

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE QUIMICA.

“Evaluación de Alternativas de Fabricación de Partes Plásticas
para Elevadores de Puertas Eléctricas”

TESIS

que para obtener el Título de

INGENIERO QUIMICO

Presenta

Martín Rey Morán

México D.F.

Año 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado Asignado :

Presidente: Profesor Eduardo Rojo y de Regil.
Vocal: Profesor Carlos Guzmán de las Casas.
Secretario: Profesor Eduardo Flores Palomino.
1er Suplente: Profesor Federico Carlos Hernandez Chavarria.
2do Suplente: Profesora Yolanda Castillo Vallejo.

Sitio en donde se desarrollò el Tema :

Universidad Nacional Autònoma de México.
Facultad de Química,
Ciudad Universitaria,
México DF.,
México.

Asesor del Tema :

Sustentante :

I.Q. Eduardo Rojo y de Regil.

Martín Rey Morán

“Yo adivino el parpadeo de las luces que a lo lejos,
van marcando mi retorno...
Son las mismas que alumbraron, con sus pálidos reflejos,
hondas horas de dolor.
Y aunque no quise el regreso, siempre se vuelve al primer amor.
La quieta calle donde el eco dijo:
Tuya es su vida, tuyo es su querer,
bajo el burlón mirar de las estrellas que con indiferencia hoy me ven volver..”

“Volver,
con la frente marchita,
las nieves del tiempo platearon mi sien...
Sentir... que es un soplo la vida,
que veinte años no es nada,
que febril la mirada errante en la sombras te busca y te nombra.

Vivir,
con el alma aferrada a un dulce recuerdo,
que lloro otra vez..”

“Tengo miedo del encuentro con el pasado que vuelve a enfrentarse con mi vida...
Tengo miedo de las noches que, pobladas de recuerdos, encadenan mi soñar...
Pero el viajero que huye tarde o temprano detiene su andar...
Y aunque el olvido, que todo destruye, haya matado mi vieja ilusión,
guardo escondida una esperanza humilde
que es toda la fortuna de mi corazón.”

“Vivir...
con el alma aferrada a un dulce recuerdo
que lloro otra vez...”

Alfredo Lepera a través de Carlos Gardel, 1935.

Este trabajo es un muy humilde homenaje al inmenso cariño, la enorme comprensión y el incondicional apoyo con los que mi amantísima y amadísima esposa Maryse Angélica me ha regalado por tantos años. Sin su amable aliento e infinita paciencia no me habría sido posible realizar ésta tesis que también dedico a mis padres Olga Elena y Benito, así como a mis hermanos Rodrigo y Mónica como reconocimiento de su ayuda y cariño.

Asimismo y para siempre, agradezco profunda y sinceramente la muy valiosa ayuda de Don Eduardo Rojo y de Regil, sin cuyo desinteresado apoyo y aliento éste trabajo no podría haber sido llevado a buen fin.

Febrero 2006.

Evaluación de Alternativas de Fabricación de Partes Plásticas para Elevadores de Puertas Eléctricas.

Indice.

Introducción	1
Capítulo I - Antecedentes	3
1. Breve Historia de las Puertas de Cochera y sus Mecanismos de Operación.	
2. Los Mecanismos Modernos de Operación de Puertas de Cochera.	
3. Aplicaciones Plásticas en Mecanismos Electromecánicos de Puertas de Cochera.	
4. Selección de Partes Plásticas para Formulación de Alternativas de Fabricación.	
5. Procuración Actual de Cubiertas Plásticas para Transmisiones de Tornillo sin Fin.	
Capítulo II - Descripción Técnica de los Materiales de Fabricación y sus Alternativas.	26
1. Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.	
2. Criterios de Selección de Materiales Alternativos.	
3. Polietileno de Muy Alto Peso Molecular.	
4. Nylon 66.	
Capítulo III - Descripción Técnica del Proceso de Fabricación.	54
1. Moldeo por Extrusión Pistón de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.	
2. Moldeo por Extrusión Plástica Convencional.	
Capítulo IV - Formulación y Análisis de las Alternativas de Fabricación Propuestas.	64
1. Moldeo por Extrusión convencional de Polietileno de Muy Alto Peso Molecular.	
2. Moldeo por Extrusión convencional de Nylon 66.	
Capítulo V - Evaluación Económica de Alternativas de Fabricación.	78
Conclusiones y Recomendaciones.	86
Bibliografía.	87

Introducción .

En el mundo de las aplicaciones plásticas, la correcta selección del polímero o polímeros usados es la base fundamental del éxito técnico y económico de las mismas ya que no sólo determina las características particulares de los artículos producidos sino que también influye enormemente en el tipo y las condiciones de los procesos de transformación disponibles, así como en las características de los moldes, herramientas y otros equipos requeridos. Por lo tanto, la selección de tipos y grados de resina específicos para dichas aplicaciones debe de realizarse en función de la rigurosa satisfacción de los requerimientos físicos, ecológicos, regulatorios y económicos revelados mediante el estudio completo, profundo y escrupuloso de cada una de ellas. Asimismo, el proceso de selección que da origen a dichas especificaciones debe de considerar no sólo las principales tendencias evolutivas de los mercados y campos tecnológicos de los que las aplicaciones forman parte sino también la continua evolución de los materiales plásticos así seleccionados.

Sin embargo y en numerosas ocasiones, la selección de una o más resinas para una aplicación dada es afectada por fenómenos totalmente diferentes a los criterios antes mencionados. La ignorancia de usuarios finales y transformadores acerca de las características y circunstancias de los diferentes tipos y grados de resinas, así como su deficiente participación en las fases iniciales de diseño, han permitido la proliferación de prácticas mercadotécnicas y comerciales que resultan ser perjudiciales no sólo para el desarrollo de una aplicación en particular sino para todo un sector en general. La especificación definitiva de tipo, marca y grado comercial de resina plástica para cualquier aplicación mediante la referencia única de la misma en los planos mecánicos de partes y piezas, es una estrategia de ventas muy usada por productores y vendedores de aquéllas pues reduce las oportunidades de competidores de ofrecer alternativas más eficientes o económicas. Esto es muy dañino en casos de flagrante sobre-especificación, obsolescencia tecnológica, desaparición comercial e incluso cambios substanciales en la especificación comercial emitida por el fabricante de dichos productos. Adicionalmente, la especificación de resinas plásticas en función de parámetros tradicionales de la industria como son densidad, tipo de proceso de manufactura, índice de fluidez o viscosidad y no en función de las características de desempeño mecánico o tribológico de las partes moldeadas o extruidas, lleva en muchas ocasiones a comparaciones disparatadas al seleccionar y desarrollar materiales alternativos de fabricación para cada aplicación particular.

Este trabajo constituye un ejercicio de evaluación económica de alternativas de fabricación para partes plásticas actualmente empleadas en la construcción de elevadores electromecánicos para puertas de cochera. Estos aparatos representan un mercado mundial cercano a los mil ochocientos millones de dólares norteamericanos anuales y la aplicación de resinas plásticas en componentes de estos aparatos ha facilitado la continua optimización de su desempeño e incrementado la aceptación de los mismos mediante la integración de lámparas de iluminación, controles de operación remota y diversos elementos estéticos. Asimismo, la incorporación de éstas y otras partes plásticas a su

construcción ha permitido la diferenciación mercadotécnica de diversas marcas y modelos que buscan el mejor nicho de mercado para su explotación comercial.

El objetivo de este trabajo es el de confirmar que se pueden integrar alternativas de fabricación de dichas partes dotadas de un sentido económico tal que permita recomendar su posterior aplicación a la producción de las partes seleccionadas para tal fin. La selección de dichas partes se ha realizado después de investigar y estudiar la evolución de mecanismos electromecánicos de operación de puertas de cochera hasta llegar a los diseños que se comercializan en estos momentos. De ésta manera, ha sido posible detallar las estructuras de los mismos y escoger piezas plásticas de relativa importancia para las que se pueden formular alternativas de fabricación convenientes. Las cubiertas plásticas ó “liners” de los rieles centrales de elevadores de puertas que contienen transmisiones de tornillo resultaron ser las partes así seleccionadas. La información necesaria para determinar los antecedentes y las condiciones actuales de la fabricación de dichos perfiles plásticos ha sido recabada de fuentes escritas y electrónicas ó gracias a la colaboración de personal de la industria y a la investigación de campo realizada por el autor. Este trabajo incluye copias de los dibujos mecánicos originales de las partes, así como información de primera mano acerca de los materiales, procesos, costos y logística involucrados en la procuración de las mismas.

Sólo de la misma manera, fue posible reunir la información necesaria y suficiente para integrar las alternativas de fabricación incluidas en éste trabajo. El hecho de que los dos fabricantes más importantes de elevadores electromecánicos hayan especificado el uso de polietileno de ultra alto peso molecular (PE UHMW) en la producción de las partes seleccionadas, ha permitido establecer alternativas que incluyen distintos materiales de fabricación así como diferentes procesos de transformación. Si bien el PE UHMW posee excelentes características mecánicas y de resistencia al desgaste, ésta resina presenta limitaciones de transformación que permiten considerar el uso de otras que sean capaces de cubrir los requerimientos de diseño de las partes seleccionadas y ofrezcan un balance más conveniente entre propiedades y procesabilidad.

Para tal efecto, éste trabajo incluye una detallada comparación entre las características de algunos materiales comúnmente moldeados por extrusión plástica convencional – el método de transformación de plásticos más eficiente y económico – y aquéllas correspondientes al PE UHMW. La evaluación de éstas comparaciones ha permitido seleccionar resinas que extruídas convencionalmente representan alternativas muy competitivas para la extrusión por pistón de PE UHMW que actualmente se usa para fabricar dichas cubiertas plásticas.

La posterior evaluación económica de todas las opciones de fabricación discutidas considera los efectos de otros factores sobre la competitividad comparativa de las mismas. Entre éstos se incluyen aquéllos debidos a las características organizacionales de diferentes unidades productivas y a la localización geográfica de las mismas. Los resultados de dicha evaluación permitirán emitir conclusiones válidas para soportar las recomendaciones contenidas al final de éste trabajo.

Capítulo I .

Antecedentes.

1. Breve Historia de las Puertas para Cochera y sus Mecanismos de Operación.

El primer elevador electromecánico para puertas de cochera fué desarrollado en 1926 por C.G. Johnson en los Estados Unidos de América (1). Dicho aparato tenía como objeto el facilitar la operación de las puertas de cochera de apertura y cierre vertical diseñadas por él mismo en 1921 para la Compañía Overhead Door Corporation. A pesar de que ya para éstas fechas las cocheras privadas abundaban en casas recién construidas por y para las clases pudientes norteamericanas y europeas, éste par de invenciones ha tenido un efecto considerable y duradero en el estilo de vida occidental contemporáneo desde entonces. Las puertas de cochera de acción vertical y sus mecanismos de apertura y cierre han facilitado la integración de la cochera a la casa habitación en un sólo edificio de manera práctica, estética y segura, haciendo de las mismas elementos básicos y populares del diseño arquitectónico en las regiones económicamente más desarrolladas del mundo.

Si bien las cocheras privadas eran ya bastante comunes en 1912 (2), la evolución de las mismas había y ha seguido desde entonces el camino establecido por la vinculación del automóvil a la vida moderna y viceversa. Los primeros automóviles se guardaban en edificios donde también se protegían otros elementos de transporte como carruajes y aún los mismos caballos que acabaron desplazando. Sin embargo, inconvenientes obvios llevaron a la construcción de las primeras cocheras o garages de uso público que se parecían bastante a los estacionamientos modernos de un sólo piso. Al incrementarse el número de automóviles y la necesidad de almacenar éstos, se comenzaron a construir grandes garages públicos y privados que llegaban a cobrar la pequeña fortuna de US\$15 o \$20 mensuales por un lugar de estacionamiento en un sitio cerrado, limpio, seguro y provisto de calefacción (3). Este sistema funcionó bastante bien en E.U.A hasta 1910 cuando el número de automóviles y su siempre creciente uso excedió la capacidad de los garages cercanos a zonas habitacionales, de oficinas o comercios. Así, los automovilistas se vieron pronto forzados a buscar formas más convenientes de guardar y proteger sus automóviles de manera que pudieran mantenerlos lo más cercano posible para su uso inmediato.

Las primeras cocheras domésticas se modelaron en base a los edificios que antiguamente habían almacenado carruajes tirados por caballos. Eran estructuras simples, construidas con ladrillo, madera o manpostería, estaban separadas de la casa y tenían una puerta para proteger a los automóviles del medio ambiente. Estas primeras puertas funcionaban como las puertas de los viejos establos. Eran puertas de dos hojas unidas al edificio por visagras y tensores de alambre que se abrían hacia afuera de la cochera. Obviamente, tales puertas estaban sujetas a considerable desgaste y siempre expuestas al efecto del medio ambiente por lo que era frecuente que acabaran por desvencijarse al deteriorarse sus visagras o deformarse algunos tornillos y pernos. Asimismo, la presencia de lodo o nieve dificultaba el movimiento de la puerta que

(1) MARPLES, G. "The History of Garage Doors - The Search for the perfect Carriage House", Home & Garden, Doubleday, 2004.

(2) OBOLENSKI, K.. "Re-inventing the Place We Park" The Taunton Press, NY 2002.

(3) BIGOTT, J. "From Cottage to Bungalow; Houses and the Working Class in Metropolitan Chicago, 1869 -1929" Chicago University Press, Chicago, IL 2001.

muchas veces resultaba estorbosa o requería de mucho espacio para su operación.

A partir de 1916 comenzaron a aparecer mejores diseños para puertas de cochera al utilizarse puertas deslizables sobre rieles metálicos. Mucho más versátiles y sólidas, éstas podían deslizarse a lo ancho del frente del garage pero presentaban el problema de que éste tenía que ser por lo menos dos veces lo ancho de la misma puerta. Este dilema se resolvió al cortarse la puerta en segmentos verticales deslizables que se doblaban sobre sí mismos. Unidos por visagras, los segmentos podían doblarse contra una esquina del edificio al deslizarse a lo ancho del mismo, haciendo que la cochera no tuviera que ser mucho más ancha que la misma puerta y no se requiriera demasiado espacio para su operación. Sin embargo, este diseño no estaba libre de problemas y su mantenimiento era relativamente costoso. El continuo uso de la puerta propiciaba la deformación y desalineamiento de sus segmentos por lo que con el paso del tiempo, éstas oponían cada vez mayor resistencia al deslizamiento sobre los rieles y cada vez eran más ruidosas. Así que cuando American Overhead Corporation ofreció la primera puerta que prometía minimizar la deformación de componentes, el ruido y los costos de mantenimiento, la aceptación de la misma fue rápida y generalizada. El novedoso diseño de C.G. Johnson (4) permitía que la puerta se abriera verticalmente para ser guardada por arriba del automóvil en un plano paralelo al techo de la cochera. La puerta estaba construida por secciones horizontales de madera que se articulaban entre sí mediante visagras y costillas metálicas verticales. La presencia de éstas en cada sección de la puerta les permitía mantenerse alineadas horizontal y verticalmente entre sí al viajar ascendente o descendientemente a lo largo de un par de rieles metálicos colocados en sus extremos laterales. Por otro lado, la mayor inconveniencia que el nuevo diseño presentaba era el esfuerzo personal necesario para levantar y empujar o bajar y jalar la puerta de la cochera hasta y desde su posición horizontal de descanso.

A pesar de sus limitaciones, las puertas de cochera de acción vertical fueron un éxito inmediato, convirtiéndose desde entonces en la opción favorita de arquitectos, constructores y usuarios finales. Su aceptación no sólo facilitó la flexibilización del diseño de las cocheras, sino que aseguró la incorporación de las mismas como elemento básico en el diseño y construcción de casas – habitación. A partir de entonces, la cochera se convirtió en una extensión de aquélla, haciendo más eficiente su distribución geométrica y atenuando la creciente escasez de espacio disponible para construcción de casas. Asimismo, el nuevo papel asignado a las cocheras comenzó a demandar la evolución de puertas hacia nuevos diseños, tamaños, materiales de construcción y accesorios con objeto de cubrir requerimientos siempre cambiantes respecto a operación, durabilidad, seguridad y estética. Si bien la enorme mayoría de las puertas de cochera habían sido fabricadas hasta entonces de madera y hierro, los principales fabricantes comenzaron a usar acero galvanizado alrededor de 1970 con objeto de eliminar los efectos de la exposición de aquéllos materiales al medio ambiente y reducir el peso de las mismas. La colocación de una capa intermedia de poliestireno espumado entre las superficies metálicas externa e interna de la puerta resolvió el problema de la alta conductividad térmica del metal si es que la puerta requería de aislamiento. A partir de 1976, algunos fabricantes ensayaron el uso de fibra de vidrio y compuestos plásticos incluyendo resinas con alto contenido de fibra de madera sin mucho éxito comercial que referir. Finalmente y con el objetivo principal de igualar o mejorar la apariencia de las puertas de la cochera, varios fabricantes han desarrollado recientemente laminados de aluminio con recubrimiento de PVC ó cubiertas de madera que se acoplan a las puertas metálicas ya existentes.

(4) HALL, E. "The Genie Original Garage Door Opener" The Genie Company, OH, 2001.

Hoy en día se ofrecen comercialmente cientos de diseños de puertas de cochera que combinan diferentes materiales y han incorporado paulatinamente numerosos accesorios para hacer su adquisición y uso más convenientes y atractivos. Así, el constante avance tecnológico combinado con la creciente popularidad de la puerta de cochera de acción vertical llevó al desarrollo del elevador electromecánico en 1926. La nueva invención de C.G. Johnson pretendía substituir los primitivos elevadores de poleas con los que algunas puertas habían sido operadas desde 1923 y fué muy bien recibida. Las puertas de cochera ya para entonces disponibles llegaban a pesar hasta 240 kg y el esfuerzo y riesgo involucrado en su operación eran considerables. Utilizando un motor eléctrico de hasta $\frac{3}{4}$ HP que accionaba un juego de engranes, poleas y cadenas, la puerta de la cochera era jalada por tensores de acero a lo largo de un par de rieles laterales hasta su posición de apertura máxima. El mismo motor operando en sentido inverso y ayudado por la gravedad cerraba la puerta. El tránsito de la puerta se mantenía estable debido a la acción de resortes de torsión alineados perpendicularmente a los rieles laterales y cables tensores a lo largo de la puerta. Este diseño fue perfeccionándose y refinándose con el tiempo hasta llegar a lo que hoy se conoce como elevador de cadena que por mucho tiempo fué el único y muy ruidoso mecanismo de operación de puertas de cochera disponible y el principal motivo de quejas del consumidor final sobre las mismas. No fué hasta 1958 en que Alliance Manufacturing Company desarrolló y comercializó el primer elevador electromecánico de tornillo sin fin que permitía operar la puerta de cochera a mayores velocidades generando menos ruido y quejas. La posterior substitución de la cadena de transmisión por bandas elastoméricas y la aplicación de cubiertas plásticas han permitido reducir el ruido a los niveles actuales, incrementado la aceptación doméstica del producto no obstante representar incrementos en el costo del mismo.

Sin embargo, el desarrollo de un riel central a través del cual la cadena metálica, el tornillo sin fin o la banda elastomérica podían accionar la puerta puede considerarse como el avance tecnológico más trascendente para los elevadores electromecánicos. Este riel permitió a partir de 1971 simplificar drásticamente el diseño del producto y sus variantes para definirlos tal y como las conocemos actualmente, facilitando su fabricación y reduciendo su costo. A partir de entonces, el número de fabricantes creció de manera importante y la instalación de éstos pudo ser realizada de manera más rápida y económica por redes de distribuidores autorizados en Norteamérica, Europa y Japón. Desde entonces, el elevador electromecánico para puertas de cochera pasó de ser considerado un lujo para convertirse en una necesidad para muchas personas. El volumen de fabricación e instalación llegó a ser tal que en 1973 Underwriters Laboratories certificó el primer elevador electromecánico de puerta de cochera para emitir la regla de normalización de producto UL201 (5).

El desarrollo de la tecnología de control remoto puede considerarse como el segundo evento más importante en la evolución de los mecanismos electromecánicos de operación de puertas para cochera. El primer control remoto para éste fin fué desarrollado por RF Monolithics en 1983 (6) usando un resonador superficial de ondas acústicas (SWA por sus siglas en inglés). Esta tecnología ya se había usado desde la Segunda Guerra Mundial para detonar explosivos a larga distancia y el sistema consistía simplemente de un transmisor portátil y un receptor colocado en el elevador. La onda acústica se transmitía a una frecuencia predeterminada para que el receptor percibiera un cambio en la amplitud de la misma y entonces accionara el mecanismo para abrir o cerrar la cochera dependiendo de la posición de la puerta. A partir de entonces y por no tener

(5) UNDERWRITERS LABORATORIES INC. "Milestones in Underwriters Laboratories History" UL Publications Services, IL 60062, 2005.

(6) RF MONOLITHICS, INC. "A Brief History of RF Monolithics" RFM, Texas 75244, USA, 2000.

que usar interruptores eléctricos, la gente podía abrir o cerrar la puerta de la cochera desde afuera de la misma, a distancia y sin esfuerzo alguno. Es más, la gente ya no tenía que desocupar sus automóviles hasta estar seguros y protegidos de los elementos dentro del garage. Sí todavía existía alguna razón para no instalar un mecanismo de apertura electromecánico, ésta pareció desaparecer con la llegada del control remoto. Más de 3 millones de elevadores electromecánicos se vendieron en los EUA en 2003 y se calcula que existen 40 millones de ellos operando hoy día en ese país. Según las últimas estimaciones, el mercado mundial equivale a 6.5 millones de unidades anuales y representa un crecimiento anual del 6% (7).

A pesar de ser una aplicación novedosa de una tecnología madura, los problemas no tardaron en presentarse al popularizarse los elevadores con control remoto. En primera instancia y a pesar de ser una fuente de baja potencia y de corto alcance, la operación del control remoto interfería con las ondas de radio o televisión. Además, ya que muchos de ellos operaban en la misma frecuencia, un sólo control abría muchas cocheras en más de una calle. El primer problema fué resuelto rápidamente por los fabricantes al mantener la frecuencia típica de transmisión dentro del rango de 300 a 400 MHz. El segundo no ha sido definitivamente resuelto a la fecha a pesar de que se han integrado codificadores a los controles transmisores y decodificadores a los receptores para que trabajen conjuntamente mediante un código generado aleatoriamente cada vez que se opera la puerta. Como se supone que la señal codificada que se genera en cada ocasión es diferente a la de cualquier otro control remoto, es poco probable que una puerta sea accionada por otro que no posea el control originalmente codificado para ésta. Sin embargo, ésto no es imposible. Por ejemplo, comunidades cercanas a bases de la fuerza aérea de los E.U.A han registrado puertas de cochera accionadas al capturar transmisiones en frecuencias militares.

Por otro lado, la operación de puertas de cochera accionadas por mecanismos electromecánicos genera riesgos importante para niños, ancianos y aficionados a reparaciones domésticas. Veinte mil individuos son tratados en salas de emergencia por lesiones debidas a mecanismos ó puertas de garage cada año según agencias del gobierno de los E.U.A. Las lesiones más comunes se deben a dedos atrapados en las uniones o ranuras de las puertas pero más de mil individuos son lesionados anualmente por resortes, tensores o mecanismos electromecánicos. Se ha reportado que por lo menos 85 niños sufrieron daño cerebral permanente o muerte en accidentes de puertas de cochera entre 1970 y 1982. La mayoría de tales percances se presentaron cuando los niños tuvieron acceso a controles remotos y quedaron atrapados bajo puertas que no tenían mecanismos de reversa (8). En Canadá y durante 2002, el 24% de las lesiones debidas a puertas de cochera involucraron personas atrapadas o golpeadas al cerrarse aquéllas (9). Por todo lo anterior y desde 1983, varios gobiernos han emitido leyes que obligan a los fabricantes de puertas de cochera a dotarlas de sensores fotoeléctricos que previenen o detienen su operación al encontrar obstáculos en su trayectoria de cerrado. Asimismo y a partir de 1993, las leyes de los Estados Unidos de América exigen que los mismos mecanismos automáticos de reversa también sean activados por sensores de presión colocados en los bordes inferiores de las puertas ya que éstas llegan a ejercer presiones de hasta 130 psi que son suficientes para romper brazos o piernas de niños pequeños. Afortunadamente, los reguladores de los principales países consumidores han seguido el ejemplo norteamericano por lo que el número de accidentes debidos al uso de puertas de cochera accionadas por elevadores electromecánicos se ha reducido sustancialmente.

(7) CONSTANZA, J. ; Entrevista Personal, The Chamberlain Group, Tucson, AZ, Septiembre 3, 2005.

(8) U.S. CONSUMER SAFETY COMMISSION, "Non Reversing Garage Door Openers; a Hazard", CPSC Document # 523, U.S. Government, Washington, D.C. 1993.

(9) CHIRP. "Domestic Injuries Research & Report", CHIRP Publications, Ottawa, Canada, 2004

2. Los Mecanismos Modernos para la Operación de Puertas de Cochera.

Los elevadores electromecánicos para puerta de cochera contemporáneos se pueden agrupar en dos clases diferentes. La clase más reciente agrupa aquéllos que no poseen un riel central y que carecen de cadenas, tornillos o bandas como medio de tracción. El primero de éstos diseños fue desarrollado por Wayne Dalton Corporation en 2002 bajo la marca “i – drive” y como se puede ver en las figuras 1a y 2a (11), se instala sobre el eje horizontal que contendría los resortes de torsión de las puertas de cochera de acción vertical tradicionales. La carcasa metálica del elevador se afianza mediante tornillos contra la pared por encima de la puerta de la cochera y contiene un motor de corriente alterna de ½ HP que acciona el eje a manera de flecha para levantar o bajar la puerta a lo largo de rieles paralelos al techo mediante un sistema de cables y poleas. Este equipo se diseñó originalmente para puertas pequeñas o de poco peso pues su aceptación commercial depende fundamentalmente del torque generado por un motor eléctrico que debe ser pequeño, ligero y silencioso. Además, su instalación se ha limitado a puertas que no incluyeran los resortes de torsión usados por otras clases de elevadores ya que la acción de éstos representa una carga adicional para dicho motor. Por ésta razón, Wayne Dalton Corp. introdujo en 2003 un segundo diseño que se muestra en las figuras 2a y 2b e incluye un motor más potente, poleas reforzadas y algunas partes y accesorios para modificar rieles, resortes y tensores pre-existentes pero siguen careciendo de fuentes de iluminación y mecanismos de relevo para la operación manual de la puerta en caso de una emergencia. Las modificaciones mencionadas permiten la sencilla instalación de éste diseño en puertas nuevas para cocheras grandes y hacen posible la substitución de elevadores dañados ú obsoletos de la clase que sí contienen un riel central. Esta segunda clase de elevadores utilizan dicho riel como parte integrante del mecanismo de transmisión de potencia y representan la enorme mayoría en uso, no obstante que resulten ser menos silenciosos, más complicados y en ocasiones hasta más costosos.

A pesar de emplear diversos medios de tracción ó transmisión, los elevadores de riel central por lo general pueden operar una misma puerta dado que sus diseños comparten numerosas piezas o partes comunes y requieren básicamente de la misma instalación para su operación. Como se puede ver en la figura 3, éstos elevadores presentan seis componentes principales; unidad motora, riel central, transmisión, patín, sensores y los correspondientes soportes que generalmente son fabricados en acero galvanizado. La gran mayoría de las unidades motoras son carcasas de base metálica y cubierta plástica que contienen un motor eléctrico, algunos elementos de la transmisión y del control remoto, así como interruptores que controlan cuando y donde se detiene la puerta al abrir o cerrar. Las cubiertas son moldeadas en resinas termoplásticas translúcidas que permiten la iluminación de la cochera mediante lámparas de mediana intensidad montadas en la base metálica, así como la operación de sensores de movimiento que pueden encender éstas automáticamente. El motor de la unidad puede ser de corriente alterna o directa y su potencia varía generalmente entre 1/3 y ½ HP con algunas excepciones de hasta ¾ HP. La transmisión conecta al motor con el carro ó patín para deslizarlo a lo largo del riel central y abrir o cerrar la puerta. El riel central que generalmente se fabrica en aluminio también soporta los cableados que conectan los sensores fotoeléctricos o de presión hasta sus actuadores o interruptores colocados dentro de la unidad central. El patín se puede desconectar de la transmisión para operar la puerta manualmente en caso de interrupción del suministro eléctrico, descompostura o matenimiento.

(10) WAYNE DALTON CORP.. “I - Drive Garage Door Opener Marketing Brochure”, WDC, Ohio 2003.



Figuras 1 a y b : Elevador electromecánico I-drive Torque Master (Wayne Dalton Corp. “I- Drive Garage Door Opener” WDC, Ohio, 2003)



Figuras 2 a y b : Elevador electromecánico I-drive para puertas con resortes de torsión. (Wayne Dalton Corp. I-Drive Garage Door Opener, Ohio, 2003).

Como ya se ha mencionado, existen tres tipos básicos de transmisiones para los elevadores que incluyen riel central. Las figuras 4, 5, y 6 muestran detalladamente las transmisiones de cadena, de tornillo sin fin y de banda así como sus componentes más importantes (11,12).

La transmisión de cadena es el diseño más antiguo de todos. La cadena es accionada por el motor mediante un juego de engranes dentados, haciendo posible el desplazamiento del patín que jala o empuja la puerta para abrirla o cerrarla. La simpleza del diseño y el reducido número de piezas hace que éste requiera menor mantenimiento que otros y generalmente resulta el más económico. Sin embargo y a pesar de que se han desarrollado modelos que disminuyen el ruido producido, la rapidez de operación de éstas transmisiones está limitada por las vibraciones que generan a altas velocidades. En contraste, la transmisión de tornillo sin fin permite desarrollar velocidades de hasta 35 cm/s y facilita la operación estable de puertas de cochera mediante motores de corriente directa y velocidad variable. Asimismo, el reciente desarrollo de cubiertas o “liners” plásticos que encapsulan al tornillo ha reducido notablemente el ruido generado por su operación aún a altas velocidades ya que elimina el contacto entre las superficies metálicas del riel y del tornillo sin fin. Además, ésta transmisión está conectada directamente al motor por lo que resulta ser la más eficiente de todas al momento de transmitir la potencia del mismo. Es común que éstas transmisiones sólo requieran de motores de ½ HP para operar puertas que requieren motores de ¾ HP al ser operadas por otros tipos. Por último, la transmisión de banda elástica substituye la antigua cadena metálica por una banda de neopreno reforzada con cuerdas metálicas y su principal objetivo es reducir los niveles de ruido al mínimo posible.

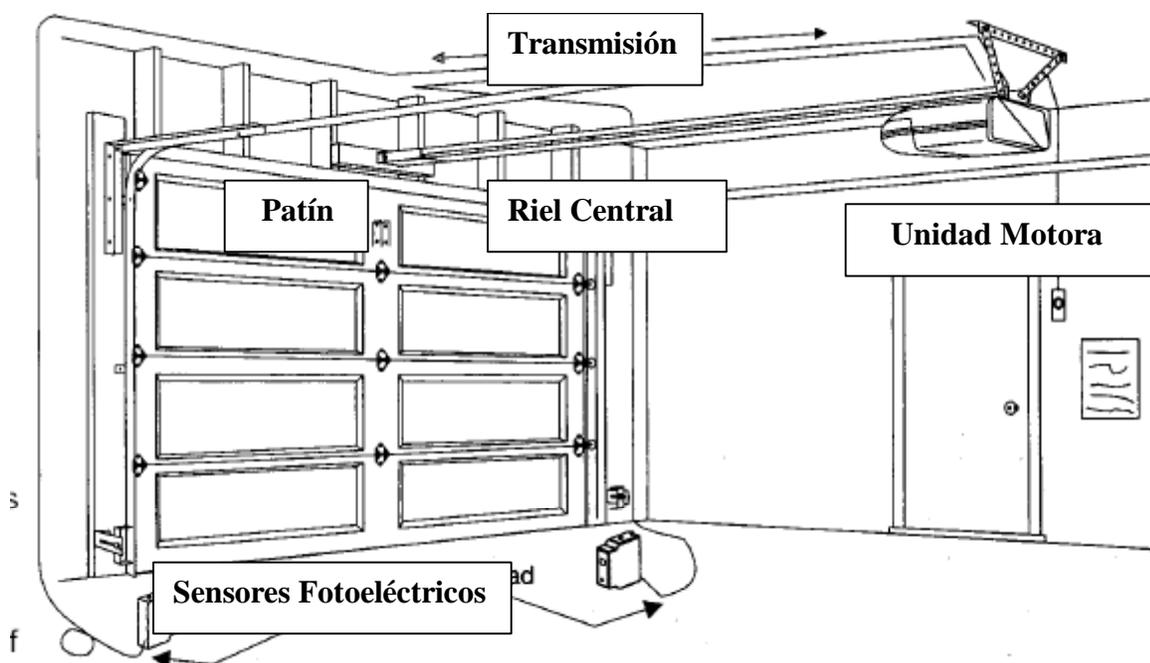


Figura 3 : Disposición típica de puerta de cochera con elevador electromecánico de riel central.

(11) The GENIE CO., “ Product Manual for Excellerator Garage Door Opener”, Ohio, USA 2003.

(12) CHAMBERLAIN GROUP “ Product Manual for Model # WD822K “ The Chamberlain Group, New Jersey, 2002.

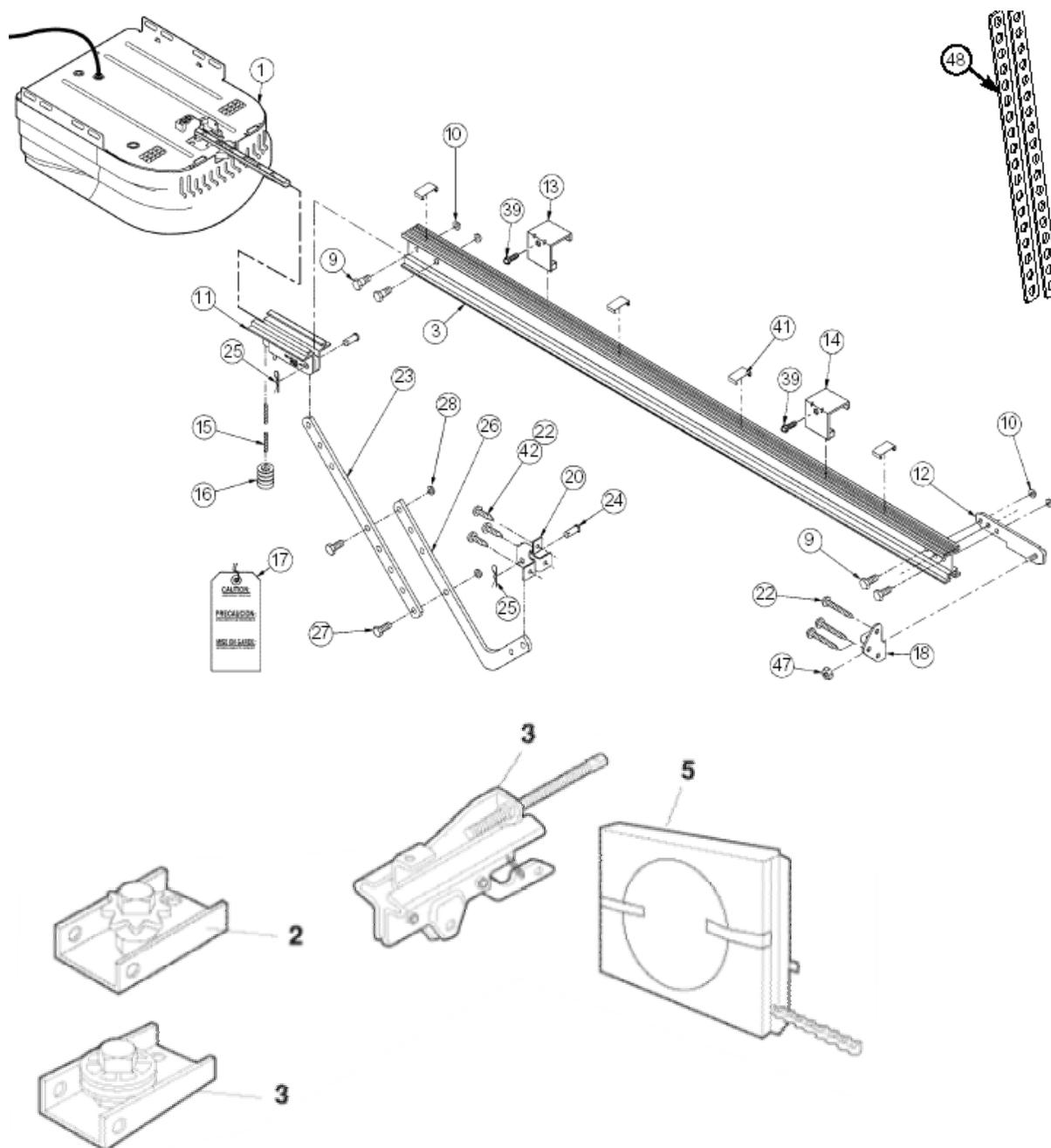
Cada una de éstos tipos de transmisión en combinación con la clase y potencia del motor, confieren al elevador electromecánico diferentes características operacionales respecto a capacidad de carga, velocidad, ruido y estabilidad. Por ejemplo, la publicación Consumer Reports de los E.U.A. (13) recientemente puso a prueba diferentes marcas de modelos provistos de un motor de ½ HP y diferentes transmisiones para evaluar sus características y desempeño al operar una puerta de cochera de acero galvanizado con dimensiones de 4.9 m (16 ft) de largo y 2.4 m (8 ft) de altura . Todos los modelos accionaron la puerta con relativa sencillez, pero y como era de esperarse, a diferentes velocidades y generando diferentes niveles de vibración y ruido. Los elevadores electromecánicos de tornillo sin fin equipados con cubierta plástica comprobaron ser los más veloces en general, tomándole al más rápido de ellos tñ sólo 8 segundos abrir la misma puerta para la cual otros necesitaron un mínimo de 14. Mientras tanto, los modelos provistos con transmisión de banda elastomérica fueron los más silenciosos emitiendo entre 48 y 53 dBA, comparados con mínimos de 57 dBA para los de tornillo sin fin y 68 dBA para los de cadena metálica. Finalmente, se comprobó que el uso de motores de corriente directa representa varias ventajas en comparación con los de corriente alterna. Además de ser más eficientes, aquéllos permiten controlar la velocidad de apertura o cierre de la puerta y mejoran el desempeño de todas las transmisiones en general.

Obviamente, los fabricantes emplean diversas marcas para comercializar de la manera más ventajosa las diferentes características, desempeño y limitaciones de los elevadores y sus motores dentro de un mercado que premia mayores velocidades, menores niveles de ruido y accesorios convenientes. Cada marca y modelo pretende representar la combinación más atractiva para un segmento económico de dicho mercado. Así, los elevadores con transmisión de cadena son generalmente los más baratos de todos con un precio de venta típico que oscila entre los US\$ 150 y US\$ 190 mientras que los provistos de transmisión de tornillo se venden entre US\$ 190 y US\$ 290. Los elevadores con transmisión de bandas elastoméricas generalmente incluyen el mayor número de accesorios y resultan los más costosos llegando a costar US \$ 370.

La gran mayoría de los mecanismos electromecánicos de operación de puertas de cochera vendidos en el continente americano son producidos por Chamberlain Group Inc., The Genie Company, Wayne-Dalton Company ó Linear LLC. y se ofrecen para los mercados de instalación individual o profesional bajo diferentes marcas y modelos que muchas veces se basan en los mismos diseños individuales.

Chamberlain Group Inc. es el mayor fabricante de elevadores electromecánicos para puertas de cochera residenciales y comerciales del mundo. La compañía tiene sus oficinas corporativas en Illinois, E.U.A. y oficinas de venta y servicio técnico en Francia, Inglaterra, Noruega, Holanda, Polonia, Italia, Singapur y China. Sin embargo, Chamberlain produce la totalidad de sus elevadores en Nogales, México desde donde exporta a todo el mundo. Esta planta puede considerarse la más moderna del mundo y en ella se han consolidado durante los últimos 20 años todos los procesos de manufactura de la compañía para lograr la mayor eficiencia posible y reducir costos al mínimo, La planta fabrica elevadores con motores de ½ y ¾ de HP para transmisiones de banda, tornillo sin fin y cadena bajo las marcas LiftMaster, Whisper Drive, Power Drive y otras para terceras partes como la marca Craftmaster para Sears. Liftmaster es la marca más popular de Chamberlain e incluye también piezas de refacción, controles remotos y otros accesorios de las series Estate, Premium y Contractor que son instaladas por distribuidores

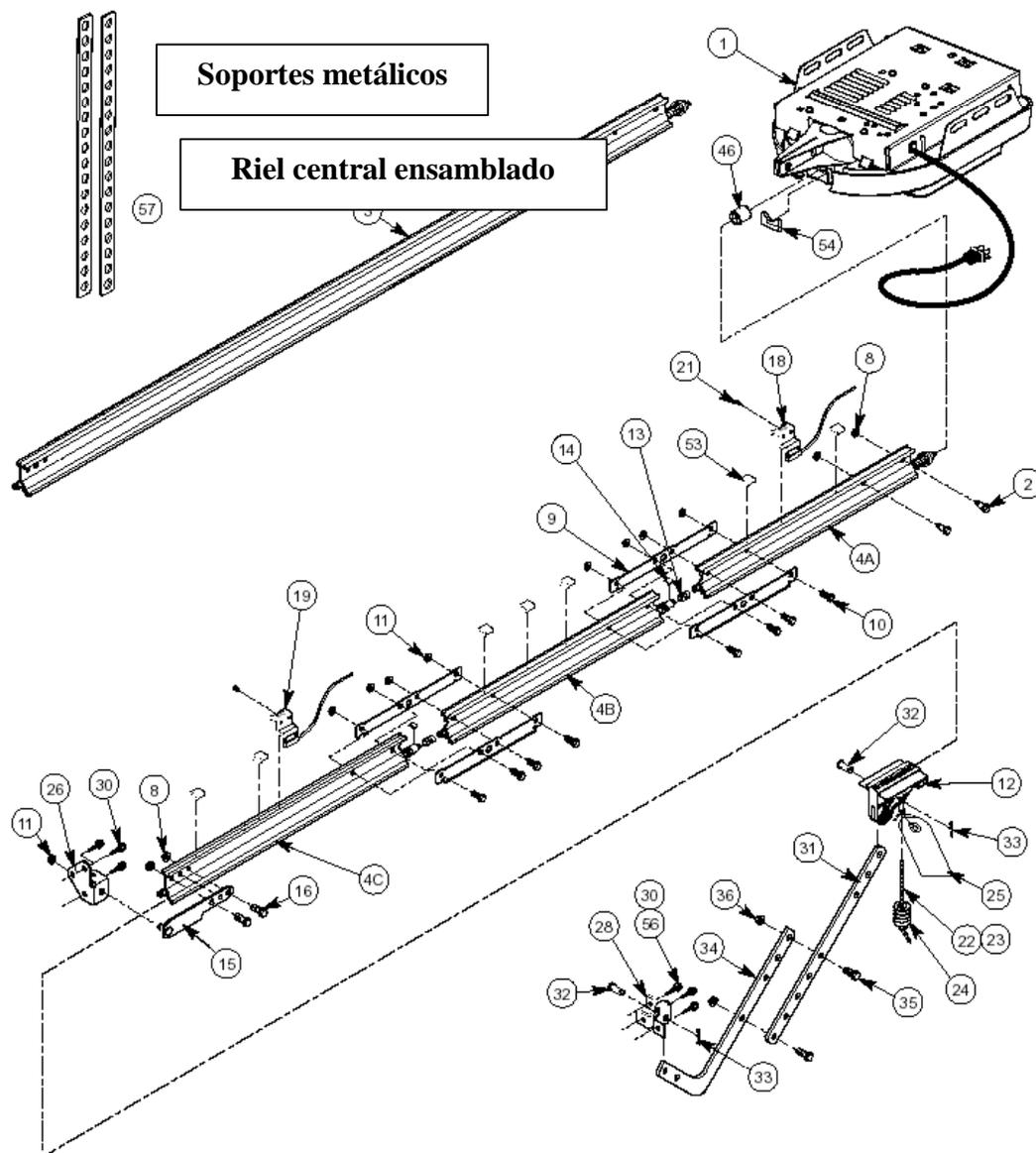
(13) CONSUMERS UNIONS of U.S. "Garage Door Opener Report", CUUSA, New York, 2003



Lista de partes principales.

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 01 Carcaza unidad principal | 12 Cubierta del riel |
| 02 Polea dentada | 13 Limite trayectoria de apertura |
| 03 Polea y patín | 14 Limite trayectoria de cierre |
| 05 Ensamble de cadena | 23 Brazo recto de puerta |
| 08 Riel central | 26 Brazo curvo de puerta |
| 11 Segmento canal corredizo | 47 Bandas de Montaje |
| 48 Soportes | |

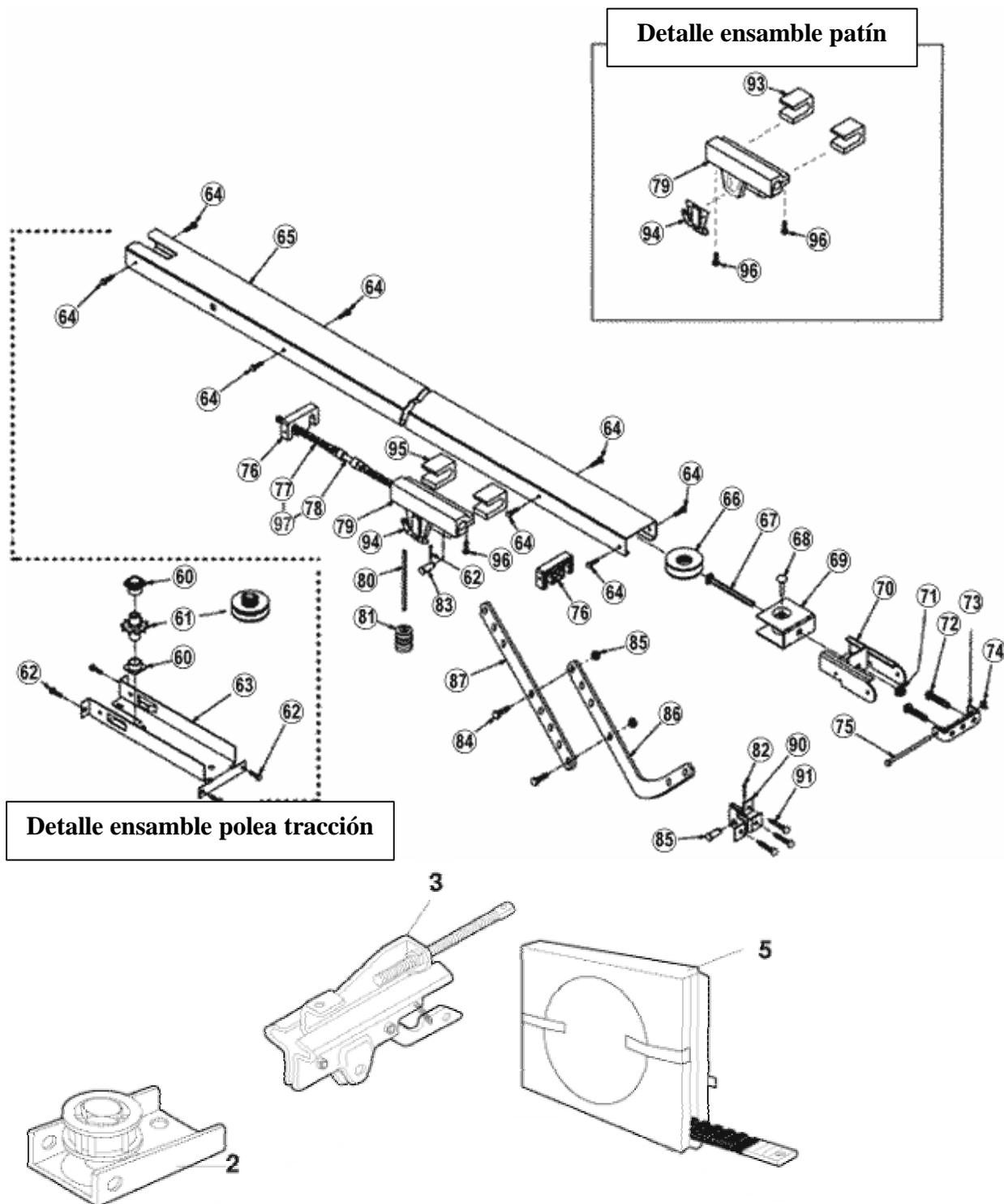
Figura 4 : Desglose de componentes de elevador de transmisión de cadena típico.
(Chamberlain Group "Product Manuals for Models WL 765D and WD822K". TCG Corp, NJ, USA 2004)



Lista de partes principales.

1 Unidad principal	13 Collarín	31 Brazo recto de puerta
2 Perno de tope	14 Retenedor	34 Brazo curvo de puerta
3 Ensamble Riel	18 Interruptor de apertura	46 Cople
4 Segmentos Riel	21 Interruptor de cerrado	47 Amortiguador
9 Abrazaderas Riel	26 Soporte de travesaño	57 Soportes
10 Perno de tope	28 Soporte de puerta	

Figura 5 : Desglose de componentes de elevador de transmisión de tornillo sin fin típico.
(The Genie Company "Product Manual for Excellerator Garage Door Opener", OH., USA 2003)



Lista de partes principales.

- | | | |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| 02 Polea | 03 Patín o carro. | 05 Esamble de Banda |
| 64 Riel central | 68 Eje polea de tiro | 69 Cuerpo de polea |

Figura 6 : Desglose de componentes de elevador de transmisión de banda típico.
 (Chamberlain Group. “Product Manual for Models WL 765 D and WD822K” TCG., NJ, USA, 2004)

autorizados. Las marcas Whisper Drive y Power Drive también incluyen numerosos accesorios, se venden en almacenes al menudeo y su instalación corre a cargo del comprador (14).

The Genie Company es el segundo fabricante de elevadores electromecánicos para cochera más importante del mundo. Fundada en 1923 bajo el nombre de Alliance Manufacturing Company, tiene sus oficinas centrales Alliance, Ohio y es una subsidiaria de Johnson Controls Incorporated de Milwaukee, WI. Esta compañía produjo su primer elevador electromecánico con transmisión de cadena en 1954 y cuatro años más tarde introdujo al mercado mundial la primera transmisión de tornillo sin fin. Asimismo, Genie fue la primera en producir los elevadores operados a control remoto en escala industrial y ofrecer una línea de accesorios universales.

Genie fabrica elevadores con transmisiones de cadena y tornillo sin fin y motores eléctricos AC y DC de hasta $\frac{3}{4}$ HP en sus plantas de Baltic, Ohio y Shenandoah, VA. desde donde distribuye todos sus productos para venta en los E.U.A. y Canadá principalmente. Estos productos son comercializados bajo las marcas Pro-Model, Alliance, Blue Max, Crusader y Genie. Esta última es probablemente la marca más popular en Norteamérica, vendiéndose principalmente al menudeo a través de almacenes de descuento. Además, The Genie Company trabaja en conjunto con su filial American Overhead Door Co. para ofrecer puertas sistemas integrados de puertas de cochera al mercado mayorista (15).

Wayne-Dalton Co y Linear Corporate LLC cierran el grupo de principales fabricantes de mecanismos de operación de puertas de cochera. La primera se ha colocado como el líder mundial del mercado de elevadores en lo que respecta a innovación tecnológica y diseño de productos de alta calidad y precio. Además de fabricar los elevadores sin riel ya discutidos, Wayne – Dalton produce puertas completas y elevadores con motores de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de HP para transmisiones de cadena en E.U.A., Canadá y Francia. La compañía comercializa las marcas I-Drive, DoorMaster y Quantum desde sus oficinas centrales en Mount Hope, Ohio y maneja una red de distribuidores que incluye oficinas de venta propias en E.U.A., Canadá, Francia, Inglaterra y Alemania (16). Por otra parte, The Linear Corporate LLC es uno de los principales fabricantes de productos de seguridad doméstica y controles remoto pero también producen puertas de garage y sus mecanismos electromecánicos de operación. Fundada en 1961 y localizada en California, Linear fabrica elevadores de transmisión de cadena y banda elastomérica reforzada con motores de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de HP que son comercializados bajo las marcas Linear ó Stanley (17).

3. Aplicaciones Plásticas en los Mecanismos Electromecánicos de Puertas de Cochera.

Los fabricantes de los mecanismos electromecánicos para la operación de puertas de cochera utilizan actualmente numerosas piezas plásticas en la construcción de sus unidades. Como se puede observar en las Figuras 7, 8 y 9 (18,19), éstas piezas forman parte de los sistemas de iluminación, tracción y control de los elevadores o constituyen accesorios necesarios para la eliminación de vibraciones o ruidos producidos durante su operación.

(14) THE CHAMBERLAIN GROUP; “Company Profile”, TCG, Chicago, IL 2004

(15) JOHNSON CONTROLS ; “Corporation Briefing”, Johnson Controls Corp, MI, 2004

(16) WAYNE DALTON CORP. “Garage Doors Openers at Wayne Dalton” WDC, Ohio, 1995.

(17) FARRELL, TED ; “Linear Corporate”. LLC, Carlsbad, CA, USA 2002

(18) FIRST DOOR OPENERS Co.; “Craftsman Garage Opener Parts Catalogue” FDO, IN 46304, USA 2005.

(19) FIRST DOOR OPENERS Co.; “Chamberlain Garage Door Opener Replacement Parts” FDO, IN 46304, USA 2005.



Figura 7. Aplicaciones plásticas en sistemas de iluminación en elevadores de cochera.

(First Door Openers Co. "Craftsman Car Garage Door Openers" FDO, Indiana 46304, US 2005 y First Door Openers Co., FDO Indiana 46304, USA 2005).

La fabricación de las cubiertas de la carcasa principal es la aplicación más voluminosa de las resinas plásticas en la construcción de los elevadores de hoy en día. Debido a la integración de lámparas y sensores a la unidad motora, dichas cubiertas deben de ser producidas empleando materiales translúcidos y duraderos que ofrezcan alta resistencia al impacto y a los efectos del medio ambiente. Asimismo, éstos materiales deben de producir acabados superficiales de buena apariencia que permitan la impresión o grabado de la misma y no representar un costo excesivo de fabricación. Por todo ésto, las primeras cubiertas plásticas se moldearon por inyección con acrílicos inicialmente y con terpolímeros de Acrilo Butil Estireno (ABS) más tarde. A partir de 1996, el ABS fué remplazado por compuestos de poliestireno de alto impacto que resultaban más económicos y sencillos de procesar al no requerirse eliminar la humedad superficial del polímero. Actualmente, la gran mayoría de las cubiertas se fabrican mediante moldeo por inyección de copolímeros de polipropileno clarificado debido a sus excelentes propiedades mecánicas y de procesamiento, así como a su bajo costo. Estas características han hecho extensivo el uso de éste polímero a la fabricación de componentes de los controles remotos y consolas de operación en donde todavía se pueden encontrar algunas aplicaciones de ABS. Por otra parte, el uso de otras resinas como poliamidas, poliacetales y polietileno de ultra alto peso molecular ha permitido producir elevadores electromecánicos más sofisticados, eficientes y económicos mediante la sustitución de partes metálicas ya existentes ó el diseño y producción de piezas cuya fabricación en metal resultaría muy complicada ó costosa. Por ejemplo, piezas moldeadas en poliacetales ofrecen elevada estabilidad dimensional, excelente resistencia al desgaste y muy bajos coeficientes de fricción que las hacen muy útiles en el diseño de componentes cerrados donde no se desea o no es posible su lubricación periódica. Engranajes, piñones y reductores fabricados en poliacetil son utilizados en la construcción de la transmisión del motor eléctrico de los dichos elevadores mientras que poleas del mismo material guían las cadenas o bandas a lo largo de los rieles centrales de los mismos. Asimismo, la elevada estabilidad térmica y dimensional de los nylon 6 y Nylon 66, así como de sus compuestos cargados con fibra de vidrio ó fibra mineral han hecho posible moldear componentes eléctricos del sistema de iluminación como “sockets” y cubiertas cuyo reducido tamaño y compleja geometría permiten su instalación en espacios disponibles dentro de la unidad motora. Además, la dureza, rigidez y resistencia a la abrasión de los mismos han permitido la fabricación de engranes, coples y tornillos del sistema de tracción cuyo uso en masa representa ahorros significativos al substituir contrapartes metálicas y ofrecer mejores desempeños y/o menores costos.

Finalmente y de interés muy particular para éste trabajo, es el empleo de polietileno de ultra alto peso molecular (PE UHMW) para fabricar las cubiertas o “liners” plásticos que son insertados dentro del riel central de los elevadores electromecánicos de tornillo sin fin para eliminar el contacto entre superficies metálicas tal y como se muestra en la Figura 10 y reducir la vibración y aislar el ruido así generado. El PE UHMW ofrece una excelente combinación de muy buenas propiedades termofísicas y alta resistencia tanto a la abrasión como al impacto y a la acción de agentes químicos. Además, las superficies moldeadas con éste polímero presentan coeficientes de fricción muy bajos y no requieren lubricación. Sin embargo, su aplicabilidad es limitada ya que el PE UHMW es una resina extremadamente viscosa una vez fundida que requiere métodos de moldeo diferentes a los comúnmente usados ya que no puede ser procesada adecuadamente por extrusión plástica. Por ejemplo, las cubiertas plásticas antes mencionadas son moldeadas mediante un extrusor de pistón mientras que otras piezas como tornillos y engranes son moldeadas mediante la compresión de la resina en estado sólido. No obstante las limitaciones de éstos procesos, las piezas fabricadas con PE UHMW son fácilmente troquelables



Figura 8. Aplicaciones plásticas en sistemas de iluminación y tracción en elevadores de cochera. (First Door Openers Co. “Craftsman Car Garage Door Openers” FDO, Indiana 46304, USA 2005 y First Door Openers Co. “Genie Car Garage Door Openers, FDO, Indiana 46304, US 2005)



Figura 9 : Aplicaciones plásticas en sistemas de tracción y control de elevadores.(First Door Openers Co. "Craftsman Car Garage Door Openers" FDO, Indiana 46304, USA 2005 y First Door Openers Co. "Genie CarGarage Door Openers, FDO, Indiana 46304, US 2005).

y ofrecen propiedades mecánicas que comparables con aquéllas fabricadas con varias resinas de ingeniería.

4. Selección de Partes Plásticas para Evaluación de Alternativas de Fabricación.

Si bien las cubiertas de las unidades motoras son la aplicación más voluminosa de las resinas plásticas en los elevadores electromecánicos, los materiales y condiciones de su fabricación han sido revisados y mejorados constantemente a tal punto que puede decirse que no existen hoy alternativas económicamente competitivas que no hayan sido exploradas. Es muy seguro que por muchos años más, tales cubiertas plásticas seguirán siendo fabricadas mediante inyección de

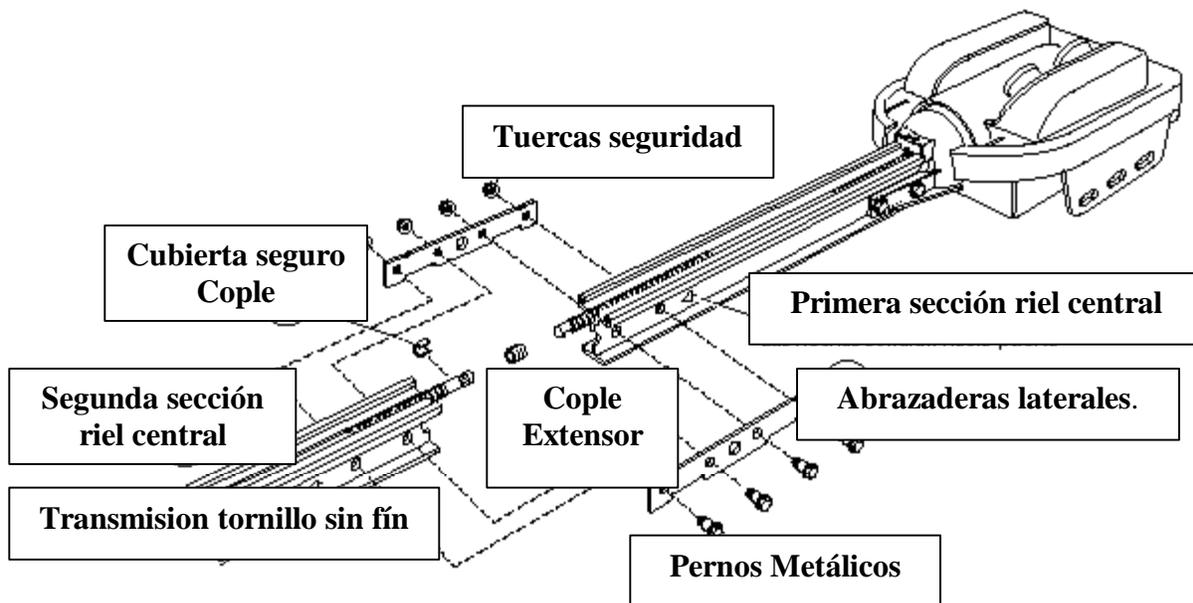


Figura 10 : Cubierta o "liner" plástico para transmisión de tornillo sin fin

copolímeros clarificados de polipropileno o mezclas poliestirénicas en costosos moldes cuyo valor requiere la depreciación de considerables inversiones y que generalmente significa un obstáculo importante para cualquier cambio significativo.

En contraste, las cubiertas plásticas ó “liners” usados en los rieles centrales de las transmisiones de tornillo sin fin de los elevadores presentan varias circunstancias que facilitarían formular alternativas de fabricación para las mismas. En principio, dichas partes son aplicaciones plásticas muy particulares de los elevadores electromecánicos y no están sujetas a consideraciones ajenas a las mismas, caso contrario al de engranes, poleas y otros componentes que se compran mediante catálogos industriales. Por otro lado, las cubiertas son producidas actualmente mediante extrusores de pistón de baja velocidad ya que los métodos de transformación más eficientes y económicos para resinas plásticas no son aplicables a la fabricación de perfiles de PE UHMW. Finalmente, el costo de los moldes o “dados” con los que actualmente se transforma ésta resina no representan una inversión muy significativa y su amortización total no es imprescindible para efectuar cualquier cambio. En conjunto, todas éstas circunstancias crean la oportunidad de formular alternativas de fabricación para dichas partes que incluyan materiales y procesos diferentes, incrementando sus posibilidades de ser llevadas a la práctica después de obtener una evaluación económica positiva.

Por tales razones, se han seleccionado a las cubiertas plásticas de los elevadores de transmisión de tornillo como las únicas partes para las que éste trabajo formulará y evaluará alternativas de fabricación. Estas serán desarrolladas para los dos tipos de cubiertas utilizados por los fabricantes más importantes y su formulación dependerá de la información ya disponible en medios e industria ó aquella generada por investigación de campo. Para tal efecto, la Figura 11 (20) muestra el dibujo mecánico de la cubierta ó “liner” que Chamberlain Group Inc. emplea para la fabricación de los modelos 2110/3110 y 2220/3220 de la marca LiftMaster y 53322 de Craftsman. Fotografías de dicha parte, el riel central y el tornillo que integran la transmisión de tales modelos pueden verse en la Figura 11b. A su vez, la Figura 12 (21) incluye el dibujo mecánico de la cubierta plástica empleada por The Genie Company en la producción de su modelo Excelerator de la marca Genie, mientras que la Figura 12b contiene varias fotografías de la misma con otros componentes de la transmisión correspondiente.

5. Procuración Actual de las Cubiertas Plásticas para Transmisiones de Tornillo sin Fin.

Chamberlain Group Inc. y The Genie Company no poseen la capacidad instalada para fabricar las cubiertas plásticas que usan en la construcción de sus elevadores electromecánicos con transmisión de tornillo, por lo que han debido integrar logísticas que aseguren el suministro oportuno de las mismas. Según información obtenida mediante entrevistas con el personal responsable de administrar las adquisiciones de cada compañía (22, 23), las cubiertas son fabricadas por extrusores especializados en perfiles de PE UHMW y cada tipo de ellas es fabricada por un solo proveedor. En el caso de Chamberlain, las cubiertas son producidas en Anaheim, California y transportadas vía terrestre hasta Nogales, Arizona desde donde se remiten

(20) Departamento de Control de Calidad “Dibujo Mecánico Parte 2192” Chamberlain de México SA, Nogales, México, 2000

(21) The Genie Co., Engineering Dept. “Blueprint for part EN00” TGC, Ohio, USA, 2001.

(22) Avilés, A.”Entrevista Personal ; Operaciones de Chamberlain Group en Nogales, México” Chamberlain Mj0exico, SA, Nogales, México, Septiembre 7, 2005).

(23) Heinz E. “Entrevista Telefónica ; Operaciones de The Genie Co.”, Ohio, USA, Septiembre 1, 2005.



Figura 11 : Cubierta plástica “liner” Chamberlain.

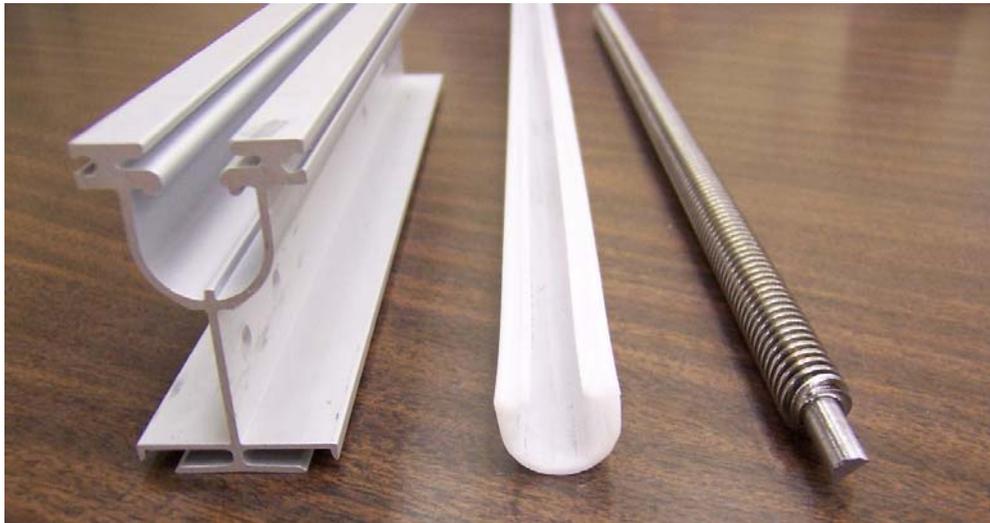


Figura 11b : Fotografías cubierta plástica “liner” Chamberlain.



Figura 12 : Cubierta plástica “liner” Genie.



Figura 12b : Fotografías cubierta plástica “liner” Genie

a la planta de Nogales, México para su uso final. Genie obtiene sus cubiertas de un fabricante en Saco, Maine desde donde son remitidas a Ohio para ser ensambladas en los elevadores de la marca excellerator. En ambos casos, las cubiertas son embarcadas mensualmente contra un contrato de compra que cubre el volúmen anual, así como las especificaciones de las partes, las modalidades de empaque y los controles de calidad correspondientes.

Chamberlain consume un total de 1.3 millones de metros lineales de cubiertas (230 toneladas de PE UHMW aproximadamente) por año mientras que Genie compra la cantidad de 1.6 millones de metros (200 toneladas de PE UHMW) durante el mismo período. Todas éstas partes son compradas bajo condiciones FOB punto de embarque y el precio de compra convenido incluye cualquier amortización ó costos de mantenimiento de los dados de extrusion empleados, mientras que los costos de transportación son facturados separadamente para cada embarque.

A pesar de no saberse el precio al que cada compañía compra sus “liners” ó cubiertas plásticas, los ejecutivos entrevistados indicaron “precio objetivo” que forman parte de la práctica commercial común y que generalmente indicant el precio de venta al cual es posible iniciar la negociación de contratos de suministro. Mientras que Chamberlain refirió un precio objetivo de US\$ 0.76 por pieza descrita en la Figura # 11. Por su parte, Genie estableció un máximo de US\$ 0.54 por cada pieza que cumpla las especificaciones contenidas en la Figura # 12. A pesar de ser solo parte de un mecanismo de negociación, éstos parámetros resultan muy importantes para el presente trabajo pues su cumplimiento representa el criterio fundamental para proponer la aplicación práctica de cualquier alternativa de fabricación aquí desarrollada.

Capítulo II.

Descripción de Materiales de Fabricación y Alternativas.

Como se estableció en el Capítulo I, los fabricantes de elevadores electromecánicos para puertas de cochera han especificado polietileno de ultra alto peso molecular (PE UHMW) para la fabricación de cubiertas o “liners” de los rieles centrales de aquellas transmisiones dotadas con tornillo sin fin. Por lo tanto, a continuación se detallan las características más relevantes de esta resina. El análisis comparativo de las mismas contra aquellas de otras resinas plásticas también incluidas en este capítulo, permitirá seleccionar los materiales más convenientes para la formulación de las alternativas de fabricación deseadas.

1. Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PE UHMW).

a) Definición Técnica y Comercial del Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

El polietileno (PE) es una de las resinas plásticas de mayor consumo en el mundo con una producción anual superior a las 50 millones de toneladas anuales (24) y de la cual se han desarrollado diferentes variedades. Entre éstas se encuentra el PE UHMW que a pesar de presentar la misma composición molecular que otros tipos de polietileno, ha requerido de la generación de definiciones ó especificaciones técnicas particulares para facilitar su desarrollo técnico y comercialización. Entre otras instituciones, la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la International Standards Office (ISO) han emitido normas ampliamente aceptadas para regular las características del polímero y sus productos de manufactura. Entre dichas especificaciones y para efectos del presente trabajo, las más importantes son (25, 26, 27) :

- ASTM D883 - 05 : Terminología Referente a Materiales Plásticos.
- ASTM D4020 - 05 : Especificación Estándar de Materiales de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular para Moldeo de Inyección ó Extrusión.
- ASTM D1601 - 05 : Métodos de Prueba para Viscosidad en Soluciones Diluidas de Polímeros de Etileno.
- ISO 11542 – 1 y 2 : Plásticos – Sistema de Nomenclatura y Bases de Especificación para Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.
- ISO 1628 - 3 : Plásticos – Determinación del Número de Viscosidad y Número de Viscosidad Limitante para Polietilenos y Polipropilenos.
- ASTM D638, D792, D1822 : Determinación de Propiedades en Especímenes Plásticos
- ASTM D1894 – 03 : Métodos de Prueba para Determinar Coeficiente de Fricción Dinámico de Superficies Plásticas.
- ASTM G176 – 03, G137 – 97 : Métodos de Prueba Estándar para Determinar Resistencia de Plásticos al Desgaste Mecánico.
- ASTM D4060 - 03 : Determinación de Abrasión en Polímeros Plásticos – Método Taber ; Variante Masa Perdida.

(24) VARIOS AUTORES. “Polyethylene ; World Consumption” MAACK Business Services, Zurich, Federacion Suiza, 2003

(25) ASTM, Volumen 8.01, Plastic (1) D256 - D3159, ASTM Publications, July 2005

(26) ISO, Volumen 83.080.20, Thermoplastics Materials, 11542-1 y 2, ISO 2001

(27) ISO, Volumen 83.080.20, Thermoplastic Materials, 1628-01, ISO 2001

Mientras que la especificación ASTM D 883 – 05 contiene la terminología común a toda la industria del plástico, la especificación ASTM D4020 – 05 permite la identificación de la resina virgen de PE UHMW de manera que compradores y vendedores puedan acordar la aceptabilidad de cada lote de la misma. Así, la norma establece que el PE UHMW es aquél homopolímero de etileno que presenta una viscosidad relativa igual ó mayor a 1.44 pero no menciona ninguna diferencia específica entre los diversos grados disponibles. La norma incluye los métodos de prueba necesarios que son definidos detalladamente en la norma ASTM D1601 - 05. Aunque no existen equivalentes ISO para éstas, la norma ISO 11542 –1 establece que el PE UHMW es aquél material polietilénico que presenta una tasa de flujo de masa (MFR) menor a 0.1 g/10 min a 460 K y usando un embolo de 21.6 kg de peso. La norma clasifica los diferentes tipos de PE UHMW en base a valores limitantes de impacto Charpy al corte, tensión máxima de elongación y peso molecular obtenido a través de correlaciones de números de viscosidad determinados experimentalmente bajo los lineamientos de la norma ISO 1628 – 3. La norma ISO 11542 también regula la clasificación del polímero en base a información referente a la aplicación, método de procesamiento, colorantes, cargas o materiales reforzantes y otros aditivos.

Por otra parte, normas como las ASTM D638, D792 y D1822 describen las pruebas empleadas para determinar uniformemente valores homologables de las propiedades termofísicas y mecánicas más importantes de las resinas termoplásticas. La aplicación rigurosa de éstas normas, hace posible establecer evaluaciones comparativas del probable desempeño de los materiales plásticos en diferentes aplicaciones. Por lo mismo, es importante verificar que los valores de propiedades a comparar se hayan obtenido empleando los mismos métodos y condiciones de pruebas, así como las mismas escalas y unidades de reporte. Aunque no existe un método de prueba que pueda predecir consistentemente la resistencia de un material al desgaste mecánico bajo todas las condiciones posibles, la aplicación conjunta de las normas ASTM D1894, D176 y G137 ayuda a estimar los efectos de éste sobre las principales propiedades de las resinas plásticas. La norma ASTM D1894 incluye los métodos de prueba y las escalas de medición para determinar fricción estática, fricción cinética y coeficiente de fricción generados en el movimiento de superficies plásticas. Este último indica la resistencia que dichas superficies ofrecen al moverse sobre otras y la tendencia de los materiales plásticos a generar fricción con el movimiento. La Tabla I muestra los coeficientes de fricción de diferentes plásticos que son de interés para éste trabajo (28). Mientras menor sea el coeficiente reportado, menor es la tendencia del material a generar fricción y sufrir desgaste por abrasión.

Las normas ASTM D1044 y D4060 definen la resistencia a la abrasión como la habilidad de un material para soportar erosión debida a acción mecánica y contienen la descripción detallada del método Taber y sus variantes. Estos métodos miden y reportan la pérdida de material sufrida por un espécimen al ser expuesto a la acción cíclica de elementos abrasivos ya estandarizados y suponen que mientras menor sea la cantidad de material perdido reportada, mayor es la resistencia a la abrasión del material bajo prueba. Como se puede ver en la Tabla II (29) y a pesar de que los resultados así obtenidos permiten comparar varias resinas entre sí, el método Taber no puede predecir la verdadera erosión de una resina bajo las condiciones realmente demandadas en una aplicación dada. Por lo tanto, varios sectores industriales complementan el método Taber con la prueba API 6AV1 para poder obtener evaluaciones más completas. Este

(28) Stein S.H. "Ultra High Molecular Weight Polyethylene ; Guide to Engineering Plastic Families, ASME, NY, 1992.

(29) VARIOS AUTORES. "Industrial and High Purity Piping Engineering Systems Handbook" George Fisher Publishing, NY 2002

Material	Coefficiente de Fricción. ASTM D1084
PE UHMW	0.10 – 0.22
HDPE	0.26
NYLON 66	0.15 -0.40
NYLON MoS2	0.12 – 0.20
POM	0.15 – 0.35
PP	0.33
PETF	0.04 – 0.25
PC	0.55
SAN	0.50
ABS	0.50

Tabla I : Coeficientes de fricción de materiales plásticos en superficie de acero (Stein H. “Ultra High Molecular Weight Polyethylene ; Guide to Engineering Plastic Families, ASME, NY, 1992)

Material	Abrasión Taber ASTM D1044 mg / 1000 ciclos
PE UHMW	1 - 10
NYLON 66	5 -12
PVDF	15 - 20
PVC (rígido)	12 - 20
PP	15 - 20
CPVC	20
POM	22
PS	40 – 50
Acero (304 SS)	50
ABS	60 - 80
PTFE	500 - 100

Tabla II : Resultados de prueba de abrasión Taber para superficies plásticas (Rodillo de abrasión CS-10, Carga 1 Kg, 1,000 ciclos) (VARIOS AUTORES. “Industrial and High Purity Piping Engineering Systems Handbook” George Fisher Publishing, NY 2002)

método cuantifica el daño que sufre una muestra del material a prueba al sumergirse dentro de una suspensión acuosa de arena gruesa al 50%. La muestra es circulada dentro de la suspensión por varias horas junto con un espécimen control provocando la continua y multi-direccional abrasión de los mismos. La abrasión sufrida por el material a prueba se reporta como un valor relativo de la abrasión sufrida por el espécimen control (generalmente acero estandarizado), al cual se le asigna arbitrariamente el valor de 100 dentro de una escala lineal. Así, un material que haya sufrido el daño equivalente al 20% sufrido por el control, recibe una calificación de 20 y se considera que es 5 veces más resistente a la abrasión que el éste. Por lo tanto, mientras más bajo es el valor reportado, más elevada es la resistencia a la abrasión del material a prueba. Las Tablas III y IV reportan los resultados de un par de pruebas de abrasión por el método API 6AV1 aplicadas a diferentes materiales. (30, 31).

b) Producción Industrial del Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

El polietileno fué sintetizado por primera vez y de manera accidental en Alemania cuando Hans Von Pechman produjo un sólido ceroso al calentar diazometano en 1898 (32). A pesar de despertar el interés académico de la época, el descubrimiento no llevó a ninguna aplicación práctica. No fué sino hasta 1933 y en Inglaterra que se produjo la primera síntesis a nivel industrial cuando Erick Fawcett y Reginald Gibson mezclaron benzaldehído y etileno bajo condiciones de alta temperatura y presión (1,400 bar y 443K). El polietileno obtenido por el mecanismo de radicales libres presentaba una estructura molecular ramificada y era poco denso por lo que fué llamado polietileno de baja densidad (PEBD) ó de alta presión en las patentes obtenidas por la División Química de I.C.I. en 1936 (33). Esta patente aseguró la construcción de la primera planta de producción de LDPE por I.C.I. que inició operaciones en 1939 con una capacidad instalada anual de 100 toneladas.

Después de la Segunda Guerra Mundial, grupos de investigadores de universidades y compañías privadas desarrollaron las primeras resinas de polietileno de alta densidad (PEAD). El descubrimiento de éste nuevo plástico se debió al desarrollo de técnicas de polimerización por Robert Banks y John Hogan de Phillips Petroleum así como Karl Ziegler y sus colaboradores del Instituto Max Plank. Banks y Hogan lograron la primera polimerización de etileno a baja presión en 1951 (34) usando un catalizador de cromo soportado en sílica. Por su parte, Ziegler produjo el primer PEAD al descubrir la catalísis de etileno mediante la acción coordinada de compuestos de haluros de titanio y co-catalizadores organo-alumínicos a baja presión y temperatura (35). Estos sistemas estaban soportados por un sustrato inerte y no eran solubles en el medio de reacción por lo que se clasificaron como catalizadores heterogéneos. En 1956 y siguiendo procedimientos parecidos a los de Ziegler, G. Natta obtuvo el primer homopolímero de polipropileno así como el primer poliestireno (36). El posterior descubrimiento del sistema catalizador heterogéneo de tetracloruro de titanio soportado por cloruro de magnesio multiplicó el rendimiento de lo que ya para entonces eran comúnmente llamados catalizadores Ziegler – Natta (ZN) y permitió escalar de manera económica la producción industrial de poliolefinas.

(30) KELTROL CO. "Comparative Report for Wear of Tufflar Liners" PA, USA 2003.

(31) GARLAND MANUF. "UHMW PE Data, Sand Slurry Test Results" Garland Manufacturing Co, Maine, U.S. 2004.

(32) UTRACKI L.A. "History of Commercial Plastic Alloys and Blends" Polymer Eng & Science, 35, p 2-17, Sao Paulo, 1995.

(33) FAWCETT, E.W. et al. Imperial Chemical Industries Ltd, Patent GB 471590, 1937.

(34) HOGAN J.P., BANKS, R.J. United States Patent US2 1958, 825,721.

(35) ZIEGLER et AL, Agnew. Chem. 1955, Vol 67, p 541.

(36) NATTA, G. Modern Plastics, 1956, Vol 34, p 169

Material	Resistencia a la Abrasión API 6AV1 @ 8 hr. Acero al Carbón Ced 30
PE UHMW	10
NYLON 66	24
PUR (D70)	27
PEAD HMW	35
TFE	72
PEAD	90
PVC	92
PC	96
POM	110
LAMINADO FENOLICO	200

Tabla III : Resultados de prueba de abrasión API 6AV1 para especímenes plásticos (8 hrs, Acero al carbon cédula 30, 1750 rpm (KELTROL CO. “Comparative Report for Wear of Tuflar Liners” PA, USA 2003.)

Material	Resistencia a la Abrasión API 6AV1 @ 8 hr. Acero al Carbón Ced 30
PE UHMW	10
Carbuero de Silicio	15
NYLON 66	31
PEAD HMW	44
PBT	56
PEAD	109
POM	110
MDPE	125
PVC	190
PSO	300
LDPE	530
Acero Inoxidable 304	84
Acero al Carbón	100
Bronce Fosfatado	190
Bronco	400
Neoprene	800

Tabla IV : Resultados de prueba de abrasión API 6AV1 para especímenes varios (7 hrs, Acero al carbon cédula 30, 1750 rpm (GARLAND MANUFACTURING ”UHMW PE Data , Sand Slurry Test Results” Garland Manufacturing Co, Maine, U.S. 2004.)

A partir de entonces y hasta 1982, los productores de poliolefinas optimizaron continuamente la ingeniería de sus plantas y equipos de proceso al tiempo que maximizaban el potencial tecnológico de los catalizadores heterogéneos ZN. Mientras tanto, otros catalizadores – incluidos aquéllos llamados homogéneos por ser solubles en el medio de reacción – fueron relegados ya que ofrecían cinéticas comparativamente lentas que no podían competir económicamente. Hasta la fecha, se han introducido cuatro generaciones de catalizadores heterogéneos ZN y cada una de ellas significó en su momento mejoras progresivas en velocidades, rendimientos y economías de polimerización que permitieron la introducción al mercado numerosos grados de polietilenos y polipropilenos de uso general y bajo costo. Por otra parte, los mismos productores no fueron capaces por muchos años de desarrollar grados de aplicación específica ya que aún la generación más moderna de los catalizadores ZN presenta limitaciones para controlar la distribución de peso molecular, la concentración de comonomeros y por ende la morfología, procesabilidad y propiedades del polímero. Esto se debe a que la superficie del catalizador ZN contiene numerosos sitios activos que presentan diversos niveles de selectividad y reactividad respecto a la inserción del monómero ó co-monómero y generan cadenas moleculares de diversos tamaños y composiciones a diferentes velocidades (37).

Si bien los catalizadores homogéneos habían sido desde un principio más efectivos para producir poliolefinas de distribución de peso molecular estrecha y regular el contenido de comonomeros, no fué sino hasta 1980 que la industria recurrió a ellos nuevamente. El uso de metal-alumoxano (MAO) como co-catalizador de la polimerización homogénea condujo al desarrollo de los “catalizadores metalocénicos” que ya para 1982 generaron polietilenos con arquitectura molecular uniforme y distribución de peso molecular estrecha (38). La aplicación de éstos catalizadores a la tecnología de polimerización en solución permitió en 1991 la síntesis comercial de polietileno de baja densidad a niveles de productividad equivalentes a los de la catálisis heterogénea contemporánea. Asimismo y gracias a la introducción comercial exitosa de los primeros grados de “polipropileno metalocénico” en 1994, la nueva tecnología pudo extender su alcance a todos los aspectos técnicos y económicos de la producción de poliolefinas. Este fenómeno y el desarrollo de otros catalizadores más sofisticados que hoy se agrupan bajo el nombre SSC (Single Site Catalysts), representan un avance tecnológico de gran importancia ya que permiten a los productores de poliolefinas manipular las distribuciones de peso molecular y las concentraciones de comonomeros para diseñar ya resinas de procesabilidad y propiedades específicas. Por otro lado, los catalizadores SSC han generado estructuras microscópicas poliméricas nunca antes vistas que abren perspectivas de desarrollo para nuevos tipos y grados de poliolefinas. Finalmente, los catalizadores SSC han permitido la polimerización de diferentes tipos de resina en un mismo tipo de reactor, lo que puede en un futuro reducir la necesidad de poseer grandes capacidades instaladas para un solo tipo de las mismas (39).

Sin embargo y a pesar de todas las posibilidades anteriores, la penetración comercial de las nuevas resinas ha sido más lenta de lo que se esperaba. Las nuevas tecnologías de catálisis SSC han tenido que supeditarse a las características y limitaciones de las plantas y reactores ya existentes que fueron diseñados en su mayoría para procesos de catálisis heterogénea. Por ejemplo, el uso de catalizadores homogéneos en los procesos de polimerización en suspensión

(37) KISSIN Y. “Principles of Polymerization with Ziegler–Natta Catalysts” Handbook Polymer Science and Technology, 1989.

(38) KAMINSKI I, W. “Highly Active Metallocene Catalysts for Polyolefin Polymerization” Jour. of Chem Soc, p 1,413 – 1,418, 1998, U.S.A.

(39) MONTAGNA A. et AL “The evolution of Single Site Catalysts” Chem Tech, December 1997, USA.

(Phillips) propicia la cristalización precoz e irregular del polietileno o polipropileno formando aglomeraciones de tamaño considerable a lo largo del reactor que terminan por recubrir las paredes internas del mismo. Asimismo, la catálisis homogénea no se ha podido adaptar a los reactores de fase gaseosa para producir rendimientos aceptables hasta la fecha. La solución de éstos y otros problemas ha requerido tiempo y recursos adicionales por lo que no es de extrañar que la mayoría de las poliolefinas todavía se produzcan comercialmente mediante catálisis heterogénea ZN (40).

Tal ha sido el caso del PE UHMW desde que fué descubierto por Karl Ziegler en 1953 y producido a escala industrial por primera vez en 1955 (41). Como se puede ver en la Figura 13, el PE UHMW se obtiene mediante el proceso de polimerización de etileno en suspensión en un reactor tubular de circuito vertical y flujo continuo (42). En éste proceso, el sistema catalizador es disuelto en un hidrocarburo ligero e inerte (por lo general isobutano) que sirve como medio de reacción y de transferencia de calor ya que la polimerización es altamente exotérmica. La mezcla se inyecta al reactor que ya contiene etileno circulando a una presión cercana a los 40 bar y a temperatura siempre menor al punto normal de fusión del polietileno (408 K). El reactor consiste de un circuito tubular de acero inoxidable doblado en cuatro segmentos verticales muy largos de 1 metro de diámetro que están conectados por segmentos horizontales del mismo diámetro y de 5 metros de largo. El reactor es enfriado por agua a lo largo de toda su extensión, lo que permite mantener la temperatura de polimerización del etileno dentro de un rango de temperatura de 358 a 383 K.

La polimerización se lleva a cabo en estado sólido gracias a la acción catalítica de un sistema Ziegler – Nata de cuarta generación (alta reactividad) con sustrato inerte. Este sistema catalizador está compuesto por $TiCl_4$, $MgCl_2$, $Ti(OBu)_4$ soportado en $TiCl_3$ y SiO_2 y representa las limitaciones comunes de otros catalizadores heterogéneos ZN ya que esencialmente consiste en una agrupación de sitios de activación muy cercanos entre sí que poseen diferentes niveles de reactividad y selectividad (43). La continua inserción de monómero fresco se lleva a cabo en dichos sitios a través del mecanismo Cossee – Arlman y genera polímeros con distribuciones de peso molecular amplias cuyas propiedades y morfología dependen del equilibrio resultante entre los procesos de polimerización y de cristalización que ocurren en el seno del solvente. En éste caso, las macromoléculas del PE UHMW llegan a incorporar hasta doscientas mil unidades de monómero para alcanzar pesos moleculares promedio de 4.5 millones g/mol y un máximo de hasta 6 millones g/mol. Además, las cadenas resultantes presentan un alto grado de enredamiento o enmarañamiento ya que se han desarrollado muy cerca una de otra y su cristalización ha sido relativamente lenta. Debido a la combinación de éstos fenómenos, cada partícula de catalizador lleva a la creación de una partícula de polímero que pueden alcanzar dimensiones sub-milimétricas (44). Las partículas de PE UHMW así formadas quedan suspendidas en solvente y viajan con remanentes del sistema catalizador a lo largo del reactor a velocidades entre los 5 y 12 metros por segundo. Es necesario mantener estas velocidades a lo largo de todo el reactor para

(40) KRISTEN, O. Marc “Metallocenes ; from a Laboratory Curiosity to Industrial Scale Applications” BASF, A.G. Ludwigshaffen, Germany, 2004

(41) BIRNKRAUT, H.W. “Synthesis of UHMW PE”, Hogrefe & Hubber Publications, 1991

(42) SMITH, M. ET AL “Handbook of Petrochemical Production Processes” Capitulo 14.03, Mc Graw Hill Pub, NY 2004

(43) VANKA K. ET AL “Aspects of Coordination Polimerization in Heterogeneous and Homogeneous Catalysts ; A Computational Survey” Topics in Catalysis, Vol 34, Numeros 1 – 4, Mayo 2005.

(44) SHARMA G. K. “Preparation of Easily Processable UHMW PE with Narrow Molecular Weight Distribution”, Eindhoven University, The Netherlands, 2005.

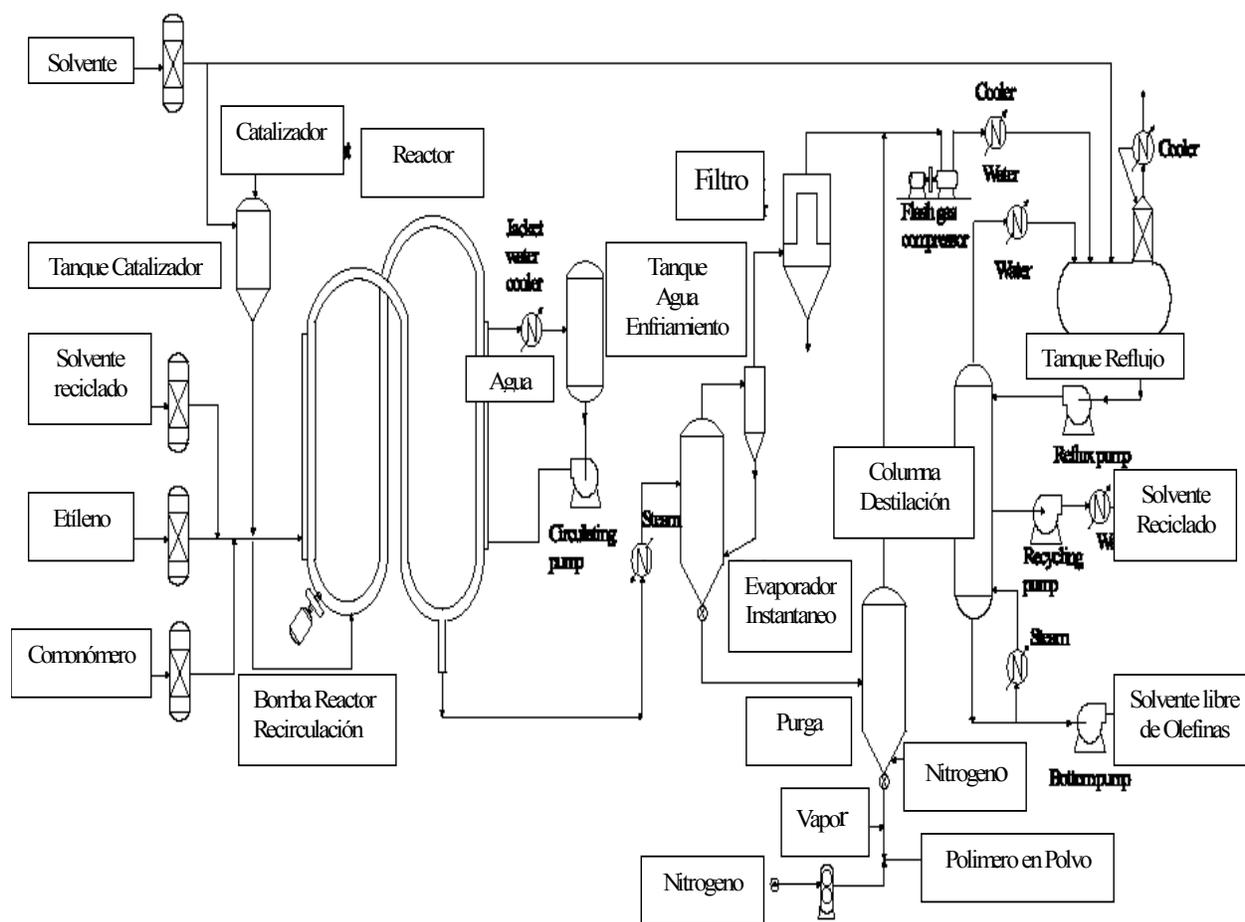


Figura 13: Proceso obtención de PE UHMW por polimerización de etileno en suspensión (SMITH, M. ET AL “Handbook of Petrochemical Production Processes” Capitulo 14.03, Mc Graw Hill Pub, NY 2004).

evitar que la suspensión se deposite en las paredes internas del mismo causando inestabilidad de la operación y paro. La concentración de polímero en la suspensión circulante puede llegar hasta el 40% mientras se sigan alimentando etileno, solvente inerte y sistema catalizador al reactor a la misma presión de 40 bar. El polímero se concentra hasta un 60 ó 70 % en peso de la suspensión al depositarse en zonas del reactor diseñadas para tal fin de donde se transfiere continuamente a evaporadores instantáneos que logran la separación del solvente. Las partículas de PE UHMW son entonces transferidas a un tanque de purgado con atmósfera inerte de nitrógeno donde se elimina cualquier impureza mediante arrastre con vapor de agua. El polímero obtenido en forma de polvo es secado y transferido a la sección de terminado. Una vez mezclado con algunos aditivos como antioxidantes, estabilizadores y ceras, el PE UHMW es almacenado en silos ó carros tolva de ferrocarril para su empaque final en tambores y cajas octagonales de cartón Kraft. En ocasiones, diversos paquetes de aditivos específicos como retardantes a la flama, agentes ultravioleta o incluso cargas minerales o reforzantes fibrosos se mezclan con el polímero para formar aglomerados para uso en aplicaciones particulares.

c) Estructura y Procesabilidad del Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

Como en el caso de todas las resinas plásticas, las propiedades termofísicas y mecánicas del PE UHMW son el resultado de la combinación particular de la composición química, tipo de estructura de las moléculas del polímero, interconexiones entre éstas y los cristales formados por ellas, así como del peso molecular, distribución de peso molecular, método de obtención y la presencia de aditivos. Sin embargo y en el caso particular de ésta resina, se puede considerar al peso molecular como el factor más trascendente de todos pues condiciona la estructura microscópica (45), el comportamiento mecánico y reológico (46), así como el proceso de transformación. El PE UHMW posee el peso molecular más alto entre todas las resinas plásticas de uso general o de ingeniería ya que la masa molecular promedio de sus grados comerciales supera a los 3.5 millones g/mol. Este fenómeno confiere al polímero un balance de propiedades único que incluye excelentes resistencias a la abrasión y al impacto, así como valores muy bajos de densidad, coeficiente de fricción, absorción de agua y conductividades eléctrica, térmica y acústica. Mientras que la mayoría de las propiedades termofísicas y mecánicas del PE UHMW permanecen constantes a lo largo de su rango de peso molecular, la dependencia de otras se correlaciona mediante valores experimentales de viscosidad intrínseca del polímero (47). A mayor peso molecular promedio, mayor es la viscosidad intrínseca y mayores son las resistencias a la abrasión y al ataque químico. Inversamente, a menor peso molecular promedio, menor es la viscosidad intrínseca y menores son la resistencia al impacto, el coeficiente de fricción, la absorción de agua y las conductividades eléctrica, térmica y acústica.

Por otro lado, los mismos factores que originan las propiedades ya descritas también determinan las limitaciones prácticas del PE UHMW. Dado el enorme peso molecular que posee, la resina presenta valores de viscosidad muy elevados que dificultan su transformación por métodos de moldeo convencionales y propician defectos de fusión en partes obtenidas por otros medios. El origen de la elevada viscosidad y baja procesabilidad del PE UHMW se encuentran en su

(45) MEIJER H. ET AL "Mechanical Performance of Polymer Systems , The Relation between Structure and Properties" Dutch Polymer Institute. ETU, Prog. Polymer Science, 30 (2005) 915 – 938.

(46) WAGNER H.L. ET AL "Viscosity and Molecular Weight Distribution of UHMW PE" J. App. Poly. Sci, 1988 , Volume 36 , p 567 – 582.

(47) EYERER P. ET AL "Characterization of UHMW PE , Extraction and Viscosimetry" Plast Ver Arbeiter, 1985 ; 36 46-54

estructura. El uso de microscopios electrónicos y tintes específicos han permitido observar la naturaleza combinada de ésta. Como lo muestra la Figura 14, la estructura del PE UHMW se modela como una larga cadena lineal de átomos de carbono que en estado sólido presenta regiones cristalinas ocluidas en regiones amorfas de la misma. La regiones cristalinas laminares son llamadas lamelas y están formadas por dobleces de la cadena molecular sobre sí misma. Mientras que dicha cadena llega a medir miles de Å , las lamelas se encuentran separadas entre sí por distancias menores a los 150Å , su espesor varía entre los 80 y 120Å y pueden contactarse entre sí mediante otras moléculas del polímero (49). A pesar de ser invisibles al ojo humano, éstas estructuras son las que difractan la luz natural y le dan al PE UHMW su apariencia blancuzca y opaca a temperatura ambiente.

Si bien la cantidad y la orientación de las lamelas dependen del peso molecular del PE UHMW y del proceso de fabricación, la presencia de las mismas y los enredos que significan en el seno del polímero restringen la movilidad de las cadenas moleculares durante cualquier proceso que involucre la fusión del mismo. La gran cantidad de energía y tiempo necesarios para que las cadenas moleculares se desdoblén de dichas estructuras cristalinas y se orienten en la dirección de flujo se ven reflejadas en las altas viscosidades que el PE UHMW presenta. Este fenómeno explica por qué el polímero no fluye como otras resinas de menor peso molecular cuando se eleva su temperatura por arriba del punto de fusión y por que resulta extremadamente difícil o imposible procesarlo a través de extrusión, extrusión – soplado y moldeo por inyección convencionales (50). Además, cualquier proceso que involucrara la masticación o plastificación del polímero involucraría el rompimiento de las largas cadenas moleculares en otras más pequeñas, disminuyendo algunas de las propiedades más deseables del producto como son la alta lubricidad y la resistencia a la abrasión y al impacto. Por lo tanto y dado que el PE UHMW es un polvo con tamaño de partícula promedio de quinientos micras, es necesario fusionar las partículas individuales de la resina para moldear cualquier producto. Este proceso de fusión o consolidación requiere de la combinación apropiada de temperatura, presión y tiempo de residencia. Las combinaciones precisas de éstas variables para cada aplicación constituyen

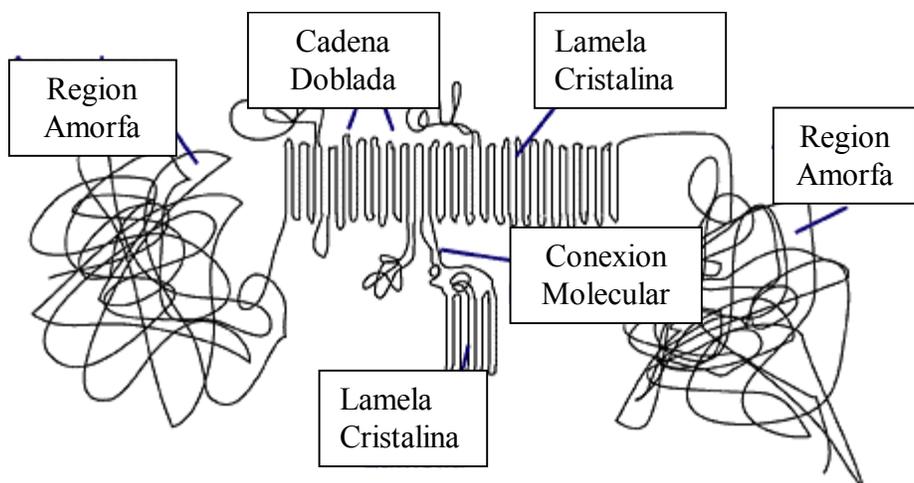


Figura 14 : Modelo para estructura molecular de PE UHMW (48)

(48) VARIOS AUTORES “ HMW PE Lexicon” Ticona A.G. [http : www.UHMWPE.org/Lexicon/Primer/Processing.html](http://www.UHMWPE.org/Lexicon/Primer/Processing.html).

(49) BELLARE A ET AL “Small Angle X Ray Scattering Study of HMW PE” *Macromolecules*, 1995 , Vol 17, p 2325 – 33.

(50) CAHN R.W. ET AL “Materials Science and Technology : Processing of Polymers” Vol 18, VCH, Weinheim, 1997

secretos industriales, aunque los principios científicos del proceso son bien entendidos (51). El mecanismo gobernante de la fusión o consolidación es la auto-difusión, en donde las cadenas moleculares de partículas adyacentes ó partes de ellas se entremezclan parcial o totalmente. La cinética de la difusión intergranular es propiciada por la cercanía de las interfases granulares y la movilidad de las cadenas moleculares sometidas a alta presión y alta temperatura. Ya que el proceso está limitado por la difusión misma, la consolidación del PE UHMW requiere de considerable tiempo bajo dichas condiciones para asegurar la migración de las cadenas moleculares a través de las fronteras granulares. Mientras mas completa sea la difusión, menores serán los defectos de fusión o frontera granular que todos los productos así moldeados presentan y mejores serán las propiedades mecánicas y apariencia de los mismos.

Para lograr tal efecto, el PE UHMW generalmente se procesa mediante moldeo por compresión o mediante el uso de un extrusor de pistón. En el moldeo por compresión, las partes se moldean en moldes individuales. La resina se introduce a las cavidades del molde precalentado donde se aplica presión para forzar el contacto del material con la superficies del mismo. La resina permanece dentro del molde bajo condiciones específicas de temperatura y presión hasta lograr su “curado”. La pieza así moldeada es extraída y terminada según las necesidades de producción. Mientras que el moldeo por compresión se emplea principalmente para fabricar partes y piezas terminadas, el proceso es capaz de moldear placas de hasta 1.5 m de ancho, 3 m de altura y espesores mayores a 1.25 cm. La principal ventaja de éste proceso es su capacidad de moldear partes largas o intrincadas con superficies mejor acabadas que aquéllas moldeadas por inyección convencional. Además, el proceso de compresión provoca menor degradación molecular del polímero moldeado (52).

Por otra parte, la extrusión por pistón se emplea principalmente para producir barras, tubos y otros perfiles que generalmente son maquinados para obtener un producto final. En éste proceso, el PE UHMW es alimentado en forma de polvo (ó pellets en algunas ocasiones) y de manera continua al extrusor. El extrusor esencialmente consiste de una tolva que permite al polvo entrar a una recámara calentada eléctricamente, un pistón horizontal reciprocante y un molde o “dado” caliente que contiene la sección transversal de la forma deseada. El polvo es alimentado a la recámara donde se mantiene bajo presión gracias a la acción positiva del pistón. La resina comprimida es empujada a través de las zonas de calentamiento de la recámara para fundirse paulatinamente gracias a la fricción que genera al ser forzada contra la superficie interior del dado. Una vez extruído, el perfil es enfriado lentamente mediante flujo inducido de aire o baño de agua fría. Este proceso es capaz de producir perfiles de hasta 30 cm de diámetro pero la velocidad de extrusión y la productividad están limitadas a la viscosidad de la materia prima y a la velocidad de enfriamiento de los productos extruídos. Asimismo, las características del sistema hidráulico, la capacidad de calentamiento, la longitud del dado y la dureza del material son factores que también afectan la productividad del proceso. Las velocidades típicas de la extrusión por pistón de PE UHMW son del orden de centímetros por minuto (53).

Finalmente, es de hacer notar que la creciente fabricación de fibras de PE UHMW utiliza un proceso muy diferente a los antes descritos. Si bien la procesabilidad del polímero en polvo obtenido del reactor es muy reducida para efectos de extrusión convencional, ésta aumenta de manera dramática al disolver el PE UHMW y posteriormente re-cristalizarlo para formar un gel

(51) WANG X. Y. ET AL “Processing of UHMW Polyethylene” Jour. App. Poly. Scie. 1988; 35, 2165 -2171.

(52) JENKINS H., KELLER A. “Compression Moulding of UHMW PE” Plast. Rubber. Proc Appl 1985; 5, 313 – 317.

(53) KURTZ, S. “The UHMW PE Handbook”, 1st Edition, Elsevier Academia Press, NY 2005.

del cual se obtiene la fibra. Este tratamiento reduce substancialmente la presencia final de lamelas y enredamientos en el seno del polímero. Fibras de alto desempeño como las comercializadas bajo las marcas Spectra ® ó Dyneema ® son extruídas a alta velocidad gracias a la re-cristalización de PE UHMW en decahidronaftaleno (54).

d) Propiedades Físicas y Químicas del Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

Como ya fué mencionado, las propiedades mecánicas del PE UHMW están condicionadas por la presencia de numerosos enredamientos en la estructura de las cadenas moleculares que lo forman y por el enorme peso molecular que éstas poseen. El efecto de éstos dos factores en las propiedades físicas y químicas del PE UHMW se pueden observar en las tablas V y VI donde se comparan éstas contra las de otras dos clases de polietileno que esencialmente tienen la misma composición química pero poseen diferentes morfologías y pesos moléculares promedio (55). Mientras que los pesos moleculares promedio de los grados comerciales de PE UHMW se encuentran en el rango de 3.5 a 7.0 millones g/mol, el peso molecular promedio del típico polietileno de baja densidad (PEBD) es de 120,000 g/mol y el correspondiente al homopolímero de polietileno de alta densidad (PEAD) típico no rebasa los 200,000 g/mol.

Como se puede ver en dichas tablas, aquéllas características de los polietilenos que dependen de la composición química muestran variaciones en función del peso molecular que resultan poco significativas desde el punto de vista industrial. El PEUHMW posee la mayoría de las ventajosas propiedades físicas y químicas de la familia polietilénica, entre las que se cuentan densidades reducidas, baja absorción de humedad, estabilidad biológica y elevada resistencia al ataque de químicos, ambientales y radiación. Asimismo, este polímero conserva las bajas conductividades térmicas, eléctricas y acústicas típicas de las poliolefinas y que son de gran provecho en numerosas aplicaciones industriales. Por otro lado, el efecto de la magnitud del peso molecular del polímero es notable en aquéllas propiedades mecánicas que contribuyen positivamente a la durabilidad de artículos moldeados polietileno y puede decirse que tal magnitud es el origen de las características más interesantes del PE UHMW desde el punto de vista industrial. Esta resina presenta el coeficiente de fricción más bajo y el nivel de lubricidad más alto de las poliolefinas al grado de que produce superficies auto-lubricadas. Además, el PE UHMW no sólo posee las más elevadas resistencias al desgaste, a la fatiga cíclica y al impacto entre las poliolefinas, sino que los valores de dichas propiedades no son afectadas negativamente por exposición a bajas temperaturas.

Asimismo y como se puede ver en la Figuras 15 y 16 (56), El PE UHMW presenta la más elevada resistencia a la abrasión, así como la más alta resistencia al impacto entre todas las resinas disponibles comercialmente. Dichas características, combinadas con la ausencia de corrosión y su elevada resistencia a los agentes químicos y ambientales hacen que la aplicación de la resina sea sumamente efectiva en una amplia gama de productos de alto desempeño que requieren durabilidad en condiciones extremas de uso incluyendo altas humedades ó temperaturas criogénicas. Además, el PE UHMW presenta valores de otras

(54) GARCIA-LEINER M. ET AL "Drawing of UHMW PE Fibers in the Presence of Super Critical CO₂" Journal Polym. Sci. Phys 41, 1375-1383, 2003

(55) HUARTE D., JONES K. editors "Plastic Materials Properties ; Material Properties Handbook", Cole Parmer Inc, NY, USA 2003

(56) STEIN H.L. "Ultra High Molecular Weight Polyethylene" Engineered Materials Handbook, Vol 2, ASME, NY 1998)

PROPIEDADES FISICAS TÍPICAS DE POLIETILENOS .				
Prueba ASTM ó ISO	PROPIEDADES	PEBD	PEAD	PE UHMW
D792	Densidad (g /cm ³)	0.923	0.952	0.930
D570	Absorción de agua 24 hr (%)	<0.01	0	0
D638	Fuerza tensil (psi) a relajación	1,800- 2,200	4,600	3,100
D638	Elongación tensil a relajación (%)	600	900	20
D638	Módulo tensil (psi)	-	-	-
D790	Esfuerzo a flexión (psi)	-	-	-
D790	Modulo de Flexión (psi)	48,000	200,000	125,000
D256	Impacto Izod especimen cortado (ft-lb/in)	No Break	3	No Break
ISO 11359	Impacto Charpy especimen cortado Kj/m2	5	12	130
D785	Dureza, Shore D	D41-D50	D69	D61-D66
D1628	Viscosidad pa* s (ml/g)	17,000	27,000	(2,400)
D1084	Coefficiente de fricción	0.19	0.26	0.10
D1044	Resistencia abrasión Taber (1,000 ciclos)	38	17	6
C177	Conductividad térmica (BTU-in/ft ² -hr-°F) (x 10 ⁻⁴ cal/cm-sec-°C)	2.52 8.94	2.99 10.33	2.92 10.06
D648	Temperatura de deflección (°F / °C) a 66 psi a 264 psi	120 / 48 105 / 36	170 / 76 150 / 40	203 / 95 180 / 82
D3418	Temperatura de Fusión (°F / °C)	230 / 110	260 / 125	280 / 138
-	Temperatura máxima de operación (°F / °C)	160 / 71	180 / 82	180 / 82
UL94	Flamabilidad	HB	HB	HB
D149	Fuerza Dieléctrica (V/mil) short time, 0.125 cm espesor	460-700	450-500	900
D150	Constante dieléctrica a 1 kHz	2.25-2.30	2.30- 2.35	2.30-2.35
D150	Factor de disipación a 1 kHz	0.0002	0.0002	0.0002
D257	Resistividad volúmetrica (ohm-cm) at 50% RH	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁸
D495	Resistencia al arco (sec)	135-160	200-250	250-350

Tabla V : Propiedades Físicas Típicas de Polietilenos (Huarte D., editor “Plastic Materials Properties; Material Properties Handbook”, Cole Parmer, Inc, 2003).

RESISTENCIA QUIMICA TIPICA DE POLIETILENOS .

E = Excelente ; sin efecto alguno.

B = Bueno ; daño moderado después de 30 días

S = Suficiente ; daño severo después de 30 días de exposición al agente

N = No recommendable

Agente Químico @ 293 K	PEBD	PEAD	PE UHMW
Acidos Inorgánicos	E	E	E
Acidos Orgánicos	E	E	E
Agentes Oxidantes Concentrados	B	B	B
Alcoholes	E	B	B
Aldehídos	B	B	B
Aminas	B	B	B
Bases	E	E	E
Cetonas	B	B	B
Esteres	B	B	B
Eteres	E	E	E
Glicoles	E	E	E
Hidrocarburos Alifáticos	B	B	B
Hidrocarburos Aromáticos	B	B	B
Hidrocarburos Halogenados	B	B	B
Aceites Minerales	S	E	E
Aceites Vegetales	B	B	B
Aceites Lubricantes	B	E	E

Tabla VI : Resistencia Química Típica de Polietilenos (HUARTE D. editor “Plastic Materials Properties; Material Properties Handbook”, Cole Parmer Inc, 2003).

propiedades termofísicas o mecánicas que le permiten competir por varias aplicaciones tradicionales de las llamadas resinas de ingeniería. Como se puede ver en la Tabla VII, en donde se comparan las principales propiedades promedio de los grados de extrusión de algunos tipos de resina, la principal limitante para la aplicación del PE UHMW es la reducida temperatura máxima de uso continuo (82 C) que ofrece. Asimismo, la resina no es auto-soportable por lo que las piezas o partes moldeadas en ella requieren ser troqueladas o acondicionadas mediante tornos, taladros y esmeriles para poder sujetar con tornillos o remaches las estructuras construidas a partir de ellas. Además, dada la gran resistencia de la resina al ataque químico, aún no existe adhesivo comercial capaz de mantener dos superficies de PE UHMW unidas permanentemente con intensidad de aplicación industrial. Estas limitaciones se suman a la baja productividad del proceso de transformación y los elevados costos del equipo ó herramental de moldeo por compresión y extrusión como los principales obstáculos para especificar PE UHMW en una aplicación plástica dada.

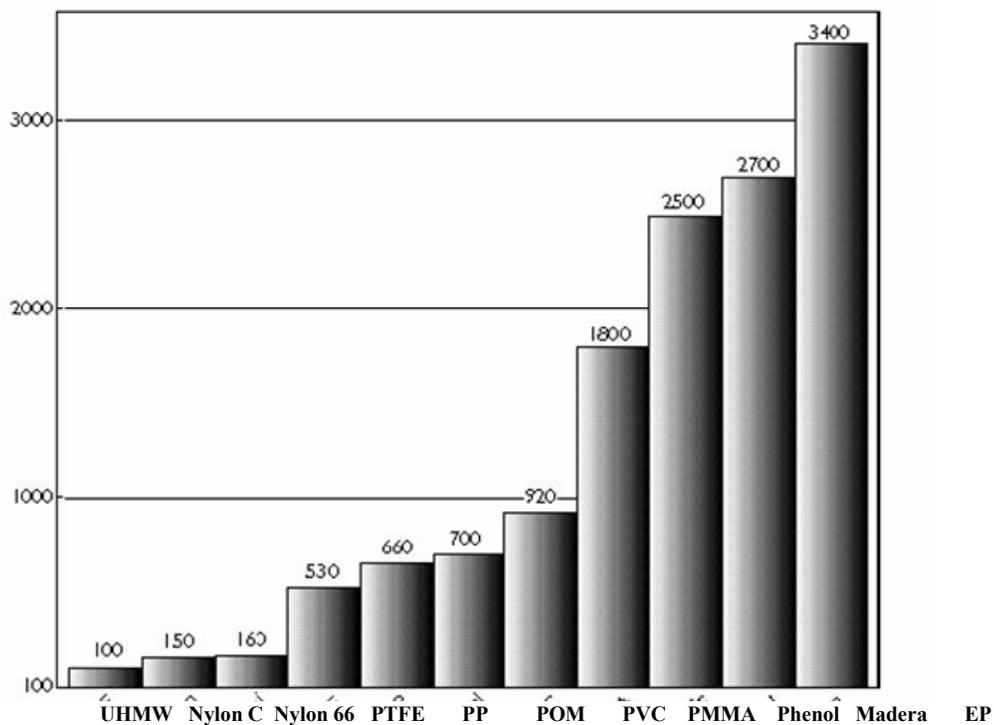


Figura 15 : Pérdida Volumétrica en Resinas Plásticas como Porcentaje de PE UHMW (STEIN H.L. “UHMW PE” Engineered Materials Handbook, Vol 2, ASME, NY 1998)

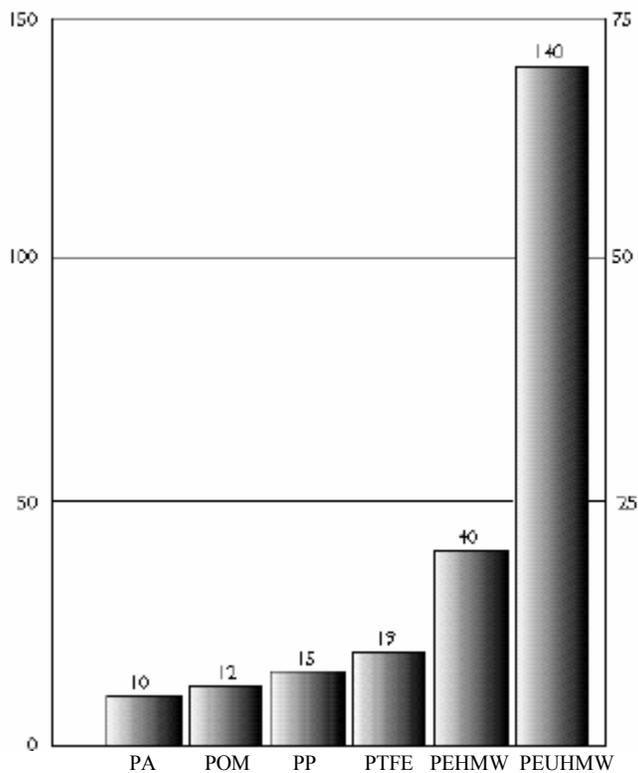


Figura 16 : Comparación Resistencia al Impacto (Kj/m²) a Baja Temperatura en Resinas de Ingeniería (STEIN H.L. “Ultra High Molecular Weight Polyethylene” Engineered Materials Handbook, Vol 2, ASME, NY 1998)

COMPARACION DE PROPIEDADES SELECTAS DE RESINAS PLASTICAS.

GRADOS TIPICOS DE EXTRUSION PARA USO GENERAL.

Propiedad	Método	UHMW PE	POM Homo	Nylon 66	Nylon 6	PTFE	PP Copo
Gravedad Específica @ 23 / 23 C	ASTMD792	0.930	1.42	1.02	1.14	-	0.89
Absorción de Agua %	ISO62	0.0	0.22	1.50	2.2	0.0	0.0
Modulo Tensil Psi @ 73F	ISO527 -1,2	154,000	110,000	79,800	58,000	-	203,000
Esfuerzo Tensión a Relajación @ 73F	ISO527 -1,2	6,400	10,200	3,920	5,950	3,000	4,060
Elongación Tensil Máxima % @ 73F	ASTMD638	350	80	260	230	225	400
Impacto Tensil ft lb / in2 @73F	ASTMD1822	1,000	100	571	649	200	75
Impacto Charpy Ft lb / in2	ISO 179	11.9	7.14	5.70	6.14	-	4.76
Dureza Rockwell Escala	ASTMD785	R64	M92	R100	M57	R45	R90
Abrasión Taber Cs 17 1000g/5000r mg	ASTM D1044	6.0	22	5	12	42	20
ESCR mínimo hr Cond A, F50,100% Ig	ASTMD1693	2,000	-	-	-	-	-
Expansión Térmica 10-5 in/in/ C	ASTMD696	12	8.5	-	-	10	9.0
Temperatura Max Operación F/C	VARIOS	170 / 82	230/110	413/212	398/203	-	182 /83

Tabla VII : Comparación de Propiedades Selectas en Resinas Plásticas de Extrusión.

Recopilación de valores promedio realizada por el autor en base a información disponible en varias bases de datos de propiedades de resinas plásticas como IPS, IDES y literatura comercial.

e) Productores de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

En la actualidad, solo existen en el mundo tres productores comerciales de resina virgen de PE UHMW y la capacidad instalada de producción combinada se puede estimar en algo menos de cien mil toneladas por año si únicamente se consideran los reactores dedicados exclusivamente a este polímetro (57). Entre estos, la compañía alemana Ticona A.G. es con mucho el más grande e importante y cuenta con plantas gemelas de 30,000 TPA de capacidad en los E.U.A y Alemania en donde produce PE UHMW y algunos otros derivados. Se estima que Ticona domina dos tercios del mercado mundial de ésta resina que comercializa bajo la marca GUR ® para resina virgen y GUR GHS ® para especialidades. Ambas líneas se distribuyen en presentaciones de 25 y 1,000 kg empacados en sacos de tres capas papel Kraft o película de PEBD y cajas Kraft octagonales respectivamente. Las especificaciones correspondientes a todos los grados de PE UHMW GUR ® disponibles actualmente se encuentran agrupadas en la Tabla VIII (58). El grado 4152 especificado por The Chamberlain Group y The Genie Co. para la producción de las cubiertas para las transmisiones de tornillo sin fin de los elevadores electromecánicos de puerta de cochera se destaca en negrillas.

En 2002 , Basell Corporation vendió su negocio de PE UHMW a Polialden S.A. de Brasil para posteriormente cerrar su planta en los Estados Unidos de America. Un año más tarde, Polialden se fusionó con otras entidades petroquímicas sudamericanas para coinvertir con Mitsubishi Chemicals, Nisho Iwai y otros inversionistas locales en la creación de Braskem SA. Esta nueva compañía es el productor de petroquímicos más grande de América del Sur pero comercializa su PE UHMW desde los E.U.A. bajo la marca UTEC. Las especificaciones de éstas resinas se pueden ver en la Tabla IX, junto con las de los grados de PE UHMW producidos por Westlake Polymers Inc. (59). Esta última compañía está localizada en Houston, Texas pero es propiedad de inversionistas taiwaneses y posee un reactor de circuito vertical con tecnología Phillips donde produce principalmente PEAD para venta al público. La producción de PE UHMW generalmente se vende de manera cautiva a una compañía subsidiaria que fabrica partes y piezas en diversos materiales.

Por otro lado, existen algunas compañías que se proclaman fabricantes de PE UHMW al amparo de la especificación ASTM D1238 – 03 que clasificaba de manera muy general los diferentes grados de polietilenos y polipropilenos para inyección y extrusión convencionales. Sin embargo, éstas resinas pocas veces rebasan los 500,000 g / mol de peso molecular, no cumplen con las normas ASTM D4020, ISO11542 e ISO1628 previamente discutidas y son extensiones tecnológicas de resinas de polietileno de alto peso molecular usadas para fabricar empaque flexible por extrusión de película, tubería por extrusión convencional y contenedores de alta resistencia mediante extrusión soplado. Asimismo, existen algunos fabricantes de compuestos que adquieren la resina virgen en polvo para agregarle paquetes propietarios de aditivos para cubrir aplicaciones específicas. Poli Hi – Solidur, probablemente el más grande fabricante mundial de partes y placas de PE UHMW, comercializa 16 diferentes grados de dichos compuestos a través de los cuales da un destino económico al polímero sólido residual que se descarta al maquinar dichos artículos así como a los artículos destinados a reproceso.

(57) VARIOS AUTORES. “Outlook for Polyolefins 2004”. CMA Inc., Houston, TX, USA, 2003

(58) IDES Prospector X5 “Ticona LLC UHMW PE Data Sheets”, [http: www. X5.ides.com/ Datasheets.aspx?](http://www.X5.ides.com/Datasheets.aspx?)

(59) IDES Prospector X5 “Braskem & Westlake Polymers UHMW PE Data Sheets”, [http : www..X5.ides.com/ Datasheets.aspx?](http://www.X5.ides.com/Datasheets.aspx?)

Propiedades y Unidades	Método	Ticona GUR 2122	Ticona GUR 4113	Ticona GUR 4120	Ticona GUR 4130	Ticona GUR 4150	Ticona GUR 4152	Ticona GUR 4170	Ticona GUR 5113
Presentación	-	Polvo	Pellets	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo	Pellets
Procesamiento	-	CM	CM	CM	CM	CM	EXTP	CM	IM
Densidad, g/cm ³	ISO 1163	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930
Absorción Agua, Sat / 23C	ISO 62	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Modulo de Tensión, psi x 10 ⁻³	ASTM D 638	102	-	102	102	102	102	86	124
Esfuerzo Tensión Relajamiento, psi	ISO 527 – 1, 2	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100	3,100
Impacto Charpy, KJ/m ²	ISO 11542 – 2	120	130	210	180	130	130	50	150
Impacto Charpy Cortado, ft*lb/in ²	ISO 179	57.1	-	99.9	85.7	61.9	61.9	23.8	-
Dureza Escala D	ASTM D 2240	63	64	63	62	61	61	60	-
Dureza Escala Shore D, 15 seg.	ISO 868	60	-	60	60	61	61	60	-
HDT B, (0.45 Mpa), No Anillada, F	ISO 75B –1, 2	149	149	149	149	149	149	149	149
HDT A, (1.80 Mpa), No Anillada, F	ISO 75A – 1, 2	108	108	108	108	108	108	108	108
Vicat Punto de Ablandamiento	ASTM D1525	176	176	176	176	176	176	176	176
Viscosidad Number, cm ³ /g	ISO 307	2,200	2,600	2,400	3,050	3850	2,800	4,300	-
Pérdida por Abrasion	Ticona	100	110	100	90	80	80	70	-
Desgaste Emulsion Arena, 4120 = 100	Ticona	100	80	100	90	80	80	70	-
Flamabilidad, UL (0.0630 in)	UL 94	HB							

Claves :

CM – Moldeo por compresión

EXTR - Extrusión Pistón

IM - Moldeo por inyección

Tabla VIII : Resinas de PE UHMW producidas por Ticona A.G. (Recopilación realizada por el autor en base a información disponible en IDES – IPS) (63).

Propiedades y Unidades	Método	Braskem UTEC 3040	Braskem UTEC 3041	Braskem UTEC 4040	Braskem UTEC 6540	Braskem UTEC 6541	Westlake Lennite	Westlake Lennite XL
Presentación	-	Pellets	Pellets	Pellets	Pellets	Pellets	Auto	Auto
Procesamiento	-	CM	CM	EXTP	CM	CM	CM	IM
Densidad, g/cm ³	ISO 1163	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.930
Absorción Agua, Sat / 23C	ISO 62	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Modulo de Tensión, psi x 10 ⁻³	ASTM D 638	-	-	-	-	-	-	124
Esfuerzo Tensión Relajado, psi	ASTM D 638	2,610	2,610	2,610	2,610	2,610	3,100	3,100
Impacto Charpy, KJ/m ²	ISO 11542 – 2	170	170	170	80	80	-	150
Impacto Charpy Corte, ft*lb/in ²	ISO 179	-	-	-	-	-	-	-
Dureza Escala D	ASTM D 2240	62	62	62	62	62	60	60
Dureza Escala Shore D, 15 seg.	ISO 868	-	-	-	-	-	60	60
HDTB, (0.45Mpa), No Anillada, F	ISO 75B – 1, 2	-	-	-	-	-	-	-
HDTA, (1.80Mpa), No Anillada, F	ISO 75A – 1, 2	-	-	-	-	-	-	-
Vicat Punto de Ablandamiento	ASTM D1525	118	262	262	262	262	203	203
Viscosidad Number, cm ³ /g	ISO 307	-	-	-	-	-	-	-
Pérdida por Abrasion, Taber, mg	ASTM D 1044	37.0	37.0	30.0	23	23	-	-
Desgaste Emulsion Arena, Acero	Interno	35	35	30	25	25	-	-
Flamabilidad, UL (0.0630 in)	UL 94	HB	HB	HB	HB	HB	HB	HB

Claves :

Auto - Autoconsumo para la fabricación de partes por CM y EXTP.

CM – Moldeo por compresión

EXTR - Extrusión Pist

IM - Moldeo por inyección

Tabla IX : Resinas de PE UHMW producidas por Braskem y Westlake (Recopilación realizada por el autor en base a información disponible en IDES – IPS).

f) Aplicaciones Industriales de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

Actualmente, las tres características más importantes en la aplicación industrial de PE UHMW son la elevada resistencia al desgaste por abrasión, los altos valores de resistencia al impacto y las propiedades autolubricantes de las superficies de los artículos producidos con el mismo. Estas propiedades se suman a las excelentes resistencias a la fatiga cíclica, a las bajas temperaturas y a la corrosión para propiciar el uso de piezas ó partes de PE UHMW en aplicaciones tan variadas como implantes óseos artificiales ó equipos de manejo a granel de cereales, minerales y cemento. Además, éstas propiedades pueden mejorarse a través de uso de aditivos como agentes ultravioletas, antiestáticos, estabilizadores térmicos y colorantes para reducir las limitaciones propias de una poliolefina.

Las aplicaciones del PE UHMW en el manejo de gráneles incluyen cubiertas para silos, tolvas, carros de ferrocarril, cajas de camiones de volteo y transportadores mecánicos de tornillo, banda o cangilones. Asimismo, la resina se usa para fabricar soportes, retenedores, rodamientos y engranes de éstos equipos, así como carcazas e impulsores de bombas y asientos ó sellos de las válvulas empleadas en la industria de proceso químico. Entre éstas, la industria de tratamiento de aguas emplea varias partes fabricadas en PE UHMW como paletas de agitación de lodos, marcos de membranas filtrantes, sedimentadores y contenedores de químicos y aditivos. Sin embargo, el mayor consumo de PE UHMW se debe a la fabricación de placas y perfiles semi-terminados que posteriormente son maquinados bajo diseño. Se estima que unas cuarenta mil toneladas de polímero son troqueladas en piezas y partes para diferentes fines (60). Las propiedades de la resina, más la facilidad con la que se maquina, hacen de ésta una opción muy efectiva para un buen número de aplicaciones desde el punto de vista costo / beneficio. Las placas se moldean por compresión en tamaños estandarizados, pudiéndose obtener en espesores de hasta un octavo de pulgada para termoformar aislamientos acústicos para la industrias de la construcción y automotriz. Otras aplicaciones automotrices son la fabricación de separadores para el aislamiento de electrodos de baterías, soportes interiores para asientos ó vestiduras y partes exteriores de motocicletas, tractores y trineos motorizados. Entre los perfiles extruídos con PE UHMW se cuentan tuberías especializadas para el transporte de fármacos y alimentos ya que el polímero es químicamente inerte y cumple con los requerimientos FDA y USDA. Además, como las superficies de los perfiles obtenidos no son porosas, su aplicación no promueve el crecimiento de hongos y bacterias. Rodillos para el manejo de papel, pulpa y empaques flexibles son otros ejemplos de perfiles extruídos del mismo polímero.

La fabricación de fibras textiles ocupa un lugar cada vez más prominente en el consumo de PE UHMW. Mediante un proceso especializado de aglomeración de las mismas, es posible obtener laminados porosos que son utilizados como medios filtrantes para líquidos y gases ó como contenedores de tinta para artículos de escritura. Asimismo, la resina se emplea para la fabricación de las nuevas generaciones de cuerdas náuticas y materiales resistentes al uso de armas de fuego. Estos son textiles no tejidos de PE UHMW que siendo muy ligeros son capaces de resistir impactos balísticos de alta velocidad superando los límites establecidos para otras fibras de aramida como el Kevlar ® de Du Pont. Como se comentó en secciones anteriores, las fibras de PE UHMW son obtenidas mediante procesos patentados de hilatura en gel (“gel spinning”) a partir de polímero recristalizado. Subsecuentes tratamientos permiten que los

(60) Day, Earle. “Continuous Extrusion of Recovered Ultra High Molecular Weight Polyethylene” Technical Research Program. Chelsea Center for Recycling and Economic Development, Leyden, MA 2003

aglomerados fundan a temperaturas mucho más altas (150C) que el polietileno convencional. La tela no tejida se usa en aplicaciones de alto desempeño como vestimentas anti-bala, cascos, armadura para vehículos y la fabricación de superficies compuestas para aplicaciones estructurales especializadas. Se estima que el consumo anualizado de éstas fibras de PE UHMW es de 7,000 toneladas y que la capacidad instalada combinada de las plantas de los dos únicos fabricantes de la misma no cubre la demanda actual. Por tal motivo y en base a las circunstancias internacionales actuales, tanto Honeywell Corporation como DSM Engineering Materials han anunciado expansiones de las mismas para 2006.

Finalmente, entre las aplicaciones de menor volúmen para el PE UHMW se pueden mencionar la fabricación de los núcleos de pelotas de golf y la formulación de aditivos para pinturas, recubrimientos, así como modificadores de resinas acetalicas, compuestos de PVC y otros polietilenos.

2.- Criterios de Selección de Materiales Alternativos al PE UHMW .

En base a la información detallada anteriormente, se pueden establecer los siguientes criterios para seleccionar materiales alternativos o sustitutos del PE UHMW en la fabricación de las cubiertas plásticas de los elevadores electromecánicos de puertas de cochera.

Los materiales alternativos / sustitutos del PE UHMW GUR 4152 ® deben de :

A) Poseer excelente o muy buena resistencia a la abrasión. Valores de prueba Taber (ASTM D1044) y abrasión (API6AV1) muy similares a los correspondientes a PE UHMW GUR 4152 ®.

B) Poseer coeficientes de fricción muy bajos. Valores de prueba de coeficiente de fricción (ASTMD1084) semejante al presentado por PE UHMW GUR 4152 ®

C) Poseer estabilidad estructural y dimensional entre las temperaturas de 243K (-24F/-16C) y 352K (180F/82C).

D) Ofrecer el costo de adquisición más bajo posible. Valores de densidad / gravedad específica (ASTM D792 ó ISO 1183) y costo unitario similares a PE UHMW GUR 4152 ®

E) Ser procesable por medios más económicos que la extrusión por pistón.

F) Ser reprocesable bajo las condiciones de extrusión originales para permitir el reciclamiento del material proveniente de partes no conformes . Las prácticas de buena manufactura comunes a extrusión permiten el uso de hasta 25% en peso de material reciclado en partes.

G) Ser resistente a grasas y aceites lubricantes como los recomendados por los fabricantes de elevadores electromecánicos para su mantenimiento. Estos lubricantes contienen aceite nafténico de petróleo, cloruro de metileno, ácido esteárico y sulfuro de molibdeno (61).

(61) Radiator Specialty Company "Composition of Industrial Lube with Molibden", USA 2004

H) Poseer grado de flamabilidad equivalente al del PE UHMW GUR 4152 ®. Los valores experimentales UL 94 deben ser calificables como HB.

I) Su disponibilidad en México no debe estar sujeta a restricciones comerciales.

J) Su procesamiento no debe significar riesgos adicionales a los correspondientes al PE UHMW GUR 4152 ®. Los materiales no deben generar residuos tóxicos o peligrosos que demanden medidas de seguridad adicionales.

La Tabla X que se muestra a continuación, presenta la información necesaria para aplicar éstos criterios de selección a un conjunto de grados representativos de resinas escogidas por su potencial para cubrir dichos requerimientos y seleccionar aquéllas adecuadas para formular alternativas de fabricación para cubiertas plásticas de los elevadores electromecánicos. Dicha tabla incluye grados de extrusión de polietileno de muy alto peso molecular (PEVHMW), nylon 6 (Ny 6), nylon 66 (Ny 66), homopolímero de acetal (POM) y copolímero de polipropileno (PP Copo). No se incluyó ningún grado de PVC rígido debido a que ésta resina presenta valores relativamente bajos de resistencia a la abrasión y condiciona características importantes del equipo de extrusión. El PE UHMW GUR 4152 se incluye como referencia.

Como se puede observar en dicha tabla, homopolímeros de acetal como la resina Delrin 100P® (al igual que los copolímeros) presentan valores muy bajos para las pruebas de resistencia Taber y API6AV1 por lo que su selección no es recomendable. Además, los altos valores de su densidad y su costo unitario se multiplicarían para resultar una opción muy costosa. Asimismo y a pesar de que podría ser una opción muy atractiva debido a su baja densidad y costo unitario, el PP Hostalen G1022® (y los copolímeros de polipropileno en general) también presenta valores muy bajos de resistencia Taber y API6AV1 como para ser considerado una opción viable. Por ultimo, el Ultramid B 8253 indica que el Nylon 6 tampoco cubre los criterios de resistencia a la abrasión para ser considerado como un sustituto viable del PE UHMW utilizado.

En contraste, tanto la resina Vydine 65A® como el polietileno de muy alto peso molecular Hostaloy 731 cubren los criterios requeridos para substituir al PE UHMW en la fabricación de cubiertas plásticas para elevadores electromecánicos. Todas las resinas nylon 66 (aún aquéllas de uso general) ofrecen coeficientes de fricción bajos y muy buenas resistencias a la abrasión y al impacto. Además, éstas resinas poseen densidades bajas y costos muy moderados. Por su parte, los polietilenos de muy alto molecular como el Hostaloy 731 son las resinas más parecidas a los PE UHMW por lo que no es de extrañar que presenten coeficientes de fricción extremadamente moderados y excelente resistencia a la abrasión y al impacto. Ambas resinas son detalladas a continuación.

3.- Polietilenos de Muy Alto Peso Molecular (PE VHMW).

Este grupo “no oficial” de polietilenos incluye a todos aquéllos homopolímeros y copolímeros que presentan pesos moleculares muy elevados pero que no califican como PE UHMW según la norma ASTM D 4020 - 00. De acuerdo a la misma, ésto significa que el grupo prácticamente contiene a todos los polietilenos que posean viscosidades intrínsecas de hasta 19 dl/g y cuyos

Propiedades .	PE UHMW GUR4152®	PE VHMW HOSTALLOY 731 ®	Ny 6 ULTRAMID 8253	Ny 66 VYDYNE 65A®	POM Delrin 100P®	PP Hostalen G1022®
Resistencia a la Abrasión, Taber. (mg) ASTMD1044 Acero cédula 30, 1,000 ciclos	1	1.7	12	5	22	20
Resistencia a la Abrasión, API 6AV1 (% SS) Suspensión 50% / 50 %, 8hrs.	5	13	58	15	110	42
Coefficiente Fricción Dinámico, ASTMD1084	0.10	0.16	0.40	0.40	0.17	0.33
Estabilidad Estructural y Dimensional.	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Buena
Densidad / SG. ASTMD792 / ISO1183 (g / cc)	0.930	0.950	1.13	1.14	1.42	0.899
Costo, FOB Continental USA . (US \$ / lb)	1.25	1.25	1.39	1.44	1.37	0.78
Proceso de Transformación .	Ext Pistón	Ext Conv	Ext Conv	Ext Conv	Ext Conv	Ext Conv
Resistencia a Grasas y Aceites .	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Buena
Flamabilidad UL @ 0.063 in	HB	HB	HB	HB	HB	HB
Seguridad	Excelente	Excelente	Buena	Buena	Buena	Excelente
Disponibilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena

Notas : Datos de PE UHMW GUR4152®, PE VHMW Hostalloy 731® Ticona Corp. Datos de Vydine 65A ® Solutia, Inc.

Datos de Delrin 100 P ® Du Pont Co. Hostalen G1022 ® Elenac A.G.

Precios vigentes @ 10/12/05 cortesía de Ashland Chemical Inc. y Albis Corporation.

Tabla X : Criterios de Selección entre Resinas Plásticas para Cubiertas de Elevadores.

pesos moleculares estén entre los quinientos mil y tres millones g/mol . Por lo tanto, en ésta categoría es posible encontrar diversos grados para diversas aplicaciones y que son procesables por casi todos los métodos conocidos. Entre ellos se encuentran tanto materiales diseñados para fabricar empaque flexible de alto desempeño por extrusión de película, como aquéllos empleados para fabricar tambores y tanques de gasolina para automóviles ó los recientes desarrollos que presentan muy altos pesos moleculares y son procesables por inyección o extrusión convencionales como el Hostalloy 731.

La tecnología responsable de éstos nuevos grados es producto del trabajo de investigadores universitarios y de compañías privadas cuyo objetivo ha sido producir polímeros que posean las excelentes propiedades de resistencia a la abrasión, resistencia al impacto y lubricidad del PE UHMW ó el teflón pero que además sean fácilmente procesables por medios de transformación convencionales. El primer paso dado en tal dirección fué comprender detalladamente y por separado las relaciones entre la distribución de peso molecular y el comportamiento del material en proceso ó las propiedades macroscópicas para establecer modelos de simulación que hoy ya reproducen el comportamiento reológico y el desgaste por abrasión experimentales de mezclas de PE UHMW con PEAD (62, 63). Estudios y experimentos realizados con la ayuda de éstos modelos revelaron que las cadenas de bajo peso molecular que no forman parte de la red macromolecular del PE UHMW no contribuyen positivamente a sus propiedades anti-abrasivas y que la resistencia intrínseca de éste al desgaste por abrasión, se debe al número efectivo de entrecruzamientos físicos presentes en la cadena molecular del mismo (63, 64). Así, los investigadores y tecnólogos establecieron que de controlarse la cristalinidad, la distribución de pesos moleculares y el número efectivo de entrecruzamientos en las cadenas moleculares, se pueden diseñar polietilenos procesables por medios convencionales con resistencias a la abrasión y lubricidad similares al del PE UHMW.

Ya para el año 2000, Theodore Tervoot y su grupo de colaboradores del ETH de Zurich, Suiza y de la Eindhoven University of Technology de Holanda revelaron que PEAD con distribuciones de peso molecular estrechas y pesos moleculares promedio cercanos a 500,000 g/mol pueden poseer una matriz molecular con características anti-abrasivas equivalentes al PE UHMW y ser procesables mediante extrusión y moldeo por inyección convencionales (65, 66). Asimismo, otras publicaciones más recientes han revelado desarrollos de polietilenos con las mismas características pero con pesos moleculares cercanos a los 150,000 g / mol así como planes existentes para desarrollar comercialmente dichos avances tecnológicos (67). En éste contexto y a finales del año 2001, Ticona introdujo al mercado los grados de polietileno de ultra alto peso molecular GUR 5113 ® y muy alto peso molecular Hostalloy 731 ® como los primeros integrantes de una familia de productos que permitían evitar el uso de moldeo por compresión o extrusión por pistón. Ambos grados poseen las propiedades químicas típicas del polietileno, retienen sus propiedades mecánicas a temperaturas extremadamente bajas y tienen excelentes propiedades aislantes térmicas, acústicas y eléctricas. Las dos resinas y se

(62) GRIGOROVA M. ET AL. "Polyethylene – Polyethylene Blends Modified with Isotactic Polypropylene" John Willey & Sons, USA 1996.

(63) VISJAGER J.F. ET AL. " Ultra High Molecular Weight Polymers – Processing and Properties of PE and PTFE", Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2001

(64) TERVOORT ET AL "Melt Processible, Wear Resistant Polyethylene" Macromolecules 2000, 33, 6460

(65) TERVOORT ET AL "On Abrasive Wear of Polyethylenes" Macromolecules 2002, 35, 8467

(66) TERVOORT ET AL. US Patent 6,790,923 to ETH Zurich for Melt Processible Wear Resistant Polyethylene.

(67) VARIOS AUTORES. " The Root Cause of Abrasion" Chemical Engineering News, Vol. 80, Number 42, Oct 21, 2004

cumplen con las normas FDA para aplicaciones farmacéuticas y alimentarias y se venden en forma de pellets. Si bien el PE UHMW GUR 5113 posee la mayor resistencia a la abrasión y al impacto entre los dos tipos, ésta resina no es fácil de moldear y no produce buenos resultados en extrusión convencional de perfiles como los de las cubiertas plásticas usadas en las transmisiones de tornillo de los elevadores electromecánicos para puertas de cochera. Por su parte, el grado Hostalloy 731 está diseñado para ser procesado tanto por extrusión plástica como moldeo por inyección y entre las propiedades termofísicas y mecánicas que se muestran en la Tabla XI, resaltan valores de resistencia a la abrasión de 1.7 mg / 100 ciclos en la escala Taber, un coeficiente de fricción dinámico de 0.16 y un mínimo de 15 kJ/m² para impacto Charpy doble cortado (68). Por lo tanto y a pesar de que los valores reportados para la prueba de abrasión en suspensión acuosa de arena son mayores a los reportados para PE UHMW, el Hostalloy 731 es un sólido candidato para substituir el grado actualmente usado en las cubiertas plásticas de los elevadores de puerta de garaje ya que la prueba Taber ASTM 1044 representa mejor la abrasión que ocurre en dicha aplicación.

Por otro lado, la extrusión convencional de Hostalloy 731 permitirá elevar notablemente la productividad de la fabricación de dichas cubiertas en comparación con el extrusor de pistón actualmente usado. Este VHMW PE puede ser procesado en un extrusor regular de un sólo tornillo de las características que se indican en la Tabla XI en donde también se incluyen todas las propiedades termofísicas y mecánicas del polímero a considerar en tal proceso (68, 69, 70, 73). Dicha tabla también incluye los rangos de valores de las condiciones bajo las cuales el material se debe procesar. Dichos parámetros se han obtenido de la práctica profesional al extruir perfiles y materiales muy similares a las cubiertas plásticas de los tornillos sin fin de los elevadores y del consejo técnico proporcionado por los proveedores de resinas plásticas y equipos de transformación (71, 72, 73). Esta información será sumamente valiosa para determinar los costos de fabricación de las partes mencionadas y determinar la competitividad económica de las alternativas de fabricación propuestas.

4.- Nylon 66 (Ny 66) .

El nylon 66 ò poliamida 66 es probablemente la resina de ingeniería que presenta el más avanzado estado de desarrollo tecnológico en lo que a la extrusión de perfiles plásticos se refiere. Desde sus orígenes, ésta resina se ha vinculado con el proceso de extrusión a través de sus primeras aplicaciones en la producción de fibras textiles para hilaturas, medias, vestido y alfombras. Hoy día se extruyen miles de toneladas de nylon 66 y sus compuestos cargados ò reforzados en la fabricación de dichas fibras, partes automotrices, componentes aeronáuticos y avanzadas películas para empaque flexible. El nylon 66 fuè sintetizado por primera vez en 1931 por Wallace Carothers quien reportó la obtención de una nueva fibra artificial como resultado de sus trabajos de investigación en los laboratorios de Du Pont de Nemours Company (74). Desde entonces, el Nylon 66 se obtiene

(68) PROSPECTOR X5 "Campus Data Sheet for Hostalloy 731" IDES, 2005, <http://x5.ides.com/datasheet.aspx?&E=16439>

(69) PROSPECTOR X5 "Campus Data Sheet for Vydyne 65sm", IDES, 2005, <http://x5.ides.com/datasheet.aspx?&E=10256>

(70) 3D-Cam Prototyping "Properties of Ny66", 2004. http://www.3d-cam.com/materials/nylon_66_6.asp

(71) TICONA, GMBH "Processing Guides for UHMW Specialty Grades" DocB304E, Ticona GMBH, Germany, D46128, 2001

(72) ASDERAU, K " Processing Guidelines for Extrusion Materials" Bunzl Phoenix, 2004

(73) SOLUTIA "Vydyne 65^a ; Properties & Processing

Guidelines", 2005, http://www.vydyne.com/pages/pdfs/vydyne_65^a_M.pdf(74)

UTRACKI, L. "History of Comercial Polymers, Alloys and Blendes" Polymer Engineering. & Science, 35, p 2 -17, 1995.

TABLA XI.

PROPIEDADES Y CONDICIONES DE PROCESO RESINAS SELECTAS.

Propiedades y Unidades. (68, 69, 70)	Prueba	GUR 4152	HOST 731	VYD-65A
Presentación		Polvo	Pellet	Pellet
Aditivos		No	Lubricante	No
Densidad g / cc	ASTMD792	0.930	0.950	1.14
Absorción de agua, 23C, Saturación, %	ISO 62	0.01	0.01	1.2
Índice Fluidez 190C/21.6Kg, g/10min	ASTMD1238	0.10	10	60
Viscosidad Intrínseca, ml / g	ISO 628	2,400	ND	ND
Número de Viscosidad cm ³ /g	ISO307	2,800	290	ND
Módulo Tensil Type 1A, psi	ISO 527 – 1,2	98,600	123,000	435,000
Esfuerzo Tensil Relajamiento a 73F, psi	ISO 527 – 1,2	3,100	2,760	12,200
Esfuerzo Tensil Rompimiento, psi	ISO 527 – 1,2	ND	2,900	4,790
Impacto Charpy, ft lb / in ²	ISO 179	61.9	38.1	28.6
Impacto Charpy, cortado, KJ / m ²	ISO 11542 -2	130	15.8	6.4
Dureza, Escala D	ASTMD2240	61	68	ND
Temperatura Reblandecimiento Vicat, F	ISO 306	176	176	482
Coefficiente Fricción Dinámico, Acero	ASTM 1894	0.10	0.16	0.40
Abrasión Taber, Ac 30, 100 ciclos, mg	ASTM 1044	1.0	1.7	5.0
Abrasión Suspensión Arena 50%, 8h Ac 30	API 6AV1	5	13	15
Abrasión Relativa	Ticona	80	350	ND
Abrasión Rel Vol 50, 8h,1700RPM, ml	KP Corp	12	40	ND
Capacidad Calorífica a 76F, BTU/lb/F	Ticona	0.44	0.44	0.56
Flamabilidad UL (0.063 in)	UL 94	HB	HB	HB
Procesamiento. (71,72,73)				
Extrusor :	L / D		16 - 20 a 1	20 - 24 a 1
	Zonas		3 min	5 min
	Compresión		2.5 a 1 max	3.5 a 1 max
Diseño de Tornillo :	Tipo		Uso Gral	Uso Gral
	RPM		Max 140	Max 180
Condiciones de Extrusión :	Velocidad	Ft / min	12	11
	Zona 1	F	356 – 376	480 – 500
	Zona 3	F	356 – 468	520 – 560
	Zona 5	F	356 – 468	520 – 560
	Dado	F	356 – 468	520 - 560
	Enfriamiento	Agua F	102	70 -175

(68) PROSPECTOR X5 “Campus Data Sheet for Hostalloy 731” IDES, 2005, <http://x5.ides.com/datasheet.aspx&E=16439>

(69) PROSPECTOR X5 “Campus Data Sheet for Vydyne 65[™]”, IDES, 2005, <http://x5.ides.com/datasheet.aspx?&E=10256>

(70) 3D-CAM Prototyping “Properties of Ny66”, 2004. http://www.3d-cam.com/materials/nylon_66_6.asp

(71) TICONA, GMBH “Processing Guides for UHMW Specialty Grades” DocB304E, Ticona GMBH, Oberhausen, D46128, 2001

(72) ASDERAU, K “ Processing Guidelines for Extrusion Materials” Bunzl Phoenix, 2004

(73) SOLUTIA “Vydyne 65^a ; Properties & Processing Guidelines”, 2005, http://www.vydyne.com/pages/pdfs/vydyne_65a_M.pdf

principalmente al hacer reaccionar ácido adipico con hexa-metilen-diamina (75). En un sentido básico, dicha reacción es la neutralización de un ácido con una base para generar una sal y liberar moléculas de agua. En este caso un ácido débil como el adipico reacciona en cantidades estequiométricas muy controladas con una base fuerte como la hexa-metilen-diamina para generar una amida. La repetición encadenada de la reacción da origen a una poliamida cuyas unidades estructurales cuentan con un número de átomos menor al total de los átomos de los monómeros involucrados por lo que este proceso se describe como polimerización por condensación y al nylon 66 se le clasifica como un polímero de condensación junto con los poliésteres, poliacetales y otras poliamidas.

El nylon 66 es la poliamida con mayor volumen de producción y consumo mundial y como todas ellas presenta excelentes propiedades termofísicas y mecánicas que le permiten participar en una gran cantidad de aplicaciones. El nylon 66 es especialmente útil para fabricar piezas y partes cuya operación las somete a condiciones extremas de temperatura. Esta resina al igual que otras poliamidas y como se ha podido observar en las Tablas VII, X y XI presentan excelente resistencia al impacto y muy buena resistencia a la abrasión y al ataque de la gran mayoría de los agentes químicos y ambientales. Asimismo, las partes extruídas o inyectadas en nylons son extremadamente duras y estables dimensionalmente. Sin embargo, las propiedades mecánicas de estas resinas se ven afectadas por el grado de cristalinidad que el polímero presenta ya que una de las principales diferencias morfológicas entre los diversos nylons es la longitud de las cadenas alifáticas que separan los grupos amidas en el polímero. A mayor cristalinidad, mayor resultará el punto de fusión y la resistencia al esfuerzo tensil. Por el contrario, el incremento de las longitudes de las cadenas alifáticas reduce el punto de fusión, la resistencia al esfuerzo tensil, todo tipo de temperatura de distorsión y la absorción de agua.

Por otro lado y a pesar de que todos los nylons poseen excelentes características tribológicas que les permiten su aplicación en la fabricación de engranes, soportes y otras partes móviles, la cristalinidad de cada tipo de poliamida también afecta la resistencia al impacto, el coeficiente de fricción dinámica y la resistencia a la abrasión. Como se puede ver en la Tabla XII, (76,77) el nylon 12 posee la más alta resistencia a la abrasión como clase dentro de la familia, seguido por el nylon 6,10 y el nylon 6,6. Asimismo, el nylon 66 presenta en promedio coeficientes de fricción superiores a los promedios de estas dos resinas e incluso al nylon 11. Sin embargo, la

Tipo de Poliamida	Coefficiente Fricción Dinamico ASTM D 1894	Pérdida por Abrasión Relativa	Resistencia al Impacto Rasurado ISO 179 J / cm²
Nylon 12	0.30	100	0.61 - NB
Nylon 66	0.40	130	0.50 - 12
Nylon 6	0.40	150	0.20 - 12
Nylon 6, 10	0.38	120	0.61 - NB
Nylon 11	0.35	150	0.70 - NB

Tabla XII : Propiedades Tribológicas de Poliamidas. (76, 77, 78)

(75) Smith, Mike editor "Handbook of Petrochemical Processes" Cap 11.01, McGraw Hill Pub., NY, 2004

(76) Huels GMBH."Comparison of Nylon Grades", [http:// www.rmb.com/about_rmb/data_sheets/nylon_12_comparison.pdf](http://www.rmb.com/about_rmb/data_sheets/nylon_12_comparison.pdf)

(77) MatWeb "Properties of Plastic Resins" [http:// www.matweb.com / datasheet.aspx?&E = 1056, 1615,1167,176.](http://www.matweb.com/datasheet.aspx?&E=1056,1615,1167,176)

disponibilidad comercial del nylon 66 es mucho mayor y se han desarrollado mucho más grados que para las otras poliamidas a excepción del nylon 6. Asimismo, el nylon 66 es mucho más económico que los grados disponibles de poliamida 6,10 y poliamida 12 haciéndolo más competitivo económicamente hablando al momento de establecer alternativas de fabricación para las cubiertas plásticas de las transmisiones de tornillo sin fin de los elevadores de puertas de cochera. Por último, el autor tiene la experiencia práctica de haber especificado exitosamente nylon 66 para la construcción de aplicaciones muy similares a las ya mencionadas. Tales son los casos de diferentes “liners” o cubiertas plásticas para transmisiones flexibles de los motores de podadores de pasto o “trimmers” de las marcas Toro ® y MTD ® o para transmisiones articuladas para motores fuera de borda de la marca Evinrude ®.

Entre todos los grados de Nylon 66 disponibles se ha seleccionado el grado de uso general de extrusión Vydyne 65 A ® fabricado por Solutia Inc. en los E.U.A. y que está disponible en presentaciones de saco de papel tri-capa con “liner” y bolsa interior de PEBD o en caja de papel Kraft de 1,000 lb. Además de ser una resina fácil de extruir, produce buenos resultados en perfiles como los de las cubiertas plásticas de interés de este trabajo. Los valores de las propiedades termofísicas y mecánicas necesarias para la formulación de alternativas de manufactura con esta resina se muestran en la Tabla XI (68, 69,70,73) mientras que su evaluación competitiva se ha mostrado en la Tabla X.

Como en el caso del VHMW PE Hostalloy 731®, el procesamiento por extrusión convencional del Vydyne 65 A® permitirá elevar notablemente la productividad de la fabricación de dichas cubiertas en comparación con el extrusor de pistón actualmente usado. Este Nylon 66 es procesable en un extrusor regular de un sólo tornillo con las características que se también se indican en la Tabla XI . Dicha tabla incluye los rangos de valores de las condiciones bajo las cuales el material se debe procesar. Estos parámetros han sido obtenidos a partir de la practica y del consejo técnico proporcionado por los proveedores de resinas plásticas y equipos de transformación (71,72,73). Nuevamente, dicha información es sumamente valiosa para determinar las características de los equipos requeridos, los costos de fabricación de las partes mencionadas y en su oportunidad, poder determinar la competitividad económica de las alternativas de fabricación propuestas.

Capítulo III.

Descripción Técnica del Proceso de Fabricación.

La palabra extrusión se deriva de la palabra latina “extrudere” que a su vez se compone de las raíces ex (afuera, hacia fuera) y trudere (empujar, forzar). En los procesos de extrusión, utilizados en la industria plástica, un polvo seco ò materia en forma de gránulos y lentejas es calentado y forzado a través de un orificio de restricción para formar artículos con áreas transversales de forma determinada. Este procedimiento se ha utilizado por muchos años para dar forma a metales, preparar alimentos, mezclar gráneles húmedos y producir perfiles plásticos para diversas aplicaciones. En el procedimiento original de extrusión de plásticos se utilizaron máquinas consistentes de un cilindro metálico hueco a través de cuyo interior viajaba un ariete o émbolo mecánico para empujar el material contra un orificio de restricción. Aunque todavía algunos equipos de éste tipo todavía están en uso, particularmente para productos hechos de polietileno de ultra alto peso molecular (PE UHMW) ò teflón (PTFE), los diseños contemporáneos generalmente emplean tornillos de Arquímedes para hacer fluir la resina plástica en estado fundido a lo largo del cilindro y a través de los orificios de restricción citados.

1. Moldeo por Extrusión Pistón de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular.

La extrusión por pistón de PE UHMW fue inicialmente desarrollada por procesadores de resinas de los E.U.A. durante los primeros años de la década de 1970 (78). Desde entonces, un buen número de resinas de PE UHMW con diferentes características ha sido extruído durante los últimos treinta y cinco años. A pesar de que las resinas de la marca GUR® producidas por Hoechst A.G. (hoy Ticona) ya estaban disponibles en Europa desde 1960, la compañía entonces llamada Hércules Powder Company de Wilmington, Delaware (hoy parte del multi-conglomerado Basell) fue la principal proveedora de PE UHMW en polvo para los procesos de moldeo de dicha resina por compresión ò extrusión con pistón en Norteamérica hasta mediados de la década de 1980. A pesar de ser una resina menos pura que las fabricadas en Europa, el grado Hifax 1900® poseía mayores pesos moleculares y mayores viscosidades que facilitaban su procesamiento en los extrusores de pistón disponibles en ese entonces. A partir de 1985, Hoechst introdujo al mercado mundial una nueva serie de PE UHMW de la marca GUR ® que básicamente constituyen los grados de referencia de la industria de hoy en día. Entre los grados mencionados en la Tabla VIII del Capítulo II, se ofrecen aquellos que poseen los más altos pesos moleculares y las más altas viscosidades disponibles, así como otros que también incluyen algunos lubricantes y ayudas de proceso como estearato de calcio y ceras polietilénicas.

El diagrama simplificado del proceso de extrusión con pistón se muestra en la Figura 17 . Como se puede ver en la misma (79), el extrusor de pistón esta integrado por una tolva, un barril o recàmara equipada con calefacción interna mediante resistencias eléctricas, un pistón recíprocante, un dado también calentado eléctricamente y una boquilla de salida. El polvo ò los pellets de PE UHMW son alimentados a través de la tolva y de manera semi-continua a la

(78) WU J.J. ET AL “Processing of Ultra High Molecular Weight Polyethylene ; Modelling the Decay of Fusion Defects” Trans. I. Chem. E. Part A, Vol 80 pp 423 -431. (79)

KURTZ, STEVEN. “The UHMW PE Handbook” 1st Edition, Elsevier Academia Press, NY 2005 p 117.

recámara donde se someten a presión por el desplazamiento del pistón y la contrapresión que genera el polímero al ser empujado contra el dado. El material es empacado en el cilindro a intervalos regulares mediante el pistón recíprocante, al tiempo que se expelle el aire atrapado durante la alimentación de la resina. El PE UHMW en polvo o pellets se mueve a través de las zonas calientes del barril, fusionándose mediante los mecanismos descritos en el Capítulo II gracias a las condiciones de presión y temperatura reinantes. Al ser empujado a través del dado caliente, el perfil del producto final reproduce la geometría de la sección transversal del mismo que en ocasiones es también la misma del barril. Una vez extruído, el PE UHMW – siempre en estado sólido – abandona éste a través de la boquilla para ser enfriado lentamente por medio de ventiladores de aire o baño de agua fría.

La fusión y la extrusión por pistón del PE UHMW ocurren generalmente entre las temperaturas de 160 y 230 C y a través de éstos procesos y condiciones se pueden obtener perfiles de hasta 35 cm. de diámetro (80). Sin embargo, la velocidad de extrusión correcta depende de las características del mismo proceso de fusión y consolidación del PE UHMW, de la capacidad de calentamiento del barril y del dado, de la potencia del sistema de compresión, así como de la velocidad a la que se enfría el perfil extruído. Aunque la literatura comercial reporta extrusores de pistón con capacidades de procesamiento de hasta 20 Kg. / hr, todas las condiciones anteriormente descritas conspiran para que la velocidad lineal de extrusión sea muy lenta. Por ejemplo, la velocidad típica para un perfil de PE UHMW de diámetro entre los 20 y 80 mm es del orden de 30 cm. por minuto (80).

Por todo lo anterior y por mucho tiempo, los transformadores de PE UHMW han reconocido que la extrusión por pistón es más adecuada para la fabricación de placas que para la fabricación de perfiles. Comparado con el proceso de fabricación de placas por moldeo de compresión, la extrusión por pistón es más eficiente y económica. Tiene un costo de capital menor, requiere de menos mano de obra y utiliza menos energía por unidad de volumen en la transformación del

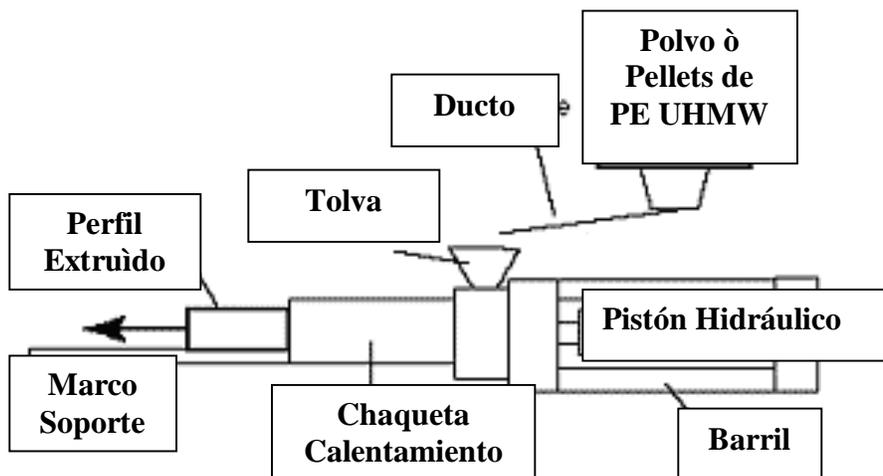


Figura 17 : Esquema Simplificado de Extrusor de Pistón (KURTZ, STEVEN. “The UHMWPE Handbook” 1st Edition, Elsevier Academia Press, NY 2005.)

(80) KURTZ, STEVEN. “The UHMW PE Handbook” 1st Edition, Elsevier Academia Press, NY 2005 p 132.

producto. Esto último se debe a que las fuerzas de deformación se aplican sobre la superficie de menor tamaño de la placa por lo que la presión disponible para la autodifusión de los gránulos del polímero es mayor y permite mejor consolidación del mismo. Además y al contrario del proceso de compresión, la fuerza de deformación se aplica intermitente mientras que las platinas de los dados no requieren enfriarse y calentarse continuamente. Todas estas ventajas han sido aprovechadas principalmente por los reprocesadores de PE UHMW quienes utilizan materiales rechazados o de desecho para la fabricación de placas de calidades inferiores que se pigmentan en color negro para su fácil identificación.

2. Moldeo por Extrusión Plástica Convencional.

a) El Proceso de Extrusión Plástica Convencional.

Los perfiles plásticos generalmente se fabrican mediante el proceso de extrusión plástica convencional que requiere de la combinación de un dado de extrusión correctamente diseñado, un extrusor eficiente y la disponibilidad del equipo necesario para dimensionar el perfil adecuadamente. En éste proceso el material termoplástico es alimentado en forma de polvo o pellets al barril o cilindro de un extrusor mediante tolvas colocadas al inicio del mismo. El barril contiene uno o dos tornillos de Arquímedes que rotan alrededor de su eje longitudinal para transportar el material termoplástico desde la boca de la tolva hasta el final del barril donde se encuentra el dado de extrusión. Durante éste trayecto la resina plástica se calienta debido a la fricción generada por el trabajo del o de los tornillos sobre el material, del material sobre sí mismo y del material contra las paredes interiores del barril. Asimismo, el material plástico también recibe calor inducido por un juego de resistencias eléctricas colocado sobre la superficie exterior del barril del extrusor. Gracias a todos estos factores, la resina se funde formando una delgada película en la pared interior del barril la cual es desprendida por el movimiento giratorio del tornillo o tornillos y trasladada desde la superficie de la resina compactada dentro del barril hasta el núcleo de la misma. El continuo movimiento del tornillo o tornillos bajo las condiciones ya descritas forma un hilo de material fundido al que se van incorporando las restantes partículas de la resina ya compactada, hasta establecer el flujo continuo de la misma hacia el extremo final del extrusor. Este flujo llamado “flujo de arrastre” se sobrepone al gradiente de presiones existente entre los extremos del barril que se ha generado por la compresión y la fusión del material a lo largo del extrusor y al consecuente flujo del material que se fuga en dirección contraria a través de los espacios existentes entre el tornillo o tornillos y la pared interior del mismo barril (81).

A partir de tal mecanismo y mediante la “masticación” de la resina a lo largo del barril, ésta se plastifica y homogeneiza para adquirir la consistencia y composición requeridas para ser forzada a través del dado de extrusión. La forma del orificio de restricción de dicho dado es muy parecida a la forma de la sección transversal o perfil deseada para la pieza extruida. La reproducción de la sección transversal del dado en la sección transversal de la pieza es de suma importancia para lograr estabilidad en el proceso de definición de la forma del perfil y la estabilidad dimensional del mismo. En la práctica industrial, los dados se optimizan a nivel de piso de producción hasta obtener una tasa de flujo uniforme a lo largo del espesor de los mismos para evitar puntos de flujo muerto, combustión del polímero y deformaciones a lo largo del

(81) RAUWENDAL C. “Polymer Extrusion”, Hanser, New York, 1986 p 79

perfil extruido. Una vez que el material fundido toma la forma del perfil deseado, el contorno final del artículo extruido se obtiene mediante el uso de soportes, cuñas y grapas metálicas para sujetarlo durante el enfriamiento y consolidación de la resina en los equipos accesorios diseñados para tal efecto. Asimismo, algunas otras estaciones de trabajo como las vistas en la Figura 18 se pueden agregar a la línea de extrusión para efectuar operaciones como cortado, perforado y otros acondicionamientos especiales. Entre éstas las más comunes y muchas veces imprescindibles se cuentan la estaciones de dimensionamiento y enfriamiento, tracción, cortado y empaque.

El proceso de extrusión plástica posee varias y considerables ventajas respecto a otros procesos de transformación de resinas plásticas. Los costos de dados, moldes y herramientas son menores que aquéllos correspondientes a inyección soplado, a inyección – extrusión, extrusión soplado o termoformado. Asimismo, el costo del proceso por unidad de volumen y peso de material procesado es el menor entre todos los procesos convencionales disponibles. Respecto a la extrusión por pistón ya discutida, la extrusión plástica ofrece la posibilidad de transformar con mayor facilidad diseños más complejos en un mayor número de materiales bajo condiciones de productividad muy superiores. Si bien éstas últimas dependen simplemente de la maximización de la velocidad lineal de extrusión, ésta depende a su vez de un buen número de factores. La complejidad geométrica del perfil, las propiedades reológicas del o de los polímeros, la velocidad de enfriamiento y consolidación del extrudado y la habilidad de los operadores de la línea de producción son aspectos fundamentales a considerar en cualquier operación de extrusión. Además, las características de los equipos accesorios que también forman la línea de extrusión pueden constreñir la velocidad máxima de la operación. Por ejemplo, es muy común que las velocidades máximas de producción se vean determinadas no por la capacidad máxima de extrusión sino por limitaciones en la disponibilidad de medios de enfriamiento o restricciones en operaciones de calibración, marcado, cortado ó empaque.

b) Características y Selección del Equipo de Extrusión Convencional.

La selección de un equipo de extrusión depende inicialmente de la capacidad de transformación requerida para cierto tipo o tipos de resinas dentro de condiciones de proceso determinadas entre las que se cuentan las temperaturas y presiones de operación. Dicha capacidad determina las necesidades de potencia y calentamiento que el equipo habrá de cubrir para cumplir su cometido y está condicionada principalmente por las dimensiones del barril, características del tornillo ó tornillos de extrusión, la velocidad con la que éstos operan, así como las propiedades reológicas del material seleccionado para la aplicación.

En la actualidad, la mayoría de los perfiles plásticos se fabrican en extrusores de un solo tornillo como los mostrados en la Figura 19 y 20 cuyo diseño básico no ha cambiado fundamentalmente por muchos años y cuya correcta operación depende más del calor producido por fricción que por el calor inducido eléctricamente. Por lo tanto y aunque la constante automatización ha mejorado los controles de las variables de proceso substancialmente, este tipo de extrusor y el tornillo correspondiente siempre tienen que estar provistos de protección universal para minimizar la abrasión y la corrosión debidas al trabajo mecánico que realiza sobre el polímero, cargas, reforzantes y otros aditivos presentes. Si bien la enorme mayoría de los extrusores contemporáneos utilizan tornillos que tienen un diámetro que varía entre los 19 y 300 mm (0.75 y 12 in), éstos últimos son adicionalmente categorizados por la relación que presentan entre su



Figura 18 : Línea de extrusión típica formada por (derecha a izquierda) extrusor, unidad de enfriamiento / dimensionamiento, unidad de tracción y unidad de corte (Bayer A.G.)



Figura 19 : Vista de extrusor de 1 sólo tornillo típico (Cortesía de Luigi Bandera SpA)

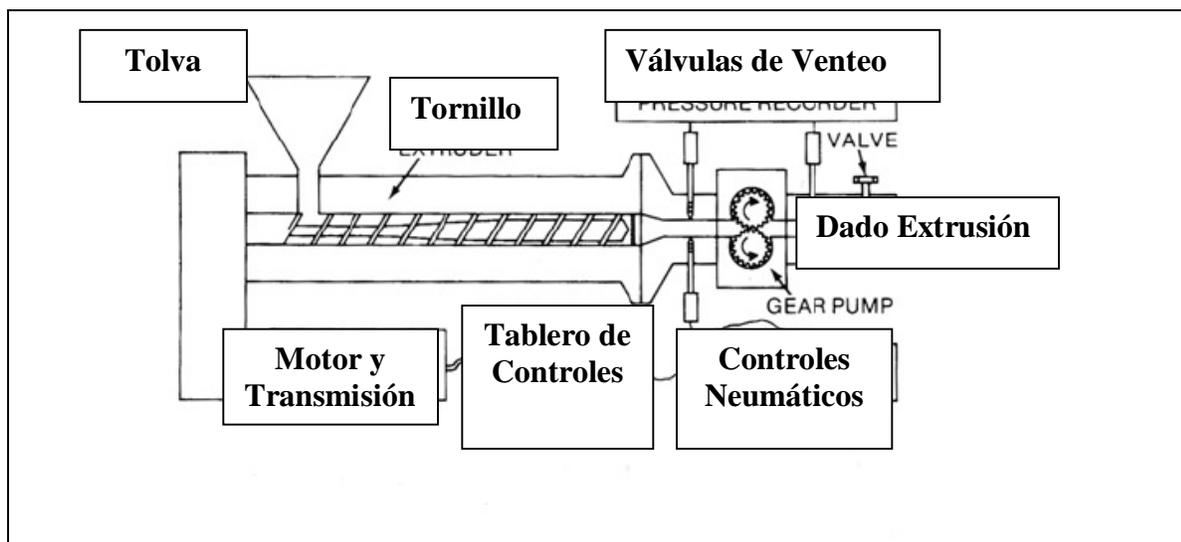


Figura 20 : Diagrama extrusor de 1 solo tornillo típico (Cortesía Phillips 66, Co.)

longitud y su diámetro también llamada número L/D . Mientras que los diámetros más comunes son aquéllos entre 64 y 90 mm (2.5 y 3.5 in), los tornillos más usados presentan números L/D que oscilan entre 16 y 33. Los tornillos largos cuyo desempeño generalmente proporciona mayores niveles de mezclado y plastificación, presentan números L/D altos. Por otro lado, aquéllos diseños de tornillos cortos como los comúnmente usados en extrusión de perfiles plásticos, generalmente presentan L/D menores a 20. Los tornillos más comunes presentan números L/D que oscilan entre 16 y 33 (82).

A pesar de que existen tornillos de extrusión de uso general, es decir que pueden ser utilizados para procesar adecuadamente un número considerable de resinas, también se han desarrollado tornillos especiales para cada una de los polímeros más usados. Si bien los primeros se pueden emplear para perfiles sencillos sin dimensiones críticas en extrusores cuyo número L/D no rebase las 20 unidades, la gran mayoría de los extrusores prefiere emplear dichos tornillos específicos cuando se trata de resinas como PVC, poliamidas, poliacetales, acrílicos y policarbonatos. Estos tornillos se diferencian entre sí por la geometría de su construcción y la formación de zonas dedicadas a la alimentación, plastificación y dosificación del polímero. Si bien el diámetro exterior del tornillo se mantiene constante a lo largo del mismo para ajustarse al barril, su núcleo es de diámetro variable de manera que el canal espiral presenta diferentes profundidades y algunas veces diferentes pendientes. Por lo general, la profundidad del canal disminuye desde el extremo de la alimentación al extremo del dado para formar diferentes zonas con finalidades específicas. Esto permite al tornillo arrastrar los pellets del polímero y demás aditivos para formar el flujo inicial de material fundido y entonces comprimirlo y homogeneizarlo para su posterior dosificación a través del dado. Aunque la mayoría de los tornillos sólo presentan una zona para cada una de éstas fases del proceso, los extrusores con número L/D grandes pueden presentar zonas de venteo específicas y elementos adicionales de fricción o mezclados. Sin embargo y como se puede ver en las Figuras 21 y 22 (83), la profundidad del canal siempre es mayor en la llamada zona de alimentación que muchas veces comprende los primeros cuatro o cinco ciclos helicoidales (vueltas del tornillo) y comienza a reducirse al llegar a la llamada zona de transición donde se completa la fusión del polímero y se

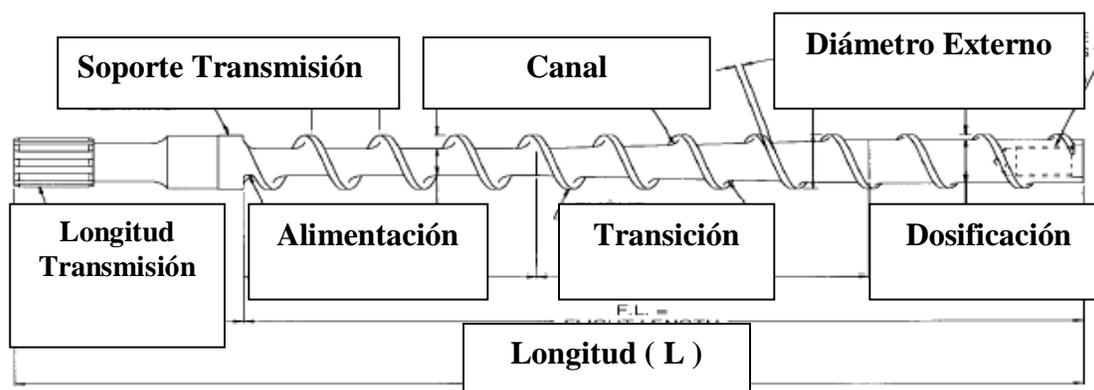


Figura 21 : Tornillo de Extrusión Típico (Cortesía Bayer A.G.)

(82) RAUWENDAAL, C. "Polymer Extrusion", Hanser, NY 1983, p 279

(83) BAYER A.G. "Extrusion of Bayer Materials" Doc PR B 3523, Leverkusen, GFR 2003

obliga a la salida de los gases atrapados en el seno del mismo. La última zona del tornillo generalmente presenta la menor profundidad del canal de extrusión y permite homogeneizar la mezcla fundida y estabilizar las condiciones de presión y temperatura bajo las cuales se transporta la resina a la zona final del extrusor donde se encuentra el dado.

El dado de un extrusor de un sólo tornillo está separado del resto del equipo por una placa de acero perforada de donde se ajusta un conjunto o conjuntos de mallas metálicas de dos o tres capas. Dicha placa actúa como un sello mecánico entre el barril y el dado. El conjunto de conjuntos de mallas - montada una sobre otra - sirven para filtrar las impurezas o partículas infundibles contenidas en el polímero, incrementar la presión del mismo para vencer la fricción adicional que se generará a lo largo del dado y eliminar patrones de flujo visco-elástico o "memoria de giro" en dicha trayectoria (84). La gran mayoría de los extrusores modernos cuentan con mecanismos para cambiar los paquetes de mallas sobre la marcha cuando éstos se comienzan a tapar, obstaculizan el flujo fundido y contribuyen al incremento de la contrapresión generada por el mismo material al final del barril. Después de pasar por la placa y las mallas filtrantes, la resina fundida fluye a través del dado que generalmente está integrado por una o más placas metálicas que se superponen una a las otras para crear el orificio de restricción final que da forma inicial al extrudado. En la mayoría de los casos, las placas están compuestas por acero dulce o aleaciones de acero con alto contenido de cromo y molibdeno. En el caso de extrusiones de materiales corrosivos como el PVC o volátiles como poliacetales, los fabricantes de perfiles plásticos emplean placas de acero inoxidable para cortar los dados necesarios.

Como ya se comentó anteriormente, lograr y mantener el perfil deseado en el producto terminado generalmente requiere del uso de equipo adicional para soportarlo y darle forma mientras la resina se enfría y consolida. Esta operación es un arte y requiere de la mayor destreza y lo mejor de la experiencia de los operadores de las líneas de extrusión. A principio de cuentas, el material recién extruido sufre una súbita descompresión al exponerse a condiciones

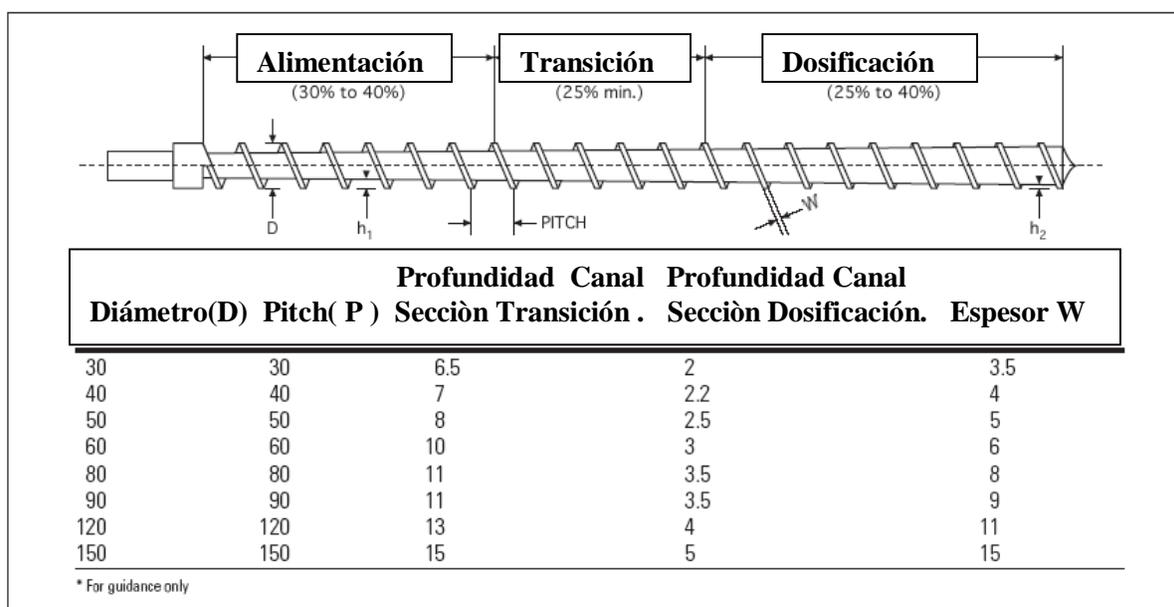


Figura 22 : Tornillo de Uso General Típico. (Cortesía de Bayer A.G.)

(84) STEVENS, M.J. "Extruder Principles and Operation" Elsevier Applied Sciences, U.K. 1985.

atmosféricas, la cual provoca la expansión del mismo a formas generalmente diferentes al orificio de extrusión. Gracias a las tolerancias consideradas al diseñar el dado, los operadores son capaces de aproximar la sección transversal del extrudado al perfil deseado mediante el uso de cuñas, grapas y sujetadores durante el recorrido del mismo a través de canaletas llenas de agua fría o túneles de viento. Asimismo, los operadores deben de controlar la velocidad de producción de la línea de extrusión de manera que permitan la correcta solidificación de la resina en el contorno y perfil deseados de manera constante y definitiva para evitar deformación del producto terminado. Para reducir éstos problemas y especialmente en el caso de diseños que involucran espesores pequeños o geometrías complejas, los productores de perfiles plásticos prefieren extruir formas simples que puedan ser manipuladas posteriormente en equipos o estaciones adicionales para conseguir las secciones transversales y contornos requeridos

c) Características y Selección de Equipos Auxiliares.

La configuración básica de una línea de extrusión como la ya mostrada en la Figura 18 incluye generalmente y por lo menos tres estaciones o unidades de equipo adicionales al extrusor. La primera estación es usada para enfriar, consolidar y controlar las dimensiones del perfil extruido y está integrada por una o más estructuras metálicas móviles que puede acomodar y sostener diferentes accesorios como soportes, canaletas abiertas de acero, mangas de venteo, chaquetas térmicas, equipos de medición y las cuñas, grapas y barras requeridas para controlar contornos y perfil del extrudado. Comúnmente llamados bancos de calibración, éstas estaciones pueden incluir múltiples y diferentes unidades de enfriamiento o accesorios más sofisticados y costosos que son seleccionados según los requerimientos de las resinas bajo proceso, la geometría del perfil extruido y la velocidad de producción. Por ejemplo, en algunas ocasiones es necesario agregar tanques de enfriamiento por agua o túneles modulares con flujo forzado de aire. Los primeros son estructuras móviles que incluyen cámaras de enfriamiento provistas de soportes, canaletas y aspersores para manejar el perfil producido así como un equipo de bombeo y filtración para acondicionar el agua de enfriamiento. Las partes húmedas de las cámaras están construidas en acero inoxidable, mientras que las secas se fabrican por lo general de acero al carbón. Las paredes de las cámaras están recubiertas de PVC flexible y a través de ellas el extrudado es sometido al enfriamiento más intenso posible. Por otra parte y como en el caso de resinas de ABS, PVC y poliestireno (PS), enfriamiento adicional se suministra mediante secciones tubulares que contienen espumas que dosifican aire comprimido o ventiladores eléctricos que son adaptados al banco de calibración. Asimismo y en el caso de los perfiles de Nylon 66 o otros termoplásticos que se extruyen a muy altas temperaturas, el uso de unidades calibradoras a vacío es sumamente útil. Estas secciones o unidades están construidas en aleaciones de bronce, acero cromado, acero inoxidable y muchas veces están recubiertas internamente con películas anti-adherentes. El extrudado es primero enfriado por aire y agua para ser introducido a un túnel o manga donde es manipulado por bandas tractoras elastoméricas que controlan o deforman las dimensiones del mismo mientras se procura enfriamiento por vaporización en condiciones de vacío. El perfil es nuevamente enfriado por agua al abandonar la manga para asegurar al máximo posible la consolidación de la resina en la forma deseada.

Obviamente todas las operaciones anteriores y la extrusión misma del perfil no podrían realizarse adecuadamente sin la existencia de mecanismos que aseguren el avance constante y continuo del extrudado desde su expulsión del dado y a través de las diferentes estaciones y equipos. Este trabajo es desempeñado por una o más unidades tractoras móviles (también llamadas jaladoras) cuyo número, localización en línea y potencia de trabajo están determinadas fundamentalmente

por las cantidades en volúmen y en masa de material que son extruídas por unidad de tiempo. Estas unidades generalmente están provistas de poleas y bandas ahuladas dobles que atrapan el extrudado longitudinalmente para forzarlo a viajar a velocidades específicas a lo largo de la línea de extrusión. Dichas bandas y poleas presentan diversos diseños con objeto de mantener la integridad del perfil plástico bajo tracción y se abren y cierran por mecanismos neumáticos que permiten ajustar la fuerza con la que lo sujetan. Todos los elementos de tracción son accionados generalmente por motores de corriente alterna localizados en las mismas unidades tractoras, aunque en ocasiones y donde se requiere estricto control de la velocidad de extrusión se emplean motores de corriente directa. Las partes móviles de éstos equipos generalmente están confinadas en paneles metálicos cerrados por puertas metálicas o mallas de alambre para evitar la ocurrencia de accidentes. Asimismo, estas unidades incluyen obligatoriamente alarmas que indican la apertura de tales puertas y mallas y accionan mecanismos de seguridad que pueden detener su operación y abrir cualquiera de los sujetadores en caso de emergencia o parar la línea de extrusión en su totalidad de ser necesario.

Finalmente, el perfil extruido ya calibrado, enfriado y a veces acondicionado mediante otras operaciones es medido, cortado y preparado para ser empacado en la estación diseñada para el efecto y que invariablemente está localizada al final de la línea de extrusión. Dicha estación también esta integrada por estructuras metálicas que poseen paneles, puertas y mallas metálicas que confinan los elementos móviles o cortantes requeridos para su operación. Entre éstos se cuentan cortadoras automáticas del tipo de navajas o sierras deslizantes, rotatorias u orbitales capaces de cortar cualquier tipo de perfil plástico incluyendo aquellos extruidos con compuestos de alto contenido mineral o de fibra de vidrio. Estos sistemas son auxiliados por juegos de poleas, bandas y sujetadores cuya operación, al igual que los elementos cortantes, es controlada electrónicamente electromecánicos que determinan la naturaleza y dimensiones de cada corte. Además, todas las unidades de corte y empacado modernas están dotadas de alarmas y mecanismos de paro automático para prevenir y remediar cualquier circunstancia riesgosa de la operación.

La selección del equipo de corte se realiza en función de la geometría del perfil, de las características de la resina o resinas extruídas y de la velocidad de la línea de extrusión. Las navajas y sierras deslizantes son más apropiadas para espesores pequeños y materiales suaves o blandos que viajen a velocidades moderadas. Los elementos cortantes y su motor están montados sobre un carro accionado por el empuje del perfil debido a las unidades tractoras ya comentadas. El perfil se corta en longitudes determinadas mientras es sujetado por tenazas neumáticas accionadas mediante un mecanismo de tiempo ajustado a la velocidad de la línea de extrusión. Las estaciones de corte dotadas de sierras orbitales son seleccionadas para perfiles de cualquier tipo de geometría y espesor, para cualquiera de las resinas de uso común y a velocidades de extrusión de hasta 30 metros por minuto y mayores. Al igual que las navajas y sierras deslizantes, las sierras orbitales se pueden encontrar montadas en un carro que viaja a lo largo del perfil mientras este avanza en la estación de corte. La unidad generalmente esta compuesta de un juego sierras cortantes rotatorias que cortan el perfil mientras el carro se mueve hacia delante. Durante del ciclo de corte, el carro es accionado por el movimiento del perfil y sujetado del mismo mediante tenazas neumáticas para permitir la acción de corte.

Si bien las estaciones de calibración, tracción y corte, así como los equipos accesorios pueden ser seleccionados individualmente y de manera independiente, es muy común que los fabricantes de éstas maquinarias promuevan la venta e instalación de líneas de extrusión completas. Asimismo,

es muy común que los fabricantes de perfiles plásticos establezcan relaciones de largo plazo con fabricantes específicos de éstos equipos y combinen diferentes marcas según sus necesidades inmediatas de fabricación. En todo caso, es sumamente importante asegurarse de que cualquier equipo instalado en una línea de extrusión puede operar en sincronía con aquél o aquellos equipos que determinan las velocidades limitantes de cada proceso para obtener condiciones de operación estacionarias que determinen el mejor desempeño económico del proceso.

Capítulo IV.

Formulación y Análisis de las Alternativas de Fabricación Propuestas.

En base a la información recopilada y discutida en capítulos anteriores, es posible formular un par de alternativas de fabricación para cada una de las cubiertas plásticas de las transmisiones de tornillo sin fin de los elevadores electromecánicos de puertas de cochera que interesan a éste trabajo. En ambos casos, dichas alternativas están basadas en la extrusión convencional de polietileno de muy alto peso molecular (PE VHMW) y poliamida nylon 66 (NY 66) para substituir los actuales procesos de extrusión pistón de polietileno de ultra alto peso molecular (PE UHMW) que se llevan a cabo en San Diego, California y Bangor, Maine en los E.U.A.

La formulación de tales alternativas toma como criterio fundamental que las mismas deberán de justificar la integración de una línea de extrusión localizada en Nogales, México que será capaz de producir ambas partes en cualquiera de las resinas plásticas seleccionadas usando diferentes dados de extrusión para cada combinación perfil – resina. Por lo tanto se busca especificar un sólo tipo de extrusor para las dos aplicaciones, así como una sola y básica configuración de línea de extrusión que resulte capaz de producir ambos perfiles mediante la adición de equipos auxiliares. Para tal efecto, la Tabla XIII muestra la relación entre las características básicas de los extrusores plásticos en el procesamiento de materiales con densidades y viscosidades equivalentes a las de PE VHMW y Nylon 66 (85, 86). Asimismo, otra circunstancia importante por determinar es la configuración del dado de extrusión para cada uno de los perfiles y materiales sugeridos. Si bien las dimensiones de los dos perfiles son pequeñas y hacen posible ajustar más de un orificio de extrusión en cada dado, la práctica industrial indica que nos es aconsejable producir más de dos hilos de extrudado por cada corrida de producción.

Los cálculos correspondientes a la formulación de las alternativas de fabricación de cada una de las partes incluyendo su breve análisis se detallan a continuación mientras que las características más importantes de las mismas se han consolidado en la Tabla XIV para su uso posterior.

Diámetro Interno Extrusor / Diámetro Tornillo.	Potencia KW.	Velocidad RPM	Capacidad lb/hr (kg/hr) PE VHMW	Capacidad lb/hr (kg/hr) Nylon 66
2.5 in (65 mm)	3	30	77 (35)	65 (30)
3.5 in (90 mm)	37	30	154 (70)	110 (50)
4.5 in (115 mm)	44	30	210 (100)	140 (64)
6.0 in (150 mm)	55	30	300 (120)	240 (109)

Tabla XIII : Características Promedio Típicas de Extrusores Selectos. (85, 86)

(85) DEPARTAMENTO INGENIERIA “Impianti per Profili/Bandera Profile Lines” Luigi Bandera SPA, Italia 1999.

(86) CUSTOMER SERVICE DEPT. “Characteristics of DS Extruders”. Davis Standard Co., CT, USA 2004

1 . Moldeo por Extrusión de Polietileno de Muy Alto Peso Molecular.

A) Parte 2192 - Cubierta Plástica Transmisión Tornillo Chamberlain.

A1) Bases de Diseño.

Descripción de la Parte.

El dibujo mecánico de la Parte 2192 empleada por The Chamberlain Group para fabricar sus cubiertas plásticas de tornillos de transmisión de los elevadores electromecánicos para puertas de cochera se muestra en la Figura 11. A partir de dicho dibujo, de la densidad específica del material actualmente usado GUR 4152 ® (Tabla VIII) y mediciones de peso de segmentos de longitudes determinadas se obtiene la siguiente información:

Area de la sección transversal Parte 2192 = 0.295 in² = 0.0020 ft² = 1.90 cm²

Descripción del Material Alternativo de Extrusión.

Como se puede ver en la Sección 2 del Capítulo II, el grado Hostalloy 731 ® (HOST731) fue seleccionado como material alternativo para la fabricación de las cubiertas plásticas. Las siguientes propiedades típicas de tal material se pueden observar en la Tabla XI del Capítulo II :

Densidad H731 = 0.950 g/cc = 59.63 lb / ft³

Absorción de Agua = 0.01 % en peso

Descripción del Consumo Anual.

Gracias a la información proporcionada en la Sección 5 del Capítulo I (22) se puede establecer :

Consumo Anual Parte 2192 = 1,300,000 m = 4,264,882 ft

Consumo Anual Parte 2192 = 495,153 lb = 224,601 kg (GUR4152®)

Consumo Anual Parte 2192 = 505,815 lb = 229,437 Kg (HOST731®)

Condiciones de Proceso y sus Limitaciones.

En base a las recomendaciones indicadas por el fabricante del HOST731® (71) y usuarios (73), la información pública disponible (68) y la experiencia profesional del autor, se han obtenido los siguientes parámetros por considerar (Ver Tabla XI) :

i) Velocidad de extrusión Parte 2192 = 12 ft / min = 3.66 m / min = 219.2 m / hr (HOST731)

ii) Perfil de Temperaturas de Proceso :

Zona 1 : 356 – 376 F

Zona 3 : 356 – 468 F

Zona 5 : 356 – 468 F

Dado : 356 – 468 F

iii) Temperatura de Agua de Enfriamiento : 102 F

Especificaciones de Equipo Recomendadas.

En base a las recomendaciones indicadas por el fabricante del HOST731® (71) y usuarios (73), la información publica disponible (68) y la experiencia profesional del autor, se han establecido los siguientes parámetros a considerar (Ver Tabla XI) :

- i) Relación L/D extrusor : 16 – 20 a 1.
- ii) Relación de compresión : 2.5 a 1.
- iii) Tipo de tornillo extrusor : Uso general ò polietileno alto peso molecular.

A2) Selección del Equipo Extrusor.

Considerando los parámetros contenidos en las bases de diseño y la información disponible en la Tabla XIII (85) :

- i) Cálculo de la capacidad de extrusión posible considerando limitación en la velocidad de extrusión establecida en bases de diseño :

Velocidad extrusion lineal (HOST731) = 3.66 m / min = 12 ft / min

Sección transversal P2192 = 1.90 cm² = 0.295 in²

Densidad lineal P2192 (HOST731) = 0.1186 lb / ft = 1.765 g / cm = 0.177 kg / m

Velocidad extrusión masa (HOST731) = 1.423lb/min = 85.392lb/hr = 0.646kg/min = 38.73 kg/hr

Capacidad extrusión masa posible (HOST 731) = 38.73 kg / hr = 85.39 lb / hr

- ii) Cálculo de las dimensiones del extrusor a partir de la Tabla XIII (85) y considerando restricción de velocidad de motor (RPM) establecida en base de diseño :

Capacidad extrusión posible (HOST 731) = 38.73 kg / hr = 85.39 lb / hr

Capacidad extrusor 2.5 in (HOST 731) = 35.0 kg / hr = 77 lb / hr a 30 RPM (Tabla XIII)

Capacidad extrusor 3.5 in (HOST 731) = 70.0 kg / hr = 154 lb / hr. a 30 RPM (Tabla XIII)

Extrusor de 3.5 pulgadas diámetro interno con motor eléctrico de corriente alterna y 30 Kilowatt de potencia. Sección transversal de perfil de hasta 250 x 70 mm.

- iii) Cálculo de horas y semanas de producción para cubrir 100 % demanda anual.

Consumo Anual P2192 (HOST731) = 229,437 kg = 505,815 lb

Factor “Scrap” = 5 %

Producción Requerida / Capacidad del Extrusor Anual = 240,910 kg = 531,106 lb

Capacidad extrusión posible (HOST 731) = 38.73 kg / hr = 85.39 lb / hr

Horas de producción requerida por año = (229,437 kg) / (38.73 kg /hr) = 5,924 hr

Semanas (132 hr) requeridas por año = 45 semanas.

A3) Selección del Tornillo de Extrusión.

Según la información proporcionada por el fabricante de la resina Hostalloy 731 (71) y los cálculos de dimensionamiento anteriores :

Tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro de geometría para uso general ò tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro para polietileno de alto peso molecular con compresión de 2.5 a 1, longitud de zona de transición media y zona de dosificación estrecha.

A4) Selección del Dado de Extrusión .

Placa única de acero inoxidable de 0.875 pulgadas (2.22 cm.) espesor.

A5) Selección de los Equipos Auxiliares.

Banco de calibración .

Una estructura metálica móvil con soportes, canaletas abiertas de acero inoxidable para agua corriente de 24 pies (7.32 m) de largo, dos bombas con motor eléctrico de corriente alterna con potencia de 5.5 Kilowatt (KW) y filtros para agua, mangas de venteo, equipos de medición y las cuñas, grapas y barras requeridas para controlar el contorno y perfil del extrudado. No se requiere tanque de enfriamiento adicional

Unidad de Tracción.

Una estructura metálica móvil con poleas y dos bandas ahuladas dobles/gemelas de tipo cadena con longitud de 5.6 pies (1.7 m) equipadas con cojinetes. Sistema neumático de liberación del la banda superior. Motor / transmisión de dos unidades de 2.2 KW de velocidad variable (corriente directa) trabajando en sincronía. Reductores de velocidad epicíclicos. Longitud

Unidad de Corte .

Una estructura metálica móvil provista de sierra rotatoria de corte accionada por motor de corriente alterna con potencia de 2.2 KW. Sistema de succión de rebabas accionado por motor eléctrico de corriente alterna de 1.4 KW de potencia.

1 . Moldeo por Extrusión de Polietileno de Muy Alto Peso Molecular.

B) Parte EN002 TGC - Cubierta Plástica Transmisión Tornillo Genie.

B1) Bases de Diseño.

Descripción de la Parte.

El dibujo mecánico de la Parte EN002 TGC empleada por The Genie Company para fabricar sus cubiertas plásticas de tornillos de transmisión de los elevadores electromecánicos para puertas de cochera se muestra en la Figura 12. A partir de dicho dibujo, de la densidad específica del material actualmente usado GUR 4152 ® (Tabla VIII) y mediciones de peso de segmentos de longitudes determinadas se obtiene la siguiente información:

Area de la sección transversal Parte EN002 TGC = $0.210 \text{ in}^2 = 1.355 \text{ cm}^2$

Descripción del Material Alternativo de Extrusión.

Como se puede ver en la Sección 2 del Capítulo II, el grado Hostalloy 731 ® (HOST731) fue seleccionado como material alternativo para la fabricación de las cubiertas plásticas. Las siguientes propiedades típicas de tal material se pueden observar en la Tabla XI del Capítulo II :

Densidad H731 = $0.950 \text{ g/cc} = 59.63 \text{ lb / ft}^3$

Absorción de Agua = 0.01% en peso

Descripción del Consumo Anual.

Gracias a la información proporcionada en la Sección 5 del Capítulo I (22) se puede establecer :

Consumo Anual Parte EN002 TGC = $1,600,000 \text{ m} = 5,249,086 \text{ ft}$

Consumo Anual Parte EN002 TGC = $426,226 = 193,336 \text{ kg (GUR4152®)}$

Consumo Anual Parte EN002 TGC = $435,391 = 197,494 \text{ kg (HOST731®)}$

Condiciones de Proceso y sus Limitaciones.

En base a las recomendaciones indicadas por el fabricante del HOST731® (71) y usuarios (73), la información pública disponible (68) y la experiencia profesional del autor, se han obtenido los siguientes parámetros por considerar (Ver Tabla XI) :

i) Velocidad de extrusión Parte 2192 = $12 \text{ ft / min} = 3.66 \text{ m / min} = 219.2 \text{ m / hr (HOST731)}$

ii) Perfil de Temperaturas de Proceso :

Zona 1 : $356 - 376 \text{ F}$

Zona 3 : $356 - 468 \text{ F}$

Zona 5 : $356 - 468 \text{ F}$

Dado : $356 - 468 \text{ F}$

iii) Temperatura de Agua de Enfriamiento : 102 F

Especificaciones de Equipo Recomendadas.

En base a recomendaciones del fabricante de HOST731® (71), la información disponible (68) y la experiencia del autor (71), se han establecido los siguientes parámetros (Ver Tabla XI):

- i) Relación L/D extrusor : 16 – 20 a 1.
- ii) Relación de compresión : 2.5 a 1.
- iii) Tipo de tornillo extrusor : Uso general ò polietileno alto peso molecular.

B2) Selección del Equipo Extrusor.

Considerando parámetros contenidos en bases de diseño y la información en la Tabla XIII (85) :

- i) Cálculo de la capacidad de extrusión posible considerando limitación en la velocidad de extrusión establecida en bases de diseño :

Velocidad extrusion lineal (HOST731) = 3.66 m / min = 12 ft / min
 Sección transversal EN002 TGC = 1.351 cm² = 0.210 in² = 0.00146 ft²
 Densidad lineal EN002 TGC (HOST731) = 0.0866 lb/ft = 1.29 g / cm = 0.129 kg / m
 Velocidad extrusión masa (HOST731) = 0.472 kg/min = 28.32 kg/hr = 1.04 lb/min = 62.42 lb /hr
Capacidad extrusión masa posible (HOST 731) = 28.32 kg / hr = 62.42 lb / hr

- ii) Cálculo de las dimensiones del extrusor a partir de la Tabla XIII (85) y considerando restricción de velocidad de motor (RPM) establecida en base de diseño :

Capacidad extrusión posible (HOST 731) = 28.32 kg / hr = 62.42 lb / hr
 Capacidad extrusor 2.5 in (HOST 731) = 35.0 kg / hr = 77 lb / hr a 30 RPM (Tabla XIII)
 Capacidad extrusor 3.5 in (HOST 731) = 70.0 kg / hr = 154 lb / hr. a 30 RPM (Tabla XIII)

Extrusor de 3.5 pulgadas diámetro interno con motor eléctrico de corriente alterna y 30 Kilowatt de potencia. Sección transversal de perfil de hasta 250 x 70 mm.

- iii) Cálculo de horas y semanas de producción necesarias para cubrir 100 % demanda anual.

Consumo Anual EN002 TGC (HOST731) = 197,494 kg = 435,391 lb y Factor “Scrap” = 5 %
 Producción Requerida / Capacidad del Extrusor Anual = 207,369 kg = 457,162 lb
 Capacidad extrusión posible (HOST 731) = 28.32 kg / hr = 62.42 lb / hr
 Horas de producción requerida por año = (207,369 kg) / (28.32 kg /hr) = 7,322 hr
Semanas (132 hr) requeridas por año = 56 semanas.

- iv) Recalculo de velocidad de extrusión con doble orificio en dado para cubrir demanda anual:

Capacidad extrusor 3.5 in (HOST 731) = 70.0 kg / hr = 154 lb / hr. a 30 RPM (Tabla XIII)
 Capacidad ajustada extrusor (HOST731) (75%) = 52.5 kg/hr = 115.7 lb / hr a menos de 30 RPM
 Nueva sección transversal EN002 TGC = 2 x 1.355 cm² = 2.71 cm² = 0.420 in²
 Nueva densidad lineal EN002 TGC (HOST731) = 2 x 1.234 g/cm = 0.247 kg / m = 0.166 lb / ft
 Nueva de extrusión (HOST 731) = 115.7 (lb/hr) / 0.166 (lb/ft) / 60 (hr/min) = 11.61 ft/min
Velocidad de extrusión ajustada = 11.61 ft/min = 3.54 m/min

v) Recálculo de horas y semanas de producción para cubrir 100% demanda anual :

Consumo Anual P2192 (HOST731) = 197,494 Kg = 435,391 lb y Factor “Scrap” = 5 %

Producción Requerida / Capacidad del Extrusor Anual = 207,369 kg = 457,162 lb

Nueva velocidad de extrusión (HOST 731) = $115.7(\text{lb/hr})/0.166(\text{lb/ft})/60(\text{hr/min}) = 11.61 \text{ ft/min}$

Nueva densidad lineal EN002 TGC (HOST731) = $2 \times 1.234 \text{ g/cm} = 0.247 \text{ kg / m} = 0.166 \text{ lb / ft}$

Nueva capacidad extrusión posible (HOST 731) = $11.61(\text{ft/min}) \times 0.166(\text{lb/ft}) \times 60(\text{min/hr})$

Nueva capacidad extrusión posible (HOST 731) = 115.7 lb/hr = 52.48 kg/hr

Horas de producción requerida por año = $(207,369 \text{ kg}) / (52.48 \text{ kg /hr}) = 3,952 \text{ hr}$

Semanas (132 hr) requeridas por año = 30 semanas.

B3) Selección del Tornillo de Extrusión.

Según la información proporcionada por el fabricante de la resina Hostalloy 731 (71) y los cálculos de dimensionamiento anteriores : **Tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro de geometría para uso general** ò tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro para polietileno de alto peso molecular con compresión de 2.5 a 1, longitud de zona de transición media y zona de dosificación estrecha.

B4) Selección del Dado de Extrusión .

Placa única de acero inoxidable de 0.875 pulgadas (2.22 cm.) espesor con doble orificio de extrusión.

B5) Selección de los Equipos Auxiliares.

Banco de calibración .

Una estructura metálica móvil con soportes, canaletas abiertas de acero inoxidable para agua corriente de 24 pies (7.32 m) de largo, dos bombas con motor eléctrico de corriente alterna con potencia de 5.5 Kilowatt (KW) y filtros para agua, mangas de venteo, equipos de medición y las cuñas, grapas y barras requeridas para controlar el contorno y perfil del extrudado. No se requiere tanque de enfriamiento adicional

Unidad de Tracción.

Una estructura metálica móvil con poleas y dos bandas ahuladas dobles/gemelas de tipo cadena con longitud de 5.6 pies (1.7 m) equipadas con cojinetes. Sistema neumático de liberación del la banda superior. Motor / transmisión de dos unidades de 2.2 KW de velocidad variable (corriente directa) trabajando en sincronía. Reductores de velocidad epicíclicos. Longitud

Unidad de Corte .

Una estructura metálica móvil provista de sierra rotatoria de corte accionada por motor de corriente alterna con potencia de 2.2 KW. Sistema de succión de rebabas accionado por motor eléctrico de corriente alterna de 1.4 KW de potencia.

2 . Moldeo por Extrusión de Nylon 66

A) Parte 2192 - Cubierta Plástica Transmisión Tornillo Chamberlain.

A1) Bases de Diseño.

Descripción de la Parte.

El dibujo mecánico de la Parte 2192 empleada por The Chamberlain Group para fabricar sus cubiertas plásticas de tornillos de transmisión de los elevadores electromecánicos para puertas de cochera se muestra en la Figura 11. A partir de dicho dibujo, de la densidad específica del material actualmente usado GUR 4152 ® (Tabla VIII) y mediciones de peso de segmentos de longitudes determinadas se obtiene la siguiente información:

Area de la sección transversal Parte 2192 = 0.295 in² = 1.90 cm²

Descripción del Material Alternativo de Extrusión.

Como se puede ver en la Sección 2 del Capítulo II, el grado Vydyne 65A ® (VYD65A) fue seleccionado como material alternativo para la fabricación de las cubiertas plásticas. Las siguientes propiedades típicas de tal material se pueden observar en la Tabla XI del Capítulo II :

Densidad VYD65A = 1.14 g/cc = 71.82 lb / ft³

Absorción de Agua = 1.20 % en peso

Descripción del Consumo Anual.

Gracias a la información proporcionada en la Sección 5 del Capítulo I (22) se puede establecer :

Consumo Anual Parte 2192 = 1,300,000 m = 4,264,882 m

Consumo Anual Parte 2192 = 495,152 lb = 224,601 kg (GUR4152®)

Consumo Anual Parte 2192 = 606,893 = 275,287 kg (VYD65A®)

Condiciones de Proceso y sus Limitaciones.

En base a las recomendaciones indicadas por el fabricante del Vydyne 65A® (73) y usuarios (72), la información pública disponible (69) y la experiencia profesional del autor, se han obtenido los siguientes parámetros por considerar (Ver Tabla XI) :

i) Velocidad de extrusión Parte 2192 = 11 ft /min = 3.36 m / min = 201.17 m / hr (VYD65A)

ii) Perfil de Temperaturas de Proceso :

Zona 1 : 480 – 500 F

Zona 3 : 520 – 560 F

Zona 5 : 520 – 560 F

Dado : 520 – 560 F

iii) Temperatura de Agua de Enfriamiento : 70 - 175 F

Especificaciones de Equipo Recomendadas.

En base a las recomendaciones indicadas por el fabricante del VYD65A® (73) y usuarios (72), la información pública disponible (69) y la experiencia profesional del autor, se han establecido los siguientes parámetros a considerar (Ver Tabla XI) :

- i) Relación L/D extrusor : 20 – 24 a 1.
- ii) Relación de compresión : 3.5 a 1.
- iii) Tipo de tornillo extrusor : Uso general ò nylon sin carga.

A2) Selección del Equipo Extrusor.

Considerando los parámetros contenidos en las bases de diseño y la información disponible en la Tabla XIII (85) :

- i) Cálculo de la capacidad de extrusión posible considerando limitación en la velocidad de extrusión establecida en bases de diseño :

Velocidad extrusión lineal (VYD65A) = 3.35 m / min = 11 ft / min
 Sección transversal P2192 = 1.90 cm² = 0.295 in²
 Densidad lineal P2192 (VYD65A) = 2.12 g / cm = 0.212 kg / m = 0.1423 lb / ft

Velocidad extrusión masa (VYD65A) = 0.710 kg/min = 42.60 kg/hr = 1.57 lb/min = 93.9 lb/hr

Capacidad extrusión masa posible (VYD 65A) = 42.60 kg / hr = 93.9 lb / hr

- ii) Cálculo de las dimensiones del extrusor a partir de la Tabla XIII (85) y considerando restricción de velocidad de motor (RPM) establecida en base de diseño :

Capacidad extrusión posible (VYD65A) = 42.60 kg / hr = 93.9 lb / hr

Capacidad extrusor 2.5 in (VYD65A) = 29.5 kg / hr = 65 lb / hr a 30 RPM (Tabla XIII)

Capacidad extrusor 3.5 in (VYD65A) = 49.9 kg / hr = 110 lb / hr. a 30 RPM (Tabla XIII)

Extrusor de 3.5 pulgadas diámetro interno con motor eléctrico de corriente alterna y 30 Kilowatt de potencia. Sección transversal de perfil de hasta 250 x 70 mm.

- iii) Cálculo de horas y semanas de producción para cubrir 100 % demanda anual.

Consumo Anual P2192 (VYD65A) = 275,287 kg = 606,893 lb

Factor “Scrap” = 5 %

Producción Requerida / Capacidad del Extrusor Anual = 289,051 kg = 637,283 lb

Capacidad extrusión posible (VYD65A) = 42.60 kg / hr = 93.9 lb / hr

Horas de producción requerida por año = (289,051 kg) / (42.60 kg /hr) = 6,787 hr

Semanas (132 hr) requeridas por año = 52 semanas.

A3) Selección del Tornillo de Extrusión.

Según la información proporcionada por el fabricante de la resina Vydyne 65A (73) y los cálculos de dimensionamiento anteriores: **Tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro de geometría para uso general** ò tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro para nylon 66 sin carga con compresión de 3.5 a 1, longitud de zona de transición media y zona de dosificación estrecha.

A4) Selección del Dado de Extrusión .

Placa única de acero inoxidable de 0.875 pulgadas (2.22 cm.) espesor.

A5) Selección de los Equipos Auxiliares.

Banco de calibración .

Una estructura metálica móvil con soportes, unidad de calibración a vacío con sistema de ajuste de marcos de base y placas, canaletas abiertas de acero inoxidable para agua corriente de 24 pies (7.32 m) de largo, dos bombas con motor eléctrico de corriente alterna con potencia de 5.5 Kilowatt (KW) y filtros para agua, mangas de venteo, equipos de medición y las cuñas, grapas y barras requeridas para controlar el contorno y perfil del extrudado. No se requiere de enfriamiento adicional.

Unidad de Tracción.

Una estructura metálica móvil con poleas y dos bandas ahuladas dobles/gemelas de tipo cadena con longitud de 5.6 pies (1.7 m) equipadas con cojinetes. Sistema neumático de liberación de la banda superior. Motor / transmisión de dos unidades de 2.2 KW de velocidad variable (corriente directa) trabajando en sincronía. Reductores de velocidad epicíclicos. Longitud

Unidad de Corte .

Una estructura metálica móvil provista de sierra rotatoria de corte accionada por motor de corriente alterna con potencia de 2.2 KW. Sistema de succión de rebabas accionado por motor eléctrico de corriente alterna de 1.4 KW de potencia.

Secador.

Debido a la facilidad con la que el nylon 66 absorbe humedad del medio ambiente, generalmente es necesario someter a ésta resina a un proceso de secado con aire caliente inducido hasta que la humedad existente en la resina sea menor al 0.25%. Estos niveles se logran después de someter a la resina por un lapso de 2 a 4 horas a calentamiento constante a 175F en un secador tipo B.

2 . Moldeo por Extrusión de Nylon 66

B) Parte EN002 TGC - Cubierta Plástica Transmisión Tornillo Genie.

B1) Bases de Diseño.

Descripción de la Parte.

El dibujo mecánico de la Parte EN002 TGC empleada por The Genie Company para fabricar sus cubiertas plásticas de tornillos de transmisión de los elevadores electromecánicos para puertas de cochera se muestra en la Figura 12. A partir de dicho dibujo, de la densidad específica del material actualmente usado GUR 4152 ® (Tabla VIII) y mediciones de peso de segmentos de longitudes determinadas se obtiene la siguiente información:

Area de la sección transversal Parte EN002 TGC = $0.210 \text{ in}^2 = 1.355 \text{ cm}^2$

Descripción del Material Alternativo de Extrusión.

Como se puede ver en la Sección 2 del Capítulo II, el grado Vydyne 65A ® (VYD65A) fue seleccionado como material alternativo para la fabricación de las cubiertas plásticas. Las siguientes propiedades típicas de tal material se pueden observar en la Tabla XI del Capítulo II :

Densidad VYD65A = $1.14 \text{ g/cc} = 71.82 \text{ lb / ft}^3$

Absorción de Agua = 1.20% en peso

Descripción del Consumo Anual.

Gracias a la información proporcionada en la Sección 5 del Capítulo I (22) se puede establecer :

Consumo Anual Parte EN002 TGC = $1,600,000 \text{ m} = 5,249,086 \text{ ft}$

Consumo Anual Parte EN002 TGC = $426,226 \text{ lb} = 193,336 \text{ kg}$ (GUR4152®)

Consumo Anual Parte EN002 TGC = $521,759 \text{ lb} = 236,670 \text{ kg}$ (VYD65A®)

Condiciones de Proceso y sus Limitaciones.

En base a las recomendaciones indicadas por el fabricante del VYD65A® (73) y usuarios (72), la información pública disponible (69) y la experiencia profesional del autor, se han obtenido los siguientes parámetros por considerar (Ver Tabla XI) :

i) Velocidad de extrusión Parte EN002TGC = $11 \text{ ft/min} = 3.36 \text{ m/min} = 201.2 \text{ m/hr}$ (VYD65A)

ii) Perfil de Temperaturas de Proceso :

Zona 1 : $480 - 500 \text{ F}$

Zona 3 : $520 - 560 \text{ F}$

Zona 5 : $520 - 560 \text{ F}$

Dado : $520 - 560 \text{ F}$

iii) Temperatura de Agua de Enfriamiento : 102 F

Especificaciones de Equipo Recomendadas.

En base a recomendaciones del fabricante de VYD65A ® (73), la información disponible (69) y la experiencia del autor (72), se han establecido los siguientes parámetros (Ver Tabla XI):

- i) Relación L/D extrusor : 16 – 20 a 1.
- ii) Relación de compresión : 2.5 a 1.
- iii) Tipo de tornillo extrusor : Uso general ò polietileno alto peso molecular.

B2) Selección del Equipo Extrusor.

Considerando parámetros contenidos en bases de diseño y la información en la Tabla XIII (85) :

- i) Cálculo de la capacidad de extrusión posible considerando limitación en la velocidad de extrusión establecida en bases de diseño :

Velocidad extrusion lineal (VYD65A) = 3.35 m / min = 11 ft / min
 Sección transversal EN002 TGC = 1.355 cm² = 0.210 in²
 Densidad lineal EN002 TGC (VYD65A) = 1.479 g / cm = 0.148 kg / m = 0.0994 lb / ft
 Velocidad extrusión masa (VYD65A) = 0.496 kg/min = 29.76 kg/hr = 1.093lb/min = 65.60 lb /hr
Capacidad extrusión masa posible (VYD65A) = 29.76 kg / hr = 65.60 lb / hr

- ii) Cálculo de las dimensiones del extrusor a partir de la Tabla XIII (85) y considerando restricción de velocidad de motor (RPM) establecida en base de diseño :

Capacidad extrusión posible (VYD65A) = 29.76 kg/ hr = 65.60 lb / hr
 Capacidad extrusor 2.5 in (VYD65A) = 29.5 kg / hr = 65 lb / hr a 30 RPM (Tabla XIII)
 Capacidad extrusor 3.5 in (VYD65A) = 49.9 kg / hr = 110 lb / hr. a 30 RPM (Tabla XIII)

Extrusor de 3.5 pulgadas diámetro interno con motor eléctrico de corriente alterna y 30 Kilowatt de potencia. Sección transversal de perfil de hasta 250 x 70 mm.

- iii) Cálculo de horas y semanas de producción necesarias para cubrir 100 % demanda anual.

Consumo Anual EN002TGC (VYD65A) = 236,670 kg = 521,760 lb y Factor “Scrap” = 5 %
 Producción Requerida / Capacidad del Extrusor Anual = 248,503 kg = 547,847 lb
 Capacidad extrusión posible (VYD65A) = 29.76 kg / hr = 65.60 lb / hr a 30 RPM
 Horas de producción requerida por año = (248,503 kg) / (29.76kg /hr) = 8,351 hr
Semanas (132 hr) requeridas por año = 64 semanas.

- iv) Recalculo de velocidad de extrusión con doble orificio en dado para cubrir demanda anual:

Capacidad extrusor 3.5 in (VYD65A) = 49.9 kg / hr = 110 lb / hr. (Tabla XIII)
 Capacidad ajustada extrusor (VYD65A) (90%) = 44.9 kg/hr = 98.95 lb / hr a menos de 30RPM
 Nueva sección transversal EN002 TGC = 2 x 1.355 cm² = 2.71 cm² = 0.420 in²
 Nueva densidad lineal EN002 TGC (VYD65A) = 2 x 1.48 g/cm = 0.295 kg / m = 0.199 lb / ft
 Nueva de extrusión (VYD65A) = 98.95 (lb/hr) / 0.199 (lb/ft) / 60 (hr/min) = 8.29 ft/min
Velocidad de extrusión ajustada = 8.29 ft/min = 2.53 m/min

v) Recálculo de horas y semanas de producción para cubrir 100% demanda anual :

Consumo Anual EN002TGC (VYD65A) = 236,670 kg = 521,759 lb y Factor “Scrap” = 5 %
 Producción Requerida / Capacidad del Extrusor Anual = 248,503 kg = 547,847 lb
 Nueva velocidad de extrusión (VYD65A) = $98.95(\text{lb/hr}) / 0.199(\text{lb/ft}) / 60(\text{hr/min}) = 8.29 \text{ ft/min}$
 Nueva densidad lineal EN002 TGC (VYD65A) = $2 \times 1.48 \text{ g/cm} = 0.295 \text{ kg / m} = 0.199 \text{ lb / ft}$
 Nueva capacidad extrusión posible (VYD65A) = $8.29(\text{ft/min}) \times 0.199(\text{lb/ft}) \times 60(\text{min/hr})$
 Nueva capacidad extrusión posible (VYD65A) = 98.5 lb/hr = 44.68 kg/hr
 Horas de producción requerida por año = $(248,503 \text{ kg}) / (44.68 \text{ kg /hr}) = 5,562 \text{ hr}$
Semanas (132 hr) requeridas por año = 43 semanas.

B3) Selección del Tornillo de Extrusión.

Según la información proporcionada por el fabricante de la resina Vydyne 65A (73) y los cálculos de dimensionamiento anteriores : **Tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro de geometría para uso general** ò tornillo extrusor 3.5 pulgadas de diámetro para nylon con compresión de 3.5 a 1, longitud de zona de transición media y zona de dosificación estrecha.

B4) Selección del Dado de Extrusión .

Placa única de acero inoxidable de 0.875 pulgadas (2.22 cm.) espesor con doble orificio de extrusión.

B5) Selección de los Equipos Auxiliares.

Banco de calibración : Una estructura metálica móvil con soportes, unidad de calibración a vacío con sistema de ajuste de marcos de base y placas, canaletas abiertas de acero inoxidable para agua corriente de 24 pies (7.32 m) de largo, dos bombas con motor eléctrico de corriente alterna con potencia de 5.5 Kilowatt (KW) y filtros para agua, mangas de venteo, equipos de medición y las cuñas, grapas y barras requeridas para controlar el contorno y perfil del extrudado. No se requiere de enfriamiento adicional.

Unidad de Tracción : Una estructura metálica móvil con poleas y dos bandas ahuladas dobles/gemelas de tipo cadena con longitud de 5.6 pies (1.7 m) equipadas con cojinetes. Sistema neumático de liberación de la banda superior. Motor / transmisión de dos unidades de 2.2 KW de velocidad variable (corriente directa) trabajando en sincronía. Reductores de velocidad epicíclicos. Longitud

Unidad de Corte : Una estructura metálica móvil provista de sierra rotatoria de corte accionada por motor de corriente alterna con potencia de 2.2 KW. Sistema de succión de rebabas accionado por motor eléctrico de corriente alterna de 1.4 KW de potencia.

Secador : Debido a la facilidad con la que el nylon 66 absorbe humedad del medio ambiente, generalmente es necesario someter a ésta resina a un proceso de secado con aire caliente inducido hasta que la humedad existente en la resina sea menor al 0.25%. Estos niveles se logran después de someter a la resina por un lapso de 2 a 4 horas a calentamiento constante a 175F en un secador tipo B.

TABLA XIV.

Formulación de Alternativas de Fabricación Cubiertas Plásticas .

Conceptos	Alternativa 1A Parte 2192	Alternativa 1B Parte EN002	Alternativa 2A Parte 2192	Alternativa 2B Parte EN002
Localización	Nogales, México	Nogales, México	Nogales, México	Nogales, México
Producción Anual	4,264,882 ft	5,249,086 ft	4,264,882 ft	5,249,086 ft
Resina Plástica	Hostalen 731 ®	Hostalen 731 ®	Vydyne 65A ®	Vydyne 65A ®
Velocidad Extrusión	12.0 ft / min	11.6 ft / min	11.0 ft / min.	8.3 ft / min
Perfil Temperaturas	Zona 1 > 376 F Zona 3 > 468 F Zona 5 > 468 F Dado > 468 F H2O > 102 F	Zona 1 > 376 F Zona 3 > 468 F Zona 5 > 468 F Dado > 468 F H2O > 102 F	Zona 1 > 500 F Zona 3 > 560 F Zona 5 > 560 F Dado > 560 F H2O > 175 F	Zona 1 > 500 F Zona 3 > 560 F Zona 5 > 560 F Dado > 560 F H2O > 175 F
Diseño Dado Extrusión	Orificio Unico.	Doble Orificio	Orificio Unico	Doble Orificio
Material Construcción Dado Extrusión.	Placa de Acero. Inoxidable 0.875in	Placa de Acero Inoxidable 0.875in	Placa de Acero Inoxidable 0.875in	Placa de Acero Inoxidable 0.875in
Extrusor	Un Sólo Tornillo. 3.5 in Diámetro Interno. L/D 20. Secc. Trans 250x70mm2. 5 Zonas. Potencia 30 KW. Corriente Alterna.	Un Sólo Tornillo. 3.5 in Diámetro Interno. L/D 20. Secc. Trans 250x70mm2. 5 Zonas. Potencia 30 KW. Corriente Alterna.	Un Sólo Tornillo. 3.5 in Diámetro Interno. L/D 20. Secc. Trans 250x70mm2. 5 Zonas. Potencia 30 KW. Corriente Alterna.	Un Sólo Tornillo. 3.5 in Diámetro Interno. L/D 20. Secc. Trans 250x70mm2. 5 Zonas. Potencia 30 KW. Corriente Alterna.
Tornillo	3.5 in, Uso General Compresión 2.5 a 1	3.5 in, Uso General Compresión 2.5 a 1	3.5 in, Nylon 66 Compresión 3.5 a 1	3.5 in, Nylon 66 Compresión 3.5 a 1
Unidad de Secado.	Ninguna	Ninguna	Tipo B: 2-4 hr a 175F	Tipo B: 2-4 hr a 175F
Banco Calibración	Descripción A1, pag. 66	Descripción B1, pag. 69	Descripción A2, pag. 72	Descripción A2, pag. 75
Unidad Tracción	Descripción A1, pag. 66	Descripción B1, pag. 69	Descripción A2, pag. 72	Descripción A2, pag. 75
Unidad de Corte	Descripción A1, pag. 66	Descripción B1, pag. 69	Descripción A2, pag. 72	Descripción A2, pag. 75

Capítulo V.

Evaluación Económica de Alternativas de Fabricación.

Este capítulo presenta la evaluación económica de las alternativas de fabricación propuestas por el autor para las cubiertas de plástico que son actualmente empleadas en las transmisiones de tornillo sin fin de los elevadores de puertas de cochera fabricados por The Chamberlain Group y The Genie Company. Dichas alternativas se encuentran recopiladas en la Tabla XIV del capítulo anterior y han sido integradas mediante detenido estudio de las aplicaciones plásticas correspondientes y la selección de materiales y procesos de fabricación que prometen conjuntamente mejores desempeños económicos que aquéllos empleados actualmente.

La presente evaluación tiene como objeto determinar si las alternativas de fabricación propuestas tienen el sentido económico positivo que permita hacer posible su recomendación con objeto de ser llevadas a la práctica posteriormente. Dado que los consumidores de ambas partes establecieron el cumplimiento de precios objetivo como criterio indispensable de la viabilidad de cualquier oferta o propuesta, la evaluación económica de las mismas se centra en la capacidad de éstas de ofrecer partes de calidad aceptable que puedan ser ofrecidas comercialmente a dichos niveles de precio y representen utilidad monetaria para el virtual fabricante de las mismas mientras cubra las condiciones de venta requeridas. Por lo tanto, la facultad de dichas propuestas de ofrecer costos de fabricación menores que hagan posibles tales ofertas las hará merecedoras de una evaluación positiva cuyas consecuencias serán detalladas posteriormente. Por otro lado, la incapacidad de alguna propuesta de no cubrir las condiciones ya descritas, la hará merecedora de una evaluación negativa y será descartada como base de propuesta futura alguna. Para tal efecto, a continuación se muestra la Tabla XV donde se muestran los precios objetivos indicados por los consumidores ya mencionados. En dicha tabla se incluyen los resultados de cálculos para estimar los costos de entrega en los que los actuales proveedores incurren. De ésta manera es posible homologar condiciones de negocio y establecer el marco competitivo equitativo y necesario para la evaluación de las alternativas formuladas.

Es contra los precios indicados como “Precio Objetivo FCA Proveedor Actual” como los costos de fabricación de las alternativas contenidas en la Tabla XIV serán comparados. El término “FCA” significa “Libre a Bordo del Transporte” a través de sus siglas en inglés y según INCOTERMS 2000 indica que la carga será entregada en los patios del destinatario a bordo de un transporte terrestre y que el destinatario es responsable de la descarga y de los efectos de demoras u otros posibles percances. El costo de las cubiertas correspondiente a las cuatro alternativas ya desarrolladas será calculado como la suma de aquéllos costos directos o debidos a las instancias de la fabricación misma, incluyendo la depreciación de la inversión requerida para los equipos seleccionados. A ésta suma le serán agregados aquéllos costos indirectos – que no tienen relación inmediata con la fabricación - como son costos financieros o costos de administración y venta. Todos éstos elementos de costo serán prorrateados contra la producción anual en términos de dólares de los E.U.A. por pie lineal (ft) producido según las convenciones seguidas en la industria. Asimismo y como factor de seguridad, los equipos especificados serán considerados como de uso exclusivo para las alternativas propuestas, por lo que los cálculos de costeo incluirán la depreciación total de los mismos independientemente de que su capacidad rebase la demanda anual de las partes y que por tal caso pudieran ser utilizados para otras finalidades.

Es de remarcar que en ningún momento se pretende que las alternativas aquí planteadas den origen a una nueva empresa, compañía o planta fabril para su explotación. Tal pretensión requeriría soportar su evaluación económica con mucha mayor información y cálculos más complejos de los que la finalidad de éste trabajo requiere. Por el contrario, la presente evaluación se hace bajo la suposición de que las propuestas de las alternativas se hacen a partes que ya poseen una instalación industrial debidamente equipada y administran adecuadamente una operación vigente. Bajo tales premisas, la Tabla XVI muestra los resultados de los costos de cada una de las dos alternativas de fabricación propuestas para cada una de las cubiertas plásticas de interés para éste trabajo, así como la evaluación de las mismas en términos económicos. La gran mayoría de los datos originales necesarios para elaborar dicha tabla, así como aquellos usados en los cálculos que se muestran a continuación de la misma fueron obtenidos de primera mano gracias al apoyo de gente de la industria. Otros más requeridos para el mismo fin, han sido obtenidos de la literatura ya reportada, por medio de investigación de campo del autor o durante el desarrollo de éste mismo trabajo. Las consecuencias de dichos costos y evaluaciones se detallan en el apartado de Conclusiones y Recomendaciones que da por terminado éste trabajo al proponer alternativas para la fabricación de partes plásticas para elevadores de puertas eléctricas de cochera que poseen sentido económico positivo..

Concepto	Unidades	Parte 2192	Parte EN 002
Precio Venta Objetivo “FCA” Proveedor Actual	US\$ / pza	\$ 0.76	\$ 0.54
Longitud de la Pieza	in / pza	36	30
Precio Venta Objetivo FAS Proveedor Actual	US\$ / ft	0.2533	0.2160
Entrega Mensual	ft	355,407	437,424
Area Sección Transversal del Perfil	ft ²	0.0020	0.0014
Volúmen por Entrega	ft ³	711	613
Volúmen por Tarima (4 ft x 4 ft x 4 ft)	ft ³ / tarima	64	64
Número de Tarimas	tarima	12	10
Flete San Diego, CA - Nogales, AZ (87)	US\$/tarima	252	-
Flete Bangor, ME – Cleveland, OH (88)	US\$/tarima	-	446
Total Flete E.U.A.	US\$ / ft	0.0085	0.0101
Gastos Internación a Mexico (89)	US\$/ft	0.0042	-
Costo Entrega FAS Planta Consumidor	US\$/ft	0.0127	0.0101
Precio Venta Objetivo FCA Planta Consumidor	US\$ / ft	0.2660	0.2261

Tabla XV: Calculo de Precios FCA de cubiertas plásticas para elevadores electromecánicos

(87) YELLOW FREIGHT “Consulta Fletes Domésticos E.U.A.” Entrevista Personal John Davis, Phoenix, AZ, 2005.

(88) YELLOW FREIGHT “Consulta Fletes Domésticos E.U.A.” Entrevista Personal John Davis, Phoenix, AZ, 2005.

(89) GRUPO NAFTA. “Cálculos de Gastos de Internación a México de Partes Plásticas” Entrevista Personal con Lic. A. Silva, México.

TABLA XVI.

Evaluación Económica de Alternativas Propuestas .

Costo US \$ / ft	P2192 VHMW	P2192 NY66	PEN002 VHMW	PEN002 NY66
Materia Prima	0.1558	0.1969	0.1109	0.1379
Costo de Mano de Obra	0.0094	0.0103	0.0049	0.0068
Costo de Consumibles	0.0205	0.0239	0.0103	0.0162
Depreciación Equipo	0.0033	0.0046	0.0027	0.0038
Gastos de Instalación	0.0005	0.0007	0.0004	0.0006
Costo Dado de Extrusión	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015
Refacciones y Partes.	0.0033	0.0045	0.0027	0.0038
Costo Empaque y Embalaje	0.0059	0.0071	0.0042	0.0050
Costo Administración y Venta	0.0100	0.0124	0.0071	0.0089
Seguros	0.0030	0.0030	0.0024	0.0024
Costo Financiero	0.0036	0.0050	0.0029	0.0040
Costo Total FCA Nogales, MX	0.2169	0.2700	0.1500	0.1909
Gastos Entrega FCA Cliente	0.0056	0.0056	0.0105	0.0105
Costo Total FCA Cliente	0.2225	0.2756	0.1605	0.2014
Precio Venta FCA Cliente	0.2660	0.2660	0.2261	0.2261
Costo como % Precio Venta	83.6	103.6	71.0	89.1
Evaluación Técnica	+	+	+	+
Evaluación Económica	+	-	+	+

Elemento de Costo.	P2192 VHMW	P2192 NY66	PEN002 VHMW	PEN002 NY66
a) Costo Materia Prima FCA Planta CostMPFCAPlant(US\$/ft) = CostoMPFCAPlanta(US\$/lb)xAreaTransl(ft ²)xDensidad(lb/ft ³) =	0.1558	0.1969	0.1109	0.1379
i) CostoMPFCA Frontera (US\$/lb) =	1.2500	1.29	1.25	1.29
ii) Gastos de Internaciòn por embarque de 44,000 lb (86)				
Fletes (US\$) =	600.00	600.00	600.00	600.00
Tarifas (US\$) =	179.00	185.00	179.00	185.00
Honorarios (US\$) =	250.00	250.00	250.00	250.00
Maniobras (US \$) =	400.00	400.00	400.00	400.00
Total (US\$)=	1,429.0	1435.00	1,429.0	1435.00
Total (US\$/lb) =	0.0325	0.0326	0.0325	0.0326
iii) CostoMPFCA Planta (US\$/lb) = Costo Mat FOB Frontera + Gastos Internaciòn =	1.2825	1.326	1.2825	1.326
b) Costo de Mano de Obra. Costo Mano Obra (US\$/ft) = (Total Salario + Prestaciones) (US\$/hr) / Producciòn (ft/hr)	0.0094	0.0103	0.0049	0.0068
i) Operadores / Línea Extrusiòn =	1	1	1	1
ii) Asistente - Empacador / Línea Extrusiòn =	1	1	1	1
iii) Salario Operador Maquina US\$/hr (87) =	2.100	2.100	2.100	2.1
Prestaciones Operador US\$/hr (87) =	1.735	1.735	1.735	1.735
iv) Salario Asistente - Empacador Máquina US\$/hr (87) =	1.360	1.360	1.360	1.360
Prestaciones Asistente / Empacador Maquina US\$/hr =	1.288	1.288	1.288	1.288
Total Salario y Prestaciones US\$/hr =	6.480	6.480	6.480	6.48
Eficiencia Extrusiòn =	95%	95%	95%	95%
Producciòn = Vel. Extrusiòn (ft/min) x (60 min/hr) x (% Eficiencia) =	684.0	627.0	1322	946

Anexo 1 de Tabla XVI : Costeo de Materia Prima y Mano de Obra – Alternativas Fabricaciòn Cubiertas Plàsticas.

Elemento de Costo.	P2192 VHMW	P2192 NY66	PEN002 VHMW	PEN002 NY66
c) Costo Consumibles .	0.0205	0.0239	0.0103	0.0162
1) Electricidad.				
Costo Energia Electrica (US\$/ft) = Potencia (KW)xCosto(US/KWhr)/Producción(ft/hr) =	0.0181	0.0215	0.0083	0.0142
Potencia Línea Extrusión Basica (KW) (89) =	79.000	79.000	79.000	79.00
(Extrusor 30KW + Chaquetas Calentamiento 30KW+ Banco Calibración 5.5 KW +				
Unidad				
Tracción 4 KW + Unidad de Corte 3.6 KW + Otros 5.5 KW)	0.0000	18.100	0.0000	18.100
Potencia Equipo Adicional (KW) (89)= Calibrador Vacio 5.5KW + Secador B1	0.1383	0.1383	0.1383	0.1383
12.6KW	10.930	13.428	10.930	13.435
Costo en México US\$ / (KW/ hr) (90) =	684.00	627.00	1322.0	946.00
Total consumo (US\$/hr) =				
Producción (ft / hr) =				
	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
2) Agua Industrial.	1,000	1,000	1,000	1,000
Costo Agua Industrial (US\$/ft) = Cons.Est(m3/año)xCosto(US/m3)/ Prod. anual(ft/año)	0.9320	0.9320	0.932	0.932
Consumo estimado anual (m3) =	4,264 M	4,264 M	5,249 M	5,249 M
Costo MEX\$ / m3 = 10; Costo (US\$/m3) (91) =				
Producción anual (ft/año) =	0.0010	0.0010	0.0008	0.0008
	4,000	4,000	4,000	4,000
3) Lubricantes, Solventes y Articulos de Limpieza.	4,264 M	4,264 M	5,249 M	5,249 M
Estimado Anual (US\$/año) = 4,000				
Producción anual P2192 (ft/año) = 4,264 882				
	0.0012	0.0012	0.0010	0.0010
	5,000	5,000	5,000	5,000
4) Otros	4,264 M	4,264M	5,249M	5,249 M
Estimado Anual : \$ 5,000				
Producción anual P2192 (ft/año) = 4,264,882				

Anexo 2 de Tabla XVI : Costeo de Consumibles – Alternativas Fabricación Cubiertas Plásticas.

Elemento de Costo.	P2192 VHMW	P2192 NY66	PEN002 VHMW	PEN002 NY66
d) Depreciación del Equipo de Proceso Depreciación Equipo (US\$/ft) = Costo Equipo(US\$)/Período(año)/Producción (ft/año) =	0.00332	0.0046	0.0027	0.0038
Costo línea Extrusión Básica (US\$) (91) = (Extrusor 30KW + Chaquetas Calentamiento 30KW+ Banco Calibración 5.5 KW + Unidad Tracción 4 KW + Unidad de Corte 3.6 KW + Otros 5.5 KW)	141,600	141,600	141,600	141,600
Costo Equipo Adicional (US\$) (91) = Calibrador Vacío 5.5KW + Secador B1 12.6KW =	0.0000	56,500	0.0000	56,500
Periodo Depreciación (años) =	10.0	10.0	10.0	10.0
Producción Anual (ft / año) =	4,264 M	4,264 M	5,249 M	5,249 M
e) Gastos de Transporte e Instalación. Costo Gastos Instalación Anual (US\$/ft) = Estimado (US\$)/ Periodo(año)/ producción (ft/año)	0.00053	0.0007	0.0004	0.0006
Estimado de Gastos de Instalación (US\$), 8% Valor Equipo Proceso =	22,654	31,696	22,654	31,696
Periodo Diferimiento (años) =	10.0	10.0	10.0	10.0
Producción Anual (ft / año) =	4,264 M	4,264 M	5,249 M	5,249 M
f) Costo de Dados de Extrusión . Costo Dado Total Anual = Costo Dados (US\$/año) / Producción Anual (ft/año)	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015
Costo Dado US\$ (88) =	3,200	3,200	3,800	3,800
Vida Util =	0.500	0.500	0.500	0.500
Mantenimiento US\$ / año =	320.0	320.0	380.0	380.0
Costo Dado Total US\$/año = Costo Dado(US\$/pza) / (Vida Util) + (Manten US\$/año) =	6,720.0	6,720.0	7,980.0	7,980.0
Producción Anual (ft) =	4,264 M	4,264 M	5,249 M	5,249 M

**Anexo 3 de Tabla XVI : Costeo de Depreciación, Instalación y Dados y – Alternativas
Fabricación Cubiertas Plásticas.**

Elemento de Costo.	P2192 VHMW	P2192 NY66	PEN002 VHMW	PEN002 NY66
g) Refacciones y Partes. Costo de Refacciones y Partes (US\$/ft) = Estimado Anual(US\$/año) / producción (ft/año) = Estimado Anual (US\$/año), 10% del Costo de Equipo = Producción Anual (ft/ año) =	0.00332 14,160 4,264 M	0.00464 19,810 4,264 M	0.0027 14,160 5,249 M	0.0038 19,810 5,249 M
h) Costo Empaque y Embalaje. Costo Empaque (US\$/ft) = Estimado Empaque (US\$/lb) x Densidad lineal (lb/ft) = Estimado Empaque y Embalaje (US\$/ lb) = Densidad lineal (lb/ft) =	0.0059 0.0500 0.1186	0.0071 0.500 0.1423	0.0042 0.500 0.0899	0.0050 0.500 0.0999
i) Gastos de Entrega. Gasto de Entrega = Valor Estimado Flete + Tarifas (US\$) / piezas embarcadas (ft) = Valor Estimado Flete a Frontera (US\$) = Valor Estimado Flete E.U.A. (US\$/ft) = Numero Tarimas x (US\$/Tarima) = Sección Transversal Perfil (ft2) = Longitud Perfil (ft) = Volumen Perfil (ft3) = Entrega Total Mensual (ft / año) = Volumen Total de Embarque (ft3) =rimas Número Tarimas = Volumen Total Embarque (ft3) / (64ft3) = Tarifas Aduanales (US\$) = Honorarios Aduanales (US\$) = Maniobras (US\$) =	0.0056 187 0.000 0.0020 3.000 0.0072 355 M 711 12 0 0 0	0.0056 187 0.000 0.0020 3.000 0.0072 355 M 711 12 0 0 0	0.0105 187 3,860 0.00146 2.500 0.0037 437 M 639 10 97 250 200	0.0105 187 3,860 0.00146 2.500 0.0037 437 M 639 10 97 250 200

**Anexo 4 de Tabla XVI : Costeo de Refacciones y Partes, Empaque y Entrega –
Alternativas Fabricación Cubiertas Plásticas.**

Elemento de Costo.	P2192 VHMW	P2192 NY66	PEN002 VHMW	PEN002 NY66
J) Costo de Seguros. Costo de Seguro (US\$/ft) = Suma Asegurada (US\$)x(Prima) / Producción anual (ft/año) = Total Asegurado (US\$) = Premium (%) = Producción Anualizada (ft / año) =	0.0030 350,000 3.6% 4,264 M	.0030 350,000 3.6% 4,264 M	0.0024 350,000 3.6% 5,249 M	.0024 350,000 3.6% 5,249 M
k) Gastos de Venta y Administración Costo de Venta y Administración (US\$/ft) = 5% Sobre costo fabricación Costo Fabricación (US\$/ft) = Factor =	0.01 0.2003 5%	0.0124 0.2496 5%	0.0071 0.1376 5%	0.0089 0.1785 5%
l) Costo Financiero Costo Financiero (US\$/ft) = Inversión Inicial (US\$)x(Factor A)x(Tasa)/Producción (ft/año) Inversión Inicial Requerida (US\$) = Factor Apalancamiento (%) = Tasa de Interés anual (Prime Rate + 6%) = Producción (ft/año) =.	0.0036 164,254 80 11.525 4,264 M	0.0050 229,796 80 11.525 4,264 M	0.0029 165,254 80 11.525 5,249 M	0.0040 229,796 80 11.525 5,249 M

Anexo 5 de Tabla XVI : Costeo de Seguros, Gastos de Venta y Administración y Gastos Financieros – Alternativas Fabricación Cubiertas Plásticas.

- (90) REGALADO, Javier “Entrevistas Personales y Telefónicas”, Phoenix, Arizona, E.U.A., Octubre 2005
(91) ASDERAU Keith “Entrevista Personal”, Orden PLastics, Phoenix, Arizona, E.U.A , Octubre, 2005.
(92) COMISION FEDERAL ELECTRICIDAD “ boletín Informativo de Tarifas Zona Norte”, Octubre 5, 2005.
(93) Diario Oficial de la Federación “ Tipo de Cambio Dólar Norteamericano”, México, Octubre 27, 2005
(94) AREVALO, I. “Cotización Equipos Varios”, Tecnología en Conversión de Plástico, México DF., Octubre 19, 2005.

Conclusiones y Recomendaciones.

Este trabajo ha demostrado la posibilidad de integrar alternativas de fabricación con sentido económico positivo para algunas partes plásticas usadas en la construcción de elevadores electromecánicos para puertas de cochera. Después de estudiar cuidadosamente la estructura de dichos aparatos y seleccionar para tal motivo las cubiertas plásticas usadas como “liners” en las transmisiones de tornillo sin fin de los mismos, fué posible combinar materiales y procesos diferentes a los usados actualmente en su fabricación que pueden proponerse para su pronta implementación.

La alternativa de fabricación formulada para la parte P2192 usada for The Chamberlain Group propone el uso de polietileno de muy alto peso molecular (PE VHMW) para extruír dicha parte de manera convencional. Esta alternativa posee los atributos técnicos y económicos necesarios para substituir el polietileno de ultra alto peso molecular (PE UHMW) y el proceso de extrusión por pistón actualmente usados en tal aplicación. De igual manera, las dos alternativas formuladas para la fabricación de la parte EN002 usada por The Genie Company tienen la facultad de ofrecer mejores desempeños económicos que los materiales y procesos actualmente empleados. La extrusión convencional de PEVHMW ó de Nylon 66 ofrecen mejores rendimientos, mayores facilidades y menores costos de fabricación que la extrusión por pistón de PEUHMW mientras que son capaces de fabricar cubiertas con propiedades térmicas, mecánicas y tribológicas suficientes para cubrir las demandas de la aplicación. En contraste, la fabricación de las cubiertas plásticas P2192 mediante extrusión convencional de Nylon 66 no resultó económicamente viable según fué planteada en éste trabajo al considerar precios de compra objetivos establecidos por los usuarios. Lo anterior se debe básicamente al hecho de que en el proceso de extrusión convencional el costo de la materia prima representa un porcentaje muy elevado del costo de la parte terminada. En el caso de la cubierta P2192, la mayor densidad del Nylon 66 y el mayor costo de la misma resina respecto al PE UHMW constriñen los beneficios económicos del proceso de extrusión convencional.

En base a lo anteriormente comentado y al contenido del presente trabajo, es recomendable realizar las pruebas de funcionalidad y proceso del PE VHMW Hostalen 731® y Vydyne 65A® en la fabricación de las cubiertas plásticas P2192 y EN002. A cambio de una modesta inversión en moldes, material prima, tiempo de máquina y mano de obra, los ahorros proyectados en la fabricación de ambas cubiertas podrían redituar ahorros del orden de los doscientos mil dolares E.U.A. por año y tipo. De concretarse las recomendaciones soportadas por éste trabajo y realizarse dichas pruebas de manera exitosa, los ahorros totales – es decir la mejor alternativa para cada parte – pueden estimarse entre los trescientos mil y medio millón de dolares E.U.A. por cada año. De ser así, la inversión necesaria para instalar la ó las líneas de extrusión requeridas y fabricar los dados de extrusión necesarios podría ser amortizada en un período no mayor a los dos años en el caso de ya contarse con instalaciones y edificios adecuadamente acondicionados para tal efecto. Todas las posibilidades antes descritas y tal como se indicó en la introducción del presente trabajo, demuestran la suma importancia de la correcta selección de materia prima y proceso de fabricación – así como la revisión y actualización de dichas decisiones - en la manufactura de toda pieza o parte plástica.

Bibliografía.

- 01 MARPLES, G. “The History of Garage Doors - The Search for the perfect Carriage House”, Home & Garden, Doubleday, 2004
- 02 OBOLENSKI, K.. “Re-inventing the Place We Park” The Taunton Press, NY 2002 .
- 03 BIGOTT, J. “From Cottage to Bungalow; Houses and the Working Class in Metropolitan Chicago, 1869 –1929” Chicago University Press, Chicago, IL 2001.
- 04 HALL, E. “The Genie Original Garage Door Opener” The Genie Company, OH, 2001.
- 05 UNDERWRITERS LABORATORIES INC. “ Milestones in Underwriters Laboratories History” UL Publications Services, IL 60062, 2005.
- 06 RF MONOLITHICS, INC.“A Brief History of RF Monolithics” RFM, Texas 75244, USA, 2000.
- 07 CONSTANZA, J. ; Entrevista Personal, The Chamberlain Group, Tucson, AZ, Septiembre 3, 2005.
- 08 U.S. CONSUMER SAFETY COMMISSION, “Non Reversing Garage Door Openers; a Hazard”, CPSC Document # 523, U.S. Government, Washington, D.C. 1993.
- 09 CHIRP. “Domestic Injuries Research & Report”, CHIRP Publications, Ottawa, Canada, 2004.
- 10 WAYNE DALTON CORP.. “ I - Drive Garage Door Opener Marketing Brochure”, WDC, Ohio 2003.
- 11 The GENIE CO., “ Product Manual for Excellerator Garage Door Opener”, Ohio, USA 2003.
- 12 CHAMBERLAIN GROUP “ Product Manual for Model # WD822K “ The Chamberlain Group, New Jersey, 2002.
- 13 CONSUMERS UNIONS of U.S. “Garage Door Opener Report”, CUUSA, New York, 2003
- 14 THE CHAMBERLAIN GROUP; “Company Profile”, TCG, Chicago, IL 2004
- 15 JOHNSON CONTROLS ; “Corporation Briefing”, Johnson Controls Corp, MI, 2004
- 16 WAYNE DALTON CORP. “Garage Doors Openers at Wayne Dalton” WDC, Ohio, 1995.
- 17 FARRELL, TED ; “Linear Corporate”. LLC, Carlsbad, CA, USA 2002
- 18 FIRST DOOR OPENERS CO.; “Craftsman Garage Opener Parts Catalogue” FDO, IN 46304, USA 2005.
- 19 FIRST DOOR OPENERS CORP; “Chamberlain Garage Door Opener Replacement Parts” FDO, IN 46304, USA 2005.
- 20 DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD. “ Dibujo Mecánico Parte 2192”, Chamberlain de Mexico, S.A., Nogales, México 2001.
- 21 THE GENIE COMPANY, Engineering Department “ Blueprint for part E-N 002” TGC, Ohio, USA, 2002.
- 22 AVILES, ANGEL ; Entrevista Personal, Chamberlain de Mexico S.A., Nogales, México, Septiembre 7, 2005.
- 23 HEINZ, EDWARD ; Entrevista Personal, The Genie Company, Ohio, U.S.A., Septiembre 1, 2005.
- 24 VARIOS AUTORES ; “Polyethylene : World Consumption” Maack Business Services, Zurich, Federación Suiza, 2003.
- 25 ASTM, Volume 8.01, Plastics (I), D256 – D3159, ASTM Publications, July 2005.

- 26 ISO, Volume 83.080.20, Thermoplastic Materials, 11542-1 y 2, ISO, 2001.
- 27 ISO, Volume 83.080.20, Thermoplastic Materials, 1628 - 01, ISO, 2001.
- 28 STEIN S.H., Ticona PE “Ultra High Molecular Weight Polyethylene ; Guide to Engineering Plastics Families” ASME 1992
- 29 VARIOS AUTORES, “Industrial and High Purity Piping Systems Engineering Handbook”, George Fisher, GF Publishing, 2002.
- 30 KELTROL CO., Engineering Department, “Comparative Report for Wear of Tuflar Liners” Keltrol Company, PA, USA 2003.
- 31 GARLAND MANUFACTURING CO. ; “UHMW PE Data ; Sand Slurry Test Results”, Garland Manufacturing Co. ME 2004
- 32 UTRACKI, L.A. “History of Commercial polymer alloys and blends” Polymer Engineering and Science, 35, p 2 – 17, Sao Paulo, 1995.
- 33 FAWCET, E.W. et al, Imperial Chemical Industries limited, GB 471590, 1937
- 34 HOGAN, J.P., Banks, R.J. United States Patent US2 1958, 825, 721.
- 35 ZIEGLER K. et al, Angew. Chem. 1955, 67. 541
- 36 NATTA, G., Mod. Plast. 1956, 34, 169
- 37 KISSIN, Y.V. “Principles of Polymerizations with Ziegler – Natta catalysts”, Handbook of Polymer Science and Technology, New York, 1989
- 38 KAMINSKY, W. “Highly active metallocene catalysts for olefin polymerization”, Journal of Chemical Society, p 1,413 – 1,418, 1998.
- 39 MONTAGNA A. ET AL, “The Evolution of Single Site Catalysts”, Chemtech, December, 1997.
- 40 KRISTEN O. MARC ; “Metallocenes ; from a Laboratory Curiosity to Industrial Scale Applications” BASF A.G., Ludwigshafen, Germany, 2004.
- 41 BIRNKRAUT, H.W. “Synthesis of UHMWPE” ; Hogrefe & Huber Publishers, 1991.
- 42 SMITH, MIKE ED, MEYER, R. “Handbook of Petrochemical Production Processes” Capítulo 14.03, Mc Graw Hill Publishing, New York, 2004
- 43 Vanka K. et al “Aspects of Coordination Polymerization in Heterogeneous and Homogeneous Catalysis. A computational Survey” Topics in Catalysis, Vol 34, Números 1 – 4, Mayo 2005.
- 44 SHARMA, G. Kirti “Preparation of Easily Processable Ultra High Molecular Weight Polyethylene with Narrow Molecular Weight Distribution” Eindhoven University Press, Eindhoven, The Netherlands, 2005.
- 45 MEIJER, HAN ; Govaert L. “ Mechanical Performance of Polymer Systems ; The Relation between structure and Properties” Dutch Polymer Institute, Eindhoven Technical University, Prog.Polymer Sci, 30 (2005) 915 –938.
- 46 HL, Dillon JG. Viscosity and molecular weight distribution of ultra-high molecular weight polyethylene. *J. Appl. Poly. Sci.* 1988; 36: 567-582.
- 47 EYERER P ET AL,. Characterization of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE): Extraction and viscometry of UHMWPE. *Plastverarbeiter* 1985; 36: 46-54.
- 48 VARIOS AUTORES, “ UHMW Lexicon” Ticona Group A.G., 2005
- 49 BELLARE A, Schnablegger H, Cohen RE. A small-angle x-ray scattering study of high-density polyethylene and ultra-high molecular weight polyethylene. *Macromolecules* 1995; 17: 2325-33.
- 50 CAHN, R.W. ; HANSEN P; KRAMER, E.J. Materials Science and Technology ; Processing of Polymers; VCH: Weinheim, 1997 ; Vol 18.
- 51 WANG X-Y, LI S-Y, Salovey R. Processing of ultra-high molecular weight polyethylene. *J. Appl. Poly. Sci.* 1988; 35: 2165-2171.

- 52 JENKINS, H. ; KELLER, A. *Macromol. Sci. Phys. B* 1975, 11, 301 Shenoy AV, Saini DR. Compression moulding of ultra-high molecular weight polyethylene. *Plast Rubber Proc Appl* 1985; 5: 313-317.
- 53 KURTZ STEVEN “The UHMW PE Handbook” 1st Edition, Elsevier Academic Press, New York 2005.
- 54 GARCIA - LEINER, M., Lesser, A. J. & Song, J. Drawing of UHMW PE fibers in the Presence of Supercritical CO₂. *J. Polym. Sci., Polym. Phys.* 41, 1375-1383 (2003).
- 55 HUARTE D., JONES K. editors “Plastic Materials Properties ; Material Properties Handbook”, Cole Parmer Inc, NY, USA 2003
- 56 STEIN H.L. “Ultra High Molecular Weight Polyethylene” *Engineered Materials Handbook*, Vol 2, ASME, NY 1998)
- 57 VARIOS AUTORES. “Outlook for Polyolefins 2004”. CMA Inc., Houston, TX, USA, 2003
- 58 IDES Prospector X5 “Ticona LLC UHMW PE Data Sheets”, [http: www. X5.ides.com/ Datasheets.aspx?](http://www.X5.ides.com/Datasheets.aspx?)
- 59 IDES Prospector X5 “Braskem & Westlake Polymers UHMW PE Data Sheets”, [http : www..X5.ides.com/ Datasheets.aspx?](http://www.X5.ides.com/Datasheets.aspx?)
- 60 DAY EARLE. “Continuous Extrusion of Recovered Ultra High Molecular Weight Polyethylene” Technical Research Program. Chelsea Center for Recycling and Economic Development, Leyden, MA 2003
- 61 RADIATOR SPECIALTY CO. “Composition of Industrial Lube with Molibden”, USA 2004
- 62 GRIGOROVA M. ET AL. “Polyethylene – Polyethylene Blends Modified with Isotactic Polypropylene” John Willey & Sons, USA 1996.
- 63 VISJAGER J.F. ET AL. “ Ultra High Molecular Weight Polymers – Processing and Properties of PE and PTFE”, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2001
- 64 TERVOORT ET AL “Melt Processible, Wear Resistant Polyethylene” *Macromolecules* 2000, 33, 6460
- 65 TERVOORT ET AL “On Abrasive Wear of Polyethylenes” *Macromolecules* 2002, 35, 8467
- 66 TERVOORT ET AL. US Patent 6,790,923 to ETH Zurich for Melt Processible Wear Resistant Polyethylene.
- 67 VARIOS AUTORES. “ The Root Cause of Abrasion” *Chemical Engineering News*, Vol. 80, Number 42, Oct 21, 2004
- 68 PROSPECTOR X5 “Campus Data Sheet for Hostalloy 731” IDES, 2005, <http://x5.ides.com/datasheet.aspx?&E=16439>
- 69 PROSPECTOR X5 “Campus Data Sheet for Vydyne 65^a”, IDES, 2005, [http: //x5.ides.com/datasheet.aspx?&E=10256](http://x5.ides.com/datasheet.aspx?&E=10256)
- 70 3D-Cam Prototyping “Properties of Ny66”, 2004. [http:www.3d-cam.com/materials/nylon_66_6.asp](http://www.3d-cam.com/materials/nylon_66_6.asp)
- 71 TICONA, GMBH “Processing Guides for UHMW Specialty Grades” DocB304E, Ticona GMBH, Germany, D46128, 2001
- 72 ASDERAU, K “ Processing Guidelines for Extrusion Materials” Bunzl Phoenix, 2004
- 73 SOLUTIA “Vydyne 65^a ; Properties & Processing Guidelines”, 2005, [http://www.vydyne.com/pages/pdfs/vydyne_65^a_M.pdf](http://www.vydyne.com/pages/pdfs/vydyne_65a_M.pdf)
- 74 UTRACKI, L. “History of Comercial Polymers, Alloys and Blendes” *Polymer Engineering. & Science*, 35, p 2 -17, 1995)

- 75 Smith, Mike editor "Handbook of Petrochemical Processes" Cap 11.01, McGraw Hill Pub., NY, 2004
- 76 Huels GMBH. "Comparison of Nylon Grades", http://www.rmb.com/about_rmb/data_sheets/nylon_12_comparison.pdf
- 77 MatWeb "Properties of Plastic Resins" <http://www.matweb.com/datasheet.aspx?&E=1056,1615,1167,176>.
- 78 WU J.J. ET AL "Processing of Ultra High Molecular Weight Polyethylene ; Modelling the Decay of Fusion Defects" Trans. I. Chem. E. Part A, Vol 80 pp 423 -431
- 79 KURTZ, STEVEN. "The UHMW PE Handbook" 1st Edition, Elsevier Academia Press, NY 2005 p 117.
- 80 KURTZ, STEVEN. "The UHMW PE Handbook" 1st Edition, Elsevier Academia Press, NY 2005 p 132.
- 81 RAUWENDAL C. "Polymer Extrusion", Hanser, New York, 1986 p 79
- 82 RAUWENDAAL, C. "Polymer Extrusion", Hanser, NY 1983, p 279
- 83 BAYER A.G. "Extrusion of Bayer Materials" Doc PR B 3523, Leverkusen, GFR 2003
- 84 STEVENS, M.J. "Extruder Principles and Operation" Elsevier Applied Sciences, U.K. 1985.
- 85 DEPARTAMENTO INGENIERIA "Impianti per Profili/Bandera Profile Lines" Luigi Bandera SPA, Italia 1999.
- 86 CUSTOMER SERVICE DEPT. "Characteristics of DS Extruders". Davis Standard Co., CT, USA 2004
- 87 YELLOW FREIGHT "Consulta Fletes Domésticos E.U.A." Entrevista Personal John Davis, Phoenix, AZ, 2005.
- 88 YELLOW FREIGHT "Consulta Fletes Domésticos E.U.A." Entrevista Personal John Davis, Phoenix, AZ, 2005.
- 89 GRUPO NAFTA "Cálculos de Gastos de Internación a México de Materiales Plásticos", Entrevista Personal con A. Silva, México 2005.
- 90 REGALADO, JAVIER "Entrevistas Personales y Telefónicas", Phoenix, Arizona, E.U.A., Octubre 2005.
- 91 ASDERAU, KEITH "Entrevista Personal", Orden PLastics, Phoenix, Arizona, E.U.A., Octubre, 2005.
- 92 COMISION FEDERAL ELECTRICIDAD " boletín Informativo de Tarifas Zona Norte", Octubre 5, 2005.
- 93 Diario Oficial de la Federación " Tipo de Cambio Dólar Norteamericano", México, Octubre 27, 2005
- 94 AREVALO, I. "Cotización Equipos Varios", Tecnología en Conversión de Plástico, México DF., Octubre 19, 2005.