



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

FORMULACIÓN Y MEZCLADO
PARA LA FABRICACIÓN DE LAMINAS DE PVC

INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

ORLANDO AGUILAR MALTOS



CIUDAD DE MÉXICO

AÑO 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: RUIZ TREJO RODOLFO (Asesor)

VOCAL: HERNANDEZ MELENDEZ OSCAR

SECRETARIO: LOPEZ CERVANTES JOSE LUIS

1er. SUPLENTE: MANRIQUEZ TOLSA URSULA

2° SUPLENTE: GALICIA NARCISO CRISTINA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: PLAMI S.A DE C.V

ASESOR DEL TEMA

RODOLFO RUIZ TREJO

SUSTENTANTE

ORLANDO AGUILAR MALTOS

DEDICATORIA

ÍNDICE

1	Resumen.....	7
1.1	Introducción.....	8
1.2	Antecedentes de la empresa “Plami S.A. de C.V”	9
2	Polímeros.....	11
2.1	Generalidades de los polímeros.	11
2.2	Estructura molecular de los polímeros.....	12
2.3	Morfología.....	13
2.4	Polaridad y transiciones térmicas	16
2.5	Peso molecular	18
3	Policloruro de vinilo (PVC).....	20
3.1	Clasificación general.....	21
3.1.1	Clasificación por formulación.....	21
3.1.2	Propiedades (ventajas/limitaciones).....	22
3.1.2.1	Propiedades químicas.	22
3.1.2.2	Peso molecular.	23
3.1.2.3	Ventajas del PVC.....	23
4	Formulaciones de PVC.....	24
4.1	Tipos de aditivos para el proceso de películas de (PVC).	24
4.1.1	Plastificantes.	25
4.1.2	Estabilizadores.....	26
4.1.3	Lubricantes.....	27
4.1.3.1	Lubricantes externos.....	27
4.1.3.2	Lubricantes internos.....	28
4.1.4	Cargas.....	29
4.1.5	Modificadores de impacto.	29
4.1.6	Pigmentos y colorantes.	31

4.2	Formulación para una película rígida atóxica de PVC.	32
4.3	Formulación para una película flexible de PVC.....	33
5	Proceso de mezclado.	34
5.1	Generalidades.....	34
5.2	Generación de fórmula para proceso.....	35
5.3	Transporte de Materias Primas.....	36
5.4	Programación de PLC.	38
5.5	Operación previa al mezclado.....	39
5.6	Mezclado de Materia Prima.	40
5.6.1	Mezcladores Operativos Y Etapas de Mezclado.....	40
5.6.2	Ingreso y cocción de la materia prima.	41
5.7	Liberación de material.	42
5.8	Descarga y análisis de datos.....	43
5.9	Datos del proceso.....	43
6	Proceso de calandreo de películas de PVC.....	45
6.1	Introducción.....	45
6.2	Etapas del proceso.....	46
6.3	Alimentación.....	46
6.4	Cilindros principales	49
6.5	Sección de Rodillos Drilling y Enfriadores.....	51
6.6	Corte y embobinado.....	52
7	Implementación de mejoras en el área de mezclas.....	55
7.1	Optimización del proceso de triturado y cribado para la recuperación de material sobrante en el área de corte.....	55
7.1.1	Resumen del proyecto.....	56
7.1.2	Diagramas de flujo del proceso.....	57
7.1.3	Diagramas de recorrido.	58
7.1.4	Evidencia fotográfica.....	59

7.2	Resumen de mejoras y proyectos.....	60
7.3	Resumen laboral.....	63
8	Liderazgo en la producción.....	64
8.1	Funciones del líder.....	64
8.2	Efectividad, productividad, competitividad, eficiencia.....	67
8.3	Integración de grupos y equipos.....	68
8.4	Análisis de problemas y toma de decisiones.....	69
9	Conclusiones.....	71
10	Glosario de abreviaturas.....	72
11	Bibliografía.....	73

1 Resumen.

El informe de la práctica profesional **“Formulación y Mezclado Para La Fabricación de Laminas de PVC”** es un informe de todo lo aprendido en las diferentes áreas de producción que he estado de la empresa PLAMI S.A. DE C.V. líder en Latinoamérica de películas calandradas de Policloruro de Vinilo (PVC) que ha contribuido a mi formación como Ingeniero Químico pues me ha permitido aprender más sobre los polímeros en una escala distinta a lo aprendido en mi tiempo de estudiante en la Facultad de Química, así como también a mi formación personal al interactuar directamente con todo el personal operativo, administrativo y directivo que contribuye con su trabajo a los diferentes procesos productivos, he podido observar y aprender mediante la práctica en los diferentes procesos, desde la recepción de materias primas,

análisis y formulación, transporte y mezclado de materias primas, el calandrado del PVC y de todo lo necesario para poder producir productos plásticos por este método útiles a la sociedad.

Uno de los objetivos de este informe es poder contribuir un poco, con conocimientos que puedan servir a otros compañeros estudiantes que están en procesos a ser Ingenieros Químicos exponiendo lo que he podido aprender, desarrollar y aplicar en esta gran empresa.

El informe expone como introducción un poco de historia de los plásticos y la teoría acerca de los polímeros, en especial del Policloruro de Vinilo (PVC), sigue su curso con Formulaciones para fabricar PVC, posteriormente describo cada uno de los aditivos utilizados para la fabricación y su funcionamiento, continuamos con el procesos de mezclado explicando más a detalle la adición de materias primas para un mezclado optimo, así mismo dando un poco de explicación teórica acerca de lo que va sucediendo químicamente durante este proceso, así para finalizar expongo la importancia del liderazgo que como Ingeniero Químico en una planta es esencial para mantener, controlar y mejorar un proceso industrial de cualquier tipo.

1.1 Introducción.

Los plásticos son polímeros orgánicos, que pueden ser moldeados mediante calor y presión. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización, que contienen en su estructura carbono e hidrógeno principalmente, integrando así, grandes cadenas de alto peso molecular. Los plásticos aportan propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, por ejemplo: bajo costo de fabricación, color, poco peso, resistencia al impacto, aislamiento térmico, maleabilidad y actualmente se producen con propiedades de degradación ambiental y biológica.

El costo reducido de fabricación, su resistencia al deterioro, la impermeabilidad y la posibilidad de colorearlos en diferentes tonos son algunos de los motivos que hacen que los plásticos sean tan populares. Sin embargo, también experimentan diversas contras: muchos de ellos no son susceptibles de reciclaje, por lo que pueden contribuir a la contaminación; por otra parte, los plásticos no suelen resistir el calor excesivo, derritiéndose y liberando, en ocasiones, sustancias tóxicas.

Los productos de plástico cubren una gran diversidad de necesidades del consumidor, tanto en empaques y envases, como en productos de uso duradero y de uso personal. Con amplio potencial de crecimiento en aplicaciones de la industria automotriz, la industria electrónica y aplicaciones para uso médico y uso agrícola.

La industria del plástico de México es el sector de la industria química que más contribuye en valor agregado y empleo, después de la refinación de petróleo y la industria petroquímica. Está integrada por más de 4,200 transformadores de plástico, y más de 500 proveedores de resinas y aditivos, maquinaria y diversos servicios.

Como en otras industrias, existen diversos factores que afectan el desarrollo de la industria del plástico en México. Enfrenta una alta dependencia del exterior en el suministro de resinas y maquinaria, además el tamaño de las empresas y la orientación de los mercados con productos con alto requisito en calidad y alta exigencia en precio, también merman su desarrollo.

Aunque existen diversas fuentes de información en México, no siempre están disponibles con oportunidad. Disponer de información especializada sobre diversos sectores industriales como el del plástico, contribuye a la toma de decisiones con mayor certidumbre.

1.2 Antecedentes de la empresa “Plami S.A. de C.V”

PLAMI S.A. de C.V. es una Compañía Mexicana fundada por el Sr. José Miguel Nader en el año de 1954. Primero se puso a la venta productos de cristal flexible, fabricados por extrusión, posteriormente se adicionó a la venta cintas y cordones que se hacían por el mismo proceso, además de comercializar otras películas plásticas que se importaban, posteriormente surgió la necesidad de fabricar en vez de importar. Obedeciendo a esa necesidad en 1959 se funda en la Col. Anáhuac la fábrica PYN S.A. de C.V., contracción del nombre de la tienda de Plásticos y Novedades. En 1961 se instala de forma definitiva la Planta en el Fraccionamiento Industrial Alce Blanco, Naucalpan, misma fecha en la cual se instala la primer Calandrea con tecnología alemana. En 1971 se funda la Planta Calpulalpan en el estado de Tlaxcala y finalmente en 1982 se funda la Planta Papalotla en Tlaxcala, creada como Plano con 2 calandreas. (PLAMI, 2021)

El mayor éxito posterior a la instalación de estas calandreas fue la compra y adquisición de una línea para aplicar PVDC al PVC atóxico con el fin de ofrecer a los laboratorios farmacéuticos un producto que le diera protección a los medicamentos higroscópicos ya que antes se habían producido materiales que daban protección a medicamentos fotosensibles.

Los principales clientes a los que distribuye son: la industria farmacéutica y alimentaria, además, empresas de artes gráficas, mueblera, construcción y sellado de alta frecuencia. Los productos que ofrece a cada sector son productos elaborados con las más altas normas de seguridad e higiene (ISO 9001:2015) y de las especificaciones de cada cliente. **Fig. 1.1**



Figura 1.1 Planta de Naucalpan en el Estado de México. (PLAMI, 2021)

Entre los productos que la empresa ofrece para cada sector son los siguientes:

Farmacéutica: Películas termoformables para el empaque y acondicionamiento de productos farmacéuticos normales, fotosensibles e higroscópicos.

Alimentaria: Empaque, envasado, conservación y presentación de productos.

Artes Gráficas: Películas de alta opacidad. Ambas caras presentan un grabado homogéneo que facilita el anclaje de los diferentes tipos de tintas usadas en procesos de impresión digital, offset seco y húmedo, serigrafía sola o combinación de ellos.

Industria Mueblera: PVC para la Industria Mueblera.

Industria de la Construcción: Pisos vinílicos para tráfico pesado, gimnasios, cines, escuelas y restaurantes, Tapiz plástico para paredes. Geosintéticos, geomallas, geodrenes, geomembranas, geotextiles, como mantas para control de erosión.

Sellado de Alta Frecuencia: Películas calandradas de PVC opacas con altas propiedades dieléctricas, diseñadas para operar en equipos y sistemas de transformación automáticos o manuales.

En la actualidad **PLAMI S.A. de C.V.** es uno de los principales productores de películas de PVC en Latinoamérica. Posee tecnología para los procesos de calandrado, extrusión, coextrusión, laminado e impresión. **Fig. 1.2**



Figura 1.2-Plami en la Expo plásticos 2019 (PLAMI, 2021)

2 Polímeros.

Los polímeros son grandes moléculas que están formadas por la unión de muchas unidades repetitivas. El término polímero incluye a los polímeros naturales y a los sintéticos. Los polímeros sintéticos pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos, mientras que los naturales son comúnmente llamados biopolímeros. (ECUCEI, 2021)

2.1 Generalidades de los polímeros.

Los polímeros abarcan desde su estructura microscópica hasta sus propiedades útiles para los materiales en los que son empleados. La composición y su estructura química, el tamaño y forma de las macromoléculas, su morfología en estado sólido, el comportamiento frente a temperatura, frente a esfuerzo o en flujo. Generalmente, los polímeros involucran uniones covalentes entre los átomos (generalmente) de carbono que constituye la columna vertebral de la cadena polimérica. En la **Fig. 2.1** se muestra una representación del polietileno, el polímero más simple.

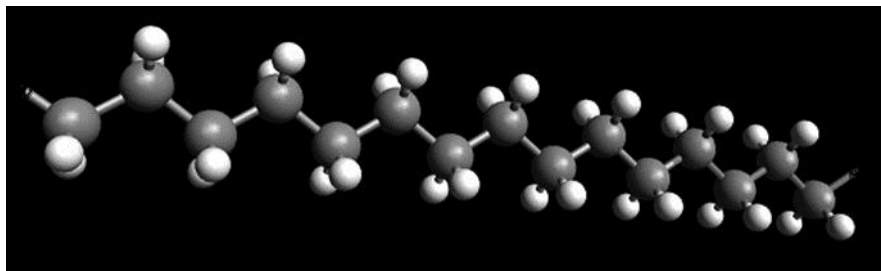


Figura 2.1.(a) Representación moléculas del polietileno.

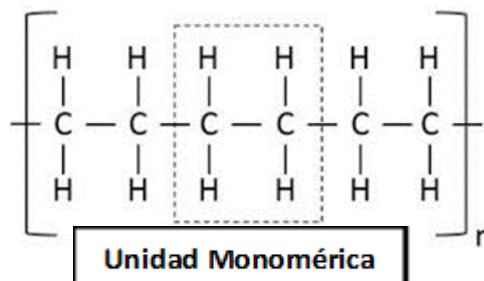


Figura 2.1.(b) Representación desarrollada del polietileno.

(ECUCEI, 2021)

Entre las propiedades únicas de los polímeros, se incluye la agrupación de estos debido a su gran tamaño lo que conduce a interacciones intermoleculares suficientemente fuertes para mantenerlos agrupados, producidas por las longitudes extensas de la cadena y de sus grandes superficies.

Los polímeros se utilizan en un gran número de aplicaciones dada su habilidad para fabricar materiales a la medida para satisfacer necesidades específicas. Por ejemplo, el policloruro de vinilo (PVC) que se usa para fabricar tuberías que actualmente se utilizan en la plomería y construcción. Los polímeros se fabrican en varias formas tales como: plásticos sólidos, fibras, espumas, películas, recubrimientos y adhesivos. Estos materiales pueden ser duros o suaves, rígidos, semi rígidos o flexibles, ahulados, cuerdos o vidriosos.

Pueden ser producidos como materiales porosos o no porosos. Más aún, pueden ser producidos como espumas de bajo peso o reforzadas con diversos materiales de relleno tales como metal, vidrio, fibras de carbón o naturales para mejorar sus propiedades mecánicas. (PETHRICK Richard, 2014)

2.2 Estructura molecular de los polímeros

Hablando en términos de su estructura macromolecular los polímeros pueden representar muy variadas estructuras, pero en general se puede hablar de cuatro estructuras básicas: lineales, ramificados, injertados y reticulados. Así mismo, estas estructuras pueden combinarse para formar estructuras más específicas como puede ser el caso de los polímeros ramificados en estrella y los dendrímeros. En la **Fig. 2.2** se muestra una representación idealizada de estas estructuras.

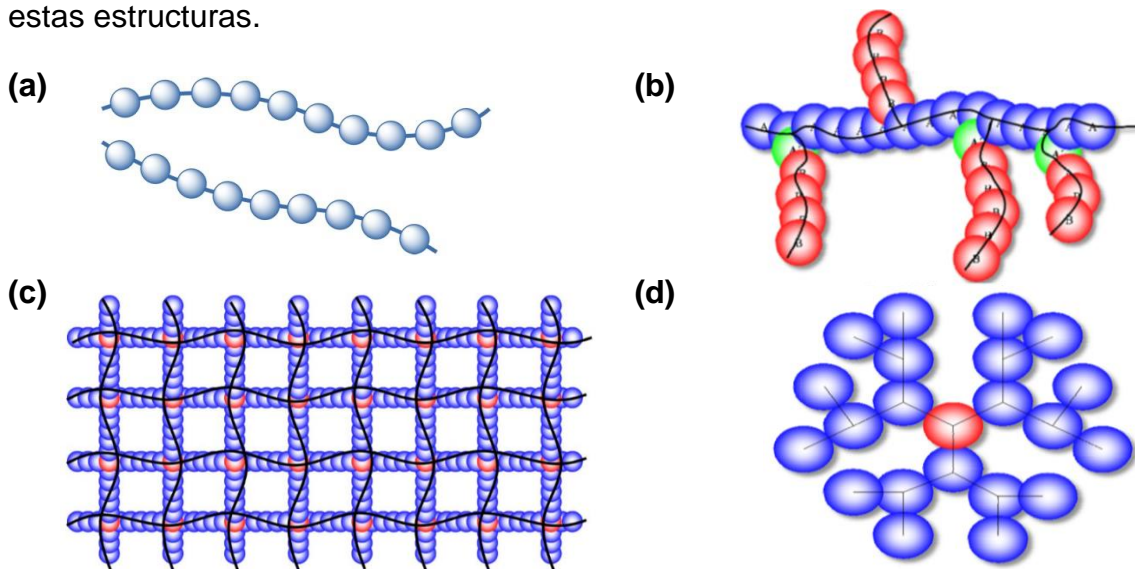


Figura 2.2 Ejemplos de polímeros (a) lineales, (b) ramificados, (c) entrecruzado, (d) dendrímero. (PETHRICK Richard, 2014)

La estructura más simple es la lineal. Este tipo de polímeros se conocen como cadenas rectas, aunque en realidad las moléculas no se encuentran extendidas sino de forma enredada. La flexibilidad hace referencia a la facilidad que tiene la cadena polimérica para extenderse y doblarse.

Los polímeros ramificados poseen grupos voluminosos o cadenas cortas que se adhieren a la principal, por lo que la movilidad de la cadena se ve disminuida y son menos flexibles que los lineales, por lo general tendrán una temperatura de fusión mayor.

Las redes tridimensionales entrecruzadas se forman mediante enlaces covalentes entre cadenas. Esto también es posible con enlaces H-H mismas que no son tan fuertes

La energía térmica en los polímeros entrecruzados no conduce a una extensa movilidad de las cadenas, estos polímeros no se suavizan con el calor, no fluyen con la acción del calor y se les llama termofijos.

2.3 Morfología

Los polímeros pueden clasificarse en cristalino, semicristalino y amorfo, los amorfos no exhiben orden estructural a lo largo de las cadenas. Esos polímeros están constituidos por moléculas de forma irregular, las cuales no se pueden empacar de una manera ordenada. **Fig. 2.3**

Una estructura cristalina resulta de un arreglo ordenado macromolecular **Fig.2.4**. Estas regiones pueden ocasionar que los polímeros sean translúcidos u opacos. **Fig. 2.3**

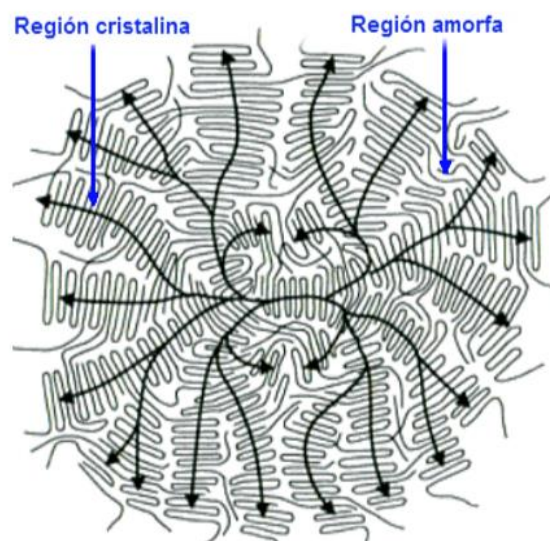


Figura 2.3. Representación de una esferulita que contiene zonas cristalinas (ordenadas) y desordenadas (amorfos). (ECUCEI, 2021)

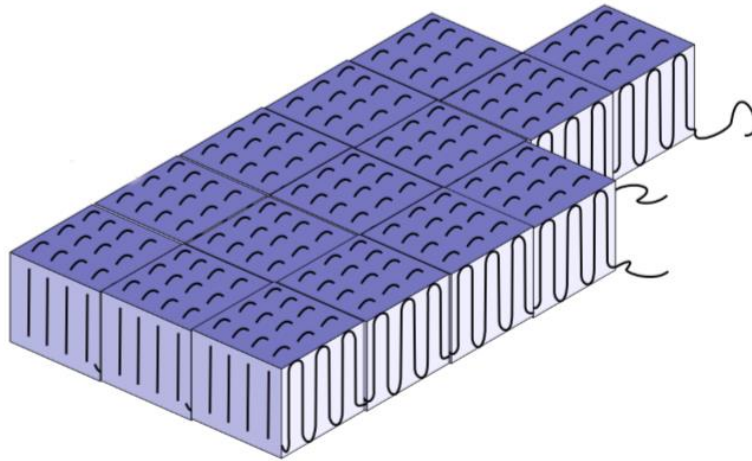


Figura 2.4. Representación del arreglo regular del polietileno dando origen a zonas cristalinas altamente ordenadas. (ECUCEI, 2021)

Un polímero semicristalino presentan un carácter cristalino mientras que la otra parte no. La cristalinidad es una propiedad esencial para fibras duras, pero es indeseable para materiales elastoméricos.

Un estado estructural es la orientación de moléculas poliméricas, sometidas a un esfuerzo uniaxial, alineándose en la dirección del esfuerzo. Esto se puede dar con polímeros amorfos o cristalinos.

Esta es la base para la formación de fibras, en donde se logra una alta resistencia al esfuerzo en la dirección de la orientación debida al estiramiento (ordenamiento) de las fibras poliméricas.

El ordenamiento espacial de las unidades estructurales se denomina como tacticidad. Los polimeros isotácticos y sindiotácticos son cristalinos mientras los atácticos son amorfos.

Un ejemplo de arreglo cristalino y amorfo para un mismo polímero es el caso del poliestireno **Fig. 2.5**, si tiene un arreglo isotáctico o sindiotáctico es más fácil que se empaque para formar cristales mientras que si tiene un arreglo atáctico impide un buen arreglo que permita estructuras cristalinas.

Dígase que, de acuerdo con la IUPAC, una macromolécula con tacticidad es aquella en la cual la configuración de las unidades repetitivas es constante o igual.

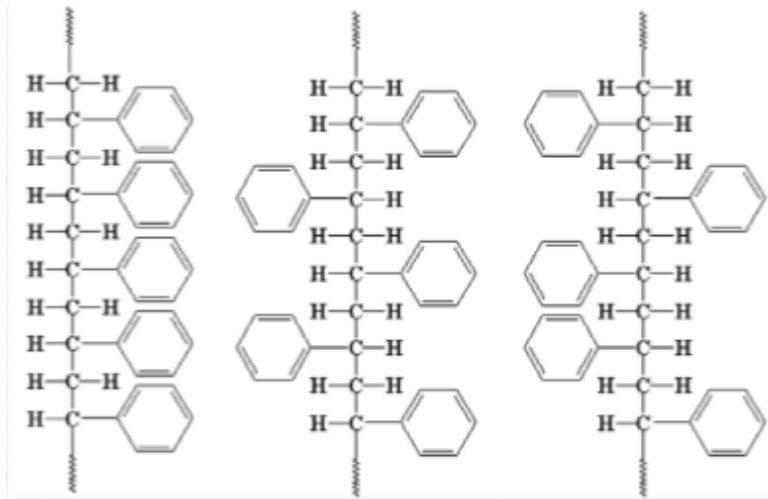
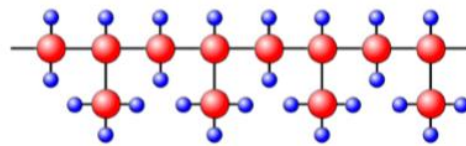
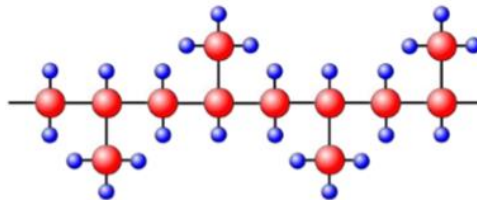


Figura 2.5. Poliestireno de izquierda a derecha: isotáctico, sindiotáctico y atáctico (ECUCEI, 2021)

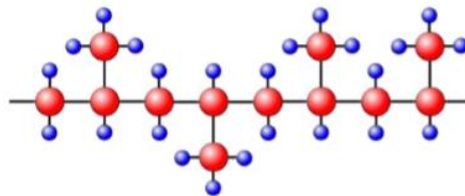
En la **Fig. 2.6** se muestran los tres tipos de tacticidad presentada en las estructuras poliméricas.



a) Isotáctico: todos los grupos del mismo lado



b) Sindiotáctico: los grupos están alternados



c) Atáctico: grupos ordenados al azar

Figura 2.6. Tacticidad en polímeros. (ECUCEI, 2021)

Los polímeros isotácticos y los sindiotácticos comparados con los atácticos tienen mayor cristalinidad, mayor resistencia mecánica, mayor densidad, una temperatura de fusión más alta, son más resistentes a la acción de los disolventes y poseen menor transparencia.

Dos factores estructurales que favorecen la cristalización en los polímeros son:

1.- La regularidad de la estructura molecular hace posible que las moléculas se acomoden en una red cristalina.

2.-La polaridad de las moléculas aumenta la atracción entre cadenas adyacentes y, en consecuencia, la atracción que tiende a colocarlas ordenadamente en el cristal y a mantenerlas firmemente en él. (ECUCEI, 2021)

2.4 Polaridad y transiciones térmicas

Si las fuerzas polares entre átomos y grupos químicos en moléculas adyacentes son suficientemente altas, las fuerzas que favorecen el ordenamiento de las moléculas serán mayores y los cristales retendrán su identidad a mayor temperatura. Por lo tanto, la temperatura de fusión está relacionada con la polaridad en los polímeros. (Ebewele, 2000)

La solubilidad de los polímeros es la forma más común de evaluar la polaridad de las moléculas poliméricas.

Hay dos temperaturas características asociadas con los polímeros. La temperatura de fusión T_m (o T_f), la cual es una transición de primer orden (es decir ocurre un cambio de fase), y la temperatura de transición vítrea T_g , o transición de segundo orden **Fig. 2.7**

La temperatura de fusión T_m , es la temperatura a la cual el volumen cristalino del polímero está en equilibrio con el estado fundido. La fusión generalmente ocurre a lo largo de un rango de temperaturas, por lo tanto, no se observa una transición rápida.

La temperatura de transición de segundo orden T_g , es la temperatura debajo de la cual el movimiento molecular se congela, y el polímero se comporta como un vidrio. Arriba de la T_g existe suficiente energía para permitir el movimiento y la ondulación de la cadena.

Por ejemplo, los polímeros amorfos son elásticos arriba de la temperatura de transición vítrea, pero se vuelven rígidos y duros, y a menudo quebradizos, debajo de la temperatura de transición vítrea. (Wunderlich, 2005)

Todos los polímeros amorfos toman a temperaturas suficientemente bajas, las características de los vidrios, incluida la dureza, rigidez y fragilidad. Una propiedad asociada con el estado vítreo es un bajo coeficiente de expansión volumétrico. Este bajo coeficiente surge como resultado de un cambio en la pendiente de la curva de volumen contra temperatura, en un punto llamado temperatura de transición vítrea (T_g).

En el estado vítreo no tiene lugar el movimiento molecular a gran escala. Más bien los átomos y pequeños grupos de átomos se mueven contra las restricciones de las fuerzas de enlace secundario, muy parecido a como los átomos vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio en un retículo cristalino, en que el estado vítreo no tiene regularidad el estado cristalino.

La transición vítrea corresponde al comienzo del movimiento tipo líquido de segmentos mucho más largos de las moléculas. La T_g se considera como una transición termodinámica de segundo orden. **Fig. 2.7.**

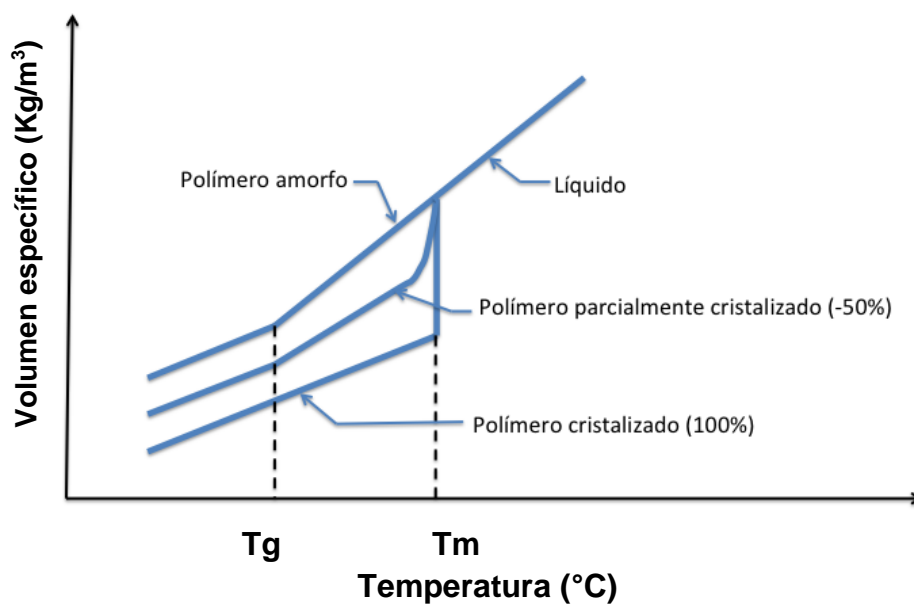


Figura 2.7 Termogramas en el que se muestran transiciones de 2º orden (cambio de pendiente) que presentan la T_g de primer orden y T_m que denotan un cambio de fase. (ECUCEI, 2021)

La temperatura de fusión T_m , en los polímeros es un equilibrio entre el volumen cristalino del polímero y el estado fundido del mismo. (Wunderlich, 2005)

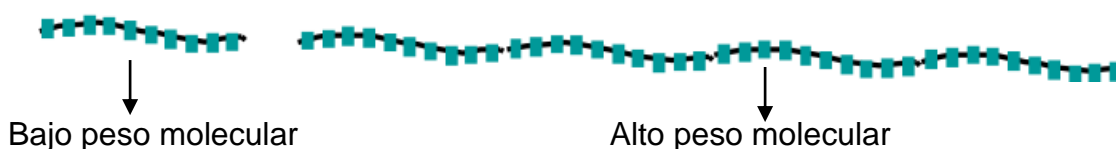
El punto de fusión cristalino se considera usualmente independiente del peso molecular, dentro del ámbito del tamaño polimérico.

Tabla 2.1 Valores de la Tg y la Tm. (ECUCEI, 2021)

Polímero	Unidad repetitiva	T _G (°C)	T _m (°C)
Poliétileno	-CH ₂ CH ₂ -	-125	137
Polioximetileno	-CH ₂ O-	-82	181
Poliisopreno	-CH ₂ C(CH ₃)-CHCH ₂ -	-73	28
Poliisobutileno	-CH ₂ C(CH ₃) ₂ -	-73	44
Poli(óxido de etileno)	-CH ₂ CH ₂ O-	-41	66
Polifluoruro de vinilideno	-CH ₂ CF ₂ -	-40	185
Polipropileno	-CH ₂ CH(CH ₃)-	-8	176
Polifluoruro de vinilo	-CH ₂ CHF-	41	200
Policloruro de vinilo	-CH ₂ -CCl ₂ -	-18	200
Poliacetato de vinilo	-CH ₂ CH(OCOCH ₃)-	32	
Policlorotrifluoroetileno	-CF ₂ CFCl-		220
Poli(ε-caprolactona)	-(CH ₂) ₅ CONH-	52	223
Poli(hexametilen adipamida)	-NH(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₄ CO-	50	265

2.5 Peso molecular

El peso molecular (m_i) define fundamental mentelas propiedades físicas y químicas en un polímero, es la suma de los pesos atómicos de todos los átomos de la molécula.



1) \bar{M}_n = Peso molecular promedio numérico:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_x M_x}{\sum N_x} \quad \text{Ecuación 1}$$

En esta expresión N_x es la concentración en moles de las cadenas que contienen x unidades y M_x el peso (masa) molecular. Por lo tanto, $\sum N_x$ son las moles totales. Que se interpreta como la fracción mol multiplicada por su peso molecular.

2) \bar{M}_w = Peso molecular promedio másico:

$$\bar{M}_w = \sum w_x M_x = \frac{\sum N_x M_x^2}{\sum N_x M_x} \quad \text{Ecuación 2}$$

En esta expresión W_x es la fracción peso (masa) de moléculas con peso (masa) molecular M_x .

En cuanto a M_w , como las moléculas pesadas se ven favorecidas a la hora de promediar, resulta igual o mayor que M_n , M_w es muy sensible a la presencia de especies de alto peso molecular.

En una misma distribución, las especies de bajo peso molecular pueden actuar como plastificantes ablandando el material y no contribuir en absoluto a la resistencia mecánica del polímero. Por su parte, las especies de alto peso molecular elevan la viscosidad del polímero en estado fundido y, de esta manera, aumentan las dificultades en los procesos de conformado.

Por estos motivos se debe poner especial atención en la caracterización de la distribución de pesos moleculares de un polímero. La **Fig. 2.8** muestra gráficamente distribuciones de pesos moleculares, conforme la distribución sea más ancha mayor será la diferencia entre los pesos ponderados.

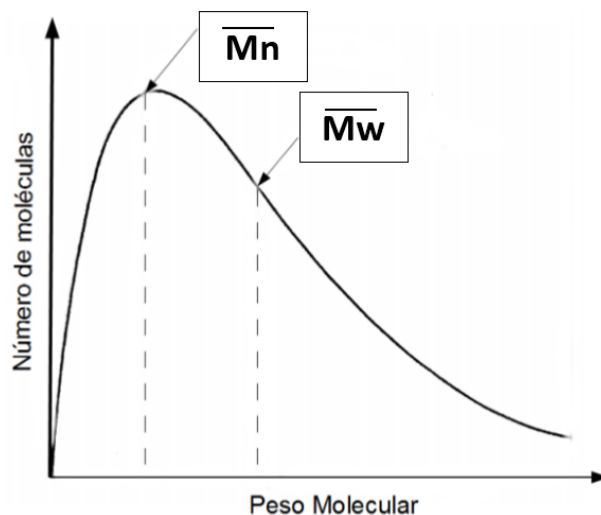


Figura 2.8 Distribución de pesos moleculares en un polímero. (ECUCEI, 2021)

3 Policloruro de vinilo (PVC).

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a Policloruro de vinilo, generalmente su polimerización es por adición. La resina que resulta de esta polimerización es la más versátil de la familia de los plásticos; pues además de ser termoplástica, a partir de ella se pueden obtener productos rígidos y flexibles. El PVC es producido por una variedad de técnicas como suspensión, emulsión, micro suspensión y masa. El PVC normalmente es un material blanco, de tamaño de partícula desde 5-400 micrómetros y densidad aparente de 0.5-0.8 g/cc.

El PVC es termoplástico, es decir tiene la propiedad de reblandecerse o fundirse repetidas veces. El PVC es de estructura amorfa; debido a su falta de orden a escala molecular, muestra características de estabilidad dimensional arriba de la temperatura de transición vítrea (T_g): bajo encogimiento, resistencia al impacto y buena transparencia.

La T_g es la temperatura por arriba de la cual un polímero vítreo, suaviza en una fase hulosa, indicando que las regiones amorfas ganaron suficiente energía térmica para comenzar a deslizarse unas sobre otras. La T_g del PVC es de 80 °C. El PVC no presenta punto de fusión, pero en el intervalo de temperaturas de 170-180°C presenta cambios significativos.

Las propiedades del PVC se ven influenciadas por su peso molecular y su distribución de peso molecular. Los compuestos del PVC se basan en la combinación de los aditivos que participaron en la formulación. La convención para establecer la concentración de aditivos en una formulación se basa en partes por cada 100 partes de resina de PVC (phr).

Dependiendo del tipo de PVC y de los aditivos, el compuesto antes de la gelación se encuentra normalmente en forma de polvo al cual se le denomina mezcla seca ("dry blend").

Compuestos de PVC formulados usando plastificantes, dan lugar a materiales flexibles, usualmente llamados PVC plastificado (PVC-P). Compuestos a base de mezclas secas sin plastificantes, para aplicaciones rígidas, se conocen como PVC rígido (PVC-U). (George, 2004)

3.1 Clasificación general.

El PVC puede clasificarse de cuatro maneras: (IMPI, 2008)

- 1) **Por su método de polimerización:** Suspensión, Masa y Emulsión
- 2) **Peso Molecular:** Alto, Medio y bajo
- 3) **Tipo de Monómeros:** Homopolímeros y Copolímeros
- 4) **Formulación:** Rígido y Flexible.

3.1.1 Clasificación por formulación.

En la práctica el transformador de plásticos clasifica el PVC en: Compuesto rígido y compuesto flexible o plastificado.

La resina de PVC obtenida directamente de cualquier proceso de polimerización, sin importar sus características de peso molecular y composición, es inútil para cualquier proceso de transformación. Por ello debe acompañarse por una serie de aditivos que proporcionen las características necesarias para ser procesado.

La ausencia o la adición de un líquido plastificante, genera la clasificación para compuestos de PVC:

- PVC rígido (sin plastificante)
- PVC flexible (con plastificante)

a) PVC Rígido:

Es aquel en cuya formulación se encuentra un gran número de aditivos como: ayudas de proceso, modificadores de impacto, estabilizadores, lubricantes, pigmentos o colorantes. No contiene líquidos plastificantes que modifiquen la flexibilidad del material. Esto se observa en un producto de PVC rígido que sufre ligeras o ninguna deformación ante cargas o impactos externos, y si la carga o el impacto es extremo se puede producir una ruptura.

b) PVC flexible o plastificado:

En este tipo de formulación, se incluyen aditivos que hacen a la resina procesable, y líquidos plastificantes que imparten al producto terminado flexibilidad, dependiendo de la proporción del plastificante usado. Por ejemplo, un producto de PVC flexible sufre fácilmente deformaciones temporales i permanentes ante cargas o impactos externos, pero muchas veces sin llegar a la ruptura a pesar de grandes cargas o impactos.

3.1.2 Propiedades (ventajas/limitaciones).

El PVC es un polímero que no se puede usar nunca sin modificar por su baja estabilidad al calor, lo duro y quebradizo que es, por lo cual siempre se tiene que componer son una serie de aditivos los cuales modifican sus propiedades físicas.

Las propiedades finales del compuesto están en función de la resina y de las condiciones de composición. Propiedades como flexibilidad, coloración, transparencia, antibloqueo, protección UV, antihongos, resistencia a la intemperie, textura, entre otras mas dependiendo de los aditivos con los que se componga.

Sus limitaciones son que, al degradarse a altas temperaturas, es corrosivo para los equipos de proceso, tiene alta densidad y es susceptible a solventes.

3.1.3 Propiedades químicas.

La polimerización por adición del PVC da lugar al arreglo cabeza-cola del conjunto de unidades de cloruro vinilo con una estructura helicoidal de unidades repetitivas $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$. La alta rigidez de la cadena, resultado de su alta electronegatividad debida al cloro, da lugar a un polímero rígido.

Por otro lado, el cloro separa las cadenas poliméricas provocando menor cohesión entre ellas e incrementando el movimiento molecular durante la plastificación. Las moléculas de PVC muestran bajo grado de ramificación que va desde 0.5-20 ramificaciones por cada 1000 átomos de carbono.

El PVC es ligeramente cristalino (2 -10%), principalmente sindiotáctico, pero con un grado bajo de orden que solo forma cristales pequeños. La cristalinidad está influenciada por el tratamiento térmico y se puede incrementar mediante la

polimerización a bajas temperaturas. El átomo de cloro le proporciona la propiedad de auto extinguirse, pero afecta adversamente la estabilidad térmica.

El PVC es inestable al calor y a la luz, pierde cloruro de hidrógeno mediante una reacción autocatalítica. Se forma HCl durante la degradación siendo este el causante de los problemas de corrosión. El PVC es no higroscópico. Es soluble en ciclohexanona, dimetil formamida, nitrobenzeno, tetrahidrofurano (THF). (IMPI, 2008)

3.1.4 Peso molecular.

El peso molecular del PVC se expresa normalmente como el **valor K** el cual se calcula en base a la medición de la viscosidad. El disolvente, la concentración y la temperatura de la prueba afecta el resultado.

Las resinas que usamos actualmente en Plami tienen un valor K de 57-60 para rígidos y un valor K de 65-70 para materiales flexibles y semirrígidos.

3.1.5 Ventajas del PVC

- Propiedades eléctricas y de aislamiento en un amplio intervalo de temperaturas.
- Excelente durabilidad y tiene aproximadamente una vida útil de 40 o más años.
- Resistencia a la abrasión.
- Buenas propiedades mecánicas (rigidez y/o buena resistencia al impacto).
- Resistencia al fuego. (ignífugo por naturaleza).
- Es resistente a la acción de químicos, corrosión, y abrasión.
- Bajo Costo.
- Reciclable.
- Versatilidad. - materiales rígidos y flexibles y semirrígidos.

4 Formulaciones de PVC.

Para poder transformar el PVC en producto final es necesario formularlo con diferentes aditivos los cuales determinaran sus propiedades físicas.

En los materiales a base de PVC se utilizan los aditivos funcionales, como son, estabilizadores térmicos, lubricantes, entre otros. En el caso del PVC flexible se utilizan además plastificantes. Los aditivos opcionales pueden ser: ayudas de proceso, modificadores de impacto, estabilizadores UV, retardante a la flama, cargas, pigmentos, biocidas, agentes espumantes, entre otros.

4.1 Tipos de aditivos para el proceso de películas de (PVC).

Cuando se formula un compuesto de PVC, es indispensable la integración de aditivos adecuados que ayuden a mejorar su procesamiento, apariencia y aumente su resistencia a medios externos.

Los aditivos se clasifican según su función y no en relación con su constitución química (**Tabla 4.1**). Por su especial importancia, en la fabricación de películas plásticas de PVC calandradas en este tema trataremos los plastificantes, estabilizadores, lubricantes, modificadores de impacto, retardantes de llama, agentes espumantes, cargas, pigmentos y colorantes.

Todos los aditivos deben cumplir una serie de requisitos técnicos.

Ciertas mejoras en una determinada propiedad pueden dar lugar al empeoramiento de otras, por lo que determinar la elección final de uno o varios aditivos es el comportamiento considerado durante el proceso y el producto final.

En algunos casos, cuando las moléculas de aditivo deben interactuar con las del polímero es preciso que exista una compatibilidad alta, es decir, una alta miscibilidad a nivel molecular. Pero en otros casos es deseable que el aditivo y el polímero formen dos fases bien diferenciadas.

Un aditivo, además, no debe ser volátil en las condiciones del proceso de transformación.

Un aditivo no debe exudar durante su vida en servicio, ya que daría lugar a problemas de estética y a la pérdida de eficacia por eliminación del aditivo. Los aditivos inorgánicos insolubles, tales como pigmentos y cargas, no dan lugar, en general, a fenómenos de exudación, mientras que los plastificantes de bajo peso molecular, por ejemplo, tendrán más tendencia a migrar y exudar a la

superficie durante el proceso de transformación y posteriormente por envejecimiento.

Además, pueden ser vehículo para la migración de otros aditivos solubles. Por último, un aditivo no debe ser tóxico ni perjudicial para la salud del personal que lo manipule ni tampoco para los usuarios, especialmente cuando el material se utiliza para entrar en contacto con productos alimentarios, farmacéuticos o que se emplean en juguetería.

Tabla 4.1. Aditivos para plásticos.

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el proceso	Estabilizantes Lubricantes, ayudas de proceso
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costos de las formulaciones	Cargas Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

La concentración de los aditivos en las formulaciones de plásticos generalmente se expresa en peso referida a 100 gramos de polímero o phr (partes por 100 de resina).

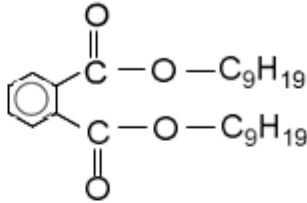
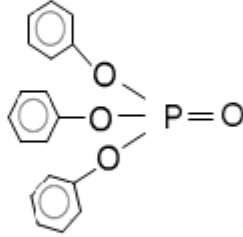
4.1.1 Plastificantes.

Un plastificante es una sustancia que se incorpora a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del fundido.

La eficacia de un plastificante se determina por la cantidad de plastificante necesaria para alcanzar un valor dado de una propiedad de interés práctico, el conocemos como flexibilidad.

Si el plastificante es bastante más barato que el polímero, cuanto menor sea la eficacia mayor será la cantidad de plastificante necesaria para alcanzar la flexibilidad requerida, por lo que el costo de la formulación final será más bajo.

Tabla 4.2. Plastificantes más frecuentes. (IMPI, 2008)

Familia	Plastificante	Estructura
Ftalato	DINP Diiso-nonil ftalato	
Fosfato	TFF Trifenil fosfato	
Adipato	DOA Diiso-octil adipato	$H_{17}C_8 - O - \overset{O}{\parallel}C - (CH_2)_8 - \overset{O}{\parallel}C - O - C_8H_{17}$
Epoxi	Epoxiestearato de octilo	$H_{17}C_8 - O - \overset{O}{\parallel}C - (CH_2)_{14} - \overset{O}{\diagup}C - C - C_8H_{17}$

4.1.2 Estabilizadores.

Para evitar la degradación térmica en el PVC se utilizan estabilizadores que detienen el rompimiento de las moléculas del polímero.

Un buen estabilizante debe ser capaz de controlar los procesos que tienen lugar durante la descomposición de los polímeros, pero además hay una serie de propiedades de otra índole que se suele exigir a los estabilizadores, como buena compatibilidad con el polímero, efectividad a bajas concentraciones, no afectar a otras propiedades de la formulación, bajo costo, y en ocasiones, estar exentos de color, olor y toxicidad. Se suelen emplear en concentraciones entre 1 y 6 phr.

4.1.3 Lubricantes.

Los lubricantes mejoran la procesabilidad de los polímeros reduciendo la fricción entre las partículas del material, minimizando el calentamiento, reducen la viscosidad del fundido, promoviendo el flujo adecuado del material y evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo durante el proceso y esto puede dar lugar a efectos indeseables tales como baja producción o mala calidad superficial del producto acabado.

Para resolver estos problemas se suelen emplear lubricantes internos (lubricación de capa sólida) y lubricantes externos (lubricación en la capa límite).

4.1.3.1 Lubricantes externos.

Reducen la fricción entre las partículas del polímero, antes y durante la fusión, disminuyendo la adherencia polímero-metal, tienen poca compatibilidad con el PVC, emigran hacia la superficie de las partículas o del material fundido

Esto se consigue con moléculas que posean una zona polar y una apolar. En el proceso de lubricación los grupos polares de las moléculas del lubricante se orientan hacia la superficie metálica y forman una capa permanente.

Esta capa límite de la película lubricante consiste en moléculas orientadas hacia la parte metálica del equipo, como se muestra en la **Fig. 4.1**.

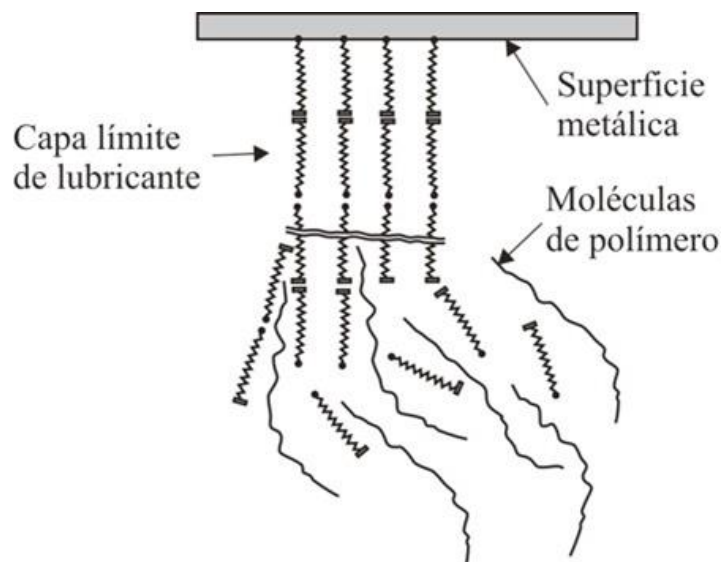


Figura 4.1. Capa límite de lubricante entre la superficie metálica y el polímero fundido. (IMPI, 2008)

En general, la compatibilidad de estos lubricantes con el polímero es baja y, por consiguiente, la formación de una capa límite se puede lograr con niveles muy bajos de incorporación. La velocidad de migración de los lubricantes a la interfase es bastante baja, debido a su peso molecular relativamente alto y a la baja concentración en el sistema.

Al aumentar la concentración de lubricante y debido a su reducida compatibilidad con el polímero, puede producirse una exudación o migración hacia la superficie, que podría incluso arrastrar partículas de pigmentos o de cargas y formar un depósito en las superficies del equipo y del material.

Los lubricantes externos más usados son: ácido esteárico, estearato cálcico y de plomo, ceras de parafina y otras ceras, PE de bajo peso molecular, ciertos ésteres, tales como palmitato de etilo, entre otros. Las concentraciones empleadas se sitúan normalmente entre 0.5 y 1.0 phr.

4.1.3.2 Lubricantes internos.

La función de estos aditivos consiste en disminuir la fricción de las moléculas de polímero entre sí, de modo que mejore el flujo del material. Idealmente, los lubricantes internos deben ser compatibles con el polímero sólo a altas temperaturas. Si la compatibilidad se mantiene también a temperaturas bajas el lubricante debe usarse en pequeñas concentraciones.

Un exceso de lubricación podría provocar el deslizamiento excesivo entre partículas y partículas/metal. Esta situación daría lugar a una velocidad menor de fusión y en consecuencia provocaría una disminución en la producción.

En general, los lubricantes internos son químicamente similares a los externos, con la excepción de que tienen mayor compatibilidad con el polímero y no migran fácilmente a la superficie.

Además de los productos ya citados como lubricantes externos, se usan como internos los siguientes: derivados de ceras, como ésteres de cera de Montana; gliceril ésteres, tales como los de los ácidos esteárico y oleico; alcoholes de cadena larga, entre otros. Se emplean en concentraciones entre 1 y 2 phr.

4.1.4 Cargas.

Se define como cargas a los materiales sólidos que se añaden a las formulaciones de plásticos, con el objetivo de reducir el costo. Una carga debería no interferir con las propiedades del polímero (propiedades mecánicas, color, flexibilidad) y debería dispersarse en el polímero con facilidad, de modo que la distribución sea adecuada, lo que difícilmente se consigue en la práctica y en ocasiones provoca problemas de apariencia en el material.

Las cargas deben ser baratas para tener una clara disminución del costo de la formulación.

Sin embargo, en el caso de cargas con densidades muy bajas se puede conseguir una disminución sustancial del precio de una formulación aun cuando la carga sea más cara que el resto de los componentes, pues al reducir la densidad de la formulación se puede reducir el peso de la pieza acabada, lo que puede ser doblemente interesante.

La naturaleza química de las cargas puede ser muy diversa. Se utilizan desde las sustancias inorgánicas minerales más sencillas como carbonato de calcio, sulfatos de metales alcalinotérreos, silicatos, sílices y otros óxidos, hasta negro de humo. Se emplean generalmente en concentraciones de entre 5 y 50 phr.

En general los materiales cargados presentan peores propiedades mecánicas (resistencia a la tracción e impacto) y problemas de blanqueamiento al aplicar un esfuerzo (deshumedecen), por ello solo se emplean para aplicaciones de bajos requerimientos.

4.1.5 Modificadores de impacto.

Estos aditivos mejoran la resistencia al impacto del polímero, sin hacerlo más blando o flexible, proporcionan características elásticas con capacidad de absorber impactos sin sufrir fracturas.

El proceso consiste en mezclar plástico rígido con un elastómero y debe existir suficiente compatibilidad entre el polímero rígido y el polímero elástico para que puedan adherirse, sin embargo, la compatibilidad no debe de ser total para evitar formación de una fase continua, porque se afectarían demasiado las propiedades mecánicas del PVC.

Cuando un material de este tipo se somete a un impacto, la energía mecánica asociada al mismo es absorbida primero por la fase rígida.

Si se ha de evitar la fractura frágil, la energía debe transmitirse inmediatamente a la fase elastomérica, en la **Fig. 4.2** se representa esquemáticamente esta situación.

Si la energía absorbida no puede ser transmitida a la fase elastomérica, permanecerá en la fase rígida con el resultado de que pueden crearse tensiones en puntos donde eventualmente aparecerán fracturas. Por ello es importante que exista una estructura de dos fases, pero a la vez que haya buen contacto entre ambas fases.

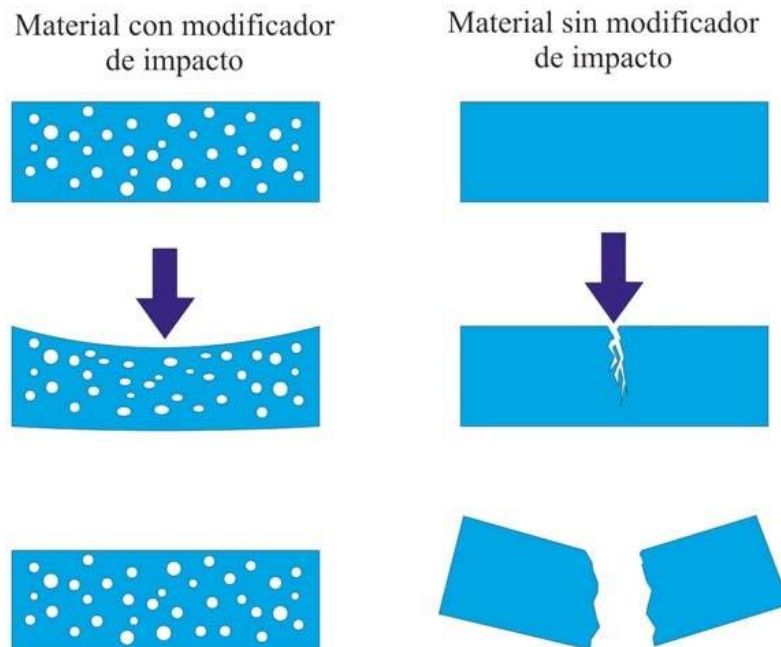


Figura 4.2 Modo de acción de los modificadores de impacto.

4.1.6 Pigmentos y colorantes.

Los pigmentos son sustancias inorgánicas sólidas inmiscibles y los colorantes son sustancias orgánicas miscibles o relativamente compatibles con el polímero. En cualquier caso, se emplean en concentraciones muy bajas (0.001 a 0.5 phr).

En Plami también los usamos para la fabricación de pastas, las cuales las empleamos en materiales de espesores muy delgados para evitar problemas de perforaciones, estas pastas pasan por un proceso de molienda donde se hace aun mas fina la partícula y ayuda a una mejor dispersión del pigmento.

Los pigmentos se emplean con tamaño de partícula muy fino de modo que se consiga una dispersión lo mejor posible en el polímero. Están muy extendidos, los más frecuentes son el óxido de titanio para el blanco, negro de humo para el negro, diferentes óxidos de hierro para ocre o marrones, cromatos como el de plomo (amarillo) o zinc (verde), entre otros.

Generalmente se emplean mezclas de pigmentos y pastas para conseguir las tonalidades deseadas. Por nuestros clientes.

Los colorantes por su parte, aunque se emplean en menor medida, son capaces de proporcionar colores más brillantes, y a diferencia de los pigmentos suelen dar acabados completamente traslúcidos, más cuando más compatibles con el polímero.

Como desventaja los colorantes se degradan con mayor facilidad que los pigmentos y pueden presentar problemas de migración o exudación. Los más habituales son la ftalocianina (tonos azules), la rodamina (rojos), quinacridona (violeta y magenta) **Fig. 4.5**



Figura. 4.5 Pigmentos de alto rendimiento para la coloración de plásticos.

4.2 Formulación para una película rígida atóxica de PVC.

A continuación, se muestra una formulación para producir una película rígida atóxica color cristal para uso farmacéutico en la cual podemos observar desde los datos necesarios para su rastreabilidad como son, número de orden, cliente, proceso, cantidad, fecha, fórmula, operador, elaboro y superviso. Y lo más importante las materias primas en phr que son necesarias y también las condiciones de operación, temperaturas de agregación y descarga para lograr obtener un mezclado adecuado para el siguiente proceso.

Formula de mezclado – Rígido

Orden No.	Cliente	Proceso No.	Cantidad Kg.	Cargas Prog.	
107295	LABORATORIOS PISA	6	50,212.00	218.50	
Artículo	Descripción	Espesor	Ancho cm	Fórmula No.	Color No.
1520521	VINILO RIGIDO ATOXICO	10.00	136.00	10196-I	8038
Cod. MP	Temp. Adición (°C)	Descripción	Cantidad Kg.	Lote MP	
MR0013	20	SE 800 → Resina	200.000	_____	41705
MI5330	80	KANE ACE B-632 → Modificador de impacto	14.000	_____	632T000280
MI5352	80	KANE ACE PA-20 } Ayudas de proceso	3.000	_____	20T3588
MI5361	80	KANE ACE PA-121 } Ayudas de proceso	2.000	_____	121A00446
MN2218	55	SD 801-DC → Estabilizador	5.000	_____	185/20
MP1305	55	E-560 (EPOX SOYA) → Co-estabilizador	4.000	_____	TMP6060320
MN2412	65	MACROLUB 370 } Lubricantes	0.600	_____	4355
MN2411	65	MACROLUB 312 } Lubricantes	0.300	_____	4449
MN2406	65	ACIDO ESTEARICO (Q-1070) } Lubricantes	0.200	_____	N191256
MI3094	90	ANTIBLOCK K07S } Ayudas de proceso	0.200	_____	K07SA58161
MN2643	90	POSSALC 6 } Ayudas de proceso	0.300	_____	190331
MF8809	85	MEZCLA VIOLETA GEIGY → Pigmentación	0.200	_____	070819

Total Fórmula: 229.800 Kg Fecha 12/03/2020 Temp.Desc. 100 °C
 gr/m2.milplg: 34.640

Observaciones:

Elaboro

Verifico

Operador

Supervisor

GP-CME-PR-001-FL-01

4.3 Formulación para una película flexible de PVC.

A continuación, se muestra una formulación para producir una película flexible con un grabado film de color blanco en la cual podemos observar desde los datos necesarios para su rastreabilidad como son, número de orden, cliente, proceso, cantidad, fecha, fórmula, operador, elaboro y superviso. Y lo más importante las materias primas en phr que son necesarias y también las condiciones de operación, temperaturas de agregación y descarga para lograr obtener un mezclado adecuado para el siguiente proceso.

Formula de mezclado – Flexible

Orden No.	Cliente	Proceso No.	Cantidad Kg.	Cargas Prog.	
109501	SELLADOS Y ESTUCHES S.A DE C.V	4	3,637.00	17.50	
Articulo	Descripcion	Espesor	Ancho cm	Formula No.	Color No.
0734430	FILM BLANCO	7.00	146.00	21-I	1000
Cod. MP	Temp. Adicion (°C)	Descripcion	Cantidad Kg.		Lote MP
MI0076	20	SE-1200 → Resina	120.000	_____	58627
MP1002	60	PLASTICIZER → Plastificante	34.800	_____	EAST2402-2020
MP1305	55	E-560 (EPOX SOYA) → Co-estabilizador	3.600	_____	TMP6060320
MN2642	90	CACO3 OMYACARB 2T-SJ → Carga	36.000	_____	21
MN2211	60	LOX 901 NH → Estabilizador	3.600	_____	11911B1016
MN2406	65	ACIDO ESTEARICO (Q-1070) → Lubricante	0.240	_____	N191256
MF8100	85	PASTA BLANCA R900	9.600	_____	220219
MF8819	85	MEZCLA VIOLETA PVBL } Pigmentación	0.041	_____	050918
Total Formula:		207.880	Fecha	Temp.Desc.	
gr/m2.milplg:		35.760	12/03/2020	95 °C	

Observaciones:

Elaboro

Verifico

Operador

Supervisor

GP-CME-PR-001-FL-01

5 Proceso de mezclado.

5.1 Generalidades.

Cuando se conocen los tipos y las cantidades exactas de los aditivos que van a hacer adicionados a la resina de PVC, la siguiente etapa consiste en mezclarlos perfectamente con él, tomando en cuenta el orden de su incorporación para evitar la interferencia de unos con otros. También se requiere de un equipo de de mezclado adecuado a las necesidades del producto, para obtener un compuesto con perfecto balanceo de sus propiedades y calidad.

Las mezcladoras se clasifican en dos grupos:

- Mezcladoras de compuestos secos.
- Mezcladoras de pasta o plastisoles.

a) Mezcladoras de compuestos secos:

Se emplean para mezclar las resinas con los aditivos para la formulación del compuesto de PVC.

Cuando termina la operación de mezclado, se obtiene un polvo o compuesto seco, listo para su transformación a pesar de emplear plastificantes estabilizadores y lubricantes líquidos. Esto se debe a que durante el mezclado se aplica un gran esfuerzo que genera calor y se transmite al polímero y a los aditivos, provocando que la resina de PVC absorba los líquidos.

Los equipos para obtener compuestos secos que usamos en Plami son mezcladoras de alta velocidad.

Estas mezcladoras son de acero inoxidable, poseen aspas de diseño especial, recubiertas de aleaciones para resistir el desgaste por abrasión y montadas en una flecha central que sobre sale de la tapa inferior del mezclador.

El mezclador tiene un termopar para detectar y transmitir la temperatura de operación a un pirómetro montado en el tablero de control ahí se encuentra instalado un indicador de consumo de corriente eléctrica para conocer la potencia que se emplea en la producción.

Los equipos no cuentan con chaquetas de calentamiento ya que el calor necesario se genera por el impulso que la agitación de las aspas imparte a las partículas de aditivos y a la resina, estas al chocar entre si y contra la pared del mezclador provocan la fricción y el calentamiento que se requiere para un óptimo mezclado.

5.2 Generación de fórmula para proceso.

Una vez que se tiene una orden de producción entregada por el área de programación en la cual se especifica la formula, color, proceso, espesor y ancho, articulo, tipo de material, cliente y kilos del material a producir, el operador de cuarto de control genera una fórmula de proceso en base a una formulación y pigmentación estándar establecidas por el área técnica.

Se tiene desarrollado un programa en el cual están cargadas las formulaciones y pigmentaciones estándar y que a partir de ingresar el articulo nos arroja la fórmula de proceso deseada para tal orden de producción. **Fig. 5.0**

PLAMI S.A. de C.V

Nueva Orden Orden No. 121416 Cliente ARMSTRONG LABORATORIOS Pedido

Ingresar Artículo 1282109 Descripción VINILO RIGIDO MPH Espesor 11 Ancho 90 Formula 10201-I Color 1072 Proceso 3

Formula				Color			
Codigo MP	Descripcion	Cantidad	Lote	Codigo MP	Descripcion	Cantidad	Lote
Confirmar	MR0041 FORMOLON 616 K	100.000	20R0660	Confirmar	MF8101 PASTA BLANCA R103 AL 65%	3.727	160519
Confirmar	MI5303 KANE ACE B 522	9.000	522T7072	Confirmar	MN4230 PIGM-AZUL PREMIER RM	0.001	171030
Confirmar	MI5352 KANE ACE PA-20	1.500	20T3626	Confirmar	MF8809 MEZCLA VIOLETA GEIGY	0.073	210720
Confirmar	MI5361 KANE ACE PA-121	1.000	121A00463	Confirmar		0.000	
Confirmar	MP1306 EPOXIDADO DE SOYA	0.700	0	Confirmar		0.000	
Confirmar	MN2218 SD 801-DC	2.000	2836/20	Confirmar		0.000	
Confirmar	MN2412 MACROLUB 370	0.300	4762	Confirmar		0.000	
Confirmar	MN2411 MACROLUB 312	0.150	4736				
Confirmar	MN2405 ACIDO ESTEARICO TP	0.100	M051220				
Confirmar	MI3094 ANTIBLOCK K075	0.150	K075A58161				
Confirmar	MN2643 POSSALC 6	0.100	191193				
Confirmar	MN3108 ULTRASORB 22	0.500	20181201				
Confirmar		0.000					

Resina Base : 100.00 Kilos a Producir 537.00

Factor : 34.770 Plastificante 1.309

Cantidad Total : 119.30

Cargas a Procesar : 4.50

Fecha 2020/11/12

Imprimir Guardar Atras

100

Fig. 5.0 Elaboración de fórmula de proceso.

5.3 Transporte de Materias Primas.

El transporte de materias primas consta de dos procesos uno automatizado y uno manual.

Las materias primas surtidas a granel solidas (Resinas, modificadores de impacto y copolímero) necesitan ser enviadas desde silos y grupo alimentador hacia tolvas de alimentación. Mientras que las materias primas liquidas (Plastificante, estabilizador y epoxidado de soya) son almacenadas en tanques.

Las materias a granel son transportadas automáticamente por medio de un PLC el cual se opera desde el cuarto de control del área de mezclado. El trabajo de transporte para los sólidos es realizado mediante sopladores alimentados por motores eléctricos. **Fig. 5.1**

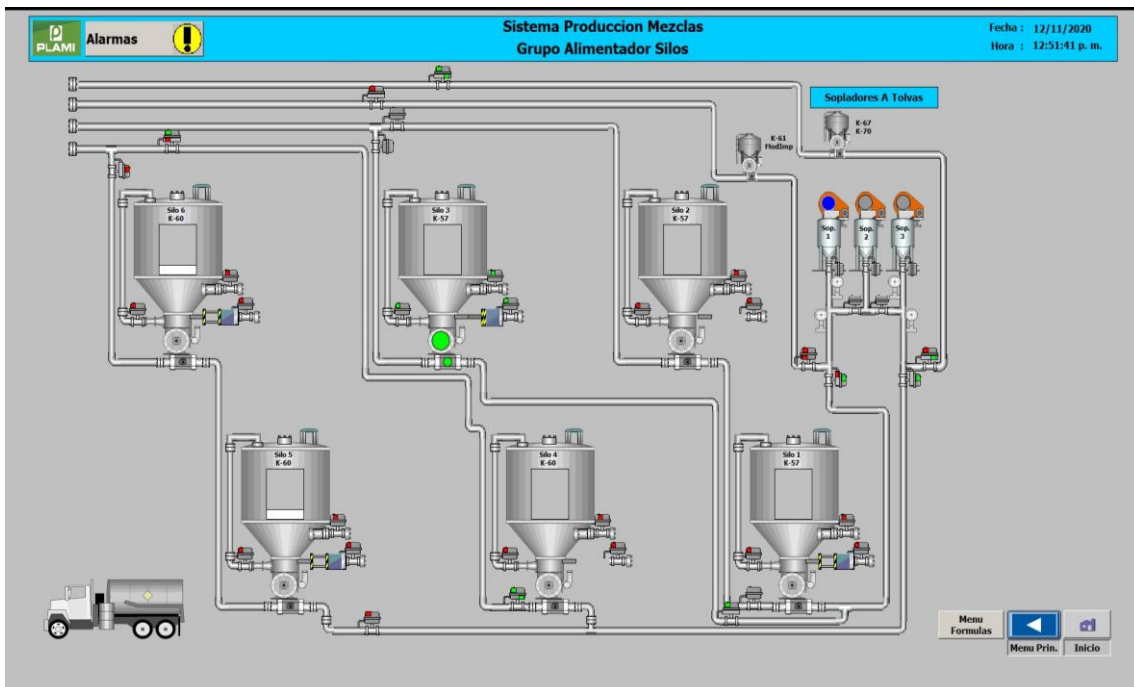


Figura 5.1 Almacenamiento de materias primas surtidas a granel.

De este modo la resina es transportada desde los silos hacia las tolvas de alimentación, estas tolvas de alimentación de resina cuentan con una capacidad máxima de 2,500 kg.

En el proceso de envío de materia prima, los modificadores de impacto deben ser agregados de modo manual a las tolvas de carga en grupo alimentador para, de este modo, aprovechar el trabajo de los sopladores y hacerlas llegar a través de las mismas tuberías.

La selección de la tolva que recibe la materia prima es controlada por el PLC a través de válvulas. Las tolvas de alimentación de modificadores de impacto y copolímero cuentan con una capacidad máxima de 1,500 kg. **Fig. 5.2**

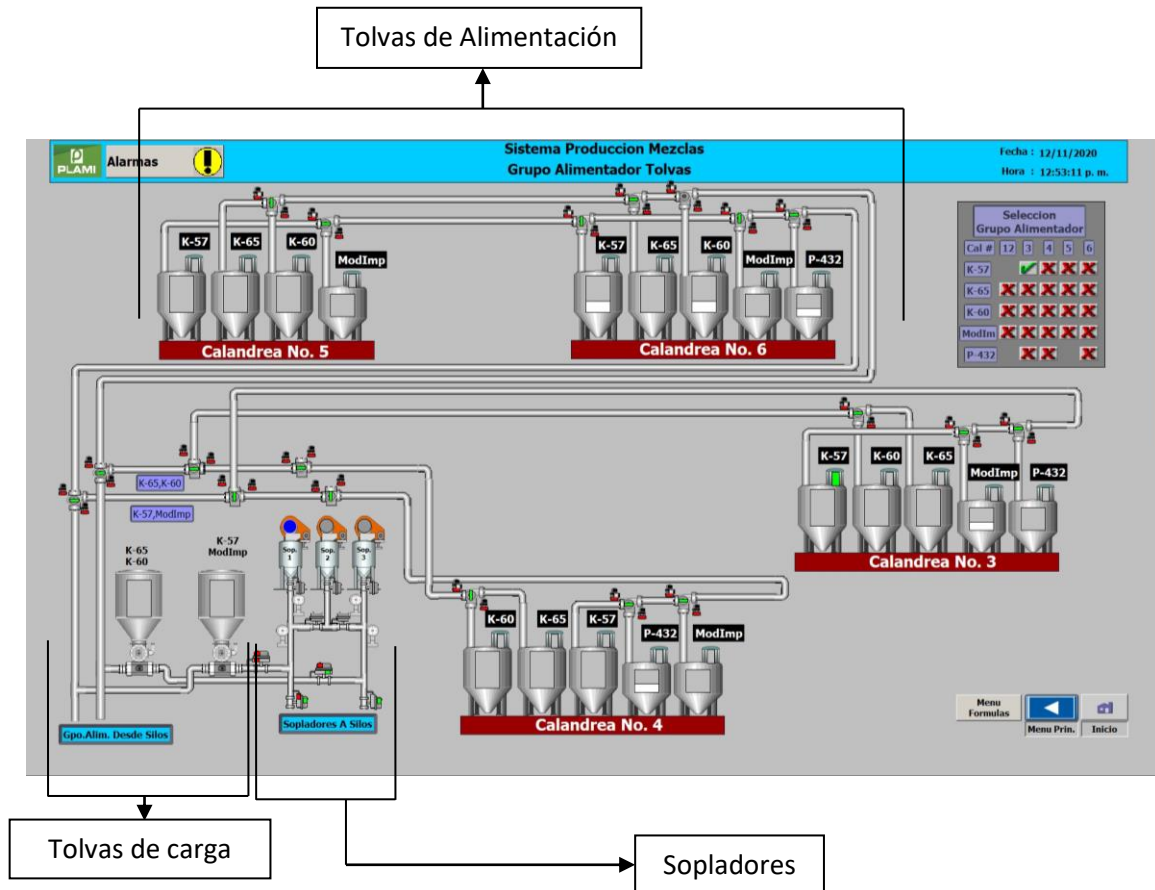


Figura 5.2 Sopladores, tolvas de alimentación y carga.

Los líquidos (Plastificante, estabilizador y epoxidado de soya) son transportados por medio de bombeo desde los tanques de almacenamiento principales hasta los tanques de alimentación, operado desde PLC. **Fig. 5.3**

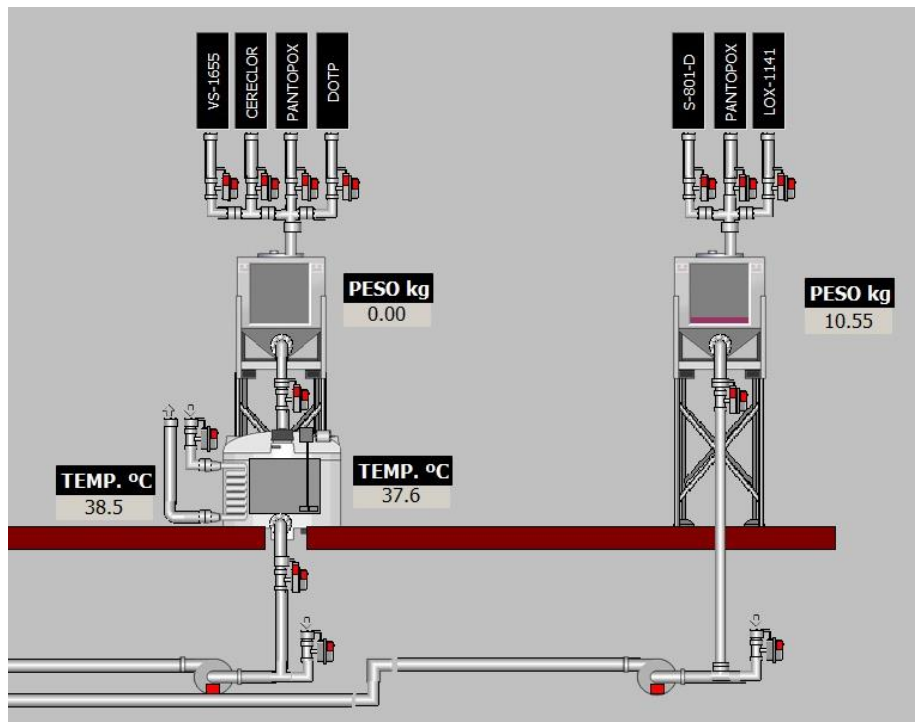


Fig. 5.3 Tanques de alimentación de líquidos.

5.4 Programación de PLC.

Una vez que se tienen las materias primas en las tolvas y tanques de almacenamiento el operador de cuarto de control se encarga de hacer la programación de las materias primas correspondientes en base a la formulación estándar para la orden de producción que va a entrar a proceso.

Los datos que ingresa el operador se capturan en tablas que tienen especificadas las materias primas almacenadas en tolvas y tanques, el indica las cantidades que se dosificarán de cada una de estas tolvas o tanques, así mismo, las temperaturas a las que serán descargada cada materia prima hacia el proceso de mezclado al igual que la temperatura de descarga de la mezcla.

Fig. 5.4

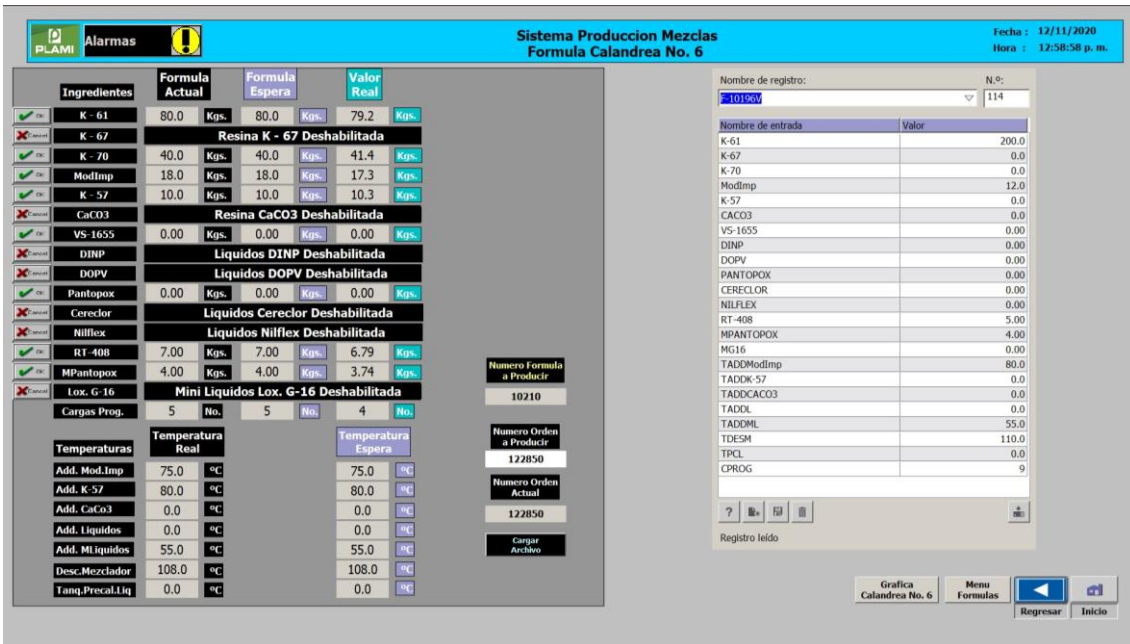


Fig. 5.4 Programación de formula en PLC.

5.5 Operación previa al mezclado.

Antes de comenzar el proceso de mezclado es necesario que el operador del mezclador conozca la formula a procesarse, posterior, realice el pesaje manual en bascula digital a pie de máquina de las materias primas especiales, ayudas de proceso y pigmentos especificadas en la fórmula de proceso. **Fig. 5.5**



Fig. 5.5 Área de pesaje manual de ayudas de proceso.

5.6 Mezclado de Materia Prima.

Para la fabricación de películas plásticas de PVC, se necesita de una mezcla de materias primas, la cual es establecida por el área técnica en una formulación misma que es definida acorde al producto terminado requerido por nuestros clientes con la finalidad de cumplir con la calidad y expectativas requeridas por el mismo.

Para esto existe un proceso de preparación de la materia prima, en donde se toman en cuenta factores que son primordiales para su acondicionamiento como son; temperaturas de agregado y cantidades correspondientes de cada componente químico en la fórmula con la finalidad de abastecer al siguiente proceso (Calandreo).

Sin embargo, no todos los procesos en nuestra planta industrial son iguales ya que se maneja gran variedad de productos. Para la fabricación de cada uno de nuestros productos intervienen diferentes materias primas, formulaciones, temperaturas de agregado, ciclos de mezclado, variaciones en la materia prima y formulación acorde a los requerimientos específicos.

5.6.1 Mezcladores Operativos Y Etapas de Mezclado.

En la planta industrial Plami S.A. de C.V, actualmente se encuentran operando 3 Mezcladores de tipo Mezclador de Paletas, más conocidos en la industria plástica como turbo mezcladores de la marca "Plasmec" **Fig. 5.6** Todos con capacidades de producción diferente, siendo las cargas nominales de estos de 150, 200 y 250 Kg.



Figura 5.6 Turbo Mezclador Plasmec "TMR-1000"(Catalogo Plasmec)

5.6.2 Ingreso y cocción de la materia prima.

Ya obtenida la fórmula de proceso y cargadas las materias primas en el sistema automatizado PLC, además de que el operador ya conoce la formula y realizo las pesadas de las materias primas que se agregan de forma manual, entonces estamos listos para comenzar el ciclo de mezclado.

Para el inicio del mezclado, el operador de cuarto de control realiza un “cambio de lote” (en PLC), que arranca el pesaje automático de las materias primas anteriormente programadas. Ya pesada la materia, el operador de mezclador “pide la carga” desde su tablero de control, lo cual arranca el mezclador y caen las materias primas por gravedad, según las temperaturas de agregado programadas.

La temperatura se eleva mediante la fricción que se genera durante el mezclado. Al mismo tiempo que se agregan las materias primas automáticas y la temperatura va incrementándose, el operador debe ir agregando las materias primas que corresponden de modo manual de acuerdo con el indicador de temperatura digital, respetando la temperatura establecida en la formulación.

Fig. 5.7

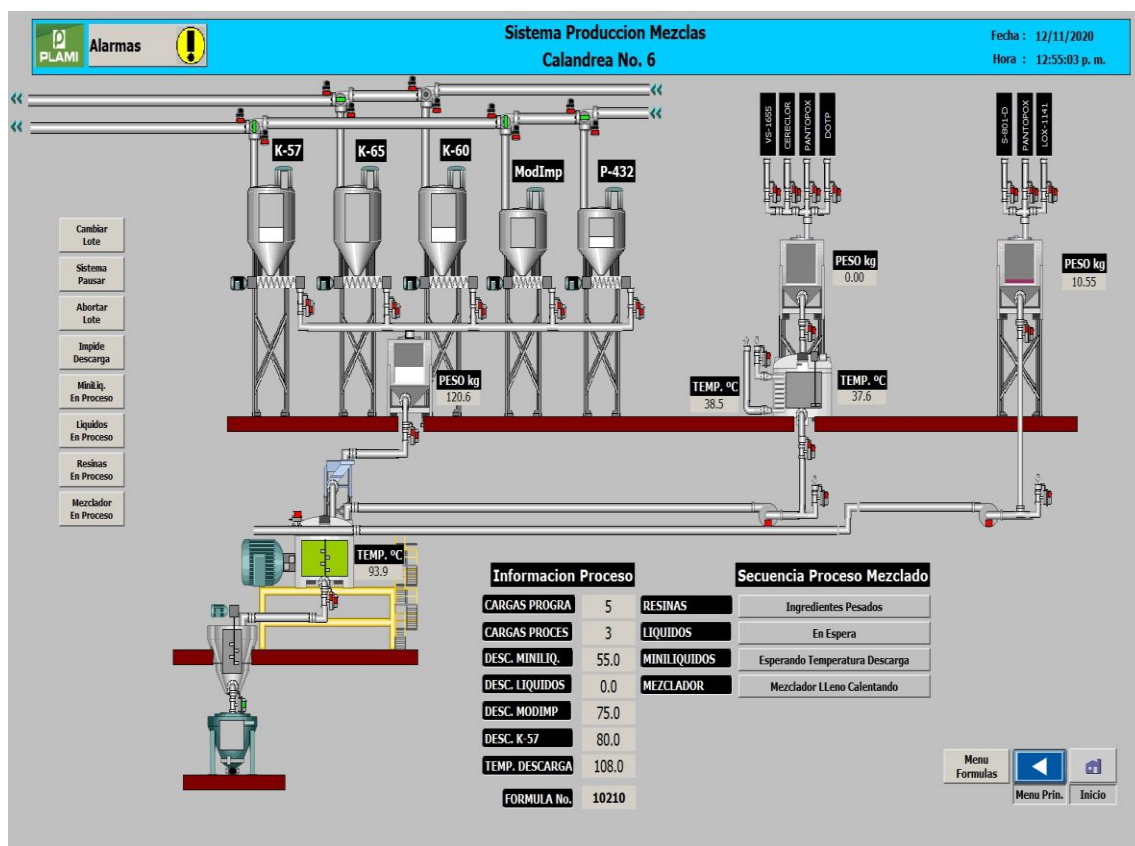


Fig. 5.7 Ciclo de Mezclado.

Una vez que se llega al final del ciclo de mezclado (100-110 °C) el operador detiene el mezclador para obtener una muestra de la mezcla y hacer estudio de calidad.

5.7 Liberación de material.

Para que el material pueda ser liberado y pase al siguiente proceso el checador de color simula el proceso de Calandreo en un molino de pruebas, en el cual obtiene una película con el espesor requerido por la orden de producción. **Fig. 5.8 y 5.9**



Fig. 5.8 y 5.9 Obtención de muestra para liberación.

Posteriormente, mide sus propiedades físicas y mecánicas por medio de pruebas de color, flexibilidad, concentración, resistencia al impacto y estabilidad térmica, apegándose a estándares establecidos por el área técnica.

Fig. 5.10



Fig. 5.10 Comparación de muestra contra estándar.

Una vez que el material cumple con todas las características requeridas en la orden de producción, es liberado para pasar al siguiente proceso (Calandreo).

5.8 Descarga y análisis de datos.

La captura y el análisis de los datos es una importante fuente de información para todas las empresas. En este proceso de mezclado, se trata de recopilar y valorar todos los datos relativos al proceso, consumo de materias primas y personal operativo. La integración de esa información en un software supone un conocimiento y transparencia necesarios para la toma de decisiones administrativas.

5.9 Datos del proceso.

Los datos recopilados del proceso de mezclado ayudan a optimizar el proceso de inventarios de materia prima, en todos sus aspectos. Esta recolección de datos se centra en tres sectores principalmente:

- Maquinaria.
- Cargas procesadas.
- Personal operativo.

Estos tres sectores están relacionados entre sí para poder hacer un análisis cuantitativo y cualitativo que nos permita tomar las mejores decisiones, es muy importante tener en cuenta la relación que tienen una con otra durante el proceso. **Fig. 5.11**



CONSUMO DE MATERIA PRIMA Y CARGAS PROCESADAS

MAQ	ORDEN	RESINAS				AYUD. PROCESO				ESTAB.			PLAST.		LUBRIC.					KGXCAR	CPROC	KGPROD	
		SE-1000	F-616	K07S	P 432	G-34	B522	PA-121	PA 20	PA 40	TT 610	LOX 901	SD 801	EPOX SOYA	DOTP	M 370	ACIDO PT	POSS	M 312				G-70
3	123537		1,850.0	2.8			148.0	2.8		13.0	37.0		24.1			2.8	2.8		0.9	2.8	114.77	18.50	2,123.2
3	123088		2,500.0	3.8			250.0	12.5		17.5	75.0		44.5		6.3	3.8	3.8	3.1			118.90	25.00	2,972.4
3	121416		550.0	0.8			49.5	5.5	8.3				3.9		1.7	0.6	0.6	0.8			119.30	5.50	656.2
3	122303		2,600.0	2.6			234.0	26.0	29.3		78.0		11.0			2.6	2.6		13.0	33.8	122.20	26.00	3,177.1
3	123499	135.0	350.0	1.0	15.0		40.0	5.0	10.0				12.5			0.5	0.5		1.5	4.0	117.71	5.00	588.6
3	122798		2,800.0	4.2			224.0	28.0	42.0				70.0		8.4	2.8	2.8	4.2			117.01	28.00	3,276.3
4	122296	4,200.0		8.4									92.4		126.0	1,008.0	6.3	6.3			194.69	28.00	5,451.4
4	122297	3,000.0		6.0									66.0		90.0	720.0	4.5	4.5			194.69	20.00	3,893.8
6	120775		1,200.0	13.5	150.0	1,800.0	300.0	30.0	60.0				75.0			60.0			9.0	24.0	249.00	15.00	3,735.0
6	122850		400.0	4.5	50.0	600.0	90.0	10.0	20.0				35.0			20.0			2.0	6.0	248.40	5.00	1,242.0
6	123507		900.0	0.9			72.0	9.0	13.5				22.5		2.7	0.9	1.4	1.4			231.80	4.50	1,043.1
6	121924		2,600.0	2.6			208.0	26.0	39.0				65.0		7.8	2.6	3.9	3.9			231.80	13.00	3,013.4
6	119510		800.0	0.8			64.0	8.0	12.0				20.0		2.4	0.8	1.2	1.2			241.80	4.00	967.2
6	120792		5,600.0	5.6	168.0		504.0	56.0	84.0				168.0			5.6	5.6		28.0	84.0	254.80	28.00	7,134.4
Total Kg.		7,335.0	22,150.0	57.5	383.0	2,400.0	2,183.5	218.8	318.0	30.5	190.0	158.4	479.0	674.4	1,728.0	29.2	37.7	45.8	14.6	54.4	154.6	225.50	39,274.1

PROC	STD	AJUSTES
14	14	0

Rigidos		29,928.85
Flexibles		9,345.22

S/N			
Producción Total Mez		Producción Total Cal	
Rig	29,928.8	Rig	32,436.0
Flex	9,345.2	Flex	13,752.0
Total	39,274.1	Total	46,188.0

PRODUCCION POR CALANDREA		
MAQ	PRODUC MEZ.	PRODUC CAL.
TKF	0.0	0.0
CAL2	0.0	0.0
CAL3	12,793.7	13,515.0
CAL4	9,345.2	13,752.0
CAL6	17,135.1	18,921.0
Total	39,274.1	46,188.0

CONSUMO DE RESINAS POR CALANDREA			
MAQ	FLEXIBLE	MAQUINA	RIGIDA
TKF		CAL4	
CAL2	0.0	CAL3	10,785.0
CAL4	14.4	CAL6	11,500.0
Total	14.4	Total	22,285.0

Fig. 5.11 Consumo de materias primas y cargas procesadas

6 Proceso de calandreo de películas de PVC.

6.1 Introducción.

El término “calandreo” se refiere al procesamiento de plásticos y caucho, en donde un material altamente viscoso (a las temperaturas del proceso), es transformado en una banda sin fin, al hacerlo pasar a través de dos o más rodillos cuando el material procesado no tiene ningún soporte, se habla de formado de láminas o películas.

Si durante el procesamiento se utiliza un material de soporte, además del formado en la calandrea, se presenta un laminado o revestimiento; pudiendo ser los estratos de un mismo material, o de materiales diferentes.

El calandreo de plásticos y caucho, significa un proceso de deformación, en donde el espesor de la película o lamina se determinó por la abertura entre rodillos y la fuerza ejercida por estos depende de la geometría de dicha abertura y de las propiedades de la masa calandreada.

El material calentado a la temperatura de procesamiento ejerce una fuerza al pasar a través de la abertura entre dos rodillos. Uno de los primeros estudios al respecto los efectuó Ardichvili, que partió de las siguientes consideraciones.

- Un elemento volumétrico se desplaza solamente en dirección del calandreo, con una velocidad V_x .
- La abertura entre rodillos $h=f(x)$, varía de manera insignificante en dirección del calandreo, ya que la abertura es muy pequeña comparada con el diámetro de los rodillos ($h_0 \ll r$).
- Entre el rodillo y el material, no existe ningún espacio libre.
- El material tiene viscosidad newtoniana.
- Se presenta un flujo laminar.

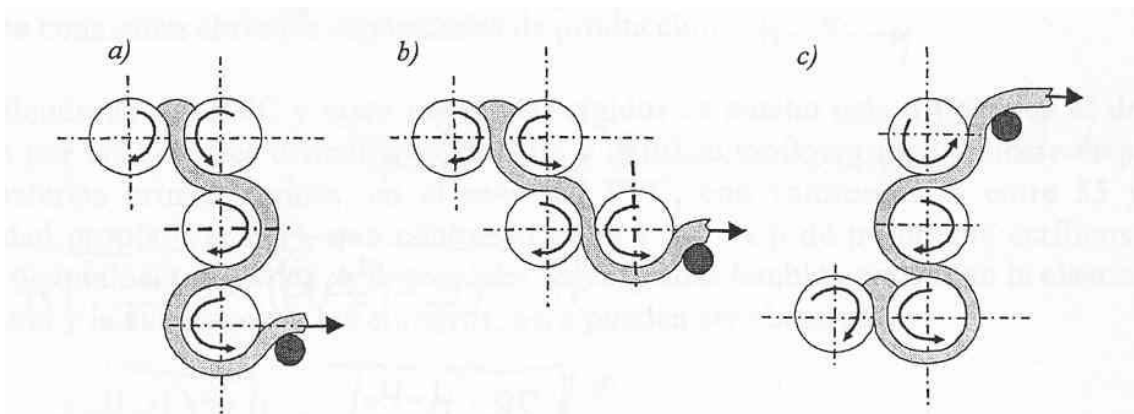


Fig.6.1. Configuración de rodillos de calandrea: a) L invertida, b) Z, c) L. (Tecnología de los Plásticos , 2011)

6.2 Etapas del proceso.

Las etapas del proceso de calandrado lo dividimos en 4 etapas básicas: Alimentación, Calandrea, Cilindros drilling, Tren de enfriamiento, Control de tensión y por último Corte y Bobinado. **Fig. 6.2**

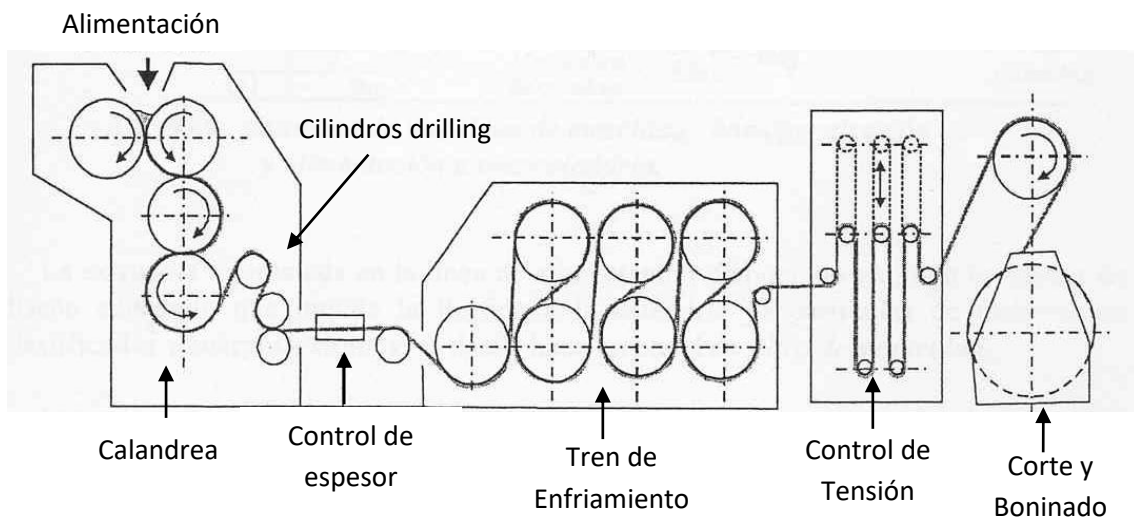


Fig. 6.2 Etapas del proceso de calandrado. (Tecnología de los Plásticos , 2011)

6.3 Alimentación.

La alimentación se da con la recepción de material formulado por el área de mezclas. Aquí la mezcla se ha preparado con todos sus aditivos dependiendo del material requerido por el cliente (fórmula), por lo regular las películas llevan plastificante, lubricantes internos y externos, pigmentos, estabilizadores, modificadores de impacto y en algunos casos materias primas especiales.

El primer ayudante de calandreas y el operador del mezclador deben de estar atentos a la descarga en la tolva receptora, la mezcla liberada por el área de mezclas alimenta a la tolva del amasador. **Fig. 6.3**

Al entrar el material a la tolva, pasa por rejillas metálicas imantadas donde partículas metálicas son atrapadas, por si la mezcla pudiera estar contaminada con alguna partícula metálica. Este paso es muy importante, porque las partículas u objetos metálicos que puede contener la mezcla pueden dañar seriamente a los equipos de proceso o contaminar la película que se está fabricando.

La verificación de las barras imantadas se hace al finalizar cada orden de producción. También, se verifican que la velocidad de tolva y el husillo del amasador se encuentren en cero e inician las temperaturas de arranque.

Después se comienzan a elevar la velocidad del husillo con un potenciómetro, se establecen velocidades del husillo y de la tolva de acuerdo con la cantidad de material requerido en el molino. **Tabla 6.3**

Tabla 6.3 Relación de velocidades entre tolva y husillo

Relacion 1:4	
Tolva R.P.M.	Husillo R.P.M.
5	20
6	24
7	28
8	32
9	36

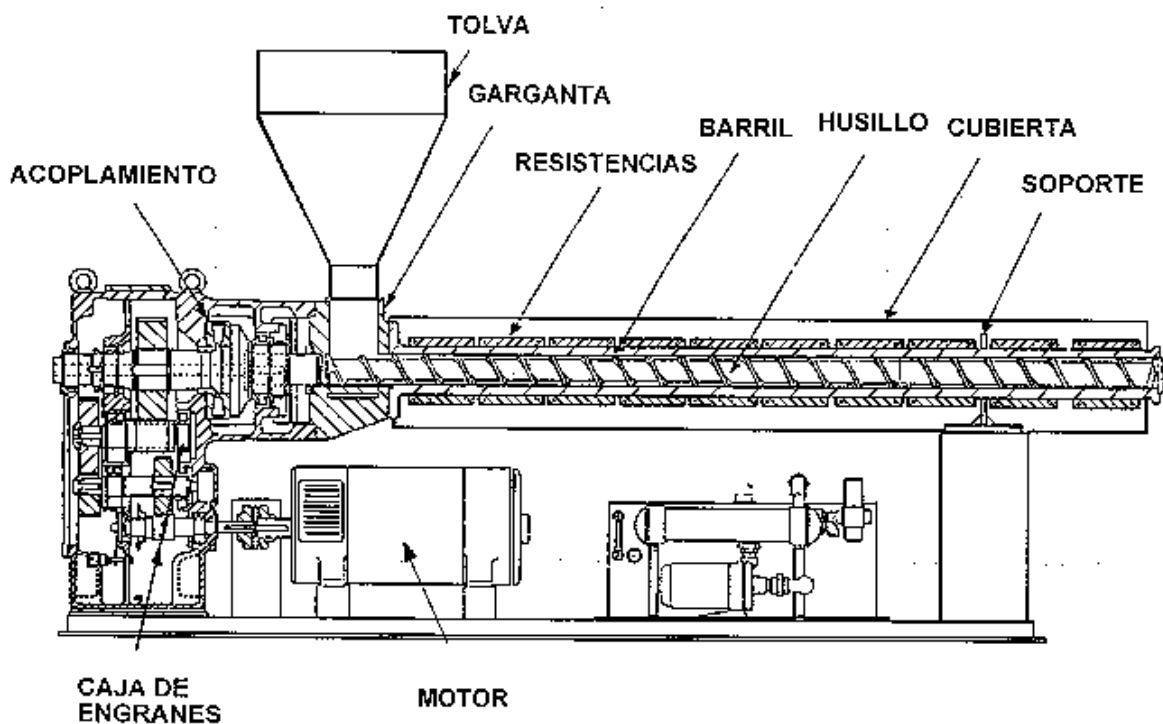


Figura 6.3 Sistema de Tolva- Amasador.

Las condiciones de operación pueden variar dependiendo de la configuración del husillo y de los componentes de la fórmula a utilizar. La tolva pasa el material al amasador y este a su vez pasa por el husillo que lo mueve a través de todo el cañón del amasador, donde su temperatura va en aumento a lo largo de todo el cañón. Es dentro del cañón donde el material empieza a plastificarse. Es importante señalar que en el rango de temperaturas a la que trabaja el cañón del buss, la Tg se hace presente porque el PVC empieza a volverse flexible y gomoso.

Dentro del amasador el material se le da su primer calentamiento antes de pasar al molino, en esta sección los componentes o aditivos como los lubricantes que están mezclados con las cadenas poliméricas empiezan a actuar. Dentro del cañón los lubricantes externos impiden que el material, que empieza a plastificarse, se pegue o adhiera a las paredes metálicas del cañón; esto se debe a que los lubricantes externos tienen como misión reducir y controlar la adhesión entre el polímero y las partes metálicas de los equipos de transformación, tienen una baja solubilidad en el polímero, sobre todo a las temperaturas de procesado, pero han de tener suficiente polaridad de modo que tengan afinidad tanto por el polímero como por las superficies metálicas.

Posteriormente, el material plastificado es transportado sobre una banda transportadora hasta la entrada de un molino de dos rodillos donde se le dará nuevamente un calentamiento al material, esta vez con una técnica manual llamada molienda. Los molineros que operan todos los equipos adjuntos al molino como son la tolva, el amasador, las bandas transportadoras, detectores de metal y el molino tienen como función calentar el material hasta que el material se torne más suave sin llegar a degradarlo y pueda ser transportado a los rodillos principales de la calandrea.

En el molino, los aditivos con los que cuenta la mezcla entran en acción, principalmente, el estabilizador y los lubricantes que de nuevo impiden que el material plastificado se pegue a las paredes metálicas del molino, debido a que migran del interior de la mezcla a la superficie. Por otra parte, el estabilizador evita la degradación de las cadenas poliméricas y es el primero que empieza a evaporarse por la temperatura de trabajo con el material.

Se cuentan con campanas de extracción para todos los vapores generados que en su mayoría son vapores de plastificante, estabilizador y lubricantes. En esta sección es importante que los rodillos del molino y toda el área que rodean al mismo estén limpias para evitar cualquier contaminación que pueda afectar la calidad de las películas.



Figura 6.3.1 Técnica de Molienda realizada por un operador.

El material que se alimenta del molino pasa por un detector de metal. El molinero revisa las condiciones de las bandas. Si el equipo detecta metal suena la alarma y se detienen las bandas transportadoras, el molinero procede a cortar el tramo de material probablemente contaminado y lo entrega a los supervisores para su inspección y restablece la operación arrancando nuevamente las bandas transportadoras. **Fig. 6.3.2**

La mezcla puede contaminarse con partículas metálicas debido al transporte de la materia prima en planta, por su paso en tuberías hacia los mezcladores, por desprendimiento de pedazos metálicos de las superficies de los equipos por donde es transportada hacia los rodillos principales, y por descuidos humanos al dejar caer algunos objetos metálicos.



Figura 6.3.2 Equipo de detección de metales y muestra con una contaminación de metal dentro de la tira.

6.4 Cilindros principales

El operador controlan los rangos de condiciones de operación de los rodillos principales como son: temperaturas, velocidades, cruzamiento y abertura entre los rodillos. Esta sección es la más importante pues aquí se le da el grosor de la película que se está trabajando, es importante mencionar que antes de empezar a procesar el material, el operador y primer ayudante le dan previamente las condiciones de operación a los equipos de proceso.

El operador revisa que las secciones de drilling y enfriadores estén abiertos para que el material pueda ser dirigido a través de ellos. Cierra rodillo 1 contra 2, 2 contra 3 y 4 contra 3 en ambos lados a una distancia aproximada de 2 mm o menos **Fig. 6.4**

Acciona botones correspondientes en tablero de calibración frontal y al alimentar con material entre rodillos 1 y 2, una persona se encarga de adherir manualmente el material al rodillo 2 y de este al 3, para que finalmente salga por el rodillo 4. Mientras, el empacador y primer ayudante, guían la película por toda la línea de drilling hasta el enrollador.

Se cierran rodillos **enfriadores**, se inicia la calibración de espesor conforme la especificación interna de producto, y se van haciendo ajustes necesarios durante el proceso para obtener los parámetros requeridos en la película.

Dichos ajustes pueden ser los siguientes:

- Ajustes de velocidad de rodillos principales y de primer grupo de drilling (despegador) de acuerdo a la relación de estiro y condiciones de proceso.
- Ajustes de velocidades de grupos de drilling y enfriadores.
- Ajuste de calibración de espesor de la película.
- Ajuste de cruzamiento de rodillos
- Ajuste de tamaño y distribución de bancos de material entre rodillos.
- Ajustes de distancia de placas limitadoras de alimentación **Fig. 6.4**
- Ajustes de temperaturas de rodillos principales y drilling dependiendo de las características de la película y los problemas que presente.
- Limpieza de rodillos principales y drilling si se tiende a pegar el material a rodillos.

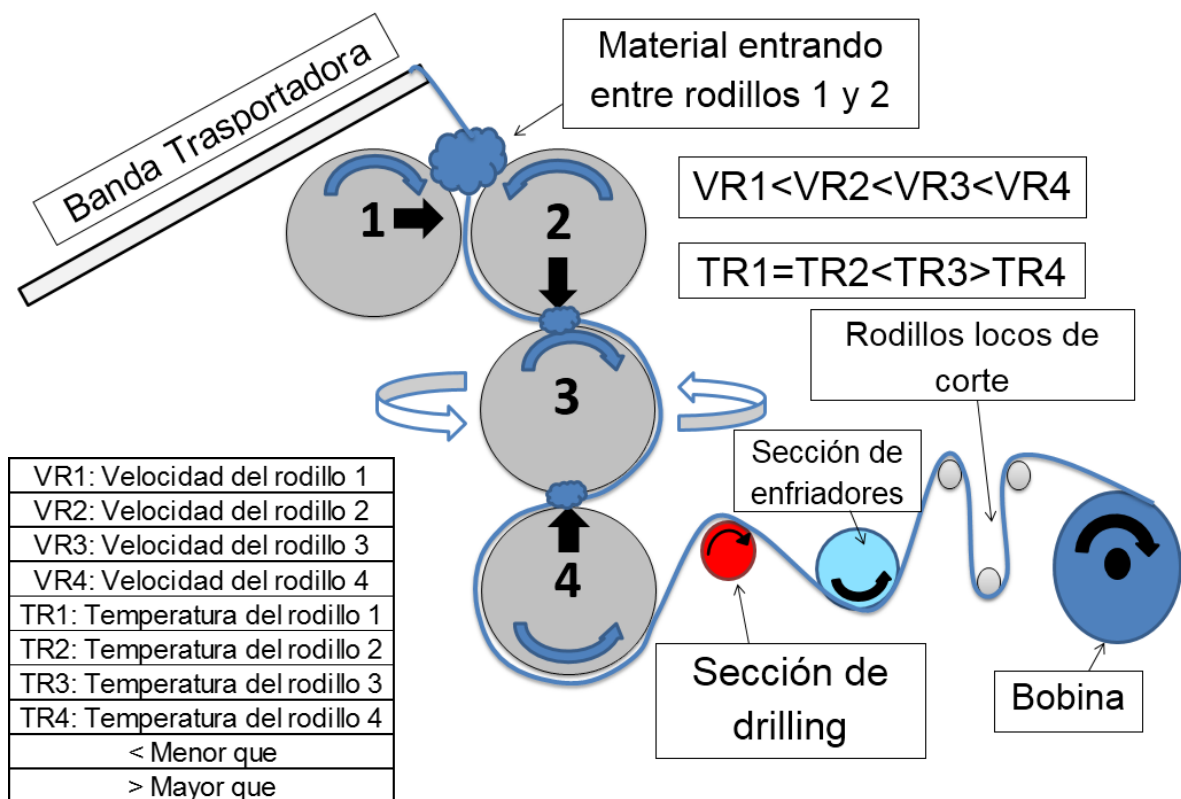


Figura 6.4- Diagrama del proceso de calandreo en L invertida.

6.5 Sección de Rodillos Drilling y Enfriadores.

En esta sección se ubican las bancadas o secciones de drilling y enfriadores que son rodillos cromados con las siguientes funciones:

- Despegar la lámina del rodillo número 4; el rodillo drilling que realiza esta función se llama rodillo jalador y es el primero en la sección **Fig. 6.5**
- Estiran la lámina al jalarla del rodillo principal número 4 modificando su grosor.
- Direccionan uniaxialmente las cadenas poliméricas en el sentido del flujo de la película.
- Dar brillo a la película
- Dar grado de encogimiento a la película
- Dar grabado a la película (si la película lo requiere)
- Enfriar la película

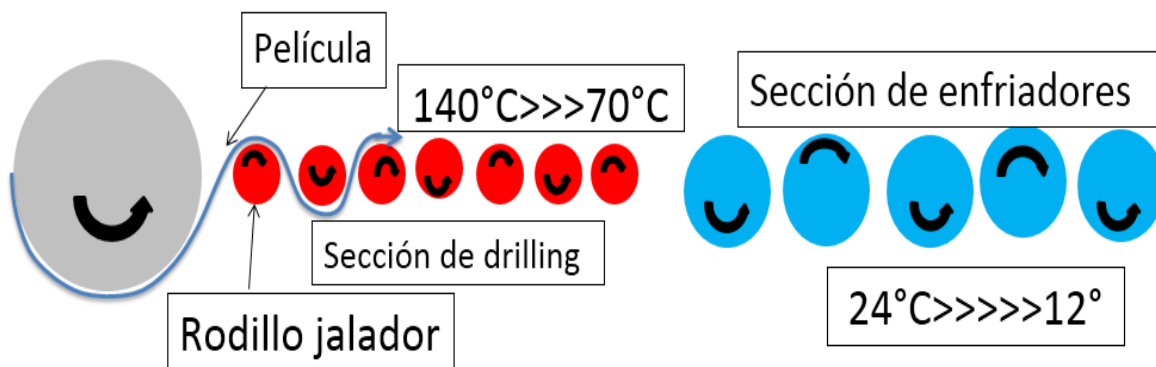


Figura 6.5 Sección de drilling y enfriadores.

El operador o primer ayudante controla las temperaturas y velocidades de las secciones de enfriadores y drilling. Esta parte de la calandrea suele llamarse Post-calandrea.

Las velocidades de los drilling llegan hasta los 150 metros/minuto y el rango de temperaturas hasta los 140°C, dependiendo del material a procesar. En la sección de drilling el rango de las temperaturas a las que la película es sometida en un proceso normalmente disminuye en conforme la película pasa por ellos, esto se debe a que antes de llegar a la sección de enfriamiento, la película no debe sobrepasar los 100 °C, de lo contrario sufrirá un choque térmico y al ser sometida a la tensión del embobinado puede fracturarse si es rígida o presentar mala planidad si es flexible.

La velocidad de los drilling siempre es mayor que la velocidad del rodillo principal 4, así por ejemplo si el rodillo principal 4 tiene una velocidad de 22 m/min, la de los drilling será aproximadamente de 27 m/min, dependiendo del

material que se procese. Es importante señalar que los rodillos drilling orientan las cadenas poliméricas por las dos caras de la película porque pasa en zigzag como se ve en la **Fig. 6.5**

Los drilling pueden ser calentados internamente con vapor de agua o aceite, son más pequeños que los rodillos enfriadores debido a que manejan temperaturas altas y la fricción que genera la película al pasar sobre estos también contribuye a calentar la película, por lo que un rodillo más grande generaría más fricción.

Los rodillos enfriadores son más grandes debido a que la película necesita un tiempo de residencia mayor para poder enfriarse y transferir el calor que tienen a los rodillos enfriadores.

La sección de rodillos enfriadores tiene como función enfriar la película. Los rodillos enfriadores pueden usar agua de chiller o de torre que se encuentra entre 10-30 °C respectivamente. En esta sección de enfriadores, la temperatura va disminuyendo conforme la película avanza sobre ellos en forma de cascada, ocasionando la tensión de las cadenas poliméricas.

6.6 Corte y embobinado.

En esta sección, los rodillos son llamados rodillos “locos” pues ya no tienen movimiento con motor, solo tienen la función de transportar el material a secciones de corte y embobinado, durante este recorrido la película ya se ha enfriado y es sólida.

En esta etapa es donde se verifican los parámetros de calidad de la película y es donde la película se le da tensión al embobinarla. En esta área hay varias secciones importantes donde la película pasa para medir sus parámetros obtenidos durante el proceso de calandreo. Estos son beta control, corte y embobinado **Fig. 6.6**

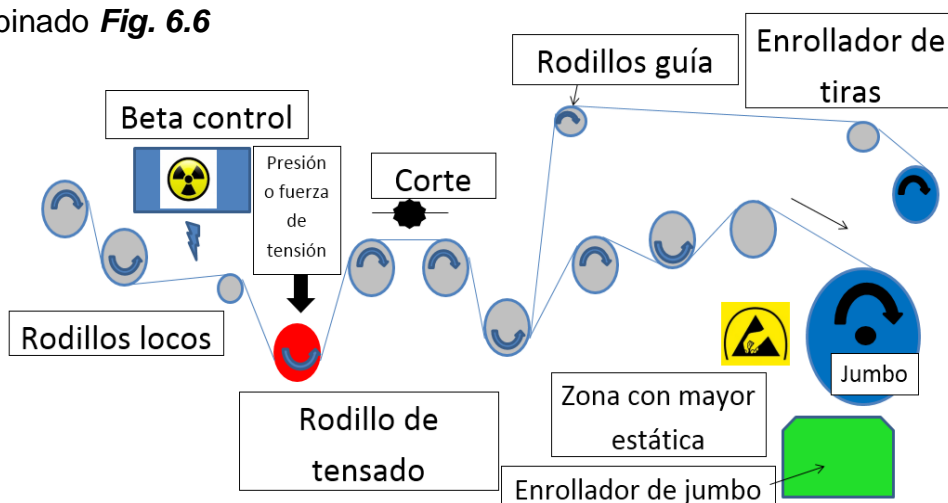


Figura 6.6 Post-calandrea sección de corte y embobinado.

Durante el recorrido la película pasa por un dispositivo llamado “Beta control”, que es un sistema de medición de espesor que está diseñado para hacer mediciones libres de contacto del peso específico de una película **Fig. 6.7**

El sistema consiste en un sensor y un analizador electrónico: el sensor incorpora un emisor de rayos con una fuente radiactiva (en este caso, Kriptón 85) y un detector con una cámara de ionización y un preamplificador, montado sobre un bastidor de manera que oscila alternativamente sobre el material de proceso y realiza registros continuos del peso por unidad de área, traduciéndose estos en un perfil de espesor a lo ancho y largo del material.

Para el caso del calandreo de película de PVC en nuestro proceso, el programa incluye el control automático de:

- Cruzamiento derecho e izquierdo del rodillo principal con esta propiedad.
- Estiramiento (jalón) del rodillo drilling.
- Ajustes de luz entre rodillos 3 y 4.



Figura 6.7 Sistema beta control.

Durante el transporte de la película después de pasar por el sistema de beta control, esta pasa por un rodillo de tensión, este rodillo es de especial importancia porque le da al embobinado una tensión específica para que este pueda enrollarse de manera correcta.

El operador está atento a la tensión y su control. La cantidad de tensión que se le dé a la película depende del tipo de material que se esté trabajando, del calibre y de la cantidad de material a embobinar. Los materiales rígidos y semirrígidos por lo regular requieren mayor tensión que los flexibles, puesto que estos últimos pueden presentar problemas de planidad si se excede en la tensión.

Además, una tensión no constante también hace que la bobina presente problemas de telescopio, que no es más que secciones en la bobina donde la tensión es menor o mayor y estas secciones por diferencia de tensión

empiezan a sobresalir de la bobina, generando problemas para su posterior proceso.

En la sección de corte el maestro, primer ayudante o empacador ajustan unas cuchillas industriales de corte para darle el ancho requerido por el cliente, estas navajas se colocan a un ángulo de 130° aproximadamente con respecto a la superficie de la película **Fig. 6.8** Si las navajas se colocan a 90° (perpendicular a la película), se genera una gran fricción entre las paredes de la navaja y las orillas que están siendo cortadas, lo que genera que los bordes de la película comiencen a calentarse a tal grado que se empiecen a deformar haciéndose orillas boludas, lo que dañara la planitud de la película.

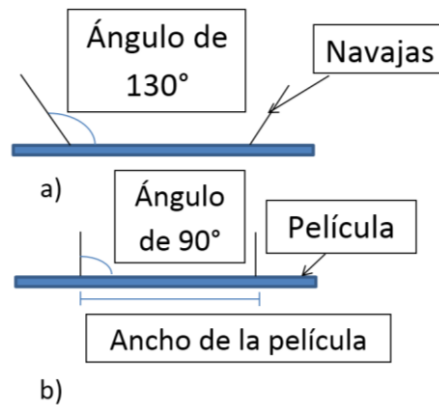


Figura 6.8 Colocación de las navajas de corte en la película durante el proceso. a) Forma correcta, b) Forma incorrecta.

Por último, en la sección de embobinado, este proceso se realiza mediante el uso de una enrolladora hidráulica menzel para jumbos. Se inicia ajustando la tensión de enrollado (tractiva) mediante una válvula reguladora, observando siempre la presión (bar) del manómetro, esto se puede realizar las veces que sea necesario durante el proceso, dependiendo de la tensión que se requiera en la película, esto es debido a que el peso del jumbo va aumentando **Fig. 6.9**

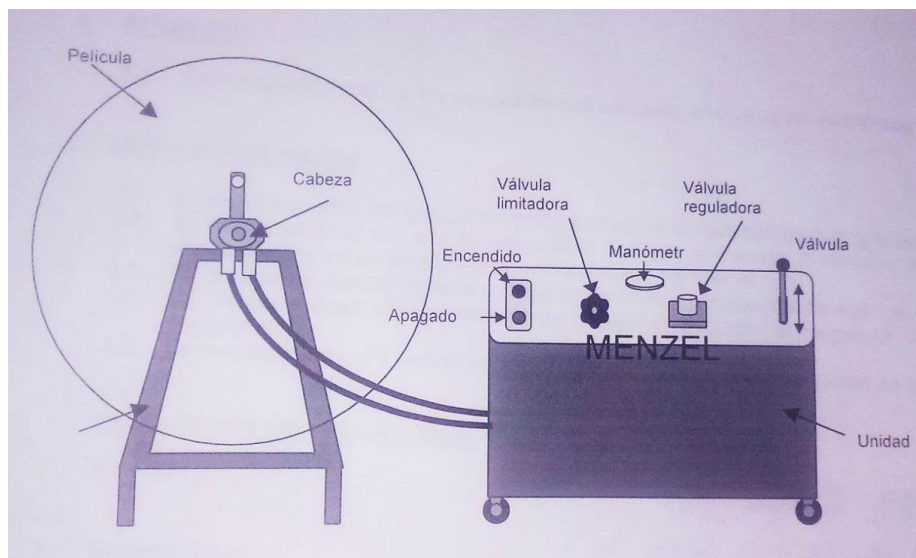



Figura 6.9 Embobinado de un jumbo con una bomba menzel.

7 Implementación de mejoras en el área de mezclas.

En este capítulo se presenta el desarrollo de un proyecto de mejora y optimización desarrollado en el área de mezclado con la finalidad de reducir tiempos y aprovechar de una manera eficiente los recursos humanos y económicos aplicando la mejora continua y técnicas Lean Manufacturing, así como un resumen de algunos otros proyectos y mejoras aplicadas en el área.

7.1 Optimización del proceso de triturado y cribado para la recuperación de material sobrante en el área de corte.

	FECHA INICIO:	28-oct-2020
	FECHA TERMINO:	19-nov-2020
	ENCARGADO DE MEJORA:	Coord. Ing. Orlando Aguilar Maltos Aux. Ing. Christopher Cárdenas
	PERSONAL NECESARIO:	2
	ESTACION DE TRABAJO:	Molino Pagani
ÁREA DE OPORTUNIDAD:	JUSTIFICACIÓN:	
Exceso de proceso para la obtención de material triturado y cribado (escama rígida) para su recuperación	Se utilizó un diagrama de recorrido y medición de tiempos y movimientos.	
CONSIDERACIONES	MEJORA ESPERADA:	
Se necesita adaptar una criba en la salida del material triturado al molino Pagani para automatizar el proceso de cribado	Eliminación del proceso de cribado manual	
ESTRATEGIA LEAN UTILIZADA	MÉTODO DE CONTROL:	
JIT ("Just in Time")	FIFO (First In-First Out)	
MATERIALES:	Barras magnéticas	
HERRAMIENTAS:	-	
MATERIAL ESPECIAL:	Base para criba.	

7.1.1 Resumen del proyecto.

Para la realización de la rejilla, fue necesario desarrollar el diseño con ayuda de CAD para enviar la orden al área de Mto. con las medidas necesarias para las barras magnéticas que se encontraban montadas en la criba de extrusión **Fig. 7.1**

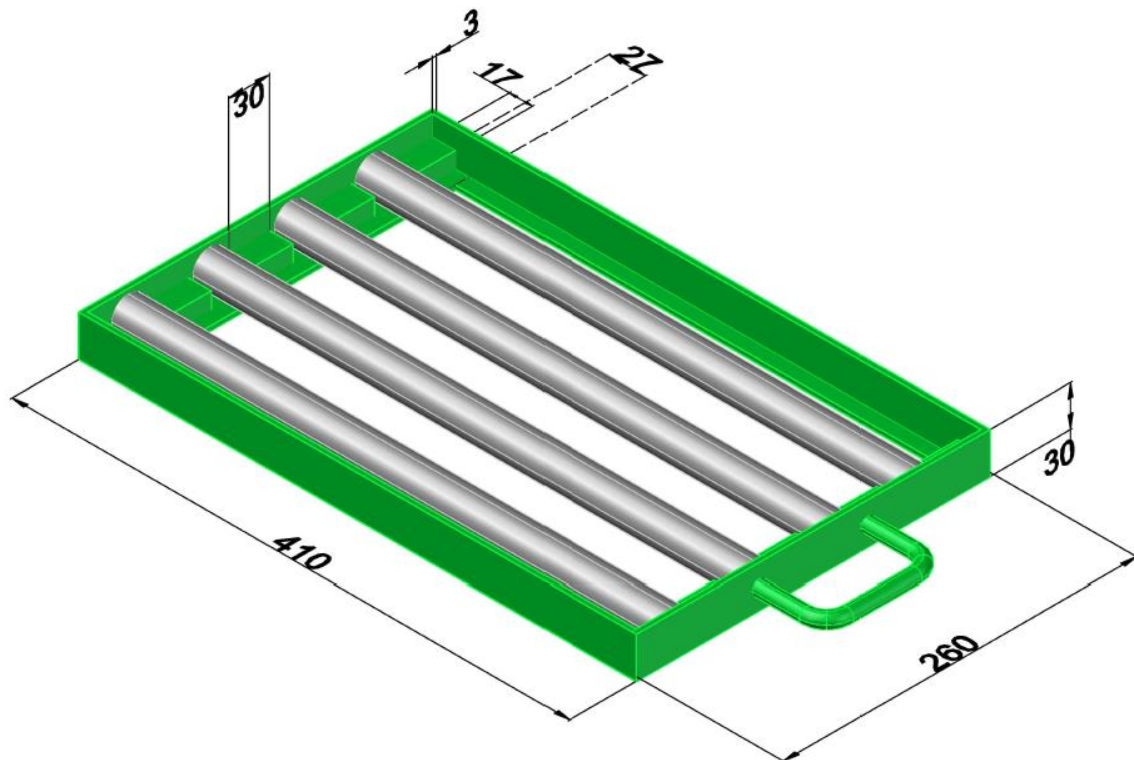


Figura 7.1 Diseño en Auto CAD de rejilla magnética (criba).

El principio de funcionamiento de la rejilla, son los campos magnéticos. Si el material triturado contiene algún tipo de contaminación *metálica*, esta es atraída inmediatamente a las barras por sus campos magnéticos, las barras imantadas que se usarán para esta criba tienen un campo magnético de 10,000 Gauss, con lo cual se garantiza que el material triturado quede libre de metales y listo para ser recuperado en el proceso.

7.1.2 Diagramas de flujo del proceso.

Diagrama de proceso anterior.

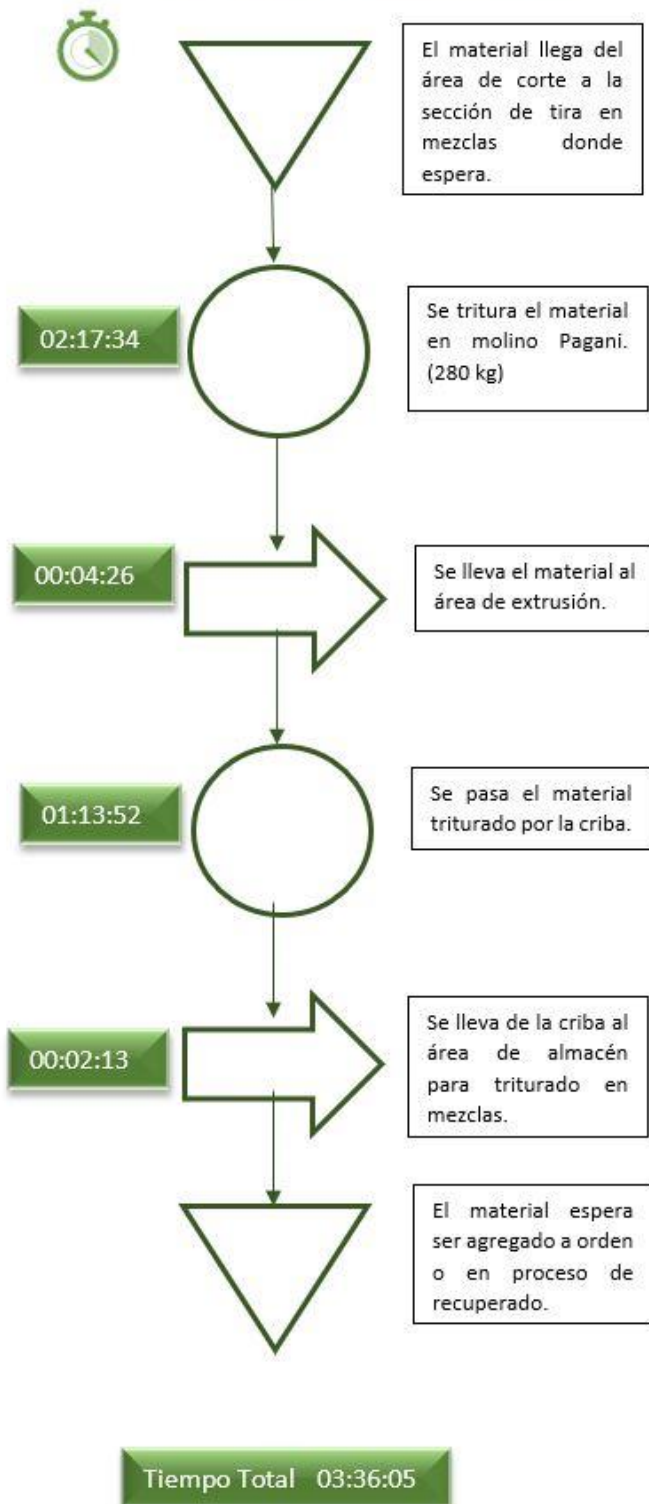
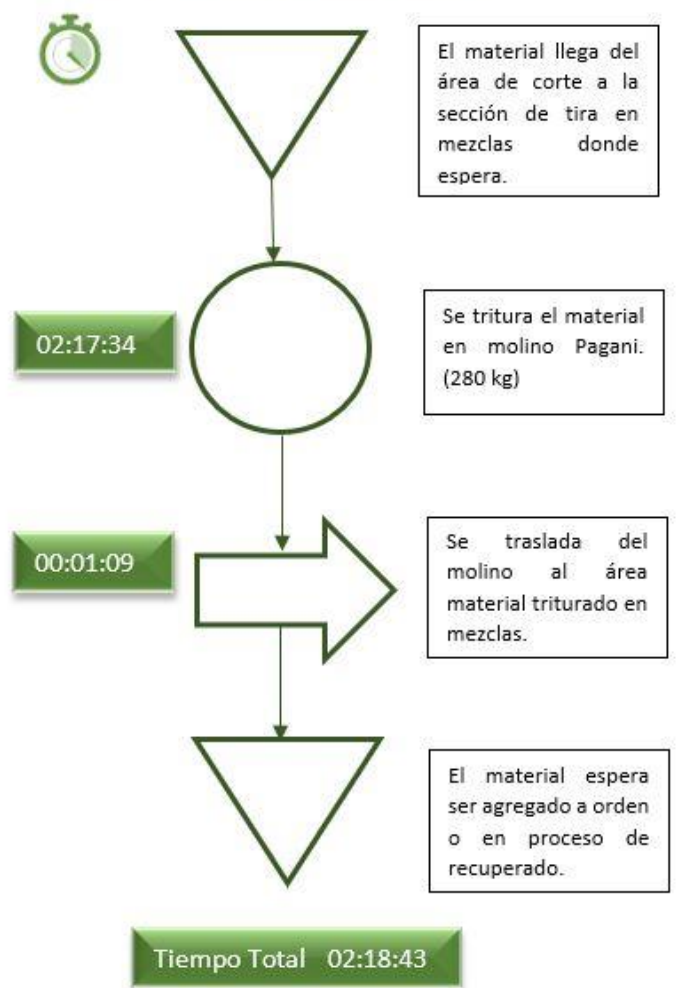


Diagrama de proceso actual

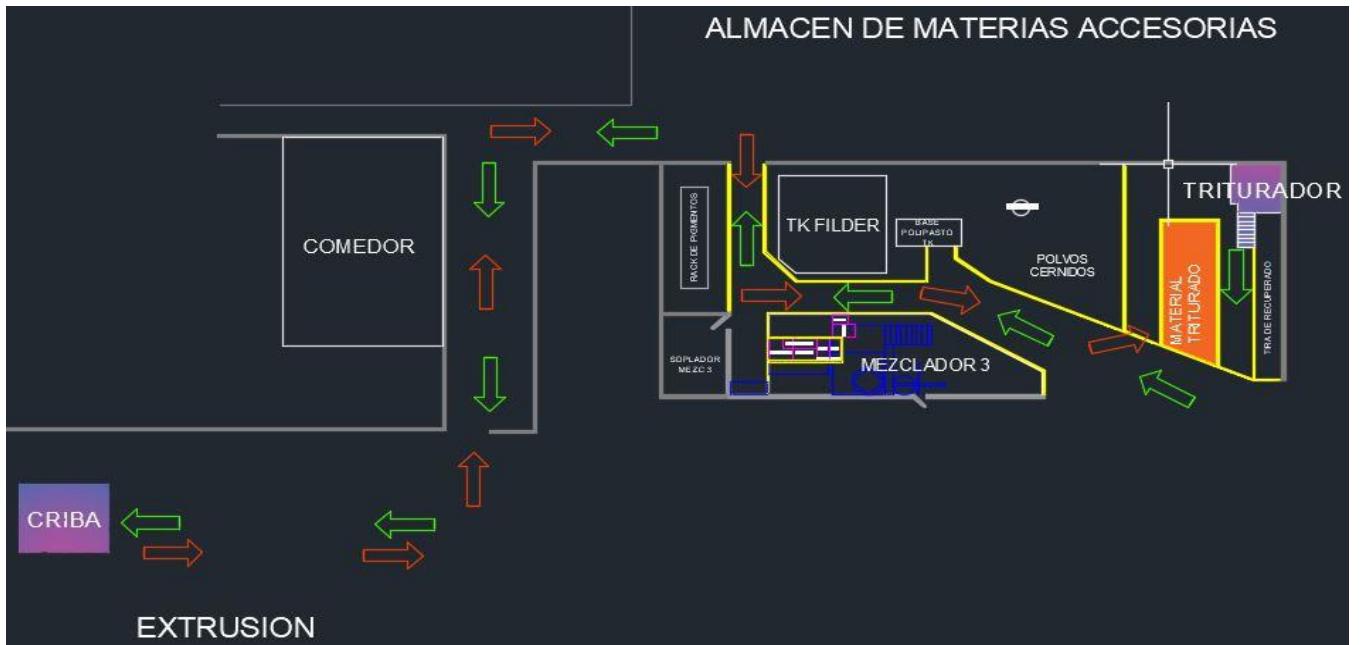


El **Proceso anterior** de cribado constaba de dos personas para llevarse a cabo.

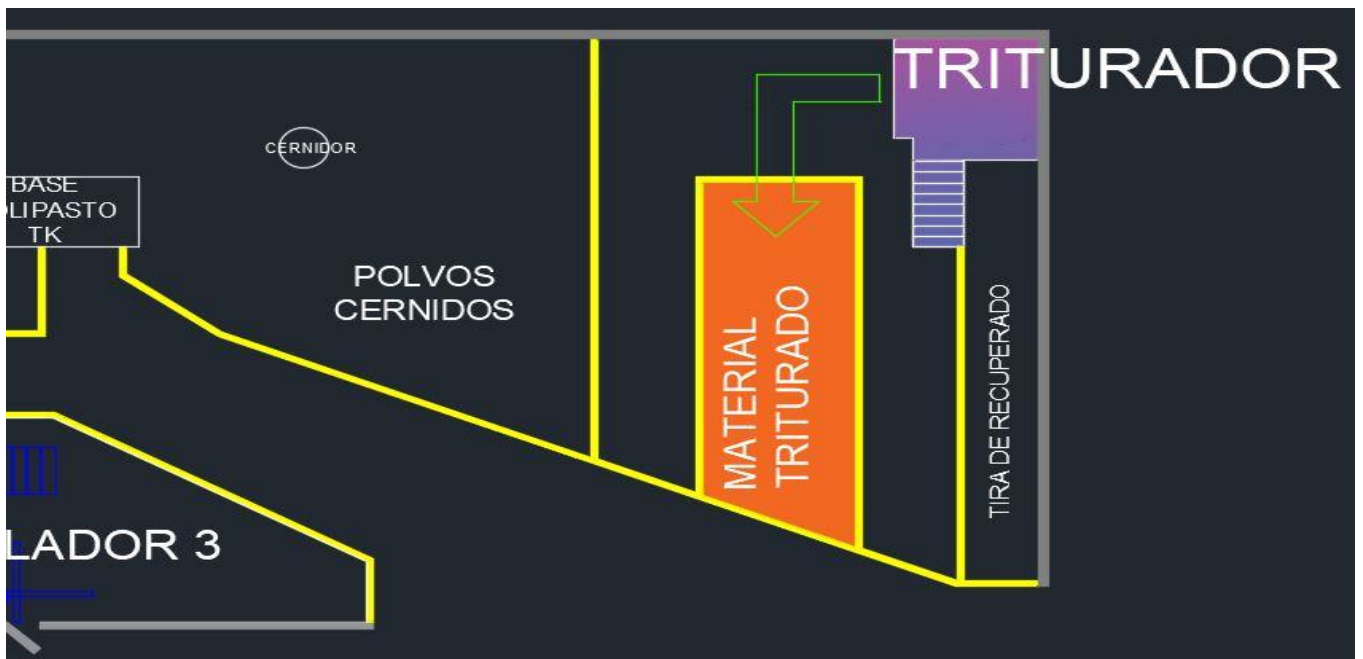
El **proceso actual** solo ocupa el esfuerzo de una persona para el molido y el cribado es automático.

7.1.3 Diagramas de recorrido.

Para poder tener una visión más clara acerca de lo que se ahorra, en cuestión de tiempos y movimientos, se realizó un diagrama de recorrido del material recuperado.



Recorrido del material triturado (Estado Anterior)



Recorrido del material triturado (Estado Actual)

7.1.4 Evidencia fotográfica.

Proceso anterior.



Triturado



Traslado



Cribado

Proceso actual.



El material se criba automáticamente

Conclusiones: El beneficio obtenido a la conclusión de este proyecto se vio reflejado en la eliminación del proceso de cribado de forma manual, lo cual redujo el tiempo y mano de obra durante el proceso de triturado y cribado en molino Pagani.

7.2 Resumen de mejoras y proyectos.

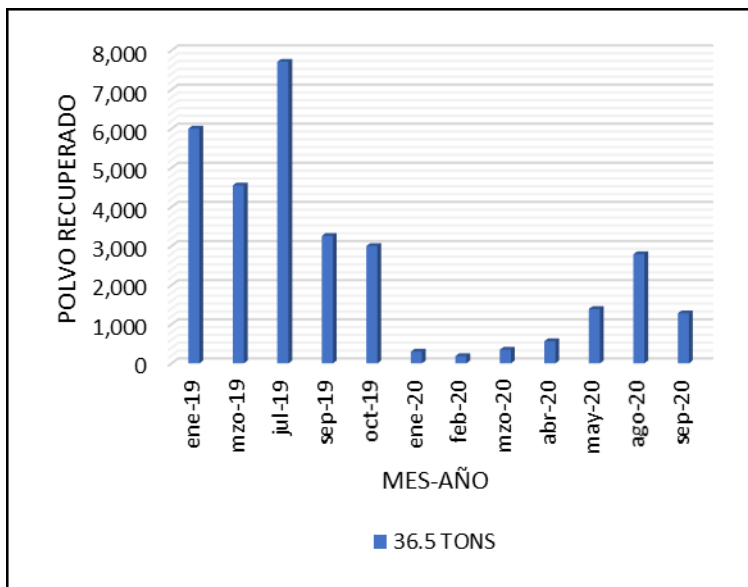
I. Recuperación de refine enviado de corte:

Se desarrollo un método de mezclado con el cual recuperamos más del 80% del refine que se genera en el área de corte, directamente en la formulación en forma de escama como materia prima virgen.

Beneficios:

- Reducción de costos.
- Eliminación de proceso de peletizado.
- Reducción de plantilla de extrusión (66%).
- Disminución de tiempo de recuperación.

Formula De Mezclas						
Orden No.	Cliente	Proceso No.	Cantidad Kg.	Cargas Prog.		
120803	PROTEIN	6	3,685.90	34.25		
Artículo	Descripción	Espesor	Ancho cm	Formula No.	Color No.	
1289921	VINILO RIGIDO MPH 32G	12.00	72.00	10205-V	8038	
Cod. MP	Temp. Adicion	Descripcion	Cantidad Kg.	Lote MP		
MR0013	20	SE 900	100.000	ACF-0040605		
MI5330	80	KANE ACE B-632	6.000	63270349		
MI5355	80	LG PA-912	1.500	190742V		
MI5361	80	KANE ACE PA-121	1.000	121A00463		
MN2218	55	SD 801-DC	2.500	2277/20		
MP1311	55	EPOXAA	2.000	PLAS.0058/20		
MN2412	65	MACROLUB 370	0.300	4752		
MN2411	65	MACROLUB 312	0.150	4736		
MN2405	65	ACIDO ESTEARICO TP	0.100	M051220		
MI3094	90	ANTIBLOCK K07S	0.150	K07SA58161		
MN2643	90	POSSALCO 8	0.100	191193		
MOLRCR	20	ESCAMA RIGIDA	5.000	S/N		
MF8809	85	MEZCLA VIOLETA GEIGY	0.100	210720		
Total Formula:			118.900	Fecha	Temp.Desc.	
gr/m2.milplg:			34.660	15/10/2020	100	
Observaciones:						
Elaboro: [Firma] 14/10/20						
Verifico: [Firma]						
Operador: [Firma]						
Supervisor: [Firma] 15/10/20						
GP-CME-PR-001-FL-01						



II. Recuperación de polvos.

Se desarrollo un método efectivo para tamizar los polvos acumulados en el área generando un consumo de estos.

Beneficios:

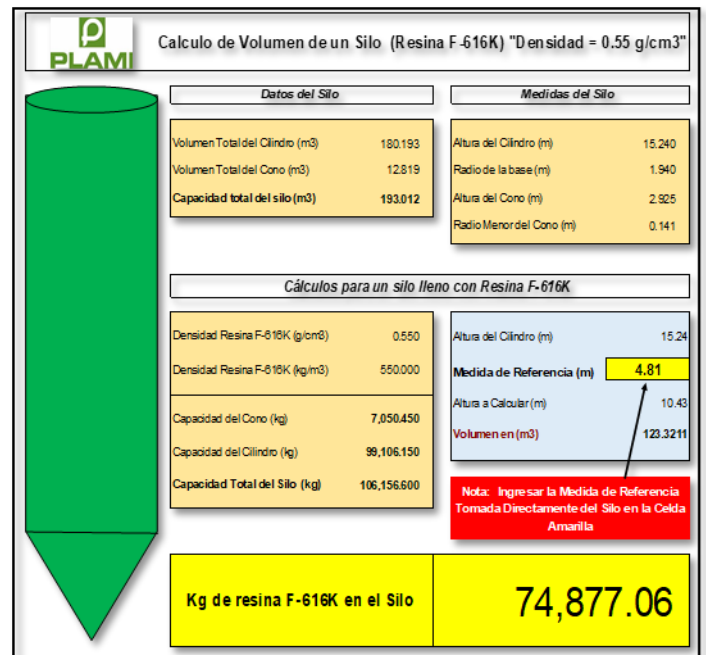
- Reducción de costos.
- Disminución de tiempo de recuperación.
- Aprovechamiento de materia.
- Depuración efectiva de residuos

III. Cálculo de Silos y Tanques.

Se implemento una forma más precisa de medir el contenido volumétrico de los silos y tanques. El margen de error actual es de 0.5% en cada medición.

Beneficios:

- Control de inventario.
- Prevención de derrames en silos.
- Toma de decisiones acertadas.



IV. Automatización de proceso de cribado al triturar.

Se diseño una criba para instalarse a la salida del triturador Pagani, que garantiza la eliminación de contaminaciones metálicas.

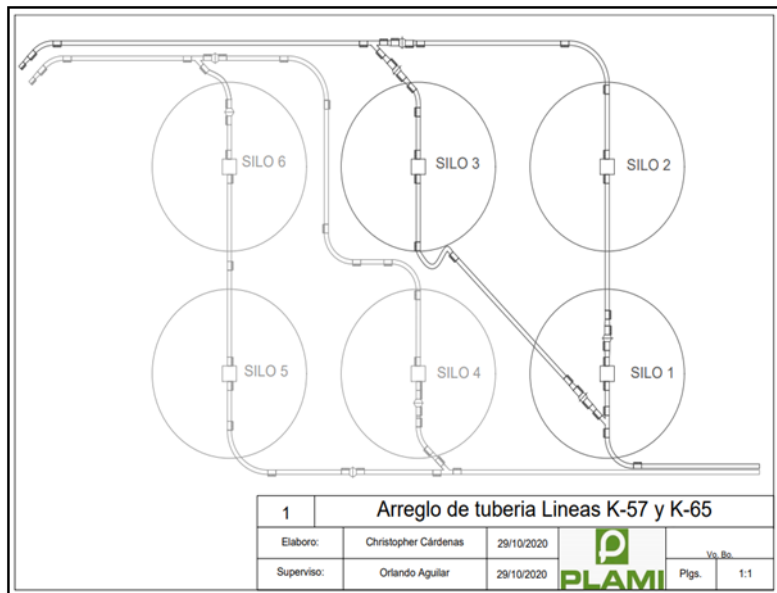
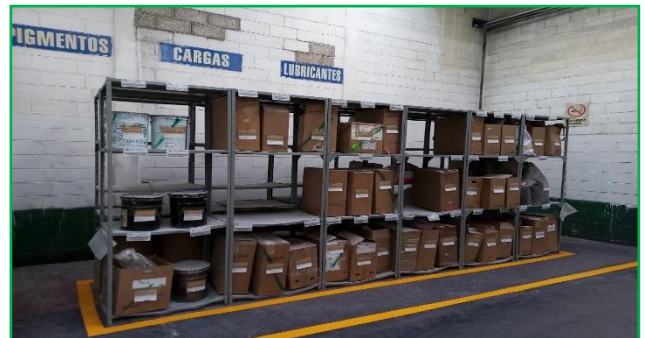
Beneficios:

- Ahorro de mano de obra.
- Reducción de costo de proceso.
- Optimización de maquinaria.

V. Implementación de 5's en el área.

Redistribución en el área de almacén de pigmentos y colocación de indicadores en rack y embalajes.

- Facilita la búsqueda de pigmentos.
- Mayor orden y limpieza en el área.
- Facilita la elaboración de inventarios.



VI. Elaboración de Layout del área de silos.

Se realizó el Layout de las líneas de K57 y K65 tomando en consideración cada componente de estas y con las medidas exactas.

- Apoyo para futuros proyectos de Mto.
- Conocimiento de las piezas del sistema.
- Correcta documentación del área.
- Futuras capacitaciones.

7.3 Resumen laboral.

Ingresé a la empresa PLAMI el día 8 de diciembre del 2014 como becario al área de Sistema de Gestión de Calidad. En el cual llevábamos a cabo todo lo relacionado con la norma ISO 9001:2015. En el periodo que permanecí en esa área obtuvimos la certificación por parte del IMNC (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación).

El 18 de enero de 2016 entre a producción en el área de Calandreo donde continuaba como becario y veía todos los reportes relacionados a la producción, tiempos productivos, improductivos, condiciones de operación, permisos y vacaciones del personal, además, estaba involucrado directamente en el proceso operativo.

El 22 de junio de 2016 PLAMI me contrata como empleado en el puesto de ingeniero de procesos, en esta área nos encargábamos de ver todo lo relacionado con los procesos productivos de la planta. Como mejoras a equipos, condiciones de operación, desarrollo de hojas de proceso, rendimientos, estudios de tiempos y movimientos, manufactura esbelta y reportes de producción.

El 02 de abril del 2018, el director de operaciones me selecciona para llevar la coordinación del área de mezclado. En esta área soy responsable de una plantilla de 38 personas y nuestra función es abastecer de una manera eficiente el proceso de calandreo.

A lo largo de mi carrera laboral dentro de la empresa he desarrollado mis habilidades como ingeniero he generado experiencia y he adquirido una gran cantidad de conocimiento.

Mi meta a futuro dentro de la empresa es llegar a ser gerente de la planta y aportar mis conocimientos y habilidades en proyectos más ambiciosos.

8 Liderazgo en la producción.

En mi estancia dentro de la empresa he podido conocer la importancia que tiene el ser un buen líder en cualquier área de trabajo. Se me ha brindado la oportunidad de aprender el impacto que tiene la comunicación efectiva con el personal operativo y administrativo. He podido aprender conceptos básicos que se me han enseñado durante mi estancia laboral para poder llevar a cabo de manera efectiva mis actividades, esto fue posible con pequeños cursos que la empresa brinda para formarnos profesionalmente.

El liderazgo es el proceso que lleva a cabo un líder para persuadir, inspirar, motivar, e influir en los demás y saber cómo dirigir cambios útiles con precisión. El liderazgo no existe si no se cuenta con la capacidad para influir en los otros. Durante el proceso, el objetivo del buen líder es la eficacia en todas las áreas bajo su mando (productividad, personal).

Un líder es una persona que desempeña un puesto en una organización formal, y que es responsable del trabajo de por lo menos otra persona, poseyendo autoridad formal sobre esta. Las personas por cuyo trabajo es responsable son sus subordinados. Una persona con quien trabaja, que no es superior ni subordinado, es su colaborador. La persona responsable por el trabajo del gerente es su superior del trabajo. De modo que la diferencia entre ser un gerente, un subordinado, un colaborador o un superior está basada en quien detenta el poder o quien tiene la responsabilidad y la autoridad. Todos en algún momento desempeñamos, en nuestra vida de trabajo cada uno de estos papeles en algún momento.

8.1 Funciones del líder.

Las principales funciones de un líder se pueden resumir en 4 puntos:

- Producir
- Administrar
- Emprender
- Integrar

Existen dos tipos de líderes:

- Actitud a favor de la gente
- Actitud en contra de su personal

La característica de un líder es ser flexible y congruente. Es un transformador de voluntad, debe encender el entusiasmo en el trabajo. Una persona que tiene un porque (misión) y un para que (visión). Un líder debe saber, poder y querer. Un jefe impone, dicta y ordena. El saber es el conocimiento o el paradigma teórico, el que hacer y el por qué, el poder es la capacidad, el cómo hacer y el querer es el deseo, la motivación. Estos tres elementos conducen a un hábito

Fig. 8.1

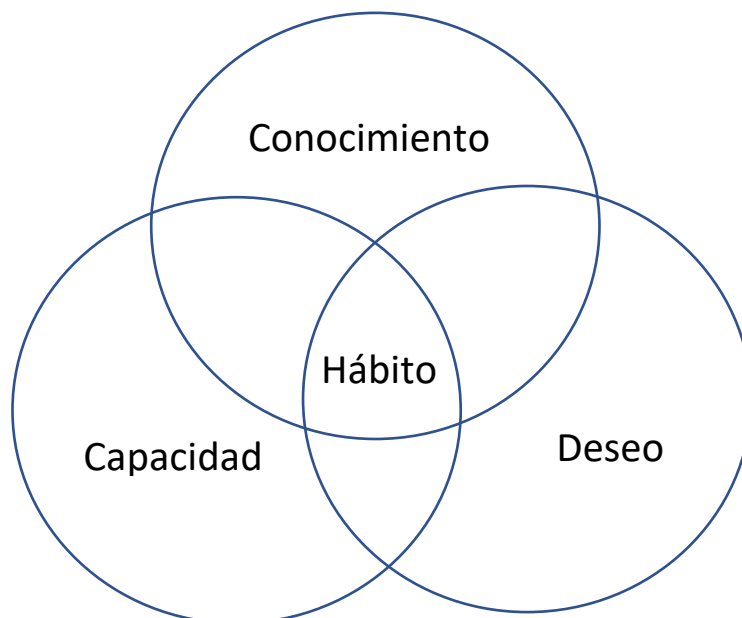


Figura 8.1 Elementos que conducen al hábito.

Un líder guía, apoya, dirige, orienta, desarrolla, ayuda a crecer y está al servicio del equipo de trabajo que tiene necesidades satisfactorias.

Un líder evalúa la actitud de sus subordinados, las cuales vienen de sus emociones. Las conductas están relacionadas con las actitudes. Las actitudes vienen de los sentimientos. **Fig. 8.2**

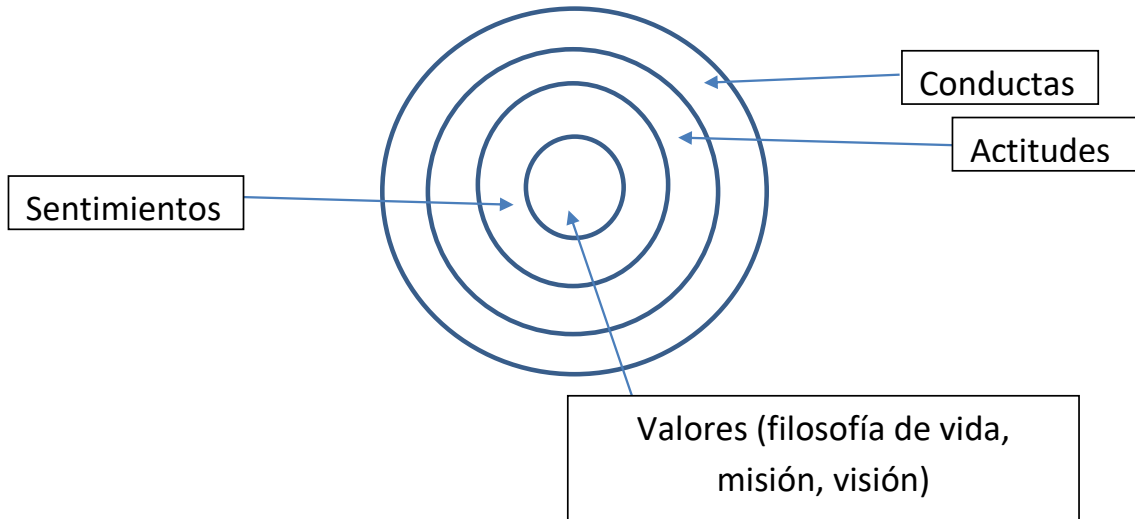


Figura 8.2 Análisis de conducta.

Los retos a los que los líderes se enfrentan actualmente son los siguientes:

1. Aumento de la competencia global.
2. Atención a la velocidad, servicio e información.
3. Demandas del personal de mayor participación.
4. Mayor expansión de tecnología de la información.
5. Organizaciones más planas.
6. Mayor autogestión por parte de los trabajadores.
7. Cambios constantes.

Para cumplir con los resultados que la organización espera se requiere tener líderes con la capacidad de mover:

- Tecnología
- Procesos operativos y administrativos
- Personal

8.2 Efectividad, productividad, competitividad, eficiencia

Efectividad: calidad + productividad + satisfacción

Calidad

- Producto
- Proceso
- Servicios
- Seguridad

Productividad

- Costos

Satisfacción

- Cliente
- Personal
- Gobierno
- Comunidad

Competitividad: calidad + productividad

Calidad: dar al cliente el producto o servicio que desea o necesita realmente, cumplir con los requisitos de cliente explícitamente.

Productividad: optimizar, mejorar y cuidar los recursos (relación que existe entre la producción y el uso inteligente de los recursos humanos, materiales y financieros).

$$Productividad = \frac{Resultados}{Insumos} = \frac{Mayor\ resultado}{Igual\ insumos} = Optimizar$$

Eficiencia comparada con la efectividad se describe así:

- Hacer bien las cosas en vez de hacer lo que corresponde.
- Resolver problemas en vez de producir alternativas creativas.
- Cuidar los recursos en vez de optimizar la utilización de recursos.
- Cumplir con el deber en vez de lograr resultados.
- Reducir costos en vez de aumentar ganancias.

8.3 Integración de grupos y equipos.

Un equipo está integrado por personas quienes interdependientemente administran y monitorean la calidad, cantidad, oportunidades, costo de su trabajo y satisfacción de sus clientes. Tienen responsabilidades y un propósito común, así como promueven el crecimiento de los integrantes del equipo e incrementan la efectividad de su organización.

¿Cómo resolver los conflictos sin desorganizarnos?

1. Con objetivos, políticas y procedimientos de carácter total, dentro de los cuales se establezcan los de cada departamento.
2. Creando la conciencia colectiva de que cada departamento pertenece a un todo más amplio que es la empresa o negocio.

¿Cómo coordinar, unificar y dirigir varios departamentos?

1. Administrando en equipo y por objetivos. Contar con la colaboración de los jefes, Contar con un sistema para producir resultados esperados.
2. Contar con una estructura organizacional bien definida: definir claramente funciones, responsabilidades, niveles de autoridad y relaciones entre puestos y departamentos.
3. Formando un equipo entre los jefes de los departamentos o áreas y el gerente o director respectivo, con un alto nivel de cohesión y conciencia colectiva.
4. Fortaleciendo la colaboración, la interdependencia y la solidaridad en el equipo gerencial del negocio.
5. Contando con un director que coordine las actividades de los diferentes departamentos y unifique los esfuerzos de cada uno hacia los mismos fines.

Coordinación efectiva:

1. Respetar la autoridad y responsabilidad de los demás compañeros o jefes.
2. Facilidad de comunicación entre el director, jefes, supervisores y personal.
3. Definición clara de funciones, autoridad, responsabilidades y límites entre gerentes.
4. Apoyar la comunicación formal con el trato informal que fortalezca las relaciones
5. Mantener relaciones del tipo ganar-ganar

Características que comparten los grupos y equipos:

- Tienen una misión y visión; misión clara, expresión de compromiso, propósito, razón de ser. Visión del equipo, quienes somos y a que estamos comprometidos. Deben aterrizar en objetivos.
- Expectativas, objetivos bien definidos
- Normas de cohesión (principios de conductas)
- Roles y responsabilidades: ¿quién va a hacer qué?
- Retroalimentación oportuna

8.4 Análisis de problemas y toma de decisiones.

Para la solución de problemas se debe contar con:

Análisis de problemas (pasado)

- Cuando ocurrió
- Cuando no ocurre
- Que cambio se obtuvo
- Probables causas

Toma de decisiones (presente)

- Que deseamos lograr (propósito de la decisión)
- De cuantas formas podemos lograr un objetivo
- De que otras maneras
- Que riesgos tenemos si elegimos otra alternativa

Análisis de problemas en potencia

- ¿Qué queremos lograr?
- ¿Que podría salir mal?
- ¿Cómo podemos evitarlo?
- ¿Qué haremos si sucede?

Método de 7 pasos para la solución de problemas:

1. Definir objetivos del problema
2. Observar los pasos o etapas del proceso
3. Obtener toda la información relativa al proceso
4. Analizar la información obtenida
5. Identificar la causa de la falla del proceso
6. Eliminar para siempre la causa de la falla

7. Implantar la mejora y establecer controles

Ante la apertura de nuevos mercados hacia el exterior, así como la integración que tenemos que lograr en los mercados para evitar la pérdida de la competitividad, esto nos lleva a que debemos ser mucho más efectivos y saber trabajar en equipo, administrando con un buen liderazgo para la optimización de la productividad. Donde administrar es hacer las cosas bien y liderar es hacer las cosas correctas.

Para ser competitivos se requiere ser productivos con calidad y también se requiere la satisfacción del cliente para lograr la efectividad. Para lograr cumplir con estos resultados que desea el cliente, se requiere administrar con un liderazgo en base a principios y valores que aplican la planificación, comunicación, dirección, organización, control y que se involucren las habilidades para motivar y delegar responsabilidades a cada miembro de la organización. Todo esto requiere de líderes con capacidad de mover la tecnología, el proceso operativo, administrativos, y al personal.

9 Conclusiones.

Las películas de PVC son de vital importancia en nuestra vida cotidiana, este increíble material polimérico ha hecho posible que disfrutemos de innumerables productos al alcance de todas las personas a un bajo costo, es por eso que empresas de transformación como PLAMI mejoran la calidad de nuestra vida.

En lo particular la investigación teórica que tuve durante mis estudios y con mi asesor me han ayudado a entender mejor los procesos industriales durante mi estancia en la empresa.

El proceso de mezclado es sin duda parte fundamental para la fabricación de películas plásticas de PVC, debido a que requiere de un tiempo de aprendizaje largo para lograr entender el comportamiento de cada una de las materias primas que componen la mezcla y las propiedades que aportan a la película de PVC.

Sin duda este reporte manifiesta solo un poco de la gran cantidad de conocimientos, que se aplican diariamente en los distintos procesos dentro de PLAMI. En este reporte se ha presentado todo lo relacionado de manera muy general de lo aprendido del proceso de mezclado y manejo de materias primas, como las propiedades mecánicas, químicas y físicas; que se manifiestan durante y después de este proceso y en las películas producidas.

El aprendizaje obtenido en mi estancia en la empresa ha sido de gran ayuda para la formación de mi carácter me han permitido conocer como liderar de forma eficiente a personal operativo, con el fin de mejorar la producción.

El impacto de mi estancia en la empresa ha sido de carácter evolutivo en la optimización de los procesos, tales como tiempos y movimientos, recuperación de materiales, disminución de mermas en el proceso, manejo de almacenes e inventarios, actividades administrativas, resolución de problemas y manejo de grandes plantillas de personal.

En mi formación personal, la experiencia que he generado a través del tiempo en las diferentes áreas en las que me he desarrollado dentro de la empresa me han brindado el conocimiento, habilidades y la facultad de la correcta toma de decisiones que se requieren para ser un buen líder.

10 Glosario de abreviaturas

DP_c = Grado de Polimerización

E: Modulo de Elasticidad

IEC= Comisión Electrotécnica Internacional

ISO= Organización Internacional de Normalización

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

M_n : Peso Molecular Numeral Promedio

M_v : Peso molecular Viscosimétrico Promedio

M_w : Peso Molecular Ponderal Promedio

PAN= poliacrilonitrilo

PCR= Partes por cien partes de resina

PEAD: Polietileno de Alta Densidad

PEBD: polietileno de baja densidad

PET: Teraftalato de polietileno

PLAMI S.A. DE C.V.: Plásticos Miguel

PP: Polipropileno

PVC: Policloruro de Vinilo

PVDC: Cloruro de Polivinilideno

PYN S.A. DE C.V.: Plásticos y Novedades

SGC= Sistema de Gestión de calidad

T: Temperatura

T_f : Temperatura de fusión

T_g : Temperatura de transición vítrea

Z_p : Polidispersidad

11 Bibliografía

BOWER D., W. M. (1989). The vibrational spectroscopy of polymers. En W. M. BOWER D., *The vibrational spectroscopy of polymers*. London UK: Cambridge University Press.

Ebewele, R. O. (2000). Polymer science and technology. En R. O. Ebewele, *Polymer science and technology*. Benin City, Nigeria: CRC Press.

ECUCEI. (11 de 05 de 2021). *ECUCEI editorial CUCEI*. Obtenido de ECUCEI editorial CUCEI: <https://ecucei.com/polimeros/introduccion/1-1-generalidades/>

George, O. (2004). Principles of Polymerization. En O. George, *Principles of Polymerization*. New Jersey, EUA: Wiley-Interscience.

IMPI. (2008). Cloruro de Polivinilo. En I. m. industrial, *Cloruro de Polivinilo*. MEXICO: Instituto mexicano del plastico industrial .

Jozef, B. (2009). Prediction of polymer properties . En B. Jozef, *Prediction of polymer properties* . Michigan, USA: Marcel Dekker.

PETHRICK Richard, E. M. (2014). Polymer products and chemical processes. En E. M. PETHRICK Richard, *Polymer products and chemical processes*. Oakville, Canada: Apple Academic Press.

PLAMI. (12 de 05 de 2021). *PLAMI S.A. de C.V.* Obtenido de PLAMI S.A. de C.V.: <https://plami.com.mx/en/home/>

Sauer, J. A. (1977). Mechanical properties of high polymers. En J. A. Sauer, *Mechanical properties of high polymers*. New York, USA: Wiley-Interscience.

Tecnología de los Plásticos . (14 de 10 de 2011). Obtenido de Tecnología de los Plásticos : <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/calandrado.html#:~:text=El%20calandrado%20sirve%20para%20la,la%20alimentaci%C3%B3n%20de%20la%20calandria.>

Wunderlich, B. (2005). Thermal analysis of polymer synthesis. En B. Wunderlich, *Thermal analysis of polymer synthesis*. Berlin : Springer .