	P	G	G	G	G	G	G	G	?	F	G	P	P	P	G	P	G	G
<b>g;ABS</b>	P	P	P	P	P	G	G	G	G	G	?	F	G	P	P	P	G	P	G	G
<b>h;UpvC</b>	P	P	P	P	P	G	G	G	G	F	N	G	G	P	N	P	G	P	G	G
<b>i;Ppvc</b>	P	P	P	P	P	G	G	G	G	F	N	G	G	P	N	P	G	P	G	G
<b>j;VC-Vdc</b>	P	P	P	P	P	G	G	F	F	G	N	G	G	?	?	P	G	P	G	G
<b>k;PC</b>	P	P	P	?	?	?	?	N	N	N	G	?	G	P	?	?	?	?	?	?
<b>l;PU</b>	F	F	F	F	F	F	F	G	G	G	?	G	?	P	?	F	G	?	F	G
<b>m;ACRIL</b>	P	P	P	P	P	G	G	G	G	G	G	?	G	P	?	?	?	?	?	F
<b>n;NITRIL</b>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P	P	P	G	P	P	F	?	F	?
<b>o;PA-06</b>	P	P	P	P	P	P	P	N	N	P	?	?	?	P	G	G	P	G	P	?
<b>p;EAA</b>	G	G	F	P	P	P	P	P	P	P	?	F	?	P	G	G	G	G	F	G
<b>q;EVA</b>	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	?	G	?	F	P	G	G	¿	G	G
<b>r;IONOM</b>	G	G	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	G	G	?	G	?	G
<b>s;SBS</b>	F	F	G	G	G	G	G	G	G	G	?	F	?	F	P	F	G	?	G	G
<b>t;CPE</b>	G	G	G	F	F	G	G	G	G	G	?	G	F	?	?	G	G	G	G	G

TABLA II-6 Guía cualitativa de adhesión de diferentes sustratos laminados por extrusión.

UNAM-FES ZARAGOZA



G= Bueno, F= Regular, P= Pobre, ?=No se sabe, N= No recomendable.

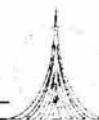
\*= menos del 20% de acrilonitrilo.

### II.3 CONSIDERACIONES PARA OBTENER UNA LAMINACION MULTIPLE

La adecuada selección de los diferentes plásticos es muy importante para la selección se deben de considerar los siguientes factores:

- los polímeros deben ser seleccionados con el objeto de obtener las propiedades finales deseadas sobre todo mecánicas: Permeabilidad, habilidad para sellar con calor y resistencia química y resistencia a efectos de intemperie. También se debe de considerar operaciones posteriores a la laminación por extrusión, por ejemplo si la lamina final va a ser termoformada.
- Se requiere de una adhesión perfecta entre las diferentes capas de polímero. Lo más frecuente es que se utiliza una capa de un polímero adhesivo que se adhiere en este caso a las otras dos capas de polímero, y se coextruye como una capa intermedia.
- Relacionada con la adhesión esta la habilidad para reciclar el plástico de desperdicio que salga de esta multilaminación, esto es una consideración muy importante que debe de tomarse en cuenta.

La figura II-2 muestra algunas combinaciones multicapas y algunas de las propiedades funcionales de cada una de estas estructuras. Este tipo de combinaciones han sido consideradas en general ya que se a tenido la experiencia de no tener ningún problema pero dependerá de cada convertidor y de cada tipo de proceso.



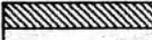
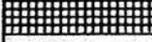
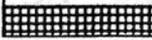
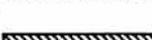
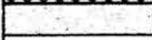
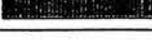
	ABS, HIPS,	Resistencia química, dos colores. Habilidad de termoformado.
  	LDPE, ADH, HIPS,	Sellado al calor. Barrera contra la humedad. Habilidad de termoformado.
    	HIPS, ADH, SARAN, ADH, IPS,	Barrera contra oxígeno. Barrera contra la humedad. Termoformado. Barrera contra humedad. Barrera contra oxígeno.
    	HDPE, ADH, SARAN, ADH, HDPE,	Habilidad de esterilización hasta 110 C Barrera contra oxígeno. Barrera contra humedad. Sellado con calor.
     	LDPE, ADH, SARAN, ADH, RECUP, HIPS,	Sellado con calor Barrera contra oxígeno. Barrera contra humedad. Baja transmisión de olor y sabor. Habilidad de termoformado.

FIGURA II-2 Combinaciones multicapas y sus propiedades funcionales.

Hasta el momento se a definido como se obtiene una película multicapa el Pet- Polifoil como tal esta definido principalmente por materias primas primarias: Poliéster, Polietileno, Aluminio y Polietileno se detalla en la tabla II-7, así; como otro tipo de laminaciones.



## II.4 CLASIFICACION ELFI's

La clasificación ELFI's da a conocer las diferentes materias primas y procesos en la laminación; que se clasifican en sencillas, dobles y especiales.

SUSTRATO PRIMARIO	LAMINACIONES SENCILLAS		LAMINACIONES DOBLES
CELOFÁN	POLIFAN	ALUMINIO	CELOPOLIFOIL
GLASSINE	POLIGLASSINE		GLASSPOLIFOIL
LUSTRO	POLILUSTRO		LUSTROPOLIFOIL
BOND	POLIBOND		BONDPOLIFOIL
KRAFT	POLIKRAFT		KRAFTPOLIFOIL
BOPP	PROPIFLEX		PROPIPACK
POLIÉSTER	POLIVAC		PETPOLIFOIL
NYLON	NYLON/PE		
ALUMINIO	POLIAL		
BOPP/ADHE/PAPEL			PROPIPEL
PET/ADHE/PAPEL		PETPOLIPEL	
BOPP/PROP/COLD SEAL		POLIPROPILENO CS	

TABLA II-7 Laminaciones sencillas por solvent-less y laminaciones dobles por extrusión.

El criterio para establecer el ELFI's dentro de la clasificación de la laminación sencilla consta básicamente de que sea un producto que requiera de un solo paso en el área de laminación y que el sustrato principal sea celofán, bopp, papel, etc



## CAPITULO II



La clasificación ELFI's da a conocer las materias primas ya existentes y el proceso de laminación por extrusión o solvent-less a estas laminaciones se les clasificara en sencillas, dobles y especiales. Una laminación sencilla es aquella que consta de un solo paso en la extrusión como es el caso del polifan y/o polibond, que tengan la característica de un sustrato primario unida a una resina de LDPE, el criterio para establecer un ELFI's dentro de la clasificación de laminación doble, como es el caso del Pet- Polifoil que consta básicamente que para su elaboración se necesiten dos o más pasos en el área de laminación por extrusión; estas laminaciones contienen aluminio y estén echas básicamente de sustratos base como celofán, bopp, poliéster, papel, etc. Este tipo de laminaciones siempre deberá llevar una resina final de polietileno debido a la característica del sello. Las laminaciones especiales son aquellas que no caen dentro de los dos conceptos anteriores, normalmente constan de un solo paso, son básicamente materias primas diferentes a las mencionadas anteriormente, como es el caso del polial que por no coincidir con ninguna de las dos laminaciones sencilla o doble, se establece en laminaciones especiales que por razón natural son llamadas especialidades. Es importante establecer que las laminaciones especiales tienen una efectividad mayor por el método de laminación por solvent less.



### III PROPIEDADES FISICAS DEL PET- POLIFOIL

Para obtener el Pet- Polifoil como tal, se requiere analizar en este capitulo las propiedades fisicas y quimicas de la materia prima, es decir, que tipo de variables fisicas y quimicas son importantes para conocer los parámetros finales que regirán la estructura ya laminada.

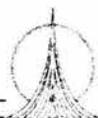
Es común en la industria que sea mas representativo analizar las propiedades fisicas de las materias primas plásticas y/o resinas y no las quimicas, esto se debe a que los procesos presentes para laminar o extruir no lo requieren definitivamente.

#### III.1 TRATAMIENTO A LAS PELÍCULA PLASTICAS

La mayoría de los polímeros “plásticos” tienen una superficie químicamente inerte y no porosa, con un nivel de energía superficial bajo, lo cual resulta en baja adherencia para tintas de impresión, substratos, recubrimientos, y adhesivos. Los de menor tensión superficial son el polietileno y el polipropileno, y son, por lo tanto, los que con mayor frecuencia reciben el tratamiento superficial para mejorar su adhesividad. Sin embargo el tratamiento superficial no esta limitado a estos dos materiales; se puede usar para mejor la adhesión en todos los materiales plásticos, además de muchos materiales no plásticos, encontrándose entre estos el papel y el aluminio. Esta aplicación del tratamiento superficial se llama apostratamiento y se usa para acrecentar la adhesividad de otros procesos de conversión como impresión, laminación de adhesivos, etc. A la superficie del material, estas películas son comúnmente de la familia de las poliolefinas, por lo cual son químicamente inertes a los enlaces químicos que unen a los átomos de carbono que forman sus moléculas son no polares, por lo tanto poco receptoras de recubrimientos.



## CAPITULO III



El tratamiento de superficies plásticas puede ser de gran beneficio, tanto en costo y seguridad, algunas de las ventajas inherentes al tratar los materiales son:

- Permite el uso de resinas mas económicas.
- Permite el uso de adhesivos o tintas mas económicas
- Proporciona un valor agregado a los productos que requieren una excelente adhesión
- Aumenta la versatilidad de los productos, al poder ser utilizados un mayor numero de resinas, adhesivos o tintas.

A continuación se mencionan las técnicas que se pueden usar para tratamiento:

- Plasma en vacio
- Flameado
- Tratamiento corona

El tratamiento usado para laminar el Pet- Polifoil es el corona, lo que a dado una efectividad en la industria de la conversión.

### **III.2 TRATAMIENTO CORONA**

El tratamiento corona es el fin de aumentar la tensión superficial y obtener una mayor capacidad de adhesión sobre los mismos. El tratamiento corona se obtiene aplicando sobre el material una alta tensión (A.T.) y alta frecuencia (H.F.).



### CAPITULO III



Para la realización de este proceso es necesario la utilización de un generador y de una estación de tratado dotada de un sistema de electrodo-contra electrodo, con un dieléctrico entre ambos, el dieléctrico escogido depende del material a tratar siendo el más usual el dieléctrico de silicona para el tratamiento de materiales no conductivos y tipo cerámico para los materiales conductivos. La descarga o bombardeo con electrones de la superficie de los materiales a tratar posibilita que la composición molecular homopolar de las superficies pase estar compuesta, por grupos polares posibilitando la adhesión de tintas, barnices, lacas y adhesivos.

La ventaja de un tratamiento corona es que no existe ningún encogimiento o posibilidad de incendio. El mayor problema con este tratamiento es que el electrodo que emite la descarga tiene que estar muy cerca de la superficie que se va a tratar. Es común que los niveles de tratamiento corona estén alrededor de 38-60 dinas / cm, los niveles de tratamiento en este rango son adecuados para la impresión flexográfica, rotograbado y es también aceptable para adhesión con adhesivos. Sin embargo, el recubrimiento por extrusión en cartón, papel, aluminio o película pretratada frecuentemente requiere tratamiento o retratamiento de la maquina justo antes de aplicar el material que va a laminarse.

El desarrollo continuo de materiales de plástico requiere aplicaciones del proceso de tratamiento corona hacen que los requerimientos del nivel del tratamiento corona se determinen según la aplicación. La experiencia muestra que hay un limite superior para el nivel de tratamiento. Los niveles de tratamiento muy alto crean agrupamientos polares que son hidrófilos y pueden contener demasiada agua, causando una reducción de la capa de adhesión en la superficie de sustrato. Además, el tratamiento excesivo puede producir productos en la superficie de peso molecular bajo los cuales no mantienen adhesión adecuada al resto del sustrato, el tratamiento corona mejora mucho los enlaces térmicos y químicos.

UNAM- FES ZARAGOZA



Finalmente cabe mencionar que, a fin de verificar que el tratamiento corona ha sido eficiente las siguientes técnica:

**Tape:** Consiste en aplicar una cinta adhesiva a la pieza que ha sido tratada: al desprender la cinta del producto, esta no debe tener mas del 5% de la tinta adherida. El problema de esta prueba es que una vez que se detecta el problema es demasiado tarde.

La norma ASTM, requiere cumplir con un procedimiento el cual consiste aplicar diferentes soluciones con un nivel de tensión superficial previamente conocido el inconveniente de este procedimiento es que se debe de tener diferentes soluciones con diferentes tipos de dinas, aunque actualmente es el método mas usado en las industrias del plástico de la misma forma se pueden usar marcadores con la misma solución y con el rango de dinas a verificar en la película.

### **III.3 POLIESTER XP-131**

El poliéster proviene de una reacción de un glicol y un ácido tereftálico o el tereftalato de metilo que forma un polímero lineal como se observa en la figura III-1.

Este producto es un polímero lineal con buena resistencia a los disolventes. La película más comercial es: Mylar de Dupont y Celanar de Celanese Plastic.

El poliéster usado en el Pet- Polifoil XP-131 es de procedencia Coreana – Excell con tratamiento químico de 54 dinas/cm, es por ello que aquí vemos la oportunidad de introducir BOPP con tratamiento corona en un desabasto en el mercado de procedencia del poliéster.

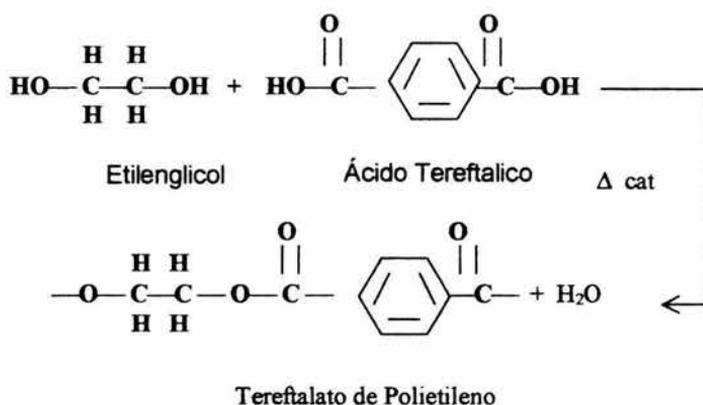


FIGURA III-1 Formula del Tereftalato de Polietileno

La película de poliéster tratado corona por el proceso(54 dinas) con duración de 4 años, con adherencia para tintas y adhesivos. Resistencia a altas temperaturas(400 F), esta película esta aprobada por la FDA por estar en contacto con los alimentos. Las propiedades del poliéster se representa en la tabla III-1 Y III-2.

Si por alguna razón en análisis de laboratorio el Poliéster no tiene el tratamiento deseado se tendría que aplicarle un retratamiento antes de aplicar la resina de polietileno ya que si no fuera así, se vería afectado en sus fuerzas de adhesión dando fuerzas de laminación bajas y un producto final de mala calidad.



### CAPITULO III



PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	MINIMO	ESTANDAR	MAXIMO
PESO UNITARIO	G/m <sup>2</sup>	ME-AC-005	16.05	16.9	17.74
ESPESOR	Pulgadas	ME-AC-010	0.00045	0.00048	0.00050
ELONGACION DM/DT	%	ASTM-D-882-81	110/80	110/80	110/80
ESFUERZO A LA TENSION DM/DT	Kpsi	ASTM-D-882	-	27/35	27/35
NUBOSIDAD	%	ASTM-D-1003	-	5.0	5.0
TRANSPARENCIA	%	ASTM-D-1746	75	75	-
BRILLO	-	ASTM-D-2457	200	200	-

TABLA III-1 Propiedades físicas analizadas del poliéster para una laminación por extrusión de pet-polifoil

Estas propiedades son analizadas en laboratorio, así como de todas las demás materias primas, es importante verificar que todos los requerimientos se cumplan para asegurar la calidad del Pet-Polifoil como producto final.



### CAPITULO III



MODULO DE RIGIDEZ	Kpsi	ASTM-D-882	550	550	-
RESISTENCIA AL RASGADO	Gr	ASTM-D-1004	300	300	350
COF CINETICO	-	ASTM-D-1894	0.35	0.35	0.40
COF DINAMICO	-	ME-AC-012	0.20	0.30	0.35
ESTABILIDAD DIMENSIONAL 150C-30MIN	%	ASTM-D-1204	-	-2.0	-2.2
W.V.T.R.	G/m <sup>2</sup> /dia	ASTM-D-96E	-	40	44
TENSION SUPERFICIAL	Dinas	ASTM-D-2758	48	52	54

TABLA III-2 Propiedades físicas analizadas del poliéster para una laminación por extrusión del Pet-Polifoil

#### III.4 PRIMER ML-3656 AGU -ADCOTE M76H105

Es un adhesivo del tipo poliéster de dos componentes para laminación de películas de celofán, polipropileno, poliéster (Mylar), cloruro de polivinilo o poliamida (Nylon), Foil de Aluminio y papel.



### CAPITULO III



#### Propiedades:

Sólidos	36.0 % +- 1.0
Viscosidad	
Brookfield, aguja No. 3(20 RPM a 25 °C)	700 – 1,500 cps
Densidad gr./c.c.	0.996 +- 0.012

#### Principales usos:

Laminaciones que requieren la más alta resistencia Química, al calor y a la deslaminación. Se emplea en materiales flexibles para empaque, para ser hervida con su contenido alimenticio, selladas al vacío, empacadas con gas con productos químicos sólidos o líquidos.

Algunas laminaciones que emplean ADCOTE M76H105:

- Celofán K a polietileno tratado
- Poliéster no tratado a polietileno tratado
- Poliéster recubierto o tratado a polietileno tratado
- Polietileno tratado a hoja de aluminio lavada recubierto
- Poliamida (Nylon) a polietileno tratado
- Poliéster (Mylar) a polietileno.

#### Mezclado:

Combinar 5.5 partes de catalizador 37M con 100 partes de ADCOTE M76H105 en peso, homogeneizando la mezcla. El recipiente conteniendo el catalizador 37M deberá mantenerse

UNAM- FES ZARAGOZA



herméticamente cerrado, adelgazar la mezcla si es necesario con Toluol o Acetato de Etilo grado Uretano si la estabilidad de la mezcla así lo requiere. En el caso del Pet – Polifoil se a logrado estandarizar por medio de la viscosidad aparente, ya que para condiciones de proceso se hará con una copa Zhan 2, ya que actualmente se a logrado detectar que la aplicación correcta y eficiente de operacion de este primer es de 19-25 seg.

### **III.5 RESINA 1ª EPB-10**

Esta resina, es una formulación de dos resinas iniciales: Exxon Mobil LD200(90%) y Ampacet 1171(10%),

#### **III.5.1 RESINA EXXON MOBIL LD 200**

Exxon Mobil LD 200, es una resina de baja densidad para laminación por extrusión desarrollada para aplicaciones de empaque flexible. Tiene excelente adhesión y fuerza de sello en caliente. LD 200 cumple con las regulaciones de la FDA. En la tabla III-3 se describen las propiedades analizadas de la resina Exxon Mobil LD200.

Estos valores reportados en la tabla III-3 son independientes de cada convertidor lo que se recomienda normalmente es aplicarla a 300 °C en todo el proceso. Así mismo puede observarse que el WTR de esta resina es muy baja es decir permite poca permeacion de humedad al interior de la película lo que finalmente es una característica importante del pet- polifoil.



PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	MINIMO	ESTANDAR	MAXIMO
Índice de fluidez 190°C/2.16 Kg	G/10 MIN	ASTM D 1238	6	8	10
W.V.T.R	Lb/in <sup>2</sup> /día	Exxon Mobil	3	3.5	4
Punto de Fusión	°C	Exxon Mobil	104	104	104
Densidad(23°C)	G/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.90	0.94	0.98

TABLA III-3 Propiedades físicas analizadas de la resina Exxon Mobil LD200

### III.5.2 RESINA AMPACET 1171

Mejor conocida como Masterbatch, es de tonalidad blanca opaca se utiliza para la fabricación de películas en la laminación por extrusión, cumpliendo con los requisitos por la FDA por estar en contacto con los alimentos o farmacéuticos. Tiene una excelente adhesión con el polietileno de baja densidad es de Color Blanco sus ingredientes activos son: 50% TiO<sub>2</sub> y su gravedad específica: 1.51. Las propiedades físicas de la resina Ampacet se muestran en la tabla III-4.



PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	MINIMO	ESTANDAR	MAXIMO
Índice de fluidez 190°C/2.16 Kg	G/10 MIN	ASTM D 1238	4.1	5.5	6.1
W.V.T.R	Lb/in <sup>2</sup> /dia	Exxon Mobil	3	3.5	4
Punto de Fusión	°C	Exxon Mobil	104	106	108
Densidad(23°C)	G/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.923	0.923	0.94

TABLA III-4 Propiedades físicas analizadas de la resina Ampacet 1171

### III.6 ALUMINIO DE 9 MICRAS

Es una película de aluminio con aleación 1145(1235, 1200, 1100), tiene acabado brillante por un lado y mate por el otro lado. Estas propiedades la hacen factible para empaque de productos alimenticios, farmacéuticos e industriales. Las propiedades del aluminio se muestran en la tabla III-5

El acabado mate del aluminio es donde tiene el tratamiento corona esto debe de considerarse ya que se laminara en el segundo paso de la extrusión por este lado, si no fuera de este modo no tendría la fuerza de adherencia para unirse al polietileno. El tratamiento del aluminio esta alrededor de 48 dinas/cm por lo que es aceptable para la laminación por extrusión.



PROPIEDADES	UNIDADES	METODO	MINIMO	ESTANDAR	MAXIMO
Calibre	Pulgadas	ME-AC-119	0.000318	0.00035	0.000385
Humectabilidad	Grados	ME-AC-009	B	C	A
Peso unitario	g/m <sup>2</sup>	ME-AC-005	21.8	24.0	26.0
Pinholes	N pinholes/m <sup>2</sup>	ME-AC-008	.....	.....	

TABLA III-5 Propiedades físicas analizadas del aluminio de 9 micras

### III.7 LOTRYL ( Ethylene-acrylic ester copolymers)

La resina lotryl es un compuesto de etileno de baja densidad y copolímeros acrílicos de ester (EMA, EBA). Se recomienda las siguientes formulaciones en general:

Etil Metil Acrilato: 9%-35%, contenido en ester acrílico

Etil Butil Acrilato: 7%-35% contenido en ester acrílico

La fórmula de esta resina puede observarse en la figura III-2 en la cual se representa los grupos funcionales que llevan a la adherencia. En cuanto a tecnología de resinas la resina lotryl se aplica para multilaminaciones ya que da una sellabilidad mayor como estructura y da una excelente barrera al oxígeno y a la humedad, en operación tiene una eficiencia mayor que la LD200 o Ampacet 1171 reduciendo en un 5% el gasto de servicios auxiliares.

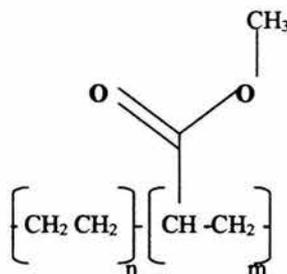


FIGURA III-2 Formula del Etil Metil Acrilato

Para el caso del Pet-Polifoil, esta resina se utilizara en una mezcla con la formulación LD 200, la resina lotryl puede ser procesada por polimerización alta presión de operación.

Esta resina usada en la película multicapa es llamada **LOTRYL 20 MB 08**, conteniendo una parte de aditivos antiboqueantes. Las características de esta resina puede observarla en la tabla III-6, donde se observa que el punto de fusión de la resina lotryl es mucho mas bajo que las otras resinas empleadas lo que permite trabajar tanto en el extruder a temperaturas inferiores a las establecidas, lo que llevara a una optimización del proceso y de costos.

Las resinas de Etil Acrilato son altamente transparente, termoformable, gran resistencia al agua y una sellabilidad adecuada para productos de tapa pelable, excelente para estructuras de sello en uso farmacéutico.



### CAPITULO III



PROPIEDADES	UNIDAD	METODO	MINIMO	ESTANDAR	MAXIMO
Índice de fluidez 190°C/2.16 Kg	G/10 MIN	ASTMD 1238	6	8	10
Contenido en ester Acrílico	%	ATOCHEM	NA	20	MAS DE 20
Punto de Fusión	°C	DSC	80	80	80
Densidad(23°C)	G/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505	0.90	0.94	0.98

TABLA III-6 Características de la resina Lotryl 20 MB 08



#### IV DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRUSION PARA LA MULTILAMINACION DEL PET-POLIFOIL

Para tener claro y descrito nuestro proceso es importante conocer la estructura que obtendremos finalmente, ya que actualmente tenemos laminaciones sencillas, dobles y especiales donde el pet-polifoil entra en la clasificación de laminación doble el proceso por el cual se lamina es por extrusion "coating" Esto se describe en la figura IV-1.

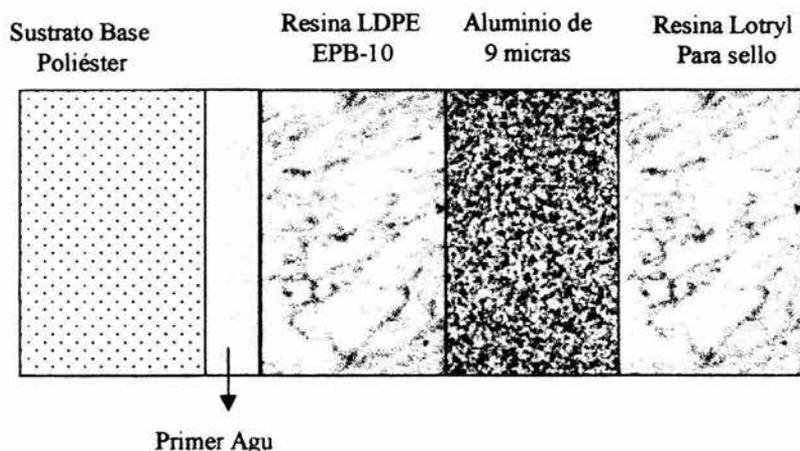
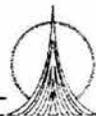


FIGURA IV-1 Representación esquemática del Pet- Polifoil

La figura IV-1, muestra y refleja como esta constituido el Pet- Polifoil, la secuencia en que esta película multicapa se va formando por proceso de laminación es de izquierda a derecha, es decir, siempre se identificara el sustrato base en este caso el poliéster con esta descripción sencilla se tiene la clara idea de la secuencia del proceso.



## CAPITULO IV



El procedimiento de laminación por extrusión es la acción de forzar, por medio de presión, a pasar a través de un “dado” o boquilla un plástico o material fundido para unirlo a otros materiales secundarios. La laminación por extrusión es un proceso relacionado con la capa de extrusión. Sin embargo en el laminado por extrusión, la capa revestida es utilizada como capa adhesiva entre dos o más sustratos. A la capa de extrusión se le aplica una segunda capa mientras está caliente y luego esta estructura es presionada por los rodillos. La capa de extrusión revestida puede también actuar como una barrera a la humedad.

El uso de las películas plásticas convencionales se extiende dentro de diversas áreas del empaque. Lo mejor de estas películas termoplásticas es que son preparadas por el convencional método de extrusión. El método de laminación por extrusión tiene dos ventajas importantes:

- 1) El proceso requiere relativamente un bajo costo de capital de inversión.
- 2) El proceso es capaz de fabricar películas termoplásticas muy delgadas (debajo de 2 milímetros).

El proceso de laminación por extrusión es uno de lo más importantes en la industria del plástico. El proceso de extrusión se utiliza, además para “compounding” para mezclar y formular compuestos de plástico y producir materia prima, en este caso el proceso de extrusión dará las condiciones para una laminación múltiple a partir de diferentes sustratos.

Los materiales utilizados en el proceso de extrusión son por lo general termoplásticos. Estos materiales se suavizan cuando se calientan y se transforman en fluidos, que posteriormente se endurecen cuando se enfrían y se transforman en sólidos.



El equipo de Black Clawson es designado para la laminación del Pet-Polifoil película plástica plana, en línea puede cortar en cualquier dirección, todo en una continua operación dando el seguimiento correcto en las especificaciones de la Black Clawson. La calidad del producto final obtenido en la maquina Black Clawson es altamente dependiente de la instalación de la maquina y de planta a planta.

#### **IV.1 SERVICIOS AUXILIARES**

Los servicios auxiliares necesarios en la Black Clawson son requeridos para tener las condiciones optimas por las especificaciones de proceso. Ver D.F.P diagrama de interconexión de servicios en el apéndice C.

##### **Alimentación eléctrica**

##### **Condiciones**

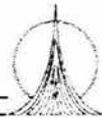
Power	440 Volts, 3 Fases, 60 Hertz
Control	220 Volts, 1 Fase, 60 Hertz

##### **Alimentación de aire**

Power Durante la operación	80Lb/in <sup>2</sup> ; Limpio y seco
Aire de la Instrumentación	25Lb/in <sup>2</sup> ; Filtrado, Limpio y seco

##### **Alimentación de agua fría**

Mezcla en el Tanque	350 GPM a 45°F- 70°F
Extruders	Véase la sección del Extruder.



El agua que se encuentra en la recirculación del sistema debe tener conectados sus tratadores de agua para que se asegure el bajo contenido en minerales, debe de ser agua tratada por “Chem Aqua 777” con una proporción de etilen glicol ya que con esto se evitara la corrosión de las tuberías y permanecerá la temperatura baja del agua.

P.H. entre 6.5-7.5

Contenido en sólidos abajo de 200 ppm.

Dureza del agua: 10 granos / Galón

La temperatura del agua en el proceso debe de ser de 40-70°F, cuando el etilen glicol es usado debe ser en una alta porcentaje pero con el cuidado de no tener presencia de sólidos “hielos” en el sistema.

## **IV.2 CONSIDERACIONES EN EL ARRANQUE DE MAQUINA**

Para minimizar los efectos durante la operación es importante tener en cuenta varios aspectos iniciales, ya que uno de las partes esenciales de la maquina es el arranque en donde todas los mecanismos como el dado debe tener un precalentamiento oportuno tal como se describe en la tabla IV.1 la temperatura debe ser controlada alrededor de los 93°C y se debe de activar por medio de un switch en cada zona de precalentado posteriormente debe de aumentarse el tiempo y la temperatura respectivamente, de acuerdo a las etapas descritas en la tabla IV-1 hasta llegar alrededor de los 300°C donde rigurosamente deberá permanecer 30 minutos en cada bloque para que las condiciones de operación sean las optimas y pueda proceder al arranque.



Temperatura(°F)	Temperatura(°C)	Tiempo(minutos)
150	66	10
200	93	10
250	121	15
300	149	15
350	177	20
400	204	20
450	232	30
500	260	30
550	288	30

TABLA IV-1 Pre calentamiento en la zona de cada extrusor.

Se observa el tiempo de permanencia con su respectiva temperatura para un pre calentamiento ideal, el total de tiempo consumado es alrededor de 4 horas.

Durante el inicio de la operación de la extrusora la temperatura máxima alcanzada es alrededor de 500°F, aunque puede ser ajustado dependiendo de los problemas de operación y del material a extruir. Es importante dar el pre calentamiento a todas las zonas dela extrusora especialmente a la zona del tornillo, del barril y especialmente del dado.

Otro factor a cuidar es la purga del dado en el arranque de la maquina, esta sección se tratara en el objetivo IV.5 donde se trataran todos los aspectos del dado en la aplicación de la resina de polietileno.



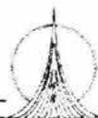
### IV. 3 APLICACIÓN DE PRIMER AGU AL SUSTRATO BASE

El poliéster como sustrato base es colocado en el desenbobinador principal y pasara a la sección de aplicación del primer agu, este primer se aplica de 19 - 25 segundos por medio de rodillos galvanizados y grabados electrónicamente por galvanoplastia, la aplicación más común y para el caso del Pet- Polifoil es de 175 líneas / in el cual dará un aporte aproximadamente de 1 gr/m<sup>2</sup> de primer sobre la resina.

El primer "agu" inicialmente no tiene la viscosidad adecuada, por lo que se puede adicionar una mezcla de toluol con acetato de etilo grado uretano, tal como lo indica la formula hasta llegar a la viscosidad de operación. El primer "agu" debe ser secado en exceso sin que pierda sus características de adherencia por lo que en la línea pasara por un horno con una temperatura mínima de 70°C y máxima de 90°C.

La función del primer en esta sección es de poder unir al sustrato base con la resina de polietileno semifundida EPB 10, de no aplicarse por algún error el primer no se tendrá una fuerza de adherencia correcta entre los dos plásticos. En algunos otros sustratos bases no requerirá el primer, pero en el caso específico del poliéster para formar el Pet-Polifoil con una hoja plana de polietileno extruida siempre será necesaria, posteriormente en el seguimiento del proceso se observara que las resinas de polietileno tienen una excelente adherencia con sustratos como el aluminio sin necesidad de agregar un primer.

El primer usado puede ser reprocesado perfectamente en otro tipo de trabajos y ordenes de laminación por extrusión y el tipo de lineaje es independiente de la calidad del primer, el lineaje de este tipo de cilindros se hace en rodillos de fierro revestidos con una capa de níquel y una capa



posterior de cobre, se le graba la lineatura deseada en este caso 175 líneas y al final es revestido de cromo para evitar el desgaste del cilindro.

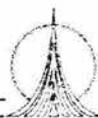
#### IV.4 EL EXTRUDER

La maquina Black Clawson cuenta con dos extruder los cuales son modelo 400 los cuales tienen las siguientes características de localización y funcionamiento:

El extruder se localiza en un amplio compartimiento que permite suministrar la alimentación en el tornillo o husillo en la parte frontal de la maquina. La unidad esta equipada con alimentación de agua de enfriamiento en el tornillo por medio de un tubo. El compartimiento del extruder debe ser el adecuado para quitar o remover la unión rotatoria y el tornillo que suministra el agua de enfriamiento por el tubo, los tubos deben estar aproximadamente a 4 pies(1.2) metros autorizados en cada lado del extruder.

El extruder eléctricamente calentado con resistencias es conocido como serie 400 y es una pieza sumamente integral e importante del equipo por que lleva accesorios como bandejas o recipientes y que a través de una combinación de calor y presión, el liquido extruido es usado para el producto final. Las partes básicas de un extruder son las siguientes:

- 1)Motor, debe ser controlado en todo momento.
- 2)Reductor que lleva a velocidad la relación de circulación en el sistema.
- 3)Sección de alimentación, donde se encuentran las charolas.
- 4)Barril, que se encuentra en el exterior y en el interior se encuentra el husillo.



- 5)Tipos de resistencias de calentamiento, que están moldeadas con aluminio y entra en combinación con el aire frío que es soplado por el tubo correspondiente para enfriamiento del husillo.
- 6)El tornillo, que regula el transporte por las bandejas en una cantidad determinada a través del barril.
- 7)La base del extruder.
- 8)Controles y conexiones para operar el extruder.

En particular la operación de este equipo consta de las siguientes etapas:

- 1)Zona de calentamiento, localizado al final del barril del extruder.
- 2)Filtración de cambio, es para filtrar el flujo del polímero.
- 3)Adaptadores para combinación, Son para combinar el flujo de dos o más extruder en la maquina para aplicación de una coextrusion.
- 4)Alimentación por los tubos, para transportar el liquido extruido de un componente hasta otro.
- 5)Sección de laminado, para que el plástico extruido salga en un plano.

Para la coextrusion es necesario calcular las revoluciones por minuto(RPM) en cada extruder y para la laminación del pet- polifoil se debe de establecer el calculo tal como en cualquier resina.

El análisis dimensional es el siguiente:

$$G = \text{Gasto Volumétrico} = \text{Rapidez de la línea} \times \text{ancho} \times \text{Grosor de la coextrusion} \quad \text{Ec. 1}$$



## CAPITULO IV



$$\left[ L^3 / T \right] \quad \left[ L / T \right] \quad \left[ L \right] \quad \left[ L \right]$$

$$Q = \text{Gasto masico} = \text{Gasto Volumétrico} \times \text{Densidad} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\left[ M / T \right] \quad \left[ L^3 / T \right] \quad \left[ M / L^3 \right]$$

$$Q_{LD200} = (\% \text{ PART})(G)(\phi_{LD200}) \quad \text{Ec. 3}$$

$$Q_{AMP1171} = (\% \text{ PART})(G)(\phi_{AMP1171}) \quad \text{Ec. 4}$$

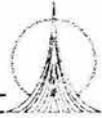
$$N_{LD200} = Q_{LD200} / (Q/N)_{LD200} = \frac{\text{Lbs} / \text{Hr}}{\text{Lbs} / \text{Hr} / \text{RPM}} \quad \text{Ec. 5}$$

$$N_{amp1171} = Q_{amp1171} / (Q/N)_{amp1171} = \frac{\text{Lbs} / \text{Hr}}{\text{Lbs} / \text{Hr} / \text{RPM}} \quad \text{Ec. 6}$$

Cuando (Q/N) es específico y está basado en las dimensiones del tornillo y las condiciones de operación, esta información la recomienda el proveedor de resinas y se establece en operación.



## CAPITULO IV



Para la resina EPB 10 que esta compuesta por LD 200 90% y Ampacet 1171 10% en el extruder 1 tenemos:

La rapidez del extruder: 500 ft / min

Ancho: 965mm= 38.6 in

Grosor de la Coextrusion: 0.5 milésima de pulgada

La determinación de RPM en el primer extrusor para coextrusion de la mezcla EPB 10, es la siguiente:

$$G = (500 \text{ ft} / \text{min})(38.6 \text{ in})(\text{ft}/12 \text{ in})(0.0005 \text{ in})(\text{ft} / 12 \text{ in})(60 \text{ min} / \text{Hr})$$

$$G = 4.02 \text{ ft}^3 / \text{Hr}$$

$$Q_{LD200} = (0.9)(4.02 \text{ ft}^3 / \text{Hr})(37.93 \text{ Lb} / \text{ft}^3) = 137.25 \text{ ft}^3 / \text{Hr}$$

$$Q_{AMP1171} = (0.1)(4.02 \text{ ft}^3 / \text{Hr})(61.96 \text{ Lb} / \text{ft}^3) = 24.90 \text{ ft}^3 / \text{Hr}$$

$$N_{LD200} = (137.25 \text{ ft}^3 / \text{Hr}) / (1.88 \text{ ft}^3 / \text{Hr-RPM}) = 73 \text{ RPM}$$

$$N_{amp1171} = (24.90 \text{ ft}^3 / \text{Hr}) / (3 \text{ ft}^3 / \text{Hr-RPM}) = 8.3 \text{ RPM}$$

$$N_{TOTAL} = N_{LD200} + N_{AMP1171} = 81.3 \text{ RPM}$$



Esto quiere decir que en el extruder 1 en la tolva de alimentación se introducirá esta mezcla de forma independiente ya que cuenta con cuatro separadores de acero inoxidable en su interior de la tolva, el extruder girara a su potencia respectiva de **81.3 RPM**.

El análisis para el extruder 2, tenemos la resina LD200 al 95% y la resina lotryl al 5% es importante mencionar que el poco porcentaje de la resina lotryl es debido a que esta resina en el mercado es muy cara y seria altamente incosteable si se le metiera una porcentaje mayor sobre todo por condiciones de proceso no requiere mas del 5% al 10% .

La rapidez del extruder 2 : 250 ft / min

Ancho: 965mm= 38.6 in

Grosor de la Coextrusion: 1.0 milésima de pulgada

$$G = (250 \text{ Ft} / \text{min})(38.6 \text{ in})(\text{ft}/12 \text{ in})(0.001 \text{ in})(\text{ft} / 12 \text{ in})(60 \text{ min} / \text{Hr})$$

$$G = 4.02 \text{ ft}^3 / \text{Hr}$$

$$Q_{LD200} = (0.95)(4.02 \text{ ft}^3 / \text{Hr})(37.93 \text{ Lb} / \text{ft}^3) = 144.88 \text{ ft}^3 / \text{Hr}$$

$$Q_{lotryl} = (0.05)(4.02 \text{ ft}^3 / \text{Hr})(63.15 \text{ Lb} / \text{ft}^3) = 12.69 \text{ ft}^3 / \text{Hr}$$

$$N_{LD200} = (144.88 \text{ ft}^3 / \text{Hr}) / (1.88 \text{ ft}^3 / \text{Hr-RPM}) = 77.06 \text{ RPM}$$

$$N_{lotryl} = (12.69 \text{ ft}^3 / \text{Hr}) / (3 \text{ ft}^3 / \text{Hr-RPM}) = 4.23 \text{ RPM}$$

$$N_{TOTAL} = N_{LD200} + N_{LOTRYL} = 81.29 \text{ RPM}$$



El extruder 2 teóricamente deberá de girar a **81.29 RPM** y las experiencias con los operadores de la laminadora Black Clawson han establecido que da excelentes resultados con las mismas condiciones del extruder 1. Ver D.F.P del extruder 1 y extruder 2 en el apéndice D.

Es importante señalar y recordar que el cambio en la operación es la resina lotryl, por lo cual recomendamos ampliamente que se revise la especificación de esta resina en la unidad III y de la misma manera revisar las especificaciones de producto terminado con la resina convencional y con la innovación de la resina lotryl en las condiciones de operación en las conclusiones.

#### **IV.4.1 LA TOLVA DE ALIMENTACIÓN Y EL BARRIL**

La función de la zona de alimentación es coleccionar los gránulos de la tolva y transportarlos hacia delante en el canal del husillo. Al mismo tiempo, los gránulos empiezan a calentarse y a comprimirse a medida que avanzan por el canal del husillo.

La zona de alimentación de cada extruder consta de cuatro separadores de aluminio, es decir, pueden adicionarse cuatro resinas diferentes en cada tolva de acuerdo a la formulación correspondiente en el caso de la resina EPB 10 en el extruder 1 en la sección A, se depositara 90% de la resina LD200 y en la sección B, el 10% de la resina Ampacet.

De la misma manera en el extruder 2 en la sección A, se depositara el 95% de la resina LD 200 y en la sección B, el 5% de la resina lotryl. Es importante en la alimentación que estemos seguros de los porcentajes de cada resina de acuerdo a la cantidad total a extruir, debido a que los problemas encontrados por rechazos o mala calidad son debido a que no se alimentaron las cantidades correctas por un mal calculo en formulación y/o adición de la resina lo que llevara a obtener un producto final con diferentes características.



## CAPITULO IV



El área del barril va desde debajo de la sección de alimentación y esta dividido en zonas o áreas. Cada zona contiene aluminio en los castings para que permanezcan calientes estos elementos, cada zona también contiene un soplador de aire frío en esta zona.

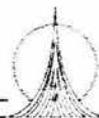
El arreglo calórico para cada sistema consiste en tres pares de moldes de aluminio en forma de aletas lo que representa un tipo de calentadores. Estos moldes se encuentran en pares, alrededor del barril y esta sostenido y en contacto con los calentadores asegurado con pernos. Cada calentador es capaz de producir calor pero estos calentadores producen alrededor de 25.92 KVA están controlados y a su vez la temperatura por un sistema automático de un ciclo frío.

Las especificaciones eléctricas para los calentadores y los sopladores son las siguientes:

Calentadores: 460V, 1Ph, 60Hz(25.9KW por zona).

Sopladores: 220V, 1 Ph, 60Hz(250CFM at 0.5 s.p.). Ver D.F.P de Temperaturas y Presión en el apéndice C.

El barril del extruder es el "tubo" que junto con la alimentación del husillo y transporta de los pallets de alimentación de la tolva a un extremo. Durante este tramo los pallets están derretidos por el calor y la presión generada por la rotación del husillo. Alimentación, compresión y dosificación. La zona de dosificación va seguida por el cabezal y el dado. Ver D.F.P del extruder 1 y extruder 2 en el apéndice C.



La sección del husillo y barril de un extrusor tiene cuatro funciones principales (presurizar, calentar, mezclar y bombear), para hacer cada función más eficiente es practica normal dividir esta parte del extrusor en tres zonas tal como se mencionan en la sección del husillo.

#### IV.4.2 EL HUSILLO

El corazón de un extrusor es un husillo o tornillo que gira dentro de un barril o cilindro y es capaz de bombear (empujar) un material a una velocidad específica, bajo ciertas condiciones de operación. Cuando un material termoplástico se alimenta al extrusor, el husillo lo empuja hacia delante, a lo largo del barril donde se calienta y se transforma en fluido. Este fluido continuo y al final se le hace pasar a través de un dado que proporciona el perfil a la forma final deseada. El tornillo del extrusor tiene dos "hilos en espiral a lo largo de su eje. El diámetro medido hasta la parte externa del hilo es el mismo en toda la longitud para permitir un ajuste preciso en una camisa cilíndrica, con un claro apenas para dejarlo rotar.

El tornillo del extruder puede ser manejado por un motor de corriente directa a través de un reductor **lufkin** en forma de espiral que reduce o incrementa la rapidez del tornillo. El tornillo es uno de los factores primordiales de la laminación en la Black Clawson del Pe-Polifoil ya que el tornillo esta diseñado dependiendo del tipo de resina a extruir para el caso de las dos secciones de extruder para laminar el Pet- Polifoil el tipo de tornillo usado se observa en la figura IV-2 y IV-3.

El tornillo es llamado de Arquímedes este se ajusta con precisión dentro de la camisa cilíndrica, con el espacio suficiente para rotar. La resina alimentada es sometida por la primera sección y sale del otro lado ya perfilado, fundido y homogenizado.

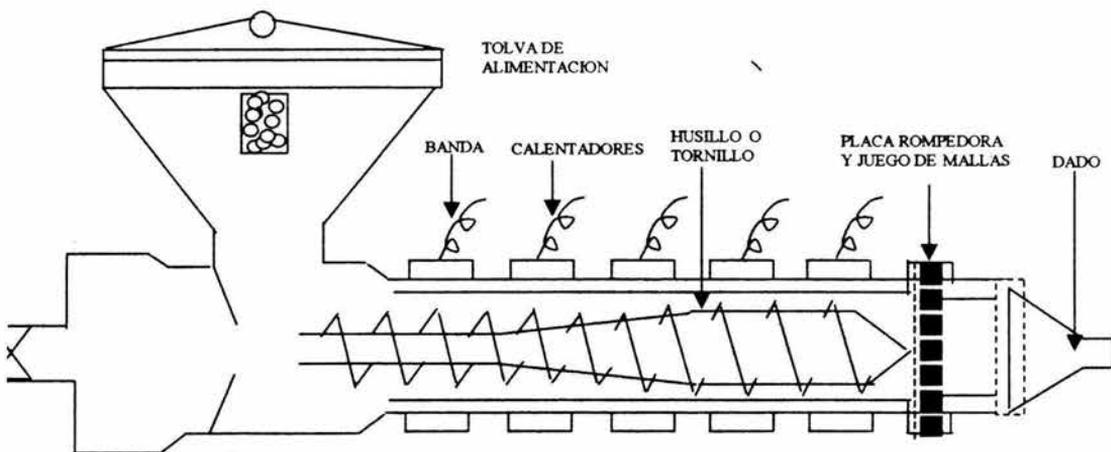


FIGURA IV-2 Características del extrusor y husillo utilizado en la laminación del Pet- Polifoil..

Se observa en la figura IV-2, toda la zona del extruder en donde el tornillo usado es con las mismas características para la resina EPB 10, en el extruder 1 y la mezcla de lotryl en el extruder 2. Las secciones en el husillo son las siguientes:

#### a) Zona de alimentación

Aquí se precalienta y se transporta la resina a la siguiente sección. La profundidad del tornillo es constante y la longitud de esta zona es tal que hay una alimentación correcta hacia delante, ni deficiente, ni excesiva.

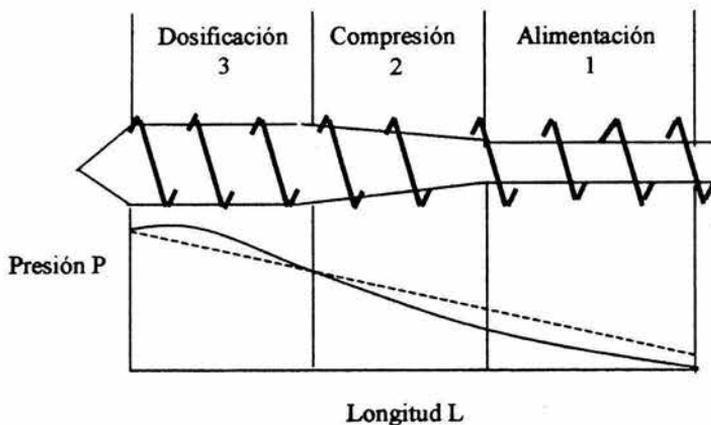
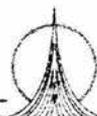


FIGURA IV-3 Zonas del extrusor del tornillo usado en la Black Clawson.

Esta alimentación varía un poco para obtener una eficiencia óptima con los diferentes polímeros. Conforme se transporta el polímero se funde una capa delgada en la pared del barril esto se efectúa por el calor que se conduce desde los calentadores del barril. El tornillo desprende la película semifundida al girar. El polímero semifundido se mueve desde la cara frontal del hilo hacia el núcleo y luego barre de nuevo para establecer un movimiento rotatorio. Mientras se barren otros granulos o partes sólidas de la masa compactada del polímero hacia el "charco fundido" en formación. El proceso continúa lentamente hasta que se funde todo el polímero en la segunda sección.

#### b) Zona de compresión

Esta zona tiene una profundidad de canal decreciente. Esta zona tiene las funciones y se le conoce también como zona de transición. material resiste la rotación del barril se desliza sobre el tornillo y tiende a ser transportado axialmente como un tornillo de Arquímedes.



## CAPITULO IV



Primeramente se expulsa el aire atrapado entre los gránulos originales; en segundo lugar se mejora la transferencia de calor desde las paredes del barril calentado conforme al material se vuelve menos espeso, en tercer lugar se da el cambio de densidad que ocurre dentro de la fusión. El material se adhiere ya fundido al tornillo y se desliza sobre el barril. Bajo estas condiciones, el tornillo y la resina giraran como un cilindro sólido. En esta sección hay una fricción del tornillo como del barril, y esto conduce al mecanismo de transporte principal, **el flujo por arrastre**. Esto es literalmente el arrastre de material fundido a lo largo del tornillo como resultado de las fuerzas de fricción, y es equivalente al arrastre viscoso entre las placas estacionarias y móvil separadas por un medio viscoso. En la maquina Black Clawson como en todas las maquinas de alta velocidad todo el calentamiento proviene del esfuerzo de corte al que se somete el material fundido viscoso y otro poco de los calentadores del barril del extrusor, una relación normal de la Black Clawson es 67/33 de fricción / conducción.

Todo este sistema el proceso se controla por medio de termostato para tener un control preciso de temperatura del material fundido, de esta manera se obtiene un proceso optimo. La condición de operación de esta maquina se haya en la operación adiabática, extrema en donde solo hay calor proveniente de la disipación viscosa y de la operación isotérmica, en donde la temperatura será la misma en todos los puntos al general el calor por medio de calentadores y disiparlo por medio de enfriadores.

Todas estas maquinas adiabáticas deben de tener perdidas de calor ya que la maquina se alimenta con materia prima fría y por lo tanto no puede trabajar isotermicamente. Sin embargo la zona de bombeo se aproxima a las condiciones isotérmicas.



### c) Zona de dosificación

Una vez que se encuentra con profundidad el tornillo constante. Su función es homogenizar el material fundido y con ello suministrar a la región del dado material de calidad homogénea a temperatura y presión constantes. El componente final en el modelo del flujo es el **flujo de fuga**. Hay un espacio finito entre el tornillo y el barril a través de cual se puede fugar el material. Este también es un flujo impulsado por presión que desde luego también se opone al flujo por arrastre.

Por lo tanto, el flujo total es el balance de estos componentes:

$$\text{FLUJO TOTAL} = \text{Flujo por arrastre} - \text{Flujo de presión} - \text{Flujo de fuga.} \quad \text{Ec. 1}$$

Las recomendaciones para procesar la resina EPB 10 así como la mayoría de las resinas en los extruder de la Black Clawson se darán por condiciones de fabricación pero es importante resaltar que la designación de las condiciones particulares de operación del tornillo es en particular bajo la responsabilidad de cada convertidor.

1) Se usa alrededor de  $\frac{3}{4}$  GPM de agua fría para que se permanezca la temperatura alrededor de  $60^{\circ}\text{F} - 70^{\circ}\text{F}$ .

2) En el barril y el tornillo tal como lo explicamos existen 5 zonas en el cual se colocaran los siguientes Set- Points tal como se observa en la figura IV-4

Zona 1,  $275^{\circ}\text{F} = 136.08^{\circ}\text{C}$

Zona 2,  $425^{\circ}\text{F} = 220.08$

Zona 3,  $475^{\circ}\text{F} = 248.08^{\circ}\text{C}$



## CAPITULO IV



Zona 4, 5 y 6, Esta en el rango de  $475^{\circ}\text{F} - 535^{\circ}\text{F} = 248.08^{\circ}\text{C} - 281.68^{\circ}\text{C}$

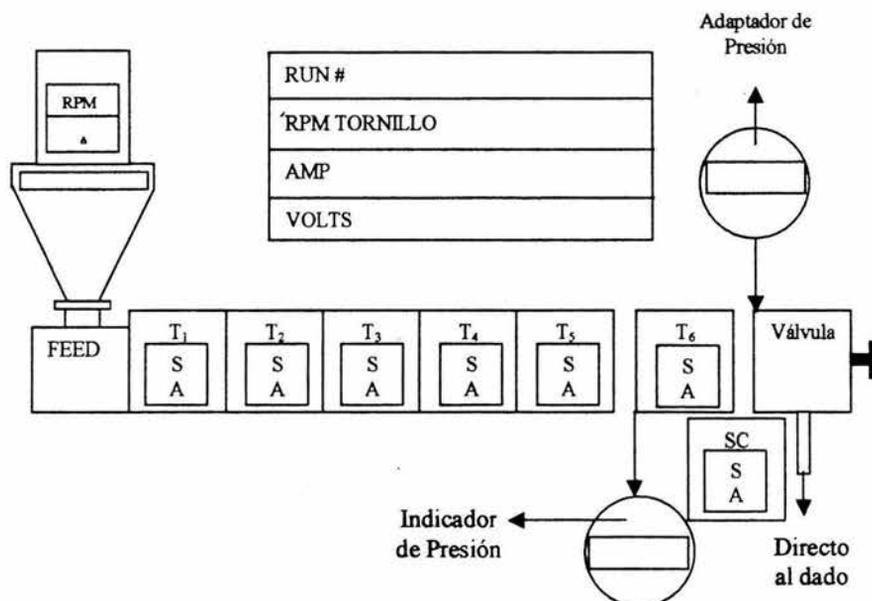
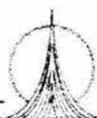


FIGURA IV-4 Zonas de temperaturas en el barril

Estas Consideraciones pueden alterarse; aunque no deben de sobre pasar los  $535^{\circ}\text{F}$ , las experiencias en la EPB 10 es que opera con buenos resultados alrededor de  $475^{\circ}\text{F} - 535^{\circ}\text{F}$ . En lo que respecta a la maquina Black Clawson se cuidaran 5 temperaturas en el tornillo tal como lo indica la figura IV-4 y en la especificación del proceso del apéndice D.



Para un transporte “bombeo” eficiente de los gránulos deben adherirse a la pared del barril y mostrar un alto grado de deslizamiento de la pared del canal del husillo. Para alcanzar un mayor transporte de gránulos se debe de hacer lo siguiente:

- a) Canal profundo (En comparación con el resto del husillo).
- b) Bajo grado de fricción entre gránulos y husillo.
- c) alto grado de fricción entre gránulos y barril.
- d) alto ángulo de la hélice en el husillo.

#### IV.4.3 EL DADO

La zona final de un extrusor es el dado, junto con una región de mallas que tiene las funciones de evitar el paso de material extraño como resina no fundida, polvos, y cuerpos extraños. Esta malla como parte del dado tiene las siguientes funciones; Crear una fuente de presión cuando se opone una resistencia de bombeo a la zona anterior y eliminar la memoria de giro del material fundido. Las experiencias que se han tenido con el Pet-Polifoil es que se encuentran en el porta mallas partículas de metal e inclusive tuercas y tornillos, aglomerados de material de relleno que han escapado a la dispersión. Además de hacer que el producto salga defectuoso, las partículas metálicas dañan el dado, lo cual es un grave problema, pues el dado es caro y difícil de reparar.

La importancia para crear una frente de presión radica en que esta presión es la que suple la fuerza impulsora para vencer la resistencia del dado. Para iniciar la operación de la resina EPB 10 y laminarlo con el poliéster y para otro tipo de trabajos es importantísimo purgar el dado, si se trabajó anteriormente con otra resina de propiedades diferentes a la nueva a extruir.



## CAPITULO IV



Es recomendable purgar el dado con la resina que va a suplir a la anterior, en este caso la EPB 10. Los rangos de temperatura en que debe de estar el dado para la purga es de  $193^{\circ}\text{C} - 238^{\circ}\text{C}$ , ( $380^{\circ}\text{F} - 460^{\circ}\text{F}$ ) en la primera etapa de la purga y se mide en Dyna/purga y habra una segunda etapa de purga que sera de los  $232^{\circ}\text{C} - 315^{\circ}\text{C}$ , ( $450^{\circ}\text{F} - 600^{\circ}\text{F}$ ) por Dyna / purga. Se inicia la purga en la alimentación de la resina y deberá de ser 2 libras por pulgada del diámetro del tornillo. Se sigue adicionando resina hasta que todo el tornillo y el dado sacan una capa uniforme de resina EPB 10 en este caso se debe de estar seguro que la resina con la que se purga debe de quedar tanto el tornillo, como en el barril y en el dado. La purga termina alrededor de 30 minutos después que se alimento la resina y se inicio la operación de purga otro de los parámetros que te indican que hubo una excelente purga es el cambio de color si hubo algún pigmento o simplemente la coloración que de una mezcla a otra es diferente.

La forma en que se obtiene la resina en el dado, ya en operación aplicando la resina EPB 10, en el poliéster como se observa en la figura IV-5, donde posteriormente pasa por un chill roll donde recircula agua de enfriamiento y hace a la función de presionar el material semi fundido con el poliéster enfriándolo y adhiriéndolo perfectamente. La sección del dado específicamente se divide en 11 zonas esto es para tener un mayor control de la temperatura tal como se observa en la figura IV-5. Las zonas específicas del dado deben de tener ciertas temperaturas, de acuerdo a la resina que se este aplicando, es común que el fabricante de los pallets proporcione esta información, para el caso de la resina EPB 10 en el extruder 1 y la resina lotryl en el extruder 2 puede observarse la especificación de la maquina en el apéndice D.



CAPITULO IV

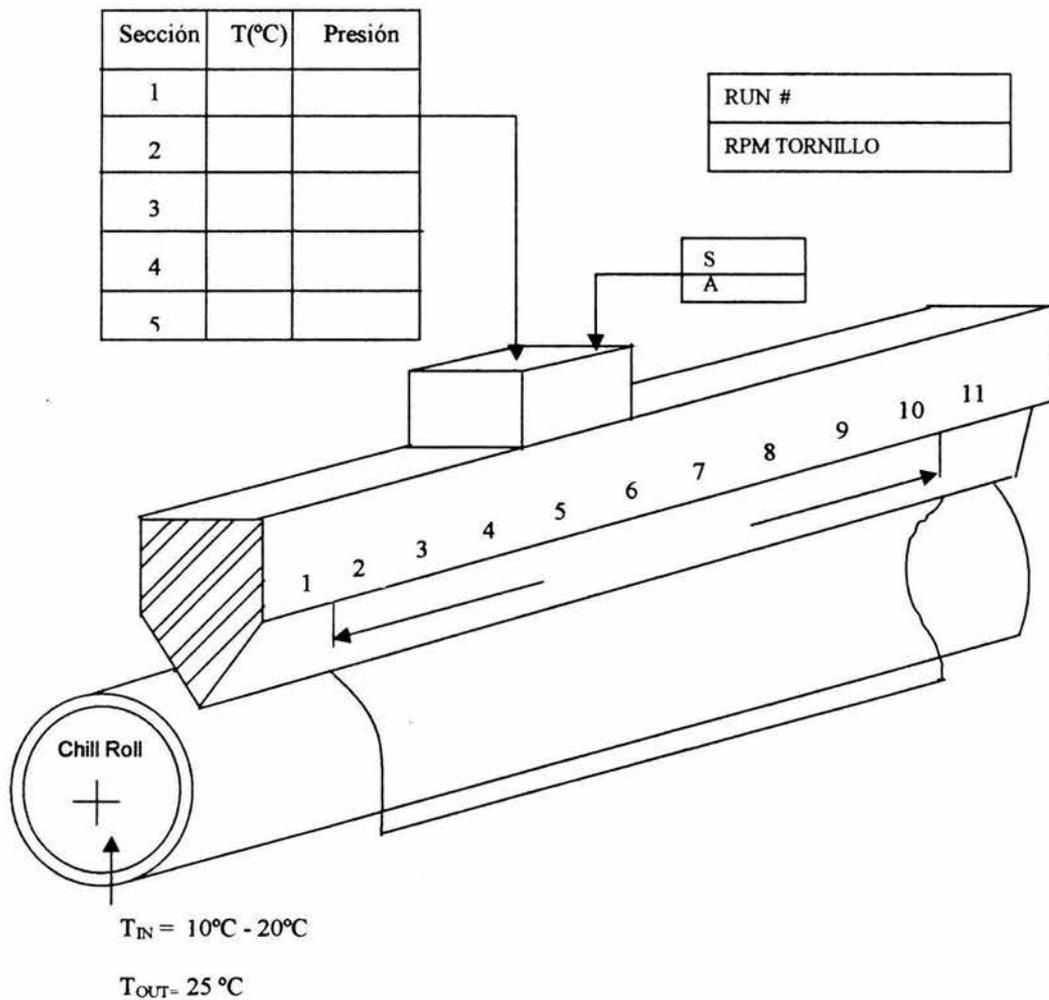


FIGURA IV-5 Representación esquemática del dado en función con el chill roll.



## CAPITULO IV

---

Teniendo la temperatura minitoreada y controlada, en todas sus secciones por un mecanismo automático que pasara la señal a una segunda fase, el adaptador separa las 11 secciones del dado en 5 secciones principales en el panel de control principal tal como se observa en la figura IV-6. Es importante aclarar que la resina en la salida del dado esta completamente fundida adheriendose al poliéster en todo lo ancho, la resina debe estar libre de cualquier impureza, por lo que se debe de tener en excelentes condiciones el porta mallas que hará la función de retener toda presencia extraña al proceso.

En la figura IV-6 se observa el dado de la maquina Black Clawson aplicando la resina EPB 10 procedente del dado, al poliéster que viene del desenbobinador principal y previamente por la seccion del primer agu.

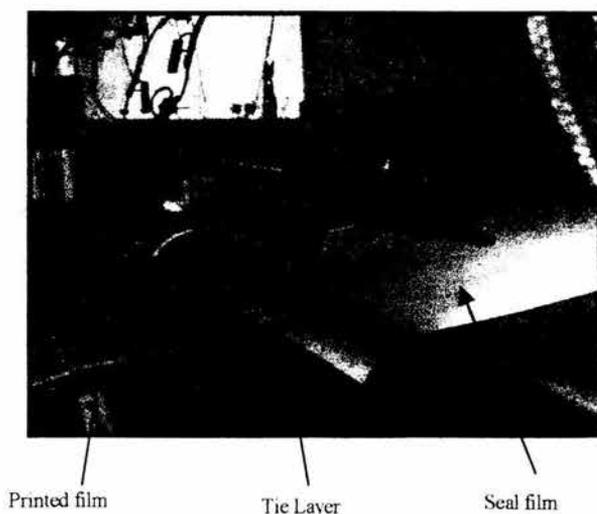
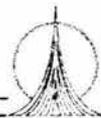


FIGURA IV-6 Aplicación de resina EPB 10 en el poliéster a través del dado.



El poliéster que proviene del desenbobinador principal tiene la característica de tener tratamiento químico por la cara interior, alrededor de 52 Dynas / cm que es el lado por donde se aplicara la resina o impresión si hubiera un proceso previo a la laminación. Si en caso contrario no tuviera algún tipo de tratamiento se vería disminuida la adhesión de la resina en el poliéster.

#### **IV.5 SECCION DE CASTING, ENFRIAMIENTO Y CONTROL DE TEMPERATURA**

La función básica es enfriar y colocar presión de una manera correcta la resina sobre el poliéster para que pueda seguir siendo procesada. Durante la operación normal de la maquina es importante que la temperatura del agua sea controlada en el Chill Roll y en el Nip Roll, mediante un sistema de recirculación.

Los componentes básicos del sistema son:

Un tanque mezclador de 1000 galones

Bombas de agua.

Chill Roll con 600 GPM

Nip Roll con 100 GPM

Cooling Roll secundario con 100 GPM

Intercambiador de calor con 30 GPM

Chiller para sistema de enfriamiento

La adición, del sistema inicia con 350 GPM que se recircularan en el sistema hacia el chiller. El agua que llega al chiller esta a una temperatura alta por lo que su función será poner el agua esta a temperatura en condiciones de operación.



## CAPITULO IV



El enfriamiento del agua comienza cuando los sensores detectan un aumento en la temperatura en el tanque por lo que las bombas se accionan y mandan el agua al chiller, y este a su vez enfría el agua a temperatura de operación y lo retorna al tanque donde la bomba del proceso se acciona y manda el agua al chill roll para que prosiga el proceso. La recirculación de la línea contiene una válvula que es usada para regular la presión según el indicador.

Tal como se describe el proceso de enfriamiento en la figura IV-7, en el nip roll y cooling roll secundarios son para asegurar el correcto enfriamiento y prevenir el mal funcionamiento del chill roll, los rodillos secundarios se alimentaran del mismo tanque de agua y están conectados de los mismos sensores de temperatura. La temperatura a la que sale el agua del tanque debe ser de 10°C a 20°C es bombeada a un calentador isotérmico donde se asegura que la temperatura de operación este aproximadamente de 15°C a 20°C este flujo es enviado al chill roll donde su función principal es enfriar la resina y adherirla al sustrato base, posteriormente pasara a las secciones secundarias inmediatas de nip roll y Colling roll donde se asegura el enfriamiento total y la adhesión, la temperatura del sistema de enfriamiento secundario estará también en una temperatura de 15°C a 20°C ya que es enviado del mismo tanque y de su calentador correspondiente a las mismas condiciones de operación, así el agua recircula una y otra vez por el sistema hasta que por razones de conducción el agua se calienta alrededor de 25°C o mas en un determinado tiempo, cuando los controladores detectan la temperatura mínima de 25°C o superior se activa el sistema de enfriamiento IP por lo cual se enviara el agua que llega al tanque a un chiller donde tendrá la función de enfriar el agua hasta los 10° C aproximadamente y retornarla al tanque de almacenamiento Un panorama completo y detallado del proceso de enfriamiento se puede observar en el apéndice C, en el D.F.P de la sección de enfriamiento el cual describe con toda exactitud las conexiones del chill roll, nip roll y cooling roll y la nomenclatura de la figura IV-7.

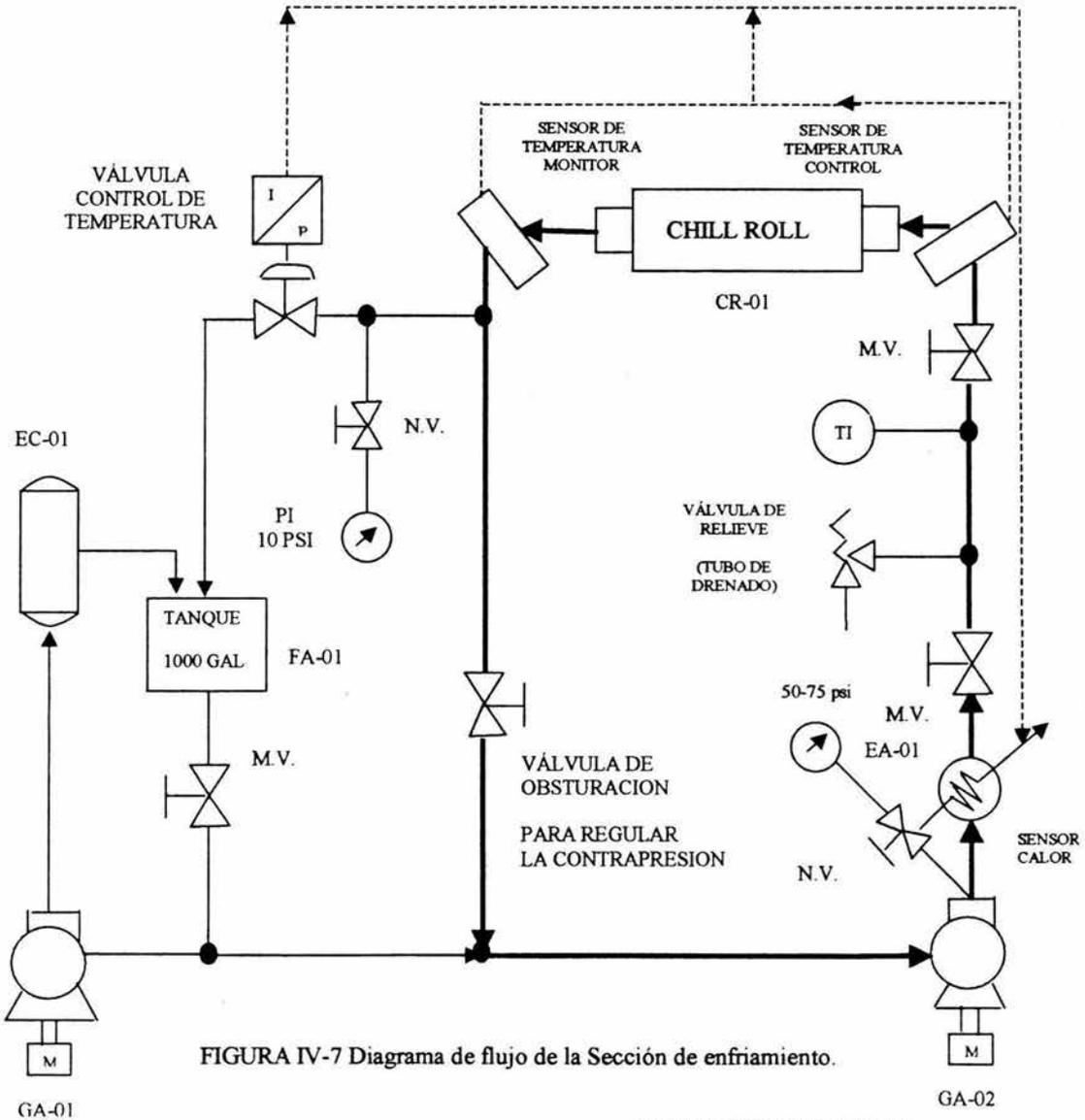
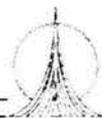


FIGURA IV-7 Diagrama de flujo de la Sección de enfriamiento.



## CAPITULO IV



Un sensor de temperatura "J" detecta la temperatura del agua a través de una señal entre el sensor de calor, el sensor de temperatura observándose en el indicador de temperatura por la señal del monitor" por lo que los dispositivos se activan para que la temperatura comience a ser controlada. Por lo cual el control de la temperatura proviene de una salida de señal proveniente de un convertidor de corriente I/P, que regula automáticamente la válvula de control de temperatura para que retorne el agua a la línea de recirculación del tanque y esta sea bombeada al chiller y se descienda la temperatura a condiciones de operación. Como puede observarse en la figura IV- 7 esta instalado el sensor de temperatura en la recirculación del chill roll, y así mismo la temperatura esta siendo monitoreada..

El convertidor de señal I/P es responsable de mandar la señal neumática para controlar la válvula, esta recibe 4-20 miliamperes desde el controlador de temperatura y este a su vez lo convierte en señales neumáticas, cuando esta señal aumenta de magnitud la válvula se cierra. Ver D.F.P de la sección de enfriamiento y de casting en el apéndice C.

En esta sección de casting ya tenemos la unión del poliéster y la capa de polietileno EPB 10, ya enfriada por lo que tendríamos hasta el momento un polivac (Poliéster-Hoja plana de polietileno), y hasta aquí se denomina que la estructura lleva un paso.

Es importante mencionar que los grosores de la capa de poliéster y el polietileno debe de ser el previsto en las especificaciones de operación de el apéndice D, estos datos son alimentados digitalmente al inicio de la operación lo que llevara electrónicamente a la maquina alimentar y respetar estos valores iniciales. En cada extruder lleva un equipo de calibración electrónico que revisara a todo lo ancho de la película el espesor y se registrara la desviación en el panel de control por medio de graficas.



#### IV.6 ADHESION DEL ALUMINIO DE 9 MICRAS

Posteriormente del desembobinador secundario colocado en la parte superior se monta el aluminio de 9 micras el cual será transportado hasta la zona del extruder 1, el lado mate del aluminio es el lado tratado y es el lado que se unirá al polivac exactamente por el lado del polietileno, la propiedad del aluminio y la resina EPB 10 es que debido a las fuerzas de Vander Walls entre estas dos películas no se necesitara primer como en el caso de Poliéster-polietileno. Este es el segundo paso del Pet- Polifoil, "Poliéster-Polietileno-Aluminio.

Posteriormente en el extruder 1, se le dará tratamiento corona a la película de Poliéster-Polietileno- aluminio por el lado brillante del aluminio ya que es el lado no tratado y ese lado es donde llevara la aplicación de polietileno de lotryl en el extruder 2. Por medio de rodillos secundarios es transportada la película a la estación de tratado y le da un retratamiento al aluminio no menos de 7 kilowats.

El **Tratamiento Corona** al lado del aluminio se obtiene aplicando una descarga de alta tensión (A.T.) y alta frecuencia (H.F.). Para la realización de este proceso es necesaria la utilización de un generador y de una estación de tratado, dotada ésta de un sistema electrodo-contra electrodo, que en el caso de la maquina Black Clawson son de cerámica, con un dieléctrico entre ambos.

El dieléctrico escogido dependerá del tipo de material a tratar, siendo lo más usual la utilización de un dieléctrico de silicona para el tratamiento de materiales no conductivos y de tipo cerámico para los materiales conductivos.



La descarga o bombardeo con electrones de la superficie del aluminio lo posibilita que la composición molecular homopolar inicial de su superficie tenga las propiedades de recibirla resina en el extruder 2 en el tercer paso de la laminación.

Las condiciones en el extruder 1 y 2 tienen las mismas características en cuanto a funcionamiento y las mismas secciones en los separadores del extruder, así como en todas sus zonas del barril el husillo y el dado. La sección del casting y enfriamiento del extruder 2 opera de la misma manera que en el extruder 1, se puede observar en el apéndice D las condiciones de operación de los dos extruder por secciones.

La finalidad es que esta estructura, multilaminada requiere de un sello muy alto, superior a los 1000 lb/in, y que contenga altas propiedades de WVTR y OTR, valor que el aluminio como tal no proporcionara esta fuerza de sello, ni la resistencia a la humedad y vapor de agua por lo que se procederá a dar una aplicación de 24 gr de resina Lotryl y LD 200 en el extruder 2.

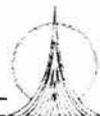
En este momento tenemos el Pet-Polifoil ya formado el cual finalmente pasara por la sección de embobinado final donde tendremos el material listo y terminado el cual llevara 8 horas de reposo, esto es debido al reposo que debe de llevar al primer para asegurar la adherencia de los sustratos en la laminación.

#### **IV.7 APLICACIONES INDUSTRIALES DEL PET-POLIFOIL**

Las aplicaciones pueden ser múltiples, en la actualidad ha venido evolucionando este tipo de estructuras, actualmente son muy comunes para productos farmacéuticos y alimenticios, ya que requieren una gran fuerza de sello para evitar la contaminación externa y la descomposición interna por presencia de oxígeno.



## CAPITULO IV



Lo principal es aplicarlo a envases flexibles y eso es hablar de envases económicos, en el caso del Pet- Polifoil es una estructura muy complejas aparentemente rígida, pero que sigue siendo flexible y es común que encontremos el Pet Polifoil en el mercado en forma de paralelepipedo para leche y jugos como tetra brik o combibloc, es un envase flexible por que parte de una bobina de una materia prima tomando la forma por todos conocida.

El Pet- Polifoil como envase flexible es obtenida a partir de una película plástica sencilla con el único fin de una alternativa de costo.

por nombrar algunas aplicaciones del Pet- Polifoil tenemos:

Binotal

Plantaben

Ridomil

Envoltura de supositorios

Choco Milk

Cereales

NESTLE bolsas de café, Bolsas de Polvo de Cacao ( MILO)

Sachets de café de 15gr y sachets para chocolate en polvo

Bolsas para Leche en polvo y Café

Generalmente todo lo que aplica a polvos

La realidad para este tipo de multilaminaciones, es que actualmente son especialidades de solo unos convertidores por lo que esta rama puede ser un buen factor de inversión y de explotación para nuevos competidores y del mercado mexicano.

UNAM- FES ZARAGOZA



## CAPITULO IV



Si comparamos las ventajas del Pet-Polifoil contra los otros materiales tradicionales, aun hablando genéricamente, nos encontramos las siguientes ventajas:

Tiene poco peso

Excelente aislante térmico

Excelente aislante eléctrico

Puede pigmentarse, casi en cualquier color

Puede metalizarse

Es resistente al agua

Tienen excelente resistencia química

Poseen excelente resistencia a hongos y bacterias

Son altamente higiénicos

Pueden esterilizarse

Son fácilmente adaptable a la producción en serie

Son excelentes amortiguadores de choques y vibraciones

Son altamente silenciosos

No se corroen

No se oxidan

No necesitan lubricarse

Sometidos a flexión, no se fatigan fácilmente

Son más fáciles y rápidos de maquinar

Manejan tolerancias de producción más fáciles de maquinar

UNAM- FES ZARAGOZA

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



## **V COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL PET-POLIFOIL**

Teniendo estudiado hasta el momento las estructuras primarias como materia prima que contiene el Pet- Polifoil, y conociendo ampliamente el proceso por el cual obtenemos la multilaminación, es preciso el conocer y establecer el costo de producción y así mismo el costo de venta, cabe mencionar que esta estructura comercialmente tiene la ventaja de ser una especialización que muy pocos convertidores la dominan, por lo tanto contiene excelentes márgenes de ganancia para los convertidores que tienen la experiencia en laminaciones múltiples.

### **V.1 COSTO DEL PROCESO DE LAMINACION EN LA MAQUINA BLACK CLAWSON.**

El porcentaje de desperdicio para este material es del 10% y este es calculado en base a la maquina en que se va a laminar y a la experiencia principalmente de los operadores, que son un factor clave para el proceso. En lo que respecta al numero de producto "PC" solo la identificación maestra del material terminado, por consiguiente cada producto tendrá un numero de parte diferente a otro, y lo que es más importante este numero de parte identificara a todos los procesos que necesite el pet-polifoil. La línea 39 es la familia a la que pertenece el material este numero quiere decir que este producto se laminara en extrusión y no será el mismo numero si se laminara por el proceso de solvent-less o en dado caso no fuera un material laminado por ninguno de los dos procesos mencionados.



## CAPITULO V



PRODUCTO : PC9484 EXPERIMENTAL PET-POLIFOIL  
LINEA : 0039 PET-POLIFOIL

PROCESO : LAMINACION POR EXTRUSION  
MAQUINA : BC-1  
Kg/Hr : 1,163.00  
COSTO TOTAL : 28.38  
% DESPERDICIO: 10.0%  
Peso de Estructura: 90.9gr

Parte	Descripción	% Parte	Costo Variable	Costo Unitario	Peso unitario Gr
AT5000	Poliester XP-131	0.188	23.85	4.48	16.91
AW9990	Aluminio 0.009X 990	0.271	42.16	11.42	24.45
AD2020	Ampacet 11171	0.013	35.92	0.46	1.17
AD2066	Resina Mobil LD-200	0.499	12.05	6.01	44.95
AD2057	Resina Lotryl	0.020	20.83	0.41	1.8
AF0203	Toluol	0.006	4.24	0.025	0.54
AF2002	Acetato de Etilo Grado Uretano	0.003	9.42	0.028	0.27
AG1006	Catalizador M-37	0.001	57.50	0.057	0.09
AG2005	Adcote 76-H-105	0.009	59.59	0.53	0.81
TOTAL	NA	1	265.56	23.45	90.93

TABLA V-1 Descripción de costos del proceso de laminación.

En la tabla V-1 se describe los costos del proceso de laminación, en la primera fila nombrada como “**parte**” se describe con un código para cada materia prima utilizada y se hace en base a un programa de computo que asigna el numero de tal forma que solo exista una vez y que a su vez no se repita.

UNAM- FES ZARAGOZA



## CAPITULO V



En la segunda fila nombrada como “**Descripción**”, se anuncia el nombre de cada materia prima, ya visto anteriormente; cabe mencionar que se describirán todas las materias primas usadas solamente en el proceso de laminación, algunos convertidores requieren el proceso de impresión al reverso del poliéster antes de una laminación por lo que se deberá plantear el costo de la impresión así como de la materia prima usada en el proceso.

En la tercera fila de la tabla V-1 se representa el “**Porcentaje de participación**” de cada materia prima en base a la estructura final, es decir cuanto participa la materia prima en base al 100%. El “**costo variable**” indica el costo neto de la materia prima por kilo. De este dato depende directamente la columna del “**costo unitario**” ya que teniendo el costo variable de la materia prima y multiplicado por el porcentaje de participación, proporciona el costo específico unitario de la materia prima en que participa en la estructura final.

### V.2 COSTO DEL PROCESO DE CORTE

Es común que los convertidores de todo tipo de multilaminaciones, tenga que entregar el material en bobinas y aun ancho específico, tal como lo requiera el mercado, que usualmente es el mercado farmacéutico y/o alimenticio, por lo tanto se le anexara el costo el proceso de corte echo por maquinas Alemanas Kampf, al igual que el proceso de laminación el desperdicio esta basado en las condiciones nominales dela maquina y especialmente a las condiciones de experiencia del operador.

PROCESO : CORTE  
MAQUINA : KAMPF  
Kg/Hr : 905  
% DESPERDICIO: 11%



## CAPITULO V



Parte	Descripción	% Parte	Costo Variable	Costo Unitario	Peso unitario Gr
LG9484	Rollo laminado de Pet-Polifoil	1	23.45	26.05	90.93

TABLA V-2 Descripción del costo del proceso de corte.

Se puede observar en la tabla V-2 el numero de parte que al igual que en el proceso de laminación es solo una identificación del proceso, en la parte de la descripción, ya se especifica que el rollo ya paso por un proceso anterior que fue la laminación y obviamente se identifica como rollo laminado, el porcentaje de parte en este proceso siempre será uno debido a que no hay una materia prima que involucre un nuevo porcentaje. En lo que respecta al costo variable es el mismo del proceso anterior y habrá un incremento en el costo unitario, este incremento asegura el gasto del core donde ira colocado el Pet- polifoil.

### V.3 COSTO DEL PROCESO DE EMPAQUE

El siguiente proceso es el empaque y son las condiciones finales a las que llegara al cliente, el empaque se hará llegar en tarima flajeada con un ancho de bobina de 10 inch, para uso farmacéutico, o en caso contrario el cliente solicitara el ancho y el diámetro que requiere. El proceso al igual requiere mano de obra y los kg/hr a empacar esta basado en la experiencia del convertidor.

PROCESO : EMPAQUE  
MAQUINA : EMPAQUE  
Kg/Hr : 1,204  
% DESPERDICIO: 0%

UNAM- FES ZARAGOZA



## CAPITULO V



Parte	Descripción	% Parte	Costo Variable	Costo Unitario	Peso unitario Gr
BH9484	Bobina de Pet- Polifoil	1	26.05	29.27	90.93

TABLA V-3 Descripción del costo del proceso de empaque.

En la tabla V-3 al igual que en los procesos anteriores, se describe el numero de parte de identificación ya como bobina cortada, y así específicamente lo indica la descripción del proceso, el porcentaje de parte será siempre uno ya que no incrementa en ninguna materia prima, el costo variable será el mismo calculado en el proceso de corte, el incremento en el costo unitario es el uso de mano de obra.

Finalmente al costo unitario hay que aumentarle los costos fijos, por flete gasto de rodillos, empaque, flajeado, etc. Y como segundo incremento fijo el 8.11 que involucra investigación y desarrollo, salarios de empleados, servicios auxiliares de planta luz, agua, energía eléctrica e implementación de planta. Es importante resaltar que estos costos fijos esta basado bajo un estudio económico de conversión, por lo cual el precio final por kilo es el siguiente:

Variable: 29.27  
Fijos : 1.93 Flete, Grabado, Empaque  
Fijos : 8.11 Salarios, Generación planta  
Total : \$39.31/Kilo

El costo total de \$39.31/kilo representa el precio justo de fabricación, por lo cual a este precio se le puede incrementar el 15% al 30% para la ganancia neta del producto.

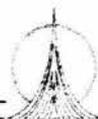


## VI INOVACION TECNOLOGICA PARA MULTIAMINACIONES

La innovación tecnológica que debe hacerse en la laminación de películas plásticas puede ser por diversos factores, uno de los principales factores es la escasez y desabasto de materias primas, ya que en los últimos cuarenta años la utilización de las estructuras multicapas a crecido exponencialmente y de forma espectacular debido a los siguientes factores: el menor costo y la sustitución de envases de vidrio en el empaque por lo que se ha venido dando un desarrollo continuo de resinas plásticas con diversas propiedades, sobre todo de barrera a gases. Actualmente la demanda de polímeros esta creciendo en el mercado por lo cual en este momento se debe de tener bien claro las expectativas comerciales

Acerca de la tendencia tecnológica y en la utilización de la tecnología específicamente en la industria mexicana debe de buscar integrar a la cadena productiva de procesos más eficiente en la producción y más amigables con el medio ambiente. Las tendencias mundiales en sectores deben ser consideradas en nuestro país como un detonante para la generación de valor en la cadena petroquímica-plástica, Por otro lado, se debe de considerar también que se reducen costos en las aplicaciones y se incrementan los valores de productividad cuando se transforman y se utilizan productos plásticos.

Los usos y las aplicaciones dela tecnología en esta industria son un elemento básico, de echo, las empresas que no están enfocadas a la satisfacción de las necesidades del mercado utilizando e innovando tecnologías de punta, están condenadas al fracaso. “es por esto que se debe de insistir en la necesidad do contar con programas de fomento para la industria del plástico mexicana que nos permita reconvertir nuestra plataforma industrial y acceder con financiamiento competitivo a las tecnologías requeridas”.



Son muchas las materias primas plásticas que han ayudado a desarrollar a la población mexicana y a la mundial tal es el caso del Pet- Polifoil “solo debe de bastar imaginarnos un día sin productos plásticos en nuestro entorno”; la amplia gama de productos plásticos que el plástico ha sustituido, como el corazón artificial principalmente aquí tocado en todo tipo de empaque. Equipos más ligeros que permiten mayor movilidad y que dado son inastillables, no provocan riesgos para su manejo”.

### **VI.1 TENDENCIA A CORTO PLAZO**

Una gran motivación en el desarrollo de estructuras y materiales siempre ha sido reducir los costos incrementando la calidad, por lo que mucho de la tendencia esta enfocada al desarrollo de materiales poliméricos que cumplan con las siguientes características.

Alta barrera a gases

Resistencia al llenado en caliente

Transparente

Barrera a aromas

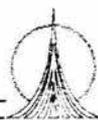
Materiales estructurales que tengan barrera a gases

Materiales ecológicos

Materiales capaces de absorber gases generados en el producto

Materiales capaces de absorber oxígeno residual en el producto

Mundialmente se exportan frutas y verduras frescas que tienen una complicación en su envasado, y que estos productos requieren que el envase les permita seguir recibiendo oxígeno para su subsistencia.



En cuanto a la preocupación en la generación de basura por estas estructuras y la tendencia de crecer, se han planteado algunas alternativas como:

Reciclar las estructuras multilaminadas, así, como las materias primas

Crear una cultura de reutilización

Reducir la cantidad de materiales no indispensables

Replantear los sistemas y materiales para multilaminaciones y envase

Inclusive actualmente se discute de reutilizar estos materiales plásticos como combustibles. También se han generado alternativas ecológicas como son las películas plásticas con alguna forma de degradación biodegradables o degradables por medios químicos.

La alternativa más actual en el ámbito mundial es de generar películas comestibles con el fin de generar películas flexibles que se consuman con el producto, como el quitosán, es un producto que se encuentra en el cascarón de los camarones y que generalmente es manejado como un residuo del mismo. Además esta película es un antibacteriano natural, aspecto que puede ser de gran utilidad para productos propensos a generar bacterias.

Se considera que estos últimos 40 años en las aplicaciones de los plásticos como en el Pet-Polifoil es solo un preámbulo de un futuro prospero y duradero ya que estos desarrollos serán cada vez mas sofisticados por la ciencia y tecnología. El plástico como se ha comentado debe de cumplir con una amabilidad y un desarrollo prospero con el medio ambiente ya que de la generación de los residuos sólidos, los plásticos representan el 10% en peso y el 40 % en volumen. Se generan casi 3 millones de residuos plásticos anualmente, de los cuales solo se recolecta solo el 12%(360mil toneladas).



Por todo esto tenemos que tener un enfoque de estos materiales del presente y del futuro, ya que los plásticos son imprescindibles e insustituibles. Por lo cual por medio de este trabajo de polimeros plásticos se anuncia la formula internacional de no tirar basura.

**Reduce:** La cantidad de plásticos que se generan por medio dela compra y uso inteligente de nuestros insumos.

**Reutiliza:** Los productos desechados cada vez que sea posible.

**Recicla:** Materiales por medio de la separación, recolección y reciclaje.

## V.2 TECNOLOGIA EN MAQUINARIA

El Pet-Polifoil como tal se lamina en una laminadora de extrusion “coating” Black Clawson y todo va referido a dicha maquina. Las líneas de laminación por extrusión cast de B&C completan de forma ideal los requerimientos más actuales en tecnología para el mercado para la producción de embalajes flexibles.

Una de las mejoras de este tipo de maquinas es en el procedimiento del chill-roll que permiten una mejor transparencia y asegura muy buenas características ópticas y mecánicas de la película. Por consiguiente tiene un sistema modular de automatización que crea las bases para niveles constantes que aseguran la alta calidad de los diversos productos, maximiza la eficiencia de la producción, ahorra materias primas, acortas los tiempos de puesta en marcha y de ajuste, minimizando los desperdicios. Este tipo de maquinas permite una coordinación eficiente en los subsiguientes dispositivos, independientemente de la calificación de los operarios.

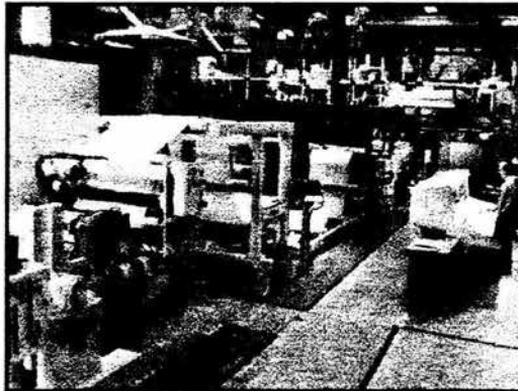
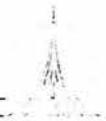


FIGURA VI-1 LAMINADORA DE EUROPA.

En la figura VI-1 se observa una laminadora con excelentes características, por lo tanto sería importante describir las diferencias de este tipo de maquinarias innovadoras y la máquina Black Clawson.

- a) incremento de velocidad de 350 metros / minuto a 500 metros minuto.
- b) Aumento de dos extruder hasta 4 y 5 extruder.
- c) Mayor automatización en controladores de temperatura y presión.
- d) Mejor diseñadas en cuanto a su operación adiabática.
- e) Mas potencia en tratado así como en unidades.
- f) Facilidades para cambiare el husillo dependiendo dela resina a emplear



## CAPITULO VI



Uno de los avances se puede observar en los tratadores diseñados para indicar los niveles de tratamiento de la superficie del film en polimero basado en substratos y establecer que el material está siendo tratado correctamente antes de la impresión.

Y una amplia gama de electrodos:

Electrodos segmentados (con segmentos de aluminio, de acero inoxidable y de titanio).

Electrodos con sección U ajustable para 350 W por metro.

Electrodos cerámicos.



## CONCLUSIONES



### CONCLUSIONES

La importancia del empaque multilaminado en México tiene que ir a la vanguardia desde películas tradicionales y sencillas como el polietileno hasta otras películas más complicadas como el Pet-Polifoil. El empaque multilaminado en México se consume en nuestro país, alrededor de 30 mil ton / año, la importación representa aproximadamente un 16.5% del total con 4100 Toneladas. Por lo tanto necesitamos y requerimos que más convertidores se vuelvan especialistas en este tipo de empaques y promuevan la exportación.

Los factores que debemos de tomar en cuenta con estas multilaminaciones es su uso adecuado y tratar de recuperarlos, pero en la actualidad resulta difícil debido a que estas películas se encuentran mezcladas con otros materiales poliefinicos, lo cual nos lleva a concluir que necesitamos avanzar en la degradación de estos materiales por medio de la ingeniería genética, ya que representa un futuro muy prometedor para este material de desecho. La industria de las multilaminaciones como el Pet- Polifoil es de gran importancia para la industria alimenticia, farmacéutica entre otras; por esta razón debemos de tener una visión de largo plazo en toda la cadena de consumo humano, por otra parte debemos solucionar los problemas actuales de recuperación e importación antes de que estos se vuelvan críticos a corto plazo.

Tal como se esperaba la calidad del Pet - Polifoil obtenido es mayor a la de las materias primas iniciales tal como se muestra en la tabla 1 y 2, en cuanto a los requerimientos técnicos de calidad a la resina lotryl que fue una innovación en proceso fueron bastante satisfactorios los resultados uno de ellos fue la disminución de servicios auxiliares y en ningún momento se vio afectado algún parámetro en el proceso, esto se puede verificar en la tabla 1 y la tabla 2 respectivamente, así como en las especificaciones de proceso en el apéndice D.

UNAM- FES ZARAGOZA



## CONCLUSIONES



### ANÁLISIS DE PRODUCTO TERMINADO COMPARATIVO

**A) Producto: Pet – Polifoil Pigmentado Blanco con resina Lotryl al 95% y LD 200 al 5% en el extruder 2.**

**Este producto ya esta cortado y terminado. TABLA 1**

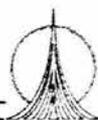
N	Ancho (mm)	Diámetro Interno (In)	Diámetro Externo (in)	Fuerza de Sello (g/in)	Fuerza de Laminación (g/in)	W.V.T.R. Lb/in <sup>2</sup> /dia	O.T.R. Lb/in <sup>2</sup> /dia	Peso Unitario g/m <sup>2</sup>
1	322	3	20	2500	Rompe	Menos de 1	1.	85
2	324	3	21	3000	Rompe	Menos de 1	Menos de 1	82
3	324	3	20	3200	Rompe	Menos de 1	Menos de 1	82
4	324	3	20	3900	1000	1	Menos de 1	83
5	323	3	21	2200	1200	1	Menos de 1	83

**B) Producto: Pet-Polifoil Transparente con resina EPB 10( 90% LD 200 y 10% Amp 1171) en el extruder 1 y 95% LD 200 y 5% PEMEX 17070 en el extruder 2.**

**Este producto ya esta cortado y terminado. TABLA 2.**

N	Ancho (mm)	Diámetro Interno (In)	Diámetro Externo (in)	Fuerza de Sello (g/in)	Fuerza de Laminación (g/in)	W.V.T.R. Lb/in <sup>2</sup> /dia	O.T.R. Lb/in <sup>2</sup> /dia	Peso Unitario g/m <sup>2</sup>
1	321	3	20	1500	1000	1.5	2	82
2	323	3	21	1000	1200	1.5	1.5	82
3	324	3	21	1000	1200	1.5	1.5	82
4	325	3	21	1500	1200	1.8	1.5	83
5	323	3	20	1800	1200	1	1.8	82

UNAM- FES ZARAGOZA



**BIBLIOGRAFIA**

**Libros :**

- 1) MASTERPAK, S.A. DE C.V. **Estructuras Flexibles Multilaminadas**, Inédito, 2001.B, Calvin, **Plastic films Packaging**, Exposición en CYDSA, U.S.A 1983.
- 2) Ramos de Valle Luis Francisco, **Extrusión de Plásticos**, México 1993. Limusa, 1993. Pp. 7-16, 20-187
- 3) Rodríguez Ceballos Maria Isabel, **Empaques plásticos flexibles**, México 1999. Centro Empresarial del Plástico, 1999. Pp. 1-50
- 4) Cruz Prado Eduardo, **Celoprint**, México, D.F, 1987. Cydsa, Pp. 40-65.
- 5) Morthon Jones, **Procesamiento de Plásticos**, México D.F. 1993, Limusa 1993. Pp. 4-86
- 6) Walter E. Driver, **Química y Tecnología de los Plásticos**, México D.F. 1991, Continental 1993. Pp. 2-110
- 7) Brown L. Theodore y otros, **Química la Ciencia central**, Quinta Edición, México D.F. 1982, Prentice Hall 1995. Pp. 150-240
- 8) Product Characteristics Manual, **Films for Label Applications**, Primera Edición, USA, Macedon, New York, Exxon Mobil, Diciembre 2001. Pp 3-46



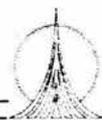
## BIBLIOGRAFIA



- 9) Perry, Robert H(1992), **Manual del Ingeniero Químico**, Tercera Edición, México D.F. McGraw Hill 1992. Pp 10-78
- 10) James, R. Welty y otros(1982), **Transferencia de Momento, Calor y Masa**, México D.F, Limusa 1982. Pp 10-50
- 11) Virgilio Beltrán y Eliezer Braun(1970), **Principios de Física**, Décimo Quinta Edición, México D.F, Trillas 1987. . Pp 309-325
- 12) Brown L.Theodore y otros(1977), **Química la Ciencia Central**, Quinta Edición, México D.F, Prentice Hall. 1982. Pp 402-420
- 13) P.W. Atkins(1983), **Fisicoquímica**, Segunda Edición, México D.F. Addison- Wesley. 1986. Pp 59-93
- 14) Gieck Kurt(1981), **Manual de Fórmulas Técnicas**, 18ª edición, México, D.F, 1986. Pp D10-D69
- 15) Levenspiel, Octave(1996), **Flujo de Fluidos e Intercambio de calor**, México D.F, Revererte, 1998. Pp 12-99
- 16) American Society For Testing and Materials, **Plásticos Estandarizados**, Philadelphia, Pennsylvania, 1991. Pp 72-212



## BIBLIOGRAFIA



### Revistas:

- 1) Rodríguez Tarango J. Antonio(2003), "Tendencia en el Diseño de Envases de Plásticos", **Mundo Plástico** (1,22), 1 de Mayo 2003, Pp 20-30.
- 2) PMMI(2003), " Polimeros ", **Mundo Plástico** (2,20), 2 de Julio 2003, Pp 18-25
- 3) Rodríguez Ventura Lugo(2003), " Inyección y Rotomoldeo " **Mundo Plástico** (3,28), 3 de Septiembre 2003, Pp 28-35.

### Internet:

- 1) Resinas para extrusiones y Multilaminaciones. (WWW). Febrero 03, 2003. Disponible en:  
[http://www.exxonmobilchemical.com/Public\\_Files/Polyethylene/Polyethylen/NorthAmerica/Data\\_Sheet\\_ExxonMobil\\_LDPE\\_LD\\_200.](http://www.exxonmobilchemical.com/Public_Files/Polyethylene/Polyethylen/NorthAmerica/Data_Sheet_ExxonMobil_LDPE_LD_200.)
- 2) Resinas para extrusiones y Multilaminaciones. (WWW). Febrero 04, 2003. Disponible en:  
<http://www.ampacet.com/PDS/11171>
- 3) Films for Label Applications. (WWW). Abril 07, 2003. Disponible en:  
<http://www.oppfilms@exxonmobil.com>
- 4) Maquinaria, **black clawson**, Extrusoras para película plana - Laminación, (WWW). Junio 24, 2003 Disponible en:  
[http://dzm.com.co/maquinaria\\_&\\_representaciones.htm](http://dzm.com.co/maquinaria_&_representaciones.htm)
- 5) Máquinas de extrusión y soplado de polímeros. (WWW). Junio 29, 2003 Disponible en:  
<http://www.extrusion.it>



## BIBLIOGRAFIA



6) Educación para la industria del plástico con cursos en: moldeo por inyección, **extrusión** y soplado, plásticos y proceso. (WWW). Julio 12, 2003 Disponible en:

<http://www.imecplast.com.mx/>

7) Revestimiento por Extrusión y Laminación. (WWW). Agosto 12, 2003 Disponible en:

<http://www.dow.com/poliolefins/la/span/process/revestimiento/extrusion.htm>

8) Tips Técnicos en el Tratamiento Corona para Películas Poliméricas. (WWW). Agosto 15, 2003 Disponible en:

<http://www.latinpack.net/word/Latinpack2002Resumenes.doc>

9) Producción y comercialización de película termoencogible de PVC por **extrusión** blanca, transparente. (WWW). Agosto 29, 2003 Disponible en:

<http://www.colombiapack.com/comerplast.htm>

10) Extrusión: Proceso productivo que consiste en fundir hasta dos tipos de resinas ... del total del mercado de empaque flexible las **laminaciones** y especialidades archivo PDF/Adobe Acrobat. Septiembre 02, 2003 Disponible en:

[www.madrimasd.org/culturaCientifica/ateneo/quiosco/prensa/dossiers/plasticos/plasticococm/mezclados.htm](http://www.madrimasd.org/culturaCientifica/ateneo/quiosco/prensa/dossiers/plasticos/plasticococm/mezclados.htm) - 9k

11) Multilaminaciones Polietilenos especiales y coextrusiones, así como Impresión en flexografía, rotograbado, (selección de color). (WWW). Septiembre 02, 2003 Disponible en:

<http://www.flexa.net/spes/productos.html> -

UNAM- FES ZARAGOZA



## BIBLIOGRAFIA

---



12) Recubrimientos y **laminaciones** de papel S.A de C.V; sutsa print de México S.A de C.V; de películas y equipamiento para manejo de películas en líneas de extrusión. (WWW). Septiembre 12, 2003 Disponible en:

**<http://www.tecnomaq.com.mx/directorio.html>**

13) Diseñada para laminaciones por adhesivo. Excelente comportamiento en **laminaciones** por **extrusión** o adhesivos. PDF/Adobe Acrobat. Septiembre 14, 2003 Disponible en:

**<http://www.biofilm.com.co/spanish/pdf/Bioalumin-HBEL.PDF>**

14) Laminaciones. Maquinaria de extrusión de película plana. Convertidores. (WWW). Septiembre 25, 2003 Disponible en:

**<http://www.anipac.com>**



# GLOSARIO DE TERMINOS



APÉNDICE A

**PRIMER:** Adhesivo que sirve como barrera o agente para laminar un sustrato.

**PRESION PRIMER:** Rodillo ahulado que ejerce presión sobre el sustrato y cilindro aplicador del primer al sustrato a laminarse.

**CILINDRO PRIMER:** Rodillo de acero inoxidable grabado a cierta profundidad y número de líneas.

**NIP-ROLL:** Rodillo ahulado que sirve para presionar el sustrato con el polietileno y el chill roll.

**CHILL ROLL:** Rodillo acelerado con acabado especial mate o brillante, y que funciona con enfriamiento interior para enfriar la estructura laminada.

**CUCHILLAS-REFINE:** Piezas circulares con filo especial y que sirven para refinar el polietileno de las orillas de una estructura.

**EXTRUSOR:** Equipo especial donde a base de temperaturas funde, homogeniza, transporta y dosifica la resina.

**RESINA:** Elemento químico derivado del petróleo y que al transformarlo se convierte en película.

**MALLA:** Filtro donde se libra de impureza la resina.

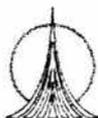
**ADAPTER:** Parte intermedia del equipo entre el extrusor y el dado. Donde se plastifica la resina.

**DADO:** Equipo con características especiales una vez plastificada la resina esta la convierte en una película uniforme.

**FIFE:** Equipo de alineamiento automático centra constantemente al sustrato.

**OXY-DRY:** Aplicador de polvo, se utiliza para darle mayor deslizamiento a ciertos productos.

**PIV:** Regulador de velocidad, su aplicación es sincronizar a las r.p.m cuerpos.



LDPE, polietileno de baja densidad

HDPE, polietileno de alta densidad.

PP, polipropileno.

PS, poliestireno cristal.

HIPS, poliestireno de alto impacto.

ABS; Acrilonitrilo-butadieno-estireno(terpolimero).

PVC, Cloruro de vinilo.

PPVC, Policloruro de vinilo.

VC-VdC, cloruro de vinilo-cloruro de vinilideno copolimero.

PC, policarbonato.

PU, poliuretano.

PA-6, poliamida, 6(Nylon 6).

EAA, estileno(ácido acrílico-copolimero).

EVA, etileno(vinil acetato-copolimero).

SBS, estireno-butadieno-estireno(copolimero de bloque).

CPE, polietileno clorado.

PVDC, Policloruro de polivideno.

EVOH, Etilen vinil alcohol.

AN, Acrilo nitrilo.



## APÉNDICE A



VLDPE, Polietileno de muy baja densidad.

LLDPE, Polietileno lineal de muy baja densidad.

EVA, Etilen vinil acetato.

OPP, Polipropileno orientado.

EMA, Etil Metil Acrilato

EBA, Etil Butil Acrilato

ABS, Polimero de acrilonitrilo-butadieno-estireno

ASTM, American Society of Testing and Materials. Sociedad Americana de Ensayos y Materiales

ELONGACION, Grado máximo de deformación antes de la fractura

PET, Tereftalato de polietileno

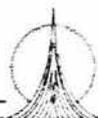
TERMOFIJO, Plástico que cura con calor o cristalizadores

TERMOPLASTICO, Plástico que reblandece al aumentar la temperatura

VANDER WALLS, Fuerzas o atracciones secundarias

WVTR, Transmisión de vapor de agua en condiciones de humedad relativa

OTR, Transmisión de oxígeno



# ARRANQUE DE MAQUINA



### ARRANQUE DE MAQUINA

- 1) La maquina deberá estar vestida con el poliéster, se debe de dar tensión al rollo montado en el desenbobinador principal, se oprimen los botones(spindle on y tensión on) de acuerdo al rollo donde esta montado ya sea (barra A o barra B) del tablero del desenbobinador principal, se deberá de encender el fife donde dice on.
- 2) Dar la tensión al rollo donde se va a embobinar, oprimiendo Spindle on y tensión on), de acuerdo a la barra que va a embobinar, del tablero del embobinador, también se mete el carro del rodillo jinete, oprimir los botones (IN) por debajo de la palabra(ROLL CHARGER CARRIAGE) del tablero del embobinador y (ON) para sacar el carro.
- 3) Arrancar la Black Clawson oprimiendo de la consola los botones (ON LINE) de bajo de la palabra (LINE CONTROLS) después oprima (CROWLS)hasta que deje de parpadear inmediatamente la maquina iniciara a velocidad minima(20 mts/min). Simultáneamente se cierran los rodillos nip roll oprimiendo (CLOSE) debajo de la palabra (N 1 LAMINATOR NIP) Y (N 2 LAMINATOR NIP) y en dado caso de abrirlos oprima (OPEN).
- 4) Encender las bombas de agua que hacen circular el agua fria de los dos rodillos chill roll y el nip roll, oprimiendo los botones (START).
- 5) Meter el extruder 1 a la línea oprimiendo (CARRIAGE IN) y/o (EXTRUDER CARRIAGE INN) del tablero de la consola principal y para sacar el extruder de línea oprima (CARRIAGE OUT) y/o (EXTRUDER CARRIAGE OUT), para el extruder 2 se siguen las mismas instrucciones.



## APÉNDICE B



- 6) Encender el horno, oprimiendo (N 1 DRYER FANS) y moviendo el selector a (RUN/IGNITATE) para encender el horno 2 se siguen los mismos pasos.
  
- 7) Se enciende el tratador, de la consola principal oprimiendo (N 1 TREATER EXHAUST FAN-ON) Y (N 1 TREATER PURGE FAN-START), después de la caja del tratador se encuentra el selector para colocar en posición los electrodos del tratador y jalar el siguiente botón localizado al lado de la caja del tratador 1 (PUSH TO STOP-PULL TO START). Es importante checar el micro que se encuentra debajo de la tina de primer de la sección 1 que este liberado. Para encender el tratador 2, que se localiza en el desenbobinador auxiliar 2, oprimir de la consola principal (START) y colocar en posición los electrodos moviendo el selector a (CERRADO) y jalar el botón (PUSH TO STOP-PULL TO STAR) del tablero del tratador 2 ubicado en la plataforma. Para encender el tratador 3, siga los mismos pasos.
  
- 8) Se programa los sistemas de datos de medición (MEASUREX), los controles se ubican en la consola principal, del teclado del sistema measurex oprimiendo (CAMBIO DE PRODUCTO), enseguida (ENTRADA/SALIDA ALFA), meter el código de acuerdo al PET- POLIFOIL, este código se localiza a un lado de la pantalla del measurex y se vuelve a oprimir (ENTRADA/SALIDA ALFA) y con el cursor se cambian los datos de acuerdo a la especificación de proceso de un PET\_POLIFOIL Oprimiendo (CAMBIO DE PRODUCTO), cambiar con el cursor a la opción de (PERFIL OBJ CT 1) ahí se mete el peso del poliéster (17.45 gr/m<sup>2</sup>), aplicación de polietileno EPB10 (12 gr/m<sup>2</sup>) en el extruder A y aplicación de la formulación LD 200 95%, Lotryl 20MA08 (24 gr/m<sup>2</sup>) en el extruder B y aluminio.



Después se baja el cursor a (PERFIL OBJ 2) y se mete la suma total del peso de la estructura de acuerdo a la especificación de proceso del pet polifoil. Al final se oprime (FIN DE CODIGO) y (CARGA DE DATOS /INICIO DE CODIGO).

- 9) Ya ajustado la aplicación de polietileno de cada extruder en el caso del y cuando este a 20 metros / minuto oprimir (RATIO) de cada extruder y que lea el escáner oprimiendo del teclado del measurex (MEDICION) y esperar a que mande información de la aplicación del polietileno a cada extruder, una vez que llego esta información se ajusta con el selector (SET RATIO) y en caso de faltar aplicación mover el selector hacia (INC) y esto incrementara las revoluciones del extruder las veces necesarias hasta lo programado y en caso de demasiada aplicación de polietileno se mueve el selector hacia (DEC) que disminuirá las revoluciones del extruder, las veces necesarias hasta lo programado, después de cualquiera de los dos ajustes que se presenten oprimir (GAUGE) que significa que va a controlar la aplicación de polietileno.
  
- 10) El dado es una pieza importante para el proceso por lo tanto se calibrara al 40%, se aflojaran todos los tornillos del dado y en el teclado del measurex, oprimiendo (CONTROL PERFIL) y bajando el cursor hasta (OPCION RL/CTL PROFIL) y se oprime la clave (-1) y el calentamiento de todos los tornillos se programa al 40% y se tendrá que apretar todos los tornillos del dado.
  
- 11) Se programara el perfil del PET- POLIFOIL, en el tablero del measurex oprimiendo (CONTROL DE PERFIL) bajando el cursor hasta (OPCION RL/CTL PROFIL) y meter la clave 4 y aparecerá una línea recta del PET- POLIFOIL este será el objetivo del perfil.



## APÉNDICE B



- 12) Los perfiles se ajustaran con los dados y con la maquina trabajando, la pantalla del sistema de medición measurex ilustrara en la pantalla cual es el perfil de cada dado, en caso del perfil que este disperejo, si esta por arriba del objetivo se apretara el tornillo según el que indique la pantalla, y si el perfil esta por debajo del objetivo aflojar el tornillo, hasta ver que el rollo que se esta laminando no tenga descalibres(bandas y/o flojo) se deberá acercar lo mas posible al perfil objetivo.
- 13) Al cumplir las aplicaciones de polietileno, perfil, aplicaciones de primer, tratamiento, aluminio y hppe centrada y además que la película laminada no presente arrugas se sacara una muestra para ver las posibles desviaciones y posibles ajustes.

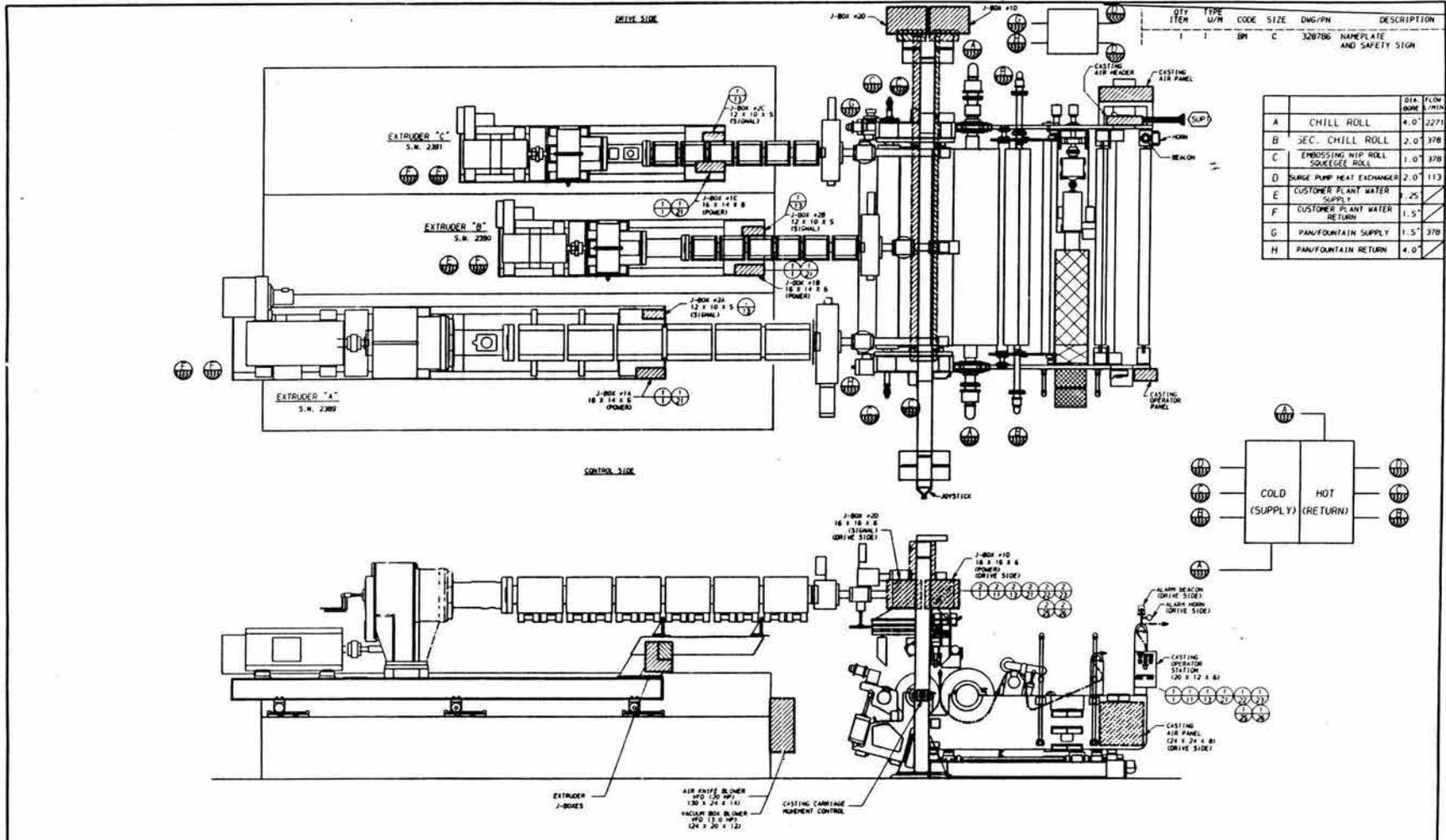


---

# DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO

22  
11  
11  
58  
8.5  
11  
17  
22

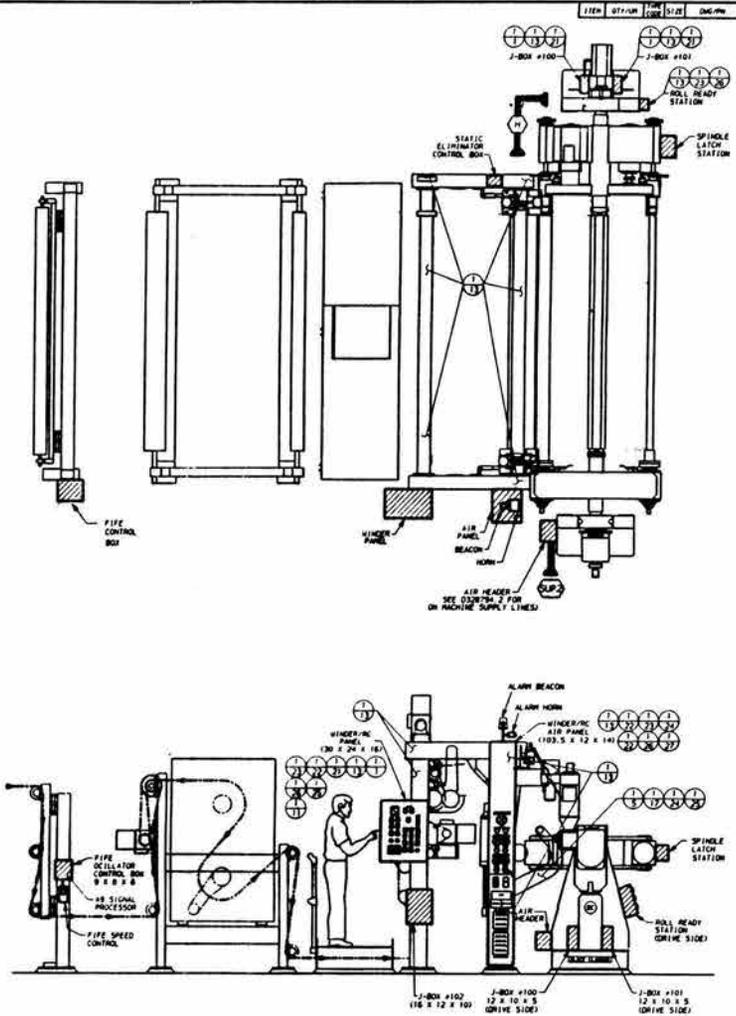
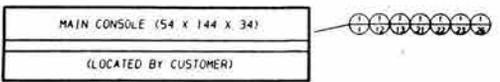
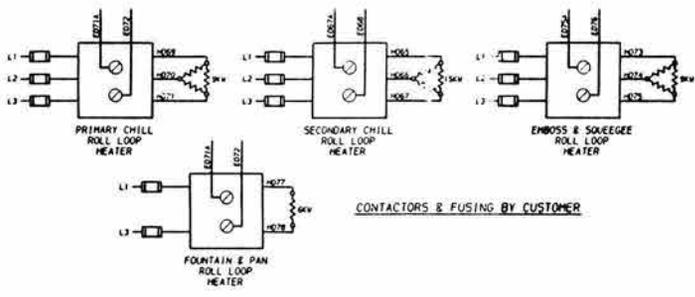
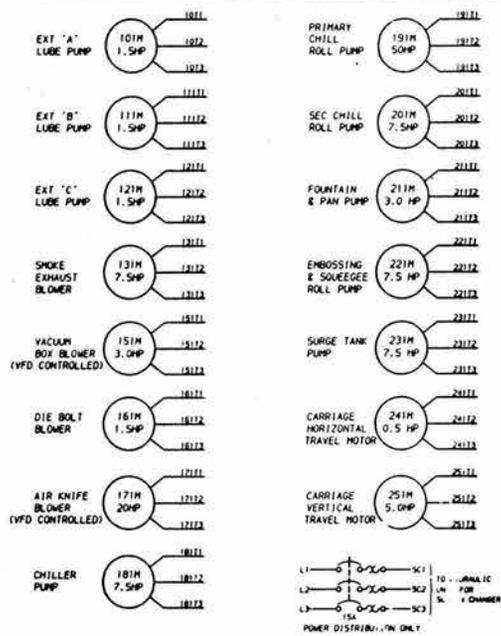
22  
11  
11  
58  
8.5  
11  
17  
22



REV	DESCRIPTION	BY	DATE
A	ADDED WATER SYS.	MAK	2/4/92

STD. ENG.	CHKD BY	APP'D BY	ENR	25 JAN 1992	THE BLACK CLAWSON COMPANY
REV. ENG.	MAK	2/4	2/4	2/4 JAN 1992	
USED ON	SCALE	SCALE	SCALE	SCALE	SERVICE INTERCONNECTION DIAGRAM
0328785					A





REV.	DESCRIPTION	BY	DATE
001	ISSUED FOR CONSTRUCTION	...	...
002	...	...	...
003	...	...	...
004	...	...	...
005	...	...	...
006	...	...	...
007	...	...	...
008	...	...	...
009	...	...	...
010	...	...	...
011	...	...	...
012	...	...	...
013	...	...	...
014	...	...	...
015	...	...	...
016	...	...	...
017	...	...	...
018	...	...	...
019	...	...	...
020	...	...	...
021	...	...	...
022	...	...	...
023	...	...	...
024	...	...	...
025	...	...	...
026	...	...	...
027	...	...	...
028	...	...	...
029	...	...	...
030	...	...	...
031	...	...	...
032	...	...	...
033	...	...	...
034	...	...	...
035	...	...	...
036	...	...	...
037	...	...	...
038	...	...	...
039	...	...	...
040	...	...	...
041	...	...	...
042	...	...	...
043	...	...	...
044	...	...	...
045	...	...	...
046	...	...	...
047	...	...	...
048	...	...	...
049	...	...	...
050	...	...	...
051	...	...	...
052	...	...	...
053	...	...	...
054	...	...	...
055	...	...	...
056	...	...	...
057	...	...	...
058	...	...	...
059	...	...	...
060	...	...	...
061	...	...	...
062	...	...	...
063	...	...	...
064	...	...	...
065	...	...	...
066	...	...	...
067	...	...	...
068	...	...	...
069	...	...	...
070	...	...	...
071	...	...	...
072	...	...	...
073	...	...	...
074	...	...	...
075	...	...	...
076	...	...	...
077	...	...	...
078	...	...	...
079	...	...	...
080	...	...	...
081	...	...	...
082	...	...	...
083	...	...	...
084	...	...	...
085	...	...	...
086	...	...	...
087	...	...	...
088	...	...	...
089	...	...	...
090	...	...	...
091	...	...	...
092	...	...	...
093	...	...	...
094	...	...	...
095	...	...	...
096	...	...	...
097	...	...	...
098	...	...	...
099	...	...	...
100	...	...	...

THE BLACK CLAWSON COMPANY  
 SERVICE INTERCONNECTION DIAGRAM  
 0328785



LTB No.	J-BOX #1C	DRIVE CABINET	#	#14 AWG TYPE	DATE, #14C	CONTROL WIRING (INTERLOCKS)
U1	J-BOX #100	DRIVE CABINET	4	#10 AWG	D15W, D15W, D90W, D91W	SPINDLE MOTOR ARMATURES
U2	J-BOX #100	DRIVE CABINET	10	#12 AWG	D22W, D22W, D97W, D98W, D17W, D18W, D19W, D19W, D97W, D97W	SPINDLE FIELDS/SPINDLE BLOWERS
U3	J-BOX #101	DRIVE CABINET	2	#14 AWG	D25W, D100W	SPINDLE MOTOR THERMOGUARDS
U4	J-BOX #101	DRIVE CABINET	2	2-COND SH	D15W, D75W, SH, D161W, D75W, SH	SPINDLE TACHS (BELOW #8737 OR EQUIVALENT)
U5	J-BOX #101	WINDER PANEL	15	#14 AWG	31203, 31204, 31205, 31206, 31003, 31010, 31107, 31305, 31306, 31307, 31308, D4CC, D4CC, C500, C112	220VAC CONTROL WIRING
U6	J-BOX #101	WINDER PANEL	7	#14 AWG	3304, 3503, 3504, 3505, 3506, DC300, DC400	24VDC CONTROL WIRING
U7	WINDER PANEL	DRIVE CABINET	3	2-COND SH	D48W, D75W, SH, D48W, D75W, SH, D15W, D75W, SH	DRIVE DEVICES (METERS) (BELOW #8737 OR EQUIVALENT)
U8	WINDER PANEL	DRIVE CABINET	6	3-COND SH	D52W, D48W, D75W, SH, D5372, D48W, D75W, SH, D15W, D15W, D75W, SH, D15W, D15W, D75W, SH, .....SH	DRIVE DEVICES (POTS) (BELOW #8735 OR EQUIVALENT)

LTB NO. FROM TO SIZE ENG. NO. DESCRIPTION

CHART NOTES:

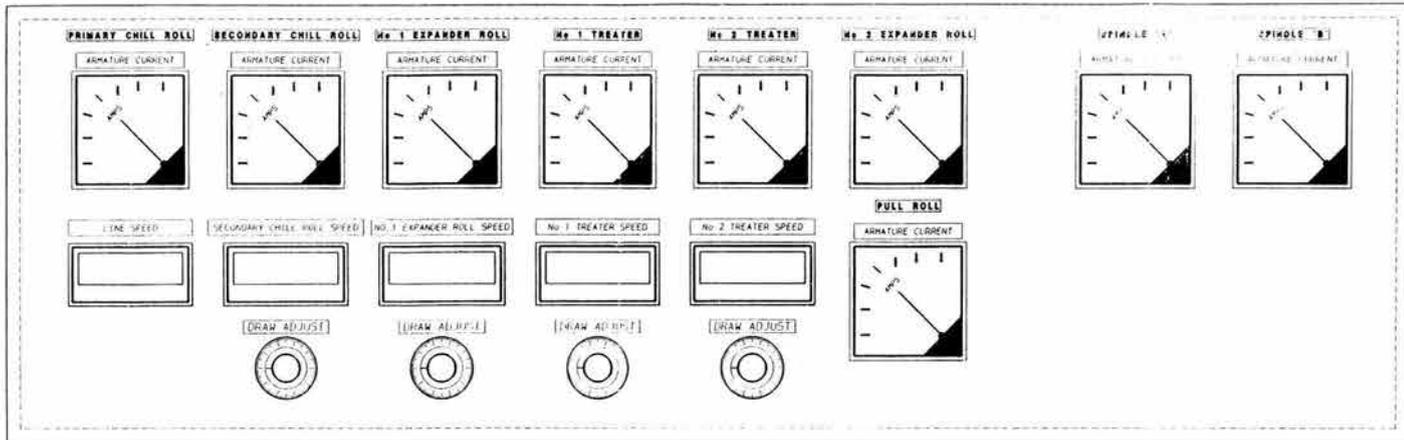
- SEE SHEET #1 OF SCHEMATIC FOR GENERAL WIRING NOTES.
- TERMINATION OF WIRES IS TO BE AT TERMINAL BLOCKS OR AT DEVICE TERMINALS ONLY. SPLICING IS UNACCEPTABLE EXCEPT IN JUNCTION BOXES AT DEVICES WHICH ARE PROVIDED WITH SHORT LEADS.
- SEPERATE CONDUIT RUNS ARE TO BE MADE FOR SIGNAL, POWER, AND CONTROL WIRING.
- 15% SPARES TO BE PROVIDED IN EACH CONDUIT RUN. (MINIMUM OF 3)
- REFERENCE DC DRIVE DWGS FOR INTERCONNECTION OF DRIVE MOTORS, TRANSDUCERS, TACHOMETERS, ETC.
- NCC IS SUPPLIED BY INSTALLATION CONTRACTOR.
- USE THERMOCOUPLE EXTENSION WIRE ONLY FOR I/C WIRING.
- PRESSURE TRANSDUCER CABLE SUPPLIED BY BLACK CLAWSON.
- SEE FROM/TO DEVICE DRAWINGS FOR TERMINATION DETAILS.
- INTENDED FOR INTERCONNECTION ONLY, NOT FOR CONDUIT LAYOUT DETAILS.
- ALL WIRING ON THIS DRAWING BY INSTALLATION CONTRACTOR.

REFERENCE DRAWINGS	D07192	D07192	D07192
SCHEMATIC WIRING DIAGRAM	D26794	D26794	D26794
AIR CONTROL DIAGRAM	D26796	D26796	D26796
MACHINE CONNECTION DIAGRAM	D26779	D26798	D26792
CONSOLE ASSEMBLY DRAWING	D26792		D26796

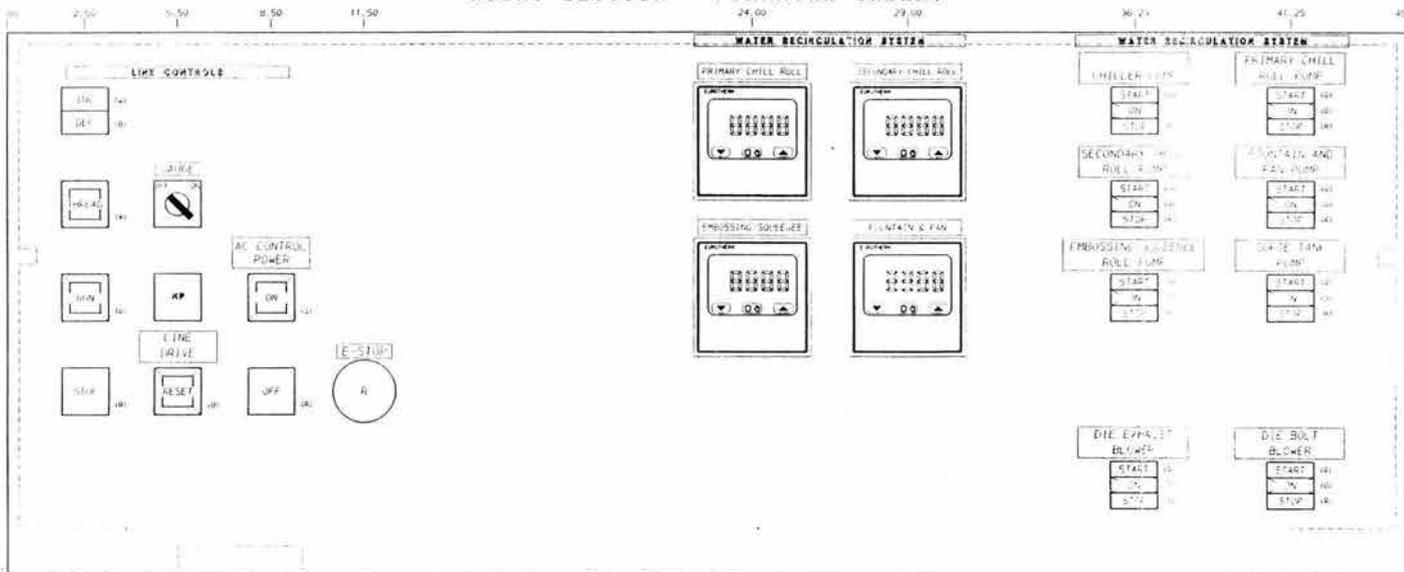
REV. 1	DESCRIPTION	BY	DATE	STD DWG	DATE BY	ENR	22 JAN 1982	THE BLACK CLAWSON COMPANY
REV. 2				REV. DWG	APPRO. BY	JEW	4 FEB 1982	
					ISSUED BY	JEW	4 FEB 1982	
					SCALE			
					PROJECT NO.			
					DRAWING NO.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			
					CHKD BY			
					DATE			
					PROJECT			
					DRAWING			
					NO.			
					REV.			
					DATE			
					BY			

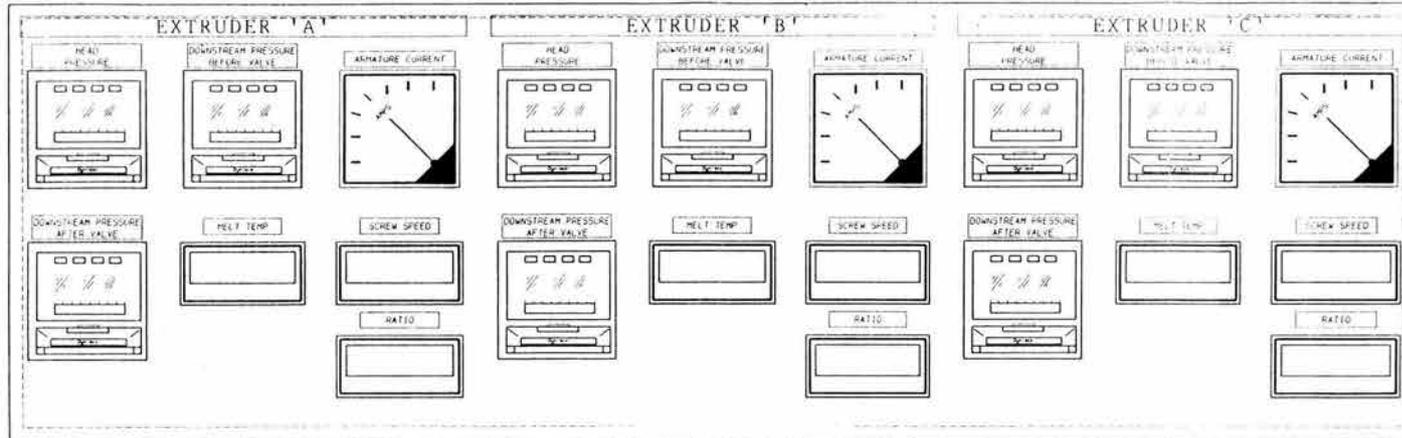




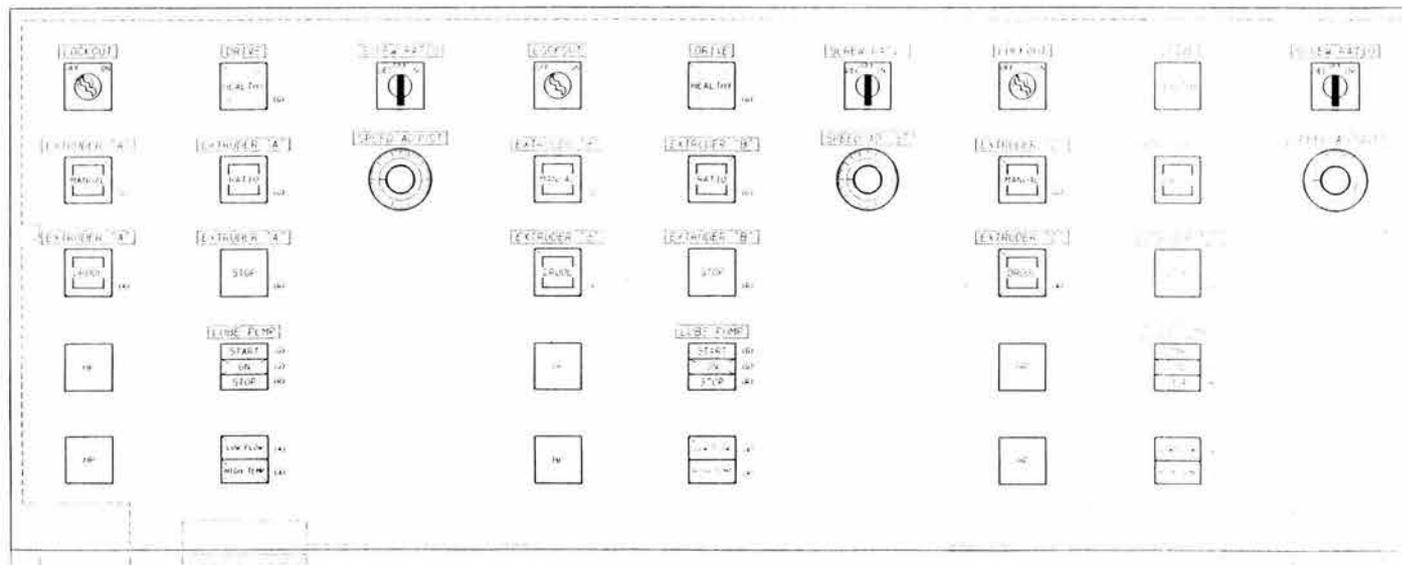


RIGHT SECTION - PINNACLE INSERT





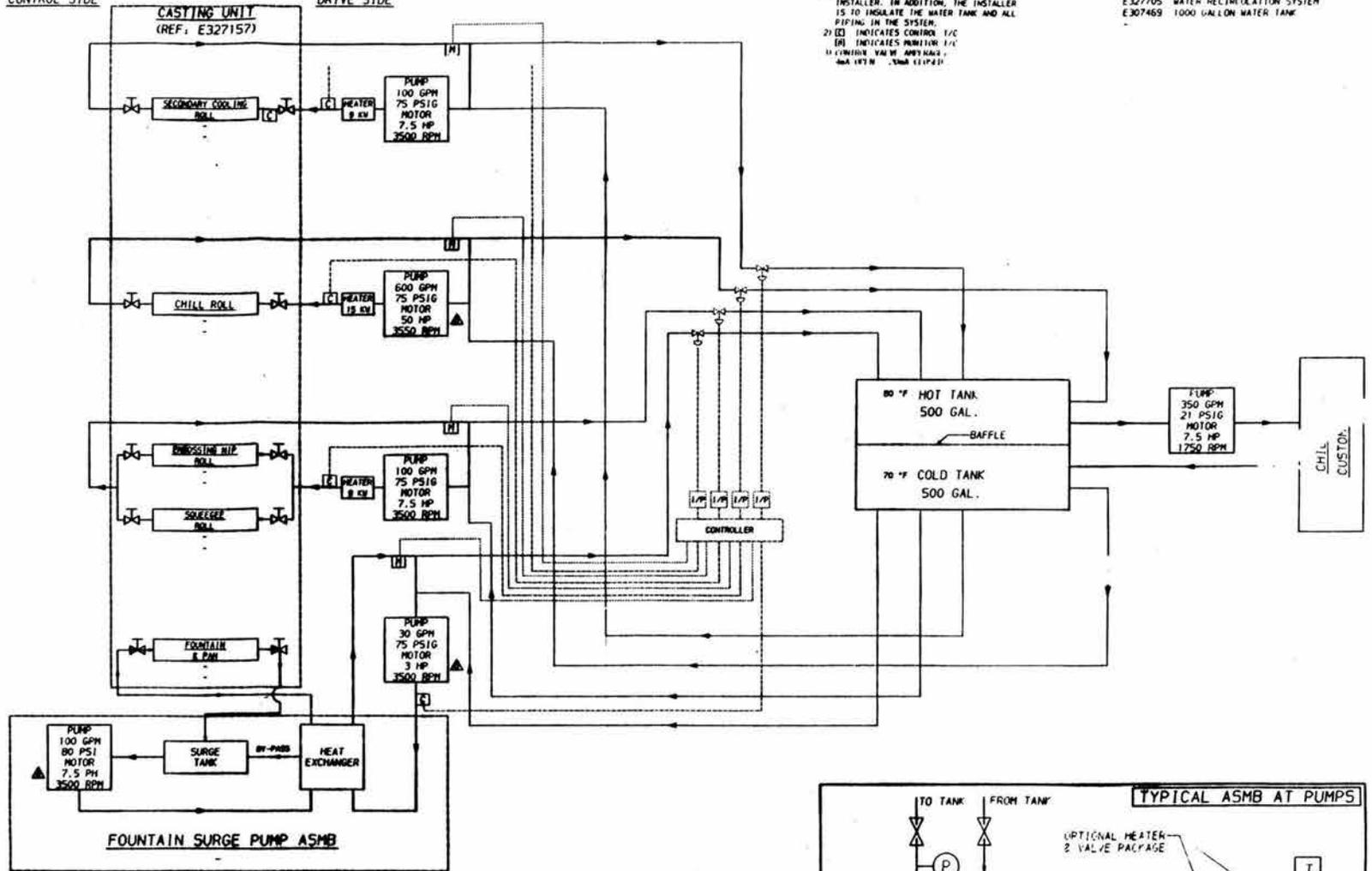
CENTER SECTION PINNACLE INSERT





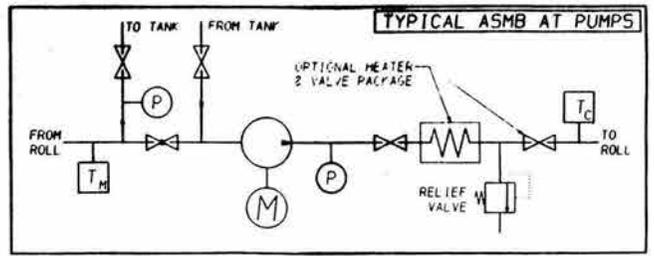
CONTROL SIDE

DRIVE SIDE

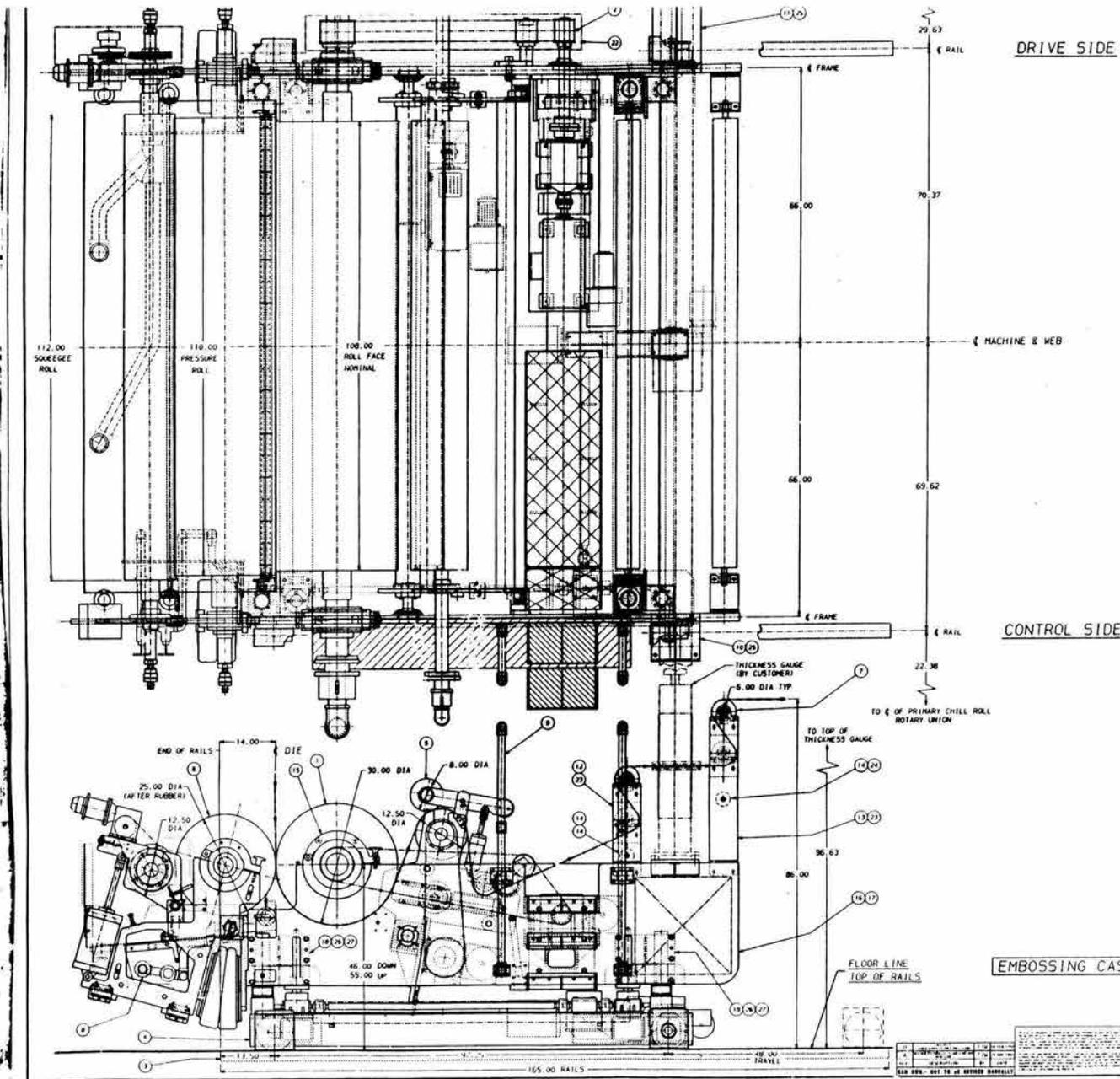


NOTES:  
 1) ALL INTERCONNECTION PIPING IS BY THE INSTALLER. IN ADDITION, THE INSTALLER IS TO INSULATE THE WATER TANK AND ALL PIPING IN THE SYSTEM.  
 2) [C] INDICATES CONTROL 1/2  
 [M] INDICATES POSITION 1/2  
 3) CONTROL VALVE ARE 1/2" DIA 1/2" NPT 111141

REFERENCE DRAWINGS:  
 E327705 WATER RECIRCULATION SYSTEM  
 E307469 1000 GALLON WATER TANK



PROJECT NO. E327705 SHEET NO. 1 DATE 11/14/81 DRAWN BY J. J. ... CHECKED BY ... APPROVED BY ...	THE SAGE CLARSON COMPANY 1000 GALLON WATER TANK WATER RECIRCULATION SYSTEM E327705
--	---

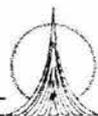


2	1	SM	E	AUT156	DRIVE ASMB - PRIMARY CHILL ROLL
3	1	SM	E	AUT158	ROLL ASMB
4	1	SM	E	AUT159	SM - ASMB
5	1	SM	E	AUT161	SECONDARY CHILL ROLL ASMB
6	1	SM	E	AUT162	PREHEAT ROLL ASMB
7	1	SM	E	AUT163	CHILL ROLL ASMB
8	1	SM	E	AUT164	FRAMING & PAW ASMB
9	1	SM	E	AUT165	STOP ASMB
10	1	SM	E	AUT166	SUPPORT - C.R.
11	1	SM	E	AUT167	SUPPORT - C.R.
12	2	SM	E	AUT168	AIR PLATE - FRONT
13	2	SM	E	AUT169	AIR PLATE - REAR
14	2	SM	E	AUT170	UNDOLETS
15	2	SM	E	AUT171	SM RETAINER ASMB
16	1	SM	E	AUT172	FRAME - C.R.
17	1	SM	E	AUT173	FRAME - C.R.
18	1	SM	E	AUT174	CHASSIS - FRONT
19	1	SM	E	AUT175	CHASSIS - REAR
20	1	SM	E	PA2	AIR RAFFLE ASMB
21	1	SM	E	SM	HEATING ROLL STOP FOR SM ASMB
22	1	SM	E	AUT177	SAFETY AND CHASSIS DRIVE ASMB
23	1	SM	E	AUT178	SMCS - 1.00 DIA. X 1.00 L.S.
24	1	SM	E	AUT179	SMCS - 1.00 DIA. X 1.00 L.S.
25	1	SM	E	AUT180	SMCS - 1.00 DIA. X 1.00 L.S.
26	1	SM	E	AUT181	SMCS - 1.00 DIA. X 1.00 L.S.
27	1	SM	E	AUT182	SMCS - 1.00 DIA. X 1.00 L.S.

EMBOSSING CASTING ASMB

SCALE: 1/8" = 1" (SEE DRAWING NOTES)  
DATE: 10/15/78  
DRAWN: J. J. ...  
CHECKED: ...

REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHKD
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				



---

# ESPECS DE PROCESO



## APÉNDICE D



### ESPECIFICACION DEL PROCESO DE LAMINACION POR EXTRUSION

### INV. Y DESARROLLO

PRODUCTO: **EXP ECONOPACK LC** No. de PC: **9 4 8 4** FECHA: **17-jul-03**  
 ESTRUCTURA: **PETPOLIFOIL** SUSTITUYE: **NOV 12 '01** LAMINACIÓN: **TANDEM**

INSTRUCCIONES DE PROCESO: MONTANDO EL PET IMPRESO XP-131 EN EL DESEMBOBINADOR PRINCIPAL, APLICAR PRIMER SW-083 Y LAMINARLO AL LADO MATE DEL ALUMINIO 9 MICRAS CON 12g DE MEZCLA EPB 10 EN LA SEGUNDA ESTACION, POR EL LADO BRILLANTE DEL ALUMINIO. DAR TRATAMIENTO DEL ALUMINIO CON EQUIPO TRATAMIENTO CORONA Y APLICAR 24GR DE LA MEZCLA DE LD 200 95% LOTRYL 20MA08 5% USANDO CHILL ROLL MATE

NOMBRE	CALIBRE ( mils de plg)			RENDIMIENTO ( g/m <sup>2</sup> )			
	UNIDAD	MIN.	STD	MAX	MIN	STD	MAX.
MATERIAL BASE: PET LK9484	mils		0,500		16,50	17,45	18,40
PRIMER: ML-3656 AGU			0,030		0,76	0,80	1,00
RESINA 1 <sup>a</sup> : EPB 10			0,507		11,40	12,00	12,60
MATERIAL BARRERA: ALUMINIO 9 μ ORMET DE 965mm			0,000		23,18	24,40	25,62
PRIMER: N A			0,000		0,00	0,00	0,00
RESINA 2 <sup>a</sup> : MEZCLA LD200 95%, LOTRYL 20MA08 5%			1,000		22,08	24,00	25,92
PELICULA ADICIONAL: N A			0,000		0,00	0,00	0,00
TOTAL			2,037		73,92	78,65	83,54

NOTA: OBSERVAR QUE LA VARIACION PERMITIDA EN EL TOTAL ES MAS ESTRICTA QUE POR COMPONENTE

DIMENSIONES	3	UNIDAD	MIN	STD	MAX
ANCHO DE BOBINA		mm.	323	324	325
REPETICION		mm.	262	263	264
MEDIDA EN REPETICIONES		mm.	786	789	792
COF CARA IMPRESA / METAL		AD	####	NA	####
COF CARA NO IMPRESA / METAL	AD	0,21	0,25	0,29	

\* NO SE ACEPTA VARIACIONES EN MEDIDA DE REPETICION ENTRE UNA Y OTRA

FUERZA DE LAMINACION	UNIDADES	MINIMO	STD	MAXIMO
MATERIAL BASE / RESINA 1 <sup>a</sup>	g/pulg	270	300	
RESINA 1 <sup>a</sup> / MATERIAL BARRERA		270	300	
MATERIAL BARRERA / RESINA 2 <sup>a</sup>		270	300	
RESINA 2 <sup>a</sup> /PELICULA ADICIONAL			NA	

\* LOS VALORES DE FUERZA DE LAMINACION SON MINIMOS ACEPTABLES.

FUERZA DE SELLO	CONDICIONES			UNIDADES:KG/PULG		
	°C	lb/pulg	seg	MINIMO	STD	MAXIMO
TERMOSELLO / TERMOSELLO	180	40	1	1350	1500	

**APARIENCIA** EL ROLLO DEBE ESTAR LIBRE DE DEFECTOS CC\* BANDAS DE DESCALIBRE, TUNELEO TELESCOPEADO, REPINTE EN AREA IMPRESA

ELABORO/Fecha  
Invest. y Desarr.

REVISO / Fecha  
Resp. de Celda Lam.

APROBO / Fecha  
Gerencia Tecnica

F-ID-006

UNAM- FES ZARAGOZA



## ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

### CHEK LIST DE CONDICIONES DE PROCESO Y CALIDAD DE BC I



PRODUCTO: ECONOPAK LC  
 TIPO DE ESTRUCTURA: PET- POLIQUIL  
 # DE ORDEN: \_\_\_\_\_  
 ELABORO: DAVID SANABRIA  
 NOMBRE DEL SUP. DE LA MAQ.: \_\_\_\_\_

( CENTER LINING )

FECHA Y HORA: 17-07-03

No. PC: 9484

TURNO: 2°

# DE ROLLO Q' CORRE: \_\_\_\_\_

OP. DE MAQUINA: \_\_\_\_\_

PAG. 1 / 2

NOTA: MARQUE EL RECUADRO SI, CUANDO ESTE DENTRO DE PARAMETRO; MARQUE EL RECUADRO NO CUANDO NO CUMPLA, MARQUE CON LA LEYENDA " N/A " CUANDO EL PUNTO NO APLIQUE.

CUMPLE	ESPECIFICACION	UNIDAD	REAL	CUMPLE	
				SI	NO
1	VELOCIDAD DE MAQUINA 1200 a 2000	MTS./ MIN.	140	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>EXTRUDER # 1</b>					
2	PRESION DEL EXTRUDER 1 1920 a 2000	PSI	1920	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	VELOCIDAD DEL EXTRUDER 1 50-60	RPM	86.77	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	ALTURA DEL CHILL ROLL 1 8-9	VERTICAL	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	NIVEL DE TRATADOR 1 1000 a 1000	KLOWATTS	NA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	TENSION DE ENTRADA DESBOBINADOR 4 a 5	BAR	1.21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	TEMPERATURA DE HORNO 1 100 a 100	* C	80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	MELT TEMPERATURE 1 310 a 320	* C	316	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	PRESION DEL NIP ROLL 1 lado operador 0.5 a 2	BAR	0.8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	lado maquina 0.5 a 2	BAR	0.7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CON MAT. COLGADO DE 5 a Max. 2 bar					
11	PRESION DE GOMA ESTACION # 1 1.5 a 4	BAR	1.9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	VISCOSIDAD DEL " AGU " 10	Seg.	21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	PRESION CUCHILLA DE PRIMER 0.5 a 0.5	BAR	1.9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>EXTRUDER # 2</b>					
14	PRESION DEL EXTRUDER 2 2910 a 3000	PSI	2910	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	VELOCIDAD DEL EXTRUDER 2 90-100	RPM	90	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	ALTURA DEL CHILL ROLL 2 8	VERTICAL	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	NIVEL DEL TRATADOR 2 7	KLOWATTS	7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	TENSION DE SALIDA EMBOBINADOR 10 a 10	BAR	20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	TEMPERATURA DE HORNO 2 100 a 100	* C	75	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	MELT TEMPERATURE 2 310 a 320	* C	310	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	PRESION DEL NIP ROLL 2 lado operador 0.5 a 2	BAR	0.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	lado maquina 0.5 a 2	BAR	0.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CON MAT. COLGADO DE 5 a Max. 2 bar					
23	NIVEL DEL TRATADOR 3 1000 a 1000	KLOWATTS	NA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	PRESION DE GOMA ESTACION # 2 1.5 a 4	BAR	NA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	PRESION CUCHILLA DE PRIMER 0.5 a 0.5	BAR	NA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CUMPLE	UNIDAD	REAL	CUMPLE	
			SI	NO
<b>CONDICIONES EXTRUDER 1 Y DADO 1</b>				
RESINA DE LA ESPEC				
26	BARRIL 1	277	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
27	BARRIL 2	291	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
28	BARRIL 3	330	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
29	BARRIL 4	330	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
30	BARRIL 5	280	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
31	BARRIL 6	330	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
32	HEAD FLANGE	325	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
33	SCREEN CHANGER	301	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
34	FLANGE	325	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
35	VALVE ADAPTER	220	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
36	DOWN'S POUT ZONE	320	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
37	DADO 1	320	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
38	DADO 2	320	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
39	DADO 3	320	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
40	DADO 4	320	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
41	DADO 5	320	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
<b>CONDICIONES EXTRUDER 2 Y DADO 2</b>				
TIPO DE RESINA: <input type="checkbox"/> "S" <input type="checkbox"/> "L"				
42	BARRIL 1	130	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
43	BARRIL 2	170	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
44	BARRIL 3	210	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
45	BARRIL 4	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
46	BARRIL 5	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
47	BARRIL 6	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
48	HEAD FLANGE	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
49	SCREEN CHANGER	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
50	FLANGE	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
51	VALVE ADAPTER	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
52	FEED PIPE 1	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
53	FEED PIPE 2	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
54	DOWN'S POUT ZONE	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
55	DADO 1	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
56	DADO 2	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
57	DADO 3	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
58	DADO 4	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>
59	DADO 5	310	325 +/- 10 °C	<input type="checkbox"/>

**DESVIACION ENCONTRADA**

Se encontro que en la resina Lotry en el extruder 2, todas las temperaturas estuvieron mas bajas de lo esperado, esto es debido aque el punto de fusion de la resina lotry es mas bajo y en mezzia con la resina LD 200 al 95% hace mas eficiente la linea.

**ACCION PARA CORREGIR**

Ninguna de la linea se volvio mas eficiente.

**OBSERVACIONES:**

El Pet-Polifol no tiene alguna alteracion en cuanto a calidad

NOTA: " S " = A RESINA EPB 10  
 " L " = MEZCLA LOTRYL Y LD200, EXTRUDER # 2  
 LOS PARAMETROS DE LA TEMPERATURA " L " TAMBIEN APLICAN PARA LA EPB 10

F - CP - 002



## APÉNDICE D



A continuación se describe las nomenclaturas utilizadas en la figura IV-7 y en los planos del proceso.

N.V = Válvula de aguja, estas se encuentran cerradas durante la operación, pero previene una medida fuera de operación causada por el aumento de operación.

M.V = Válvulas auxiliares de mantenimiento, durante la operación normal están abiertas, y se cierran para dar mantenimiento a la operación.

TI-01	= Indicador de temperatura
PI-01	= Indicador de presión
CR-01	= ChilL roll
EA-01	= Intercambiador de calor
GA-01/02	= Bombas desplazamiento positivo
FA-01	= Tanque de almacenamiento de agua
EC-01	= Enfriador
—————	= Línea de operación principal
—————	= Línea de operación secundaria
-----	= Línea Neumática

**FACTORES DE CONVERSION**

Debido a que en la materia prima utilizada esta en ciertas unidades y para el análisis de nuestro extrusor es en el sistema ingles, se muestran a continuación equivalencias de algunas unidades de densidad frecuentemente usadas y unidades relacionadas.

DENSIDAD	Kg / m <sup>3</sup>	Unidad Final
1 Lb/ ft <sup>3</sup>	16.0185	Kg/m <sup>3</sup>
1 Lb/gal	1.1983*10 <sup>-2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
1 g/l = 1 Kg /m <sup>3</sup>	1*10 <sup>-3</sup>	Kg/l
<b>MASA</b>		
	<b>Kilogramo(Kg)</b>	
1 tonelada(t)	1.0*10 <sup>3</sup>	Kg
1 Lb	4.5359*10 <sup>-01</sup>	Kg
1 Kg	2.2046	Lb
<b>FUERZA</b>		
	<b>Newton(N)</b>	
1 Dina	1.0*10 <sup>-5</sup>	N
1 Dina	1.02*10 <sup>-06</sup>	Kilopondio(Kp)
Kilopondio(Kp)	9.81	N
<b>VOLUMEN</b>		
	<b>Metro Cubico(m<sup>3</sup>)</b>	
1 cf = 1 ft <sup>3</sup>	2.8317*10 <sup>-02</sup>	m <sup>3</sup>
1 gal	3.7850*10 <sup>-03</sup>	m <sup>3</sup>
1 bbl = 42 gal	1.5876*10 <sup>-01</sup>	m <sup>3</sup>

$$T_K = 273.15 + T_C = (5/9)T_R$$

$$T_R = 459.67 + T_F = 1.8(T_K)$$

$$T_C = (5/9)(T_F - 32) = T_K - 273.15$$

$$T_F = 1.8(T_C) + 32 = T_R - 459.67$$

T<sub>K</sub>, T<sub>R</sub>, T<sub>C</sub>, Y T<sub>F</sub> Son los valores de las temperaturas en las escalas Kelvin, Rankin, Celsius y Fahrenheit, respectivamente.