

CAPÍTULO 1.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

“Lo que con mucho trabajo se adquiere, más se ama.”

Aristóteles

CAPÍTULO 1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Grupo Gysapol es una empresa mexicana dedicada a la fabricación de productos extruidos de polietileno de alta densidad reciclado (HDPL), la cual se encuentra ubicada en Toluca, Estado de México.

Cuenta con una gran variedad de productos como son: tarimas, bolardos, topes, guardacarriles, durmientes, muebles, etc.

1.1 Historia de la empresa

La empresa Gysapol fue fundada en el año 2003 por tres accionistas de donde proviene el nombre de la empresa que son: (Véase Fig. 1).

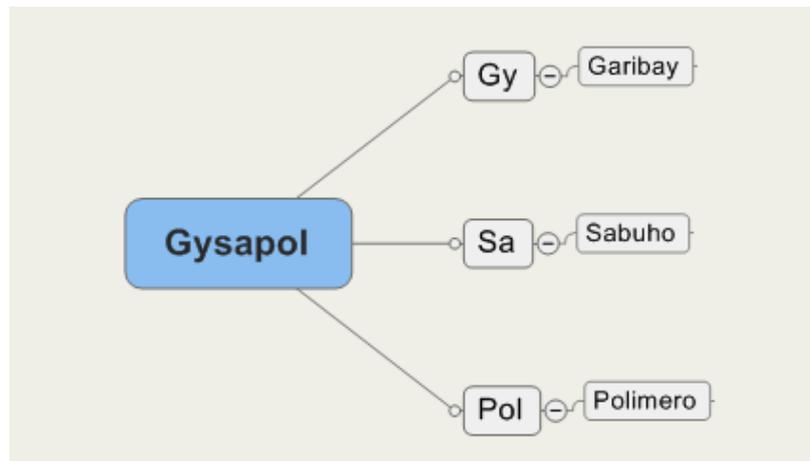


Fig. 1 Diagrama con el origen de la palabra Gysapol.

Gysapol empezó con ocho personas, trabajando un turno de 9 hrs. y con la fabricación de cimbras en dos líneas de producción, alcanzando de 25 a 30 ton/mes, con una capacidad instalada de hasta 45 ton/mes.

En mayo del 2005 por desacuerdo entre los accionistas la empresa no puede seguir su curso y se genera una separación de donde surge Grupo Gysapol y de donde se ha mantenido a la actualidad.

La empresa ha tenido un crecimiento exponencial en un periodo poco mayor a 3 años, en la actualidad cuenta con un personal de 80 a 90 personas trabajando las 24 horas del día, los

siete días de la semana, produciendo 300 ton/mes en 11 líneas de producción y con una capacidad instalada de 600 ton/mes.

Actualmente la empresa cuenta con diferentes líneas de productos:



Fig. 2 Líneas de productos en Grupo Gysapol.

Con las que en total se producen más de 60 productos.

Las líneas de productos más importantes que maneja Grupo Gysapol son:

- Línea vial
- Línea de carga y almacén
- Línea de construcción
- Línea mobiliaria

1.2 Misión y visión de la empresa

La misión de la empresa Grupo Gysapol es ***“Proporcionar soluciones diversas en materiales resistentes, durables y de calidad para la industria, turismo, comercio y la construcción.”***

Su visión es ***“ser una empresa líder en distribución en productos de Polietileno en nuestro país y el mundo.”***

Y los valores de la empresa son: ***su gente, la calidad de los productos y los clientes de la empresa.***

1.3 Principios básicos

Para empezar con la descripción del proceso de producción de los diversos artículos fabricados en la empresa se definirá lo que es un polímero, ventajas y desventajas del uso de los polímeros, su clasificación, tipos de polimerización, comportamiento térmico de los polímeros, las propiedades físicas y mecánicas de los polímeros y del proceso de extrusión.

a. Definición de polímero.

Los polímeros son al mismo tiempo los materiales más nuevos y los más viejos conocidos por el ser humano. Los polímeros forman a los organismos vivos y a todos los procesos vitales sobre la tierra. Para el hombre antiguo, los polímeros biológicos eran fuente de comida, abrigo y de muchos de sus implementos. Sin embargo, casi todos los materiales poliméricos que se emplean en la ingeniería hoy día son sintéticos.

Un polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada una de las cuales está hecha de unidades que se repiten y conectan entre sí. En una sola molécula de polímero puede haber miles, incluso millones de unidades. La palabra se deriva de los vocablos griegos *poly*, que significa muchos, y *meros* (que se contrae a mero), que es parte. La mayoría de los polímeros se basan en el carbono, y por ello se les considera productos químicos orgánicos.

Una molécula de polímero consiste en muchos meros que forman moléculas muy grandes que se mantienen unidas por medio de enlaces covalentes. Por lo general, los elementos de un polímero consisten en carbono más uno o más elementos tales como el hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y cloro. Un enlace secundario (Van der Waals) mantiene juntas a las moléculas dentro del material agregado (enlace intermolecular). Los polímeros tienen una estructura amorfa.

La estructura y enlace molecular de los polímeros les da las propiedades comunes siguientes: baja densidad, resistividad eléctrica elevada y baja conductividad térmica. La

resistencia y rigidez de los polímeros varía mucho. Algunos son resistentes y rígidos (aunque no igualan la fuerza y rigidez de los metales o cerámicos), mientras que otros muestran un comportamiento muy elástico.

b. Importancia comercial y tecnológica de los polímeros

Los plásticos pueden conformarse en una variedad amplia de productos, tales como piezas moldeadas, secciones extruidas, películas y hojas, recubrimientos para aislar alambres eléctricos y fibras para textiles. Además es frecuente que los plásticos sean el ingrediente principal de otros materiales, como pinturas y barnices, adhesivos y varios compuestos de matriz de polímero.

La relevancia comercial y tecnológica de estos procesos para dar forma se deriva de la creciente importancia de los materiales que se procesan. Durante los últimos 50 años las aplicaciones de los plásticos se han incrementado a una tasa mucho más rápida que la de los metales y cerámicos. La realidad es que muchas piezas que antes se hacían de metales, hoy se elaboran con plásticos y compuestos de plásticos. El volumen de los polímeros excede hoy día al de los metales.

Las siguientes son algunas razones de la importancia comercial y tecnológica de los polímeros.

1. Es posible dar forma a los plásticos al moldearlos en formas complejas, por lo general sin que se requiera mayor procesamiento. Son muy compatibles con el procesamiento de forma neta.
2. Los plásticos poseen una lista de propiedades atractivas para muchas aplicaciones de ingeniería en las que la resistencia no es importante: la densidad baja respecto de los metales y cerámicos, resistencia elevada a la corrosión, baja conductividad eléctrica y térmica.
3. Sobre una base volumétrica, los polímeros compiten en costo con los metales.

4. Ciertos plásticos son traslúcidos o transparentes, así que para ciertas aplicaciones compiten con el vidrio.
5. Los polímeros por lo general requieren menos energía que los metales para producirse, sobre una base de volumen. Esto se cumple debido a que es común que las temperaturas para trabajarlos sean mucho más bajas que las que requieren los metales.
6. Los polímeros se emplean mucho en materiales compuestos.

Por el lado negativo, los polímeros tienen en general las limitaciones siguientes:

1. Su resistencia es baja en comparación con la de los metales y cerámicos.
2. En el caso de los elastómeros, su módulo de elasticidad o rigidez también es bajo; está podría ser, por supuesto una característica deseable.
3. Las temperaturas de uso se limitan a sólo unos cientos de grados debido a que los polímeros termoplásticos se suavizan y por la degradación de los termofijos y elastómeros.
4. Ciertos polímeros se degradan si se les expone a la luz solar y a otras formas de radiación.
5. Los plásticos muestran propiedades viscoelásticas.

c. Polimerización

Los polímeros se sintetizan por medio de la unión de muchas moléculas pequeñas en otras más grandes, llamadas macromoléculas, que poseen una estructura parecida a una cadena.

Las unidades pequeñas, llamadas monómeros, por lo general son moléculas orgánicas insaturadas sencillas, tales como el etileno C_2H_4 . Los átomos de estas moléculas están unidos con enlaces covalentes y cuando se unen para formar un polímero, el mismo enlace covalente mantiene a la cadena. Así, cada molécula larga se caracteriza por enlaces primarios fuertes.

Como proceso químico, la síntesis de los polímeros ocurre por cualquiera de dos métodos: polimerización por adición y polimerización por etapas. La producción de un polímero se asocia por lo general con uno u otro método.

d. Estructura de los polímeros y copolímeros.

Existen diferencias estructurales entre las moléculas de los polímeros, incluso entre las del mismo polímero. A continuación se describirán brevemente los tres tipos de las estructuras moleculares de los polímeros.

1.- Estereorregularidad.

Tiene que ver con el arreglo espacial de los átomos y sus grupos en las unidades repetitivas de la molécula del polímero. Un aspecto importante es la forma en que los grupos de átomos se localizan a lo largo de la cadena para un polímero que tiene uno de los átomos de H en sus meros remplazado por algún otro átomo o grupos de átomos. Son posibles tres arreglos (Véase Fig. 3)

- a) Isotácticos, en el que los grupos impares de átomos se encuentran todos en el mismo lado.
- b) Sindiotáctico, en el que los grupos de átomos alternan en los lados opuestos.
- c) Atáctico, en el que los grupos se encuentran en cualquier lado aleatoriamente.

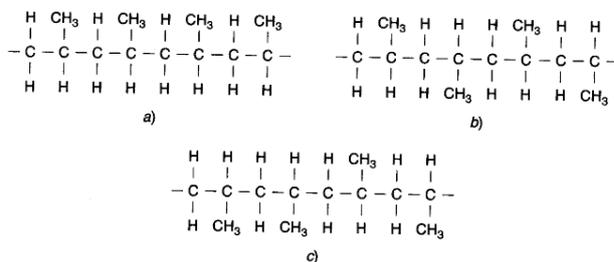


Fig. 3 Arreglos posibles de los grupos de átomos en el polipropileno: a) Isotácticos, b) Sindiotáctico, y c) Atáctico.¹

¹ Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 151)

2.- Ramificación y cruzamientos.

Es la generación de macromoléculas de una estructura semejante a una cadena, denominada polímero lineal. Una posibilidad es que ramas laterales se formen a lo largo de la cadena, lo que da como resultado un polímero ramificado.

Cuando el polímero está muy entrecruzado se dice que tiene una estructura de red, en realidad la masa entera es una macromolécula gigante. Los plásticos termofijos adoptan esta estructura después de la polimerización.

Los plásticos termofijos y los elastómeros son polímeros entrecruzados. El entrecruzamiento ocasiona que el polímero sea químicamente estable; la reacción no puede revertirse. Su efecto es cambiar de manera permanente la estructura del polímero; si se calienta, se degrada o quema, en lugar de fundirse. Los termofijos poseen un alto grado de entrecruzamiento, mientras que los elastómeros poseen un grado bajo. Los termofijos son duros y frágiles, en tanto que los elastómeros son elásticos y resilientes. (Véase Fig. 4).

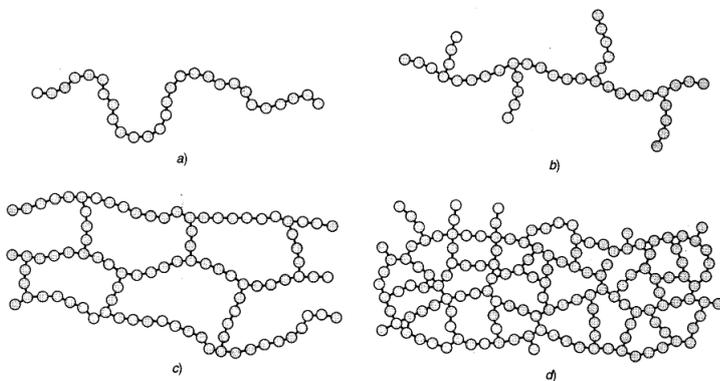


Fig. 4 Varias estructuras de moléculas de polímeros: a) lineal, característica de los termoplásticos; b) ramificada; c) entrecruzada holgada, como en los elastómeros; y d) entrecruzada estrecha, como en un termofijo.²

3.-Copolímeros

Son polímeros cuyas moléculas están hechas de unidades repetidas de dos tipos diferentes de meros de naturaleza química. (Véase Fig. 5).

Los copolímeros poseen arreglos diferentes de sus meros constitutivos, como son:

² Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 151)

- a) Alternante, en el que los meros se repiten en lugares alternados.
- b) Aleatorio, en el que los meros se hallan al azar y la frecuencia depende de las proporciones relativas de los monómeros de inicio.
- c) Bloque, en el que meros de mismo tipo tienden a agruparse por sí mismos en segmentos largos en la longitud de la cadena.
- d) Inserción, en el que los meros de un tipo se unen como ramas a un tronco principal de meros de otro tipo.

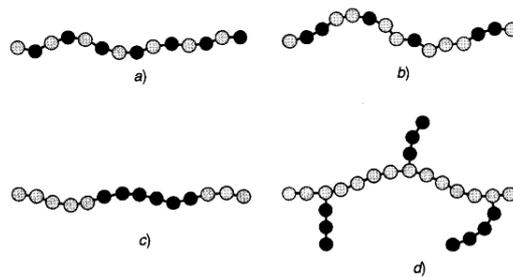


Fig. 5 Distintas estructuras de copolímeros: a) alternante, b) aleatorio, c) bloque y d) inserción.³

e. Comportamiento térmico de los polímeros

El comportamiento térmico de los polímeros con estructuras cristalinas es diferente del de aquellos que son amorfos. El efecto de la estructura se observa en la gráfica del volumen específico (inverso de la densidad) como función de la temperatura, como se aprecia en la Fig. 6

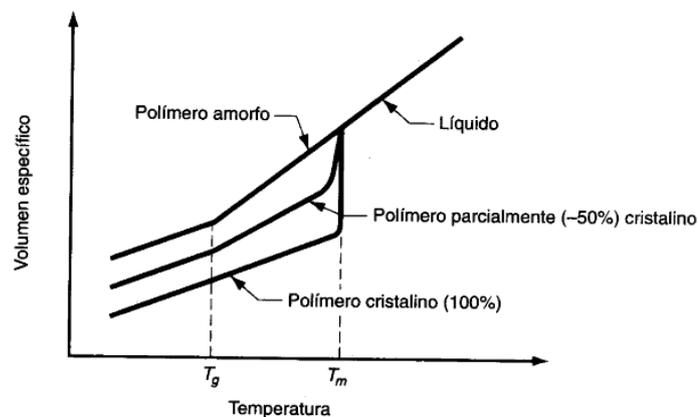


Fig. 6 Comportamiento de los polímeros como función de la temperatura.⁴

³ Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 152)

⁴ Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 154)

Un polímero muy cristalino tiene un punto de fusión (T_m), en el que el volumen sufre un cambio abrupto. Asimismo, a temperaturas por arriba del punto de fusión, la expansión térmica del material fundido es mayor que la del sólido por debajo del punto de fusión.

Un polímero amorfo no sufre los mismos cambios abruptos en la temperatura de fusión. Conforme se enfría a partir del estado líquido, su coeficiente de expansión térmica continúa la declinación a lo largo de la misma trayectoria, que tenía cuando estaba fundido, y se hace cada vez más viscoso con la disminución de la temperatura. Durante el enfriamiento por debajo del punto de fusión, el polímero cambia de líquido a algo similar al caucho. Conforme la temperatura desciende, se alcanza un punto final en el que la expansión térmica del polímero amorfo cae de súbito.

Esta es la temperatura de transición al vidrio (T_g) considerada como el cambio de pendiente. Por debajo de T_g , el material es duro y frágil.

Entre esos dos extremos, se encuentra un polímero cristalizado en forma parcial, como se muestra en la Fig. 6. Es un promedio de los estados cristalino y amorfo que depende del grado de cristalinidad. Por arriba de la temperatura de fusión T_m presenta las características viscosas de un líquido; entre la temperatura de fusión T_m y la temperatura de transición al vidrio T_g tiene propiedades viscoelásticas y por debajo de la temperatura de transición al vidrio tiene las propiedades elásticas convencionales de un sólido.

f. Aditivos

Las propiedades de los polímeros con frecuencia cambian para bien si se les combina con aditivos. Los aditivos alternan la estructura molecular del polímero, o bien agregan una segunda fase al plástico, y lo transforman, en efecto, en un material compuesto.

Rellenos

Son materiales que se agregan de forma de partículas o fibras a un polímero, a fin de alterar las propiedades mecánicas de éste o sólo para reducir el costo del material. Otras razones para utilizar los rellenos son mejorar la estabilidad dimensional y térmica.

Los rellenos que mejoran las propiedades mecánicas se denominan agentes reforzadores y los compuestos que se crean de ese modo reciben el nombre de plásticos reforzados; tienen más rigidez, resistencia, dureza y tenacidad que el polímero original.

Plastificadores

Son productos químicos que se agregan a un polímero para hacerlo más suave, flexible y para mejorar sus características de flujo durante la formación. El plastificador funciona al reducir la temperatura de transición a vidrio por debajo de la del ambiente. En tanto que por debajo de la temperatura de transición al vidrio el polímero es duro y frágil, por arriba de esa temperatura es suave y rígido.

Colorantes

Una ventaja que tienen muchos polímeros sobre los metales y cerámicos es que puede obtenerse el mismo material de cualquier color. Esto elimina la necesidad de operaciones secundarias de recubrimiento. Los colorantes para los polímeros son de dos tipos: pigmentos y tinturas. Los pigmentos son materiales pulverizados finamente, insolubles y que deben distribuirse de manera uniforme en todo el polímero en concentraciones muy bajas, por lo general menores a 1%. Es frecuente que agreguen opacidad o bien color al plástico. Las tinturas son productos químicos que es usual aplicar en forma líquida, y que por lo general son solubles en el polímero. Normalmente se usan para dar colores transparentes a plásticos tales como estireno y acrílicos.

Lubricante

Se agrega al polímero para reducir la fricción y facilitar el flujo hacia la interfaz del molde. También son útiles para liberar la pieza del molde en las operaciones de inyección. Con frecuencia para el mismo propósito se utilizan agentes que se rocían en la superficie del molde para liberarlo.

Casi todos los polímeros arden si se suministra el calor y oxígeno requeridos. Algunos son más combustibles que otros. Los retardantes de flama son productos químicos que se agregan a los polímeros para reducir la flamabilidad, por alguno de los mecanismos siguientes o combinación de ellos: interferencia con la propagación de la flama, producción de grandes cantidades de gases incombustibles o aumento de la temperatura de combustión del material. Los productos químicos también sirven para reducir la emisión de gases nocivos o tóxicos que se generan durante la combustión.

Muchos polímeros son susceptibles de degradarse por acción de la luz ultravioleta y la oxidación. La degradación se manifiesta como el rompimiento de enlaces en las moléculas de cadena largas. Por ejemplo, el polietileno es vulnerable a ambos tipos de degradación lo que lleva a una pérdida de la resistencia mecánica. Los absorbentes de la luz ultravioleta y los antioxidantes son aditivos que reducen la susceptibilidad del polímero a estas formas de ataque.

g. Clasificación de los polímeros

Los polímeros sintéticos se dividen en termoplásticos, termofijos y elastómeros. Como materiales de la ingeniería, son relativamente nuevos en comparación con los metales y los cerámicos, pues sólo datan de alrededor de la mitad del siglo XIX.

1. Polímeros termoplásticos.

Polímeros termoplásticos, también llamados termoplásticos, son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero si les calienta a temperaturas de apenas unos cuantos cientos

de grados, se vuelven líquidos viscosos. Esta característica permite que adopten formas de productos de modo fácil y económico. Se pueden sujetar repetidas veces al ciclo de calentamiento y enfriamiento sin que el polímero se degrade en forma significativa.

La propiedad definitoria de un polímero termoplástico es que puede calentarse desde el estado sólido hasta el líquido viscoso y después enfriarse hasta volver a ser sólido, y que es posible realizar muchas veces este ciclo de calentamiento y enfriamiento sin que el polímero se degrade. La razón de esta propiedad es que los polímeros termoplásticos consisten en macromoléculas lineales (o ramificadas) que no se entrecruzan cuando se calientan. Por el contrario, los termofijos y elastómeros pasan por un cambio químico si se les calienta, con entrecruzamiento de sus moléculas y transformación permanente de estos polímeros.

En realidad, los termoplásticos sí se deterioran químicamente con el calentamiento y enfriamiento repetidos. En el moldeo de plásticos, se hace una distinción entre el material nuevo o virgen y el plástico que ya ha sido moldeado con anterioridad (por ejemplo, desechos, piezas defectuosas) y por ello han experimentado ciclos térmicos. Para ciertas aplicaciones sólo el material virgen resulta aceptable. Los polímeros termoplásticos también se degradan paulatinamente si se les sujeta a temperaturas elevadas por debajo de la temperatura de fusión. Este efecto de largo plazo se denomina envejecimiento térmico, e involucra el deterioro químico lento.

Propiedades mecánicas. El termoplástico común a temperatura ambiente se caracteriza por lo siguiente: rigidez muy baja, con módulo de elasticidad de dos o tres, órdenes de magnitud menor que el de los metales y cerámicos, poca resistencia a la tracción, alrededor de 10% de la de los metales, dureza mucho menor y ductilidad mayor. Las propiedades mecánicas de los termoplásticos dependen de la temperatura.

Propiedades físicas. Las propiedades físicas de los materiales, en general los polímeros termoplásticos tienen las características siguientes: densidades menores que la de los metales o cerámicos, las gravedades específicas comunes de los polímeros están en alrededor de 1.2, las de los cerámicos son de cerca de 2.5, y las de metales de 7.0, los coeficientes de expansión térmica mucho mayor, aproximadamente, cinco veces el valor de los metales y 10 veces el de los cerámicos, temperaturas de fusión mucho menores, calores específicos que son de dos a cuatro veces las de los metales y cerámicos, conductividades térmicas de alrededor de tres órdenes de magnitud menos que la de los metales y propiedades de aislamiento eléctrico.

2. Polímeros termofijos

Polímeros termofijos ó termoestables, no toleran ciclos repetidos de calentamiento. Cuando se calientan de inicio, se suavizan y fluyen de modo que se pueden moldear, pero las temperaturas elevadas también producen una reacción química que endurece el material y lo convierte en un sólido que no se puede fundir. Si se le vuelve a calentar, los polímeros termofijos o termoestables se degradan y carbonizan, en vez de suavizarse.

Los polímeros termofijos se distinguen por su estructura muy entrecruzada. En realidad, la pieza formada se convierte en una sola macromolécula. Los termofijos siempre son amorfos y no presentan temperaturas de transición al vidrio.

Debido a las diferencias químicas y estructura molecular, las propiedades de los plásticos termofijos son distintas de la de los termoplásticos. En general, los termofijos son: más rígidos, su módulo de elasticidad es de dos a tres veces más grande, frágiles, virtualmente no poseen ductilidad, menos solubles en solventes comunes, capaces de resistir temperaturas de uso elevadas y no son capaces de volverse a fundir, en vez de ello se degradan o queman.

Las diferencias en las propiedades de los plásticos termofijos son atribuibles al entrecruzamiento, que forma una estructura estable en lo térmico, tridimensional y de enlaces covalentes en el interior de la molécula. El entrecruzamiento ocurre en tres maneras.

Sistemas activados por temperatura.

Sistemas activados por catalizadores.

Sistemas activados por mezcla.

Las reacciones químicas que se asocian con el entrecruzamiento se denominan como curado o fraguado. El curado se efectúa en plantas de fabricación que dan forma a las piezas, a diferencia de las plantas químicas que suministran al fabricante los materiales de inicio.

3. Elastómeros

Los elastómeros son los cauchos. Se trata de polímeros que presentan alargamiento elástico extremo si se les sujeta a un esfuerzo mecánico relativamente bajas. Algunos elastómeros son capaces de estirarse en un factor de 10 y aun así recuperar su forma original por completo. Aunque sus propiedades son muy distintas de las de los termofijos, tienen una estructura molecular similar a la de éstos, pero diferente de la de los termoplásticos.

Los elastómeros consisten en moléculas de cadena larga entrecruzadas (como los polímeros termofijos). Son polímeros capaces de desarrollar una deformación elástica grande si se les sujeta a esfuerzos relativamente pequeños. El término más frecuente para un elastómero es, por supuesto, el caucho. Los cauchos se dividen en dos categorías: caucho natural, derivado de ciertos vegetales y elastómeros sintéticos, que se obtienen por procesos de polimerización similares a los que se emplean para los polímeros

termoplásticos y termofijos. El ejemplo más común de los elastómeros es el caucho natural.

h. Propiedades de los polímeros importantes para llevar a cabo el proceso de extrusión.

El número de materiales plásticos disponibles para procesarse por extrusión crece continuamente, así como la gama de productos terminados y semiterminados que se pueden fabricar por este método. La extrusión es probablemente el proceso más versátil en la industria de los plásticos y también es una operación de alta capacidad.

Los procesos para dar forma a los plásticos se clasifican de acuerdo con la forma geométrica del producto resultante: productos extruidos continuos con sección transversal constante distinta de las hojas, películas y filamentos; hojas y películas continuas; filamentos continuos (fibras); piezas moldeadas que son, sobre todo, sólidas; piezas moldeadas huecas con paredes relativamente delgadas; piezas discretas hechas de hojas y películas formadas; fundidos y productos de espuma.

Los procesos más importantes en el comercio son aquellos asociados con los termoplásticos; los dos procesos de moldeo de mayor significancia son por extrusión y por inyección.

Se comienza el estudio por medio del análisis de las propiedades de los polímeros fundidos, porque casi todos los procesos para dar forma a los termoplásticos comparten la etapa común de calentar el plástico de modo que fluya.

Para dar forma a un polímero termoplástico éste debe calentarse de modo que se suavice hasta adquirir la consistencia de un líquido. Esta forma se denomina polímero fundido, que tiene varias propiedades y características únicas como son:

1. Viscosidad

Viscosidad. Es la propiedad que determina que un fluido fluya, es la resistencia al flujo. La viscosidad es una propiedad de los fluidos que relaciona la fuerza cortante que se experimenta durante el movimiento del fluido con la tasa de deformación. La viscosidad es importante en el procesamiento de polímeros por que la mayoría de métodos para dar forma involucra el flujo del polímero fundido a través de canales pequeños o aberturas.

Se define como la razón del esfuerzo cortante a la tasa del cortante durante el flujo, donde el esfuerzo cortante es la fuerza por fricción que el fluido ejerce por unidad de área, y la tasa del cortante es el gradiente de la velocidad perpendicular a la dirección del flujo.

Es frecuente que los gastos o caudales sean elevados, lo que genera tasas elevadas de corte; y las fuerzas de corte se incrementan con la velocidad de corte, por lo que se requieren presiones significativas para efectuar los procesos.

2. Viscoelasticidad

Viscoelasticidad. Es aquella propiedad que tiene un material que determina la deformación que experimenta cuando se le sujeta a combinaciones de esfuerzo y temperatura a lo largo del tiempo. Un ejemplo es la expansión del dado en la extrusión, en la que el plástico caliente se expande conforme sale de la abertura del dado. El fenómeno, se explica si se observa que el polímero estaba contenido en una sección transversal mucho más grande antes de ingresar al canal angosto del dado. En efecto, el material extruido “recuerda” su forma y trata de regresar a ella después de dejar el orificio del dado. En otras palabras, los esfuerzos de compresión que actúan sobre el material conforme ingresa a la abertura pequeña del dado no se relajan de inmediato. Cuando el material sale después del orificio y la restricción desaparece, los esfuerzos no liberados hacen que la sección transversal se expanda.

El comportamiento viscoelástico se manifiesta en la fusión de los polímeros como memoria de su forma. Conforme el polímero espeso se funde, se transforma durante el proceso de una forma a otra; “recuerda” su forma anterior y trata de volver a esa geometría.

Hasta este punto hemos dado una breve explicación de las características principales de la materia prima que se usa en la empresa en donde llevamos este trabajo de tesis, ahora se describirá el proceso que se usa para transformar el plástico en cuestión en los diversos productos de la misma.

i. Definición de extrusión

Es uno de los procesos fundamentales para dar forma a los metales y polímeros, así como algunos cerámicos. La extrusión es un proceso de compresión en el que se fuerza el material a fluir a través de un orificio practicado en un dado a fin de obtener un producto largo y continuo, cuya sección transversal es constante y adquiere la forma determinada por la del orificio.

j. Proceso y equipo.

En la extrusión de polímeros, se alimenta material en forma de pellets o polvo hacia adentro de un barril de extrusión, donde se calienta, funde y fuerza para que fluya a través de la abertura de un dado por medio de un tornillo rotatorio. Los dos componentes principales del extrusor son el barril y el tornillo. El dado no es un componente del extrusor; es una herramienta especial que debe fabricarse para el perfil particular que se va a producir.

Es común que el diámetro interno del barril del extrusor varíe entre 25 y 150 mm. El barril es largo en relación con su diámetro, con razones L/D que, por lo general, están entre 10 y 30. Las razones más altas se emplean para materiales termoplásticos, en tanto que los valores L/D más bajos son para los elastómeros. (Véase Fig. 7)

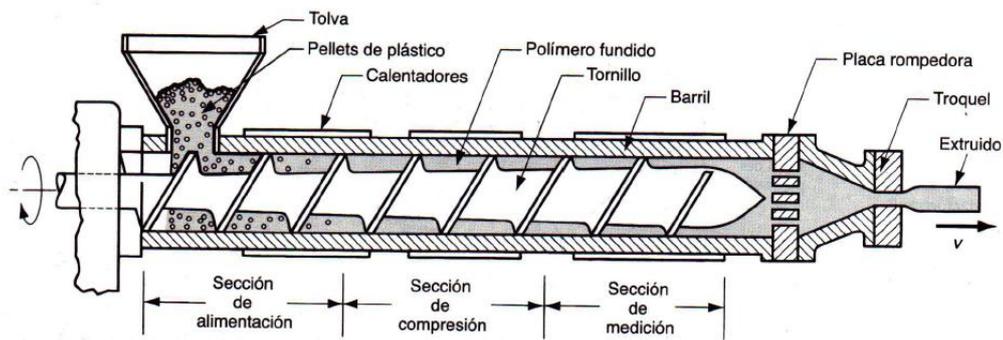


Fig. 7 Componentes y características de un extrusor (de un solo tornillo) para plásticos y elastómeros.⁵

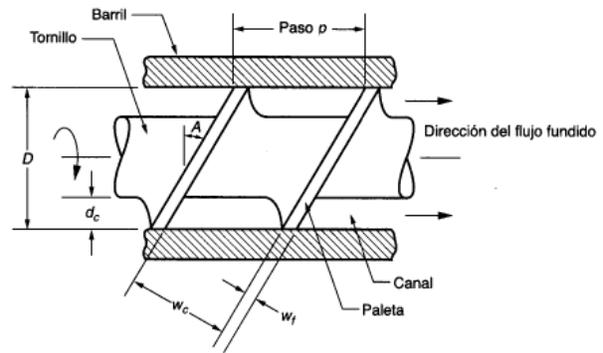
En el extremo del barril opuesto al dado se localiza una tolva que contiene el material que se alimenta. Los pellets se alimentan al tornillo rotatorio, cuya rosca mueve al material a lo largo del barril. Se utilizan calentadores eléctricos para fundir al inicio los pellets sólidos; después, la mezcla y el trabajo mecánico del material generan calor adicional, lo que mantiene fundido al material. En ciertos casos, se suministra calor suficiente a través de la mezcla y acción cortante de modo que no se requiere calor externo.

En realidad, en ciertos casos el barril debe enfriarse desde el exterior a fin de impedir el sobrecalentamiento del polímero.

El material se hace avanzar a lo largo del barril hacia la abertura del dado, por medio de la acción del tornillo extrusor. El tornillo tiene varias funciones y se divide en secciones que son: sección de alimentación, en la que el material se mueve del puerto de la tolva y recibe precalentamiento; sección de compresión, en la que el polímero se transforma para adquirir consistencia líquida, se extrae del fundido el aire atrapado entre los pellets y se comprime el material; y sección de medición, en la que se homogeniza al fundido y se genera presión suficiente para bombearlo a través de la abertura del dado.

⁵ Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 262)

Fig. 8 Detalles de un tornillo extrusor dentro del barril.⁶



La operación del tornillo está determinada por su forma geométrica y velocidad de rotación. (Véase Fig. 8) El tornillo consiste en “paletas” (cuerdas) en forma de espiral, con canales entre ellas por los que avanza el polímero fundido.

Las tres secciones del tornillo se ilustran en la Fig. 7 como si tuvieran longitud igual; esto es apropiado para un polímero que se funde gradualmente, como un polietileno de baja densidad. Para otros polímeros, las longitudes óptimas son diferentes.

El avance del polímero a lo largo del barril lo hace llegar en última instancia a la zona muerta. Antes de llegar al dado, el fundido pasa a través de una serie de mallas de alambre sostenidas por una placa rígida (llamada placa rompedora) que contiene agujeros axiales pequeños. La malla sirve para: filtrar los contaminantes y grumos duros del fundido, generar presión en la sección de medición y forzar al flujo del polímero fundido y borrar de su memoria el movimiento circular impreso por el tornillo. Esta última función tiene que ver con la propiedad viscoelástica del polímero; si el flujo no se forzara, el polímero repetiría su historia de girar dentro de la cámara de extrusión, y tendería a rotar y distorsionar el extruido.

Lo que se ha descrito es la máquina de extrusión de un solo tornillo. También debe mencionarse los extrusores de tornillos gemelos, ya que ocupan un lugar importante en la industria. En estas máquinas, los tornillos son paralelos y se encuentran lado a lado dentro del barril.

⁶ Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 262)

La forma del orificio del dado determina la forma de la sección transversal del extruido. Se puede enumerar los perfiles del dado comunes y las formas extruidas correspondientes, como sigue: perfiles sólidos, perfiles huecos, recubrimientos de alambre y cable, hoja y película.

k. Defectos de la extrusión

Los productos extruidos presentan ciertos números de defectos. Uno de los peores es la fractura del fundido, en la que las tensiones que actúan sobre el fundido inmediatamente antes y durante su paso a través del dado son tan grandes que ocasionan una falla, que se manifiesta en forma de la superficie muy irregular del extruido. Como se sugiere en la Fig. 9 la fractura del fundido puede ser ocasionada por una reducción brusca de la entrada del dado, lo que provoca un flujo turbulento que rompe el fundido. Esto contrasta con las líneas de corriente del flujo laminar en el dado que converge en forma gradual.

Un defecto más común de la extracción es la piel de tiburón, en la que la superficie del producto se arruga al salir del dado. Conforme el fundido fluye a través de la abertura del dado, la fricción en la interfaz ocasiona un perfil de velocidad a través de la sección transversal, como se ve en la Fig. 9. Los esfuerzos de tensión aparecen en la superficie al estirarse este material para estar a la par con el núcleo central que se mueve más rápido.

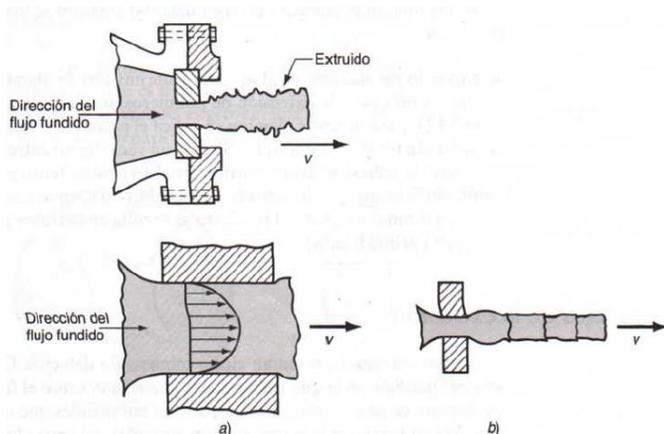


Fig. 9 Fractura del fundido ocasionada por el flujo turbulento del líquido a través de una entrada del dado que se reduce en forma abrupta. a) Perfil de velocidad del fundido conforme pasa a través de la abertura del dado, lo que lleva a defectos llamados piel de tiburón y b) bambú.⁷

⁷ Groover, M. *Fundamentos de manufactura moderna*, 3era. Edición, México 2007 (pág. 271)

Estos esfuerzos ocasionan rupturas menores que arrugan la superficie. Si el gradiente de velocidad se vuelve extremo, aparecen marcas prominentes en la superficie, lo que le da el aspecto de un tronco de bambú; de ahí el nombre de bambú para este defecto más severo.

1.4 Proceso de producción.

Como ya se ha mencionado en Grupo Gysapol se elaboran más de 60 artículos, entre los cuales hay guardacarriles, durmientes, tarimas, topes, todos estos elaborados gracias al proceso de extrusión.

A continuación se describirá el proceso de producción que sigue Grupo Gysapol para la elaboración de dos de sus productos principales debido a su demanda y que además son los productos en los cuales se centrará este estudio los cuales son: tarima de 900 X 1000 [mm] y tope amarillo de 600 [mm].

El polietileno de alta densidad es el principal elemento de la materia prima para la elaboración de las tarimas y los topes, se encuentra presente en diversas presentaciones, como pueden ser: pellets (material virgen), hojuela multicolor, hojuela blanca o natural y también el material reprocessado, este último, está conformado de piezas que no fueron aceptadas por control de calidad durante el proceso de producción. Cuando se trabaja con material reprocessado el proceso de producción es más largo, ya que los perfiles son sometidos a diversos pasos para ser convertidos nuevamente en hojuelas.

El proceso de producción de la tarima de 900 X 1000 [mm] se hace de dos maneras, debido a que el polietileno que se usa puede ser hojuela multicolor o polietileno reprocessado, en el cual se hacen más operaciones para transformar el material rechazado en hojuelas.

El tipo de polietileno para el tope amarillo es la hojuela blanca o natural debido al color amarillo de los topes no puede ser utilizado la hojuela multicolor o el polietileno reprocessado.

En el primer paso para la elaboración de la tarima es el recibo de materia prima, en donde el polietileno es revisado por control de calidad, donde se revisa que el material cumpla con las siguientes características: tamaño, cantidad y la limpieza del mismo. (Véase Fig. 10).



Fig. 10 Recepción de materia prima.

Una vez que el material es aceptado, es llevado al almacén de materia prima, donde permanece hasta que es requerido en jumbos (costales con capacidad de una tonelada), nótese que en este paso del proceso, el polietileno no es etiquetado, lo que hace que no se lleve control de la cantidad de material. (Véase Fig. 11).



Fig. 11. Almacén de materia prima.

Cuando es requerido el material para cumplir con un lote de producción (en este caso de la tarima), se lleva el material a una mezcladora, la cual como su nombre lo indica, hará que el polietileno junto con los aditivos queden perfectamente mezclados como lo indica la formulación química de la tarima.

Esta formulación es elaborada por Químicos encargados de verificar y hacer que las composiciones cumplan con las propiedades mecánicas y físicas requeridas por la tarima y el tope, así como de los demás productos elaborados en Grupo Gysapol. (Véase Fig. 12).

Se mencionan las sustancias que comúnmente se agregan a la composición de los productos extruidos, su función de estas sustancias fue mencionada anteriormente en los principios básicos:

Agentes Retardantes de flama

Agentes Protectores U.V.

Agentes Espumantes

Agentes Antioxidantes

Agentes Antiestáticos



Fig. 12 Mezcladora.

Una vez que está lista la mezcla, nuevamente el encargado de calidad realiza la labor de verificar que esta contenga las características necesarias para poder seguir con el proceso de producción de la tarima y el tope, esto lo logra tomando muestras aleatorias de las mismas las cuales son analizadas.

Cuando la composición de la mezcla es adecuada, el siguiente paso es fundamental, debido a que es aquí cuando el polietileno sufrirá la transformación más importante: la extrusión. (Véase Fig. 13)



Fig. 13 Área de extrusión.

Como ya se mencionó, la extrusión es el proceso de compresión en el que se fuerza el material a fluir a través de un orificio practicado en un dado a fin de obtener un producto largo y continuo, cuya sección transversal adquiere la forma determinada por la del orificio, en este caso, los dados utilizados para la elaboración de la tarima y el tope.

Cuando el polímero es extruido se debe supervisar que se cumplan ciertas condiciones como son: la temperatura del fluido, cantidad de mezcla y la velocidad de extrusión.

Debido a la importancia de este paso en nuestro proceso de producción el material que es extruido es supervisado constantemente, llevando un historial de la velocidad del fluido,

temperatura y el tiempo que lleva la operación, esto último para hacer un estimado del tiempo que dura la elaboración de cada lote de producción, dependiendo del producto que se desee, así como también, que el sistema de enfriamiento contenga la cantidad de agua necesaria para enfriar el plástico recién extruido.

Si el proceso de extrusión no presenta dificultades el supervisor hace una inspección visual al plástico extruido, verificando que este cumpla con las dimensiones correctas, color y sobre todo que no contenga defectos comunes en la extrusión como son: piel de tiburón, huecos ó bambú, es común que en esta parte del proceso se hagan pruebas mecánicas a los perfiles extruidos, por ejemplo, de dureza.

Cuando algún perfil no cumple con las especificaciones de calidad para el producto, se corta en trozos de 150 [mm] y son llevados al área de almacén.

Después de que se tienen los trozos de material en jumbos se les da una clasificación para conocer la cantidad de veces que ha sido reprocesado el material, si el material ha si reprocesado más de 4 veces deja de funcionar ya que se degradan de manera sustancial las capacidades y características necesarias para tener un producto de calidad.

Posteriormente se llevan los pedazos al área de trituración donde se obtienen fragmentos irregulares de aproximadamente 5 cm de diámetro, el cual es almacenado nuevamente en jumbos. (Véase Fig.14)



Fig. 14 Área de triturado.

El siguiente paso en el proceso es llevar el material ya triturado al molino en donde se le quita el exceso de humedad contenida debido al sistema de enfriamiento al que es sometido para que pueda ser procesado posteriormente de forma adecuada. (Véase Fig. 15)



Fig. 15 Área de molino (Quitar humedad).



Fig. 16 Área de corte.

El extruido que cumpla con todas las propiedades necesarias para la obtención de perfiles de calidad, son cortados a las dimensiones requeridas, (Véase Fig. 16) según las características de los componentes de cada artículo. En el caso de la tarima los componentes y dimensiones son:

A continuación se muestran los componentes de la tarima de 1000 mm X 900 mm

Tarima.

A continuación se muestran las características dimensionales y las cantidades de materia prima necesaria para la fabricación de cada uno de los productos:

Tarima de 900 [mm] x 1000 [mm] (Véase Fig. 17)



Fig. 17 Tarima 900 [mm] x 1000 [mm].

La tarima consta de cuatro tipos diferentes de componentes:

Clavo anillado cal. 120 2.5 [in] (120 pzas. por tarima)

Divisor delgado 4 [in] x 0.75 [in] (3 pzas.)

Tabla Marco 3.75 [in] x 0.75 [in] (4 pzas.)

Tabla 3[in] x 0.5 [in] (7 pzas.)

Datos sobre el peso de los componentes de la tarima

Componente	Peso/Longitud [Kg/m]	Peso teórico [Kg]	Peso real [Kg]
Divisor delgado	1	2.7 (3 piezas)	-
Tabla 3" x 1/2"	0.8	5.04 (7 piezas)	-
Tabla marco	1.4	5.6 (4 piezas)	-
Peso total tarimas		13.34	13.9

Tabla 1. Peso de material usado en la fabricación de la tarima.

Se observa una variación de 0.56 kg al comparar el peso teórico y real debido a que no se tomaron en cuenta los clavos en el cálculo del peso teórico, el tipo de polietileno que se usa para elaborar las tarimas es el reprocesado ya que el color negro es el único color obtenido de esta manera.

En el caso del tope amarillo los componentes son menos ya que el perfil al ser cortado, no necesita operaciones de armado a otros perfiles, este debe ser cortado a 60 [cm] de largo.

Tope.

Los datos de tope amarillo de 600 [mm] son los siguientes: (Véase Fig. 18)



Fig. 18 Tope amarillo de 600 [mm]

Dimensiones del tope:

Altura 88 [mm] Ancho 152.4 [mm]

Componente	Peso/Longitud [Kg/m]	Peso teórico [Kg]	Peso real [Kg]
Tope	7.5	4.5	4.733

Tabla 2. Peso de material usado en la fabricación del tope amarillo de 600 mm.

Podemos observar una variación de 0.23 kg al comparar los pesos teórico y real ya que no se tomó en cuenta el peso de los fantasmas en el cálculo del peso teórico.

Encontramos en esta parte del proceso áreas de oportunidad ya que en esta operación, la forma en que se corta el perfil se lleva a cabo por medio de serruchos, en esta operación existen trabajadores encargados de medir y cortar a mano alzada los perfiles, esto provoca que haya imprecisión en los cortes y por lo tanto en las medidas, así como, tiempos excesivos en esta operación permitiendo la existencia de cuellos de botella.

Cuando el material es cortado el supervisor encargado hace una nueva inspección visual, aleatoriamente se miden las dimensiones de los distintos perfiles y se hace la aceptación o rechazo de los mismos.

Una vez cortados los perfiles, la siguiente operación es el armado de la tarima y el tope. Esta operación se lleva a cabo en mesas de trabajo, donde, dependiendo del producto que se desea obtener, se unen los componentes de la pieza, se quitan las rebabas, en el caso de la tarima se clavan los perfiles de diversos tamaños hasta obtener la tarima de las dimensiones adecuadas así como se muestra en la Fig. 19 y Fig. 20.

En el caso del tope amarillo de 60 cm., en el área de armado se le colocan los fantasmas en los extremos, las cuales son las únicas piezas que se montan al tope ya que no requiere ser ensamblado a más perfiles.



Fig. 19 Área de ensamble



Fig. 20 Ensamble de las piezas de tarima

Una vez que son armados la tarima o el tope, son llevados al área de grabado, aquí a los productos se les pone la marca del cliente o el logotipo según sea el caso, con pintura indeleble y por medio de regletas diseñadas especialmente para cumplir con las peticiones del cliente.

Una vez que la tarima y el tope son grabados el Departamento de Calidad realiza una inspección a los productos terminados para poder liberarlos, se revisa que el grabado sea claro, legible, en el caso de la tarima que este bien armada y el tope tenga los fantasmas colocados adecuadamente. (Véase Fig. 21)



Fig. 21 Área de grabado.

Cuando calidad realiza un espoteo e inspecciona el lote de producción y este ha sido liberado, los productos van al último paso de nuestro proceso, son llevados a emplayar y a acomodar en el almacén de producto terminado. (Véase Fig. 22)



Fig. 22 Almacén de producto terminado.

1.5 Situación actual de la empresa

En Grupo Gysapol actualmente laboran aproximadamente 80 personas en todas las áreas de la empresa. La organización está dividida en dos áreas principales, las cuales son:

Administrativa

Producción

El área administrativa se divide en Contabilidad, Logística, Recursos Humanos, Ventas y Dirección.

El área de producción está integrada por Calidad, Producción, Armado y Mantenimiento. A continuación mostramos el organigrama actual, donde se muestran a las personas que integran el equipo de Grupo Gysapol y el cargo que tienen. (Véase Fig. 23)

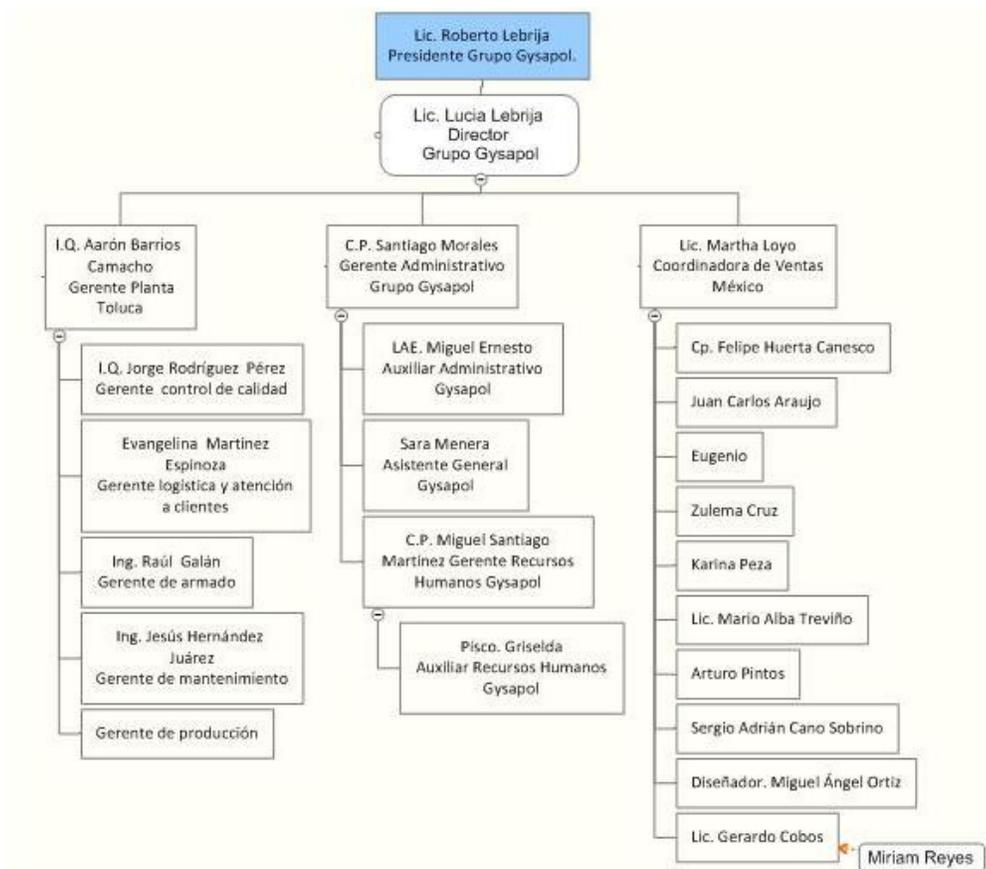


Fig. 23 Organigrama de la empresa.

Para la realización de este trabajo se tuvo la oportunidad de realizar varias visitas a la empresa, con las cuales se observó que existen varias áreas de oportunidad, se realizó un ejercicio con los trabajadores de las diversas áreas de la empresa, obteniendo información acerca de las formas en que actualmente llevan a cabo su trabajo para poder detectar mejoras y facilitar sus actividades con las propuestas de este trabajo.

Conforme se estudió a fondo las diversas áreas de la empresa y la forma en que esta se maneja, ya sea, la organización, producción, su manejo de almacén, su forma de estiba, distribución de planta, se identificaron las siguientes áreas de oportunidad, las cuales se mencionan a continuación: (Véase anexo A1)

1.- Material

- Alto grado de piezas rechazadas.
- Grandes cantidades de piezas averiadas, estropeadas o destruidas en proceso, pero no en las operaciones productivas.
- Entregas interdepartamentales lentas.
- Material que se extravía o que pierde su identidad.
- Tiempo excesivamente prolongado de permanencia del material en proceso, en comparación con el tiempo real de operación.

2.-Maquinaria

- Maquinaria inactiva.
- Muchas averías de maquinaria.
- Maquinaria anticuada.
- Equipo que causa excesiva ruido y suciedad.
- Equipo demasiado ancho para su ubicación.
- Maquinaria y equipo inaccesibles.

3.- Hombre

- Condiciones de trabajo poco seguras.
- Área que no se ajusta a los reglamentos de seguridad, de edificación o contra incendios.
- Quejas sobre condiciones de trabajo incómodas.
- Excesiva rotación de personal.
- Obreros de pie, ociosos o paseando gran parte de su tiempo.
- Equívocos entre operarios y personal de servicios.

- Trabajadores calificados pasando gran parte de su tiempo realizando operaciones de servicio (mantenimiento).

4.- Movimiento, manejo de materiales.

- Retrocesos y cruces en la circulación de los materiales.
- Operarios calificados o altamente pagados, realizando operaciones de manipulación.
- Gran proporción del tiempo de los operarios, invertido en “recoger” y “dejar” materiales o piezas.
- Frecuentes acarreos y levantamientos a mano.
- Frecuentes movimientos de levantamiento y traslado que implican esfuerzo o tensión indebidos.
- Operarios esperando a los ayudantes que los secunden en el manejo manual, o esperando los dispositivos de manejo.
- Operarios forzados a sincronizarse con el equipo de manejo.
- Traslados de larga distancia.
- Traslados demasiados frecuentes.
- Equipo de manejo inactivo y/o manipuladores inactivos.
- Congestión en los pasillos.
- Manejos excesivos y transferencias.

5.- Almacenamiento

- Se observan grandes cantidades de almacenamientos de todas clases.
- Gran número de pilas de material en proceso esperando.
- Zonas de almacenaje no claras o muelles de recepción y embarque atiborrados.
- Operarios esperando material en los almacenes o en los puestos de trabajo.

- Poco aprovechamiento de la tercera dimensión en las áreas de almacenaje.
- Materiales averiados o mermados en las áreas de almacenamiento.
- Elementos de almacenamiento inseguro e inadecuado.
- Manejo excesivo en las áreas de almacén o repetición de las operaciones de almacenamiento.
- Frecuentes errores en las cuentas o en los registros de existencias.

6.- Servicio

- Quejas sobre las instalaciones por inadecuadas.
- Puntos de inspección o control inadecuados.
- Inspectores y elementos de inspección y prueba ociosos.
- Entregas retrasadas de material a las áreas de producción.
- Número desproporcionadamente grande de personal empleado en la recogida de desechos, desperdicios y rechazos.
- Demoras en las reparaciones.
- Líneas de servicios auxiliares que se rompen o averían frecuentemente.
- Trabajadores realizando sus propias ampliaciones o modificaciones en el cableado, tuberías, conductos u otras líneas de servicio.
- Elevada proporción de empleados y personal de servicio en relación con los trabajadores de producción.
- Número excesivo de reordenamiento del equipo, precipitadas o de emergencia.

7.- Edificio.

- Paredes u otras divisiones separando áreas con productos, operaciones o equipo similares.

- Abarrotamiento de los montacargas o excesiva espera de los mismos.
- Quejas referentes a frío.
- Pasillos principales, pasos y calles, estrechos o torcidos.
- Edificios esparcidos, sin seguir ningún patrón.
- Edificios atestados. Trabajadores interfiriéndose unos en el camino de otros: almacenamiento o trabajo en los pasillos, áreas de trabajo abarrotadas, especialmente si el espacio en las áreas colindantes es abierto.
- Peticiones frecuentes de más espacios.

8.- Cambios anticipados en:

- Cambios anticipados en el diseño del producto, materiales mayores, producción, variedad de productos.
- Cambios anticipados en el horario de trabajo, estructura de la organización, escala de pagos, o clasificación del trabajo.
- Cambios anticipados en los métodos, maquinaria o equipo, y
- En los elementos de manejo y de almacenaje, servicios de apoyo a la producción, edificios o características de emplazamiento.

De acuerdo al análisis de cada área la de mayor interés fue el almacén de materia prima porque se detectó que la empresa no tiene ningún control acerca del manejo de su materia prima, pues no sabe la cantidad de producto existente y esto no permite, en ocasiones, cumplir con los pedidos de producción ya que el material se encuentra revuelto, la merma con las hojuelas de polietileno natural o polietileno triturado con soplado multicolor y virgen, cabe mencionar que este último es el más costoso y una vez que se mezcla con otro tipo de

material el polietileno virgen deja de servir por la dificultad de separar un material de otro. (Véase Fig. 24).



Fig. 24 Área de almacén donde se puede observar que no hay ningún orden o clasificación del material.

Se observó también que existe una falta de limpieza en esta área ya que hay material tirado por los pasillos que impide la identificación de los mismos, además se mezcla haciendo que se convirtiera en desperdicio y es difícil separarlo debido al tamaño de las hojuelas. (Véase Fig. 25 y Fig. 26).



Fig. 25 Fotografía en donde se muestra material tirado en los pasillos.



Fig. 26 Fotografía en donde se muestra el material tirado en el suelo.

Al recorrer las áreas se observó que no hay pasillos delimitados y que existen lugares en las que no es posible pasar y debido a que no están organizados los materiales obstruyen las salidas de emergencia, las zonas destinadas a instalaciones eléctricas, zonas de prevención y seguridad como son las zonas de los extintores y por tanto esto provoca que en caso de una

emergencia como un incendio el material no permitirá que los trabajadores de esta área salgan de manera rápida y segura o que no se apague el fuego con los extintores que están obstruidos por los jumbos o costales de materia prima. (Véase Fig. 27)



Fig. 27 Fotografía en donde se muestra que no hay clasificación de los materiales y tampoco pasillos en el área de almacén de materia prima.

Además se cuestionó acerca de la manera en que se administra la materia prima y se encontró que la empresa no lleva ningún control, la forma en que organizan el almacén de materia prima es por pedidos provocando que si se tiene alguna cancelación y la materia prima ha sido comprada esta se almacena indefinidamente y no se tiene conocimiento preciso de las cantidades invertidas y pérdidas.

Es por eso que este trabajo se enfocará al área de almacén de materia prima debido a que se encontraron más áreas de oportunidad, se iniciará proponiendo un sistema de inventarios con el propósito de mostrar que llevando un control y un histórico de sus demandas del producto es posible saber cuánto material aproximadamente se necesita en almacén.

Por la diversidad de productos que manejan se enfocará a los que tienen mayor cantidad de pedidos durante el año (demanda) los cuales son:

Tarima de 900 [mm] x 1000 [mm]

Tope amarillo de 600[mm]

A continuación se documentarán las herramientas de la Ingeniería Industrial que serán utilizadas para cumplir con el objetivo de este trabajo y que servirán de ayuda para comprobar la hipótesis planteada e identificada por medio del análisis o diagnóstico de la situación actual de la empresa.